



**DENİZLİ İLİNDEKİ KUVVETLİ YER HAREKETİ
İSTASYONLARININ ZEMİN DİNAMİK
ÖZELLİKLERİNİN VE İVME TEPKİ
SPEKTRUMLARININ İNCELENMESİ**

Bilal İNALCIK

**Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doç. Dr. Çağlar ÖZER
2022
(Her hakkı saklıdır.)**

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**DENİZLİ İLİNDEKİ KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONLARININ ZEMİN
DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN VE İVME TEPKİ SPEKTRUMLARININ
İNCELENMESİ**

(Investigation of Soil Dynamic Properties and Acceleration Response Spectra of Strong
Ground Motion Stations in Denizli Province)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bilal İNALCIK

Danışman: Doç. Dr. Çağlar ÖZER

Erzurum

Ocak, 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Bilal İnalçık tarafından hazırlanan “Denizli İlindeki Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonlarının Zemin Dinamik Özelliklerinin ve İvme Tepki Spektrumlarının İncelenmesi” başlıklı çalışması 11 / 01 / 2022 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. Ekrem KALKAN Aslı Islak İmzalıdır
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Doç. Dr. Çağlar ÖZER Aslı Islak İmzalıdır
Atatürk Üniversitesi

Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Babak KARİMİ Aslı Islak İmzalıdır
Erzurum Teknik Üniversitesi

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

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı Islak İmzalıdır

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 *Doç. Dr. Çağlar Özer* danışmanlığında sunulan “Denizli İlindeki Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonlarının Zemin Dinamik Özelliklerinin ve İvme Tepki Spektrumlarının İncelenmesi” 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	1	30
Kuramsal Temeller	4	30
Materyal ve Yöntem	3	35
Bulgular	4	20
Tartışma	2	20
Tezin Geneli	19	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 sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Bilal İncelik	Doç. Dr. Çağlar Özer
12.1.2022	12.1.2022
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* 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.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmaya veri desteği sağlayan T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) Deprem Dairesi Başkanlığına teşekkür ederim. 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 Doç. Dr. Çağlar ÖZER’e tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım. 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 içtenlikle teşekkür ederim.

Bilal İNALCIK

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DENİZLİ İLİNDEKİ KUVVETLİ YER HAREKETİ İSTASYONLARININ ZEMİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN VE İVME TEPKİ SPEKTRUMLARININ İNCELENMESİ

Bilal İNALCIK

Danışman: Doç. Dr. Çağlar ÖZER

Amaç: Aktif faylar ile çevrelenmiş Denizli ilinde zemin etkisi sebebiyle orta ölçekteki depremlerde dahi can ve mal kaybı gözlenmektedir. Denizli ile Ege genişleme sisteminde graben sistemlerine ait tektonik birimlerin yoğun olduğu Babadağ eteklerinde yer almaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) tarafından yönetilen Denizli ve çevresinde konumlanan on beş adet Kuvvetli Yer Hareketi istasyonu bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında Denizli ili ve çevresinde konumlanan ivmeölçer lokasyonlarına ait zemin dinamik özellikleri son beş yıl içinde kaydedilen kırk dört adet deprem kaydı yardımıyla araştırılmıştır.

Yöntem: Tez çalışmasının ilk bölümünde deprem verileri ile Yatay/Düşey Spektral Oran yöntemi kullanılarak on beş adet ivmeölçer lokasyonuna ait deprem-zemin ilişkisi irdelenmiştir. İkinci bölümde 08 Ağustos 2019 Bozkurt depremi (Mw 6.0) ivme kayıtları yardımıyla sözde spektral ivmeleri incelenmiştir.

Bulgular: Çoğunlukla Ayrılmamış Kuvaterner ve Karasal Kırıntılılar üzerinde olmak üzere Traverten, Kireçtaşı ve Granitoidler gibi birimler üzerinde konumlanan deprem istasyonlarına ait zemin hâkim frekans değerleri 0.2 Hz ile 14.2 Hz arasında değişirken zemin büyütme faktörü değerleri 1.8 ile 5.7 arasında değişmektedir.

Sonuç: Bozkurt depremi ivme kayıtları kullanılarak 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre hesaplanan spektral ivme spektrumlarına göre bazı periyodlarda yönetmelikte öngörülen sınırların üzerinde ivme değerleri bulunmaktadır. Bozkurt depremine ~8 km mesafede bulunan 2005 istasyonunda Kuzey-Güney bileşene ait sözde spektral ivmeler TBDY-2018’de öngörülen değerlerin üzerinde iken Bozkurt depremine uzaklıkları yaklaşık 31 ile 89 km arasında değişen diğer kayıtçılarda elde edilen ivmeler TBDY-2018’de sunulan ivme değerlerinin altındadır.

Anahtar Kelimeler: Zemin hâkim frekans, zemin büyütmesi, ivme tepki spektrumu, ivmeölçer, Denizli.

Ocak 2022, 58 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF SOIL DYNAMIC PROPERTIES AND ACCELERATION RESPONSE SPECTRA OF STRONG GROUND MOTION STATIONS IN DENİZLİ PROVINCE

Bilal İNALCIK

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Çağlar ÖZER

Aim: In Denizli, which is surrounded by active faults, loss of life and property is observed even in medium-sized earthquakes due to the local soil effect. It is located densely tectonic areas belonging to graben systems on the hillside of Babadağ Mountain in Aegean extensional system. There are fifteen strong ground motion stations located in Denizli and its surroundings managed by Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD). The soil dynamic properties of accelerometer locations are investigated with the help of forty-four earthquake data recorded in the last five years within the scope of thesis in Denizli and its surroundings.

Method: In the first part of the thesis, the earthquake-soil relationship of the fifteen accelerometer locations is investigated by the Horizontal/Vertical Spectral Ratio method using the earthquake data. In the second part, the pseudo spectral accelerations of the 08 August 2019 Bozkurt earthquake (Mw 6.0) are examined with the help of acceleration records.

Findings: While the soil dominant frequency values of the earthquake stations located on units such as Travertine, Limestone and Granitoids, mostly on the Unseparated Quaternary and Terrestrial Clastics vary from 0.2 Hz to 14.2 Hz, the soil amplification factor values change between 1.8 and 5.7.

Result: It is revealed that some acceleration values above the limits stipulated in the regulation in some periods according to the spectral acceleration spectra calculated for the 2018 Turkish Building Earthquake Regulation (TBDY-2018) using the Bozkurt earthquake acceleration records. While the pseudo spectral accelerations of the North-South component at the 2005 station, which is ~8 km away from the Bozkurt earthquake, are above the values predicted in TBDY-2018, the accelerations obtained in other recorders with a distance of approximately from 31 km to 89 km for Bozkurt earthquake are lower than the acceleration values presented in TBDY-2018.

Keywords: Soil dominant frequency, soil amplification, acceleration response spectrum, accelerometer, Denizli.

January 2022, 58 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
Genel Bilgiler.....	1
Çalışma Alanına Ait Nüfus ve Yerleşim Bilgileri	2
Çalışma Alanı.....	2
Çalışma Alanının Genel Jeolojik ve Topoğrafik Özellikleri.....	2
Çalışma Alanının Jeoteknik Özellikleri	3
KURAMSAL TEMELLER.....	5
Önceki Çalışmalar	5
Çalışma Alanının Depremselliği	8
Denizli Tarihsel depremleri.....	8
Denizli aletsel depremleri	9
MATERYAL ve YÖNTEM	14
Geopsy Programı ve Analiz Yöntemi	14
SeismoSignal Programı ve Analiz Yöntemi	14
Nakamura (NHVSR) Tekniği	16
YDSO Tekniği	17
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	18
Zemin Dinamik Analizleri	18
Deprem parametreleri AFAD'dan temin edilmiştir	21
Spektral İvmelerin Karşılaştırılması	30
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	37

KAYNAKLAR.....	38
EKLER	42
EK-1. Tez çalışmasında kullanılan depremlere ait PGA bilgileri.....	42
EK 2. AFAD ve MTA'dan temin edilen istasyon lokasyonlarına ait jeoteknik bilgiler.	44
ÖZGEÇMİŞ.....	45



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2. Denizli ve Çevresinde Kullanılan Depremlerin Konumu.....	20
Tablo 3. Denizli ile Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonlarına Ait Zemin Dinamik Parametreleri	30



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Denizli ilinin yerleşime uygunluk haritası	4
Şekil 2. Denizli ili deprem tehlike haritası	10
Şekil 3. 20.03.2019 tarih ve 09:34:27 saatindeki, acıpayam (Denizli) Mw 5.5 depremi.....	11
Şekil 4. Bölgenin tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi.....	12
Şekil 5. 08.08.2019 tarihinde meydana gelen Bozkurt (Denizli) depremi ve artçı şok dağılımı	13
Şekil 6. Denizli ve çevresinde kullanılan ivmeölçer istasyonlarının dağılım haritası.....	14
Şekil 7. 16 Ocak 1995 Kobe (Japonya) depreminin ivme-hız-yer değiştirme kaydının SeismoSignal programı ile görüntülenmesi. Deprem kayıtları SeismoSignal programında sunulan örnek kayıtlar kullanılarak çizdirilmiştir.....	15
Şekil 8. Bozkurt (Denizli) depremi (Mw 6.0) AFAD 2005 istasyonu Kuzey-Güney Bileşenine ait ivme-hız-yer değiştirme kaydının SeismoSignal programı ile görüntülenmesi.....	15
Şekil 9. Bozkurt (Denizli) depremi (Mw 6.0) AFAD 2005 istasyonu Kuzey-Güney Bileşenine ait ivme-arias yoğunluğu ve açığa çıkan enerji miktarının SeismoSignal programı ile görüntülenmesi	16
Şekil 10. Denizli ve çevresinde kullanılan ivmeölçer istasyonlarının dağılım haritası.....	19
Şekil 11. 2002 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	23
Şekil 12. 2005 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	23
Şekil 13. 2009 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	24
Şekil 14. 2011 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	24
Şekil 15. 2012 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	25
Şekil 16. 2013 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	25
Şekil 17. 2014 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	26
Şekil 18. 2015 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	26
Şekil 19. 2016 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	27
Şekil 20. 2017 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	27
Şekil 21. 2018 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	28
Şekil 22. 2019 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	28
Şekil 23. 2020 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	29
Şekil 24. 2024 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	29

Şekil 25. 2025 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi.....	30
Şekil 26. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2005 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	32
Şekil 27. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2009 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	32
Şekil 28. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2011 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	33
Şekil 29. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2013 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	33
Şekil 30. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2014 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	34
Şekil 31. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2015 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	34
Şekil 32. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2016 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	35
Şekil 33. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2024 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	35
Şekil 34. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2025 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.....	36

KISALTMALAR ve SİMGELER DİZİNİ

AFAD	: T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
HVSR	: Yatay Düşey Spektral Oran
Hz	: Hertz
JEOKBS	: Jeolojik – Jeoteknik Kent Bilgi Sistemi
km	: Kilometre
km ²	: Kilometrekare
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
m	: Metre
PGA	: Maksimum Yer İvmesi
°	: Derece
sn	: Saniye
SPT-N	: Zeminin Penetrasyon Direnci
TADAS	: Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritası
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
YDSO	: Yatay Düşey Spektral Oran
%	: Yüzde

GİRİŞ

Genel Bilgiler

Üzerinde yaşadığımız topraklarda deprem gerçeği ile defalarca karşılaşmış, karşılaşmaya da devam edilecektir. Geçmiş dönemlerde teknolojik altyapıdan dolayı meydana gelen yer sarsıntıları hakkında pek bilgi sahibi olunmamaktaydı. Son yüzyılda gelişen teknoloji ile birlikte yer hareketleri hakkında önemli bir altyapısı oluşmuştur. Fakat gerçekleşecek depremleri önceden tahmin etmek mümkün değildir. Bu sebeple yeryüzünde deprem olma olasılığını olan bölgelerde, depremin sebebiyet vereceği hasar oranını minimize etme amaçlı olarak çalışmalar gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Çözülmesi gereken en önemli problem ise depremin gerçekleşeceği zamandan ziyade depremin oluşturacağı hasarların minimize edilmesidir.

Depremin ortaya çıkaracağı hasar, episantır uzaklığı, büyüklüğü, yerel zemin koşulları ve yapı stoku ile bağlantılı olarak değişmektedir. Ülkemizde Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) tarafından yayınlanarak 2019 senesinde yürürlüğe konulan Türkiye Deprem Tehlike Haritası (TDTH) farklı zaman aralıklarında açığa çıkabilecek maksimum ivmeler hakkında bilgi vermektedir (Anonim 2021a). 2019 senesinde yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) ise tasarım depremi sonrası açığa çıkacak can ve mal kayıplarını minimize edilmesi için yapılaşma kuralları açık bir şekilde ifade edilmektedir. Bahsedilen tedbirlerin sağlanarak ve belirtilen kurallara riayet edilerek yapılaşma sağlanması deprem anında oluşabilecek can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi sağlanabilir. AFAD tarafından 18 Mart 2018 tarihli Resmi Gazete’ de yenilenen Yeni Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası 01 Ocak 2019 tarihinde uygulamaya konmuştur. Yeni yönetmelikte deprem kaynak parametreleri, deprem kayıtları, matematiksel modeller, zemin özellikleri gibi parametreler dikkate alınarak yapıların depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli olan azami gereksinimler belirlenip eski yönetmeliklerde kullanılan deprem bölgesi uygulaması kaldırılmıştır (Anonim 2021b). Cumhuriyet tarihimizde 1947, 1953, 1961, 1968, 1975, 1998, 2007 ve 2018 yıllarında yayınlanan toplam sekiz adet yönetmeliğimiz bulunmaktadır (Anonim 2021c).

Spektrum karmaşık sinyalleri basite indirgeyerek belirli bir nümerik sırada sunulması olarak tanımlanabilir. Deprem spektrumlarının karakteri, deprem parametrelerine ve depremin meydana geldiği jeolojik özelliklere göre farklılık göstermektedir. Deprem dalgalarının

spesifik özellikleri spektrumlar yardımıyla belirlenerek yapıya etki eden dinamik kuvvetin belirlenmesi önem arz etmektedir (Gören, 2011).

Oluşan depremlerin meydana getirdiği zararların minimize edilmesi ve deprem gerçeğine hazır olunmanın en önemli koşullarından biri deprem-zemin-yapı ilişkisinin iyi kurgulanarak mühendislik yapılarının tasarlanmasıdır. Gerçekleşen deprem belirli bir büyüklüğü aştığında yüzey kırıkları oluşmakta, zemin etkileri ile birlikte üzerindeki yapıların hasar görmesine sebebiyet verebilmektedir.

Çalışma Alanına Ait Nüfus ve Yerleşim Bilgileri

Denizli ili sınır olarak 11.861 km² alana sahip olup nüfusu 2020 verilerine göre 1.040.000'dır. Merkezde Pamukkale ve Merkez Efendi ilçeleri bulunmakta olup bu ilçelerin nüfusu yaklaşık 664.000 kişidir. Denizli ili turizm bakımından önemli merkezlere sahip olup gelişmiş sanayiye sahiptir. Toplam olarak 19 ilçesi ve 624 mahallesi bulunmaktadır (Anonim 2021d).

Çalışma Alanı

Denizli ili Türkiye'nin Güneybatısında, Büyük Menderes ile Alaşehir grabenlerinin keşiştiği alanda Ege Genişleme Sisteminde (McKenzie, 1978; Dewey ve Şengör 1979) ve aktif tektonik birimlerin bulunduğu bir coğrafya üzerinde Babadağ eteklerine kurulu bir şehir olarak bulunmaktadır. Şehrin bir kısmı yamaçla ova arasında kurulu olan şehir çoğunlukla yamaç molozları ve güneybatıya doğru ise genç ve zayıf mühendislik ile yapıları eski ve yeni alüvyonlardan meydana gelmektedir (Kumsar vd., 2003; Kumsar vd. 2011; TMMOB, 2021).

Çalışma Alanının Genel Jeolojik ve Topoğrafik Özellikleri

Türkiye'nin Ege Bölgesinde yer alan Denizli ili ova içerisinde zayıf zemin üzerinde yer almaktadır (Kumsar vd. 2020). Zayıf mühendislik özellikleri gösteren çökeller ovayı saran dağlık alandan aşınıp akarsular vasıtasıyla ovaya gelen ve bir bölümü faylarca yükseltilmiş olan gevşek, pekleşmemiş birimlerdir (B.Ü., Tarihsiz)

Denizli ilinin bir bölümü alüvyonlar üzerine yayılmıştır (Kaya, 2018). Zemin büyütmesi olarak da ifade edilen kavram, deprem dalgalarının alüvyon gibi gevşek zeminlerde büyütülerek yapılara iletildiğini göstermektedir (Pamuk vd. 2017; 2018; Pamuk 2019). Deprem anında Denizli'nin yerel zemin koşullarının araştırılması ve deprem-zemin dinamik ilişkisinin ortaya çıkarılması büyük önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmalar ile gerçekleşen büyük depremlerde Denizli'nin özellikle kuzey bölgesinde bulunan ova içerisindeki kısımlarda sivilaşma olaylarının olabileceği rapor

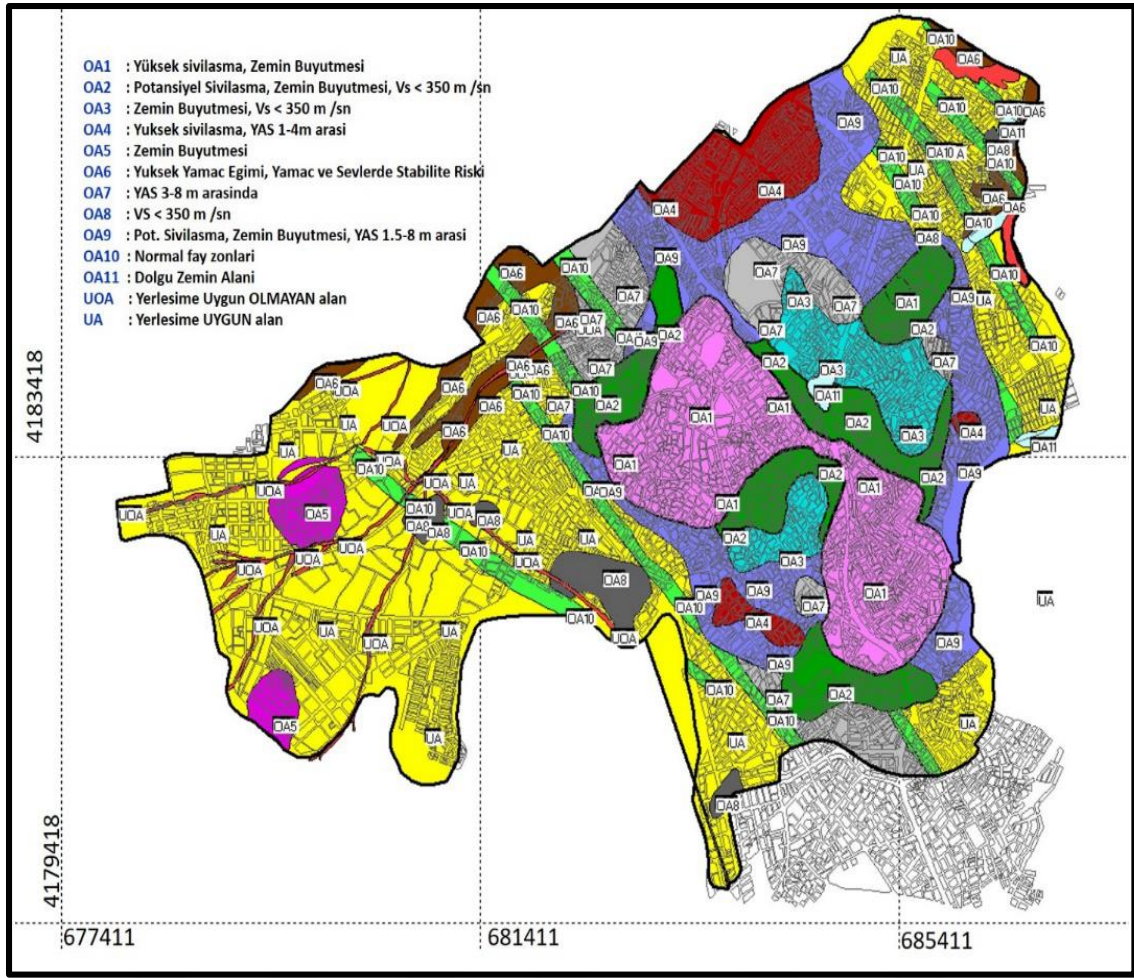
edilmiştir (PAÜ, 2002). Büyük depremlerde belli koşullar sağlandığında zeminlerde oluşabilecek sıvılaşma, zemin üzerinde bulunan yapıları yıkıma zorlamaktadır (Pamuk vd. 2017; 2018; Pamuk 2019).

Denizli ilinin güneybatısında Babadağ'ın yükselimini meydana getiren yaşlı kayalarla yamaç molozu, alüvyonlarda karmaşık bir yapıda bulunan aktif faylar yer almaktadır (Emre vd. 2013; Emre vd. 2018). Denizli ilinin merkezi ve ilçeleri ile komşu illeri şiddeti fazla depremler yaşamış ve ciddi anlamda hasarlar yaşamıştır. Herhangi bir yer depremten etkilenmişse gelecekte de etkilenebilme ihtimali jeolojide temel öngörüdür. Denizli ili de bu temel kural kapsamında geçmiş yıllarda depremin yıkıcı hasarlarından etkilendiğinden ötürü gelecek yıllarda da oluşabilecek depremlerden yıkıcı hasarlarla etkilenebilecektir (Kumsar vd. 2003; Kumsar vd. 2011; TMMOB, 2021).

Denizli iline ait zemin alüvyon veya benzeri zayıf mühendislik özellikleri taşımasından ötürü depremlerden dolayı sarsıntıyı binalara iletirken olduğundan daha fazla büyütme ihtimali bulunmaktadır. Bu tür zemin özelliği bulunan yerler deprem anında diğer doğal afetler olan heyelan, sıvılaşma, oturma, yanar yayılma gibi sorunları da beraberinde getirmektedir. Zeminlere ait deprem davranışı detaylı olarak zeminin araştırılması ile birlikte mikro bölgeleme araştırmaları ile belirlenebilmektedir (Aydan vd. 2001). Bu araştırmalar ardından ekonomik sınırların çevresinde kalıyorsa zemin üzerinde oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçmek için gerekli önlemler deprem olayı gerçekleşmeden alınabilmektedir (Aydan vd. 2001; TMMOB, 2021).

Çalışma Alanının Jeoteknik Özellikleri

Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü 2002 senesindeki araştırmasında 154 adet zemin sondajı açılarak il merkezindeki zeminlere ait fiziksel ve mekanik özellikler, yeraltı su seviyesi, yerleşim yerlerinde bulunan zeminin sıvılaşma durumu, zemin dinamik etkisi, kesme dalga hızının tespit edilmesine yönelik bir dizi çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada yer bilimsel haritalar ve bir dizi zemin deneyi sonuçları Jeolojik-Jeoteknik Kent Bilgi Sistemi yazılımında (JEOKBS) veri olarak kullanılmıştır. Denizli şehir merkezi için yapılan çalışmada, mühendislik olarak alınması gereken önlemler gözetilerek on bir ayrı yerleşime uygun alan belirlenmiştir (Şekil 1). Raporda Denizli'de oluşabilecek deprem büyüklüğü yaklaşık olarak yediye yakın olduğu belirtilmiştir (PAÜ, 2002; TMMOB, 2021).



Şekil 1. Denizli ilinin yerleşime uygunluk haritası (PAÜ, 2002).

KURAMSAL TEMELLER

Önceki Çalışmalar

Yeryüzünde gerçekleşen doğal afetler içerisinde önem sırasına göre öncelikli olan deprem olgusu, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yıkıcı etkilere sebebiyet vermektedir. Deprem sonrası oluşan hasarların büyük bir bölümü zemin özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Dünyada, ülkemizde ve çalışma alanındaki yerel zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yürütülen çalışmaların bir kısmı aşağıda sunulmaktadır.

Idriss ve Seed (1968) yerel zemin üzerinde oluşan yer sarsıntısı ardından oluşan zemin etkilerini bildirmiştir. 1957 yılında gerçekleşen San Fransisco depremi ile farklı bölgelerde yapılan ölçümler ilksel sonuçları ortaya koymuştur. Bu ölçümler ile yakın alanlarda oluşan yer ivmelerinin farklılıklar içerdiğini ve bu farklılıkların sebebinin de ölçüm noktalarının zemin etkisinden dolayı olduğu sonucu ortaya konulmuştur.

Stone vd. (1987) Meksika'da 19.09.1985 tarihinde meydana gelen deprem sonrası zararın dağılımı ile yerel zemin koşullarının sismik davranışa olan etkisini araştırmışlardır. 0.04 g'den küçük değerlere sahip olan kaya değerleri, eski bir göl yatağındaki kalın kil tabakalarında neredeyse beş kat büyütme etkisi göstermiş ve yapı periyodunun zemin periyoduna yakın olduğu alanlarda hasarın arttığını rapor etmişlerdir.

Nakamura (1989) zemin etkisinin saptanması amacıyla yaygın olarak kullanılan yöntemlerin biri olan mikrotremör yöntemine dair önemli bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kullandığı tek istasyon tekniği ile yatay ve düşey bileşen spektrumlarının oranının zemin etkisinin bir fonksiyonu olduğunu ve uygulama kolaylığına ek olarak yer ve yapılarının dinamik özelliği hakkında hızlı bilgi sağlamasından dolayı tüm dünyada büyük ilgi görmektedir. Nakamura (1989), yatay/düşey spektral oran (YDSO ya da HVSR) tekniğinin kuramsal açıklamasını SH dalgalarının tekrarlı kırılmaları ile açıklamıştır.

Seht vd. (1999), mikrotremör yöntemini zemin tabaka kalınlığının belirlenmesi ve zemin özelliklerinin tespiti için kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Trifunac ve Todorovska (2000), 0,2 s değerinden düşük periyotlarda alüvyon zeminlerin yer aldığı alanlarda yüksek zemin büyütmelerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Özçimen (2000), ülkemizde büyük hasar veren 1999 depremlerinden etkilenen

Derince ilinde gürültü kayıtları ile Nakamura yöntemini kullanarak yerel zemin koşullarının etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda birbirlerine yakın uzaklıklarda bulunan ölçümlerde de değerlerin farklılık gösterebileceği ve yerel zemin koşullarının önemini göstermiştir.

Tezcan vd. (2001) Avcılar ilçesindeki yerel zemin etkisinin belirlenmesine yönelik yürüttüğü araştırmada, zeminin periyodlarını 1,60 s, 1,0 s ve 0,70 s olarak belirlenmiştir. Bölgede özellikle 5-8 kat yüksekliğine sahip yapılarda oluşan zararın sebeplerinin deprem dalgalarının yüksek periyodlarına ve zemin büyütmesine dayandırılabilceğini belirtmişlerdir.

Akyol vd. (2002), Bursa ilinde standart spektral oran ve yatay/düşey spektral oran yöntemleriyle zemin büyütme katsayısı elde edilerek zemin etkilerini araştırmışlardır. En büyük zemin büyütmesini alüvyon havzada bulunan alanlarda, sert kaya üzerinde bulunan alanlara nazaran ise büyütmenin 4-5 kat daha fazla olduğu sonucunu rapor etmişlerdir.

Sezer (2003), yürüttüğü istatistik çalışmasında Çivril-Denizli yöresinde magnitüdü altı ile yedi arasında değişen depremlerin meydana gelebileceğini ve Çivril ovası ile Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin sivilaşma potansiyeline dikkat çekmiştir.

Ergin vd. (2004), Avcılar ilçesinde zemin dinamik özelliklerini araştırmak amacıyla, zemini temsil eden beş noktada ve bir ana kaya üzerinde deprem istasyonu kurmuşlardır. 0,3 ile 1,6 Hz aralığında zemin etkisini gösteren YDSO eğrileri tespit etmişlerdir.

Altınöglü (2005) yürüttüğü çalışmada Denizli ilinin ortalama kabuk kalınlığının 35 km olduğunu ve sismojenik zonun 10 ile 15 km arasında konumlandığını belirtmiştir.

Yalçınkaya (2005), altı istasyonda beş farklı deprem verisi ile istasyonlara ait yerel zemin koşulları araştırılmıştır. Hesaplamalar klasik spektral oran ve YDSO yöntemleri ile yürütülmüş olup yumuşak zemin üzerinde bulunan istasyonlarda önemli zemin büyütme gözlemlendiği sonucunu belirtmiştir.

Ulusay ve Aydan (2005), 2003 yılında meydana gelen Bingöl depreminin ana karakteristiklerinin tespit edilmesi ve jeoteknik olarak incelenmesi için yapılan araştırmada zeminin özelliklerinden doğan büyütmenin yapıların hasar görmesinde etkisinin bulunduğu sonucunu elde etmişlerdir.

Okan (2005), çalışmasında zemin büyütmesinin jeoteknik olarak karşılaştırılması amacı ile Bursa ilinde yürütülen çalışmada SPT-N değerleri baz alınarak hesaplamalar yapılmış, hâkim titreşim periyotların 0,5-0,75 sn aralıklarında değiştiğini ve bu sonuçlar doğrultusunda çalışma alanında yapılması planlanan yapılar için rezonans olayı üzerinde durulması gerektiğini belirtmişlerdir.

Beliceli (2006), Eskişehir'e ait yerleşim yerindeki zemininin büyütme etkisinin makaslama dalga hızına (V_s) dayalı olarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Zemin büyütme etkisi yüksek olan zeminlerin 0-7 m arasında bulunan alanda sıklaştığı gözlemlenmiştir. Özellikle silt ve kil yüzdesi olarak fazla bulunan zemin tabakaları için büyütme potansiyeli olduğu sonucuna varılmıştır.

Kalyoncuoğlu (2006), zeminlerin farklı koşullarından dolayı tepki spektrumunda farklı periyodlarla büyütme gözlemlendiğini ve yapılardaki periyoda göre hasar oranının değiştiğini belirtmiştir. Ayrıca deprem tepki spektrumunun mühendislik açıdan çok önemli bilgiler verdiğini belirtmiştir.

Ergin (2007), İstanbul'a bağlı Antik Galata bölgesinde mikrotremör ölçümleri qewyürütülerek zemin hakim periyodu ve zemin büyütme değerleri ile yapıların rezonans durumu 147 noktada inceleyerek zeminin ve yapının dinamik özelliklerini ortaya koymuştur.

Kaypak ve Gökkaya (2012) Denizli ilinde yürüttüğü yerel deprem tomografisi çalışmasında 635 deprem kaydı kullanarak üst kabuğu derin ölçekte modellemiş ve jeotermal alanlarda önemli anomali kombinasyonları rapor etmişlerdir.

Irmak (2013) 2004 ve 2009 yılları arasında meydana gelen 20 deprem kaydı kullanarak Denizli ilinde fay kinematik çözümleri ve gerilme analizleri gerçekleştirmiştir.

Akyol vd. (2014) Denizli ilinde yürüttükleri çalışmada zemin ve yapı periyodunu araştırarak çalışma alanında dört kat ile yedi kat arasındaki yapıların rezonans riski taşıdığını belirtmiştir.

Taşdelen vd. (2015) Denizli ili Işıklı Beldesinde yürüttükleri çalışmada, çalışma alanlarının yerel zemin özellikleri dikkate alındığında en uygun yerleşim alanının kuzeybatı kesiminde iken doğu kısımda yerleşime uygun olmayan alanlar bulunduğunu belirlemişlerdir.

Kaya (2018), jeolojik, jeofizik ve uydu verileri kullanarak Acıgöl'ün Kuzeyinde bulunan Maymundağ fayının aktif olduğunu göstermiştir.

Demirtaş ve Tekin (2020) 20 Mart 2019 Acıpayam-Denizli Depremi sonrası yaptıkları araştırmada deprem sonrası saha gözlemleri ve yırtılma analizleri gerçekleştirmiş ve Fethiye-Acıpayam ile Acıpayam-Burdur arasında kalan bölgede deprem potansiyeli yüksek olabilecek sismik boşluğa dikkat çekmişlerdir.

Güler vd. (2020) Acıpayam depremi sonrasında kırsal yığma yapılarda gerçekleştirdikleri sismik hasar görebilirlik çalışmasında, standartlara uygun olmayan yapı

malzemesi, harç kalitesi ile yetersiz mühendislik tasarımlarının hasara yol açtığını belirtmişlerdir.

Kumsar vd. (2020) Acıpayam depremi sonrasında yürüttükleri çalışmada ağır hasarların zemin büyütmesinin yüksek olduğu alanlarda, standartlara uygun olmayan yığma yapılardan ve mühendislik tasarımı olmayan yapılardan kaynaklandığını rapor etmişlerdir.

Doğan vd. (2021) Bozkurt-Denizli (Mw 6.0) sonrası yürüttükleri kosismik deformasyon analizlerinde en büyük yer değiştirmenin depremin merkez üssüne en yakın konumda olan BZKT istasyonunda meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Çalışma Alanının Depremselliği

Denizli Tarihsel depremleri

Denizli ili, Batı Anadolu topraklarındaki önemli jeolojik yapılardan olan ve Büyük Menderes ve Alaşehir grabenlerinin birleştiği alanda aktif tektonik birimler tarafından yönetilen bir bölgede bulunmaktadır. Kuzeyinde bulunan Pamukkale fay zone kuzeybatıdaki Alaşehir grabeninin devamıdır. Pamukkale ve Hierapoliste antik kentleri ise bu faylarca meydana gelen depremlerin izlerini barındırmaktadırlar. Denizli grabeninin güneyinde bulunan Denizli kent merkezise, kuzey-güney doğrultuca ve içerisinde geçen pek çok fay aktif faylar üzerinde bulunmaktadır (Şimşek, 1982; TMMOB, 2021).

Bu coğrafya üzerinde Denizli kent merkezi ile çevresinde bulunan diğer yerleşim birimlerinin tarihsel süreçlerden günümüze kadar yıkıcı depremler gerçekleşmiş ve farklı hasarlar meydana gelmiştir. 1900 yılından önce Denizli civarında M.Ö. 65 yılında ve M.S. 60 yılında oluşan depremler neticesinde Hierapolis, Laodikeia, Colossae ve Tripolis antik kentlerinde ciddi can ve mal kayıpları oluşmasının yanı sıra M.S. 494, VII. yüzyılın ilk çeyreğinde, 1358, 1651, 1717, 1878, 1117 yıllarında meydana gelen depremler neticesinde can ve mal kayıpları yaşanmıştır (TMMOB, 2021).

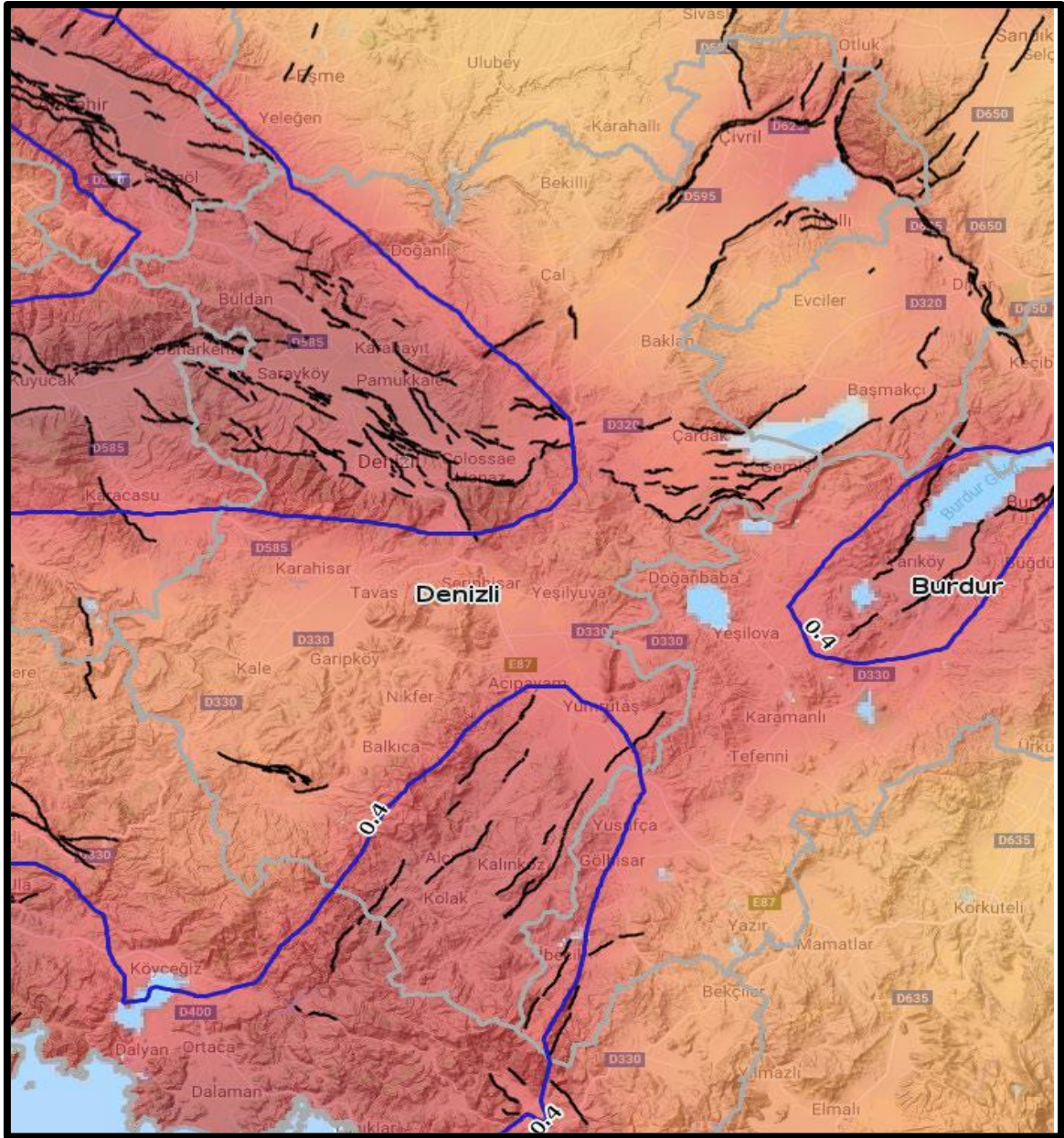
Denizli ve etrafında bulunan fayların boyları yaklaşık 20 km'den daha kısa ve birbirine paralel olarak konumlanan pek çok fay kolundan oluşmaktadır. Bu tektonik birimler bölgede küçük ve orta büyüklüklerde depremlerin oluşmasına sebebiyet vermektedir. Fakat bu fay kollarından birkaçının beraber kırılması ve bu durum karşısında yüzey faylanması meydana gelmesi de üzerinde durulması gereken konuların başında gelmektedir (TMMOB, 2021).

Denizli aletsel depremleri

Türkiye'nin birçok yerinde farklı büyüklüklerde depremler meydana gelmiş olup bu depremlerin bir kısmı da Denizli ilinde gerçekleşmiştir. Geçmişte farklı büyüklüklerde depremlerin meydana gelmesi gelecek dönem içerisinde de gelme olasılığını ortaya çıkarmaktadır. Gelecekte meydana gelebilecek yıkıcı depremler ile birlikte hasar alabilecek yapılar için aktif faylar titizlikle belirlenmeli ve yerel zemin koşulları gözetilerek yapılaşma sağlanmalıdır (TMMOB, 2021).

Denizli ilinde aletsel sismoloji döneminde; 1925 yılında Denizli il merkezinde büyüklüğü 5.9; 1933 yılında Çivril'de büyüklüğü 5.7, 1936 yılında Acıpayam'da büyüklüğü 5.3, 1963 yılında Merkez'de büyüklüğü 5.5, 1965 yılında Honaz'da büyüklüğü 5.7, 1976 yılında Merkez'de büyüklüğü 5.0, 1990 yılında Çameli'nde büyüklüğü 5.2, 1995 yılında Kaklık'ta büyüklüğü 4.9, 2000 yılında Honaz'da büyüklüğü 5.2, Buldan'da 23-26 Temmuz 2003 tarihlerinde 5.2 ve 5.6 büyüklüklerinde, 2007 yılında Çameli'nde büyüklüğü 5.1, 20.03.2019 tarihinde 5.5 büyüklüğünde Acıpayam-Yeniköy'de, 8.08.2019 tarihinde 6.0 büyüklüğünde Bozkurt depremleri meydana gelmiştir (Anonim 2021e).

Denizli ili Deprem Tehlike Haritasında bulunan mavi çizgi ile gelecek elli yıl içerisindeki depremin gerçekleşme ihtimalinin %10 aşılma olasılığına göre bir deprem anında Denizli'de oluşabilecek ivmenin 0.4 g ye ulaşabileceğini göstermektedir (Şekil 2). Denizli bölgesindeki aletsel dönem depremleriyse sıklıkla gelişme göstermesine karşın, depremin büyüklüğü genellikle altıyı geçmemektedir (Şimşek, 1982; TMMOB, 2021).



Şekil 2. Denizli ili deprem tehlike haritası (Anonim 2021a)

16-18 Eylül 2021 tarihleri arasında magnitudleri 4.0'den küçük 40'ı aşkın deprem Denizli kent merkezinin kuzey doğusunda meydana gelmiştir. Bu depremlerin merkez üsleri Kaklık Mahallesi'nin kuzeybatısında yer alan traverten ocaklarında yoğunlaşmaktadır. Bu havzadaki traverten rezervinin varlığı da bu fayın aktif olduğunu gösterebilir (Anonim 2021e).

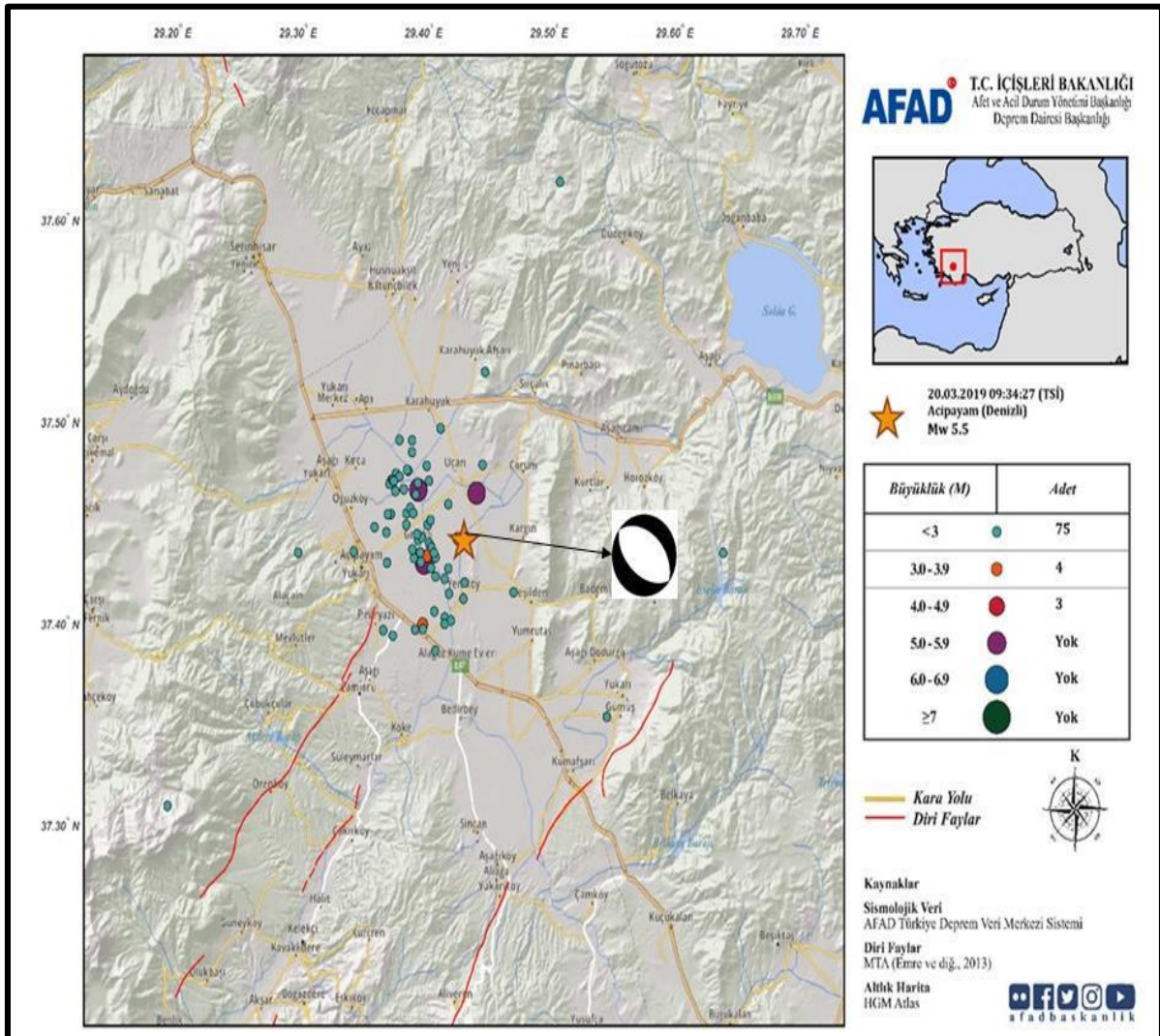
Acıpayam depremi

20 Mart 2019 tarihinde saat 09:34'te Denizli ilinin Acıpayam ilçesinde 5.5 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir (Şekil 3). Yerin yaklaşık 10 km derinliğinde oluşan bu depreme en yakın yer olarak Acıpayam ilçesine bağlı bulunan Yeniköy köyüne uzaklığı yaklaşık 2 km'dir. Anaşok'tan sonra büyüklüğü 1,4 ile 4,8 arasında değişen 120'yi aşkın artçı

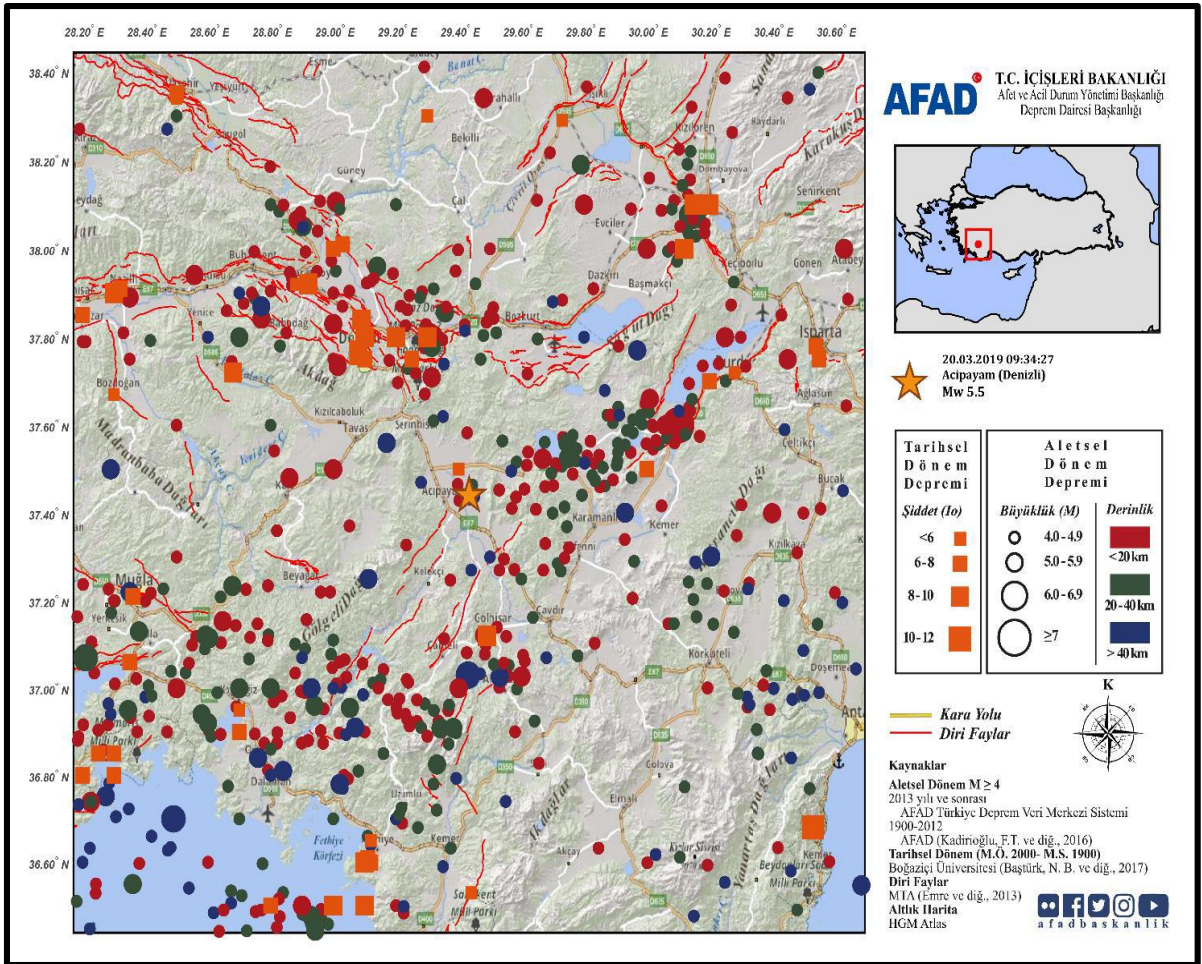
deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2019).

Acıpayam havzası kuzeydoğu ile güneybatı ve Kuzeybatı ile güneydoğu gidişli olarak normal faylarca sınırlı kalmakta olup bu depremin ana merkezi olarak bu fayların kesişiminde meydana geldiği düşünülmektedir. Bu hattın kuzeyinde 03.10.1914 ve 12.05.1971 tarihlerinde Burdur ile 24/25.04.1957 tarihlerinde ise Fethiye depremi gerçekleşmiştir (AFAD, 2019).

Bölge üzerinde 1900'lü yıllardan beri en büyük 7.00 olmak üzere 598 adet deprem gerçekleşmiştir. Ayrıca da bölgeye ait 1900'lü yılları öncesinde 76 adette tarihsel dönem depremi meydana gelmiştir (Şekil 4) (AFAD, 2019).



Şekil 3. 20.03.2019 tarih ve 09:34:27 saatindeki, acıpayam (Denizli) Mw 5.5 depremi (AFAD, 2019).

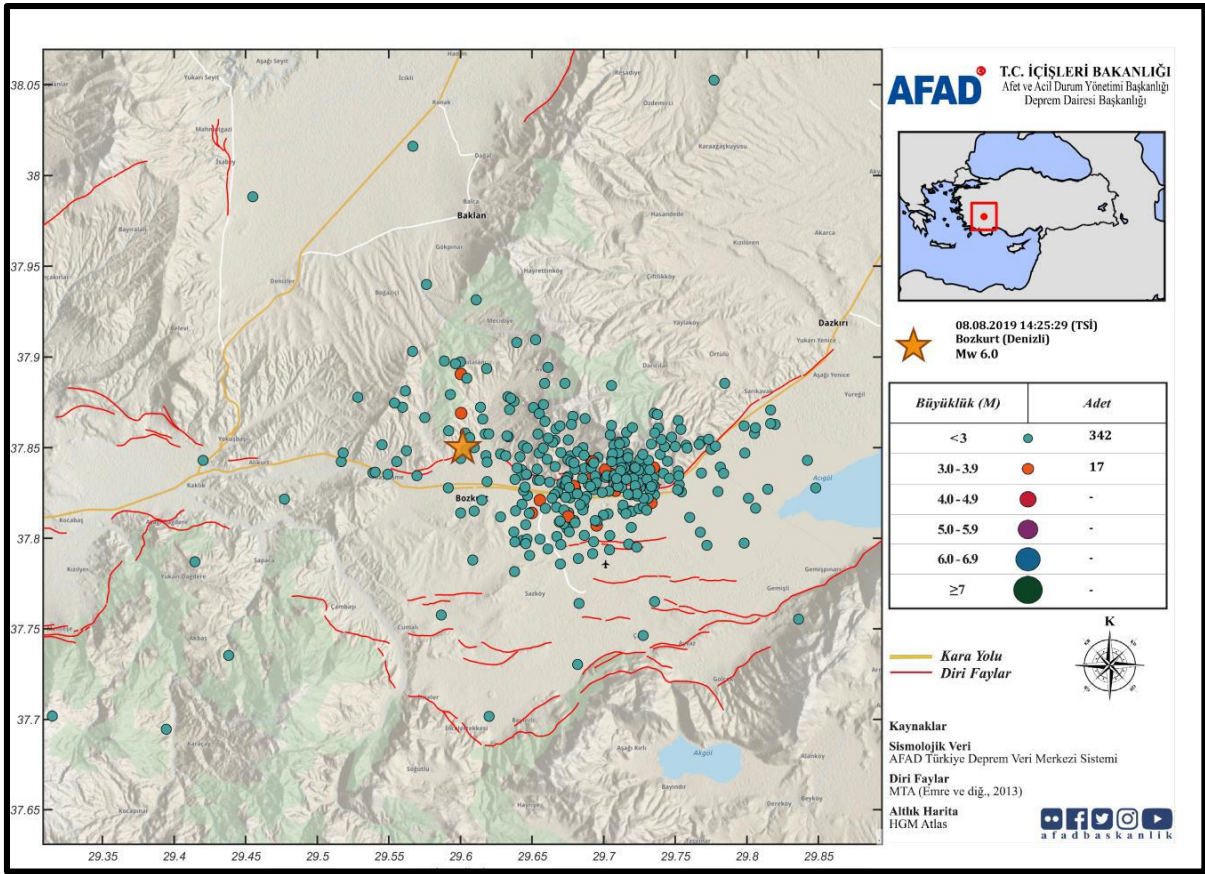


Şekil 4. Bölgenin tarihsel ve aletsel dönem deprem aktivitesi (AFAD, 2019).

Meydana gelen Acıpayam depreminde toplamda 21 köy ağır hasar almıştır. Ağır hasar alan köylerden bazıları Ucarı, Kırca, Karahüyük ve Apa'dır. Deprem sonrasında 44 yıkılan yapı, 303 ağır hasarlı yapı, 225 az hasarlı yapı olmak üzere 50 yıldan eski, mühendislik hizmeti almamış, kerpiç ve çamur harçlı, moloz taşlı yığma yapıdan meydana gelen konutlarda hasar meydana gelmiştir (AFAD, 2019).

Bozkurt depremi

8 Ağustos 2019 tarihinde saat 14:25'te Bozkurt (Denizli) merkez üssünde 6,0 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir (Şekil 5). Bu depreme en yakın yerleşim yeri olarak Denizli ilinin Çardak ilçesine bağlı olarak bulunan Dutluca köyüne uzaklığı ise yaklaşık 2 km'dir. Ana depremden sonra büyüklüğü 0,8 ile 3,8 arasında değişen 350'yi aşkın artçı deprem meydana gelmiştir. Bölge civarında 1900'lü yıllardan önce ise 64 adet tarihsel dönem depremi meydana gelmiştir. 1900'lü yıllardan sonra en büyüğü 7.0 olmak üzere 557 adet deprem meydana gelmiştir (AFAD, 2019).



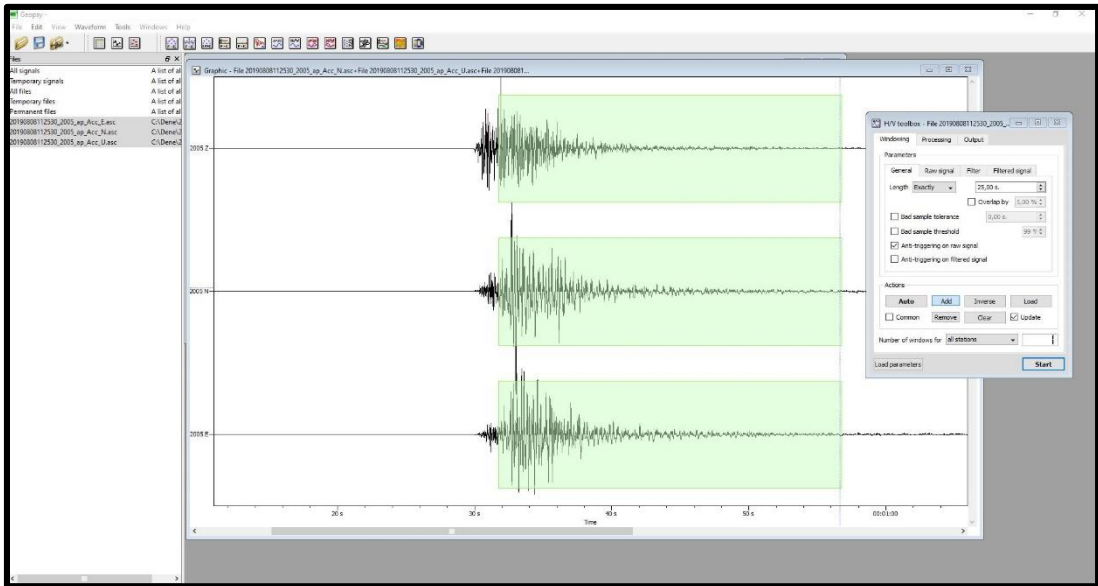
Şekil 5. 08.08.2019 tarihinde meydana gelen Bozkurt (Denizli) depremi ve artçı şok dağılımı (AFAD, 2019).

MATERYAL ve YÖNTEM

Geopsy Programı ve Analiz Yöntemi

Sesarray projesi kapsamında yerel zemin etkilerini araştırmak için sismik kayıtçılardan elde edilen veriler ile tasarlanan önemli programların başında gelmektedirler. Sesarray projesi içeriği bakımından zemin karakteristiğinin belirlenmesine ait bazı alt programları da içerisinde barındırmaktadır (Şenhisar, 2016). Bu tez çalışmasının ilk bölümünde Sesarray projesi kapsamında üretilen GEOPSY (Wathelet vd, 2020) yazılımı kullanılarak analizler yürütülmüştür.

Zaman ortamında temel veri işlem prosesleri gerçekleştirildikten sonra üç bileşen mikrotremor verisinde YDSO'nun belirlenmesi için veriye uygulanacak pencere boyunun ve pencerelerin seçimi yapılır. Sonrasında uygun filtreleme yapıldıktan sonra veriye uygulanacak olan pencereleme, tıraşlama ve yuvarlatma işlemleri yürütülür (Şenhisar, 2016). Bu tez çalışması kapsamında en az 25 sn'lik tek pencereler yardımıyla analizler yürütülmüştür. Temel olarak deprem kaydındaki S- genliğinden birkaç saniye öncesinden deprem kaydının bitimine kadar pencereleme yapılmaktadır (Şekil 6).

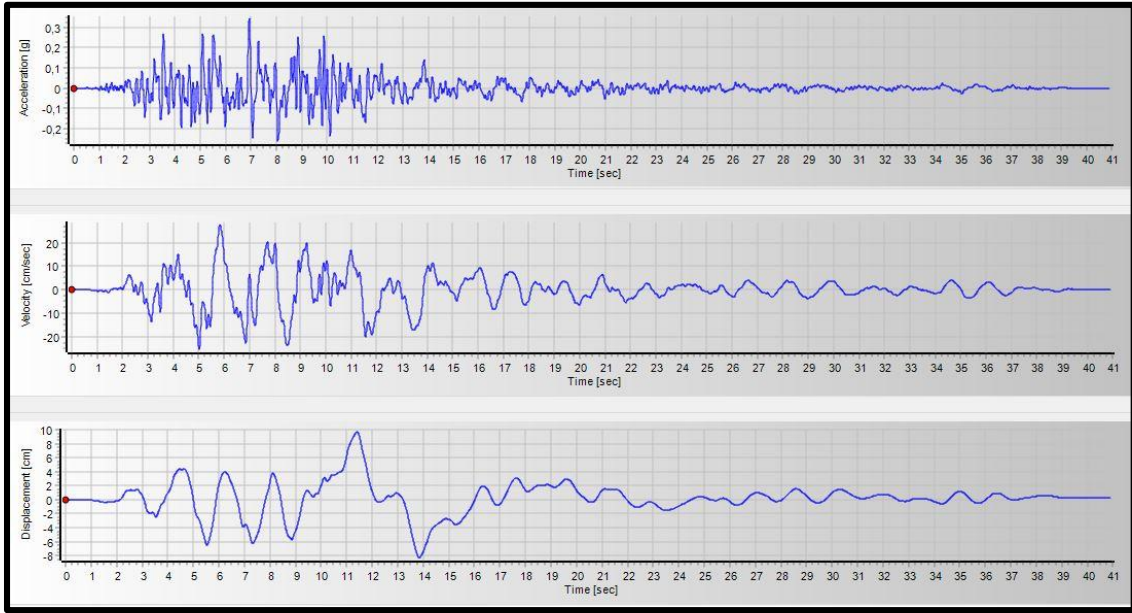


Şekil 6. Denizli ve çevresinde kullanılan ivmeölçer istasyonlarının dağılım haritası.

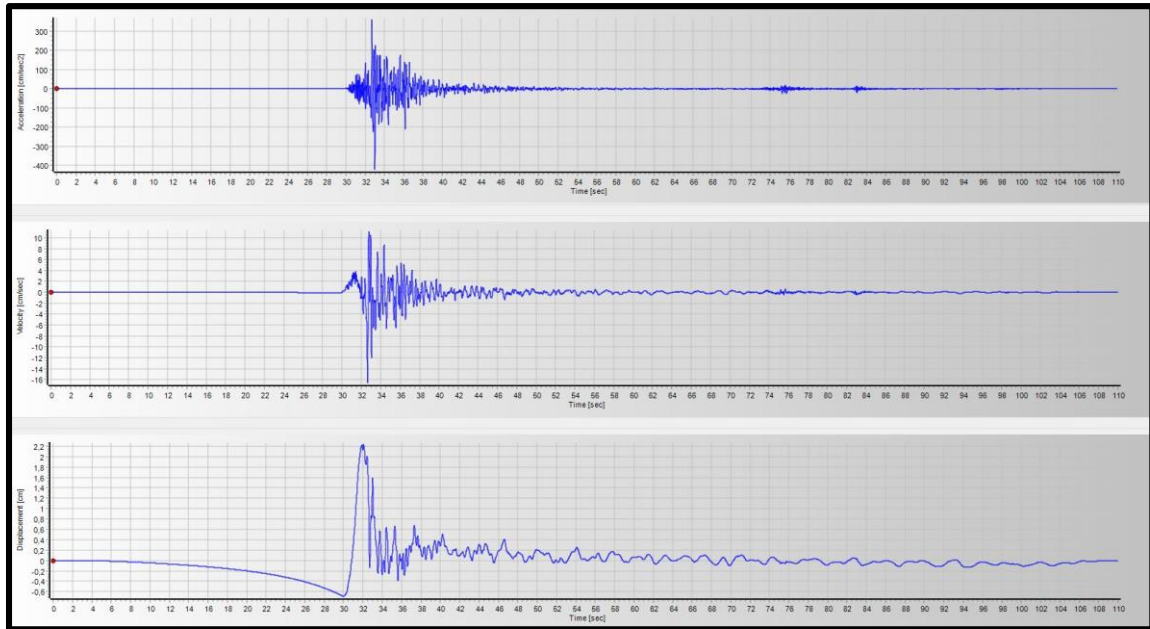
SeismoSignal Programı ve Analiz Yöntemi

Tez çalışmasının ikinci bölümünde Seismosignal programı (Seismosoft, 2021) kullanılarak deprem ivme kayıtları analiz edilmiş ve depremlere ait bazı karakteristik parametreler elde edilmiştir. Seismosoft tarafından geliştirilen “Seismosignal” programı bir

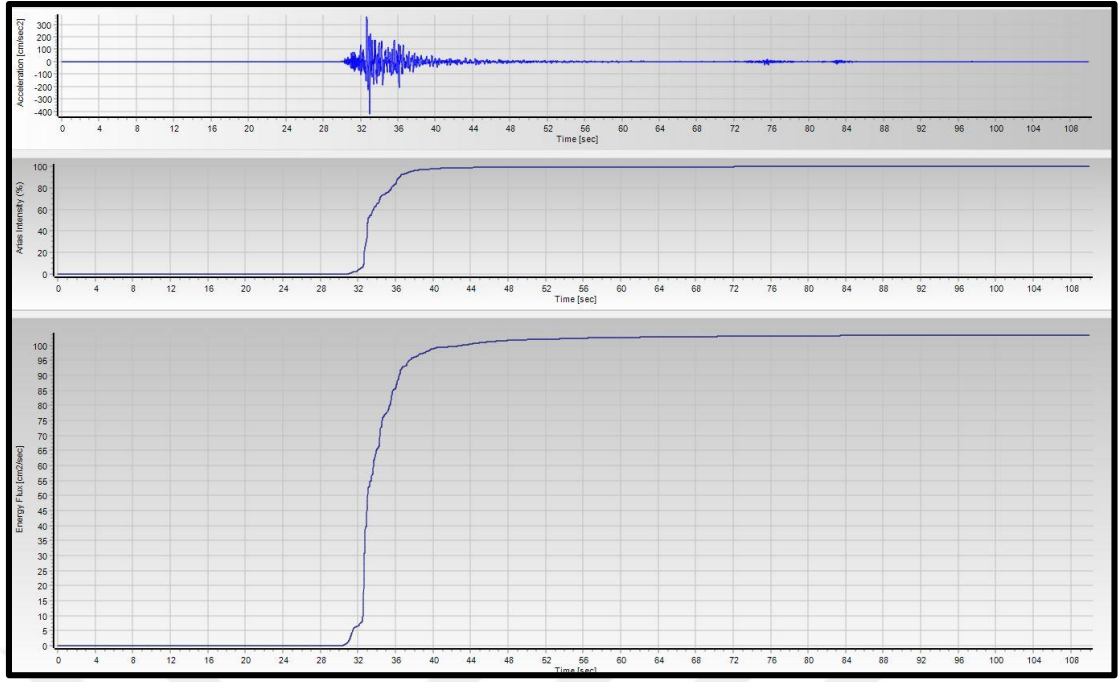
deprem ivme kaydını kullanarak depremlerin karakteristik parametrelerini hesaplayabilen, ivme diyagramlarını çizebilen ve elde ettiği tüm parametreler ile çeşitli grafikler oluşturabilen bir yazılımdır (Şekil 7, 8 ve 9) (Bozbey, 2008).



Şekil 7. 16 Ocak 1995 Kobe (Japonya) depreminin ivme-hız-yer değiştirme kaydının SeismoSignal programı ile görüntülenmesi. Deprem kayıtları SeismoSignal programında sunulan örnek kayıtlar kullanılarak çizdirilmiştir.



Şekil 8. Bozkurt (Denizli) depremi (Mw 6.0) AFAD 2005 istasyonu Kuzey-Güney Bileşenine ait ivme-hız-yer değiştirme kaydının SeismoSignal programı ile görüntülenmesi.



Şekil 9. Bozkurt (Denizli) depremi (Mw 6.0) AFAD 2005 istasyonu Kuzey-Güney Bileşenine ait ivme-arias yoğunluğu ve açığa çıkan enerji miktarının SeismoSignal programı ile görüntülenmesi

Seismosignal programı (Seismosoft, 2021) kayma düzeltmesi ve istenilen aralıklardaki frekansları filtreleme yaparak, ivme-hız-yer değiştirme hesaplamalarını yapabilen bir yazılımdır. Bu program ile aynı zamanda ivme tepkileri, frekans ortamında Fourier ve güç genliği hesaplamaları, elastik/ inelastik tepki spektrumlarının belirlenmesi yapılabilmektedir.

Nakamura (NHVSR) Tekniği

Nakamura tekniği ya da tek istasyon mikrotremor yöntemi ile belirli olan bir alan üzerinde gürültü kayıtlarını ile yatay ve düşey bileşenin spektral oranının hesaplanmasına dayanmaktadır (Denklem 1) (Nakamura, 1989). Litaratür kısmında bir kısmı belirtildiği üzere bu yöntem ile zeminlerin hâkim titreşim periyodlarının tespitine dair oldukça fazla çalışma bulunmaktadır (Karabulut, 2005; 2009; Pamuk, 2014).

$$YDSO = \sqrt{(KG^2) + (DB^2)}/Z \quad (\text{Denklem 1})$$

Denklemden KG, Kuzey-Güney bileşeni; DB, Doğu-Batı bileşeni ve Z ise düşey bileşen kaydını ifade etmektedir.

Bu yöntemde temel fikir gürültüye ait titreşimlerde düşey bileşenler etkilenmezler. Yatay bileşenler, yer takalarının bulunduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı büyütmeyle etkilenir. Bu şekilde yatay bileşen kayıtlarının spektrumlarının düşey bileşen kayıtların spektrumlarına oranlanması yerel zeminin hangi frekanslarda etkin zemin büyütmesine sahip

olduğu belirlenebilmektedir (Dikmen, 2005).

YDSO Tekniği

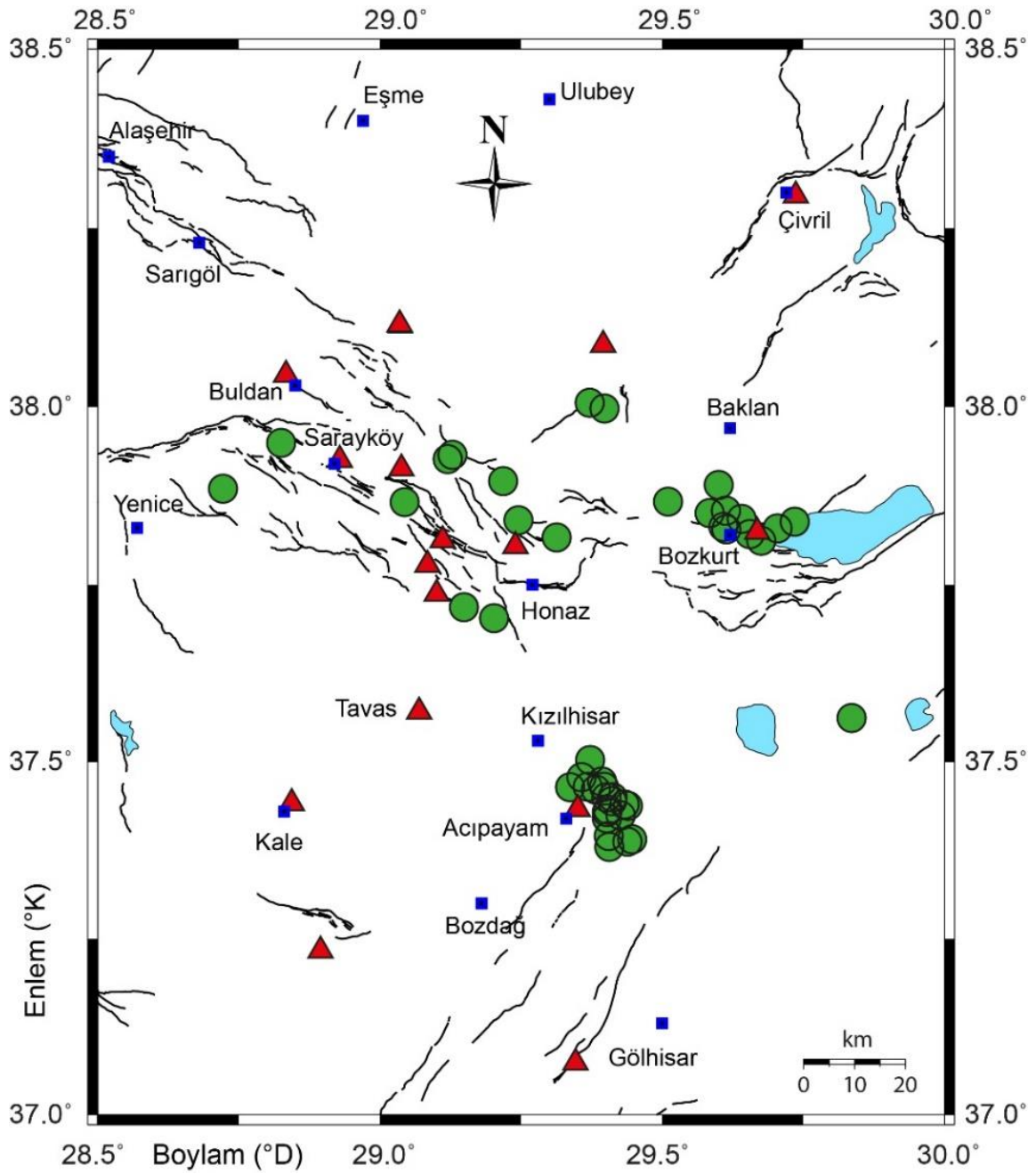
Deprem kayıtları kullanılarak elde edilen YDSO tekniğinde (EHV), deprem kayıtları kaynak ve yol etkilerini ortadan kaldırarak yerel zemin etkileri hakkında bilgi verebilmektedir (Yalçinkaya ve Alptekin, 2003). Langston (1977) telesismik deprem kayıtları kullanarak kabuk ve üst manto yapıları hakkında veri elde etmek amacıyla önerilmiştir. Yatay bileşen dalgalarının içinden geçtiği zemin özellikleri tarafından etkilendiğini, dikey bileşen dalgalarının genliğinde herhangi bir etkileşim olmadığı varsayımına dayanmaktadır. Deprem-zemin ortak davranış özelliklerinin dinamik koşullar dikkate alınarak belirlenebilmesi için en güvenilir yaklaşım deprem verilerinin kendisinin kullanılmasıdır (Yalçinkaya ve Alptekin, 2003). Bu tez çalışması kapsamında kullanılan YDSO tekniği uygulanış mantığı prensibiyle NHVSR tekniğiyle oldukça benzerlik göstermektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde deprem kaydının kullanılmasıyla birlikte hâkim periyodunun ve zemin büyütme faktörünün belirlenmesinde başarılı bir yöntem olduğu gözlemlenmiştir (Yalçinkaya ve Alptekin, 2003; Özer, 2019; Perk ve Özer 2019).

Bu tez çalışması kapsamında öncelikle deprem verileri AFAD-TADAS web sitesi üzerinden 2019-2021 yılları arasında Denizli ve çevresinde meydana gelmiş büyüklüğü en az 3.5 olan depremlerin sayısal hali indirilmiştir. Zemin hakim frekans ve büyütme faktörlerinin hesaplanması için GEOPSY (Wathelet vd, 2020) yazılımı ile ham veriler temel veri işlem ve filtreleme yapıldıktan sonra yukarıda belirtilen kısaslar gözetilerek pencere seçimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca TBDY-2018' e göre Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) ivmeölçer istasyonlardaki gerçek ivme değerlerini incelemek ve güncel yönetmelik ile karşılaştırmak için Seismosignal programı (Seismosoft, 2021) kullanılmıştır. Bozkurt Depremi (Mw 6.0) ivme verilerine kayma düzeltmesi ve bant geçişli frekans filtreleme yapılarak ham veri işlenmiştir. Sonrasında %5 ağırlık faktörü kullanılarak sözde ivme değerleri hesaplanmıştır. İvme-ölçer istasyonlarına ait zemin lokasyonlarının jeolojik bilgileri AFAD-TADAS ve MTA çizim editöründen temin edilmiş, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden zemin tipine göre tepki spektrumları belirlenmiştir (Anonim 2021a, b).

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Zemin Dinamik Analizleri

15 adet ivmeölçer tarafından kaydedilen toplam 44 adet deprem verisi yardımıyla zemin hâkim frekans ve zemin büyütme faktörü değerleri hesaplanmıştır (Tablo 1 ve Tablo 2). Zemin hâkim frekans değerleri 0.2 Hz ile 14.2 Hz arasında değişirken zemin büyütme faktörü değerleri 1.8 ile 5.7 arasında değişmektedir (Tablo 3). Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü (Anonim 2021f; Akbaş vd. 2013) ile Afet ve Acil Durum Yönetimi Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz sisteminden (EK-1) (Anonim 2021g) istasyonlara ait zeminin jeolojik özellikleri temin edilmiştir. 15 adet deprem istasyonu çoğunlukla Ayrılmamış Kuvaterner ve Karasal Kırıntılılar üzerinde olmak üzere Traverten, Kireçtaşı ve Granitoidler üzerinde konumlanmaktadır (Ek-2). Eurocode 8 sistemine (EC8) göre zemin tipi A'dan C' ye kadar değişirken en üst 30 metre zemin için ortalama kayma dalga hızı değeri (V_{s30}) ise 232 m/sn'den 805 m/sn'ye kadar değişmektedir (Ek-2). Çalışma alanında birçok aktif tektonik birim bulunmaktadır (Emre vd. 2013; 2018). Bu tez çalışması kapsamında bölgesel ölçekte Denizli ve yakın çevresinde 15 noktada zemin dinamik davranışı ortaya çıkarılmıştır (Şekil 10 ve Tablo 3).



Şekil 10. Denizli ve çevresinde kullanılan ivmeölçer istasyonlarının dağılım haritası
 Siyah çizgiler aktif tektonik birimleri (Emre vd. 2013; 2018), kırmızı üçgenler ivmeölçer istasyonlarını (AFAD-TADAS), siyah çemberler ise deprem lokasyonunu (AFAD) simgelemektedir.

Tablo 1. Denizli ve Çevresinde Kullanılan AFAD İvmeölçer İstasyonlarının Konumu

İstasyon	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Yükseklik (metre)
2002	37.8125	29.1111	332
2005	37.8245	29.6681	863
2009	37.9134	29.0380	156
2011	37.7372	29.1006	482
2012	37.7781	29.0843	395
2013	38.0448	28.8336	621
2014	37.0741	29.3464	1297
2015	37.9255	28.9288	161
2016	37.8044	29.2400	368
2017	37.4335	29.3502	906
2018	37.2330	28.8948	705
2019	37.4420	28.8438	1055
2020	37.5711	29.0694	958
2024	38.0868	29.3954	844
2025	38.2957	29.7366	837

Tablo 2. Denizli ve Çevresinde Kullanılan Depremlerin Konumu

No	Deprem Kodu	Tarih (GMT)	Enlem (°)	Boylam (°)	Derinlik (km)	Büyüklik (Mw)
1	20210520010122	2021/05/20 01:01:22	37.8406	29.2456	7.03	3.8
2	20210112063035	2021/01/12 06:30:35	37.7028	29.202	7.24	4.0
3	20200417054027	2020/04/17 05:40:27	37.9496	28.825	7.18	3.6
4	20200109045259	2020/01/09 04:52:59	37.8541	29.6128	6.14	3.7
5	20191203175503	2019/12/03 17:55:03	37.8315	29.6086	11.42	3.8
6	20191126200324	2019/11/26 20:03:24	37.843	29.6411	7.00	4.0
7	20190820043708	2019/08/20 04:37:08	37.8293	29.7046	7.00	3.9
8	20190814112923	2019/08/14 11:29:23	37.812	29.6753	11.50	3.8
9	20190808205013	2019/08/08 20:50:13	37.839	29.735	12.40	3.6
10	20190808125100	2019/08/08 12:51:00	37.8906	29.6003	9.25	3.5
11	20190808123822	2019/08/08 12:38:22	37.821	29.6555	5.03	3.7
12	20190808112530	2019/08/08 11:25:30	37.851	29.584	10.92	6.0
13	20190808111935	2019/08/08 11:19:35	37.828	29.614	17.70	4.2
14	20190404150118	2019/04/04 15:01:18	37.4646	29.3365	7.17	4.3
15	20190401014929	2019/04/01 01:49:29	37.4785	29.3573	7.67	4.5
16	20190331114532	2019/03/31 11:45:32	37.5031	29.3721	7.01	4.1
17	20190331113015	2019/03/31 11:30:15	37.4725	29.3938	10.30	4.9
18	20190327112702	2019/03/27 11:27:02	37.4505	29.4123	7.00	4.3
19	20190325143534	2019/03/25 14:35:34	37.45	29.4008	10.97	3.7
20	20190325061527	2019/03/25 06:15:27	37.3801	29.4063	7.00	4.1
21	20190322153246	2019/03/22 15:32:46	37.465	29.3685	7.00	4.1

Tablo 2. (devamı)

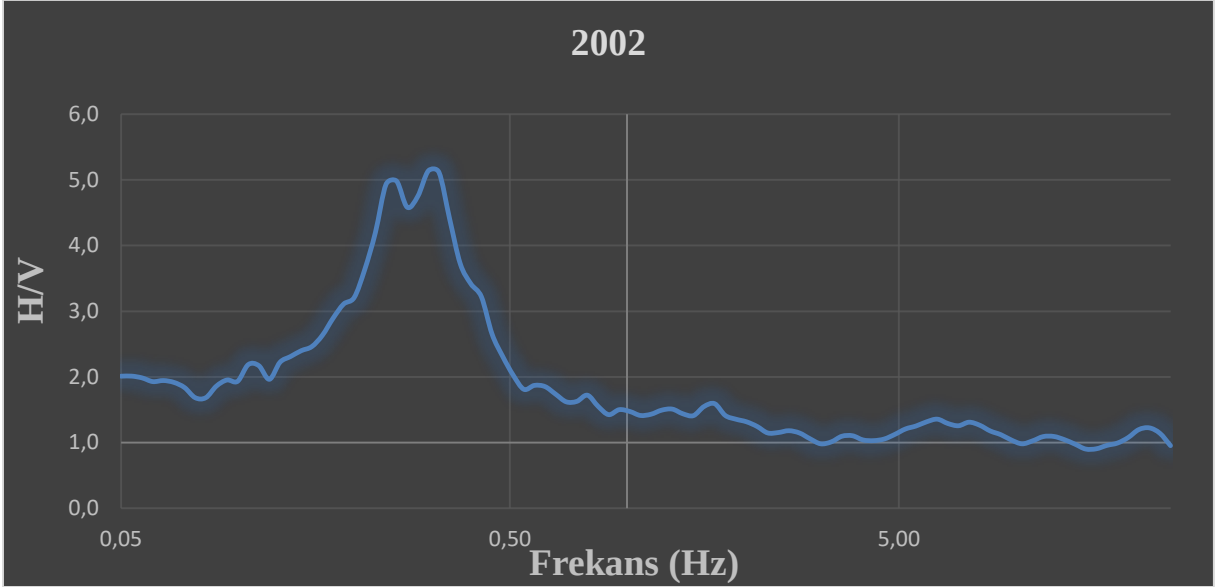
22	20190321012159	2019/03/21 01:21:59	37.4448	29.4111	6.98	3.5
23	20190320184152	2019/03/20 18:41:52	37.3906	29.4465	7.00	3.7
24	20190320170417	2019/03/20 17:04:17	37.3875	29.4383	6.99	4.1
25	20190320142005	2019/03/20 14:20:05	37.4611	29.3828	7.00	-
26	20190320124542	2019/03/20 12:45:42	37.4206	29.4018	7.00	4.1
27	20190320080027	2019/03/20 08:00:27	37.3956	29.4051	6.99	3.9
28	20190320072024	2019/03/20 07:20:24	37.4328	29.4036	3.10	3.8
29	20190320065158	2019/03/20 06:51:58	37.4293	29.4016	6.98	4.2
30	20190320064156	2019/03/20 06:41:56	37.4655	29.397	7.00	4.5
31	20190320063819	2019/03/20 06:38:19	37.4381	29.4395	12.93	4.8
32	20190320063427	2019/03/20 06:34:27	37.4401	29.4335	10.76	5.5
33	20190320014148	2019/03/20 01:41:48	37.4246	29.4268	10.02	3.7
34	20190311092248	2019/03/11 09:22:48	37.885	28.722	7.00	3.8
35	20180723024024	2018/07/23 02:40:24	37.562	29.8353	7.01	4.6
36	20180426113741	2018/04/26 11:37:41	37.8166	29.3133	15.68	4.2
37	20180414120428	2018/04/14 12:04:28	37.8955	29.2181	11.26	3.8
38	20171005134322	2017/10/05 13:43:22	37.8671	29.5105	6.33	4.0
39	20170421222136	2017/04/21 22:21:36	37.7188	29.1485	15.47	3.7
40	20161019092126	2016/10/19 09:21:26	37.8663	29.0436	5.15	3.5
41	20160928091006	2016/09/28 09:10:06	37.933	29.1285	7.50	4.0
42	20160927181113	2016/09/27 18:11:13	37.9268	29.1198	7.22	4.0
43	20160720063816	2016/07/20 06:38:16	38.0055	29.3718	13.75	3.8
44	20160717205844	2016/07/17 20:58:44	37.9978	29.3981	9.48	4.0

Deprem parametreleri AFAD'dan temin edilmiştir

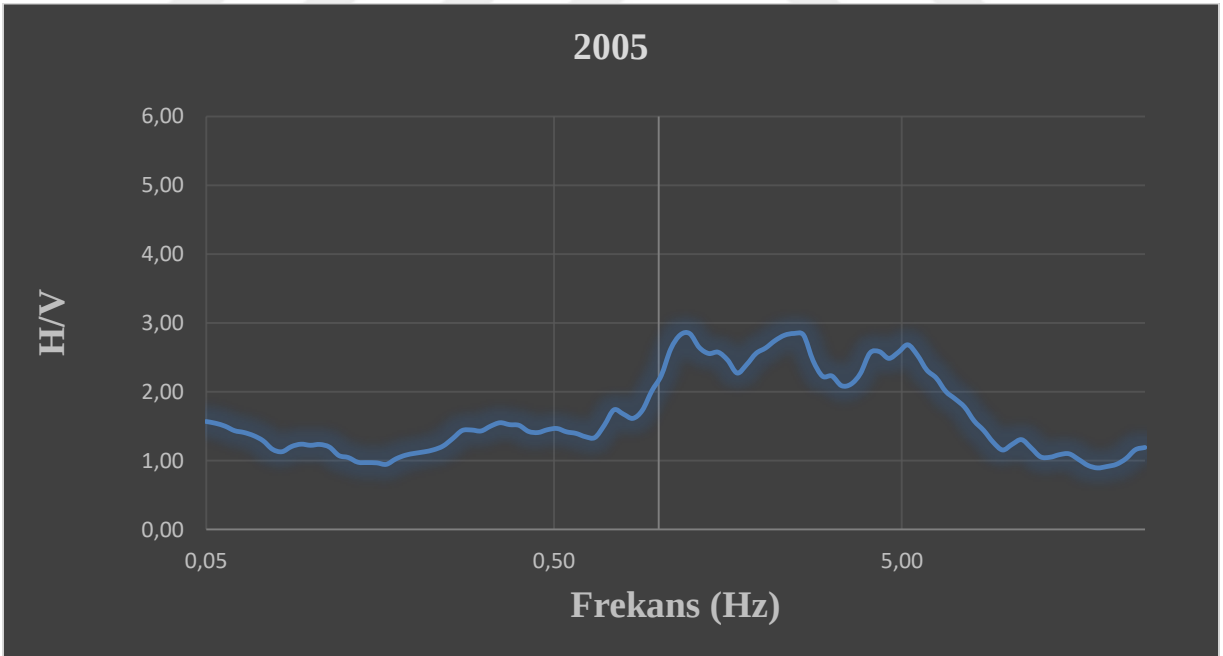
Karasal Kırıntılılar üzerinde Vs30 hızı 356 m/sn ve EC8' göre C tipi zemin üzerine kurulu 2002 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.3 Hz ve büyütme faktörü 5.1 olarak hesaplanmıştır. 0.2-0.4 Hz arasında etkin bir büyütme karakteri sergilemektedir (Şekil 11). Ayrılmamış Kuvaterner üzerinde Vs30 hızı 395 m/sn ve EC8' göre B tipi zemin üzerine kurulu 2005 istasyonunda zemin hâkim frekansı 1.2 Hz ve büyütme faktörü 2.9 olarak hesaplanmıştır. 1.1-5.5 Hz arasında zemin büyütme faktörü karakteri etkindir (Şekil 12). Ayrılmamış Kuvaterner üzerinde kurulu 2009 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.2 Hz ve büyütme faktörü 4.5 olarak hesaplanmıştır. 0.1-2 Hz arasında ve 1.5 ile 3.3 Hz arasındaki zemin büyütme değerleri önemlidir (Şekil 13). Alüvyon Yelpazesi, yamaç molozu, moren üzerinde kurulu 2011 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.7 Hz ve büyütme faktörü 1.8 olarak hesaplanmıştır. Jeolojik yapısının aksine flat bir karakteristik sergilemiştir. Buradaki trendin jeolojik yapı ile uyumsuz olduğu düşünülmektedir (Şekil 14). Traverten üzerinde Vs30 hızı 462 m/sn ve EC8' göre B tipi zemin üzerine kurulu 2012 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.2 Hz ve büyütme faktörü 3.1 olarak hesaplanmıştır. 0.13-0.23 Hz ile 7.5-11.5 Hz arasında 3'e kadar zemin büyütmesi gözlenmiştir (Şekil 15). Ayrılmamış Kuvaterner üzerinde

Vs30 hızı 345 m/sn ve EC8' göre C tipi zemin üzerine kurulu 2013 istasyonunda zemin hâkim frekansı 2.0 Hz ve büyütme faktörü 3.7 olarak hesaplanmıştır. 0.5-2.3 Hz arasında 4' e varan zemin büyütmeleri hesaplanmıştır (Şekil 16). Ayrılmamış Kuvaterner üzerinde Vs30 hızı 344 m/sn ve EC8' göre C tipi zemin üzerine kurulu 2014 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.6 Hz ve büyütme faktörü 3.6 olarak hesaplanmıştır (Şekil 17). Alüvyon Yelpazesi, yamaç molozu, moren üzerinde Vs30 hızı 232 m/sn ve EC8' göre C tipi zemin üzerine kurulu 2015 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.2 Hz ve büyütme faktörü 5.7 olarak hesaplanmıştır. İnceleme alanı içerisindeki zemin dinamik özellikleri mühendislik açısından en zayıf zemin bu noktadadır (Şekil 18). Traverten üzerinde Vs30 hızı 805 m/sn ve EC8' göre A tipi zemin üzerine kurulu 2016 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.3 Hz ve büyütme faktörü 3.3 olarak hesaplanmıştır. Her ne kadar çalışma alanı içerisinde jeoteknik anlamda en dayanımlı zemin olarak nitelendirilse de 0.18-0.38 Hz arasında zemin etkisi dikkate alınması gereken bir lokasyondur. Buradaki durum aktif tektonik zonlara çok yakın mesafede bulunan bu istasyonun, lokal faylar tarafından yönetilen kompleks bir stratigrafiye sahip olması ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir (Şekil 19). Ayrılmamış Kuvaterner üzerinde Vs30 hızı 303 m/sn ve EC8' göre C tipi zemin üzerine kurulu 2017 istasyonunda zemin hâkim frekansı 14.2 Hz ve büyütme faktörü 3.9 olarak hesaplanmıştır. Bu istasyondaki yüksek frekanslardaki gözlemlenen büyütme faktörlerinden ziyade 0.3-3.15 Hz arasındaki 3'e varan zemin büyütme faktörlerinin önemi daha fazladır (Şekil 20). Karasal Kırıntılılar üzerinde Vs30 hızı 549 m/sn ve EC8' göre B tipi zemin üzerine kurulu 2018 istasyonunda zemin hâkim frekansı 0.8 Hz ve büyütme faktörü 4.1 olarak hesaplanmıştır (Şekil 21). Buradaki durum 2016 kodlu istasyondaki duruma benzerdir. İstasyon lokasyonunun Kuzeyinde aktif tektonik zonlar bulunmakta ve bu alanın lokal faylar tarafından yönetilen kompleks bir stratigrafiye sahip olması ile zemin dinamik özelliklerinin ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Gerek 2016 gerekse 2018 kodlu istasyonlar diğer alanlara nazaran daha kompakt birimler üzerinde konumlanmalarına rağmen, zemin dinamik özellikleri dar ölçekte bazı spesifik trendler sergilemekte diğer frekans aralıklarında ise bir büyütmeye yakın flat bir eğrisellik gözlenmektedir. Neritik Kireçtaşı üzerinde Vs30 hızı 567 m/sn ve EC8' göre B tipi zemin üzerine kurulu 2019 istasyonunda zemin hâkim frekansı 8.6 Hz ve büyütme faktörü 3.2 olarak hesaplanmıştır (Şekil 22). Pelajik Kireçtaşı üzerinde Vs30 hızı 477 m/sn ve EC8' göre B tipi zemin üzerine kurulu 2020 istasyonunda zemin hâkim frekansı 5.2 Hz ve büyütme faktörü 3.2 olarak hesaplanmıştır (Şekil 23). 2019 ve 2020 istasyonlarındaki genel H/V karakteri 1 ile 2 arasında değişirken yüksek frekanslarda bir miktar zemin büyütme faktörü tespit edilmiştir. Karasal Kırıntılılar üzerinde kurulu 2024 istasyonunda zemin hâkim frekansı 3.6 Hz ve büyütme faktörü 2.4 olarak hesaplanmıştır (Şekil 24). Ayrılmamış Kuvaterner üzerinde kurulu 2025 istasyonunda zemin hâkim frekansı

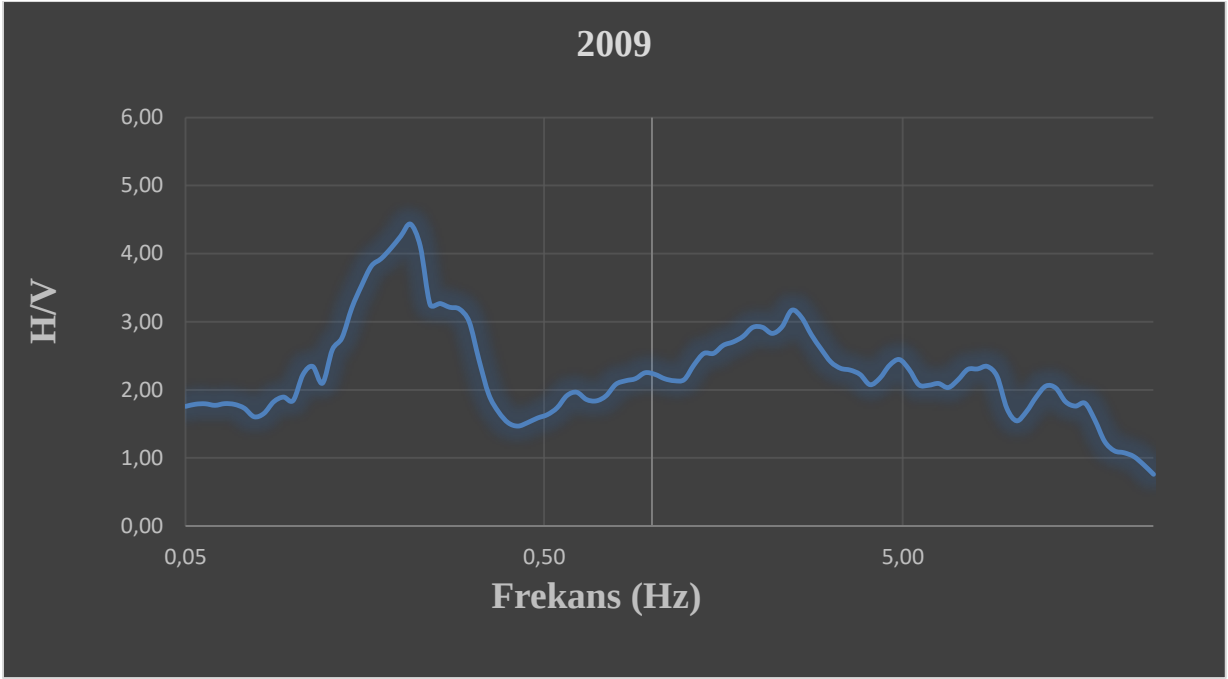
0.3 Hz ve büyütme faktörü 4.2 olarak hesaplanmıştır (Şekil 25). 0.2-1.8 Hz ile 1.9-2.2 Hz arasında dörde ulaşan zemin büyütmeleri hesaplanmıştır. H/V eğriselliğindeki değişimler bu lokasyondaki zemin büyütmelelerinin frekansa bağlı olarak dinamik etkiler altında etkin olacağını ifade etmektedir.



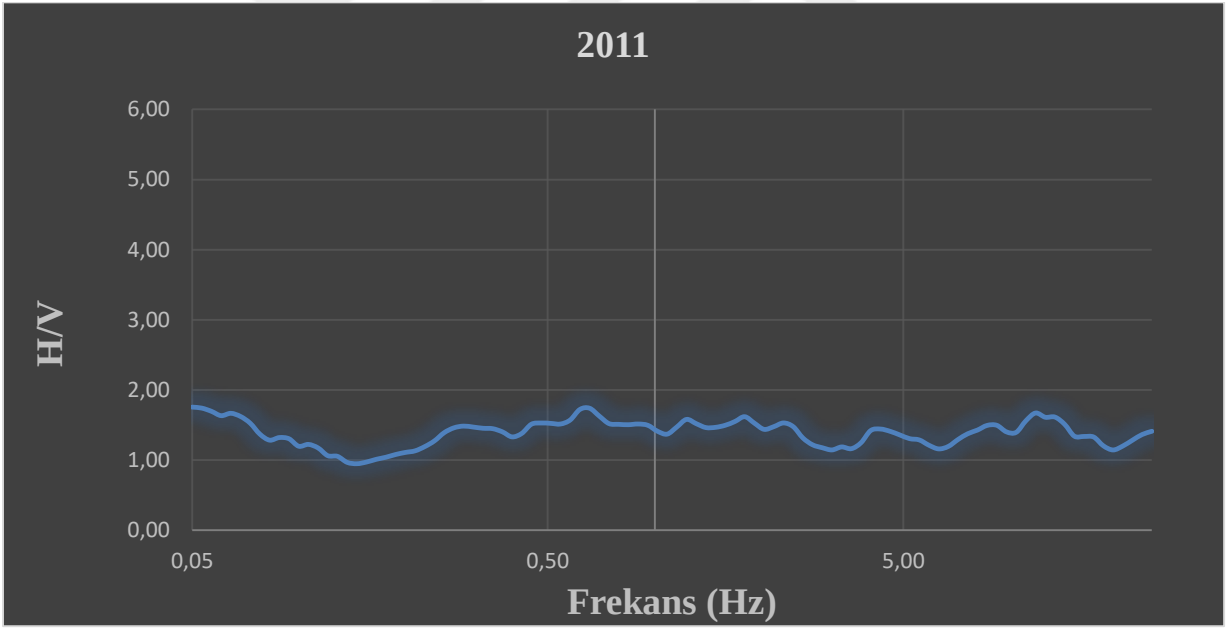
Şekil 11. 2002 kayıtcısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



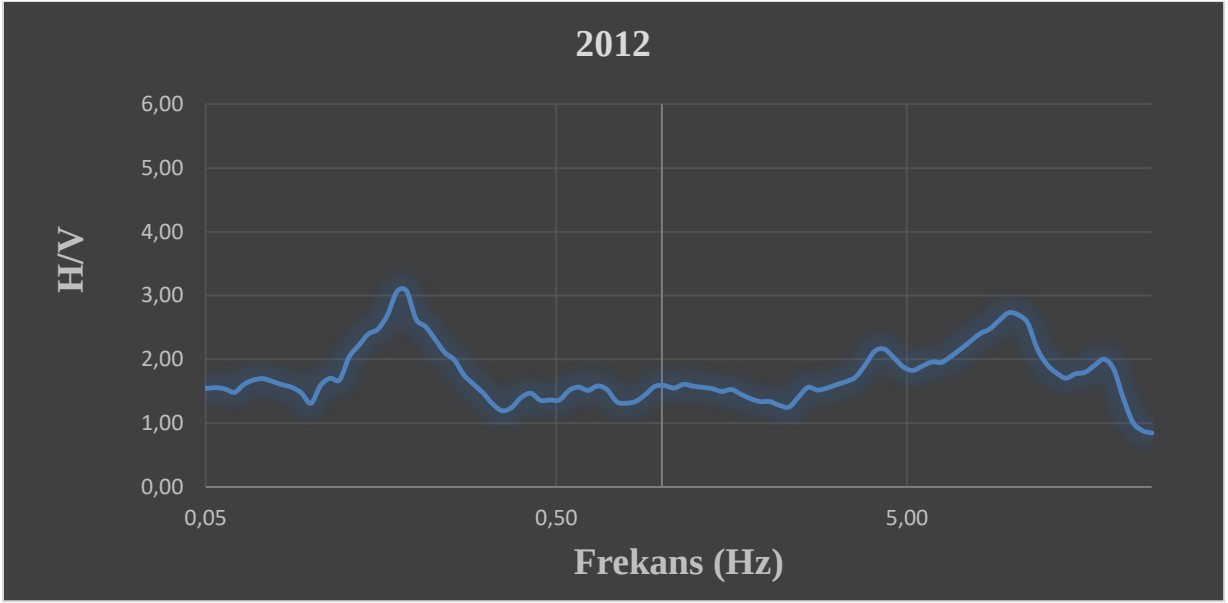
Şekil 12. 2005 kayıtcısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



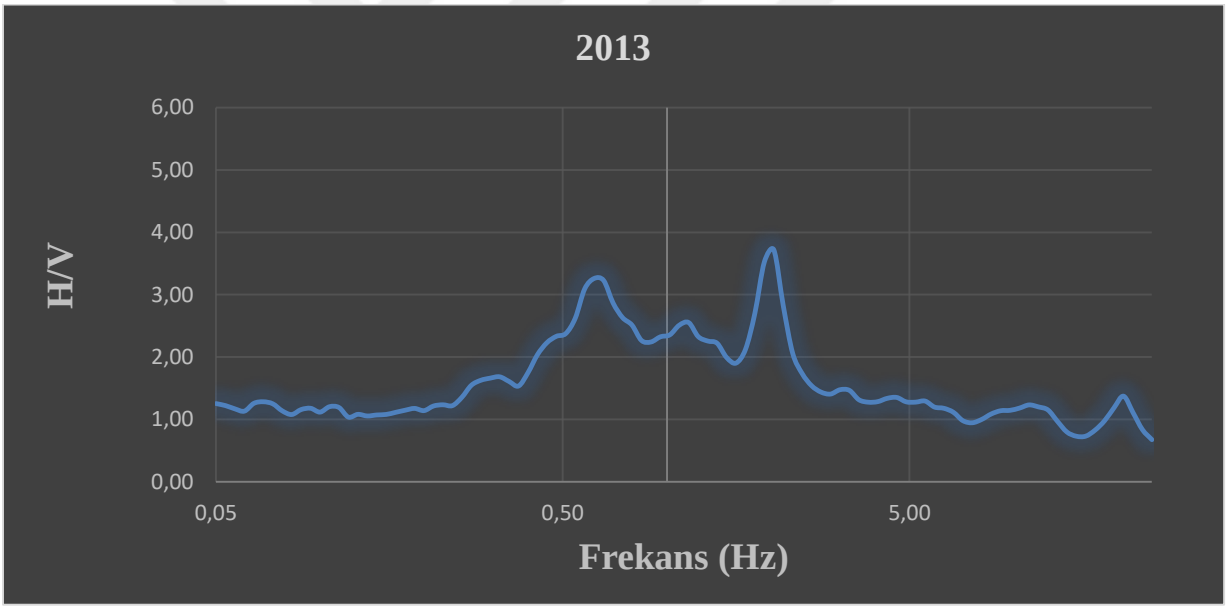
Şekil 13. 2009 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



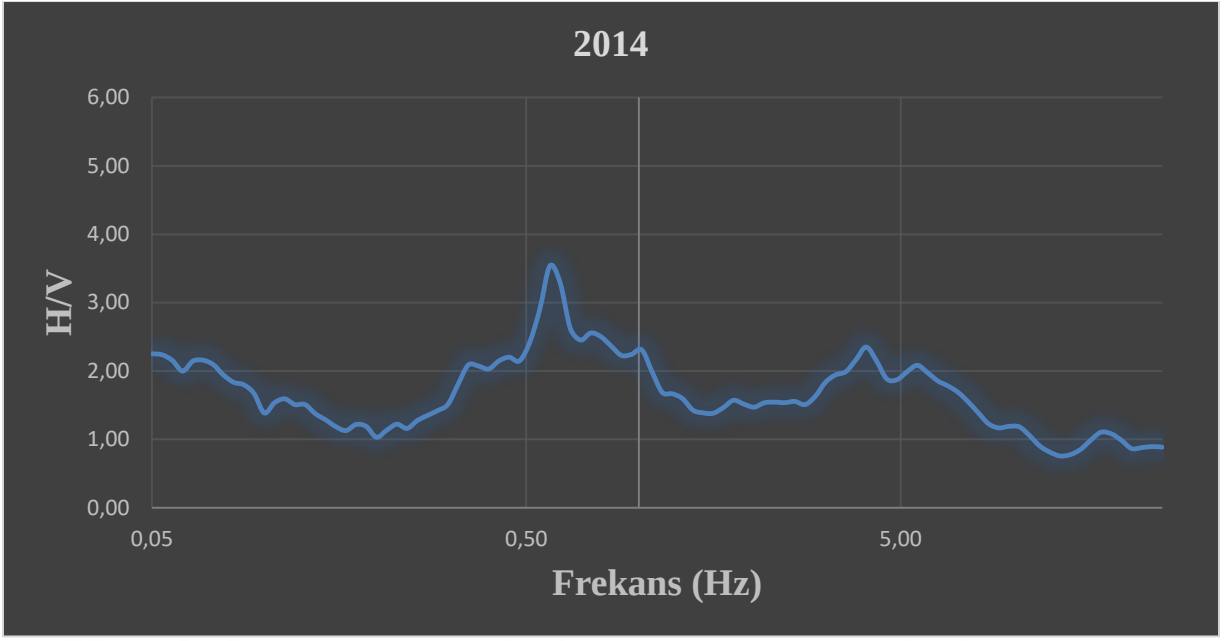
Şekil 14. 2011 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



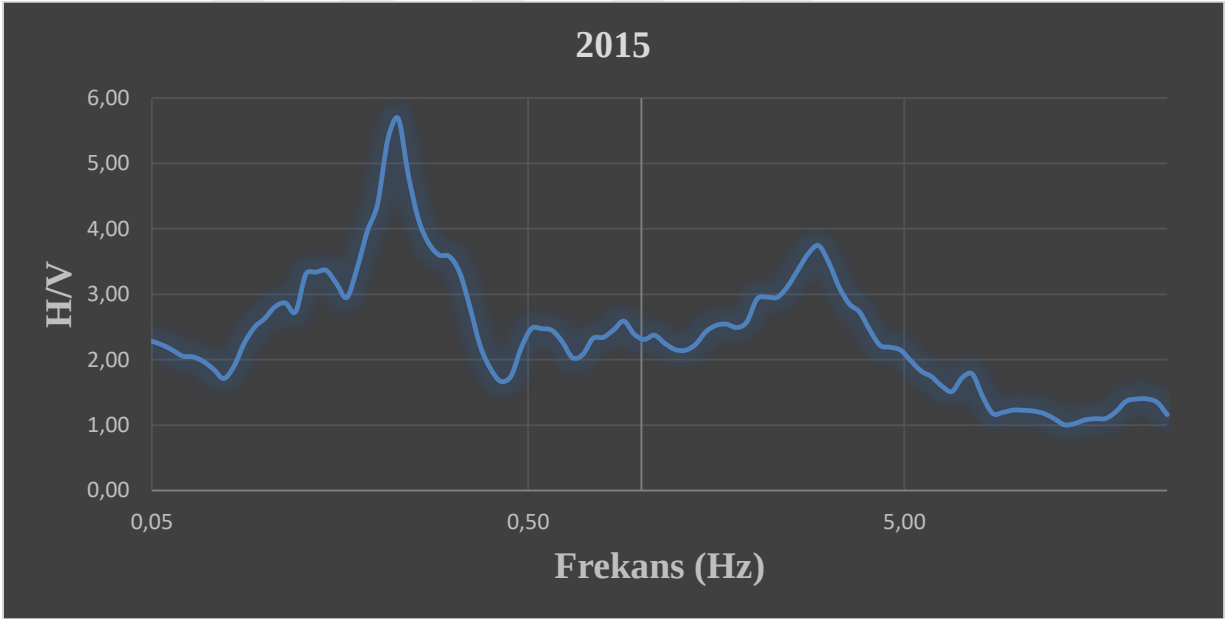
Şekil 15. 2012 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



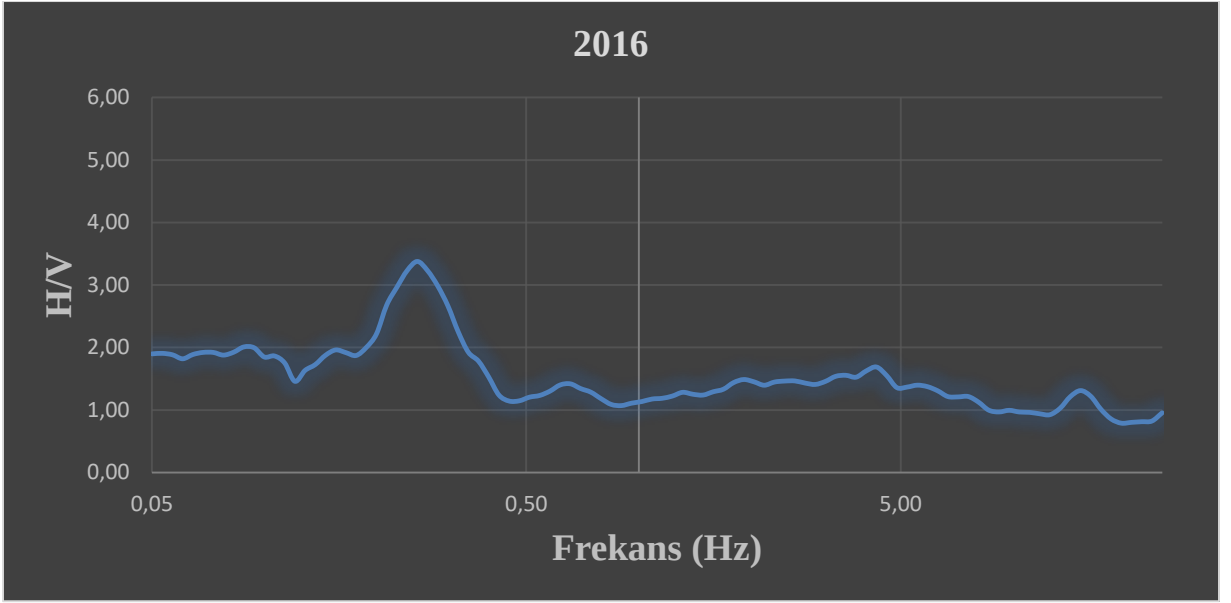
Şekil 16. 2013 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



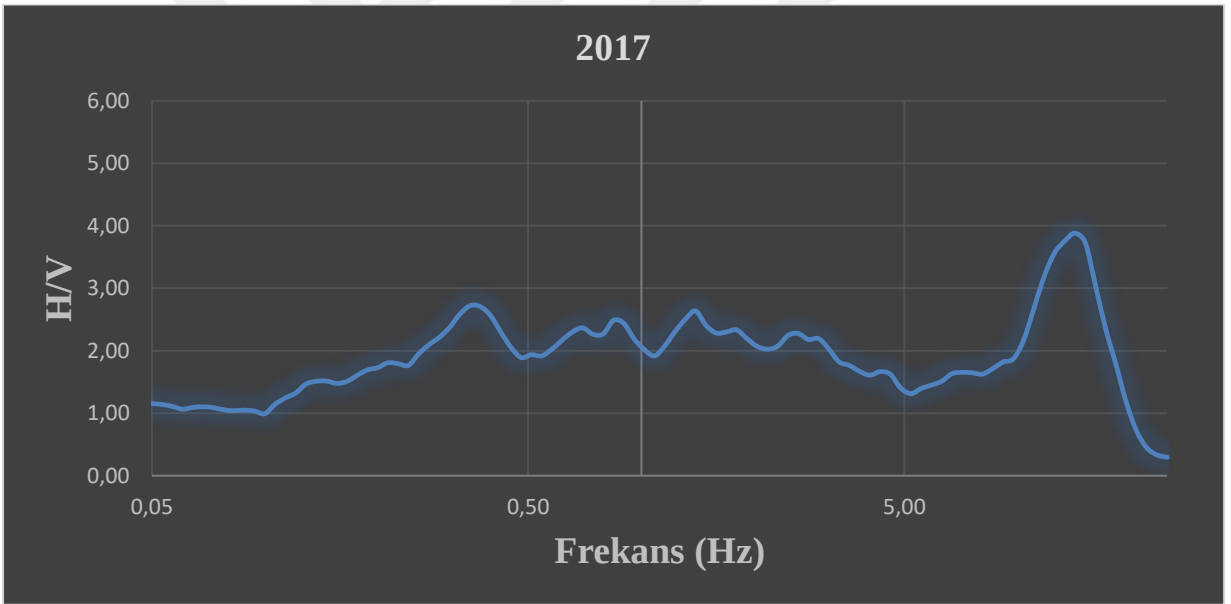
Şekil 17. 2014 kayıtcısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



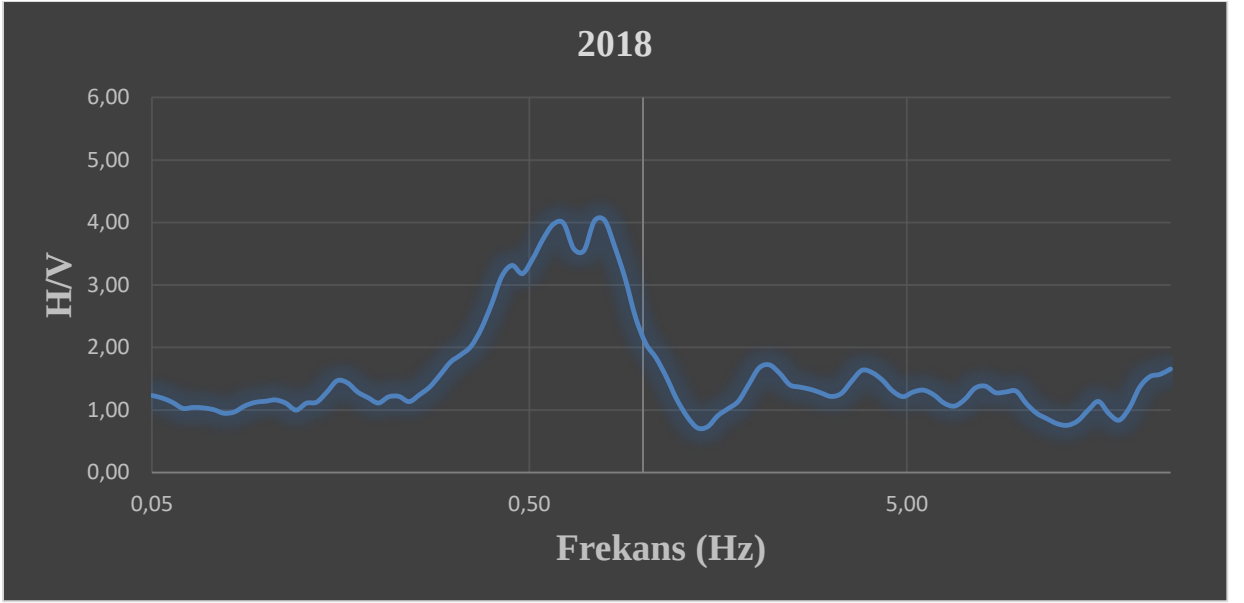
Şekil 18. 2015 kayıtcısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



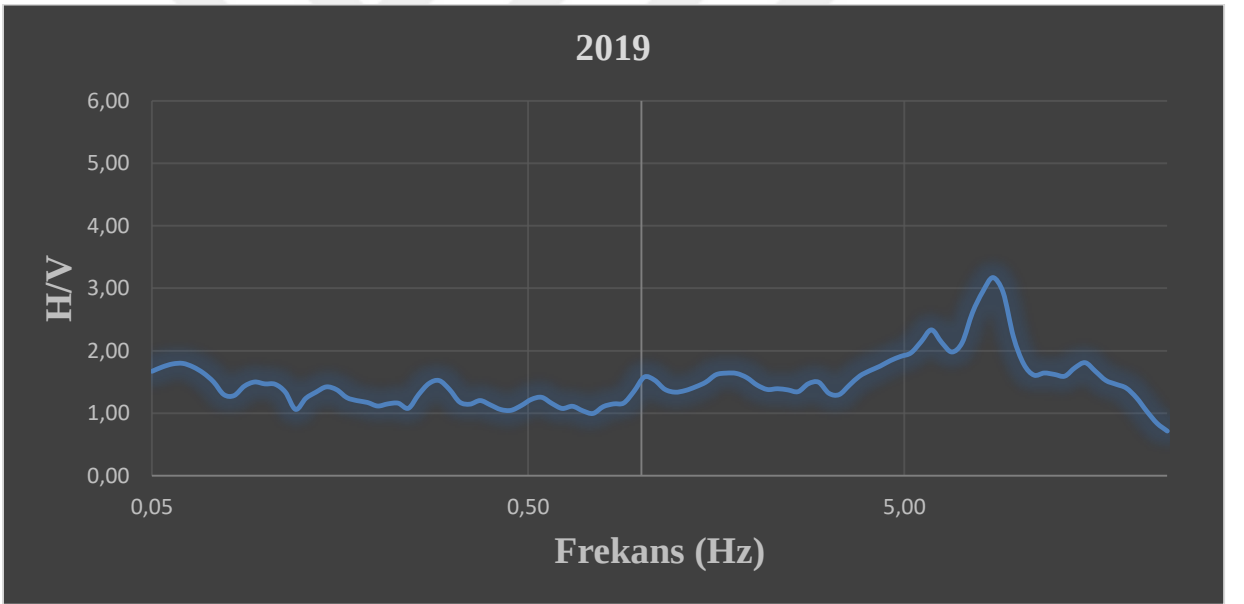
Şekil 19. 2016 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



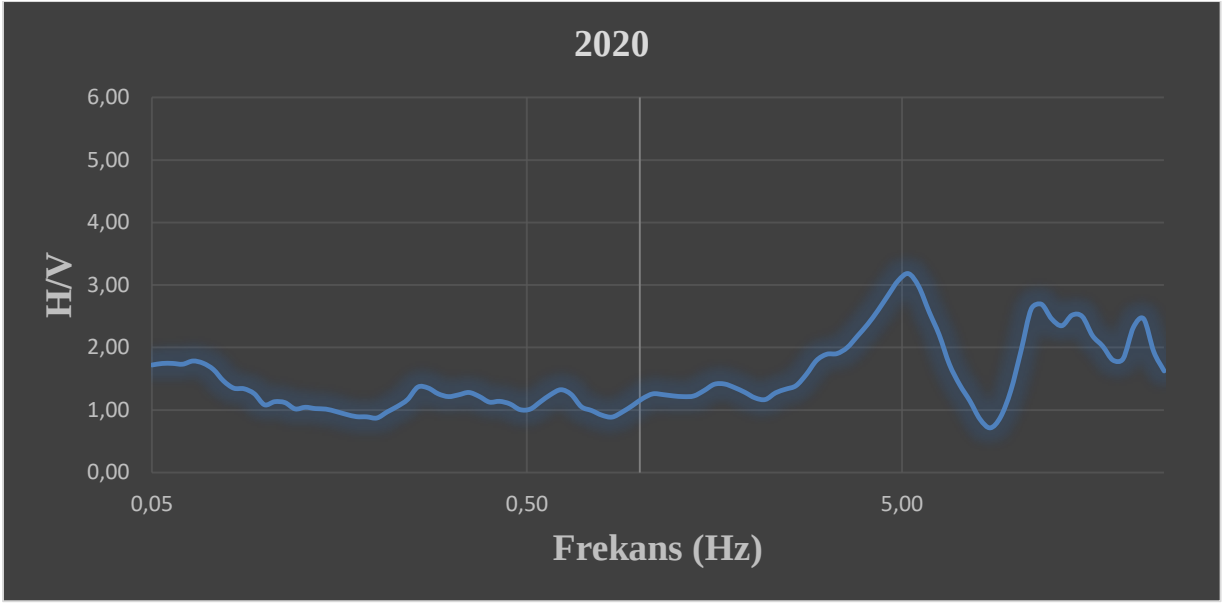
Şekil 20. 2017 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



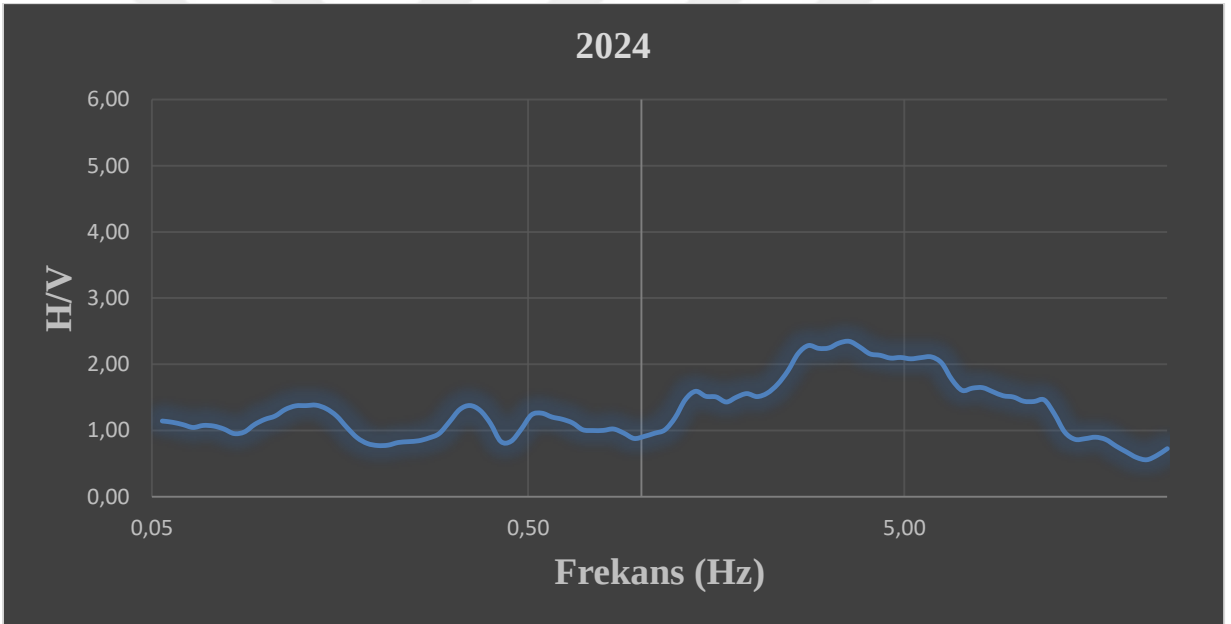
Şekil 21. 2018 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



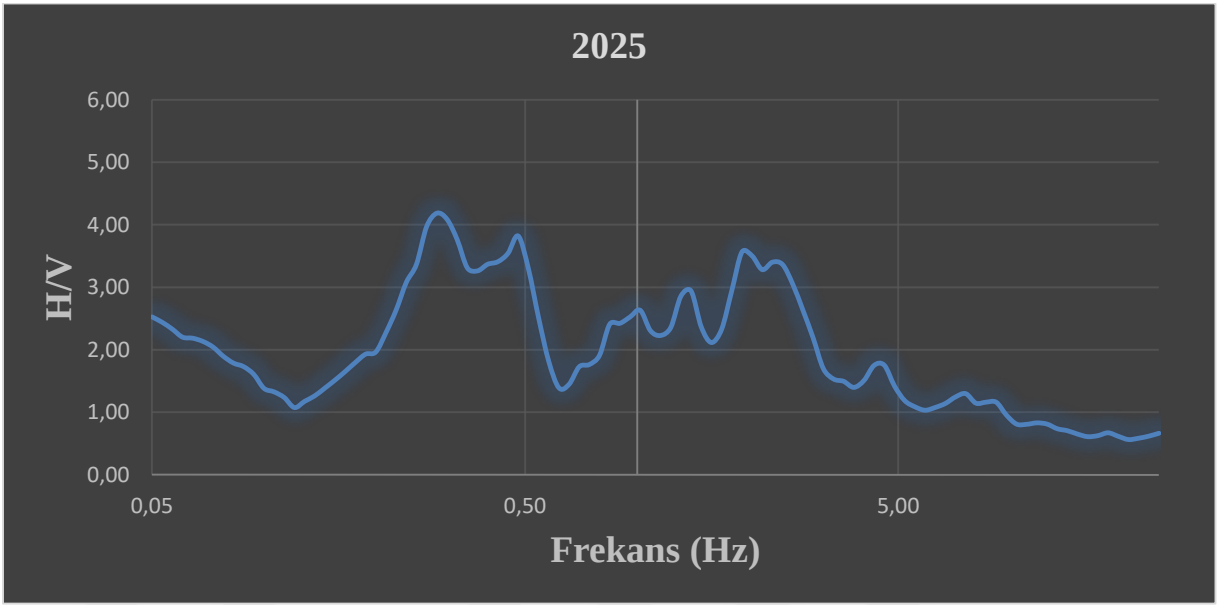
Şekil 22. 2019 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



Şekil 23. 2020 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



Şekil 24. 2024 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi



Şekil 25. 2025 kayıtçısına ait H/V genliklerinin frekansa göre değişimi

Tablo 3. Denizli ile Kuvvetli Yer Hareketi İstasyonlarına Ait Zemin Dinamik Parametreleri

İstasyon	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Frekans (Hz)	Büyütme Faktörü
2002	37.8125	29.1111	0.3	5.1
2005	37.8245	29.6681	1.2	2.9
2009	37.9134	29.0380	0.2	4.5
2011	37.7372	29.1006	0.7	1.8
2012	37.7781	29.0843	0.2	3.1
2013	38.0448	28.8336	2.0	3.7
2014	37.0741	29.3464	0.6	3.6
2015	37.9255	28.9288	0.2	5.7
2016	37.8044	29.2400	0.3	3.3
2017	37.4335	29.3502	14.2	3.9
2018	37.2330	28.8948	0.8	4.1
2019	37.4420	28.8438	8.6	3.2
2020	37.5711	29.0694	5.2	3.2
2024	38.0868	29.3954	3.6	2.4
2025	38.2957	29.7366	0.3	4.2

Spektral İvmelerin Karşılaştırılması

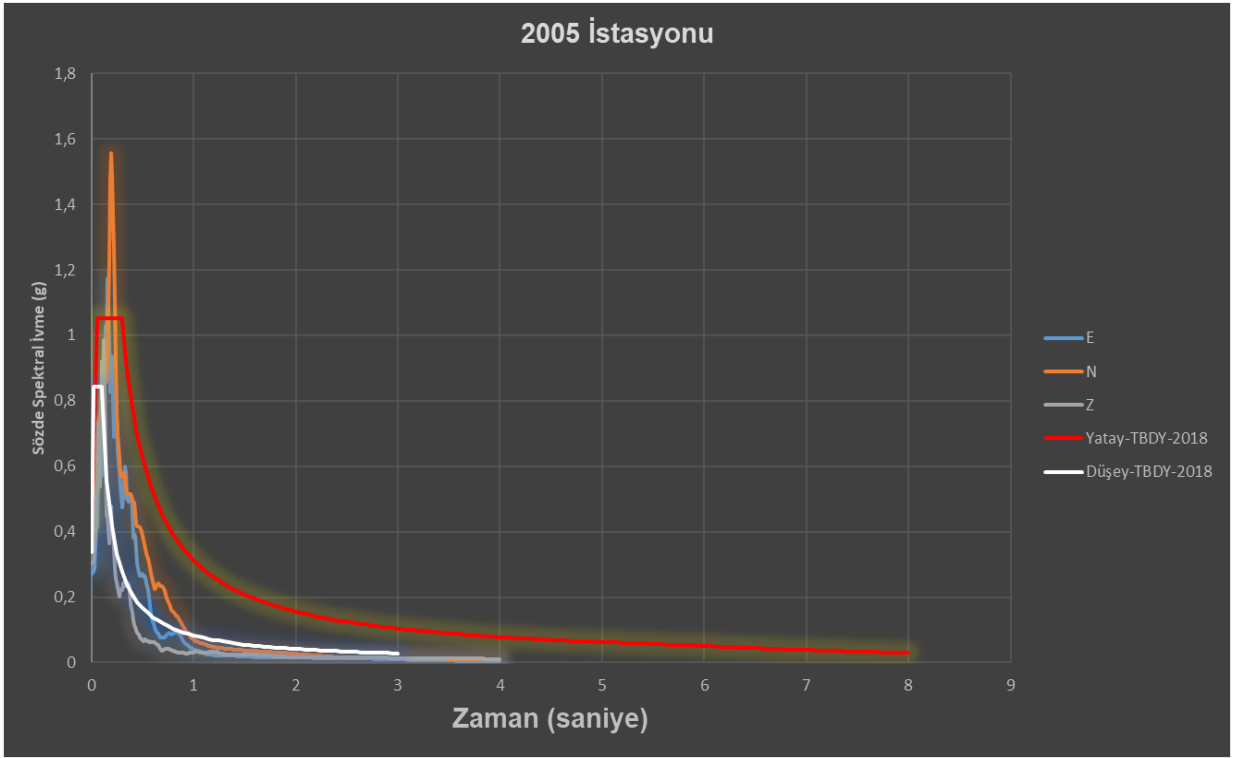
Bozkurt depremi anaşok kayıtları Denizli il sınırları içinde konumlanan dokuz adet ivme ölçer tarafından kayıt edilmiştir. Bozkurt depreminden Denizli ilinde bulunan ivmeölçer lokasyonları için elde edilen davranış spektrumlarının, 2018 tarihli Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) de belirtilen tasarım spektrumları kullanılarak ivmeölçer

lokasyonlarında elde edilen tepki spektrumları ile yönetmelik karşılaştırılmıştır. İvme kayıtlarının gürültülerden arındırılması ve yapay etkilerden uzak tutulması amacıyla filtreleme ve zaman eksenini düzeltmeleri kullanılmıştır. Her deprem kaydına 0.1 Hz ile 25 Hz arasındaki verileri kullanmaya olanak sağlayan Butterworth bant-geçişli filtre uygulanmıştır. %5 ağırlıklandırılarak hesaplanan sözde ivme spektrumları Şekil 26-34 arasında sunulmaktadır.

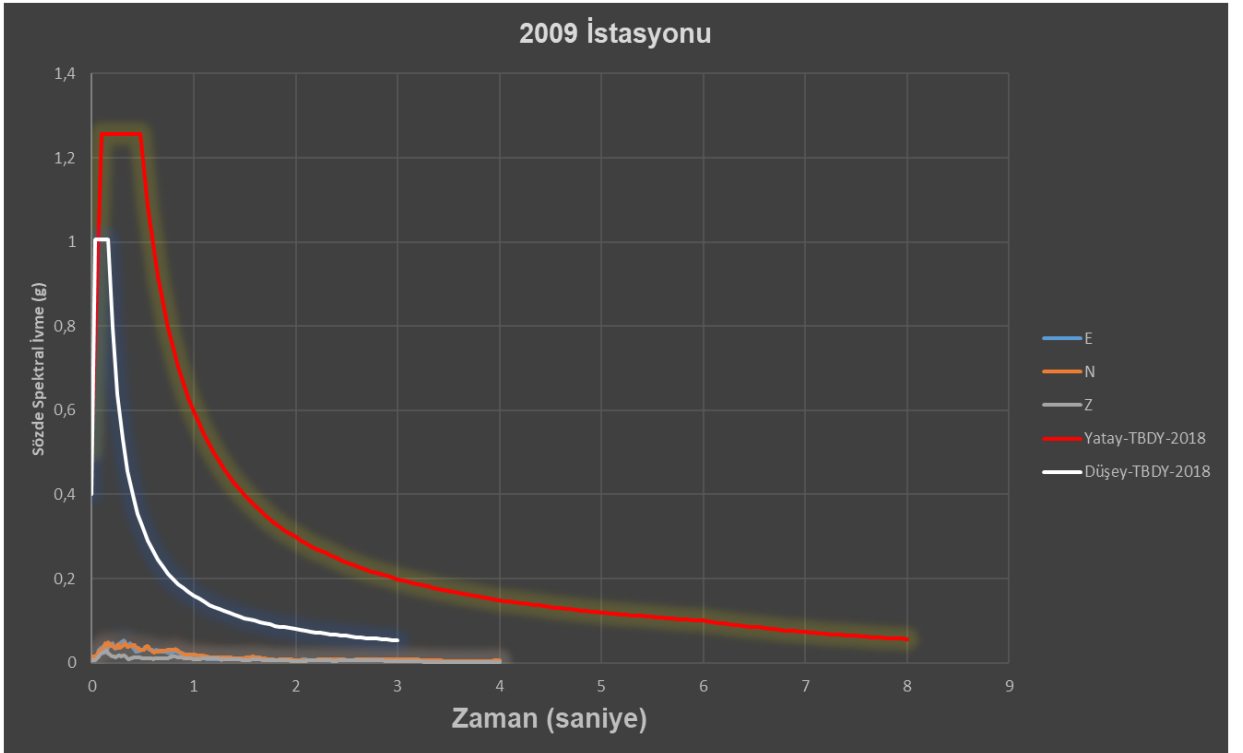
Afet ve Acil Durum Yönetimi Deprem Dairesi Başkanlığı tarafından rapor edilen konuma göre 2005 istasyonu Bozkurt depremine (Mw 6.0) 8 km'lik episantır uzaklığında bulunmaktadır. 2005 istasyonundan kaydedilen ivme 0.43 g' dir. TBDY 2018'e göre spektral ivmeler incelendiğinde K-G yatay bileşenin 0.19 saniyede yönetmelikte öngörülen sınırı geçtiği gözlenmiştir. Doğu-Batı bileşen kayıtları ise 0.16 saniyede TBDY-2018'de öngörülen sınırı aşmıştır. Düşey bileşen kayıtları ise 0.12 sn' de pik değer yapmış ve yönetmelikte öngörülen değerlerin dışına çıkmıştır. Diğer sekiz istasyondaki üç-bileşenli kayıtların tümünde elde edilen sözde spektral ivmeler TBDY-2018 spektral eğrilerinin altında kalmış ve yönetmelikte öngörülen sınırların çok altında ivme değerlerine sahiptirler.

Bozkurt depremi (Mw 6.0) ivme kayıtları kullanılarak 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivme spektrumları zemin özellikleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Bozkurt depremi sonrası bazı istasyonlarda 420 gali geçen ivmeler kaydedilmiştir. Aynı zamanda TBDY-2018'e göre bazı periyotlarda yönetmelikte öngörülen sınırların üzerinde spektrumlar hesaplanmıştır.

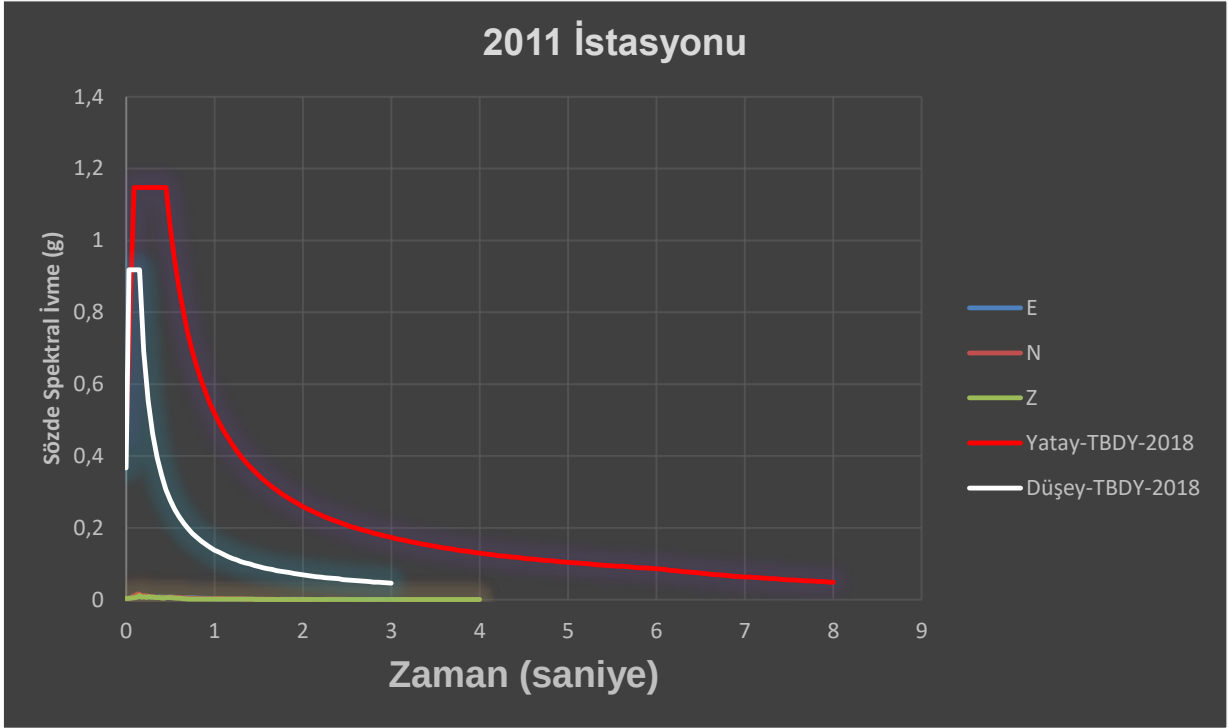
Bozkurt depremine ~8 km mesafede bulunan 2005 istasyonunda sözde spektral ivmeler incelendiğinde Kuzey-Güney bileşene ait değerlendirmeler TBDY-2018'de öngörülen değerlerin üzerindedir (Şekil 26). Doğu-Batı bileşenine ait değerlendirmeler ise TBDY-2018'de öngörülen değerlerin altında kalmaktadır. Bozkurt depremine yaklaşık ~49 km uzaklıkta bulunan 2009 (Şekil 27); ~45 km uzaklıkta bulunan 2011 (Şekil 28); ~70 km uzaklıkta bulunan 2013 (Şekil 29); ~89 km uzaklıkta bulunan 2014 (Şekil 30); ~59 km uzaklıkta bulunan 2015 (Şekil 31); ~31 km uzaklıkta olan 2016 (Şekil 32); ~31 km uzaklıkta olan 2024 (Şekil 33) ve ~52 km uzaklıkta olan 2025 istasyonlarının (Şekil 34) tümünde elde edilen değerler TBDY-2018'de öngörülen ivme değerlerinin çok altındadır.



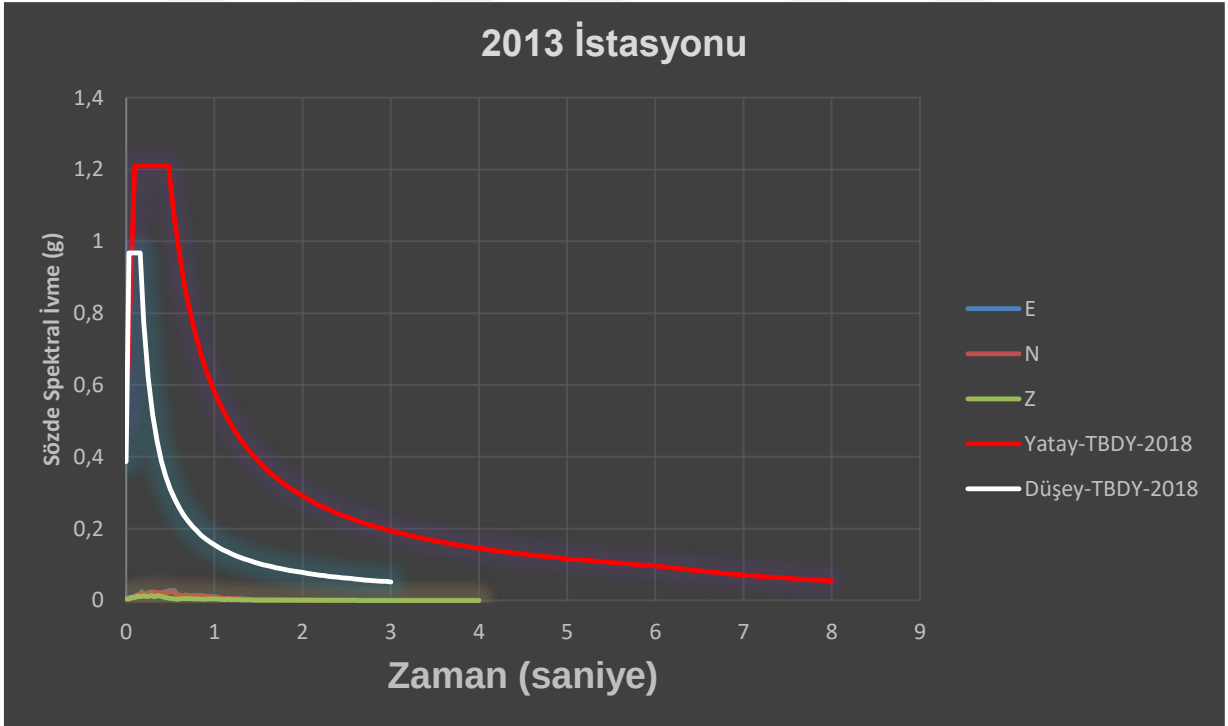
Şekil 26. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2005 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



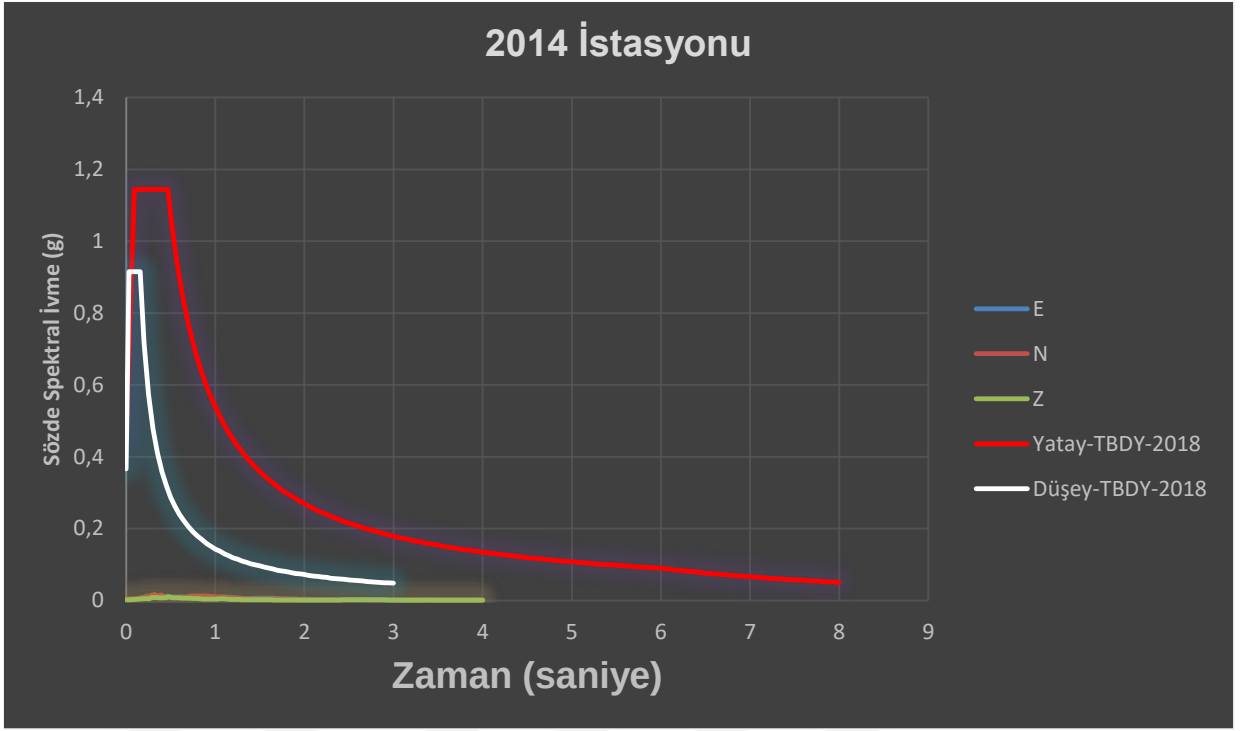
Şekil 27. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2009 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



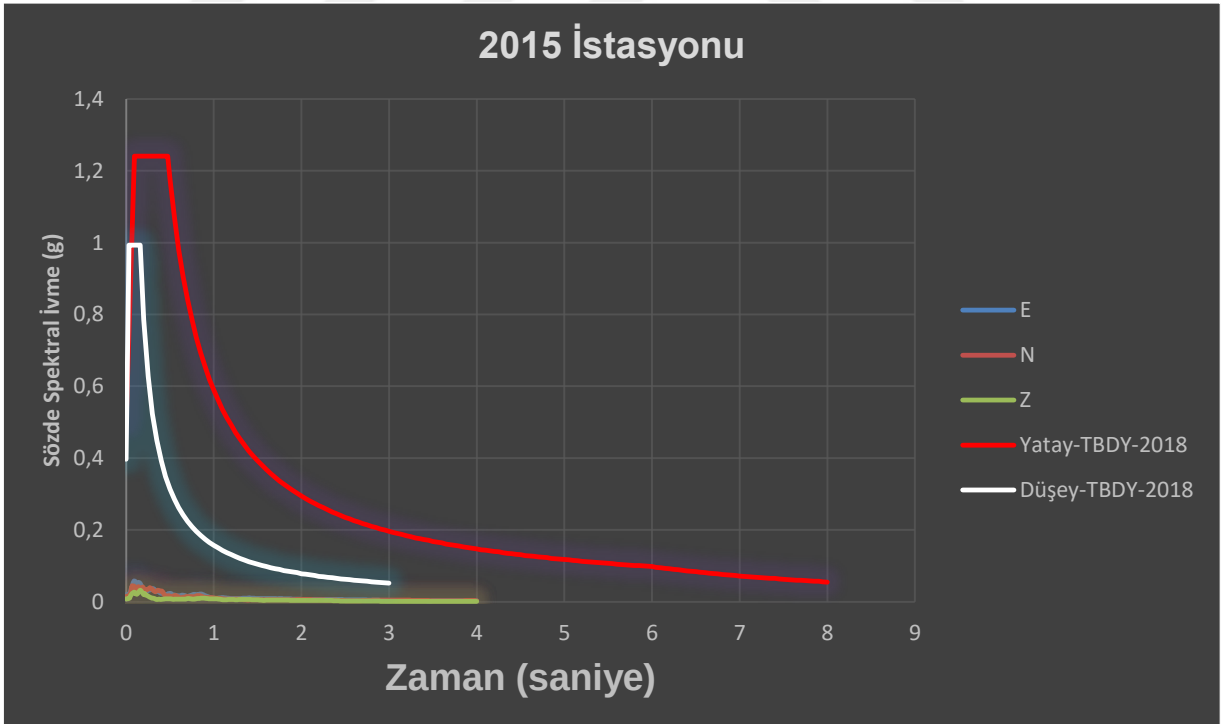
Şekil 28. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2011 kayıtçısına ait sözdde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



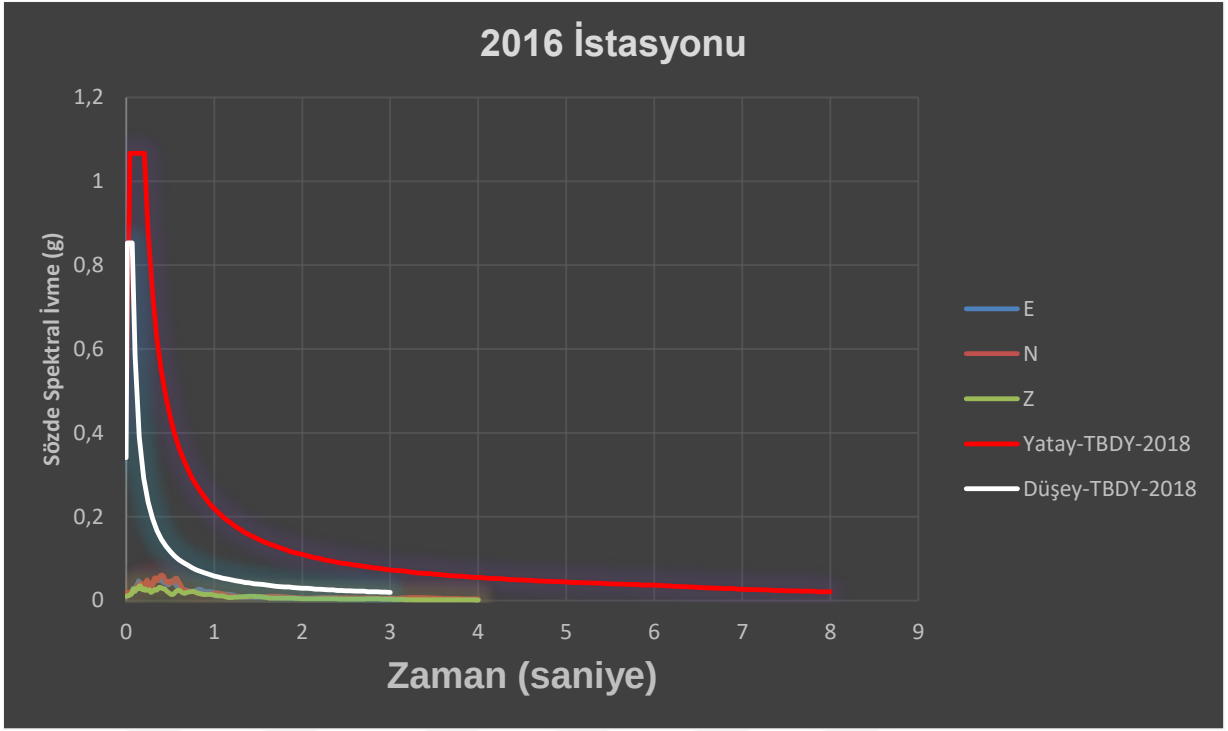
Şekil 29. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2013 kayıtçısına ait sözdde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



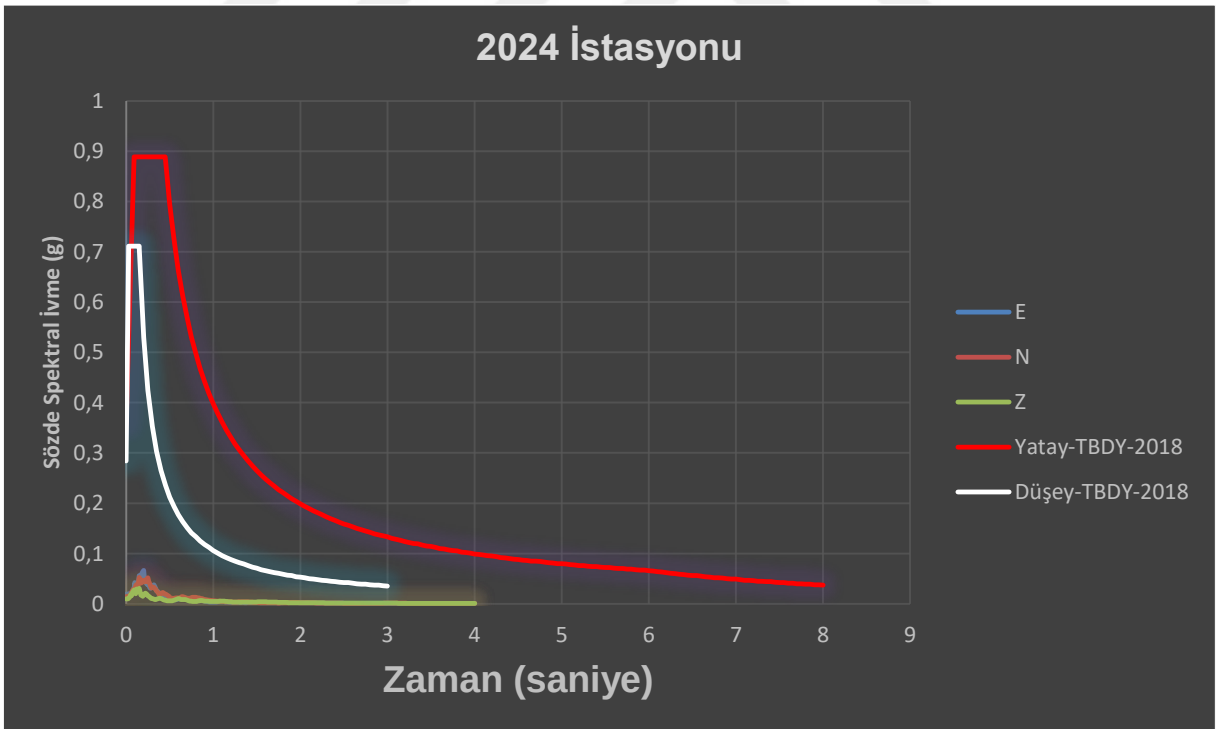
Şekil 30. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2014 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



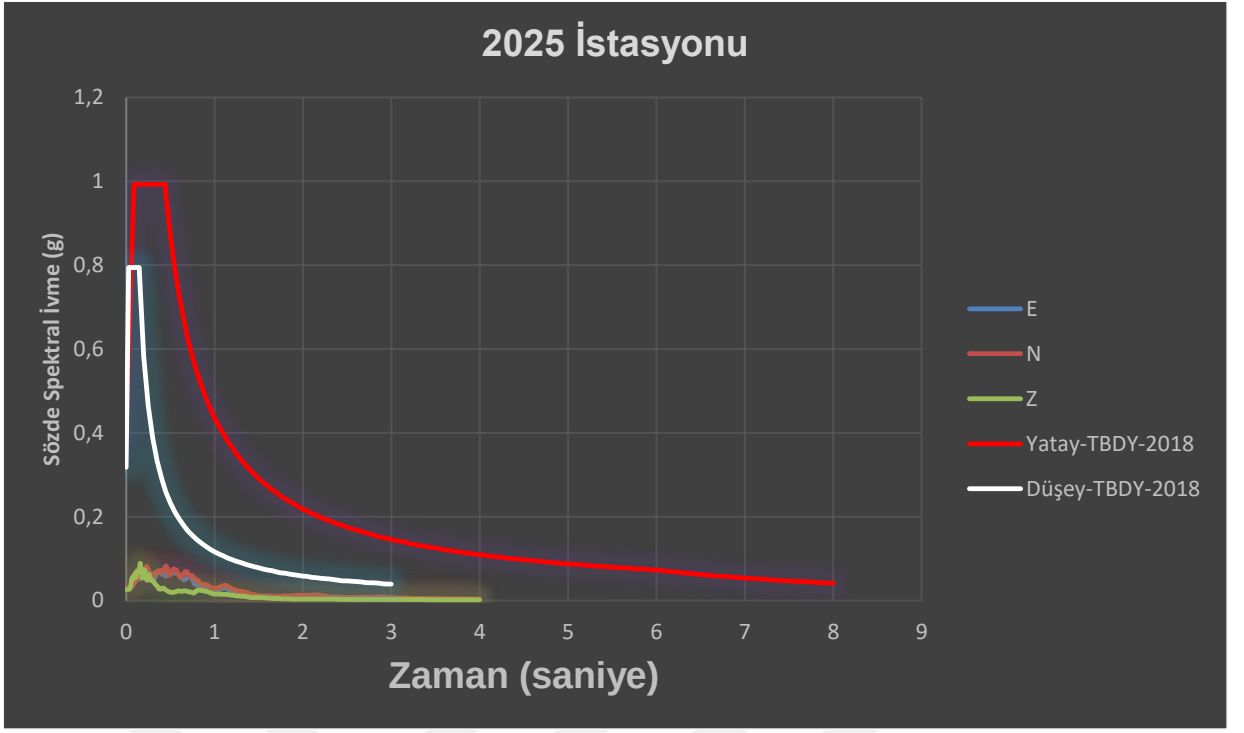
Şekil 31. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2015 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



Şekil 32. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2016 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



Şekil 33. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2024 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması



Şekil 34. Bozkurt Depreminin (Mw 6.0) 2025 kayıtçısına ait sözde ivme tepki spektrumu ve 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivmelerin karşılaştırılması.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Denizli aktif tektonik birimler üzerinde bulunan ve bazı yerleşim yerleri zayıf mühendislik özelliklerine sahip birimler üzerinde bulunan önemli bir ilimizdir. Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) tarafından yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre gelecek elli yıl içerisindeki depremin gerçekleşme ihtimalinin %10 aşılma olasılığına göre Denizli’de oluşabilecek ivmenin 0.4 g ye ulaşabileceğini göstermektedir. 20 Mart 2019 tarihinde meydana gelen Acıpayam (Denizli) depremi (Mw 5.5) ve 8 Ağustos 2019 tarihinde meydana gelen Bozkurt (Denizli) depremi (Mw 6.0) sonrasında meydana gelen hasarların yoğunluğu ile güncel deprem ivme veri setinin oluşması bu çalışmanın tasarlanması ve geliştirilmesi fikrini doğurmuştur.

Bölgesel anlamda Denizli ilinin zemin dinamik özelliklerine ışık tutabilmek maksadı ile AFAD tarafından işletilen 15 adet ivmeölçer tarafından kaydedilen toplam 44 adet deprem verisi kullanılarak hesaplanan zemin hâkim frekans ve zemin büyütme faktörü değerleri hesaplanmıştır. İstasyon lokasyonlarına ait zemin hâkim frekans değerleri 0.2 Hz ile 14.2 Hz arasında değişirken zemin büyütme faktörü değerleri 1.8 ile 5.7 arasında değişmektedir. Bozkurt (Denizli) depremi ivme kayıtları kullanılarak 2018 Türk Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY-2018) göre spektral ivme spektrumları zemin özellikleri dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Bozkurt depremi sonrası bazı istasyonlarda 420 gali geçen ivmeler kaydedilmiştir. Aynı zamanda TBDY-2018’e göre bazı periyotlarda yönetmelikte öngörülen sınırların üzerinde spektrumlar hesaplanmıştır. Bozkurt depremine ~8 km mesafede bulunan 2005 istasyonunda Kuzey-Güney bileşene ait sözde spektral ivmeler TBDY-2018’de öngörülen değerlerin üzerinde iken Bozkurt depremine uzaklıkları yaklaşık 31 ile 89 km arasında değişen diğer kayıtçılarda elde edilen ivmeler TBDY-2018’de sunulan ivme değerlerinin altındadır.

Araştırmaya konu Denizli ilinin gelecekte olası bir depremi en az hasar ile atlatabilmesi için; il, ilçe ve merkezdeki aktif faylar barındıran, gevşek zemine sahip tüm yerleşim yerlerinde ve özellikle yeni imara açılacak alanların tamamında mikro bölgeleme çalışmaları yapılmalıdır. Mevcut yapılaşmanın olduğu alanlarda yürütülen mikro-bölgeleştirme sonuçları ile yapının dinamik özellikleri karşılaştırılarak rezonans gözlenebilecek alanlar belirlenmelidir. Kentsel dönüşüm çalışmaları kapsamında yeniden dizayn edilecek kent modellerinde zemin hakim periyodu ve zemin büyütme değerleri ile yapı periyotları dikkate alınarak mühendislik tasarımları yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2019. 20 Mart 2019 Acıpayam (Denizli) Mw 5.5 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı. <https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1667>
- 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. vd. 2011, 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
- Akyol, E., Aydın, A., Alkan, M., & Hazer, G. 2014. Sismik ve geoteknik parametrelerin yapılaşmaya etkisi: Denizli örneği. Adıyaman University Journal of Educational Sciences, 4(1), 36-46.
- Akyol, N., Akıncı, A., Eyidoğan, H., 2002 Site Amplification Of S-Waves İn Bursa And Its Vicinity, Northwestern Turkey: Comparison Of Ditterent Approaches, Soil Dynamics And Earthquake Engineering.
- Altınoğlu, F. F. 2005 Denizli ve Yöresinin Depremselliği ve Kabuk Yapısının Araştırılması (Master's thesis, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Anonim 2021a. <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml> (Erişim Tarihi: 12.11.2021)
- Anonim 2021b. <https://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>(Erişim Tarihi: 12.11.2021)
- Anonim 2021c. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-bina-deprem-yonetmeligi> (Erişim Tarihi: 12.11.2021)
- Anonim 2021d. <https://www.nufusu.com/ilceleri/denizli-ilceleri-nufusu> (Erişim Tarihi: 17.11.2021)
- Anonim 2021e. <https://www.birgun.net/haber/denizli-ve-cevresinin-depremselligi> (Erişim Tarihi: 12.11.2021)
- Anonim 2021f. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> (Erişim Tarihi: 12.11.2021)
- Anonim 2021g. <https://tadas.afad.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 12.11.2021)
- Aydan, Ö., Kumsar, H. Ulusay, R., 2001 How To Infer The Possible Mechanism And Characteristics Of Earthquakes From Striations And Ground Surface Traces Of Existing Faults, Seismic Fault Induced Failures, Tokyo.
- B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Ulusal Deprem İzleme Merkezi, Denizli Depremleri Hakkında. <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/onemliler/Denizli%20Depremleri%20Hakkinda.pdf>
- Beliceli, A., 2006 Eskişehir Yerleşim Yeri Zeminin Büyütme Etkisinin Makaslama Dalga Hızına (vs) Bağlı Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bozbey, İ. 2008 Deprem Sırasında Şevlerde Oluşan Yatay Deplasmanların Newmark Yöntemi İle Belirlenmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek

Lisans Tezi, Haziran.

- Demirtaş, R., & Tekin, B. M. 20 Mart 2019 Ucarı-Yeniköy (Acıpayam, Denizli) Depremi, Mw 5.5 ve Yırtılma Mekanizması. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 2(1), 14-26.
- Dewey, J., & Şengör, A. 1979 Aegean And Surrounding Regions: Complex Multiplate And Continuum Tectonics in a Convergent Zone. *Geol Soc Am Bull* 90:84–92
- Dikmen Ü., 2005. Mikrotremor Yöntemi, Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları Kurs Notları-1. Bölüm 10, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara, 313-345.
- Doğan, O., Solak, H. İ. İ., Eyübağil, E. E., Özkaymak, Ç., & Tiryakioğlu, İ. Bozkurt, 2021 (Denizli) Depremi Sonrası (Mw= 6.0, 08.08. 2019) GNSS Ölçüleri ile Kosismik Deformasyonların Belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2, 362-373.
- Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F., 2013, Active Fault Map of Turkey With an Explanatory Text. 1:1,250,000 Scale, General Directorate of Mineral Research And Exploration, Special Publication Series-30, Ankara-Turkey. ISBN: 978-605-5310-56-1
- Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Şaroğlu F., Olgun Ş., Elmacı H., Çan T., 2018. Active Fault Database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering* 16(8), 3229-3275
- Ergin, 2007, Jeoteknik Parametrelerin Hakim Titreşim Periyodu ve Zemin Büyütme Katsayısına Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Hazer, G., 2013 (Alıntı).
- Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M., Yalçın, M.N., 2004 Site Amplifacition At Avcılar, İstanbul, Tectonophysics.
- Gören, G., 2011 Deprem Spektrumlarının Hesabı, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs.
- Güler, K., Sütçü, F., & Sarı, A. 2020 Seismic Vulnerability of Rural Masonry Buildings After 2019 Acıpayam Earthquake, Denizli, Turkey. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 737, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.
- Idriss, I. M., & Seed R. B., 1968 An Analysis of Ground Motions During the 1957 San Francisco Earthquake *Bulletin of Seismological Society of America*.
- Irmak, T. S. 2013 Focal Mechanisms of Small-Moderate Earthquakes in Denizli Graben (SW Turkey). *Earth, Planets and Space*, 65(9), 943-955.
- Kalyoncuoğlu, Ümit Yalçın, 2006 Depreme Dayanıklı Yapılaşma İçin Zemin Sınıfları ve İvme Tepkileri (Tayvan Örneği), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-3, 428-436.
- Karabulut, S., 2005 Büyükçekmece İlçesinde Mikrotremor Verileriyle Mikrobölgeleme Çalışmaları Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karabulut, S., Özel, O., Özçep., F., 2009 Deprem Tehidi Altındaki Mühendislik Yapılarının Hakim Titreşim Periyotlarının Belirlenmesinde Yeni Bir Seçenek: Mikrotremor Yöntemi ve Örnek Uygulaması, *New World Sience Academy*, 4(3).
- Kaya, A. 2018 Mikrozonlama Bölgelerinde Paleosismoojik Araştırmalar: Çardak Örneği (Denizli, Gb Türkiye). *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 1113-1118.
- Kaypak, B., & Gökkaya, G. 2012 3-D İmaging of The Upper Brust Beneath the Denizli Geothermal Region by Local Earthquake Tomography, Western Turkey. *Journal of*

- Kumsar, H., Çelik, S. B., & Mustafa, Kaya 2011 Denizli İl Merkezi Yerleşim Alanının Jeolojik, Jeoteknik Kent Bilgi Sistemi (Jeo-Kbs). Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10(4), 25-31.
- Kumsar, H., Çelik, S. B., Aydan, Ö., 2003 Some Characteristics Of Recent Earthquakes In Western Turkey: Seferihisar (İzmir) And Buldan (Denizli) Earthquakes An International Colloquium On The Instrumentation And Monitoring Of Landslides And Earthquakes In Japan And Turkey, Organised By Hisataka Tano. H. Watanabe, Ö. Aydan, November 8, Koriyama Japan.
- Kumsar, H., Özkul, M., Semiz, B. 2020 Geotechnical Site Investigation And Evaluation of 20 March 2019 Mw 5.5 Acıpayam (Denizli) Earthquake. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26(8), 1343-1352.
- 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.
- Lermo, J. & Chavez-Garcia, F.J. 1993 Site Effect Evaluation Using Spectral Ratios With Only One Station. Bulletin of the Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- McKenzie D 1978 Active Tectonics of the Alpine- Himalayan Belt: The Aegean Sea And Surrounding Regions (Tectonic of Aegean Region). Geophys J R Astron Soc 55:217-254.
- Nakamura, Y. 1989. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface. Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports 30 (1).
- Okan 2005 Jeoteknik Parametrelerin Hakim Titreşim Periyodu ve Zemin Büyütme Katsayısına Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
- Özçimen, N. 2000 Yerel Zemin Koşullarının Yer Hareketine Etkisi Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Özer, Ç. 2019. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması. Deu Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik, 21, 247-257.
- 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., Gönenç, T., Özdağ, Ö. C., Akgün, M. 2018. "3D Bedrock Structure of Bornova Plain And Its Surroundings (Izmir/Western Turkey)." Pure And Applied Geophysics 175 (1): 325-340.
- 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., Özdağ, Ö. C., Özyalın, Ş., Akgün, M. 2017. Soil Characterization of Tınaztepe Region (İzmir/Turkey) Using Surface wave methods and Nakamura (HVSR) technique." Earthquake Engineering and Engineering Vibration 16 (2): 447-458.
- PAÜ, 2002 Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri, Pamukkale Üniversitesi Döner Sermaye Projesi, Denizli.
- Perk, S. & Özer, Ç. 2019 İvme-Ölçer İstasyonları Altındaki Zemin Özelliklerinin Deprem Kaydı Kullanılarak İncelenmesi: Hatay Örneği, Türkiye. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 1(2), 167-179.

- Seht M., & Wohlenberg J., Ibs-Von 1999. Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments, Bull. Seismol. Soc. Am. 89 250–9.
- Seismosoft. 2021 SeismoSignal–A Computer Program for Signal Processing of Time-Histories.
- Sezer, L. İ. 2003 Çivril-Denizli Deprem Yöresinde Deprem Aktivitesi ve Riski. Ege Coğrafya Dergisi, 12(2).
- Stone, W. C., Yokel, F. Y., Celebi, M. Hanks, T., Leyendecker, E. V., 1987 Engineering Aspects of The September 19, Mexico Earthquake.
- Şenhisar, F., 2016 Mikrotremor Yöntemiyle Manisa İl Merkezi ve Yakın Çevresinin Yer Etkisinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta
- Şimşek, Ş., 1982 Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, İstanbul Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi Yayın Organı.
- Taşdelen, S., Akyol, E., & Çelik, S. 2015 Işıklı Beldesi (Denizli) Yerleşim Alanının Jeolojik ve Jeoteknik Özellikleri. Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2(3), 1-15.
- Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, E., Özdemir, Z., 2001 Seismic Amplification at Avcılar, İstanbul, Engineering Structures.
- TMMOB, 2021. Jeoloji Mühendisleri Odası Sayı: 1183/503 Konu: Denizli'nin Depremselliği, 12.04.2021. https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/c6f9216ac5d2c2e_ek.pdf
- Trifunac, M. D., & Todorovska, M. I. 2000 Long Period Microtremors, Microseisms And Earthquake Damage: Northridge, CA, Earthquake of 17 January 1994. Soil Dynamics And Earthquake Engineering, 19(4), 253-267.
- Ulusay, R., & Aydan, Ö. 2005 Characteristics And Geo-Engineering Aspects of the 2003 Bingöl (Turkey) Earthquake. Journal of Geodynamics, 40(2-3), 334-346.
- Wathelet M., Chatelain J.L., Cornou C., Di Giulio G., 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.
- Yalçınkaya, E., 2005 BYTNET (Bursa-Yalova-Türkiye İvme Ölçer Ağı) İstasyonlarında Yerel Zemin Etkilerinin İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi.
- 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.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	: Bilal İNALCIK
Doğum tarihi	:
Doğum Yeri	:
Uyruğu	:
Adres	:
Tel	:
E-mail	:
Eğitim	
Lise	: Erzurum Lisesi
Lisans	: Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
Yüksek lisans	: Atatürk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	: Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Tezden Üretilmiş Yayınlar	