



**İVME ÖLÇER LOKASYONLARINA AİT ZEMİN
DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN DEPREM KAYITLARI
KULLANILARAK İNCELENMESİ
ELAZIĞ (TÜRKİYE) ÖRNEĞİ**

Adviye MARAL ACAR

Prof. Dr. Ekrem KALKAN

Yüksek Lisans Tezi

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

2020

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İVME ÖLÇER LOKASYONLARINA AİT ZEMİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN
DEPREM KAYITLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ: ELAZIĞ (TÜRKİYE)
ÖRNEĞİ**

(Investigation of Soil Dynamic Properties Which is Belongs to Accelerometer Stations Using
Earthquake Recordings: The Case Study of Elazig (Turkey))

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Adviye MARAL ACAR

Danışman: Prof. Dr. Ekrem KALKAN

Erzurum
Eylül, 2020

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Adviye MARAL ACAR tarafından hazırlanan “İvme Ölçer Lokasyonlarına Ait Zemin Dinamik Özelliklerinin Deprem Kayıtları Kullanılarak İncelenmesi: Elâzığ (Türkiye) Örneği” başlıklı çalışması 22 / 09 / 2020 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Dr. Öğr. Üyesi Babak KARIMI GHALEHJOUGH
Erzurum Teknik Üniversitesi

Danışman: Prof. Dr. Ekrem KALKAN
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Çağlar Özer
Atatürk Üniversitesi

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak Prof. Dr. Ekrem KALKAN danışmanlığında sunulan “İvme Ölçer Lokasyonlarına Ait Zemin Dinamik Özelliklerinin Deprem Kayıtları Kullanılarak İncelenmesi: Elâzığ (Türkiye) Örneği” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	20	30
Kuramsal Temeller	24	30
Materyal ve Yöntem	33	35
Bulgular	13	20
Tartışma	6	20
Tezin Geneli	23	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Adviye MARAL ACAR	Prof. Dr. Ekrem KALKAN
24.9.2020	24.9.2020
İmza:	İmza:

* Tez ile ilgili YÖKTEZ'de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İVME ÖLÇER LOKASYONLARINA AİT ZEMİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN DEPREM KAYITLARI KULLANILARAK İNCELENMESİ: ELAZIĞ (TÜRKİYE) ÖRNEĞİ

Adviye MARAL ACAR

Danışman: Prof. Dr. Ekrem KALKAN

Amaç: Bu çalışmada amaç Elazığ ve çevresinde kurulan ivme-ölçer istasyonlarına ait lokasyonların zemin dinamik davranışının incelenmesidir. Elazığ ili sismisite açısından aktif bir bölgede bulunmaktadır. Bu nedenle, yıkıcı depremler sıklıkla yaşanmaktadır. Deprem sırasında deprem kaynaklı hasar ve kayıpları en aza indirmek için, üzerine mühendislik yapılarının inşa edileceği zeminin dinamik özelliklerinin doğru bir şekilde araştırılması gerekir.

Yöntem: Bu çalışmada, incelenen alanın deprem-zemin ortak davranış özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda, 384 depremden kaydedilen 891 adet veri Deprem Yatay Düşey (EHV) yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Kayıtlar, AFAD tarafından işletilen Elazığ ve çevresinin farklı zemin tiplerine yerleştirilen 8 ivme-ölçerden elde edilmiştir.

Bulgular: Analizler neticesinde frekans (Hz) – EHV Büyütme grafikleri ve haritaları oluşturularak, zemin karakteristiği yorumlanmıştır. Karasal kırıntılılar üzerinde kurulu 2301, 2304, 2306 ve 2308 istasyonlarında sırasıyla EHV genlikleri 1.86, 3.61, 2.47 ve 3.34; zemin hakim frekans değerleri 1.20, 6.30, 1.31 ve 3.60 olarak, volkanik, sedimanter kayalar ile şistler üzerinde kurulu 2302, 2305, 2307 ve 2309 istasyonlarında ise EHV genlikleri 1.80, 2.35, 2.12 ve 2.70; frekans değerleri ise 3.60, 6.78, 3.00 ve 11.40 Hz olarak tespit edilmiştir.

Sonuç: Elde edilen zemin hakim frekans dağılımı haritası ile zemin büyütme haritası incelendiğinde Elazığ Merkez, Sivrice ve Kovancılar bölgesinde mikrobölgeleme çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: EHV, ivme ölçer, zemin davranışı, zemin büyütmesi, frekans.

Eylül 2020, 76 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF SOIL DYNAMIC PROPERTIES WHICH IS BELONGS TO ACCELEROMETER STATIONS USING EARTHQUAKE RECORDINGS: THE CASE STUDY OF ELAZIG (TURKEY)

Adviye MARAL ACAR

Supervisor: Prof. Dr. Ekrem KALKAN

Purpose: This study aimed to examine the soil-dynamic behavior of the locations of accelerometer stations established in Elazig and its surroundings. Elazig is located in an active area in terms of seismicity. For this reason, devastating earthquakes are often experienced. To minimize the earthquake-induced damages and losses during earthquake, the dynamic properties of soil where the engineering structures will built on it need to be correctly investigated.

Method: In this study, the earthquake-soil common behaviour characteristics of the studied area were investigated. In this context, the 891 data recorded from 384 earthquakes was analysed by using the Earthquake Horizontal Vertical (EHV) method. The records was obtained from 8 accelerometers placed on the different soil types of the Elazig and surrounding operated by AFAD.

Findings: Based on the data collected; frequency (Hz) –EHV amplification graphs and maps were created and soil characteristics interpreted. At stations 2301, 2304, 2306 and 2308 located on terrestrial clastics, the EHV amplification values are 1.86, 3.61, 2.47 and 3.34 respectively; soil dominant frequency values are 1.20, 6.30, 1.31 and 3.60; at stations 2302, 2305, 2307 and 2309 located on volcanic, sedimentary rocks and schists, the EHV amplification values are; 1.80, 2.35, 2.12 and 2.70 and soil dominant frequency values are determined as 3.60, 6.78, 3.00, 11.40 Hz.

Results: After examining the frequency (Hz) –EHV amplification maps and graphs, it was concluded that microzonation studies in Elazig Central, Sivrice and Kovancilar regions are important.

Keywords: EHV, accelerometer, soil behavior, soil amplifications, frequency.

September 2020, 76 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için değerli vakitlerini ayıran, beni yönlendiren, önerilerini ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ekrem KALKAN'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasını titizlikle takip edip, tezimin oluşmasına büyük katkı sağlayan, bilgi birikimini esirgemeyip çalışma azmi veren, gece gündüz demeden değerli vakitlerini ayıran Sayın Dr. Öğr. Üyesi Çağlar ÖZER'e tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

Bu araştırmaya veri desteği sağlayan T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığına teşekkür ederim.

Ayrıca yaşamımın her alanında desteğini, sonsuz sevgisini, sabrını, anlayışını hissettiğim canım aileme ve tezimi tamamlamamda emeği olan ve beni her konuda destekleyip yanımda olduğunu her daim hissettiren hayat ve yol arkadaşım biricik eşime içten teşekkür ederim.

Adviye MARAL ACAR

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	x
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Önceki Çalışmalar.....	3
Çalışma Alanının Jeolojik ve Tektonik Özellikleri.....	7
Genel Jeoloji.....	7
Keban metamorfizmaları	7
Elazığ magmatitleri	8
Harami formasyonu.....	8
Kırkgeçit formasyonu.....	8
Alibonca formasyonu	8
Karabakır formasyonu.....	8
Alüvyonlar	8
Bölgesel Tektonizma.....	10
Bölgedeki faylar	12
Sismotektonik.....	14
MATERYAL ve METOT	22
Çalışma Alanı ve İstasyonlar	22
Materyal	23
Metot	25
Nakamura (NHVSR) tekniği.....	25
EHV tekniği	26
SSR tekniği	26
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	28
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	42

KAYNAKLAR	44
EKLER	48
EK 1. Depremlerin dağılımı (AFAD, 2020)	48
EK 2. Depremlere ait ham PGA değerleri (GAL cinsinden) (AFAD,2020).....	56
ÖZGEÇMİŞ.....	64



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. İstasyonların bulunduğu jeolojik birimlerin stratigrafik dizilimi	23
Tablo 2. AFAD İvme-ölçer İstasyonlarına ait konum, koordinat ve rakım bilgileri	24
Tablo 3. İvme-Ölçer istasyonlarında hesaplanan zemin büyütme (EHV) ve hakim frekans değerleri	28
Tablo 4. İstasyonlardaki 5 Hz, 1.0 Hz, 2.5 Hz, 5.0 Hz, 10 Hz ve 15 Hz deki zemin büyütme değerleri	29
Tablo 5. İvme-Ölçer istasyonlarına ait MASW çalışması sonucuna göre, NEHRP, Eurocode-8 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) zemin ve litoloji sınıfları	39
Tablo 6. NEHRP zemin sınıfı tanımları.....	39
Tablo 7. Eurocode-8' de zemin sınıfı tanımları	40
Tablo 8. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği zemin sınıfları	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

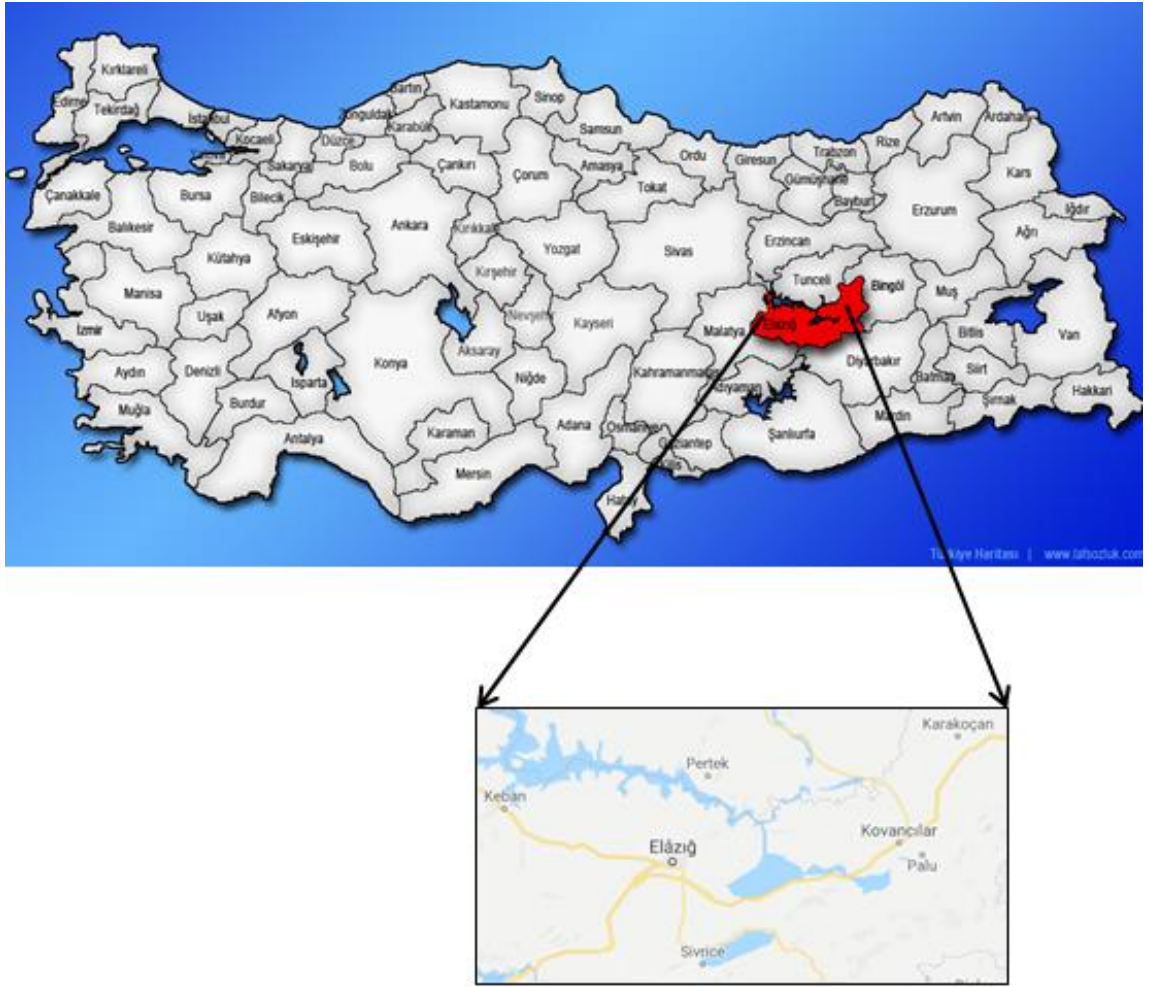
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası	1
Şekil 2. Çalışma alanı jeolojisi ve kullanılan ivme-ölçer istasyonlarının konumlar	9
Şekil 3. Elazığ ve civarının genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti MTA.....	10
Şekil 4. Doğu Akdeniz'in aktif tektonik haritası.....	11
Şekil 5. Elazığ Havzası'nın jeotektonik konumu	12
Şekil 6. Türkiye diri fay haritasında çalışma alanının konumu.....	12
Şekil 7. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun ana segmentleri ve önemli tarihsel depremler	13
Şekil 8. Bu çalışmada kullanılan istasyonlara ait topoğrafik harita	15
Şekil 9. Türkiye deprem tehlike haritası	16
Şekil 10. İnceleme alanı deprem tehlike haritası.....	16
Şekil 11. İnceleme alanı deprem tehlike haritası.....	17
Şekil 12. Elazığ ili Sivrice ilçesindeki asfalt yolda gözlemlenen fay çatlağı.....	19
Şekil 13. Elazığ Sivrice'den hasar gören yapılara ait görseller.....	20
Şekil 14. Elazığ Sivrice Merkez Camiinde meydana gelen hasar	20
Şekil 15. Elazığ Sivrice Merkez Camii içindeki kolonda meydana gelen hasar	21
Şekil 16. İvme-Ölçerlerin Lokasyonlarını gösterir yer bulduru haritası	22
Şekil 17. Geopsy Programında 21 Nisan 2012 tarihli depremin veri analizine örnek	24
Şekil 18. Geopsy Programında Konno ve Ohmachi filtresinin uygulanaşına örnek	25
Şekil 19. Zemin büyütme ve zemin hakim frekans dağılım haritası	29
Şekil 20. EHV yöntemine göre istasyonlardaki büyütme değerlerinin frekanslara göre değişim haritası (Fay verileri MTA çizim editöründen sayısallaştırılmıştır)	30
Şekil 21. 2301 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	31
Şekil 22. 2302 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	32
Şekil 23. 2304 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	33
Şekil 24. 2305 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	34
Şekil 25. 2306 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	35
Şekil 26. 2307 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	36
Şekil 27. 2308 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	37
Şekil 28. 2309 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik	38

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

AFAD	: T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ATADAM	: Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi
cm	: Santimetre
DAFS	: Doğu Anadolu Fay Sistemi
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DAM	: Deprem Araştırma Merkezi
EHV	: Earthquake Horizontal Vertical
HVSR	: Yatay Düşey Spektral Oran
Hz	: Herz
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
K-G	: Kuzey-Güney
km	: Kilometre
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalga Analizi Yöntemi
m	: Metre
MTA	: Maden Teknik Arama
PGA	: Pik Yatay Yer İvmesi
ReMi	: Kırılma-Mikrotremor Yöntemi
sn	: Saniye
SPAC	: Tek İstasyon Mikrotremor ve Dizilim Mikrotremor
Vs30	: 30 metreye kadar olan makaslama (kayma) dalgası hızı
°	: Derece
%	: Yüzde

GİRİŞ

Bu çalışma, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışma alanı Elazığ Merkez ve çevre ilçelerini kapsamaktadır (Şekil 1). Elazığ ili, Doğu Anadolu Bölgesi'nin güneybatısında, Yukarı Fırat Bölümünde yer almaktadır. Toplam alanı 9151 km² yi bulan ve bu alanı ile Türkiye topraklarının % 1.2 sini oluşturan il sahası, 40° 21 ile 38° 30 doğu boylamları, 38° 17 ile 39° 11 kuzey enlemleri arasında kalmaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Elazığ ili Güneydoğu Torosların batı uzantılarıyla çevrilidir. Bu dağların en yüksek iğil batısında bulunan Hasan Dağı (2118 m) olup il sınırı içindeki en önemli akarsu Fırat Nehri ve kollarıdır.

Doğu Anadolu Fay sistemi içerisinde bulunan ve aktif fay zonları içeren sismik açıdan riskli Elazığ ilinde bugüne kadar tarihsel ve aletsel dönemde büyük ölçekte maddi hasarlı

deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin en önemlilerinden biri olan ve yakın zamanda 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen, yer kabuğunun yaklaşık olarak 8 km odak derinliğinde, 6.8 büyüklüğündeki Elazığ Sivrice depremidir. Bu tezin çıkış kaynağı olan ciddi ölçüde maddi ve manevi hasarlı bu depremde AFAD verilerine göre 41 kişi yaşamını yitirmiş ve 6270 binada ise ağır hasar oluşmuştur (AFAD, 2020).

Depremler sonrasında meydana gelebilecek can ve mal kayıplarını en aza indirebilmek amacıyla; zeminin iyi tanınması ve bu tezin ana hedefi olan zemin-dinamik özelliklerinin iyi anlaşılması sonrasındaki yapılaşmanın zemin koşullarına göre tasarlanması büyük önem arz etmektedir.

Bu amaçla; Elazığ ili ve çevre ilçelerinde kurulu olan 8 adet ivme-ölçer tarafından kaydı yapılan, 1994 ile 2019 yılları arasında, büyüklükleri 2.7 ile 6.4 arasında değişen 384 depreme ait 891 kayıt verisi, EHV (Earthquake Horizontal to Vertical) yöntemi ile değerlendirilerek istasyonların konumlandığı zeminlerin, dinamik özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır. Her bir istasyondaki yaklaşık olarak 100 deprem kaydına ait genliklerin aritmetik ve geometrik ortalamaları alındıktan sonra, geometrik ortalamayı işaret eden eğri üzerinden frekans ve EHV büyütme değerleri okunarak 4 farklı jeolojik birim üzerinde bulunan zeminlerin karakteristiği değerlendirilmiştir.

Elazığ ve çevresinde daha önceden deprem verileri kullanılarak deprem-zemin ortak davranış özellikleri araştırılmamıştır. Bu tez çalışması bölgesel karakteristiğin ortaya koyulması anlamında ilksel bir nitelik taşımaktadır.

KURAMSAL TEMELLER

Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve çevresinde yapılan jeolojik ve sismik çalışmalar ile inceleme alanı dışında zeminlerin dinamik davranışını ortaya koymak amacıyla farklı araştırmacılar tarafından yapılan birçok çalışma mevcut olup, bu çalışmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir:

Yalçinkaya ve Alptekin (2003), 1 Ekim 1995’de Dinar (Afyon)’da meydana gelen depremin artçı şoklarından yararlanarak Dinar’da kurulu 5 ivme-ölçer istasyonunda Klasik Spektral Oran (KSO) ve Yatay/Düşey Spektral Oran (YDSO) yöntemleri kullanarak zemin büyütme değerlerini hesaplamışlardır. Buna göre yatay ve düşeydeki büyütme değerlerinin birbirine yakın olduğunu ve ova içerisindeki istasyonlarda 8 kat büyütme gözlemlendiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca, bu istasyonlardaki zemin hakim titreşim periyodunun 0.43-0.5 s (2-2.3 Hz) civarında değiştiği ve bu değer, Dinar’da en fazla hasar alan 4-5 katlı binaların doğal titreşim periyodu ile çakıştığı, bu sebeple de oluşan hasarlarda zemin büyütme ve rezonans etkisinin önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Karabulut (2005), çalışmasında Büyükçekmece (İstanbul) ilçesinin zemin baskın peryod ve büyütme değerlerini hesaplayabilmek amacıyla mikrotremor verilerinden yararlanarak Nakamura yöntemini (Yatay/Düşey Spektral Oran) kullanmıştır. Bu amaçla daha önceden sondaj ve sismik kırılma çalışmaları yapılmış alanlarda 18 adet noktada mikrotremor ölçümleri alarak zemin peryodlarını 0.11 sn ve 1.36 s arasında, zemin büyütme değerlerini ise 1.00 ile 3.4 arasında hesaplamıştır. Daha önce yapılan sismik kırılma baskın peryod değerleri ile mikrotremorlardan elde edilen değerleri karşılaştırarak yüksek peryodlardaki uyumun iyi olduğunu fakat düşük peryodlarda uyumun azaldığını tespit etmiştir. Bunun nedeninin ise sismik kırılma ölçülerinden elde edilen peryodların çok sıkı derinliğe ait tabaka kalınlık ve hızların kullanılarak hesaplanmasından kaynaklandığını rapor etmiştir.

Yalçinkaya (2005), BYTNet (Bursa Yalova Türkiye İvme Ölçer Ağı) projesi kapsamında kurulan 6 istasyonun bulunduğu zemin koşullarının deprem dalgaları üzerine etkisini, 5 farklı deprem kaydı kullanarak Klasik İzgel Spektral Oran (KSO) ve Yatay Düşey İzgel Oran (YDSO) yöntemleriyle araştırmıştır. Araştırmalar sonucunda yerel zemin etkilerinin istasyona farklı yönlerden gelen deprem dalgaları için fazla değişiklik göstermediği her iki yöntemden elde edilen sonuçların birbiriyle uyum gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca yumuşak birimler üzerinde bulunan Bursa BYT02, Gemlik BYT07 ve Cargill BYT08

istasyonlarında mühendislik yapılarında görülen hakim titreşim periyotlarına yakın periyotlarda büyütme tespit etmiştir.

Palutoğlu ve Tanyolu (2006), Elazığ il merkezinin depremselliğini araştırmak amacıyla alanın 1/5.000 ölçekli jeoloji haritası ve kesitlerini çıkararak, alüvyon zemin üzerinde bulunan kent merkezinin deprem riski açısından riskli olan yerlerini belirleyip haritalamışlardır. Ayrıca daha önceden yapılmış zemin etüt çalışmalarından faydalanarak S dalgası hızlarına göre sıvılaşma olasılık haritası ile çalışma alanında yüzeyleyen birimlerin zemin büyütme katsayılarını hesaplamışlardır.

Karabulut vd. (2009), tarafından deprem riski altında bulunan İstanbul Avcılar ilçesindeki Mühendislik Fakülte Binasının ve bulunduğu zeminin titreşim periyodunu belirlemek amacıyla bina içinde ve dışında 4 farklı noktada mikrotremor ölçümü Yatay Düşey Spektral Oran tekniği olarak bilinen Nakamura yöntemi kullanılarak ölçümler alınmıştır. Ölçümler sonucunda zemin titreşim periyodunun 1.4 Hz olduğu, yapıya ait titreşim periyodunun ise 4 Hz olduğu belirlenmiştir. Herhangi bir deprem durumunda ana kayadan gelen dalgaların büyütmesinden kaynaklı rezonans olayının gözlenmeyeceği sonucuna varılmıştır.

Durmuş (2012), İzmir’de kurulu 16 adet ivme-ölçer istasyonu tarafından kaydedilen, büyüklükleri 4.0 ile 5.0 arasında değişen 16 adet deprem kayıtları, P ve S dalgaları ile deprem anından 20 sn’lik süreyi içeren gürütü kayıtları tek tek incelenerek HVSR yöntemiyle yorumlamıştır. P-dalgası ile gürültü kayıtlarının spektral oranlarının birbirine yakın değerler gösterdiği, S-dalgasından elde edilen spektral oran değerlerinin ise daha doğru olduğu sonucuna varılarak Rodriguez-Marek vd. (2001) tarafından güncellenen NEHRP zemin sınıflaması, S-dalgasından elde edilen değerlere göre yapılmıştır.

Gök vd. (2012), çalışmalarında İzmirNET ivme-ölçer istasyonlarındaki zemin özelliklerini tespit etmek amacıyla SSR (Standart Spektral Oran) yöntemi kullanarak her zemin için 6 adet depremin S-dalgası seçilerek spektrumu alınmış ve bu istasyonlar referans istasyon olarak seçilen istasyonun spektrumuna oranlanarak saptanan depremlere ait spektral oranların geometrik ortalaması istasyon bazında grafiklenmiştir. Zeminlerin özelliklerine göre farklı büyütme değerleri elde edilerek farklı frekanslara göre haritalanmıştır. Kireçtaşları, filişler ve volkanitlerde büyütme gözlenmeyip, en fazla büyütmeyi Gediz Deltası üzerindeki MVS istasyonunda, diğer büyütme değerleri ise Kuvaterner yaşlı Karşıyaka, Balçova, Konak ve Bostanlı istasyonlarında gözlemlenmiştir. Daha detaylı ve doğru bir çalışma için kuvvetli yer hareketi istasyonlarının artırılması gerektiğini ve ortalama eğrilerin standart sapmanın yüksek olmasından dolayı o istasyondaki SSR hesaplamalarının yeteri kadar temsil etmediği

sonucuna varmışlardır.

Pamuk (2014), İzmir ili Buca ilçesinde yer alan Dokuz Eylül Üniversite Yerleşkesinde zemin özelliklerini belirlemek amacıyla aktif (MASW) ve pasif kaynaklı (ReMi ve/veya SPAC) yüzey dalgaları yöntemleriyle elde ettiği dispersiyon eğrilerini kullanarak kayma dalgası hız (Vs) profilleri ve zemin tabakalanması elde etmeye çalışarak bu hızlardan Vs30 değerlerini hesaplamış ve Vs30 dağılım haritasını hazırlamıştır. Mikrotremor ölçümlerini ise Nakamura tekniğine göre yorumlayarak zemin baskın periyotları ve H/V spektral oranlarını hesaplamıştır. Baskın periyot değerlerinin 0.05 ile 0.25 sn arasında olduğu H/V spektral oranların ise 1 ile 4 arasında değiştiği gözlenmiştir. Çalışma alanında Nakamura tekniği ile elde edilen H/V eğrilerinde iki pikin dikkat çektiği, ilk pikin çok düşük frekanslarda (0.2-0.8 Hz) diğer pikin ise 4-20 Hz arasında değiştiği gözlenmiştir. H/V eğrilerinin, anakaya ve sediman arasındaki arayüzeyin özellikleriyle doğrudan ilişkili olması sebebiyle ilk pikin sismolojik anakaya ($V_s > 1500$ m/s) ile üzerinde bulunan zemin tabakası arasındaki empedans kontrastıyla ilişkili olabileceği düşünülmüştür.

Alçık (2018), Bodrum yarımadasında 2017 yılında 6.6 büyüklüğünde meydana gelen depremin anaşok ve artçı depremleri kullanarak SSR VE HVSR tekniklerini kullanarak yerel zemin etkilerini araştırmıştır. Büyüklüğü 4'ten büyük olan 54 depreme ait farklı zamanları içeren 261 adet 3 bileşenli ivme kayıtları ile episantr uzaklığı 100 km'den büyük bir alanda çalışmıştır. Sonuçlara bakıldığında yumuşak zeminler üzerinde hakim frekans değerlerinin 2.1 ile 2.7 Hz arasında değiştiği ve göreceli büyütme değerlerinin 1.0 ile 6.6 aralığında değiştiğini gözlemlemiştir. İstasyonların altındaki sediment kalınlığını baskın frekanslar kullanarak amprik olarak hesaplamış olup, 9.5 metre ile 82.2 metre aralığında değiştiğini ve Bodrum-Kos depreminin hasar dağılımının edilen rezonans frekansları ve büyütme değerleri ile ilişkili olduğunu tartışmıştır. Gözlemler sonucunda 6.6. Bodrum depreminde güçlendirilmemiş duvar yapıların özellikle eski taş evlerin hasar gördüğü buna karşılık güçlendirilmiş binalarda ise belirgin bir hasar olmadığını belirlemiştir.

Ateş ve Uyanık (2019), tarafından 5 katlı bir yapıda yerin deprem dalgalarını büyütme etkisi ve hakim frekans değerlerini tespit etmek amacıyla binanın çatısına ve inşa edildiği yere, ivme ölçerler yerleştirilerek büyüklüğü 3'ten büyük olan birçok deprem kaydı alınmıştır. Ayrıca, yer sınıfının belirlenmesi amacıyla MASW ölçümü yapılmış ve yerin ilk 30 metresi için makaslama (kayma) hızı dalgası (V_{s30}) hesaplanmıştır. Yapının ve yerin büyütmesini elde edebilmek için HVSR ve SSR yöntemlerine göre spektral oran ve tek istasyon yöntemine göre yatay/düşey oran teknikleri uygulanmıştır. Sonuçta MASW etüdünden V_{s30} değeri 147 m/s olarak bulunmuş ve NERHP sınıflanmasına göre yer sınıfı yumuşak topraklar olarak

belirlenmiştir. Vs ve Vs30 değerleri kullanılarak yerin baskın salınım periyodu 1.25 sn ve 1.23 sn olarak hesaplanmıştır. Aynı değerler HVSR ve SSR yöntemlerinin ikisinde de bulunmuş olup, bina baskın salınım frekans değeri 2 Hz (periyot 0.5 sn) olarak tespit edildiğinden yer-yapı etkileşim çalışmalarında bu yöntemlerin güvenilir olduğunu ancak bina büyütme değerlerinde SSR yönteminin daha doğru sonuç verdiğini ortaya koymuşlardır.

Pamuk (2019), Batı Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesimlerinde farklı jeolojik birimlerde bulunan 30 farklı lokasyonda kurulu ivme ölçer tarafından kaydedilen, büyüklüğü 3'ten büyük olan 6 adet deprem kaydını kullanarak yerel zemin etkilerini EHV metodu ile araştırmıştır. EHV sonuçları hakim periyot değerlerinin 0.1 ile 1.2 s. arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Araştırmacı tarafından ana kaya derinliğinin 0 ile 110 m arasında değiştiği belirlenerek, S-dalga hızı (Vs) 11 adet ivme ölçer istasyonundaki yüzey dalgaları yönteminden önceki sonuçlar kullanılarak değerlendirilmiş ve Vs değerleri 250-750 m/s aralığında gözlenmiştir. Daha detaylı çalışma için 5 ivme-ölçer istasyon seçilerek sondaj verileri, enine kesitler ve SPT-N değerleri kullanılarak yorumlamalar yapılmıştır.

Perk ve Özer (2019), tarafından Hatay'da bulunan 27 adet deprem-ölçerden kaydedilen deprem verisi yardımıyla EHV yöntemi kullanılarak çalışma alanının deprem-zemin ortak davranış özellikleri incelenerek Hatay ve çevresinin büyütme değerlerinin 2 ile 8 arasında değiştiği, alüvyon gibi gevşek zeminlerde düşük frekanslarda yüksek büyütme, kaya zeminlerde ise daha yüksek frekanslarda büyütme olduğu gözlemlenmiştir.

Ateş vd. (2019), Milas'da (Muğla) bulunan Derince Barajının zemin-dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla biri baraj gövdesine diğeri de ana kayaya olmak üzere 2 adet ivme ölçer yerleştirilerek deprem anında barajın vereceği tepkiyi gözlemlemiştir. 2017 ile 2018 yılları arasında büyüklüğü 4.4 den büyük olan 9 adet deprem kaydını dikkate alarak SSR ve HVSR yöntemleriyle barajın gövde kısmındaki hakim frekans değerinin her iki yöntemde de 2.36 Hz olduğunu ve sonuçların birbiriyle örtüşerek sadece büyütme değerlerinde % 7 civarında ufak bir farklılık olduğunu belirlemiştir. Sonuç olarak kullanılan iki yöntemin de yer/yapı çalışmalarında başarı ile kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Özer (2019), Erzurum ili ve çevresinde farklı zemin türleri üzerinde bulunan 10 adet ivme-ölçer ile kaydedilen 17 adet deprem ile HVSR (Yatay Düşey Spektral Oran) ve SSR (Standart Spektral Oran) yöntemlerini kullanarak deprem-zemin ortak davranışını ve elde edilen farklı büyütme değerlerini, belli frekans aralıkları için incelemiştir. Buna göre alüvyon zemin üzerinde kurulu şehir merkezi ve çevresinde SSR büyütme değerlerinin düşük frekanslarda yüksek olduğunu, zemin hakim frekansının 0.5 Hz ile 1.0 Hz arasında değiştiğini

ve olası bir depremde 10 ve üzeri katlı yapılarda rezonans durumunun ortaya çıkabileceğine işaret etmiştir.

ATADAM (2020), Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi tarafından 24 Ocak 2020 'de Sivrice 'de meydana gelen depremi araştırmak amacıyla yerinde birtakım gözlemler yapılmıştır. Yapılan gözlemler neticesinde özellikle kerpiç yapılarda kısmi hasarların olduğu ve bu yapıların çok katlı olmaması nedeniyle büyük çapta hasarların oluşmadığı belirlenmiştir. Fakat meydana gelen 6.8 büyüklüğündeki ana şoka yakın büyüklükte meydana gelebilecek artçı şoklarla yapılardaki hasarların artabileceği öngörülmüştür. En fazla hasarın merkez cami ve kaymakamlık binasında olduğu, yapılan mikrotremor ölçümleri sonunda zemin hakim frekansının 0.6 Hz ve zemin büyütmesinin de yaklaşık 3 olduğu tespit edilmiştir.

Kurtuluş vd. (2020), Türkiye'de kurulu AFAD tarafından işletilen Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağına (TR-KYH) ait 312 kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonunun zemin parametrelerini ortaya koymak amacıyla Aktif Kaynaklı Yüzey Dalgası Yöntemi (MASW), Pasif Kaynaklı Doğrusal Dizilim Yöntemi (ReMi) ve Mikrotremor yöntemlerini kullanmışlardır. MASW çalışmasından elde edilen verileri Türkiye Deprem ve Bina Yönetmeliği (TDBY), National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) ve European Committee for Standardization CEN (EUROCODE)'a göre; Mikrotremor yönteminden elde edilen verileri Rodriguez-Marek vd. (2001) ve DiAlessandro Carola vd. (2012)'e göre sınıflandırarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışmalarda kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarından Elazığ' da bulunanlardan elde edilen verilerle bu tez çalışmasında elde edilen veriler kıyaslanarak yorumlanmıştır.

Çalışma Alanının Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Genel Jeoloji

Elazığ merkez ve çevresi Permo-Triyas'tan Pliyo-Kuvaterner'e kadar uzanan zaman aralığında meydana gelmiş magmatik, metamorfik ve sedimanter kayaçları içermektedir (İbilioğlu, 2008). Bu birimler yaşlıdan gence doğru aşağıda verildiği gibi sıralanmaktadır (Şekil 2 ve Şekil 3).

Keban metamorfikleri

Permo-Triyas yaşlı Keban Metamorfikleri inceleme alanında rekristalize kireçtaşları ile temsil edilmekte olup birim ayrıca gri mermer ara seviyeli kalkışist, gri-beyaz renkli mermer, metakonglomera ile rekristalize kireçtaşı bandı ve mercikleri içeren kalkışistlerden oluşur (Palutoğlu, 2005).

Elazığ magmatitleri

Yüksekova Karmaşığı olarak da adlandırılan (Perinçek, 1979) Senoniyen yaşlı bu birim inceleme alanında görülmemekte olup, magmatik kayalar ile volkano-sedimanter kayalar içeren kumtaşı çamurtaşı aralanması, dasit lavı, yastık lavlar, mikritik kireçtaşı, diyabaz, gabro, diyorit ve granodiyoritten oluşur (Palutoğlu, 2005).

Harami formasyonu

Harput'un kuzey, güney ve doğusunda yüzeyleyen Üst Maestrihtiyen yaşlı Harami formasyonu, resifal özellikteki masif kireçtaşlarından oluşur. Beyaz ve bej renkli olup kalınlıkları 20-100 m'yi bulmaktadır. Tabanda bulunan kırmızı renkli konglomeralar ile kumtaşları ise karasal çökeltileri temsil etmektedir (Palutoğlu, 2005).

Kırkgeçit formasyonu

Kırkgeçit Formasyonu Van'a kadar uzanmakta olup, 3 farklı litolojide gözlenmektedir. Çakıltaşı seviyeleri içeren Kumtaşı-Marn üyesi ile Çakıltaşı-Kumtaşı üyesi kendi içlerinde aralanma göstermektedir. Tabakalı yapıdaki Marn üyesi ise diğerleri gibi 20-25° kuzeye eğilimlidir. Birimin yaşı Orta Eosen-Üst Oligosen'dir (Palutoğlu, 2005).

Alibonca formasyonu

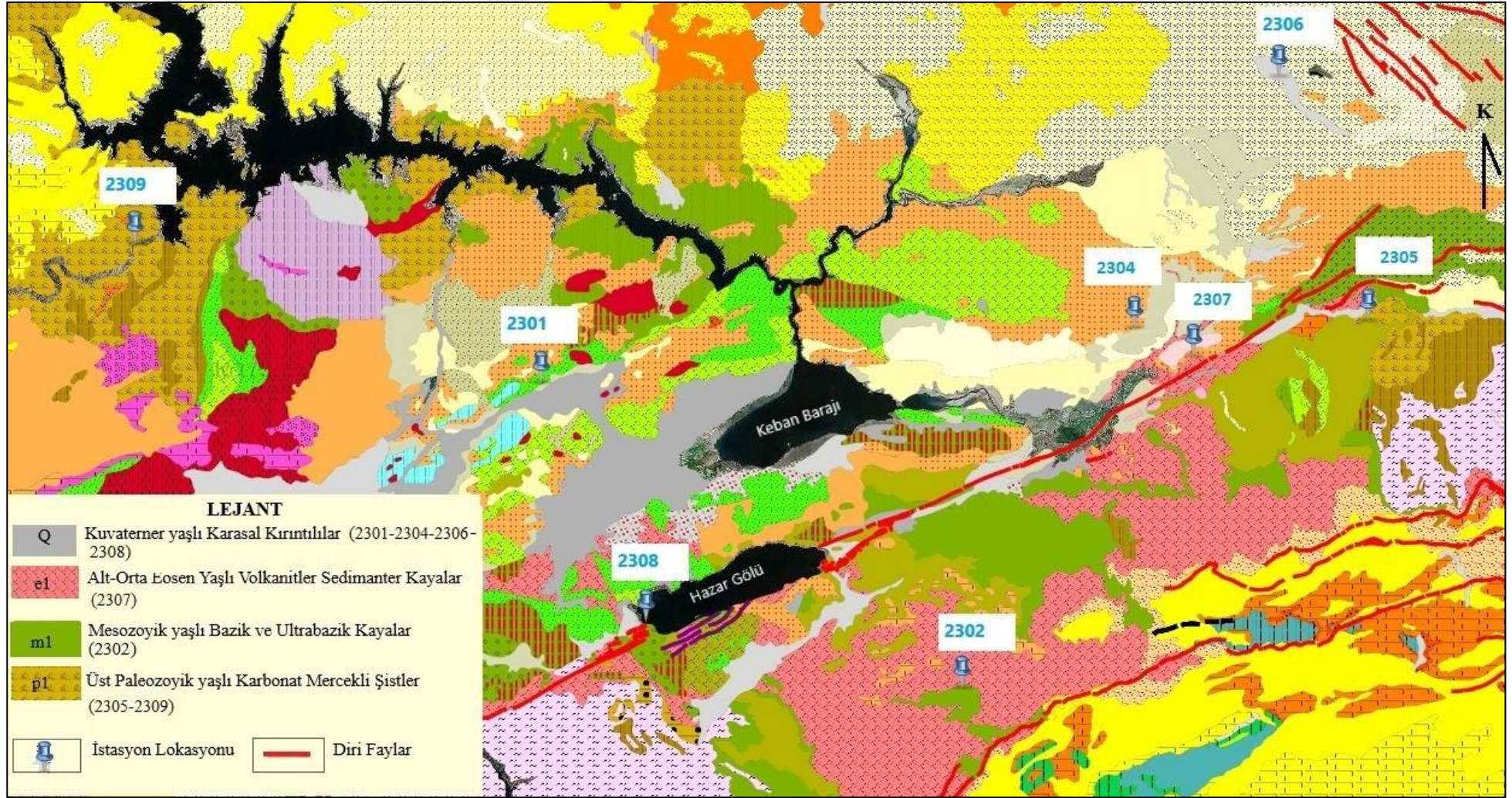
Elazığ'ın kuzey-kuzeybatısındaki alanda görülen formasyon çakıltaşı ve kaba taneli kumtaşı ile başlar, kumlu kireçtaşları ile devam eder ve en üstlerde kumtaşı-marn aralanması ile sonlanır (Turan ve Bingöl, 1991). Keban Metamorfikleri ile Kırkgeçit Formasyonu'nu üzerleyen birimin yaşı Erken Miyosen'dir (Perinçek, 1979; Turan, 1984; Avşar, 1989; Turan ve Bingöl, 1991). Ayrıca bu formasyon Neotetis'in kapanma dönemiyle bağlantısı olan sığ deniz fasiyesiyle temsill edilir (Türkmen ve Aksoy, 1998).

Karabakır formasyonu

Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Karabakır Formasyonu alacalı renkli, düzenli tabakalanmalı aglomera, killi kireçtaşları, kumtaşı, çakıltaşı ve volkanitlerden oluşmaktadır. Bu formasyon Keban Metamorfikleri'ni, Elazığ Magmatitleri'ni ve Kırkgeçit Formasyonu'nu uyumsuzlukla örter (Türkmen, 1988; Palutoğlu, 2005).

Alüvyonlar

Geniş yayılım gösteren Kuvaterner yaşlı bu birimler kumlu çakıllar, siltli killer ve kumlu çakıllı killerden oluşmakta olup dane boyutları kuzeye doğru artmaktadır (Palutoğlu, 2005).



Şekil 2. Çalışma alanı jeolojisi ve kullanılan ivme-ölçer istasyonlarının konumları. (MTA 1/500.000 Jeoloji Haritasından yararlanılmıştır)

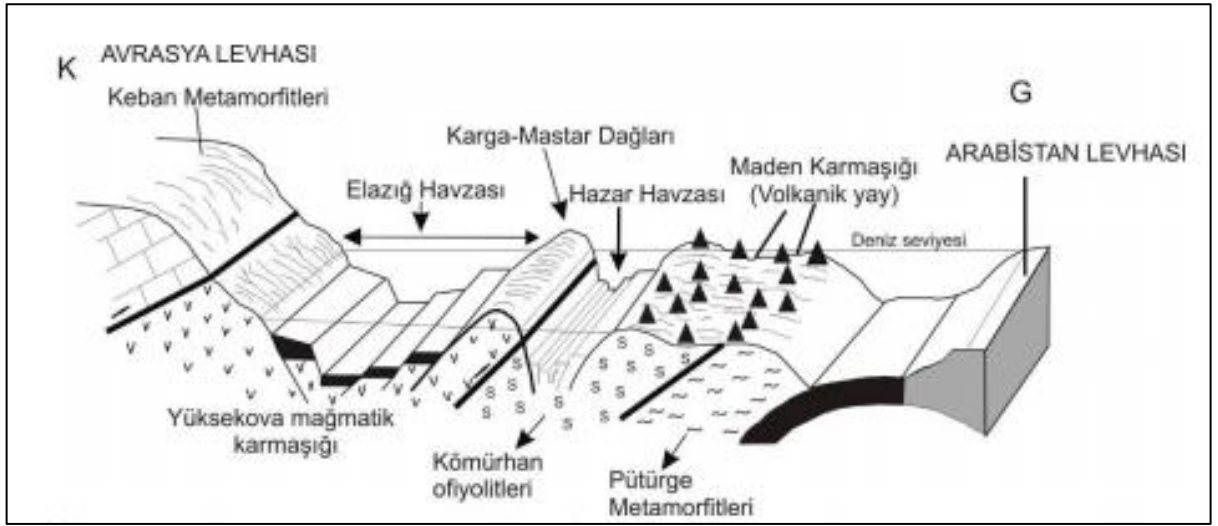
Geç Kretase başlarına kadar açılım maksimum boyuta ulaşmış ve sonrasında kuzey yönde Avrasya Plakası'nın altına doğru eğimli bir yitimle kapanmaya başlamıştır. Tetis Okyanusu, Orta Miyosenden sonra kıta-kıta çarpışması sonucu kapanarak Paleotektonik dönem sona ermiştir (Palutoğlu ve Tanyolu, 2006).



Şekil 4. Doğu Akdeniz'in aktif tektonik haritası. (Okay vd., 2000'den değiştirilerek alınmıştır) İçi dolu üçgenli çizgiler aktif dalma-batma zonlarını, içi boş üçgenli çizgiler karalardaki aktif bindirme kuşaklarını ve kalın çizgili hatlar normal fayları göstermektedir. Büyük koyu oklar litosferik plakaların hareket yönünü işaret etmektedir.

Kıta-kıta çarpışması, Doğu Anadolu'da Kuzey-Güney doğrultulu sıkışma rejimine sebep olarak, kıta kabuğunda kalınlaşmalar ile deformasyonlar oluşarak Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay sistemleri oluşmuştur. Bu deformasyonlar sonucu kuzey ve güneydeki levhalar birbirine yaklaşırken doğu ve batıdaki levhalar da her yıl ortalama 0.5-2.00 cm birbirinden uzaklaşmaktadır (Paluoğlu ve Tanyolu, 2006).

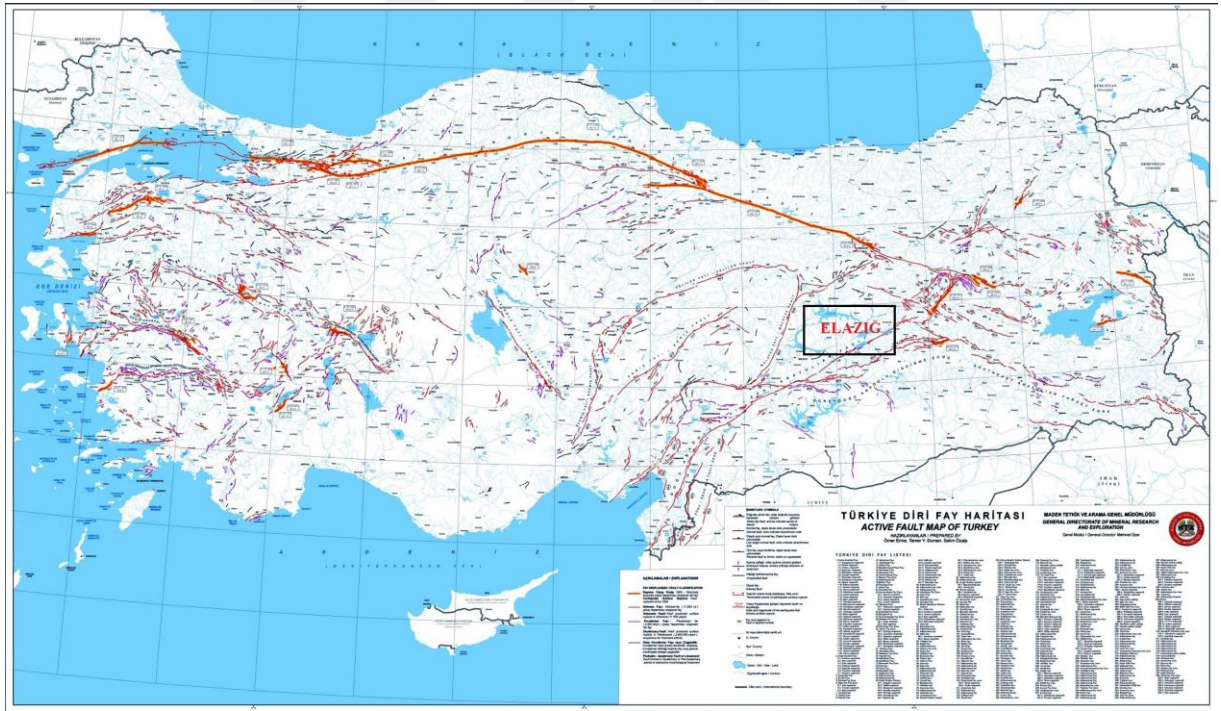
Elazığ Havzası ise Orta Eosen'de kuzey yönlü dalma-batma sırasında Arabistan levhasının Avrasya levhası altına dalması sonucu kuzeyde, Avrasya levhasında oluşan gerilmeler sonucu blok faylanmalar meydana gelmiş olup bu faylanmalar sonrasında Elazığ ve civarında derin deniz şartları kısa sürede hakim olmuştur. Böylelikle yaklaşan levha sınırlarında dalma-batmaya bağlı üstteki levhada gerilme kökenli bir yay-ardı havza meydana gelmiştir (Şekil 5) (Aktaş ve Robertson, 1984; Yazgan, 1984; Bingöl, 1984 ve 1987; Cronin vd., 2000a,b).



Şekil 5. Elazığ Havzası'nın jeotektonik konumu (Yazgan, 1984; Aktaş ve Robertson, 1984; Cronin vd., 2000a'dan alınmıştır)

Bölgedeki faylar

Türkiye'de aktif Kuzey Anadolu Fayı ile Doğu Anadolu Fay Sistemi bulunmakta olup, Elazığ yerleşim alanı ve çevresi Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAF) içerisinde bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Türkiye diri fay haritasında çalışma alanının konumu (1/2000000 ölçekli) (MTA, 2015)

DAFZ, Muş-Bingöl doğrultusunda uzanıp daha sonra güney-batıya yönelen ve Elazığ, Adıyaman, Kahraman Maraş ile Hatay iline kadar uzanan bir bölgeyi kapsamaktadır (Şekil 6).

Gölbaşı-Türkoğlu Segmenti: Gölbaşı ile Türkoğlu arasında uzanan K55D doğrultulu bu segment yaklaşık 90 km uzunluğundadır (Herece, 2003, Demirtaş, 2003).

Türkoğlu-Antakya Segmenti: 145 km uzunluğundaki bu segment Türkoğlu ile Antakya arasında yer alıp 145 K30-35D doğrultuludur (Herece, 2003, Demirtaş, 2003).

Tarihsel ve aletsel dönem kayıtları ise DAFZ'nun çok sayıda yıkıcı depreme yol açtığını göstermektedir. Elazığ civarındaki önemli fayların başlıcaları aşağıda özetlenmiştir.

Elazığ fayı

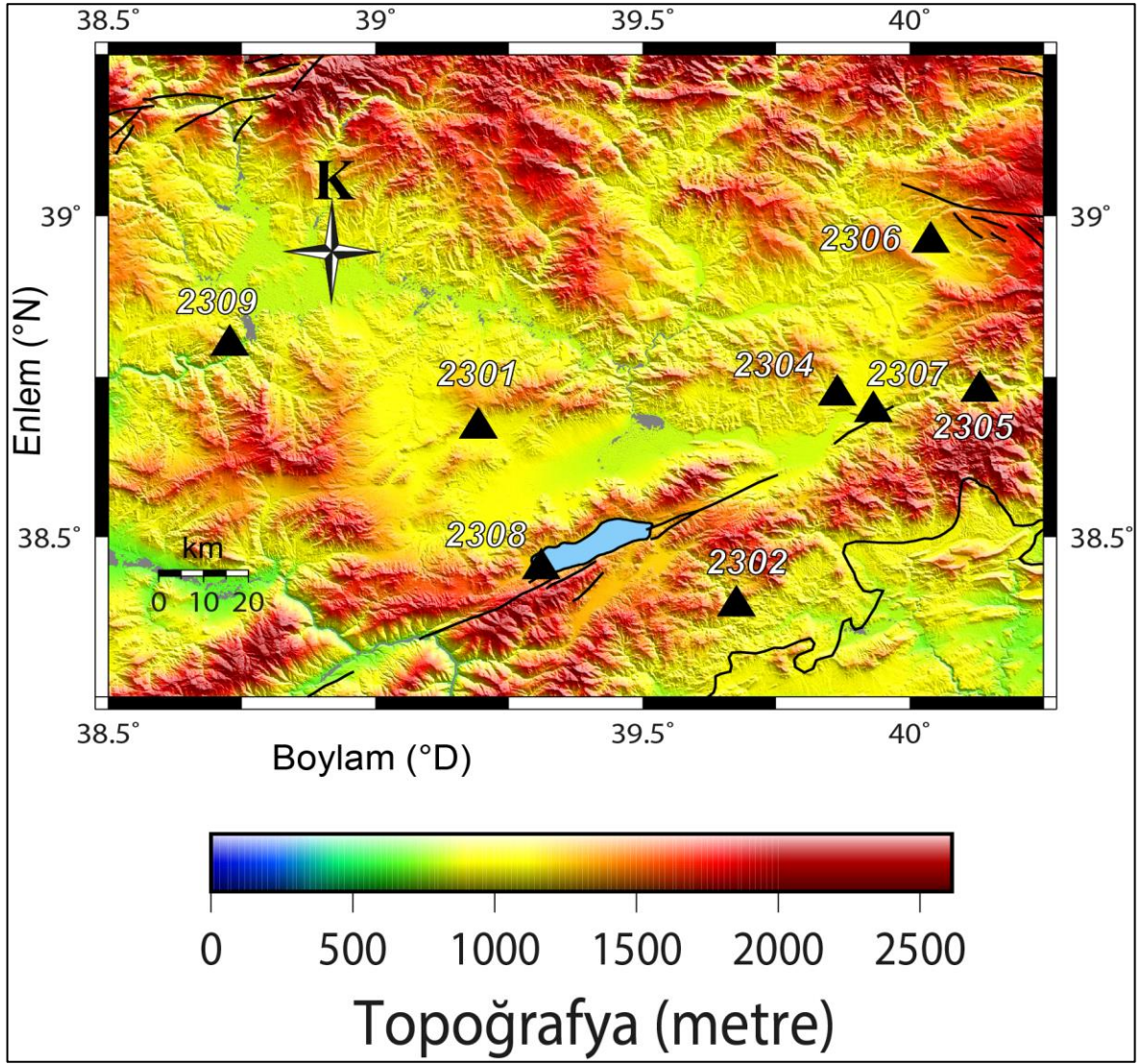
Elazığ Fayı yerleşim alanında yaklaşık olarak D-B doğrultulu bir ters faydır. Bu fayın bir kolu Karabakır Formasyonu'nun çakıltası-kumtaşı üyesini kestiğinden yaşı Üst Miyosen-Alt Pliyosen veya daha gençtir (Palutoğlu, 2005).

Palu-Sincik fay zone

Doğu Anadolu Fay Hattı'nın 145 km uzunluğundaki bir parçası olan bu fay Palu'nun güneyinde K60°D doğrultuludur. Hazar Gölü-Sivrice-Doğanyol hattından Şiro Çayı'na kadar uzanır ve bu hattın sonra kaybolur. Fay, Palu civarındaki Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı ile Oligosen yaşlı Kırkgeçit Formasyonu'nu birbirinden ayırır. Hazar Gölü kuzeydoğusunda Üst Kretase-Alt Eosen yaşlı Hazar Karmaşığını, gölün güneyinde ise Maden karmaşığını keserek güneybatı doğrultusunda uzanır. Sivrice çevresinde ise Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpaze çökellerini denetler (Paluoğlu ve Tanyolu ,2006).

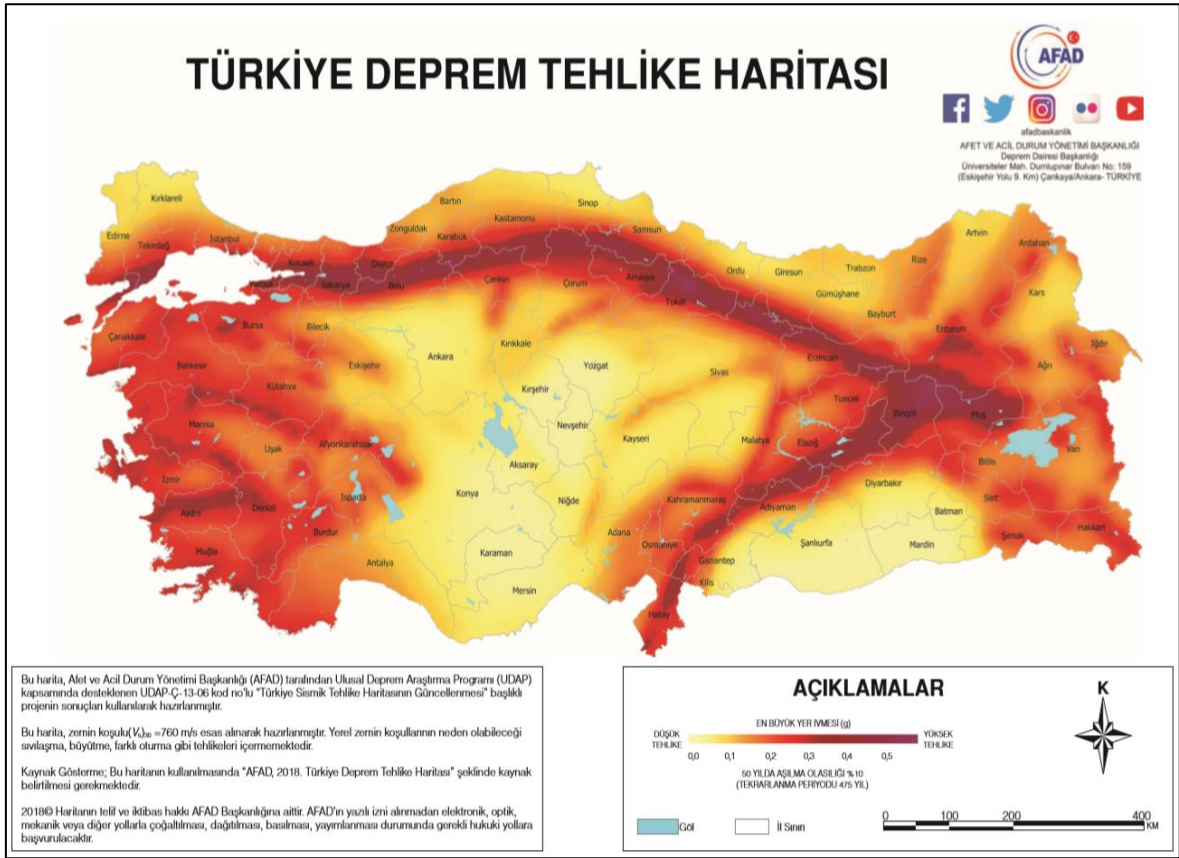
Sismotektonik

Elazığ ilinin genel topğrafyasına bakıldığında Güneydoğu Torosların batı uzantılarıyla çevrili olduğu görülmekte olup en yüksek rakımını 2118 metrede bulunan Hasan Dağı oluşturmaktadır. İvme-ölçer lokasyonları ise 2301 istasyonu 1071 m'de, 2302 istasyonu 1100 m'de, 2304 istasyonu 957 m.'de, 2305 istasyonu 600 m.'de, 2306 istasyonu 1100 m.'de, 2307 istasyonu 880 m.'de, 2308 istasyonu 1248 m.'de 2309 istasyonu 751 m.'de bulunmaktadır (Şekil 8).

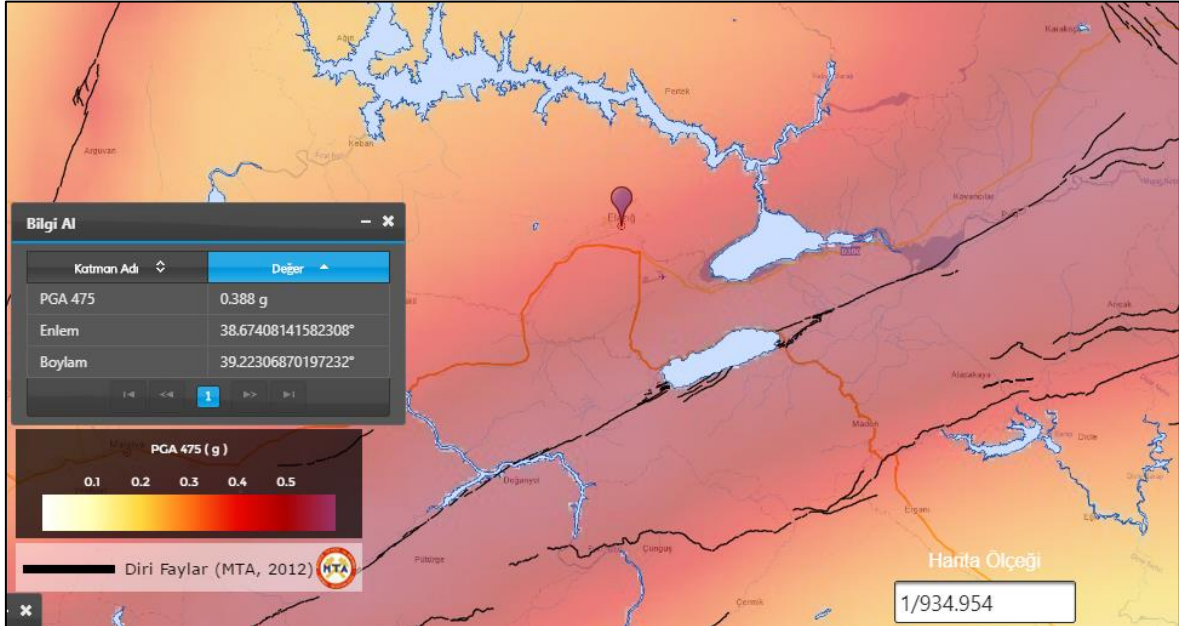


Şekil 8. Bu çalışmada kullanılan istasyonlara ait topoğrafik harita. (Emre vd., 2013 MTA) Elazığ ve yakın çevresinde bulunan faylara göre istasyonların konumları da görülmektedir. Siyah üçgenler ise bu çalışmada kullanılan istasyonları simgelemektedir. (Fay bilgileri MTA çizim editöründen sayısallaştırılmıştır.)

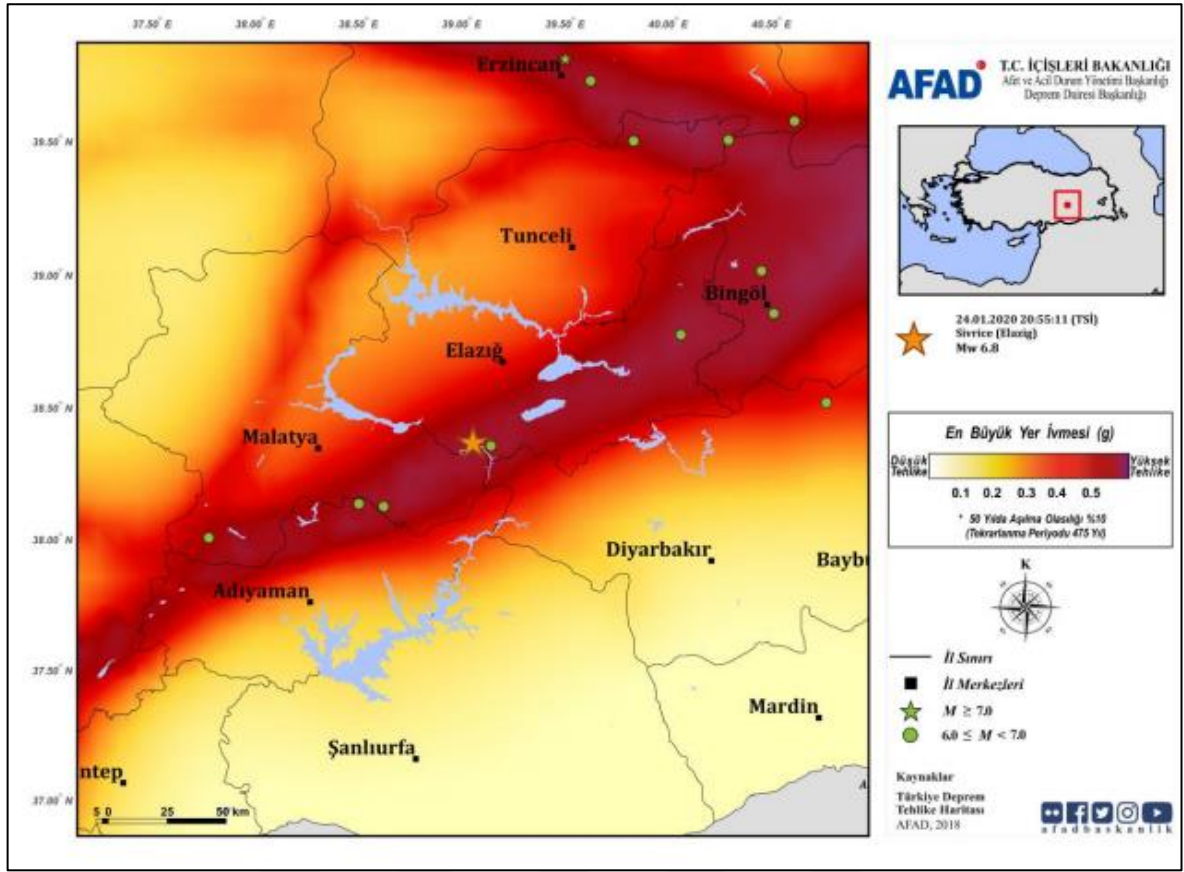
Elazığ Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan yukarıda bahsedilen aktif fay zonlarını barındıran sismik açıdan ise riskli bir ilimizdir (Şekil 9). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP) kapsamında desteklenen UDAP-Ç-13-06 kod no'lu "Türkiye Sismik Tehlike Haritasının Güncellenmesi" başlıklı projenin sonuçları kullanılarak hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike haritasına göre Elazığ ve çevresinin PGA değerleri 0,3 g ile 0,4 g arasında değişmektedir (Şekil 10 ve Şekil 11). Bu çalışmada kullanılan istasyonlarda kaydedilen depremlere ait ham PGA değerleri ise gal cinsinden Ek-2 de sunulmaktadır.



Şekil 9. Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)



Şekil 10. İnceleme alanı deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)



Şekil 11. İnceleme alanı deprem tehlike haritası (AFAD, 2018)

Bölgede günümüze kadar tarihsel ve aletsel dönemde büyük ve küçük ölçekte çok fazla deprem meydana gelmiş olup bu depremler aşağıda sıralanmaktadır:

Tarihsel dönem depremleri

Bu dönem 1900 yılından önce meydana gelen depremleri kapsamaktadır (Şekil 7). Bunlar;

- 1544 Elbistan,
- 1568 Lazkiye,
- 21 Ocak 1626 Halep,
- 15 Nisan 1726, Harim,
- 25 Eylül 1738 Amik Gölü,
- 28 Mayıs / 2 Haziran 1789 Elazığ (Palu) ,
- 26 Nisan 1796 Latakya (Lazkiye),
- 3 Nisan 1872 Hatay,
- 1873–1874 –1875 Elazığ,
- 1875 Palu depremleridir

Tarihsel dönem depremleri incelenerek DAFS üzerinde Palu-Bingöl arasında ve Gölbaşı-Türkoğlu arasında iki sismik boşluk olduğu tespit edilmiştir (Barka, 1988; Nalbant, 2002; Demirtaş, 2003). DAFS boyunca büyük kentlerin olması ve üzerinde Atatürk, Karakaya, Keban gibi barajların bulunması, bu fay sisteminin yakın bir zamanda deprem davranışının bilinmesinin deprem sonrası meydana gelebilecek zararların en aza indirilmesi açısından ne kadar mühim olduğunu ortaya koymaktadır (Demirtaş, 2019).

Aletsel dönem depremleri

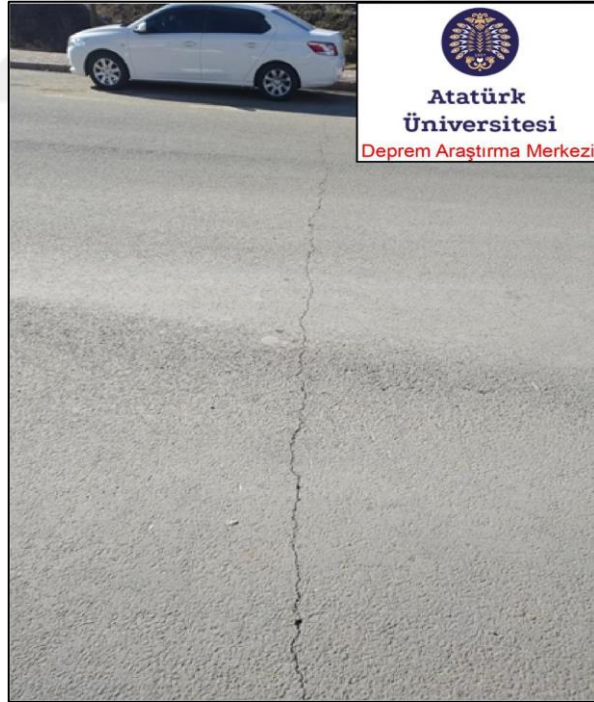
Bu dönem ise 1900 yılından sonra meydana gelen depremleri kapsamakta olup bu depremler;

- 4 Aralık 1905 Pütürge (Malatya) $M_s=6.8$,
- 18 Ağustos 1910 Palu (Elazığ) $M_w=5.0$ can kaybı 1 kişi hasarlı bina sayısı:1600
- 20 Mart 1945 Ceyhan (Adana) $M_s=6.0$,
- 22 Ekim 1952 Misis (Adana) $M_s=5.6$,
- 14 Haziran 1964 Sincik (Adıyaman) $M_s=6.0$,
- 24 Eylül 1968 Bingöl-Elazığ $M_s=5.1$, can kaybı 2 kişi
- 22 Mayıs 1971 Bingöl $M_s=6.8$,
- 26.03.1977 Palu (Elazığ) $M_w=5.2$, 25 km derinlikte, can kaybı 9 kişi, ağır hasarlı bina sayısı: 4841,
- 5 Mayıs 1986 Sürgü (Malatya) $M_w=6.0$,
- 22 Ocak 1997 Samandağ (Hatay) $M_w=5.7$,
- 27 Haziran 1998 Yüreğir (Adana) $M_w=6.2$,
- 1 Mayıs 2003 Bingöl $M_w=6.3$,
- 11 Ağustos 2004 Sivrice (Elazığ) $M_w=5.6$, 4.6 km derinlikte, can kaybı 1 kişi, ağır hasarlı bina sayısı 4705,
- 09 Şubat 2007 Sivrice (Elazığ) $M_w=5.5$,
- 21 Şubat 2007 Sivrice (Elazığ) $M_w=5.7$ ve 22.6 km derinlikte ağır hasarlı bina sayısı 4390
- 08 Mart 2010 Kovancılar (Elazığ) $M_w=6.1$ can kaybı 42 kişi,
- 4 Nisan 2019 Sivrice (Elazığ) Depremi $M_w=5.2$ (Bikçe, 2015).

Tarihsel ve aletsel dönemdeki bu depremlerden tarihsel dönemde gerçekleşmiş olan 1789 Palu (Elazığ) depreminin 7.0 büyüklüğünde olduğu ve yaklaşık 51.000 kişinin hayatını kaybettiği (Ambraseys ve Finkel, 1995) aletsel dönemde ise 1977 yılında Palu (Elazığ)

‘ da 5.2 büyüklüğünde meydana gelen depremde Palu’nun yıkıldığı ve yeni Palu olarak inşa edilen yere taşındığı yapılan araştırmalarla ortaya konmuştur. Bu verilere göre bu depremlerin yıkıcı olduğu ve gelecekte de bu bölge ve civarında DAF zonu üzerinde depremlerin tekrarlanma aralıkları incelenerek ne zaman olabileceği yaklaşık olarak tahmin edilebilir (Şaroğlu vd., 2018).

Çalışma alanında bu depremler dışında yakın zamanda 24 Ocak 2020 tarihinde, yer kabuğunun yaklaşık 8 km odak derinliğinde ve Mw 6,8 büyüklüğünde Elazığ’da Sivrice depremi meydana gelmiştir. Bu tezin çıkış kaynağı yukarıda bahsedilen Palu depremleri ile Sivrice depremidir. Ağır hasarlara sebep olan bu depremde AFAD verilerine göre 41 kişi yaşamını yitirmiş ve 1607 kişi yaralanmıştır. 547 bina tamamen yıkılmış, 6270 binada ağır hasar, 962 binada orta hasar ve 10273 binada az hasar meydana gelmiştir (ATADAM, 2020). Depremlerde meydana gelebilecek can ve mal kayıplarını en aza indirebilmek amacıyla zemini iyi tanımak, bu tezde ortaya konulmaya çalışılan zemin dinamik özelliklerini belirlemek ve yapılaşmayı zemin koşullarına göre tasarlamak büyük önem arz etmektedir. Depremde oluşan hasarlara ait görüntüler Şekil 12, Şekil 13, Şekil 14 ve Şekil 15’ te görülmektedir.



Şekil 12. Elazığ ili Sivrice ilçesindeki asfalt yolda gözlemlenen fay çatlakları (ATADAM, 2020)



Şekil 13. Elazığ Sivrice’den hasar gören yapılara ait görseller (ATADAM, 2020)



Şekil 14. Elazığ Sivrice Merkez Camiinde meydana gelen hasar (ATADAM, 2020)

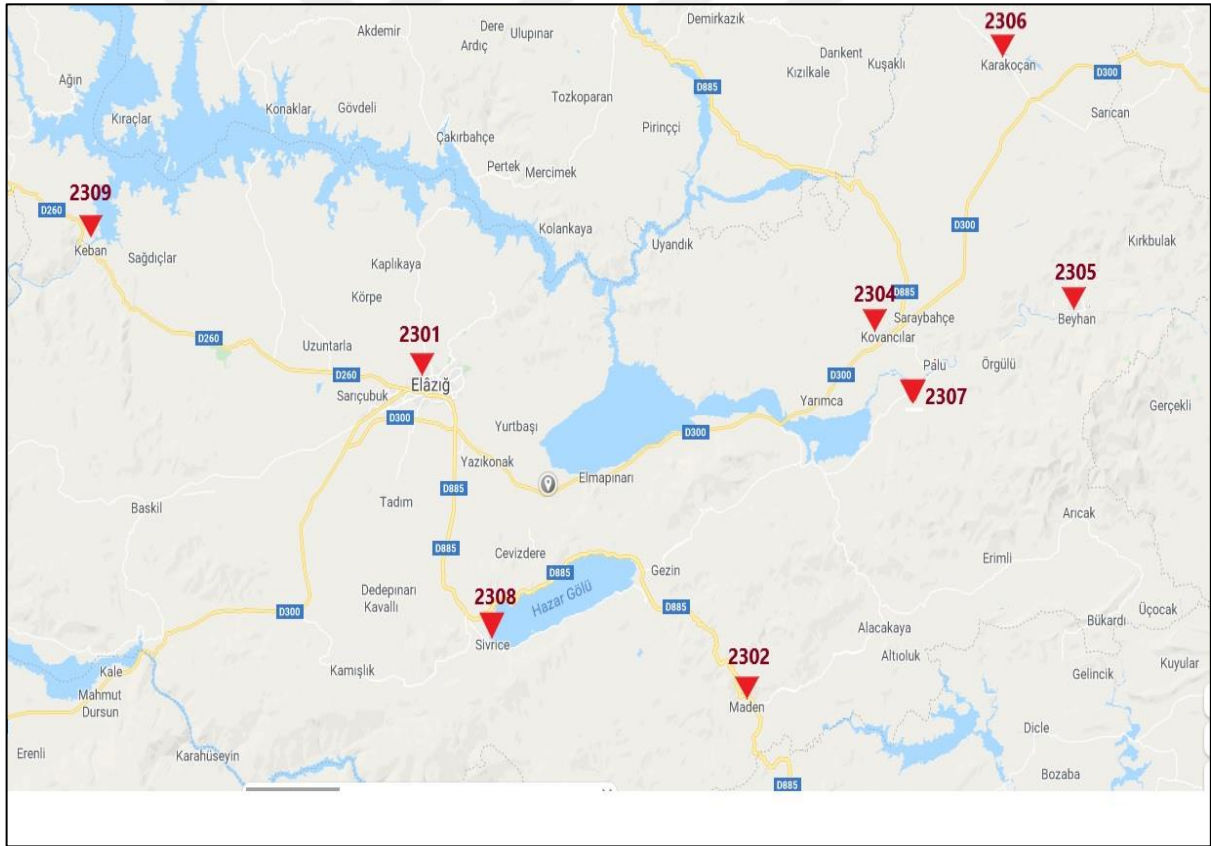


Şekil 15. Elazığ Sivrice Merkez Camii içindeki kolonda meydana gelen hasar (ATADAM, 2020)

MATERYAL ve METOT

Çalışma Alanı ve İstasyonlar

Çalışma alanı, 8 adet ivme-ölçer istasyonlarının kurulu olduğu Elazığ Merkez, Maden, Keban, Sivrice, Kovancılar, Palu ve Karaçoban ilçelerini kapsamaktadır (Şekil 16). MTA 'nın 1/500.000 ölçekli jeoloji haritasından faydalanılarak istasyonların kurulu olduğu lokasyonların jeolojisi ve stratigrafik dizilimi ortaya konulmuştur (Şekil 2). İstasyonların lokasyonları incelendiğinde, 2301, 2304, 2306 ve 2308 lokasyonlarının en genç birim olan Kuvaterner yaşlı Ayrılmamış karasal kırıntılılar, 2307 istasyonunun Alt-Orta Eosen yaşlı Volkanik ve Sedimanter kayalar, 2302 istasyonunun Mesozoyik yaşlı Bazik ve Ultrabazik kayalar, 2305 ile 2309 istasyonlarının da Üst Paleyozoyik yaşlı Karbonat mercekli şistler üzerinde konumlandığı gözlenmiştir (Tablo 1).



Şekil 16. İvme-Ölçerlerin Lokasyonlarını gösterir yer bulduru haritası

Tablo 1. İstasyonların bulunduğu jeolojik birimlerim stratigrafik dizilimi (MTA 1/500.000 Jeoloji Haritasından yararlanılmıştır)

İstasyon Kodu	Jeolojik Birim	Jeolojik Yaş	Simge
2301	Ayrılmamış karasal kırıntılılar	Kuvaterner	Q1
2304			
2306			
2308			
2307	Volkanitler ve sedimenter kayalar	Alt-Orta Eosen	e1
2302	Bazik ve ultrabazik kayalar	Mesozoyik	m1
2305	Karbonat mercekli şistler	Üst Paleyozoyik	p1
2309			

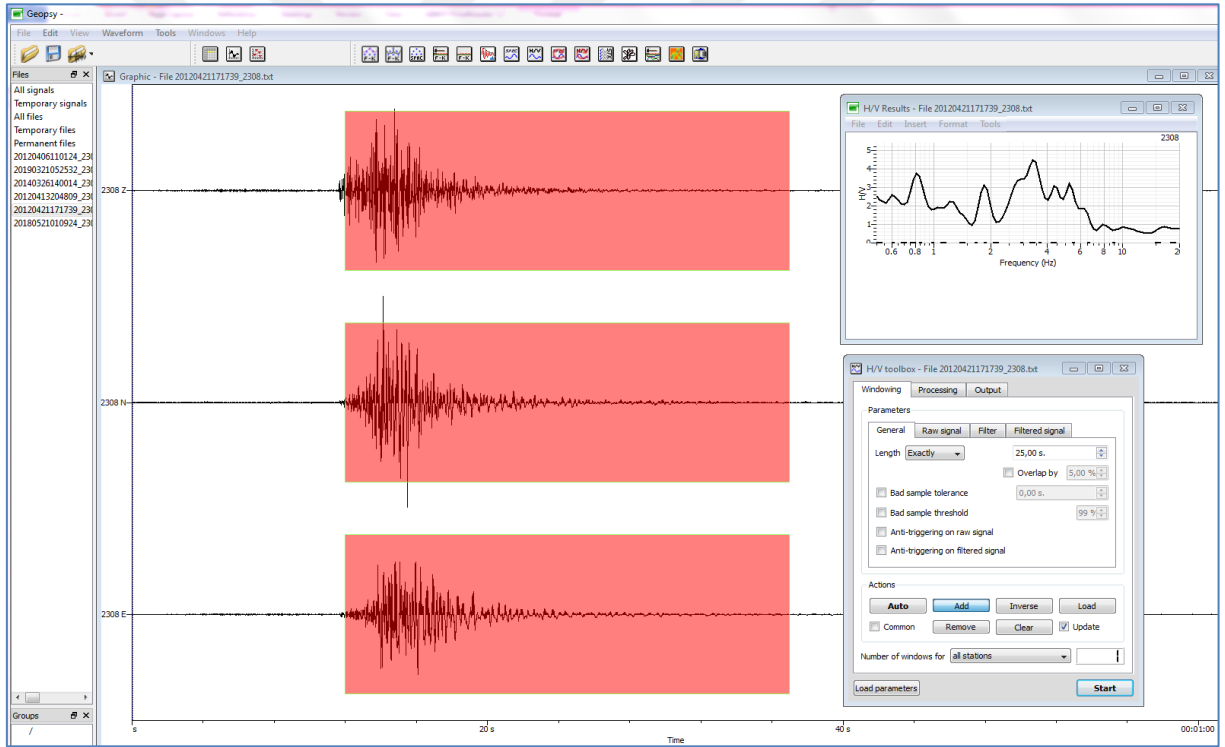
Materyal

Elazığ merkez ve çevre ilçelerindeki lokasyonlarda kurulu AFAD Deprem Daire Başkanlığı Kuvvetli Yer Hareketi Gözlem Ağına ait 8 adet ivme-ölçer istasyonu altındaki zemin özelliklerinin deprem kayıtları kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Depremlere ait ivme kayıtları ve ilgili bilgiler AFAD web sitesinden indirilmiştir. İstasyonlara ait bilgiler Tablo 2’de verilmiştir.

Deprem-zemin ortak davranış özelliklerinin dinamik koşullar dikkate alınarak belirlenebilmesi için en güvenilir yaklaşım direkt deprem verilerinin kullanılmasıdır (Yalçinkaya ve Alptekin, 2003). Bu bağlamda 1994 ile 2019 yılları arasında büyüklükleri 2.7 ile 6.4 arasında değişen 384 adet depreme ait 891 kayıt verisinden yararlanılmıştır. Bu depremlere ait veriler Ek 1 de verilmiştir. Farklı zeminlerdeki zemin büyütme değerlerinin hesaplanabilmesi için yukarıda da bahsedildiği gibi en başarılı sonuç veren EHV yöntemi kullanılmıştır. İvme-ölçer istasyonlarındaki deprem kayıtları kullanılarak özellikle S- dalga genliklerinin 2-3 sn öncesinden başlamak kaydıyla tüm deprem genliğini içine alacak şekilde 10 sn, 25 sn ve 50 sn lik pencereler kullanılarak, istasyon altındaki zeminlerin özellikleri incelenmiştir (Şekil 17).

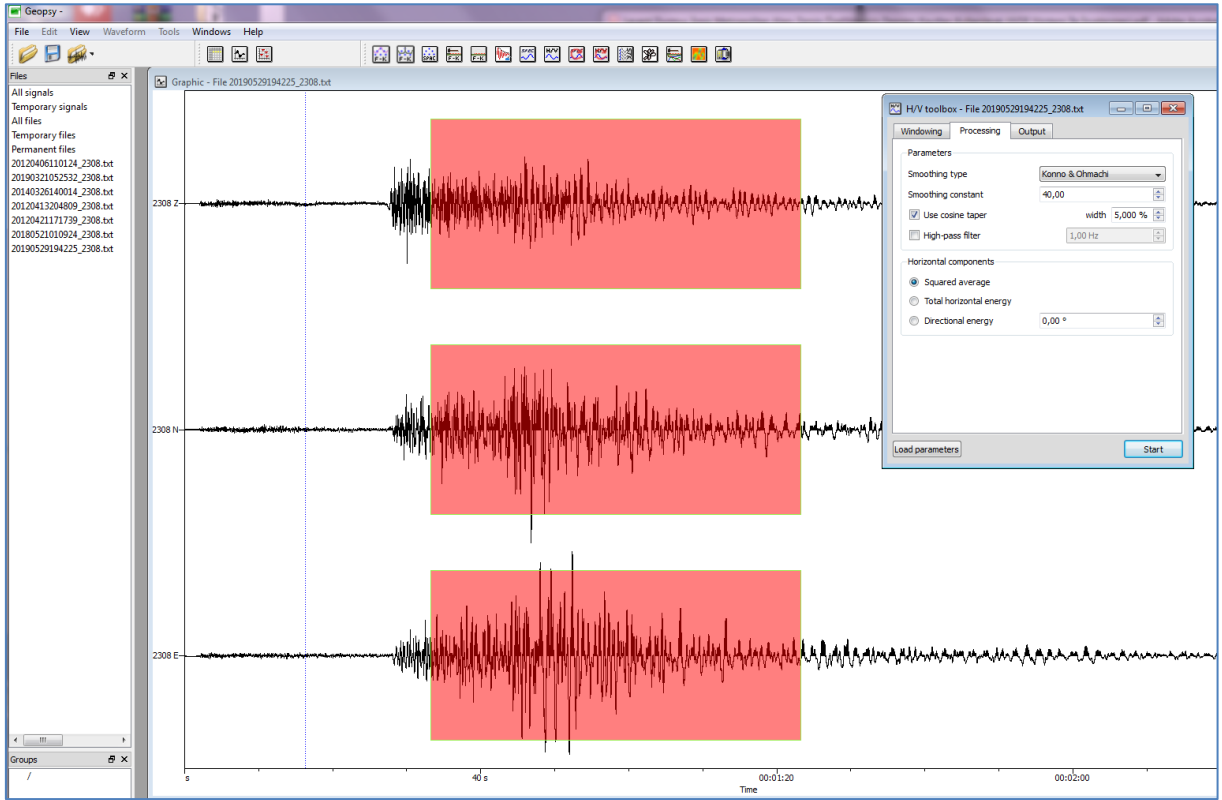
Tablo 2. AFAD İvme-ölçer İstasyonlarına ait konum, koordinat ve rakım bilgileri

İstasyon Kodu	İstasyon Konumu	Enlem (E)	Boylam (N)	Yükseklik (m)
2301	Elazığ Merkez	39,19267	38,67043	1071
2302	Elazığ Maden	39,67541	38,39231	1100
2304	Elazığ Kovancılar	39,86441	38,72174	957
2305	Elazığ Palu	40,13103	38,72778	600
2306	Elazığ Karakoçan	40,03927	38,95945	1100
2307	Elazığ Palu	39,93199	38,69583	880
2308	Elazığ Sivrice	39,31020	38,45063	1248
2309	Elazığ Keban	38,72728	38,79913	751



Şekil 17. Geopsy Programında 21 Nisan 2012 tarihli depremin veri analizine örnek (SESAME 2004)

Üç bileşenli (K-G, D-B ve Z) deprem kayıtları programda 100 Hz ile sayısallaştırıldıktan sonra üç bileşenin genlik spektrumları hızlı Fourier dönüşümü (FFT) algoritması kullanılarak hesaplanmış ve salınımların etkisini ortadan kaldırmak amacıyla da Konno ve Ohmachi filtresi uygulanmıştır (Şekil 18). Yatay bileşenlerin genlik spektrumlarının düşey bileşen genlik spektrumlarına oranlanması ile de standart EHV grafikleri elde edilmiştir (Perk ve Ozer, 2019).



Şekil 18. Geopsy Programında Konno ve Ohmachi filtresinin uygulanaşına örnek

Metot

Zeminlerin dinamik davranışını ortaya koymak amacıyla farklı yöntemler geliştirilmiş ve farklı araştırmacılar tarafından uygulanmıştır. Literatürde kullanılan yöntemlerin başlıcaları şunlardır.

- Gürültü kayıtları kullanılarak hesaplanan Yatay/Düşey Spektral Oran NHVSR (Nakamura,1989) Yöntemi
- Deprem kayıtları kullanılarak hesaplanan Yatay/Düşey Spektral Oran EHV (Lermo&Chavez Garcia, 1993) Yöntemi
- Referans istasyon seçilerek kullanılan Standart Spektral Oran (SSR) Yöntemi

Nakamura (NHVSR) tekniğı

Nakamura Tekniğı diğer adıyla tek istasyon yöntemi belirli bir alanda gürültü kayıtları geçmişli kullanılarak seçilen penceredeki yatay ve düşey bileşenin spektral oranının hesaplanması esasına dayanır. Nakamura (1989) tarafından geliştirilmiştir.

Bu yöntem literatürde tek istasyon yöntemi olarak da bilinir. Günümüzde yaygın olarak kullanılmasının sebebi kısa sürede ölçüm ve veri alabilme, istasyon kurulumunun kolay olması ve çok fazla maliyet gerektirmemesidir. Bu yöntem kullanılarak zeminlerin

hakim titreşim periyotlarını tespit etmeye yönelik çok fazla çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan 2. Bölümde bahsedilmiştir (Karabulut, 2005).

EHV tekniği

Bu teknikte depremler kaynak ve yol etkilerini ortadan kaldırırken yerel zemin etkileri hakkında bilgi verir (Langston, 1977). Dikey bileşen dalgaların genliğinde çok fazla bir değişim olmadığını fakat buna karşılık yatay bileşen dalgalarının içinden geçtiği zemin özellikleri tarafından etkilendiğini savunur. EHV metodu telesismik data kullanılarak kabuk ve üst manto yapıları hakkında bilgi elde etmek amacıyla Langston tarafından 1977 de önerilmiştir. EHV metodunda referans istasyona ihtiyaç yoktur. Belirli bir yapıdan etkilenmeyen düşey bileşen hareketinin belirli bir yapıdan etkilenmediğini oysaki yatay bileşenlerin yerel jeolojik tabakalanmaya bağlı P ve S dönüşümlerini içerdği savunulmaktadır.

Deprem-zemin ortak davranış özelliklerinin dinamik koşullar dikkate alınarak belirlenebilmesi için en güvenilir yaklaşım direkt deprem verilerinin kullanılmasıdır (Yalçinkaya ve Alptekin, 2003).

Bu yöntemde Nakamura tekniğinin temeline benzetmekle birlikte bir depremin yatay bileşenlerinin spektrumlarını düşey bileşen spektrumlarına bölerek zemin büyütmesi belirlenebilmektedir. (Lermo ve Chavez-Garcia, 1993). Ana kaya içindeki hareketin yatay ve düşey bileşenin eşit olduğu ve yatay bileşenin aksine düşey bileşenin yerel zemin koşullarından etkilenmediği varsayımına dayanır. Yapılan deneysel çalışmalar zemin hakim periyodunun belirlenmesinde oldukça başarılı bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur (Lachet ve Bard, 1994; Lachet vd., 1996; Bonilla vd., 1997).

SSR tekniği

Bu yöntemin temeli ise yerel zemin etkisinin tespit edileceği istasyondan alınan kayıtlar ile yerel zemin etkisi taşımadığı düşünülen ana kaya üzerinde kurulu bir referans istasyondan alınan kayıtlar ile karşılaştırılması esasına dayanır. Aradaki farkın yerel zemin etkisinden kaynaklanabilmesi için, kayıtlar üzerindeki kaynak ve ortam etkilerinin aynı olması gerekir. Aynı deprem kaydının kullanılması, kaynak etkisinin her iki istasyonda da aynı olmasını sağlar. Ortam etkilerinin aynı olması için bölgesel jeolojiye kadar dalgaların benzer yolu izlemeleri gerekir. Bunun için, karşılaştırılan iki istasyon arasındaki uzaklığın deprem kaynağına olan uzaklıktan küçük olması yeterli görülmektedir (Steidl vd., 1996). Bu yöntemdeki en büyük problem, bu şekilde yakın ve ana kaya üzerinde yer alan bir referans istasyonunun her zaman bulunmasının zor olmasıdır. Bazen de referans istasyonu ana kaya

zerinde olmasına rağmen kayanın kırıklı çatlaklı olması sebebiyle uygun referans istasyonu olarak kullanılamaz (Steidl vd., 1996; Lachet vd., 1996).



ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çalışma alanında farklı lokasyonlardaki (Tablo 3) 8 adet ivme-ölçer tarafından kaydedilen 384 adet depreme ait 891 adet kayıt verisinden yararlanılarak hazırlanan 8 ayrı EHV eğrisi Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24, Şekil 25, Şekil 26, Şekil 27 ve Şekil 28’de sunulmaktadır. Grafikler incelendiğinde hepsinde geometrik ortalama ile aritmetik ortalama eğrileri birbirine yakın trend gösterdiği görülmektedir. Bu grafiklerde amaç mühendislik açısından önem arz eden düşük frekanslardaki en yüksek pik yapan EHV değerini belirlemektir. Zemin hakim frekans ve EHV büyütme değerleri geometrik ortalamalar dikkate alınarak hesaplanmıştır (Tablo 3).

Tablo 3. İvme-Ölçer istasyonlarında hesaplanan zemin büyütme (EHV) ve hakim frekans değerleri

İstasyon Kodu	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Hakim Frekans (Hz)	EHV Büyütme
2301	39,19267	38,67043	1,20	1,86
2302	39,67541	38,39231	3,60	1,8
2304	39,86441	38,72174	6,30	3,61
2305	40,13103	38,72778	6,78	2,35
2306	40,03927	38,95945	1,31	2,47
2307	39,93199	38,69583	3,00	2,12
2308	39,31020	38,45063	3,60	3,34
2309	38,72728	38,79913	11,40	2,7

Ayrıca istasyonların bulunduğu lokasyonlar MTA’nın 1/500.000 ‘lik jeoloji haritasında konumlandırıldığında, jeolojik özelliklerine göre 4 farklı birim üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir. Buna göre:

- Ayrılmamış karasal kırıntılılar üzerinde 2301, 2304, 2306 ve 2308 istasyonları,
- Alt-Orta Eosen yaşlı Volkanik ve Sedimanter kayalar üzerinde 2307 istasyonu,
- Bazik ve Ultrabazik kayalar üzerinde 2302 istasyonu,
- Karbonat mercekli Şistler üzerinde ise 2305 ile 2309 istasyonları bulunmaktadır.

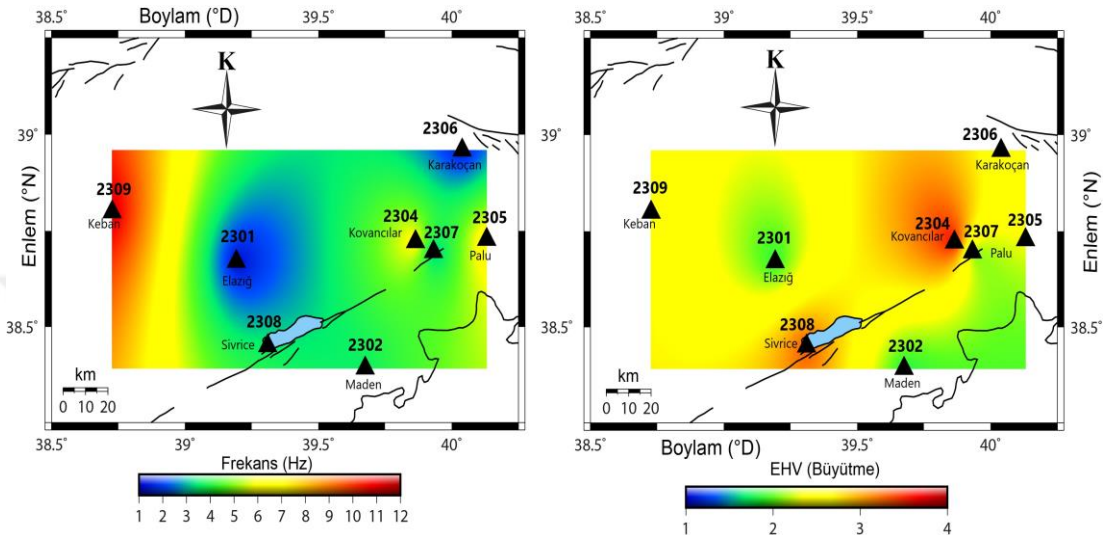
Karasal Kırıntılılar (Q) içeren Elazığ Merkez (2301), Kovancılar (2304) Karakoçan (2306) ve Elazığ Sivrice de (2308) da sırasıyla EHV genlikleri 1.86, 3.61, 2.47 ve 3.38 olup hakim frekans değerleri 1.20 Hz, 6.30 Hz, 1.31 Hz ve 3.60 Hz’dir.

Volkanik ve Sedimanter kayalardan (e1) oluşan Elazığ Palu (2307)’da EHV genliği 2.12, hakim frekans değeri 3.00 Hz.dir.

Bazik ve ultrabazik kayalardan oluşan (m1) Elazığ Maden (2302) de EHV genliği 1.80, hakim frekans değerleri 3.60 Hz dir.

Karbonat mercekli şistler (p1) içeren Elazığ Palu (2305)'da ve Elazığ Keban (2309) da sırasıyla EHV genlikleri 2.35 ve 2.70, hakim frekans değerleri 6.78 Hz ve 11.40 Hz dir.

Lokasyonlara ait zemin büyütme dağılım haritası ile zemin hakim frekans dağılım haritası Şekil 19'da verilmektedir.



Şekil 19. Zemin büyütme ve zemin hakim frekans dağılım haritası (Fay verileri MTA çizim editöründen sayısallaştırılmıştır (Emre vd., 2013; Emre vd., 2018))

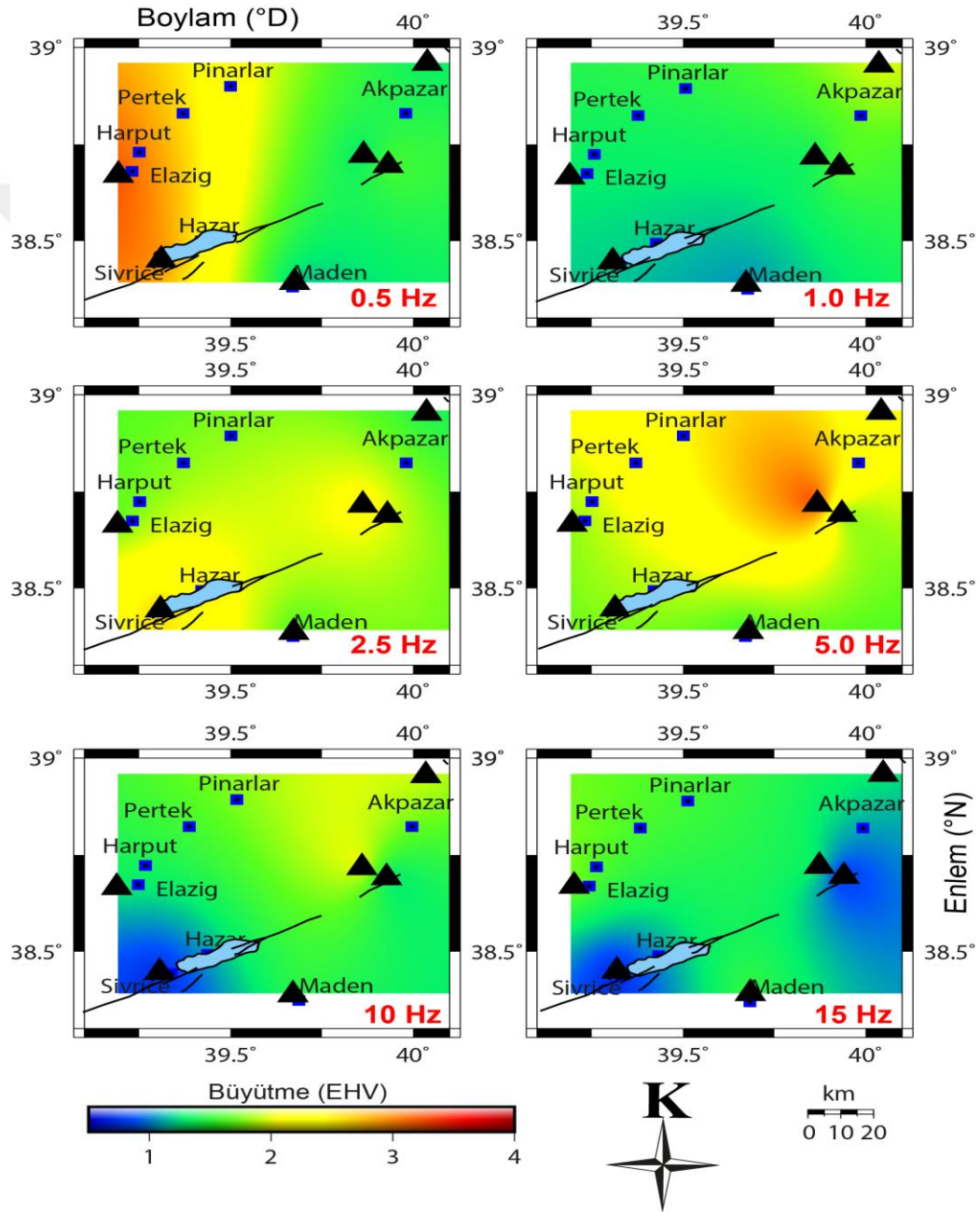
İvme-ölçer lokasyonlarının zemin hakim frekans haritası incelendiğinde hakim frekans değerinin 1.20 Hz ile 11,40 Hz arasında olduğu, EHV Büyütme değerlerine bakıldığında ise 1.8 ile 3,70 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 19).

Ayrıca farklı frekanslardaki zemin büyütme değerlerinin analiz edilebilmesi için 0,5 Hz, 1,0 Hz, 2,5 Hz, 5,0 Hz, 10 Hz, 15 Hz ve 20 Hz frekanslarına ait zemin büyütme değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu değerler Tablo 4'de sunulmakta olup değerlerin dağılımını gösteren farklı frekanslardaki zemin büyütme dağılım haritası ise Şekil 20'de gösterilmektedir.

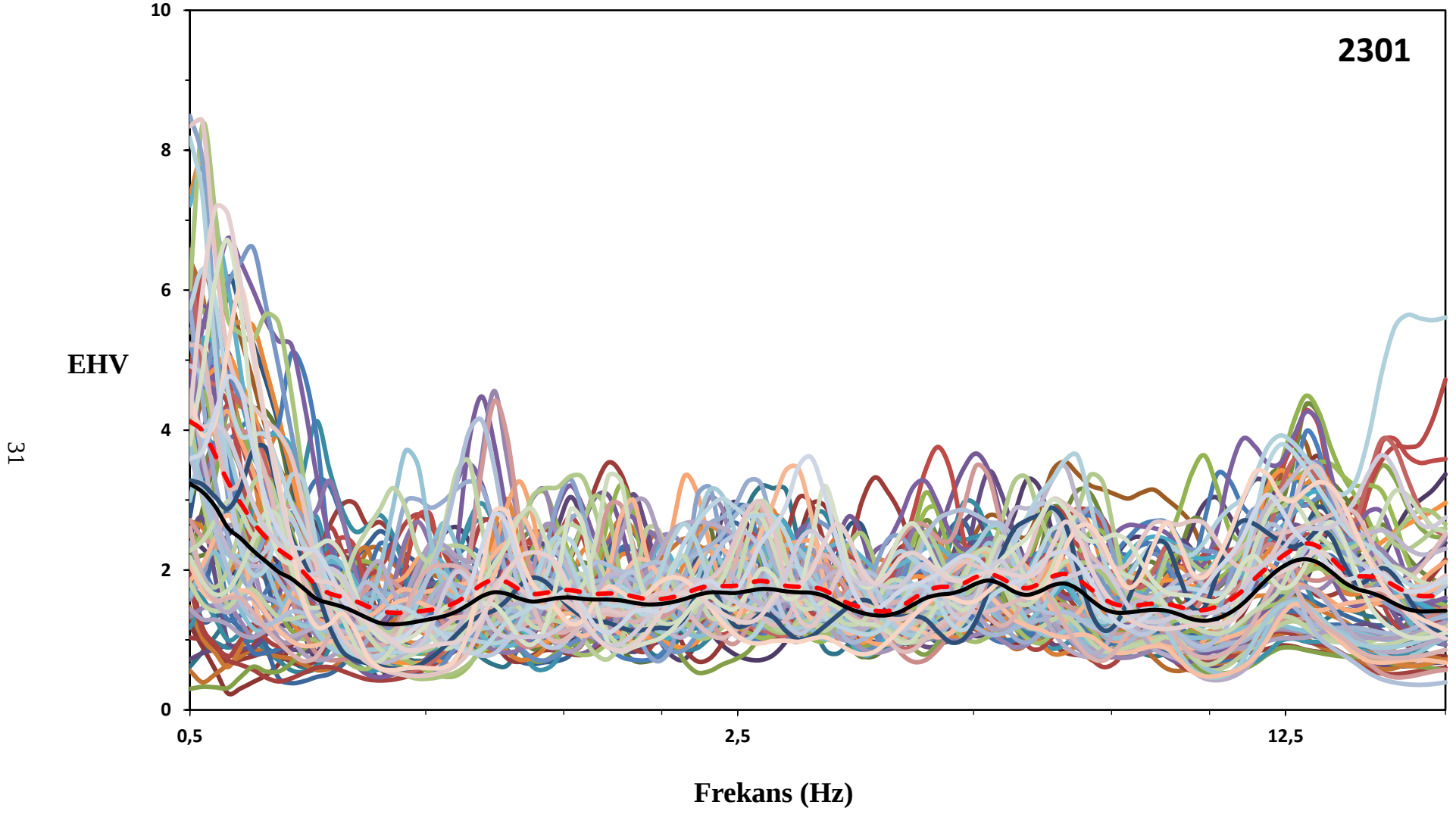
Tablo 4. İstasyonlardaki 5 Hz, 1,0 Hz, 2,5 Hz, 5,0 Hz, 10 Hz ve 15 Hz deki zemin büyütme değerleri

İstasyon Kodu	0,5 Hz	1,0 Hz	2,5 Hz	5,0 Hz	10 Hz	15 Hz
2301	3,23	1,29	1,69	1,80	1,30	1,72
2302	1,19	1,06	1,63	1,57	1,45	1,51
2304	1,30	1,37	2,15	3,27	2,01	1,30
2305	1,49	1,55	1,64	1,99	1,48	1,05
2306	1,32	1,99	1,40	2,12	1,94	1,27
2307	1,59	1,62	1,99	1,82	1,27	0,78
2308	2,94	1,20	2,63	1,80	0,71	0,67
2309	1,08	1,41	1,45	1,44	2,41	1,80

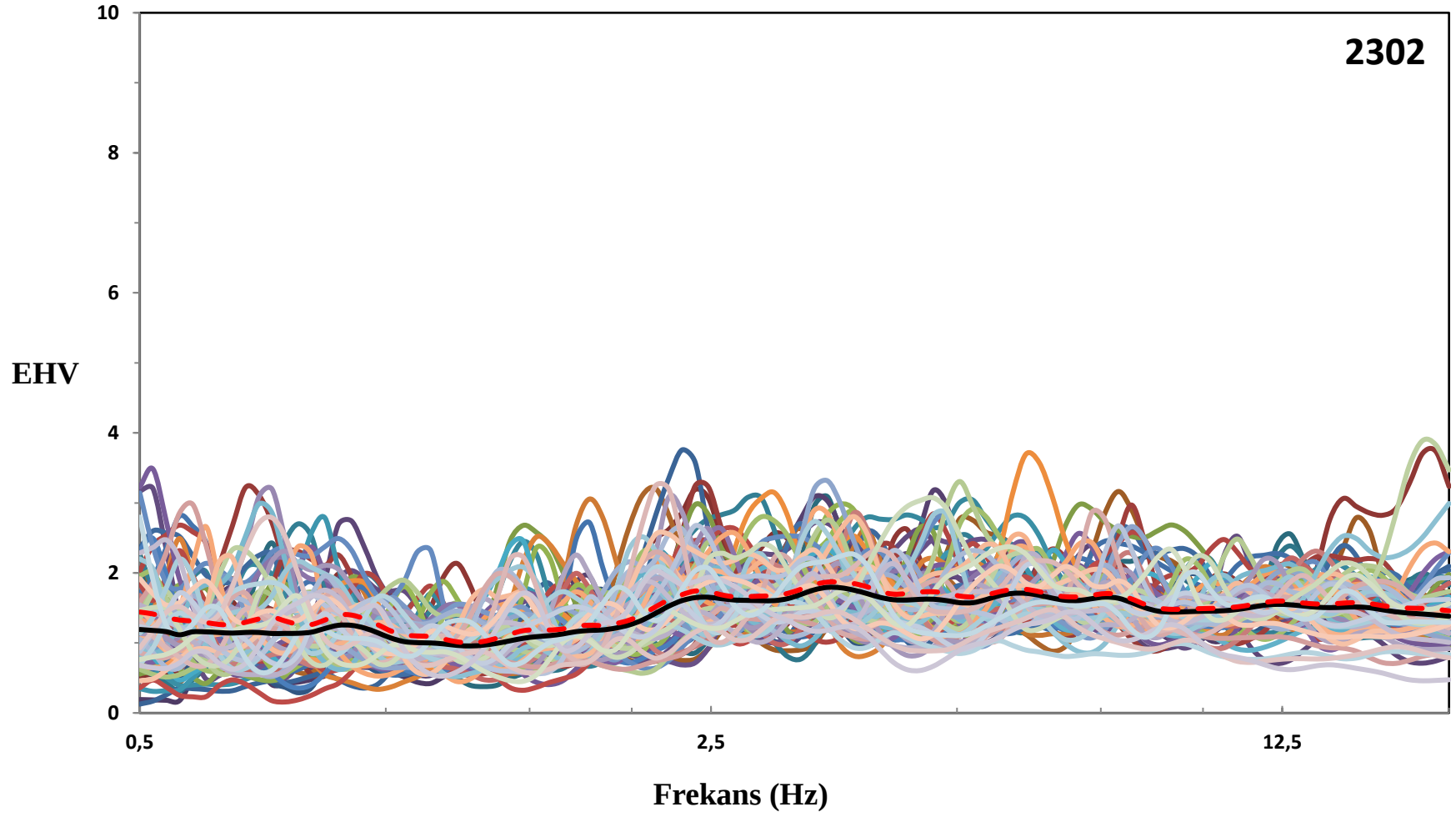
Şekil 20 incelendiğinde 0,5 Hz de belirgin olarak 2 noktada (Elazığ) Merkez 2301 istasyonu ile (Elazığ) Sivrice 2308 istasyonunda anamoli (büyütme) gözlenmekte; 5. Hz’ de ise Kovancılar 2304 istasyonunun olduğu alanda anamoli gözlenmektedir. Buna göre düşük frekanslardaki büyütmelerin yüksek katlı yapılar üzerinde etkisi varken, yüksek frekanslardaki büyütmelerin de düşük katlı yapılarda rezonans etkisine neden olduğu söylenebilir. Örneğin 0.5 Hz’deki bir büyütme ~20 katlı yapıda rezonans etkisi yaparken, 10 Hz’de bu etki ~1 katlı yapıda olacaktır. Dolayısıyla zemine özel yapılaşma çok önemlidir (Perk ve Ozer, 2019).



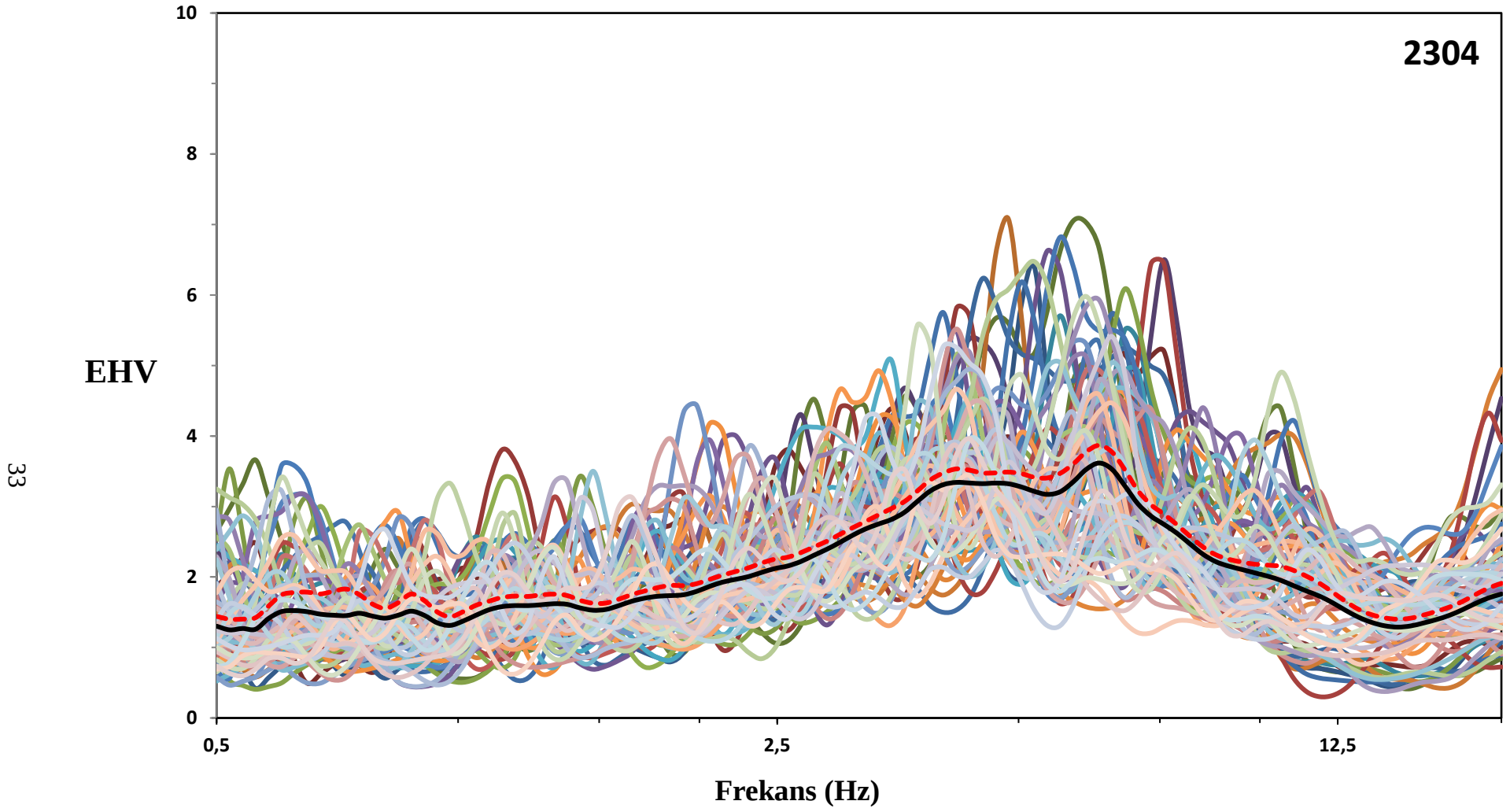
Şekil 20. EHV yöntemine göre istasyonlardaki büyütme değerlerinin frekanslara göre değişim haritası (Fay verileri MTA çizim editöründen sayısallaştırılmıştır (Emre vd., 2013; Emre vd., 2018))



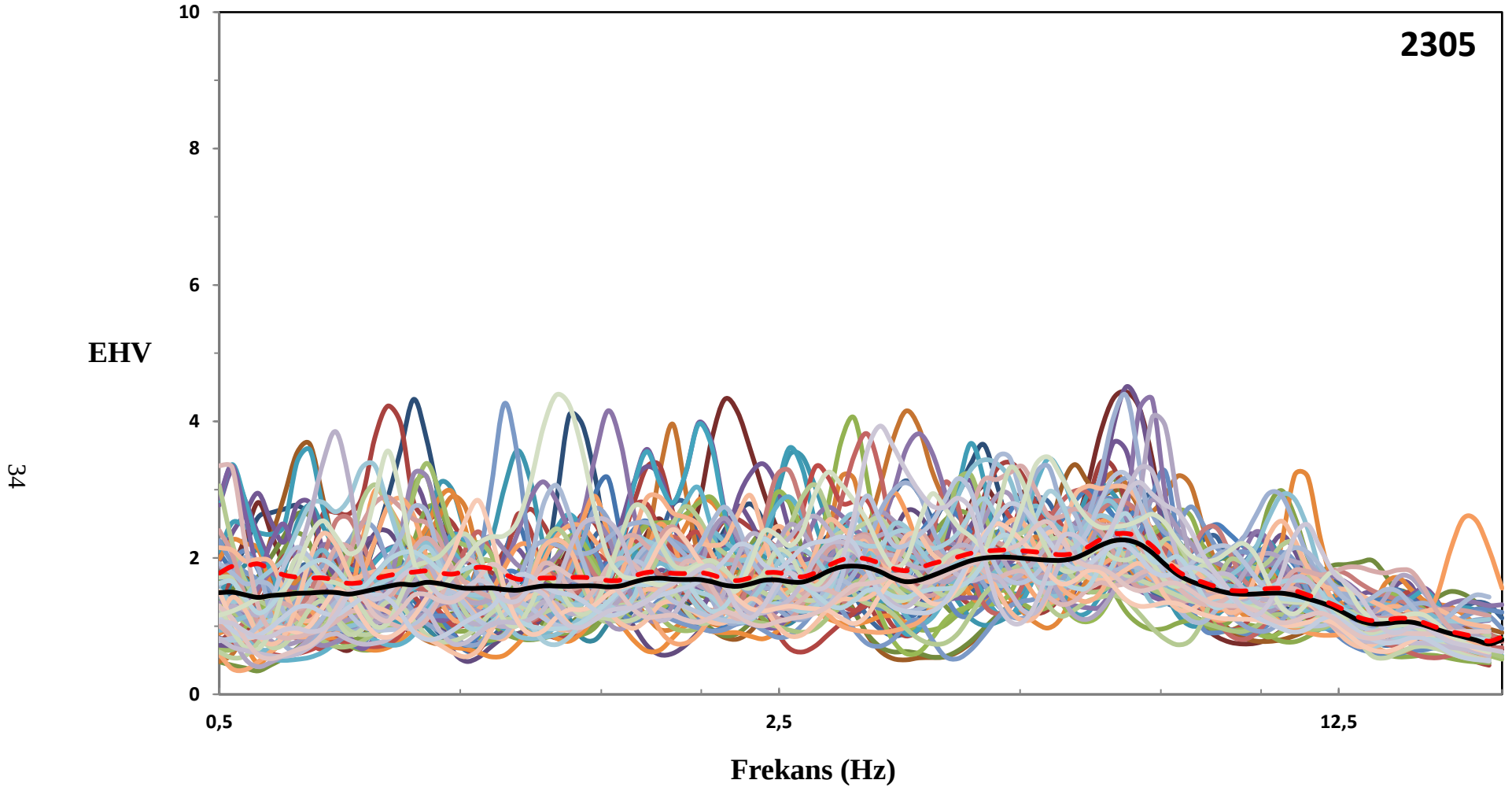
Şekil 21. 2301 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik



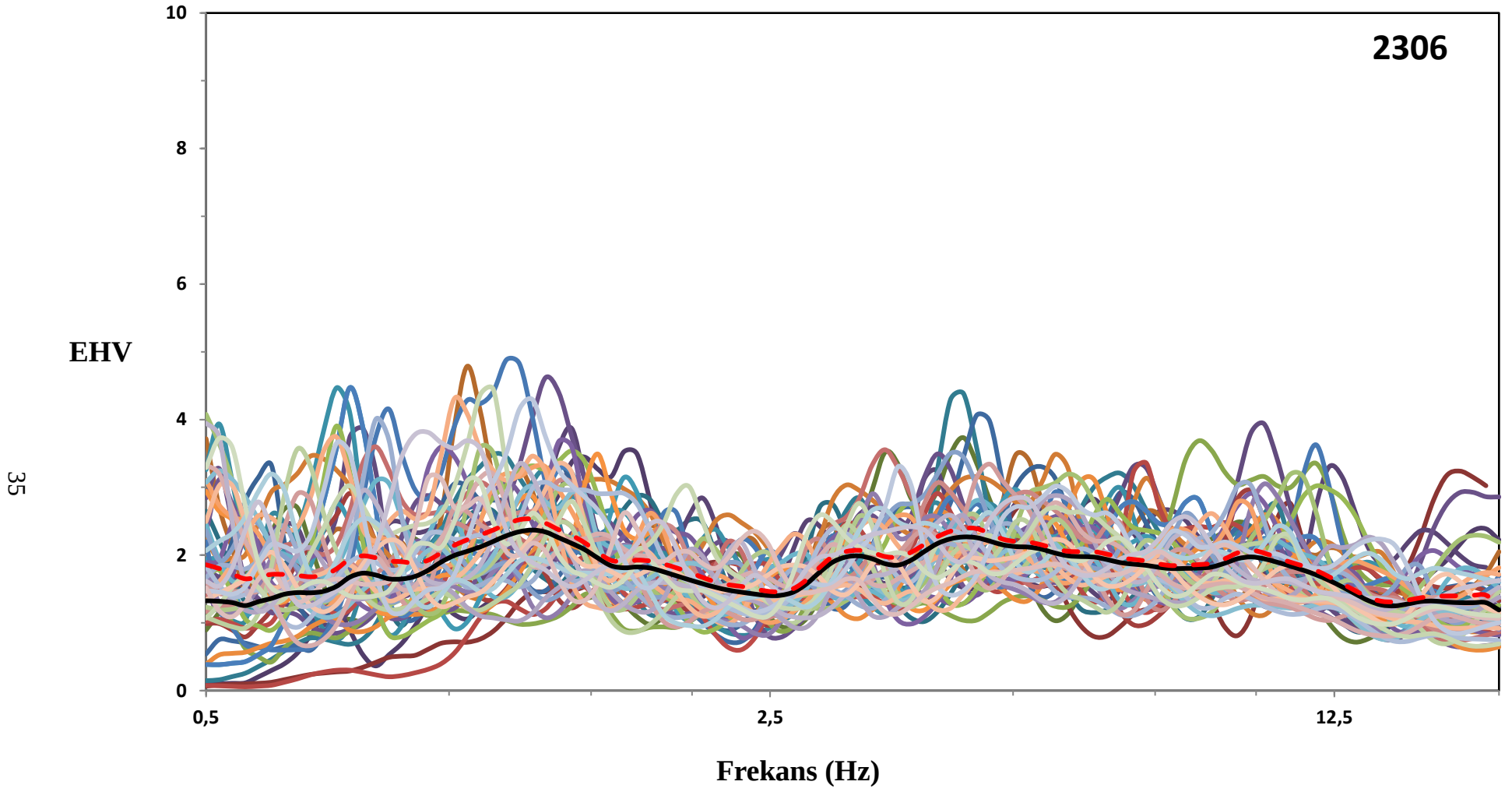
Şekil 22. 2302 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik



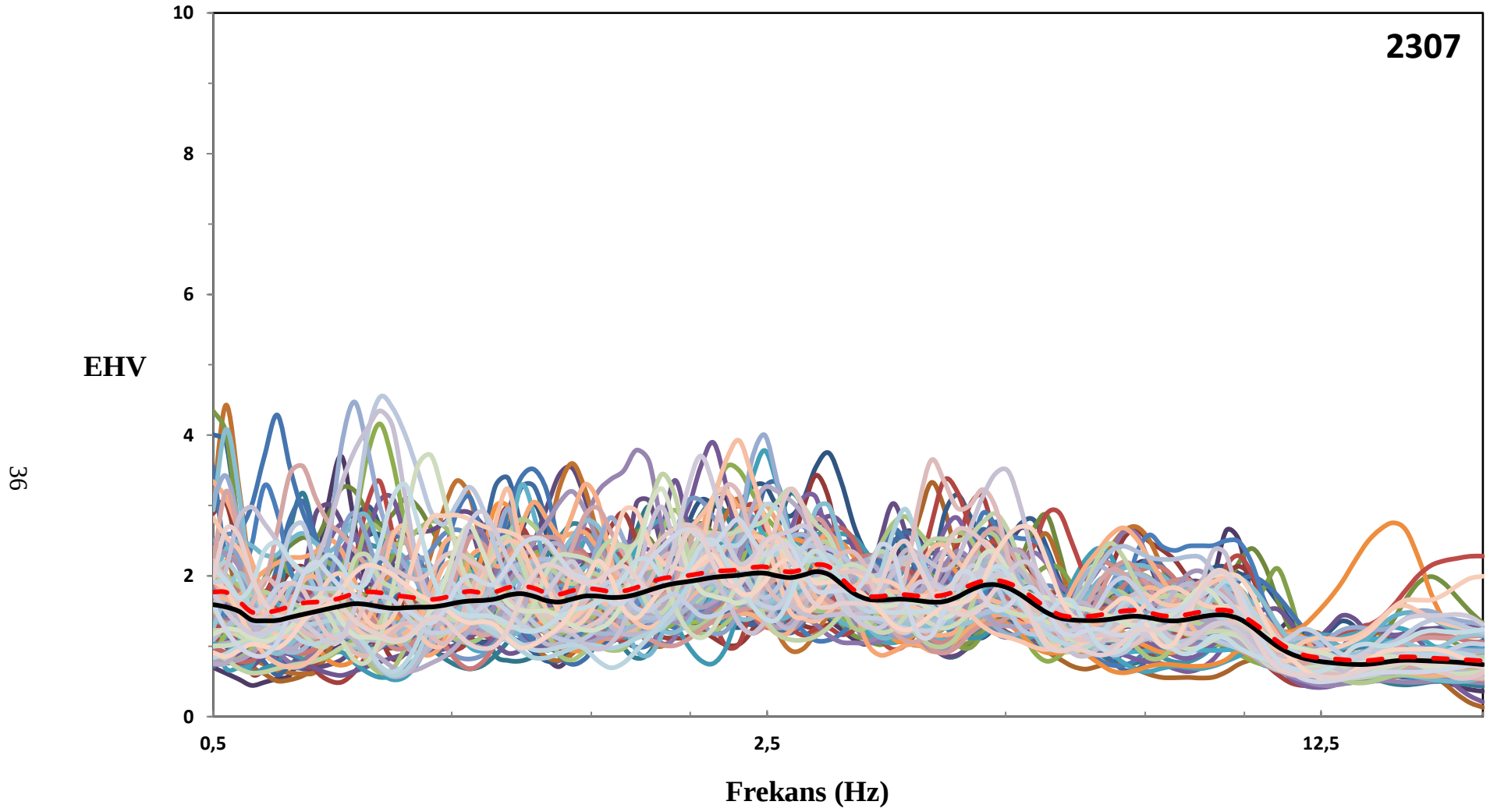
Şekil 23. 2304 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik



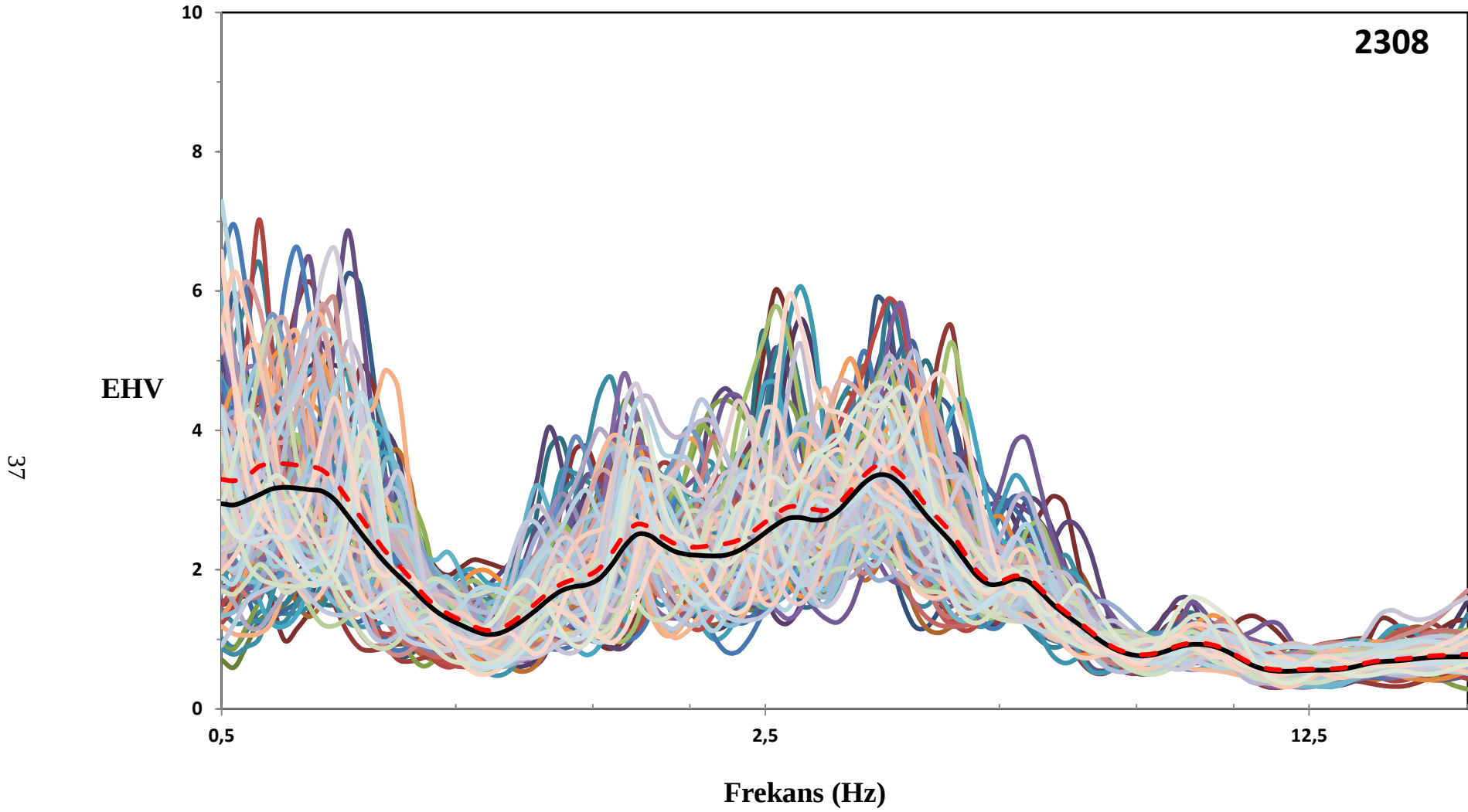
Şekil 24. 2305 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik



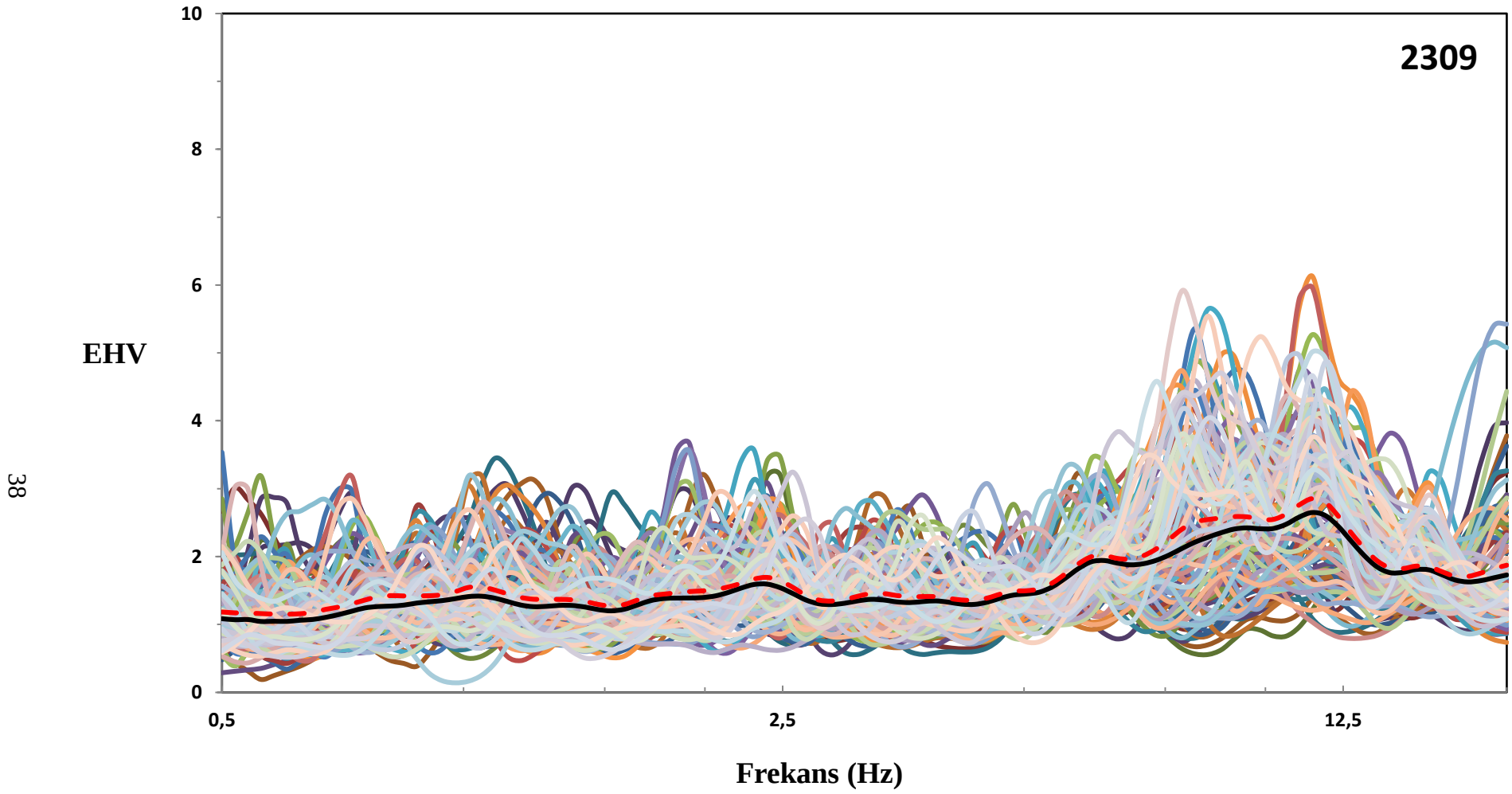
Şekil 25. 2306 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik



Şekil 26. 2307 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik



Şekil 27. 2308 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik



Şekil 28. 2309 İstasyonuna ait EHV Büyütme ve Frekans değerini gösterir grafik

Zemin parametrelerini ortaya koyabilmek amacıyla Kurtuluş vd. (2020) tarafından tüm Türkiye’de kurulu ivme ölçer istasyonlarından Ulusal Deprem Araştırma Projesi (UDAP-G-15-04) kapsamında AFAD tarafından desteklenen proje sonucunda Elazığ Bölgesi’nde kurulu istasyonlardan elde edilen veriler Tablo 5’te verilmiştir.

Tablo 5. İvme-Ölçer istasyonlarına ait MASW çalışması sonucuna göre, NEHRP, Eurocode-8 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) zemin ve litoloji sınıfları (Kurtuluş vd., 2020)

İstasyon Kodu	Vs30 (m/s)	Litoloji Sınıfı	Ec 8 (EuroCode)	Yerel Zemin Sınıfı
2301	407	Ayrılmamış Kuv.	B	ZC
2302	907	Ofiyolitik kaya	A	ZB
2304	489	Karasal Kırıntılılar	B	ZC
2305	907	Karbonatlar	A	ZB
2306	663	Volkanitler	B	ZC
2307	329	Ayrılmamış Kuv.	C	ZD
2308	450	Piroklastik Kayalar	B	ZC
2309	860	-	A	ZB

NHERP zemin sınıfı tanımları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. NHERP zemin sınıfı tanımları (BSSC, 2003; Kurtuluş vd. (2020))

Zemin Sınıfı	Tanımlama	Vs30 (m/s)
A	Sert ana kaya	Vs30> 1500
B	Sağlam dayanıklı ile sert kaya arası birimler	760 >Vs30> 1500
C	Yoğun toprak, yumuşak kaya	360 >Vs30> 760
D	Sert toprak	180 >Vs30> 360
E	Yumuşak killler	Vs30< 180

Vs30 değerleri Tablo 6’ya göre değerlendirildiğinde;

- 2301, 2304, 2306, 2308 istasyonları yoğun toprak yumuşak kaya C sınıfı
- 2302, 2305, 2309 istasyonları sağlam, dayanıklı ile sert kaya arası birimler B sınıfı
- 2307 istasyonu ise sert toprak D sınıfı na girmektedir.

Eurocode-8’ de zemin sınıfı tanımları Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Eurocode-8’ de zemin sınıfı tanımları (Kurtuluş vd. (2020))

Zemin Sınıfı	Tanımlama	Vs30 (m/s)
A	Kaya ya da benzeri formasyonlar	$V_{s3} > 800$
B	Çok sıkı kum, çakıl ya da çok sert killer	$360 > V_{s30} > 800$
C	Sıkı ya da orta sıkı kum veya sert kil	$180 > V_{s30} > 360$
D	Gevşekten orta sıkıya kadar kohezyonsuz veya yumuşaktan serte kadar kohezyonlu zemin	$V_{s30} < 180$

Vs30 değerleri Tablo 7’ye göre değerlendirildiğinde;

- 2302, 2305, 2309 istasyonları kaya ve benzeri formasyonlar olan A sınıfı zemin
- 2301, 2304, 2306, 2308 istasyonları çok sıkı kum, çakıl ya da çok sert kil içeren B sınıfı zemin
- 2307 istasyonu ise sıkı ya da orta sıkı kum veya sert kil içeren C sınıfına girmektedir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre zemin sınıfları Tablo 8’de verilmiştir.

Vs30 değerleri Tablo 8’ya göre değerlendirildiğinde;

- 2302, 2305, 2309 istasyonları az ayrılmış, orta sağlam kayalar ZB sınıfı zemin
- 2301, 2304, 2306, 2308 istasyonları Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar içeren ZC sınıfı zemin
- 2307 istasyonu ise Orta sıkı- sıkı kum, çakıl veya çok sert kil tabakaları içeren ZD zemin sınıfına girmektedir.

Tablo 8. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği zemin sınıfları (TBDY, 2018; Kurtuluş vd.,2020)

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Vs 30 (m/sn)
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500
ZB	Az ayrılmış, orta sağlam kayalar	760-1500
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrılmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760
ZD	Orta sıkı- sıkı kum, çakıl veya çok sert kil tabakaları	180-360
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya $PI > 20$ VE $w > \%40$ koşullarını sağlayan daha kalın yumuşak kil tabakası ($Cu < 25$ kPa) içeren profiller	<180

Bu sınıflamalara göre Vs30 hızının düşük olduğu 2301, 2304, 2306 ve 2308 istasyonlarındaki jeolojik birimler bu tez çalışması kapsamında elde edilen verilerle

değerlendirildiğinde jeolojik birimlerin birbiriyle uyumlu ve yüksek büyütmelerin tespit edildiği görülmüştür.

Vs30 hızının yüksek olduğu sağlam, dayanıklı ile sert kaya arası birimler sınıfında bulunan 2302, 2305, 2307 ve 2309 istasyonlarında ise düşük büyütmeler tespit edilmiş olup birbiriyle paralel sonuçlar elde edilmiştir.



SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Elazığ ve çevresinde kurulu 8 adet ivme ölçer tarafından kaydedilen toplamda 384 adet depreme ait 891 adet kayıt verisi, birtakım veri-işlem aşamalarından geçtikten sonra, frekans ve zemin büyütme değerleri ile üzerinde bulundukları jeolojik birimler birbirleriyle karşılaştırılıp EHV yöntemi ile bu istasyonların zemin özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Grafiklerde görülen deprem dalga genliklerinin geometrik ortalaması alınarak eğri üzerinden frekans değerleri okunmuş ve bu frekans değerine karşılık gelen EHV oranları belirlenmiştir.

Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar üzerinde kurulu 2301 istasyonunda 0.5 Hz ile 1.0 Hz arasında $\sim 3'$ e varan büyütme gözlenmiştir. 84 adet depremin kaydedildiği bu istasyonda her bir depremden elde edilen eğrilerin birbirleriyle uyumu tatmin edicidir. Bazik ve ultrabazik kayalar üzerinde kurulu 2302 istasyonu düz (flat) bir karakteristik sergilemektedir. Bu istasyon lokasyonu SSR yöntemi için referans olabilecek nitelikte bir karaktere sahiptir.

Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar üzerinde kurulu 2304 istasyonunda ~ 6 Hz'de ~ 4 zemin büyütme gözlenmiştir.

Karbonat mercekli şistler üzerinde kurulu 2305 istasyonunda 7.5 Hz'de ~ 2 EHV büyütme gözlenmiştir.

Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar üzerinde kurulu 2306 istasyonunda hakim frekans ~ 1.3 zemin büyütme de ~ 2.5 büyütme gözlenmiştir.

Volkanitler ve Sedimenter kayaların olduğu alanda kurulu 2307 istasyonunda zemin hakim frekans ve zemin büyütme değerleri sırasıyla ~ 3 ve ~ 2 olarak hesaplanmıştır.

Ayrılmamış Karasal Kırıntılılar üzerinde kurulu 2308 istasyonunda zemin hakim frekans ve zemin büyütme değerleri sırasıyla ~ 3 ve ~ 3 olduğu görülmüştür.

Bazik ve ultrabazik kayalarda kurulu zemin hakim frekans ve zemin büyütme değerleri sırasıyla ~ 3.5 ve ~ 3.3 olarak hesaplanmıştır. Karbonat mercekli şistler üzerine kurulu 2309 istasyonunda 7.5 Hz'e kadar flat bir karakter sergilemekte olup, hakim frekans ve zemin büyütme değerleri ~ 11 Hz ve ~ 3 büyütme gözlenmiştir.

EHV yöntemi kullanılarak zemin hakim frekans ve zemin büyütme değerlerini gösteren alansal haritalar oluşturulurken bazı enterpolasyonlar yapıldığı unutulmamalıdır. Alansal değişimler ile genel karakteristiği görebilmek adına bu haritalar hesaplanmıştır. Esas olan tablolaradaki ilgili lokasyona ait değerler olup yerinde yapılacak mikrobölgeleme çalışmaları ile noktasal anlamda hassas bir çalışma yürütülebilir. Genel itibarı ile zemin hakim frekans dağılımı haritası incelendiğinde Elazığ Merkez ve Karakoçandaki düşük hakim frekanslar önemlidir. Bu alanlardaki zemin periyodu yaklaşık 0.5 sn dir. Zemin büyütme haritaları incelendiğinde ise Sivrice ve Kovancılar bölgesinde 4'e varan zemin büyütme gözlenmiştir. Bu anlamda bu bölgelerdeki zemin büyütme önemlidir. Gerek Kovancılar gerek ise Merkez üssü Sivrice olan depremler son 10 yıllık periyotta bu alanlarda yaşanmıştır. Yapı stoğu gözetilerek düşünüldüğünde Kovancılar ve Sivrice depremlerinde hasarın bir nebze beklenenden düşük olmasının sebebi zemin hakim frekans ve büyütme değerleridir.

Aynı zamanda zemin büyütme frekanslara göre incelenmesi çok önemlidir. Bilindiği gibi düşük frekanslardaki zemin büyütme birimler ile ilişkili iken, yüksek frekanslardaki büyütme daha kompakt birimler ile temsil edilir. Bu motivasyon ile farklı frekanslara ait zemin büyütme haritaları hesaplanmıştır. Bu haritalar incelenirken yine esas olan çizelgelere bağlı olarak yorum yapmak olup ayrıca istasyonlar arasında enterpolasyonlar olduğundan yerinde mikrobölgeleme çalışmaları yapılması önerilmektedir.

0.5 Hz'de çalışma alanının doğusunda nispeten diğer alanlara göre yüksek büyütme gözlenmiştir. 1.0 ve 2.5 Hz de benzer bir karakteristik bulunmaktadır. 5 Hz'de Kovancılar mevkiinde gözlenen büyütme değerleri dikkat çekicidir.

Yapılan tüm bu analizler neticesinde tüm eğrilerin jeolojik formasyonlar ile büyük uyum içerisinde olduğu ayrıca Ulusal Deprem Araştırma Projesi (UDAP-G-15-04) kapsamında AFAD tarafından desteklenen proje ile Elazığ Bölgesi'nde kurulu istasyonlardan alınan verilerle hesaplanan Vs30 hızlarından elde edilen zemin sınıflamalarının bu tez çalışması kapsamında elde edilen değerlerle örtüştüğü gözlenmiş olup Elazığ merkez, Sivrice ve Kovancılar bölgesinde mikrobölgeleme çalışmalarının yapılmasının önemli olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. <http://www.afad.gov.tr> (29.06.2020).
- AFAD, 2020. T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara <https://deprem.afad.gov.tr/> <https://tadas.afad.gov.tr/> ve <https://tdvms.afad.gov.tr/> (23.07.2020).
- Aksoy, E., İnceöz, M., Koçyiğit, A., 2007. Lake Hazar Basin: a Negative Flower Structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16 (3), 319-338.
- Aktaş, G., Robertson, A. H. F., 1984. The Maden Complex, SE Turkey: Evolution of the a Neo-Tethyan Active Magrin, In: Dixon, J.E., Robertson, A.H.F. (Eds.). *The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 375-402.
- Alçık, H., 2018. Investigation of Local Site Responses at The Bodrum Peninsula (Southwest of Turkey) Using The Mainshock and Aftershocks of The 20 July 2017 Mw6.6 Bodrum-Kos Earthquake, *Annals of Geophysics*, 61 (3),
- Ambraseys, N. N., Finkel C., 1995. The Seismicity of Turkey and adjacent areas. A Historical Review, 1500-1800. Eren, Istanbul, 240 pp.
- Arpat, E., Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü*. Ankara ss:44-50.
- ATADAM., 2020. Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi 24 Ocak 2020 Mw=6.8 Elazığ-Sivrice Depremi Değerlendirme Raporu, Erzurum.
- Ateş, E., Kuru, T., Aydın, R.K., 2019. Deprem Kayıtları Kullanılarak Muğla-Milas Derince Barajının Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5 (2), 319-338.
- Ateş, A., 2016. 1999 Düzce Depreminde Zemin Yapı Rezonans Uyuşumuna Bağlı Oluşan Yapı Hasarlarının Araştırılması, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4, 911-925.
- Ateş, E., Uyanık, O., 2019. Jeofizik Yöntemler ile Yer ve Yapı Etkileşimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 46-60.
- Avşar, N., 1989. Elazığ Bölgesindeki Kırkgeçit Formasyonu'nun Nummulites fabianni ve Nummulites perfaratus Zonları. *Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 2, 14-25.
- Avşar, N., 1989. Elazığ Bölgesinin Tersiyer Stratigrafisi. *Selçuk Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 1, 30-39.
- Barka, A. A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-Slip Fault Geometry in Turkey and Its Influence on Earthquake Activity. *Tectonics*, 7 (3), 663-684.
- Bikçe, M., 2015. Türkiye'de Hasara ve Can Kaybına Neden Olan Deprem Listesi (1900-2014). 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir.
- Bingöl, A.F., 1984. Geology of the Elazığ Area in the Eastern Taurus Region: Proceedings of the Int. Symposium on the Geology of the Taurus Belt (edited 142 by Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C.), Ankara-Turkey, 209-216.
- Bingöl, A.F., 1987. Petrographical and petrological features of intrusive rocks of Yüksekova Complex in the Elazığ region (Eastern Turkey): *The Journal of Fırat Üniversitesi, Science and Technology*, 3(2), 1-17. Elazığ.
- Cronin, B.T., Hurst, A., Çelik, H. and Türkmen, I., 2000. Superb Exposure of a Channel, Levee and Overbank Complex in an Ancient Deep-Water Slope Environment. *Sedimentary Geology* 132(3-4) 205-216.

- Demirtaş, R., 2003. Doğu Anadolu Fay Zonu'nda Deprem Üreten Diri Faylar; 1900-2003 Yılları Arasında Doğu Anadolu Fay Zonunda Olmuş Hasar Yapıcı Depremler. Deprem ve Kentleşme. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları 78, Konferans serisi 3.
- Demirtaş, R., Erkmen C., 2019, Doğu Anadolu Fay Sistemi Deprem Etkinliği-Gelecek Deprem Potansiyeli, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- 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), 680695.
- Durmuş, L., 2012. İzmir Metropolitan Alanı Zemin Özelliklerinin Deprem Kayıtları Kullanılarak HVSR Yöntemi İle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enst., Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F. 2013. 1/1.125.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye,. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/> (13.07.2020).
- Eurocode-8, European Committee for Standardization 2004. Design of Structures for Earthquake Resistance – Part I: General Rules, seismic actions and rules for buildings, Brussels.
- Gök, E., Keçecioğlu, M., Çeken, U., Polat, O., 2012. İzmirnet İstasyonlarında Standart Spektral Oran Yöntemi Kullanılarak Zemin Transfer Fonksiyonlarının Hesaplanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(41), 1-11.
- Herece, E., 2003. Doğu Anadolu Fayı. Deprem ve Kentleşme. 23-24-25 Eylül 2003, TMMOB Jeoloji Müh.Odası yayınları 78, Konferans serisi 3.
- İbilioğlu, D., 2008. Elazığ Havzası Paleojen İstifinin Mikropaleontolojik (Planktonik Foraminifer Ve Ostrakodlarının) İncelenmesi Ve Ortamsal Yorumu, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana.
- Jackson, J., McKenzie, D. P., 1984. Active Tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. Geophysics J. R. Ast. Soc. 77, 185-264.
- Karabulut, S., 2005. Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları.Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- Karabulut, S., Ozel, O., Özçep, F., 2009. Deprem Tehtidi Altındaki Mühendislik Yapılarının Hakim Titreşim Periyotlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Seçenek: Mikrotremor Yöntemi Ve Örnek Uygulaması. New World Science Academy, 4(3), 428-441.
- Kurtuluş, C., Sertçelik, F., Sertçelik, İ., Kuru, T., Tekin, K., Ateş, E., Apak, A., Kökbuda, D., Sezer, S., Yalçın, D., 2020. Türkiye Ulusal Kuvvetli Yer Hareketi Kayıt İstasyonlarının Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 35 (4), 1829-1846.
- Langston, C.A., 1977. Corvallis, Oregon, Crustal and Upper Mantle Receiver Structure From Teleseismic P and S waves. Bull. Seismol. Soc. Am., 67, 713-724.
- Lyberis, N. T., Yürür, T., Chorowicz, J., Kasapoğlu, E., Gündoğdu, N., 1992. The East Anatolian Fault: An Oblique Collisional Belt. Tectonophysics 204, 1-15.
- MTA, 2015. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (Mineral Research & Exploration General Directorate), <http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/dirifay> (24.06.2020).
- Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In: Proc., 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, paper 2656.
- Nalbant, S. S., McCloskey, J., Steacy, S. and Barka, A. A., 2002. Stress accumulation and increased seismic risk in eastern Turkey. Earth and Planetary Science Letters 195 (2002) 291- 298. Elsevier P.

- NHERP, 2003. (National Earthquake Hazards Reduction Program) Building Seismic Safety Council, Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures and Accompanying Commentary and Maps, FEMA 450 (3), 17-49.
- Özer, Ç., 2019. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması. DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 21, 247-257.
- Özer, Ç., Özyazıcıoğlu, M. H., Gök, E., Polat, O. D., 2019. Imaging the Crustal Structure Throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by Local Earthquake Tomography. Pure And Applied Geophysics. 176 (6), 2235-2261.
- Palutoğlu, M., Tanyolu E., 2006. Elazığ İl Merkezi Yerleşim Alanının Depremselliği. Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 18 (4), 577-588.
- Pamuk, E., 2014. İzmir (Buca) Bölgesinde Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Elde Edilen Kayma Dalgası Hızlarının (Vs) Analizi Ve Mikrotremor Uygulamaları, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- 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), 549-568.
- Perinçek, D., 1979. The Geology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani Hazar-Elazığ-Malatya Area. Guide Book, Türkiye Jeoloji Kurumu yayını, 30s.
- Perk, Ş., Özer, Ç., 2019. İvme-Ölçer İstasyonları Altındaki Zemin Özelliklerinin Deprem Kaydı Kullanılarak İncelenmesi: Hatay Örneği, Türkiye. Türk Deprem Araştırma Dergisi ,1 (2), 167-179.
- Rodriguez-Marek A., Jonathan D.B., Norman A.A, 2001. An Empirical Geotechnical Seismic Site Response Procedure, Earthquake Spectra, 17 (1), 65-87.
- SESAME, 2004. Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations: Measurements, Processing and Interpretation.
- Şaroğlu, F., Ardahanlıoğlu, A., Demirci, E., 2018. Yer Değiştir(mey)en Kent: Palu/Elazığ, Mavi Gezegen Dergisi, Sayı:25 18-33
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşçu, i., 1992. The East Anatolian fault zone of Turkey. Annales Tectonicae, Special Issue-Supplement to volume VI, 99-125.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape; Turkey as a case study, in; Biddle K.T., Christie –Blick N.(Eds.), Strike-slip Faulting and Basin Formation, Soc. Econ.Paleontol. Mineral.Sp. Pub., 37,227-264.
- Turan, M., 1984. Baskil-Aydınlar (Elazığ) Yöresinin Stratigrafisi ve Tektoniği: Doktora tezi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (yayınlanmamış).
- Turan, M., Bingöl A. F., 1991. “Kovancılar-Baskil (Elazığ) Arası Bölgenin Tektono-Stratigrafik Özellikleri”, Ahmet Acar Jeoloji Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, 212-227.
- TBDY, 2018.Türkiye Deprem ve Bina Yönetmeliği, Resmî Gazete, Sayı: 30364, 18 Mart 2018.
- Türkmen, İ., AKSOY, E., 1998. Arapgir (Malatya), Çemişgezek (Tunceli), Elazığ dolaylarındaki Neojen birimlerinin stratigrafik –sedimentolojik incelenmesi ve bölgesel korelasyonu. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 10(1), 15-33.
- 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.
- Westaway, R., 2003. Kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean Updated. Turkish Journal of Earth Sciences. 12, (2003), 5-46.
- Yalçınkaya, E. 2005. BYNET (Bursa-Yalova-Türkiye İvme Ölçer Ağı) İstasyonlarında Yerel Zemin Etkilerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (2), 75-85.

Yalçınkaya, E., Alptekin, Ö. 2003. Dinar’da Zemin Büyütmesi ve 1 Ekim 1995 Depreminde Gözlenen Hasarla İlişkisi, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 27, 1-13.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Adviye MARAL ACAR
Doğum tarihi:	22 Haziran 1985
Doğum Yeri:	Ankara
Uyruğu:	T.C.
Adres:	İller Bankası Kastamonu Bölge Müdürlüğü
E-mail:	amaral@ibank.gov.tr
Eğitim	
Lise:	Çankaya Kırkonaklar (İncesu) Anadolu Lisesi
Lisans:	Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	İyi derecede
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	