ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Beytullah SARAÇ

Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Doç. Dr. Çağlar ÖZER
2024
(Her hakkı saklıdır.)

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

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

(Investigation of the soil features of Atatürk University campus by microtremor method)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Beytullah SARAÇ

Danışman: Doç. Dr. Çağlar ÖZER

Erzurum
Temmuz, 2024

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Beytullah Saraç tarafından hazırlanan "Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Yöntemi ile İncelenmesi" başlıklı çalışması 09/07/2024 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:	Doç. Dr. Ufuk AYDIN *Atatürk Üniversitesi*	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Doç. Dr. Çağlar ÖZER *Atatürk Üniversitesi*	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Babak KARIMI *Erzurum Teknik Üniversitesi*	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim Kurulunun …/…/2024 tarih ve …… sayılı kararı.

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

Aslı ıslak imzalıdır

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince desteklenmiştir.
Proje No: FYL-2023-12855.

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 "Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Yöntemi ile 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	*7*	**30**
Kuramsal Temeller	*7*	**30**
Veri ve Yöntem	*0*	**35**
Araştırma Bulguları ve Tartışma	*2*	**20**
Sonuçlar ve Öneriler	*0*	**20**
Tezin Geneli	*16*	**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.*

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	**Tez Danışmanı**
Beytullah Saraç	Doç. Dr. Çağlar Özer
10.7.2024	**10.7.2024**
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.

TEŞEKKÜR

Bu yüksek lisans tezi Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından FYL-2023-12855 numaralı lisansüstü tez projesi kapsamında desteklenmiştir (Özer ve Saraç 2023). Ayrıca bu tez çalışmasından bilimsel çıktılar üretilmiştir (Saraç ve Özer 2024a, b). Desteklerinden dolayı Atatürk Üniversitesi Rektörlüğüne ve bu çalışmaya cihaz desteği sağlayan Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezine teşekkür ederim. Bazı şekillerin oluşturulmasında ArcGIS (Atatürk Üniversitesi lisanslı) ve Generic Mapping Tools (GMT) programları kullanılmıştır (ArcGIS 2004, Wessel vd 2013). Ayrıca şekillerde çizilen tektonik birimlerde Maden Tetkik ve Arama Genel müdürlüğü web sitesinden yararlanılmıştır (Emre vd 2013, 2018).

Yüksek lisans eğitimimin başından beri şahsıma yol gösteren, bilgisini ve yardımını esirgemeyen, taleplerime içtenlikle ve titizlikle çözüm üreten sevgili tez danışmanım sayın Doç. Dr. Sayın Çağlar ÖZER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi manevi her zaman yanımda olan, aldığım kararlarda beni her zaman destekleyen aileme teşekkür ederim.

Beytullah SARAÇ

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKESİ ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Beytullah SARAÇ

Danışman: Doç. Dr. Çağlar ÖZER

Amaç: Bu tez çalışması Atatürk Üniversitesi merkez yerleşkesi zeminin zemin hakim frekansı ve zemin büyütme faktörü değerlerinin mikrotremor yöntemiyle incelenmesi amacıyla hazırlanmıştır. Aynı zamanda ampirik yaklaşımlar ile hasar görebilirlik katsayısı (Kg) hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Yöntem: Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi Kampüsünde 45 noktada mikrotremor ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümler CMG-6TD tipi sensör ile ortalama 60 dakika ve kültürel gürültünün fazla olduğu noktalarda bu süre uzatılarak uygulanmıştır. Sinyal/Gürültü oranının yeterli görülmediği bazı noktalarda ölçümeler tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler Yatay/Düşey Spektral Oran (YDSO) yöntemine göre Geopsy programında değerlendirilmiş ve yorumlanmıştır.

Bulgular: Kampüs alanının güneydoğusunda düşük zemin hakim frekansları hakimken, kampüsün kuzeydoğu kısmında yüksek zemin hakim frekansları gözlenmiş olup kademeli bir formasyon geçişinin olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışma alanında bazı alanlarda yerel zemin koşullarına bağlı olarak çevresinden farklı zemin hakim frekansına sahip olduğu görülmüştür. Zemin büyütme faktörü değerleri incelendiğinde ise zemin hakim frekans değerlerine paralel olarak çalışma alanın güneydoğusunda yüksek zemin büyütmeleri gözlenirken çalışma alanın kuzeydoğusunda zemin büyütmeleri azalmaktadır. Kampüs alanının güneydoğu ve kuzeybatı alanlarının dışında etkin zemin hakim frekans değerleri 2.5 Hz'den büyüktür. Zemin büyütme faktörü değerlerinin ise 1 ile 6 arasında değiştiği gözlenmiştir. Benzer şekilde ampirik bağıntılardan elde edilen Kg değerlerinin çalışma alanın güneydoğusunda yüksek olduğu hesaplanmıştır.

Sonuç: Pasif kaynak kullanılarak yürütülen ve zemin etkisinin araştırıldığı bu çalışmanın aktif kaynaklı yöntemler ile de geliştirilmesi tavsiye edilmektedir. Aynı zamanda ileriki çalışmalarda yapı stokunun da ortaya konarak deprem-zemin-yapı ilişkisinin incelenmesi ve rezonans araştırması yapılması bu çalışma alanı için tavsiye edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zemin etkisi, zemin hakim frekans, zemin büyütme faktörü, YDSO, Erzurum

Temmuz 2024, 54 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

INVESTIGATION OF THE SOIL FEATURES OF ATATÜRK UNIVERSITY CAMPUS BY MICROTREMOR METHOD

Beytullah SARAÇ

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Çağlar ÖZER

Aim: This thesis was carried out to examine the soil dominant frequency and soil amplification factor values of the Atatürk University central campus soil using the microtremor method. At the same time Seismic Vulnerability Index (Kg) were calculated with empirical approach.

Method: In this study, microtremor measurements were applied at 45 points on the Atatürk University Campus. These measurements were performed with a CMG-6TD type sensor for an average of 60 minutes, and this time was extended at points where cultural noise was high. The measurements were repeated at some points where the Signal/Noise ratio was not considered sufficient. The data obtained as a result of the measurements were evaluated and interpreted in the Geopsy program according to the Horizontal/Vertical Spectral Ratio (HVSR) method.

Results: While there are low soil dominant frequencies in the southeast of the campus area, high soil dominant frequencies are observed in the northeastern part of the campus and it is thought that there is a gradual formation transition. In addition, it has been observed that some areas in the study area have different soil dominant frequencies than their surroundings, depending on local site effect condition. The soil amplification factor values show that the anomaly characteristics in parallel with the soil dominant frequency values, and high soil amplification factor are observed in the southeast of the study area, while soil amplification factor values decrease in the northeast of the study area. The soil dominant frequency values of outside the southeastern and northwestern areas of the campus area are greater than 2.5 Hz. It was observed that the soil amplification factor values varied between 1 and 6. Similarly, Kg values obtained from empirical relation were calculated to be high values in the southeast of the study area.

Conclusion: It is recommended that this study, which was carried out using passive sources and investigated the site effect, should also be developed with active source methods. At the same time, it is recommended for this study area to examine the earthquake-soil-structure relationship and conduct resonance investigation by revealing the building stock in future studies.

Keywords: Site effect, soil dominant frequency, soil amplification factor, HVSR, Erzurum.

July 2024, 54 pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZET iv
ABSTRACT v
İÇİNDEKİLER vi
TABLOLAR DİZİNİ vii
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
KISALTMALAR DİZİNİ ix
GİRİŞ 1
Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 3
KURAMSAL TEMELLER 5
Önceki Çalışmalar 5
Çalışma Alanının Jeolojisi 9
Çalışma Alanının Tektonik Yapısı 12
Çalışma Alanının Depremselliği 13
VERİ VE YÖNTEM 18
Veri 18
Mikrotremor Yöntemi 21
Zemin Hakim Frekans ve Zemin Büyütme Faktörü 22
Hasar Görebilirlik Katsayısı 23
Scream ve Geopsy Programlarının Kullanımı 24
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 25
SONUÇ ve ÖNERİLER 34
KAYNAKLAR 35
ÖZGEÇMİŞ 42

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Erzurum ve çevresini etkileyen tarihsel deprem listesi 16
Tablo 2. Erzurum ve çevresini etkileyen aletsel deprem listesi..... 17

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Erzurum şehir merkezi çevresi ve çalışma alanı (kırmızı çokgen) Google Earth görünümü 4
Şekil 2. Erzurum' un basitleştirilmiş jeolojik haritası 10
Şekil 3. Çalışma alanı ve basitleştirilmiş jeolojik haritası 11
Şekil 4. AFAD Türkiye deprem tehlike haritası 13
Şekil 5. Erzurum ve çevresinde 1900-2020 yılları arasında meydana gelen depremler ve tektonik yapılar 14
Şekil 6. Erzurum ve çevresi Coulomb gerilme hesaplamaları 15
Şekil 7. AFAD Türkiye Deprem Tehlikeli Haritası ve Erzurum merkez bölgesinde bulunan aktif fay hatları 15
Şekil 8. Çalışma alanı mikrotremor ölçüm noktaları 19
Şekil 9. Çalışma alanı saha gözlemleri……20
Şekil 10. ATA-CMP'de yürütülen mikrotromor saha çalışması 20
Şekil 11. Yapılan ölçümlerinin Scream 4.6 programında görünümü 24
Şekil 12. Geopsy programında değerlendirme aşamaları ve örnek pencere seçimi 24
Şekil 13. Zemin hakim frekansı 0.5 Hz-1.0 Hz arası olan YDSO grafikleri 28
Şekil 14. Zemin hakim frekansı 1.0 Hz-5.0 Hz olan YDSO grafikleri 28
Şekil 15. Zemin hakim frekansı 5.0 Hz-10.0 Hz olan YDSO grafikleri 29
Şekil 16. Zemin hakim frekansı 10 Hz- 15 Hz olan YDSO grafikleri 30
Şekil 17. Zemin hakim frekansı 15 Hz'den büyük olan YDSO grafikleri 31
Şekil 18. İnceleme alanı zemin hakim frekans dağılımı 32
Şekil 19. İnceleme alanı zemin büyütme faktörü dağılımı 32
Şekil 20. İnceleme alanı Kg değerleri dağılımı 33

KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Zemin Büyütme Faktörü
AFZ	: Aşkale Fay Zonu
AFAD	:Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
ATA-CMP	: Atatürk Üniversitesi Merkez Kampüsü
BAP	: Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
BKFZ	: Başköy Kandilli Fay Zonu
BS	: Börekli Segmenti
D	: Düşey-Bileşen
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
DB	: Doğu-Batı bileşen
EAR	: Ege Açılma Rejimi
EDFZ	: Erzurum-Dumlu Fay Zonu
f	: Frekans
GMT	: Generic Mapping Tools
HNFZ	: Horosan-Narman Fay Zonu
HV	: Yatay Düşey Spektral Oran
Hz	: Hertz
İRAP	: İl Risk Azaltma Planı
KAFZ	: Kuzey Anaolu Fay Zonu
KDAF	: Kuzeydoğu Anadolu Fayı
KG	: Kuzey-Güney Bileşen
Kg	: Hasar Görebilirlik Katsayısı
KT	: Kiremitlik Tepe
KÜB	: Karlıova Üçlü Birleşim Alanı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
Mw	: Moment Magnitüdü
N	: Kuzey
PFZ	: Palandöken Fay Zonu
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

TUİK : Türkiye İstatistik Kurumu

YDSO : Yatay/Düşey Spektral Oran

GİRİŞ

Kuzeyinde Avrasya levhası, güneyinde Arap levhası ve güneybatısında Afrika levhası arasında sıkışmış Anadolu mikro levhası bu levhaların birbirlerine göre göreceli hareketleri neticesinde Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Bitlis-Zagros bindirme kuşağı ve Ege Açılma Rejimi gibi tektonik oluşumları doğurmuştur (Arpat ve Şaroğlu 1972, McKenzie 1972, Şengör vd 2005). DAFZ'nun ve KAFZ'nun kesiştiği Karlıova Üçlü Birleşim (KÜB) alanı da önemli bir diğer tektonik unsurdur (Aktuğ vd 2013). Bu tektonik birimlerin haricinde güney Ege'deki Girit Yitim Zonu, Akdeniz'de Kıbrıs Yayı ile çevrelenmektedir. Bu tez çalışma alanını da ilgilendiren ve Erzurum ilinin kuzeydoğusunda bulunan Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu (KDAF) da bir diğer önemli sismik kaynaktır. Bu mekanizmanın bir kolu olan Horasan-Narman Fay Zonu (HNFZ), 1983 yılında meydana gelen depreme kaynaklık etmiştir.

Çalışma sahasının bulunduğu Erzurum ilini de boylayan fay hatları aktif faylardır (Emre vd 2013, 2018). Tarihsel ve aletsel deprem kayıtları göstermektedir ki Erzurum ilinde yıkıcı bir deprem olma potansiyeli yüksektir (Özer vd 2022, AFAD 2024a, b). Depremler konusunda hazırlık çalışmaları yapı ile birlikte zemin özelliklerinin de birbirine uyumu incelenerek bütüncül bir yaklaşımla ortaya konmalıdır (Çelebi vd 2023). Erzurum ili KÜB, DAFZ, KAFZ ve KDAFZ gibi önemli tektonik unsurlara yakın bir bölgede bulunmaktadır. Lokal ölçekte ise Aşkale Fay Zonu (AFZ), Başköy-Kandilli Fay Zonu (BKFZ), Erzurum-Dumlu Fay Zonu (EDFZ), Palandöken Fay Zonu (PFZ) ve Horasan-Narman Fay Zonu (HNFZ) gibi aktif fay zonlarına yakın bir lokasyonda bulunmaktadır (Koçyiğit ve Canoğlu 2017). Erzurum Dumlu Fay Zonu'nun parçası olan Börekli Segmenti (BS) diğer bir isimlendirme ile Kiremitlik fayı ise çalışma alanımızın hemen güneyinde konumlanmaktadır.

Ülkemizde Maden Tetkik ve Arama (MTA) genel müdürlüğü tarafından raporlanan aktif özelliğe sahip 500'den fazla diri fay bulunmaktadır (Emre vd 2013,

2018). Bu durum nesiller boyunca yerbilimleri ile ilgili çalışmaların ülkemizde zaruri olduğunu göstermektedir. En son 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri (Mw 7.7 ve 7.6) ve öncesinde ülkemizde yaşadığımız birçok yıkıcı deprem yer bilimleri alanında zemin ile ilgili çalışmaların artması gerekliliğini göstermiştir. Depremlerden önce mevcut risk ve tehlikeleri ortaya koymak deprem zararlarının azaltılması için kritik öneme sahiptir (Özer ve Saraç 2023). Mevcut risk ve tehlikelerin belirlenebilmesi için zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesi önemli bir adımdır.

Zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde pek çok yöntem kullanılmaktadır. Özellikle deprem olarak düşündüğümüzde, yerin dinamik etkisi olarak meydana gelen depremler sismik dalgalar üreterek hem zemine hem de üzerinde bulunan yapılara büyük kuvvetler uygular. Deprem dalgaları da zeminde büyük titreşimler ve salınımlar oluşturduğundan bu dalgaların etkilerinin ölçülebilmesi için; çok büyük dalgaların taklitlerini yerdeki küçük-mikro titreşimlerle incelenebilir (Nakamura 1989, Lermo ve Chávez-Garcia 1994a, b, Chavez-Garcia ve Rodriguez 2007). Bu motivasyon ile bu tez çalışmasında mikrotremor yöntemi kullanılmıştır.

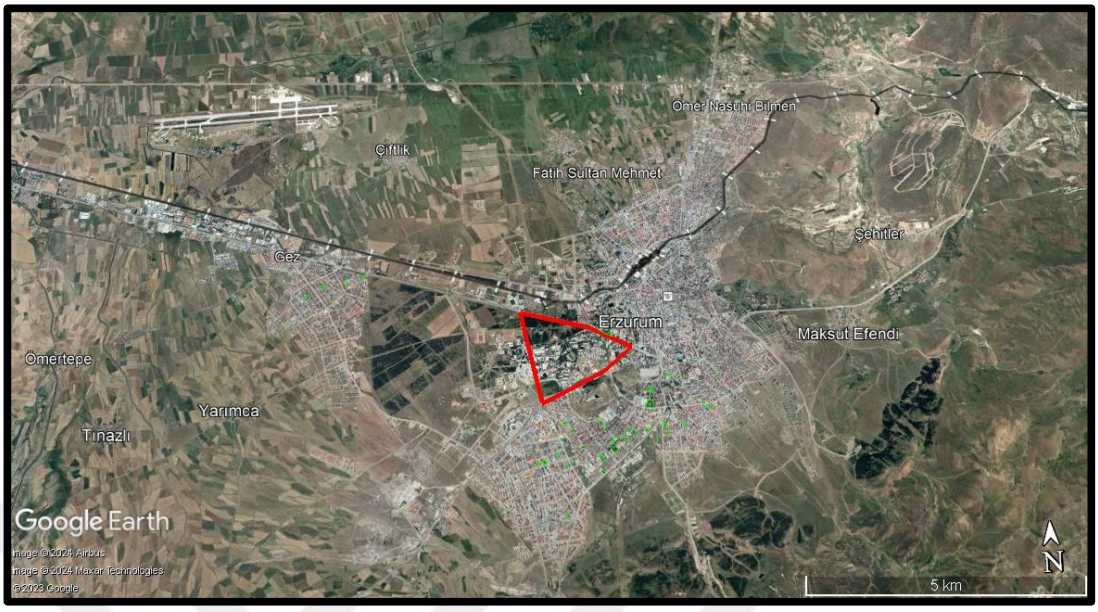
Erzurum ilinin depremselliği incelendiğinde tarihsel ve aletsel sismoloji periyotlarında can ve mali kayba sebep olan onlarca deprem bulunmaktadır. Aynı zamanda Erzurum ilinin batısında KAFZ üzerinde; güneyinde KÜB ve DAFZ üzerinde Bingöl ve Varto civarında ve doğusunda Pasinler ve Horasan bölgelerinde meydana gelen depremler Erzurum şehir merkezini de etkilemiştir. Bu sebeplerden dolayı Erzurum ilinde yürütülecek zemin araştırmaları çok kıymetlidir. Özellikle uzak alan depremlerinde dahi zemin etkileri sebebiyle yıkımların olduğu birçok farklı ilde tecrübe edilmiştir. En son 06 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde (Mw 7.7 ve 7.6) depremin merkez üssü konumlarının Pazarcık ve Elbistan olmasına rağmen on bir ilimizde yıkım gözlenmesinin sebeplerinden bir tanesi de zemin etkisidir. Özellikle yeni yerleşime açılacak alanların imar planlarında yerel zemin etkisi gözetilmeli ve ona göre üst yapı özellikleri tasarlanmalıdır. Öte yandan yerleşimin olduğu alanlarda yerel zemin koşulları araştırılarak deprem anında zeminin nasıl davranacağı hakkında fikir sahibi olmak mümkündür. Üst yapı dinamik özelliklerinin de ortaya koyulması ile rezonans durumu ortaya çıkarılabilir. Böylelikle yıkıcı bir deprem meydana gelmeden önce deprem hasarlarını tahmin etmek ve stratejiler geliştirmek mümkündür. Bu gerekçeler ile Atatürk

Üniversitesi merkez yerleşkesinde mikrotremor ölçümleri ile zeminin dinamik özelliklerin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İnceleme alanı Erzurum il sınırları içerisindeki Atatürk Üniversitesi Merkez Yerleşkesini kapsamaktadır (Şekil 1). Erzurum, 25.066 km^2 yüzölçümüne sahip olup bu alanın yaklaşık %64'ü dağlıktır ve Türkiye'deki yükseltinin en fazla olduğu illerden biridir. Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı üzerinde bulunan Erzurum Doğu Karadeniz dağlarının doğusunda bulunan Rize Dağları ile de kuzeyden çevrelenir (İRAP 2021). Erzurum'un nüfusu yaklaşık 750.000 olup Doğu Anadolu Bölgesinde nüfus popülasyonunun fazla olduğu bir ilimizdir (TÜİK 2024).

Erzurum ili Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Deprem Tehlike Haritasına göre deprem çekincesi yüksek bir konumdadır. Son yıllarda ülkemizde yaşanan depremler büyük felaketlere dönüşmüştür. Doğal olaylar olan depremlerin afete dönüşmemesi için bütün dünyada olduğu gibi ülkemiz de afet yönetimi büyük önem arz etmektedir. Afet yönetiminin ilk adımı olan risk ve zarar azaltma aşamasında büyük kayıplar meydana gelmeden tedbirlerin alınması esastır. Gerçekleştirilecek detaylı yerbilimsel araştırmalar ile bu aşamaya katkı koymak mümkündür. Atatürk Üniversitesi 1957 yılında kurulmuş olup içerisinde eğitim binalarının yanı sıra lojman ve yurt gibi yaşam alanları da bulunmaktadır (Şekil 1). Bu çalışma kapsamında zemin dinamik özelliklerini araştırmak amacıyla mikrotremor ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek zemin hakim frekans, zemin büyütme faktörü değerleri gibi önemli parametreler araştırılmıştır.



Şekil 1. Erzurum şehir merkezi çevresi ve çalışma alanı (kırmızı çokgen) Google Earth görünümü.

KURAMSAL TEMELLER

Önceki Çalışmalar

Ülkemizde son yirmi yılda ülkemizde mikrotremor yöntemiyle yürütülen ve yerel zemin etkilerini inceleyen önemli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları;

Yalçınkaya (2004) büyütme fonksiyonlarının zemin özelliklerine değişimini, zemin incelemelerinde zemin transfer fonksiyonlarının nasıl değerlendirileceğini örneklerle açıklamıştır.

Coşgun vd (2007) yapının dinamik davranışına etki eden zemin özellikleri, yapısal etkiler ve ağır iş makinelerinin sebep olduğu titreşimlerin yarattığı etkiyi mikrotremor yöntemini kullanarak araştırmışlardır.

Kepçeoğlu (2008) Bursa ili Güzelyalı beldesini mikrotremor yöntemi ile incelemiş ve bölgenin hakim periyot ve zemin büyütme değerlerini elde etmiştir.

Yalçınkaya (2010) zemin büyütmesi kavramının yapı inşasındaki önemini vurgulamıştır.

Ateş (2013) Düzce ilinde yaptığı rezonans araştırmasında 3-4 katlı binaların rezonans açısından sakıncalı olduğunu vurgulamıştır.

Özcan (2013) Kütahya ilindeki bazı kamu binalarında ve konutlarda mikrotremor yöntemiyle yapıların dinamik özelliklerini belirlemiştir.

Pamuk (2014) Dokuz Eylül Üniversitesinin Tınaztepe kampüsünde yaptığı çalışmada aktif kaynaklı jeofizik yöntemlerin yanında tek istasyon mikrotremor ölçümleri de alarak alanın zemin hakim frekans ve zemin büyütme faktörü değerlerini tespit etmiştir.

Yalçınkaya vd (2016) Büyükçekmece heyelan alanında tümleşik jeofizik yöntemler uygulamış, heyelan bölgesindeki Yatay/Düşey Spektral Oran (YDSO) değerlerinin stabil alanlara nazaran daha yüksek olduğunu rapor etmişlerdir.

Tunçel vd (2016) İzmir ilinde yaptıkları mikrotromor çalışmasında zemin büyütme faktörü değerlerini hesaplamışlardır.

İmamoğlu (2019) Diyarbakır İli ve çevresinin zemin özelliklerini belirlemek üzere yaptığı çalışmada, mikrotremor yöntemini de kullanarak zemin büyütme ve zemin hakim frekans değerlerini hesaplamıştır.

Çakıcı vd (2023) yaptıkları deneysel çalışmada atık lastik parçacıkları ilave edilmiş kumlu zeminlerde mikrotremor ölçümleriyle zemin büyütmesini incelemişler, farklı oranlardaki lastik parçaları olan deney malzemelerinde zeminin davranışları ile ilgili yaklaşımlar sunmuşlardır.

Yılmaz (2019) Batman ili ve civarının zemin özelliklerini araştırmak amacıyla bölgenin bilinen jeolojisi ile karşılaştırarak zemin hakim frekansını haritalarını oluşturmuştur.

Bayrak vd (2021) 2020 yılında meydana gelen Sivrice Depremi (Mw 6.8) sonrası yer hareketi tahmin denklemlerini hesaplamışlardır. Ayrıca hasar gören yapıların çevresinde yürütülen mikrotremor ölçümlerinden hesapladıkları zemin hakim frekans ve zemin büyütme faktörü değerlerini hesaplayarak yıkımların zemin kaynaklı sebeplerini araştırmışlardır.

Ateş (2021) mikrotremor yöntemini kullanarak Ankara AFAD kampüsünün zemin hakim frekans değerini 0,85 Hz ve zemin büyütme faktörü değerini 5,0 olarak hesaplamıştır. Ayrıca kampüs alanı içerisinde bulunan ivmeölçer istasyonunda kayıt edilen deprem kayıtlarında hesaplanan değerler ile elde ettiği bulguları karşılaştırmıştır.

Ar (2021) Sapanca/Sakarya'da bulunan Mahmudiye köyünün zemin özelliklerini jeolojik ve jeofizik yöntemler ile araştırmıştır. Mikrotremor yöntemini ile bölgenin spektral büyütme değerlerinin yaklaşık 1,8 olduğunu belirtmiştir.

Akbayram vd (2022) Bingöl'ün Genç ilçesinde zemin hakim frekans ve zemin büyütme faktörü değerlerini mikrotremor yöntemi yardımıyla hesaplamışlardır. Ayrıca bazı ampirik bağıntılar yardımıyla Vs30, hasar görebilirlik katsayısı (Kg), anakaya derinliği gibi parametreler de elde edilmiştir.

Acar vd (2022) İzmir İli Ödemiş İlçesi imar ve bölge planlama alanının incelemesini farklı yöntemlerle ile birlikte mikrotremor yöntemini kullanarak zemin hakim frekansı değerinin ortalamasını 3.7 olarak hesaplamışlardır.

Gürbüz (2023) Burdur İl Merkezinde yaptığı mikrotremor çalışmasında YDSO yönteminden hesapladığı hasar görebilirlik katsayıları 0.7 ile 4.3 arasında olduğunu vurgulamıştır.

"Erzurum ilinde yürütülen zemin ve deprem odaklı araştırmalar ise eskiye dayanmakla birlikte yeterli düzeyde değildir." (Özer ve Saraç 2023);

Yarbaşı ve Bayrakturan (2003) Atatürk Üniversitesi Merkez Kampüsünün (ATA-CMP) de içinde olduğu alanın geoteknik özelliklerini incelediği çalışmasında, kampüs alanının kaba ve orta çakıllı alüvyon yelpazede konumlandığını belirtmiştir.

Akbulut vd (2004) 2004 Aşkale-Erzurum depremleri sonrası sahada yaptıkları gözlemlerde Kandilli bölgesinde özellikle alüvyon dolgu alanlarda yıkılma ve hasar yoğunluğunun fazla olduğunu belirterek zemin etkisini vurgulamışlardır.

Yarbaşı vd (2004) Erzurum şehir merkezi batı kesimini volkanik birimler ve alüvyonlardan oluşan beş farklı jeoteknik bölgeye ayırarak incelemelerde bulunmuştur. Bu çalışmada ATA-CMP'nin bulunduğu lokasyonun kumlu çakıl ve kum mercekli alüvyon üzerinde olduğunu belirtmişlerdir.

Yarbaşı ve Kalkan (2009) ATA-CMP'nin kum mercekli kumlu çakıl içerisinde olduğunu ve nihai taşıma kapasitesi (kg/cm2)' nin 1.05 ile 1.32 arasında değiştiğini rapor etmişlerdir.

Koçyiğit ve Canoğlu (2017) 30 km genişlik ve 90 hm uzunluğa sahip Erzurum çek-ayır havzasının depremselliğinin oldukça yüksek olduğunu ve aktif fayların kaynaklık edeceği depremin büyüklüğünün yediye ulaşabileceğini belirtmiştir. Ayrıca Aşkale, Erzurum-Dumlu ve Başköy-Kandilli fay zonları hakkında literatüre önemli katkılar sunmuşlardır.

Karaca ve Bayram (2019) Erzurum ilinde yeni yerleşim alanları tasarlanırken yerel zemin koşullarının dikkate alınmasını tavsiye etmişlerdir.

Bayrak vd (2020) Horasan-Narman Fay Zonu ve Aşkale Fay Zonlarında gerilme artışı olduğunu belirtmişlerdir.

Pamuk ve Özer (2020) Erzurum ve çevresinde konumlanan bazı deprem istasyonlarına S- dalga hız yapısının Rayleigh dalgası eliptisitesi kullanılarak hesaplamışlardır. Çalışma alanının (ATA-CMP) yakın bir lokasyonunda bulunan EDAM deprem istasyonunun bulunduğu lokasyonda yaklaşık 160 m derinliğe kadar mühendislik anakayasına (Vs> 760 m/s) ait hız hesaplanamamıştır.

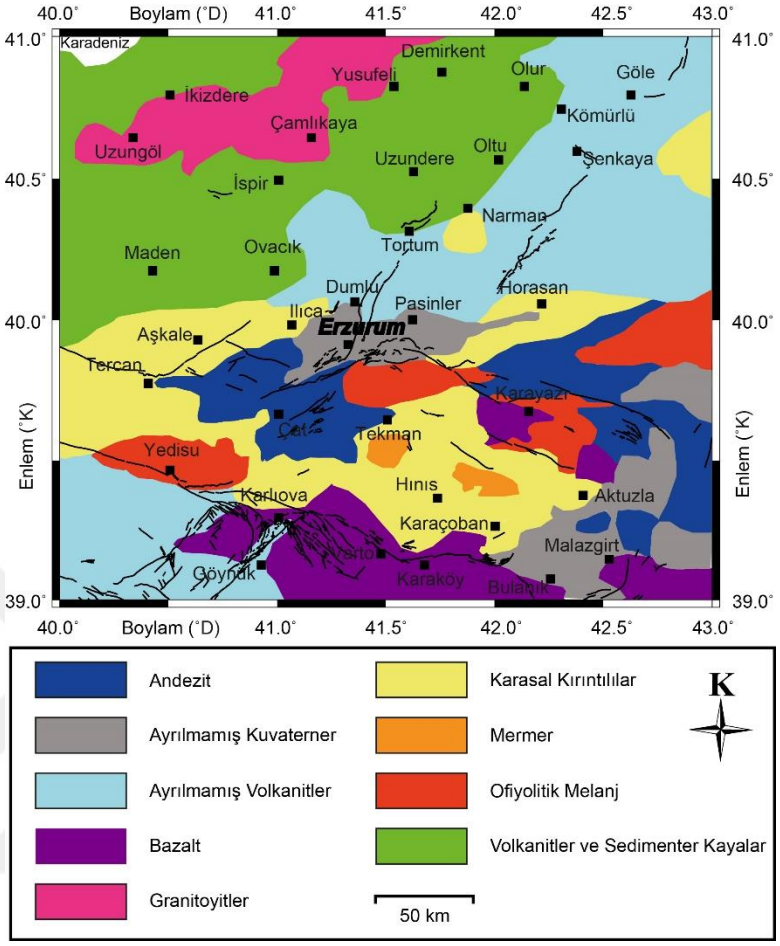
Özer vd (2022) Karlıova, Karaçoban, Söylemez, Dumlu, Ilıca, Aşkale ve Kırık bölgelerinin yüksek b - değerlerine ve negatif Vp hız değişimlerinin potansiyel deprem tehlikesinin yüksek olduğu alanları temsil edebileceğinden bu alanlarda mühendislik sismolojisi çalışmalarına ağırlık verilmesini tavsiye etmişlerdir.

Çelebi vd (2023) 19-22 Kasım 2021 Köprüköy depremlerinden (Mw 5.1 ve Mw 4.7) sonra Topçular Köyü-Erzurum bölgesinde mikrotremor ölçümlerinden zemin hakim frekans, zemin büyütme faktörü ve hasar görebilirlik katsayısı (Kg) değerlerini hesaplamışlardır. Yüksek Kg değerlerin olduğu alanlarda, meydana gelen orta büyüklükteki bu deprem neticesinde zayıf zemine yapılan mühendislik hizmeti almamış yapıların hasar gördüğü raporlanmıştır.

Yapılan literatür taramasında görülmektedir ki bu tez çalışmasında kullanılacak mikrotremor yöntemi zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda Erzurum ve çevresinde yürütülen çalışmalar, Erzurum ilinin deprem tehlikesinin yüksek olduğunu ve çalışma alanının gevşek bir zemin üzerinde konumlandığını göstermektedir. Erzurum ilinin önemli birimlerinden ATA-CMP şehrin merkezinde bulunmakta ve önemli bir nüfus yoğunluğuna sahiptir. Bu tez alanında zemin etkisi açısından bilimsel bir çalışma yapılmaması eksiklik olarak görülmüş ve bu tez konusu ortaya konmuştur. Bu motivasyon ile bu tez çalışması kapsamında mikrotremor yöntemi ile Atatürk Üniversitesi merkez kampüsünün zemin hakim frekans, zemin büyütme faktörü ve hasar görebilirlik katsayısı değişimleri araştırılacaktır.

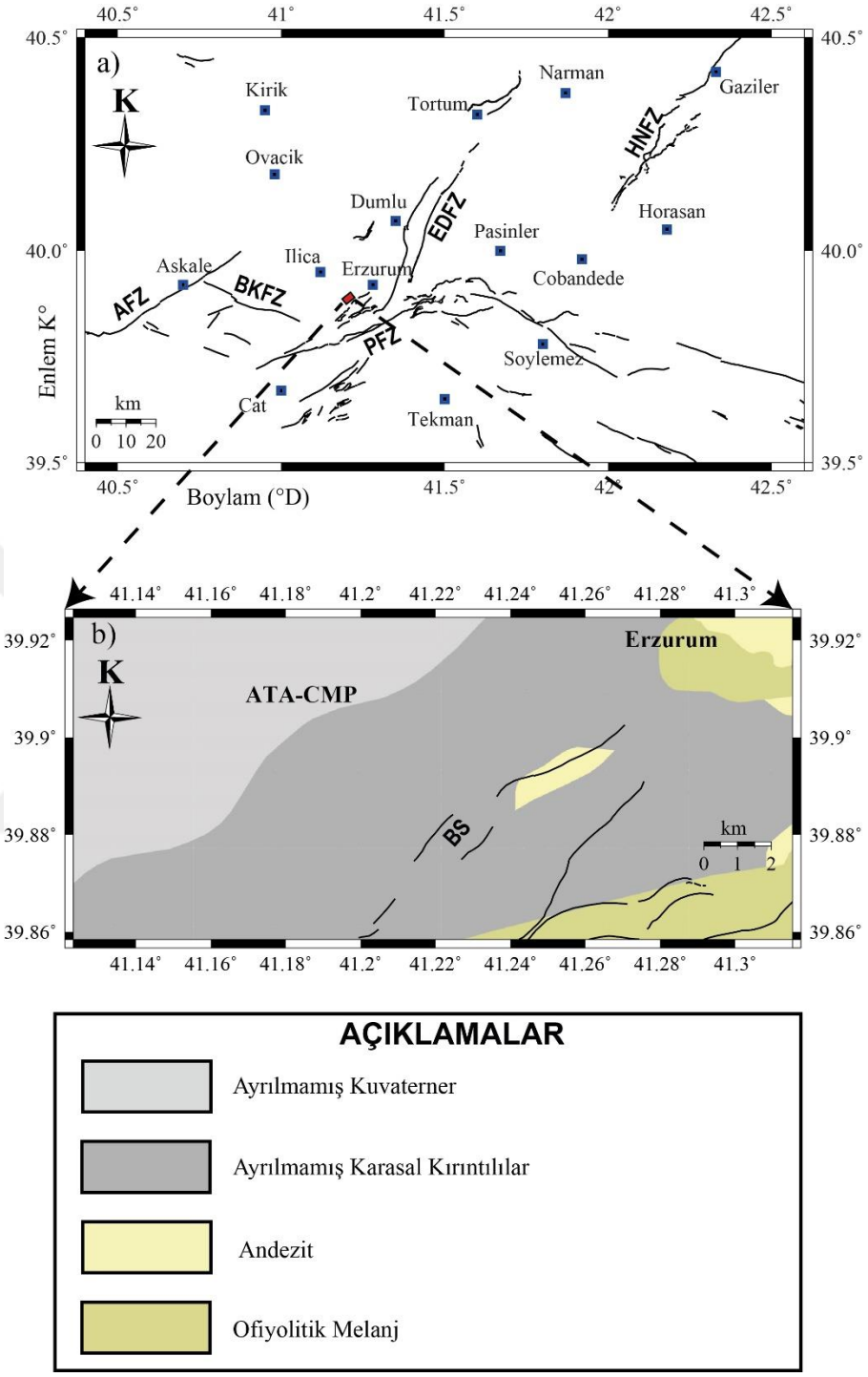
Çalışma Alanının Jeolojisi

Doğu Anadolu; kıtasal kabuktaki sıkışmanın ve volkanik etkilerin gözlenebileceği ender örneklerin başında gelmektedir. Doğu Anadolu'da bulunan Erzurum-Kars platosu Orta Miyosenden Pliyosen döneme varan kıtasal çarpışmayla ilgili volkanizmayı temsil etmektedir (Keskin vd 1998). Erzurum 800 metreden 1200 metreye kadar çökelmiş Kuvaterner yaşlı alüvyonlar üzerinde bulunmaktadır (Yarbaşı ve Kalkan 2009). Erzurum'un batı kısmında Karasal Kırıntılılar, güneybatısında Andezitler, güneyde Palandöken dağının olduğu bölgede Ofiyolitik Melanj, kuzey ve kuzeybatıda Volkanitler bulunmaktadır (Şekil 2). Ova kenarlarında ise kil, kum, çakıl ve silt zemin türlerinden oluşan Kuvaterner yaşlı eski alüvyon çökelleri bulunmaktadır (Şekil 3). Erzurum ovasında, silt, kil ve ince kum zeminlerden oluşmuş Adaçay Deresi ve Karasu Çayına ait güncel alüvyonlar bulunmaktadır. Bu güncel genç birimler çoğunlukla kil, kum ve silt zemin türlerinden oluşan taşkın ovası ve bataklık çökelleri olarak oluştuğu düşünülmektedir. Erzurum ve çevresinin önemli bir bölümü alüvyon ve yamaç molozu üzerinde bulunmaktadır (Demirtaş vd 2010, Şahin 2017). Erzurum ve çevresi aktif deprem bölgesinde yer aldığından dolayı sahaya özel detaylı yerbilimsel araştırmalar yapılması önemlidir (Demirtaş vd 2010, Akbaş vd 2013, Şahin 2017, Ozer 2019).



Şekil 2. Erzurum' un basitleştirilmiş jeolojik haritası (Akbaş vd 2011, Emre vd 2013, 2018, Özer 2019).

Erzurum çevresi genel olarak volkanik bir arazidir. Palandöken volkanikleri; Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Bazalt, Andezitik bazalt ve piroklastik malzemelerden oluşur. Bölgedeki ve inceleme alanı sınırında da bulunan Gelinkaya Formasyonu; Pliyosen yaşlı, Volkano-klastik akarsu-göl çökellerinin ardalanmasıyla kiltaşı, marn, kumtaşı, konglomera, tüf, lapilli, diyatomit ve yer yer linyitten oluşur. Kuvaterner yaşlı eski alüvyon yelpaze çökelleri inceleme alanının güneyinden başlar. Gelinkaya formasyonu ve alüvyon yelpaze Börekli Segmenti (BS) ile dokanak oluşturur. Kuvaterner yaşlı güncel akarsu çökelleri ve yapay dolgu birimler inceleme alanında gözlenmektedir (Yarbaşı vd 2004, Akbaş vd 2011) (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı ve basitleştirilmiş jeolojik haritası (Jeolojik bilgi: Akbaş vd 2011, fay bilgileri: Emre vd 2013, 2018). Kısaltmalar: AFZ: Aşkale Fay Zonu; BS: Börekli Segmenti; BKFZ: Başköy-Kandilli Fay Zonu; EDFZ: Erzurum-Dumlu Fay Zonu; HNFZ: Horasan-Narman Fay Zonu; PFZ: Palandöken Fay Zonu

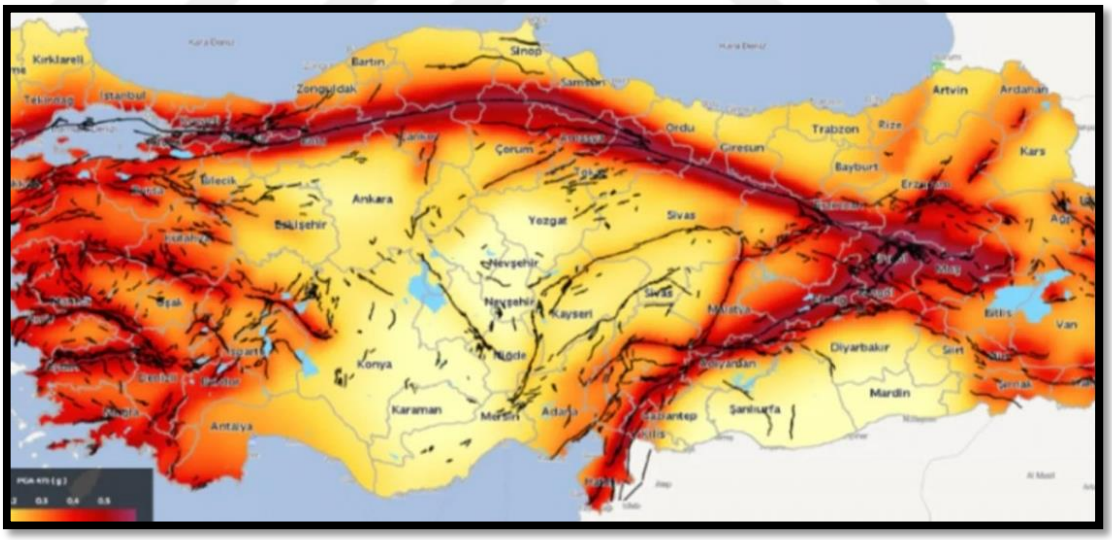
Çalışma Alanının Tektonik Yapısı

Arap, Avrasya ve Afrika plakalarının birbirlerine göre göreceli hareketlerinden etkilenen Anadolu mikro levhası önemli tektonik birimlere sahiptir (McKenzie 1972, Şengör vd 1985, Reilinger vd 2006). Karlıova-Bingöl'den başlayan ve Saros Körfezine doğru devam eden yaklaşık 1500 km uzunluğa sahip sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (NAFZ), Türkiye'de yıkıcı depremlerin birçoğuna kaynaklık etmiştir (Ketin 1957, Şengör 1979, Hubert-Ferrari vd 2002, Fichtner vd 2013, Bohnhoff vd 2016). Karlıova-Bingöl'den başlayan ve Hatay iline kadar devam edip Ölüdeniz Fay Zonu'a kadar devam eden yaklaşık 500 km uzunluğuna sahip sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (EAFZ) (Şaroğlu vd 1992, Duman ve Emre 2013, Bulut vd 2012; Utkucu vd 2023) ise en son 2023 Kahramanmaraş depremlerine (Mw 7.7 ve 7.6) kaynaklık etmiştir (Karabacak vd 2023). Türkiye'deki plaka sınırlarını yöneten bu iki önemli fay zonlarının çalışma alanına yaklaşık 75 km uzaklıkta bulunan Bingöl-Karlıova'da buluşması sebebiyle bu alanın yer bilimciler için ayrı bir öneme sahiptir (Aktuğ vd 2013, Akbayram vd 2023). Ayrıca Türkiye'nin batısında; doğudaki bu sıkışma sonucu gerilmelere sebep olan Ege Açılma Rejimi (EAR) bulunmaktadır. EAR, çoğunlukla normal faylardan oluşan tektonik birlikteliklerdir (Taymaz vd 2007).

Erzurum ili; NAFZ, EAFZ ve Karlıova-Bingöl bölgelerine yakın bir konumda bulunmaktadır. NAFZ üzerinde bulunan Yedisu segmenti sismik boşluk olarak nitelendirilmektedir (Alkan vd 2023). Aynı zamanda EAFZ üzerinde Bingöl şehri sismik boşluk olarak deklare edilmiştir (Akbayram vd 2022). Karlıova-Bingöl'ün de aktif tektoniğe sahip olduğu da bilinmektedir (Akbayram vd 2023). Erzurum tüm bu önemli tektonik birlikteliklere yakın konumdadır. 2023 Kahramanmaraş depremlerinin on bir ili etkilediği düşünüldüğünde bu fay zonlarında meydana gelebilecek depremler sonucunda Erzurum ilinin de etkilenmesi muhtemeldir. Ayrıca bu fayların ötesinde; Erzurum ili Aşkale Fayı, Başköy-Kandilli Fayı, Erzurum-Dumlu Fayı, Palandöken Fayı, Horasan-Narman Fay Zonu gibi lokal tektonik unsurlara sahiptir (Yarbaşı ve Kalkan 2009, Emre vd 2013, Koçyiğit ve Canoğlu 2017, Emre vd 2018).

Çalışma Alanının Depremselliği

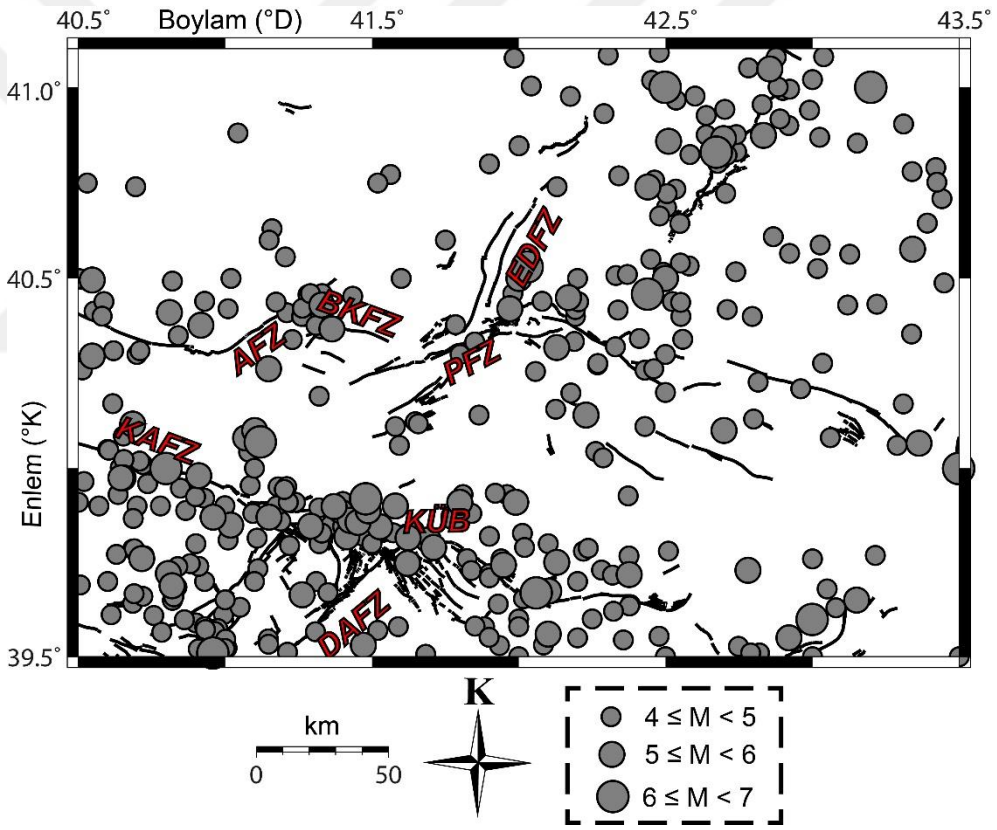
Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunan Türkiye (Şengör vd 2008); sıklıkla yıkıcı depremlere sahne olmaktadır (AFAD 2024a, b). Son 25 yılda magnitüdü 6.5'den büyük 10 adet deprem meydana gelirken 1900'lü yılların başından günümüze magnitüdü 7.0'dan büyük 25 adet deprem gözlenmiştir (AFAD 2024a, b). Bu depremlerde birçok can ve mal kaybı yaşanmıştır. Son yıkıcı deprem 06 Şubat 2024 Kahramanmaraş depremlerinde (Mw 7.7 ve 7.6) 50.000'e yakın can kaybı ve yaklaşık 280.000 yapıda hasar gözlenmiştir (TERRA 2023). Afet ve Acil Durum Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre Türkiye'de 475 yıllık geri dönüş periyodu %10 aşılma olasılığına göre ülkemizde birçok bölgede beklenen ivme 0.4g'den fazladır (Şekil 4) (AFAD 2018). Ayrıca Türkiye'de MTA tarafından yayınlanan haritalarda 500'ün üzerinde aktif fay bulunmaktadır (Emre vd 2013, 2018).



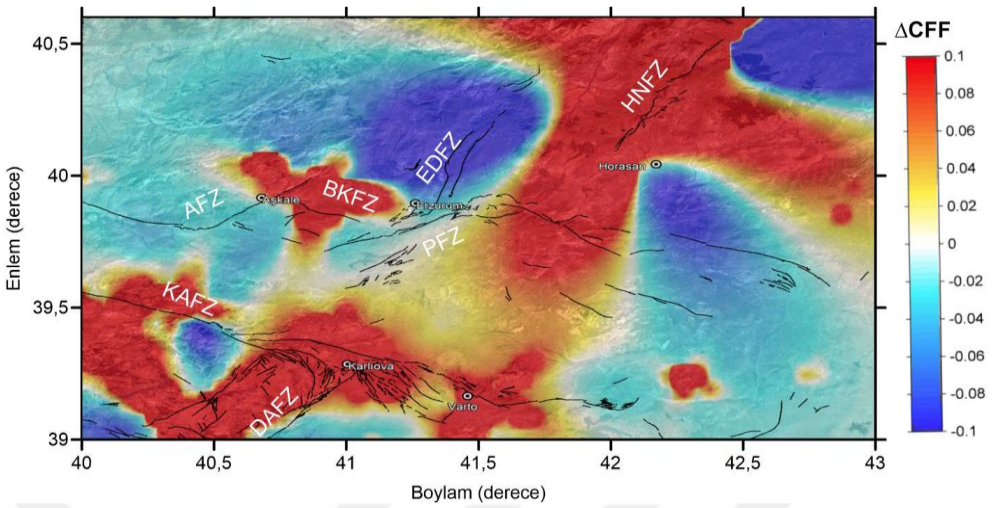
Şekil 4. AFAD Türkiye deprem tehlike haritası (AFAD 2018).

Bayrak vd (2020) Erzurum ve yakın çevresinde AFAD tarafından rapor edilen depremleri haritaladığında depremlerin Karlıova-Bingöl çevresinde yoğunlaştığını belirtmiştir (Şekil 5). Deprem fay çözümleri ile ilgili alanda hesaplanan Coulomb gerilme

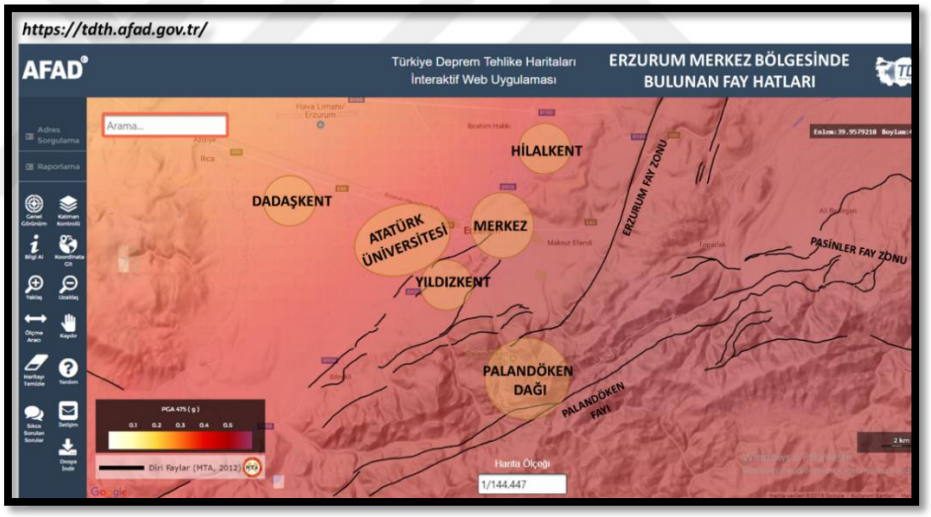
değişim haritasında (Şekil 6) Başköy-Kandilli Fay Zonunun (BKFZ) ve Horasan-Narman Fay Zonunun (HNFZ) gerilme altında olduğu görülmektedir (Bayrak vd 2020). BKFZ üzerinde 13 Nisan 2023 tarihinde olan ve en büyüğü Mw 3.9 olan bu küçük depremlerde dahi halk arasında paniğe neden olan bu depremler BKFZ'nun GD ucunda yoğunlaşmıştır (Özer vd 2023). 2023 Kahramanmaraş depremleri (Mw 7.7 ve 7.6) sonrasında Erzurum ve çevresinde de tektonik aktivite artışlar izlenmektedir (Özer vd 2023). Atatürk Üniversitesi Merkez kampüs alanı da bu alana çok yakın bir konumda bulunmaktadır (Şekil 7).



Şekil 5: Erzurum ve çevresinde 1900-2020 yılları arasında meydana gelen depremler ve tektonik yapılar (Emre vd 2013, 2018, Bayrak vd 2020).



Şekil 6: Erzurum ve çevresi Coulomb gerilme hesaplamaları (Bayrak vd 2020).



Şekil 7. AFAD Türkiye Deprem Tehlikeli Haritası ve Erzurum merkez bölgesinde bulunan aktif fay hatları (Emre vd 2013, 2018, AFAD 2018).

Erzurum ve çevresindeki tarihsel depremler incelendiğinde şidddeti dokuza varan depremler olduğu gözlenmektedir (Tablo 1). Özellikle 1859 Erzurum depremi şehri önemli ölçüde etkilemiş ve mimarisini değiştirmiştir (Küçükuğurlu 2024). En son yıkıcı deprem ise Erzurum'un Kuzeydoğusunda bulunan Horasan ilçesinde HNFZ üzerinde 1983 yılında meydana gelen 6.7 magnitüdlü depremdir (Tablo 2) (Koçyiğit ve Canoğlu 2017).

Tablo 1. Erzurum ve çevresini etkileyen tarihsel deprem listesi (AFAD, 2024a)

Tarih	Enlem	Boylam	Şiddet	Yer
1268	40.00	40.00	IX	Erzincan, Erzurum
1458	40.00	40.00	X	Erzincan, Erzurum
1482	40.00	40.00	IX	Erzincan, Erzurum
1584	40.00	40.00	IX	Erzincan, Erzurum
659	40.00	41.00	VI	Erzurum
1781	40.00	41.00	VII	Erzurum
1784	40.00	40.00	VIII	Erzincan, Pülümür, Erzurum
1790	40.00	41.00	VIII	Erzurum
1794	40.00	41.00	VI	Erzurum
1844	40.00	41.00	VII	Erzurum
1850	40.00	41.00	VII	Erzurum
1852	40.00	41.00	IX	Erzurum
1852	40.00	41.00	VI	Erzurum
1859	40.00	41.00	VII	Erzurum
1859	40.00	41.00	IX	Erzurum
1859	40.00	42.00	VIII	Pasinler - Erzurum
1860	40.00	41.00	VII	Erzurum
1866	40.00	41.00	VIII	Erzurum
1868	41.00	44.00	VIII	Kars, Erzurum, Ardahan, Tiflis
1868	40.00	42.00	VIII	Pasinler - Erzurum
1868	40.00	42.00	IX	Erzurum, Kars
1875	40.00	41.00	X	Erzurum
1877	40.00	41.00	VI	Erzurum
1886	40.00	41.00	VI	Erzurum

Tablo 2. Erzurum ve çevresini etkileyen aletsel deprem listesi (AFAD, 2024b)

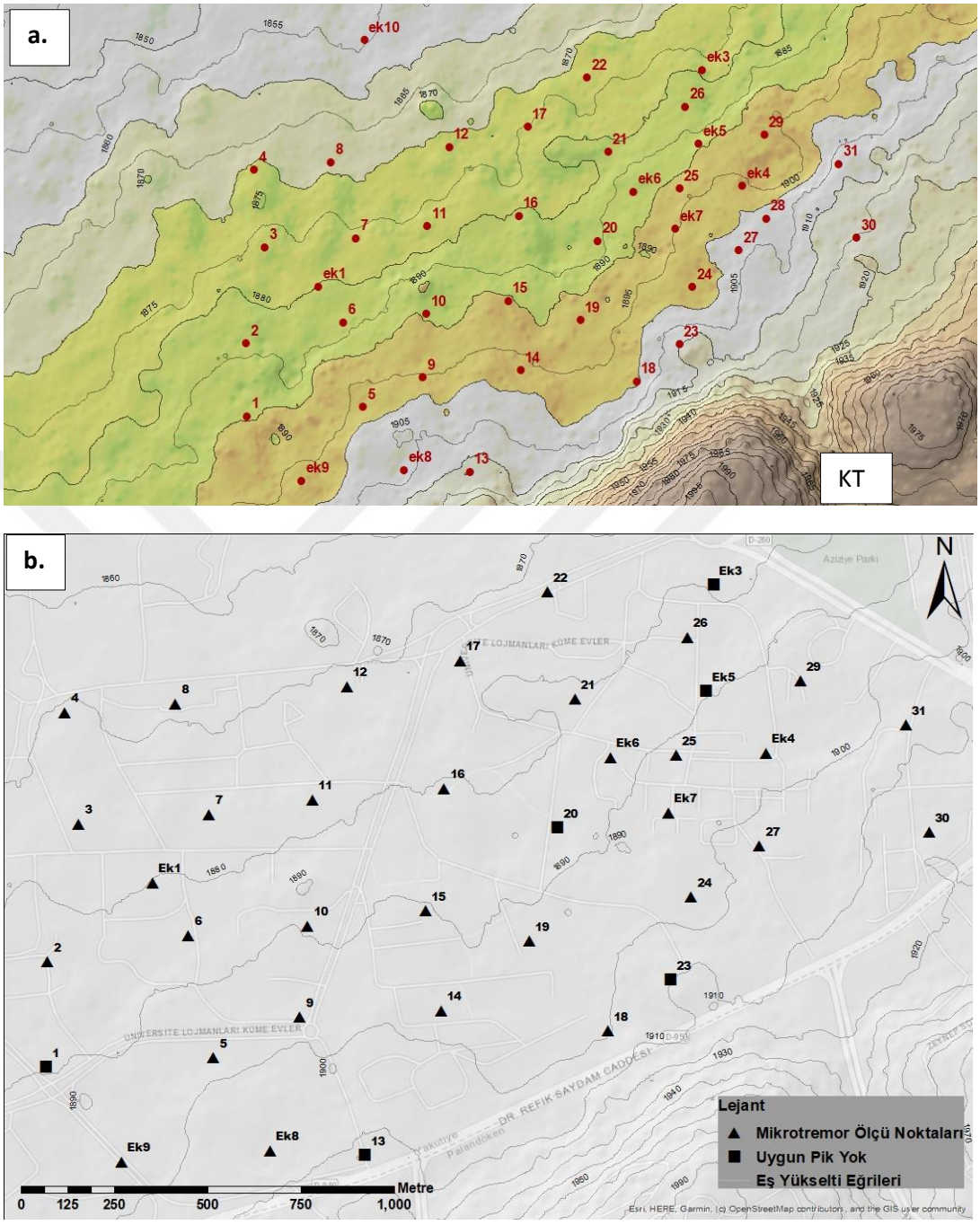
Oluş Tarihi	Enlem	Boylam	Derinlik (km)	Büyüklük	Yer
30/10/1983	40.331	42.173	15	6.6	Sarıkamış, Kars
20/08/1966	39.420	40.980	14	6.2	Karlıova, Bingöl
19/08/1966	39.170	41.560	26	6.9	Varto, Muş
17/08/1949	39.570	40.620	40	6.7	Tercan, Erzincan
13/09/1924	39.960	41.940	10	6.8	Köprüköy, Erzurum
28/12/1906	40.500	42.000	30	6.0	Oltu, Erzurum
28/04/1903	39.100	42.500	30	6.3	Muş
08/11/1901	40.030	41.530	10	6.1	Erzurum

VERİ VE YÖNTEM

Veri

ATA-CMP zemin dinamik parametrelerinin belirlenebilmesi için 45 adet noktada mikrotremor ölçümü gerçekleştirilmiştir. Beş adet noktada pik elde edilemediği için hesaplamalar 40 adet nokta üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktaları arası ortalama 250 metre olarak tasarlanmış, nüfus popülasyonun fazla olduğu alanlarda ya da önemli görülen alanlarda bu mesafe azaltılmıştır (Şekil 8 ve 9). Ölçüm süreleri ortalama 60 dakika olarak planlanmış ve kültürel gürültünün fazla olduğu alanlarda bu süre daha uzun olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Kayıtçı örnekleme aralığı 100 Hz olup veriyi gürültülerden elemine etmek için band-geçişli (0.05-20 Hz) filtre uygulanarak uygun pencereler seçilmiştir. Mikrotremor verileri Geopsy yazılımı (Wathelet vd 2020) ile değerlendirilmiştir. Mikrotremor verilerinin trend etkisi elendikten sonra bant geçişli süzgeç filtre kullanılıp; uygun pencere aralıkları seçilerek %5 cosinüs işleçli filtre uygulanmıştır. Ayrıca b- değeri 40 seçilerek Konno-Ohmachi yuvarlatması gerçekleştirilmiştir (SESAME 2004).

Yapılan ölçümler ile toplam yaklaşık 200 hektar alan pasif kaynaklı bir jeofizik yöntem olan mikrotremor yöntemiyle araştırılmıştır. Ölçüm noktaları çevresinde jeolojik gözlemler yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 8. Çalışma alanı mikrotremor ölçüm noktaları. a. Mikrotremor ölçüm noktalarının topoğrafik harita üzerinde gösterimi. KT: Kiremitlik Tepe. b. Mikrotremor ölçüm noktalarının sokak görünümü kullanılarak gösterimi.



Şekil 9. Çalışma alanı saha gözlemleri (Saraç ve Özer 2024a). a. Çalışma alanının Güney kısımlarından (Kiremitlik Tepe) Erzurum atlama kulelerine bir bakış. Şekil 1a'da atlama

kulelerinin bulunduğu alanda ani topoğrafik değişim izlenebilir. KT: Kiremitlik Tepe. b. Atlama Kulelerinin hasar almasında rol oynayan Gelinkaya Formasyonu ile alüvyon dolguyu sınırlayan fay düzlemindeki kaymalar çalışma alanında da gözlenmektedir. c. Bölgedeki tektonizmaya maruz kalmış bir kayaç örneği. d. Gürültü sebebiyle gündüz sağlıklı ölçü alınması mümkün olmayan noktalarda çalışmalar gece yürütülmüştür.

Mikrotremor Yöntemi

Doğal ya da yapay koşullar ile oluşan, belirli genliğe ve frekansa sahip titreşim hareketleri mikroseism olarak isimlendirilir. Mikrotremor ise genlikleri 0.01-1 mikron arasında olan ve periyotları 0.05-2 saniye arasında değişen titreşimlerdir (Sayıl 2015). Mikrotremor verileri analiz edilerek yerel zemin etkileri ve sedimanların özelliklerini anlamak için kullanılan hızlı ve güvenilir tekniklerin başında gelir (Şekil 10). Pasif kaynaklı yöntem olduğundan her yeraltı problemine çözüm üretemese de zemin dinamik özelliklerinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılır.



Şekil 10. ATA-CMP'de yürütülen mikrotromor saha çalışması

Zemin Hakim Frekans Ve Zemin Büyütme Faktörü

Çalışma alanının zemin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla tek istasyon mikrotremor yöntemi (bir diğer adıyla Nakamura yöntemi) kullanılmıştır (Nakamura 1989, Lermo ve Chávez-García 1994a, b, Nakamura 2019). Pasif kaynak kullanan mikrotremor yönteminde ölçüm lokasyonlarında zeminin jeolojik koşullarına göre değişim göstermesi sebebiyle sıklıkla tercih edilen yöntemlerin başında gelmektedir. Özellikle ölçüm noktasına ait zemin hakim frekans değerini hızlı ve ekonomik şekilde ortaya koyabilmesi sebebiyle mikrobölgeleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Tün vd 2016, Pamuk vd 2017, 2018). Nakamura (1989); literatürde tek istasyon mikrotremor yöntemi, Nakamura yöntemi ve Yatay/Düşey Spektral oran (YDSO) gibi isimler ile temsil edilen yöntem ile zemine ait hakim frekans ve zemin

büyütme faktörü hesabına ait çalışmasında yer hareketlerinde yatay bileşenlerin düşey bileşene göre daha fazla etkileneceği prensibine göre eşitlik 1 ile hesaplanmaktadır.

$$\mathbf{YDSO} = \frac{(\mathrm{DB}^2 + \mathrm{KG}^2)}{\mathrm{D}} \text{ (Eşitlik 1)}$$

Burada; DB: Doğu-batı bileşeni, KG: Kuzey-Güney bileşeni ve D: Düşey bileşeni temsil etmektedir.

YDSO, değerlerinin pik yaptığı değer zemin büyütme faktörü (A) ve YDSO değerlerinin pik yaptığı frekans zemin hakim frekans (f) olarak belirlenmiştir.

Hasar Görebilirlik Katsayısı (Kg)

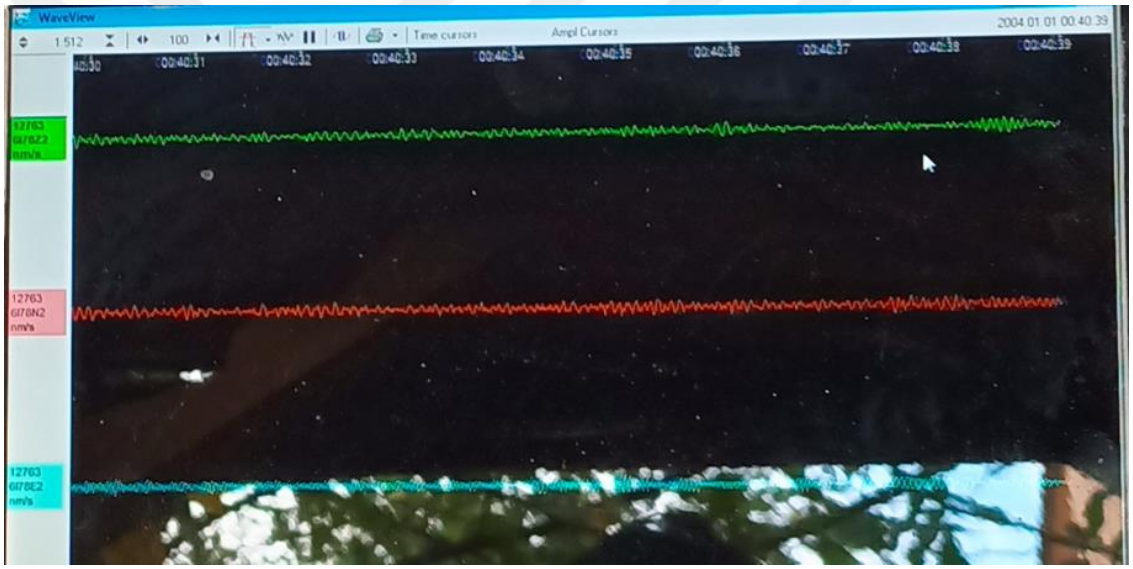
Nakamura (1997, 2000) 1989 Loma-Prieta depremi (Mw 6.9) sebebiyle San Francisco Körfez Bölgesi'nde deniz kıyısından yamaçlara uzanan bir hat boyunca Kg değerlerini hesaplamıştır. Yapılan gözlemler zeminin deforme olduğu alanlarda Kg değerinin 20'den büyük olduğunu gösterirken hasarsız alanların Kg değerinin küçük olduğunu göstermiştir. Büyük bir depremden önce zeminden kaynaklı hasarların tespit edilebilmesi için araştırmacılara önemli fikirler veren ve zeminin dinamik özelliklerine göre değişen bu indis eşitlik 2 ile elde edilebilmektedir:

$$\boldsymbol{K_g} = \frac{\boldsymbol{A^2}}{\boldsymbol{f}} \text{ (Eşitlik 2)}$$

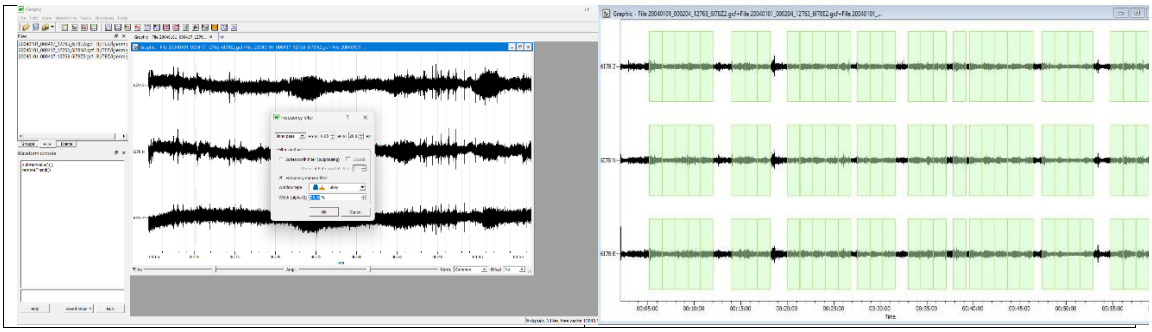
Bu çalışmada ülkemizdeki yapı stoku koşulları, yapı malzemeleri gibi birtakım parametreler dikkate alınarak Kg değerinin 10'dan büyük olduğu alanlara dikkat çekilmiştir (Akkaya 2020).

Scream ve Geopsy Programlarının Kullanımı

Bu tez çalışmasında Güralp Marka CMG-6TD model kayıt cihazı kullanılmıştır. Mikrotremor kayıtlarını kaydetmek için Scream 4.6 programı kullanılmıştır (Şekil 11). Yapılan ölçümler Geopsy programında (Wathelet vd 2020) değerlendirilerek zemin hakim frekans ve zemin büyütme faktörü değerleri hesaplanmıştır. Gürültü verileri ilk olarak SubtRact Value aşamasından sonra trend etkisi giderilmiştir. Daha sonra 0.05-20 Hz filtre uygulanmıştır. 0.1 Hz'e kadar analiz yapmaya imkan tanıyacak şekilde seçilen pencereler ile %25 tukey taper filtresi uygulanmıştır. Ayrıca her analizde en az on pencere seçilerek YDSO hesaplamaları yürütülmüştür (Şekil 12).



Şekil 11. Yapılan ölçümlerinin Scream 4.6 programında görünümü



Şekil 12. Geopsy programında değerlendirme aşamaları ve örnek pencere seçimi

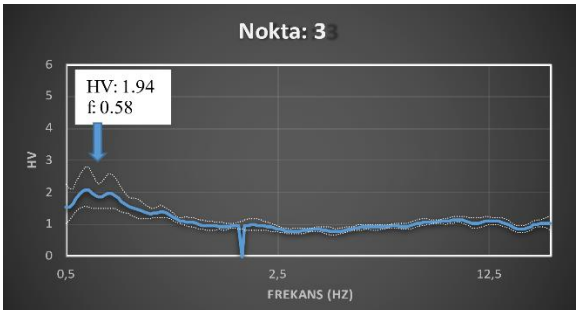
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

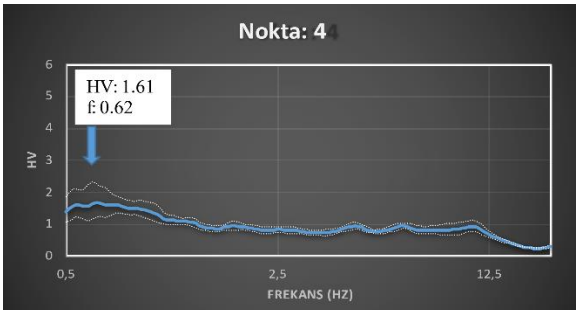
Yerel zemin koşullarının deprem hasarı üzerinde etkisi 1999 Gölcük depreminde (Mw 7.4) ve 2023 Kahramanmaraş depremlerinde (Mw 7.7 ve 7.6) görülmüştür. Yüksek kısımlardaki ana kaya üzerinde konumlanan yapılarda hasar az iken, alüvyon çökeller üzerindeki yapılarda hasarın arttığı izlenmiştir. Bunun ana sebebi deprem dalgaları kaynaktan çıktıktan sonra uzun bir süre sert kaya içerisinde seyahat ederken sadece son aşamada gevşek olan tabakalarda yer alır. Dolayısıyla yer altında ilerleyen deprem dalgalarının genliği kompakt birimlerde düşükken, gevşek birimlerde çok daha yüksektir (Ateş ve Uyanık 2019). Yalçınkaya (2010); yerel zemin etkilerinin önemini "zemin sismik dalgalar için bir süzgeç olarak görev görerek bazı frekansları sönümlerken bazılarını da büyüttüğünü" belirterek vurgulamıştır. Bu büyütmelerin tespit edilebilmesi için zemin transfer fonksiyonu belirlenmelidir. Yaygın olarak yapılan uygulama, gürültü veya deprem verilerinden yararlanarak zemin transfer fonksiyonunun tespit edilmesidir (Nakamura 1989, Yalçınkaya 2004). Yalçınkaya (2004) anakaya konumunun ve zemin-anakaya sismik empedans değişiminin zemin büyütme fonksiyonlarındaki önemini belirtmiştir. Zemin tabakaları deprem dalgalarını belirli frekans aralığında büyüttüğünden, bu frekans aralıkları mühendislik açıdan bazen çok önemli bazen de yapılar için tehlike olabilecek önemde bir frekans aralığında olmayabilir. Depremin vereceği zararları azaltmanın bir yolu da zemin ve üzerine inşa edilecek yapıların zemin hakim titreşim frekanslarının birbirlerinden uzak tutulmasıdır (Yalçınkaya 2004). Bu motivasyon ile çalıışma alanında durum değerlendirmesi yapmak ve yeni yapılaşmada stateji geliştirmeye kaynaklık edilebileceği düşünüldüğünden bu çalışma gerçekleştirilmiştir (Özer ve Saraç 2023).

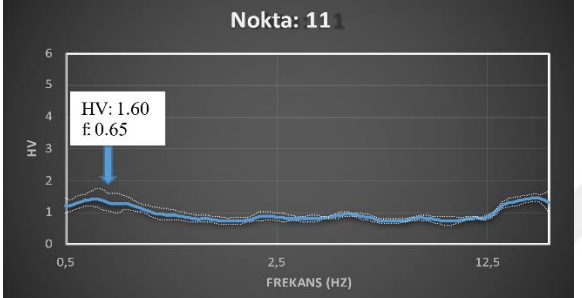
Erzurum ilinin önemli bir parçası olan Atatürk Üniversitesi merkez kampüste yürütülen bu çalışmada zemine ait dinamik parametrelerin elde edilmesi amacı ile 45 noktada mikrotremor ölçümü YDSO yöntemi ile değerlendirilerek zemin hakim frekans ve zemin büyütme faktörü değerleri hesaplanmıştır (Şekil 13-17). Beş noktada uygun eğri karakteristiği belirlenememiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında kampüs alanının güneydoğusunda düşük zemin hakim frekansları hakimken, kampüsün kuzeydoğu

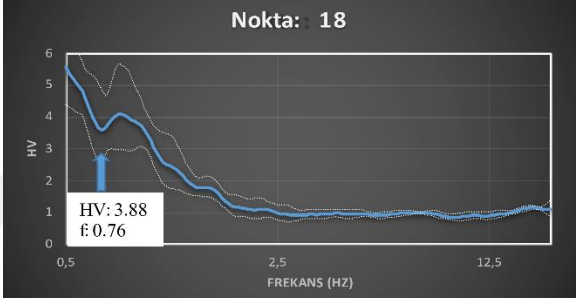
kısmında yüksek zemin hakim frekansları gözlenmiş olup kademeli bir formasyon geçişinin olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışma alanında bazı alanlarda yerel zemin koşullarına bağlı olarak çevresinden farklı zemin hakim frekansına sahip olduğu görülmüştür (Şekil 18). Zemin büyütme faktörü değerleri incelendiğinde ise zemin hakim frekans değerlerine paralel olarak çalışma alanın güneydoğusunda yüksek zemin büyütmeleri gözlenirken çalışma alanın kuzey doğusunda zemin büyütmeleri azalmaktadır (Şekil 19). Kampüs alanının güneydoğu ve kuzey batı alanlarının dışında etkin zemin hakim frekans değerleri 2.5 Hz'den büyüktür. Zemin büyütme faktörü değerleri ise 1 ile 6 arasında değiştiği gözlenmiştir. Zemin hakim frekans değerleri yerleşke alanının güneydoğusunda özellikle Kiremitlik tepe başlangıcında doğru düşükken kuzeye ve batıya doğru yükselmektedir. Alanın topoğrafyası da göze alındığına bu değişimin anakaya derinliği ve örtü kalınlığıyla ilgili olduğunu düşünülmektedir.

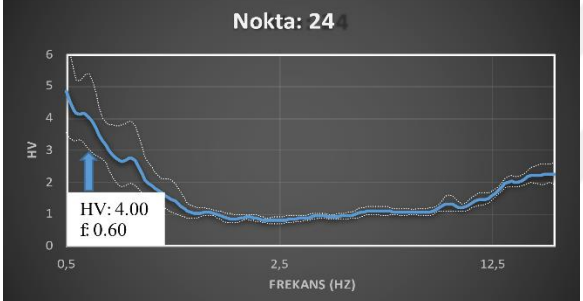
Tek istasyon mikrotremor sonuçları ATA-CMP'de üç frekans aralığının hakim olduğunu göstermektedir. ATA-CMP'nin güneydoğusu ve kuzeybatısının zemin hakim frekansları 0.1-1.5 Hz aralığında değişmektedir. ATA-CMP diğer alanlarında da 5-10 Hz ve 10-20 Hz aralığında bir guruplaşma bulunmakadır. On bir ölçüm noktasında (Nokta 3, 4, 11, 18, 24, 25, 27, 30, 31, Ek7, Ek9) zemin hakim frekansı değerleri 0.5 Hz ile 1.0 Hz arasında değişmektedir (Şekil 13). Ölçüm noktası 1 ve Ek5'te etkin bir pik gözlenemezken frekans değerinin zirve yaptığı noktalar 1 ile 5 Hz arasındadır (Şekil 14). Dokuz adet ölçüm noktasında (Nokta 2, 9, 14, 15, 16, 17, 19, 20 ve 22) zemin hakim frekans değerleri 5-10 Hz arasında değişmektedir (Şekil 15). On iki adet ölçüm noktasında ise (Nokta 5, 6, 7, 8, 10, 12, 13, 26, Ek1, Ek3, Ek4, Ek8) zemin hakim frekansı 10 ile 15 Hz arasında değişmektedir. Son olarak beş ölçüm noktasında (Nokta 21, 23, 29, Ek6, Ek10) zemin hakim frekansları 15 Hz'den büyüktür. YDSO yöntemi ile yapılan değerlendirmelerde belirlenen hakim frekans grafiklerinin bazılarında net bir pik gözlenememiştir. Bu durumun yöntemin kullandığı kaynaklardan kaynaklanan methodolojik dezavantajlarından kaynaklandığı düşünüldüğünde bu alanlar ile ilgili strateji geliştirilirken aktif kaynaklı jeofizik yöntemler ili be tezde elde edilen bulgular desteklenmelidir. Bu durum gelecekte başka çalışmalar planlanırken seçilecek yöntemlerin kaynağının belirlenmesinde yön gösterici olacaktır.

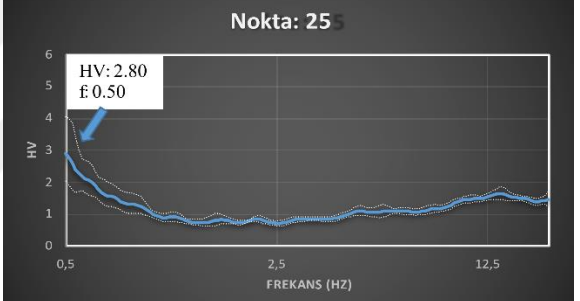

Nokta: 3
HV: 1.94
f: 0.58
HV
FREKANS (HZ)

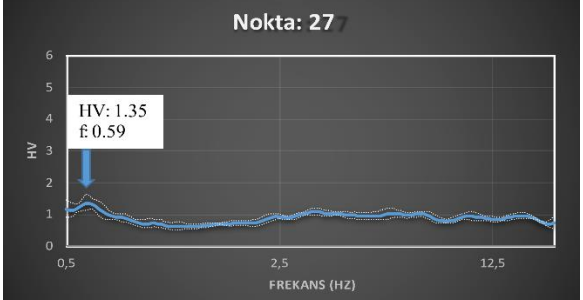

Nokta: 4
HV: 1.61
f: 0.62
HV
FREKANS (HZ)

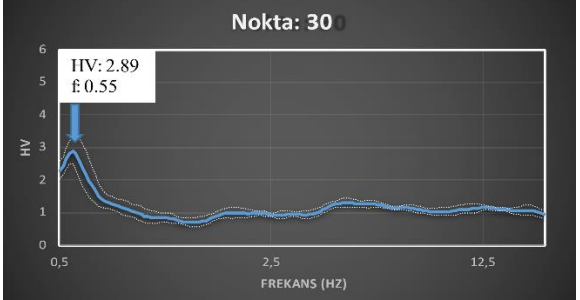

Nokta: 11
HV: 1.60
f: 0.65
HV
FREKANS (HZ)

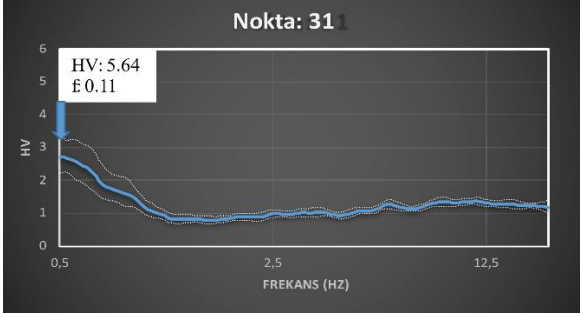

Nokta: 18
HV: 3.88
f: 0.76
HV
FREKANS (HZ)

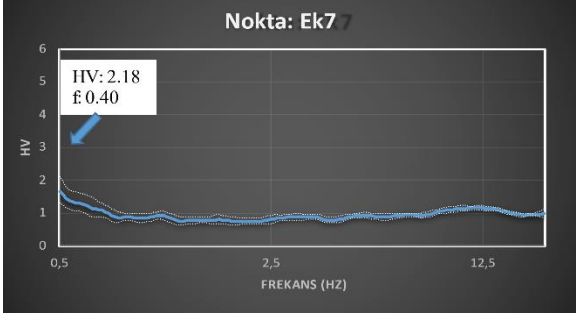

Nokta: 24
HV: 4.00
f: 0.60
HV
FREKANS (HZ)

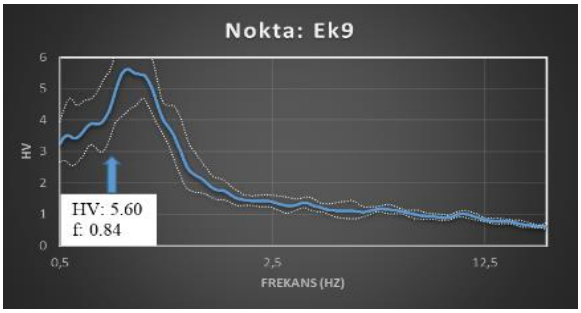

Nokta: 25
HV: 2.80
f: 0.50
HV
FREKANS (HZ)


Nokta: 27
HV: 1.35
f: 0.59
HV
FREKANS (HZ)

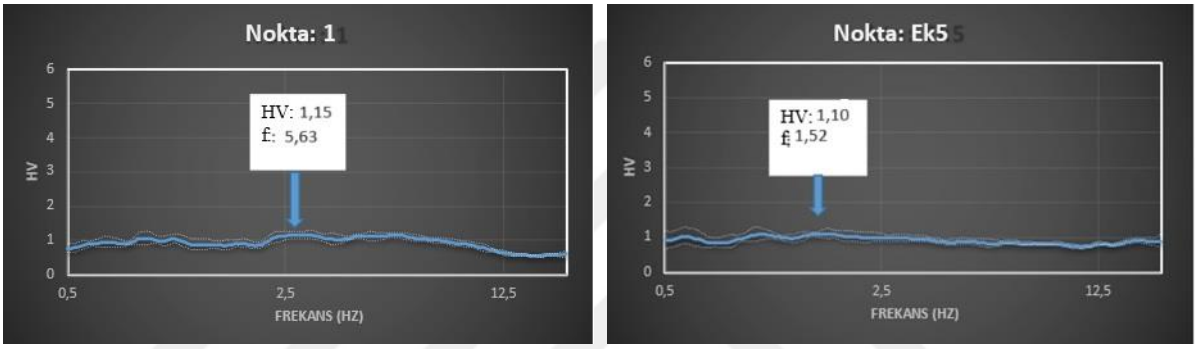

Nokta: 30
HV: 2.89
f: 0.55
HV
FREKANS (HZ)


Nokta: 31
HV: 5.64
f: 0.11
HV
FREKANS (HZ)

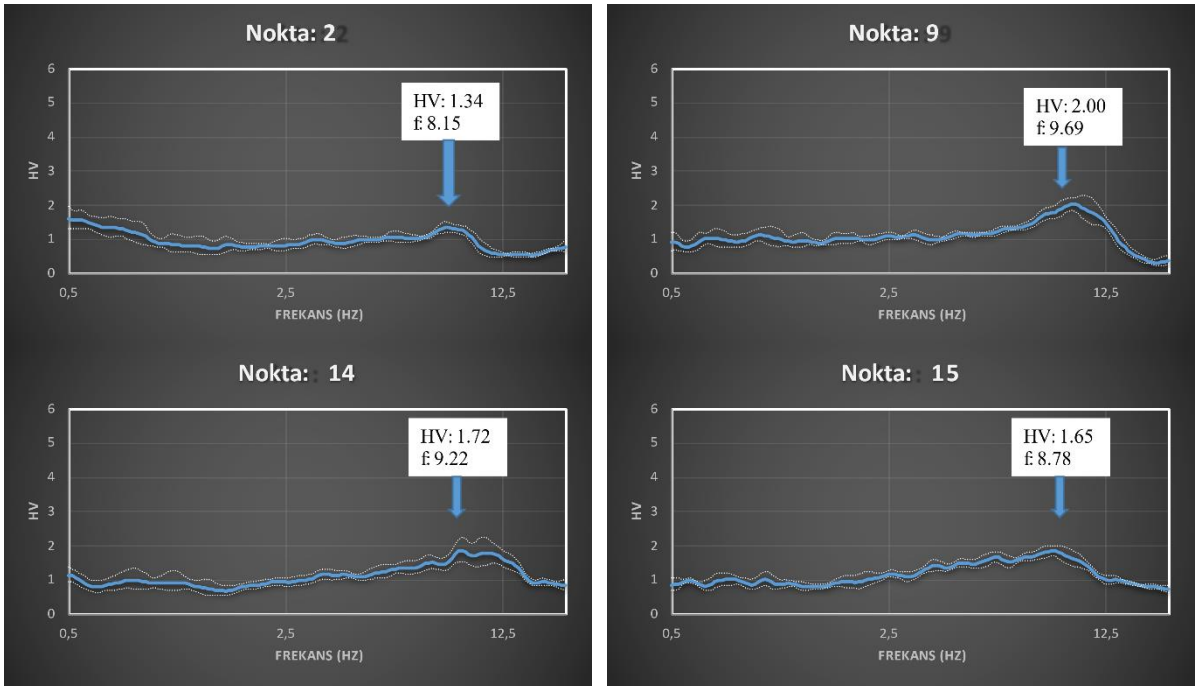

Nokta: Ek7
HV: 2.18
f: 0.40
HV
FREKANS (HZ)

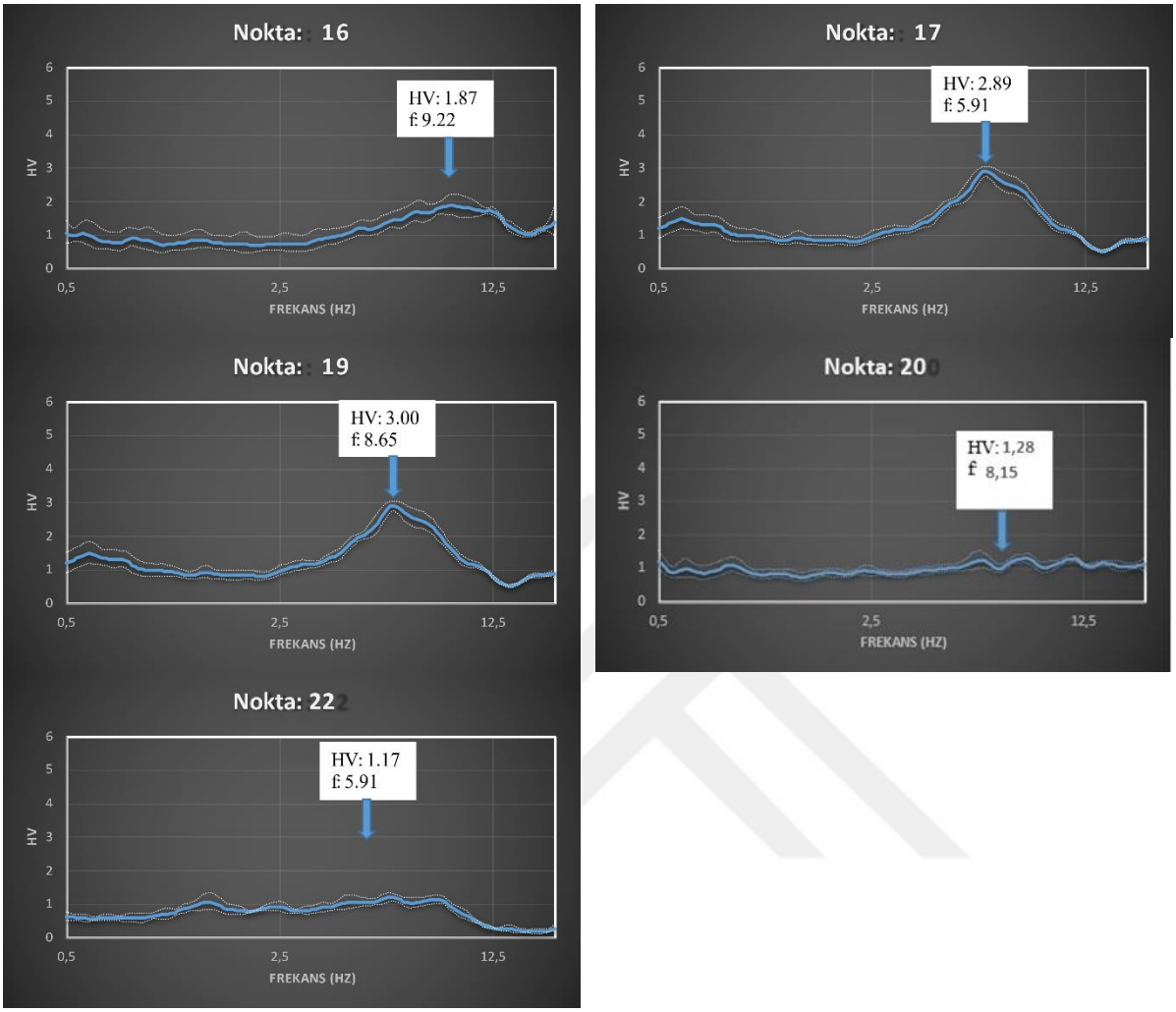


Şekil 13. Zemin hakim frekansı 0.5 Hz-1.0 Hz arası olan YDSO grafikleri

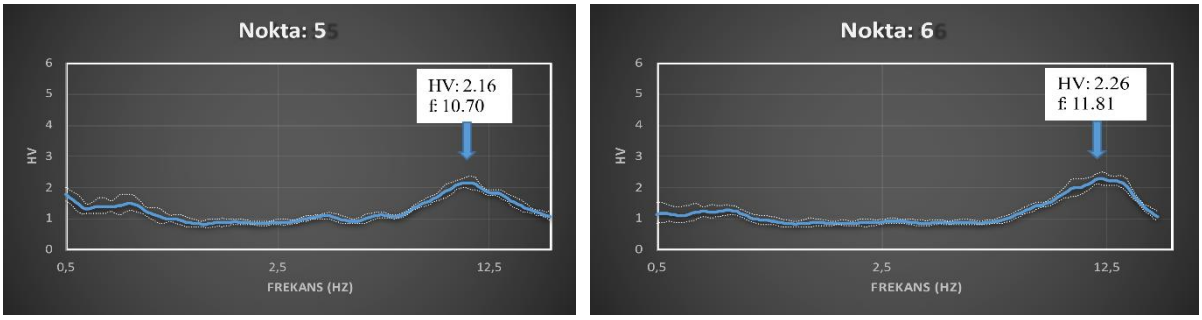


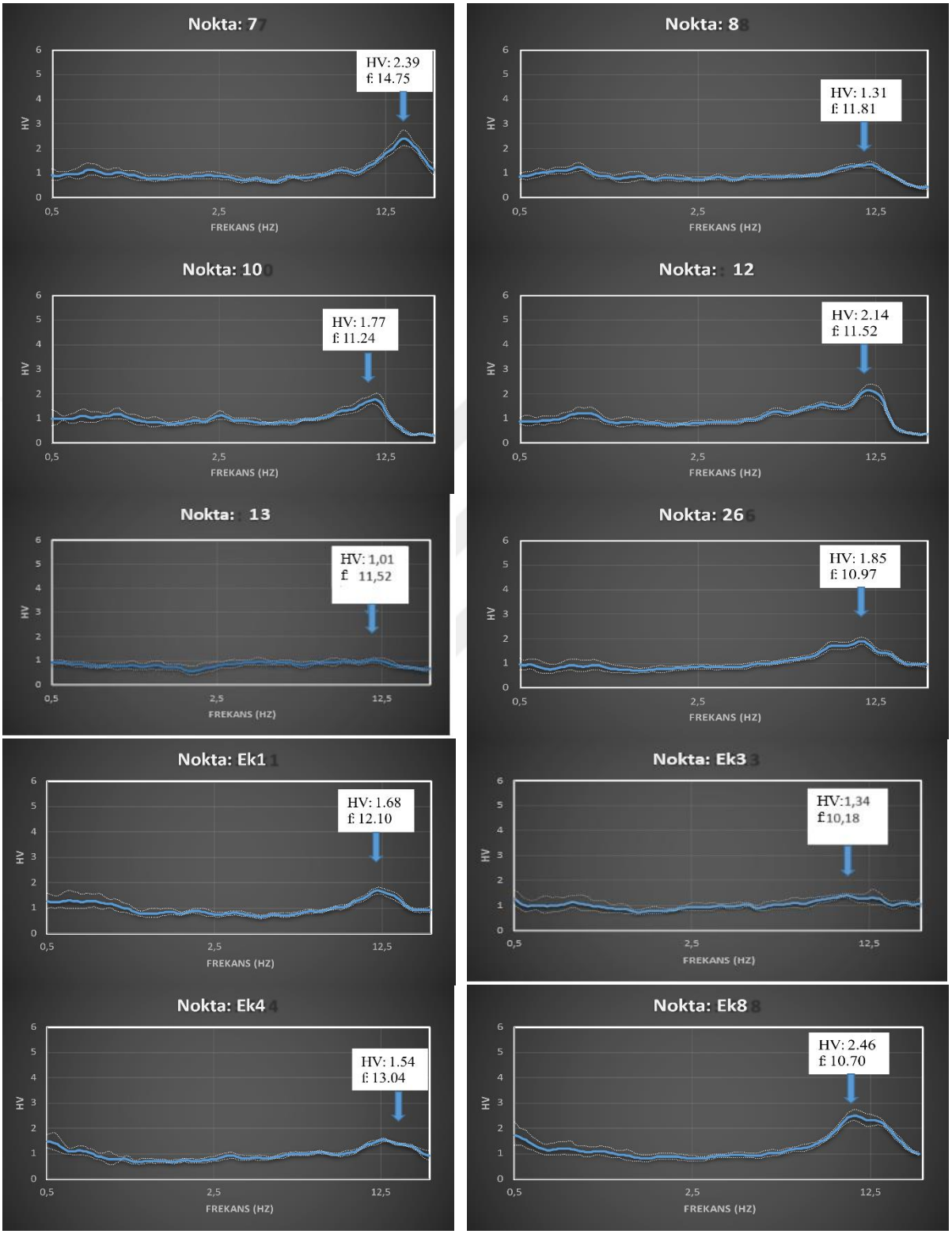
Şekil 14. Zemin hakim frekansı 1.0 Hz-5.0 Hz arası olan YDSO grafikleri



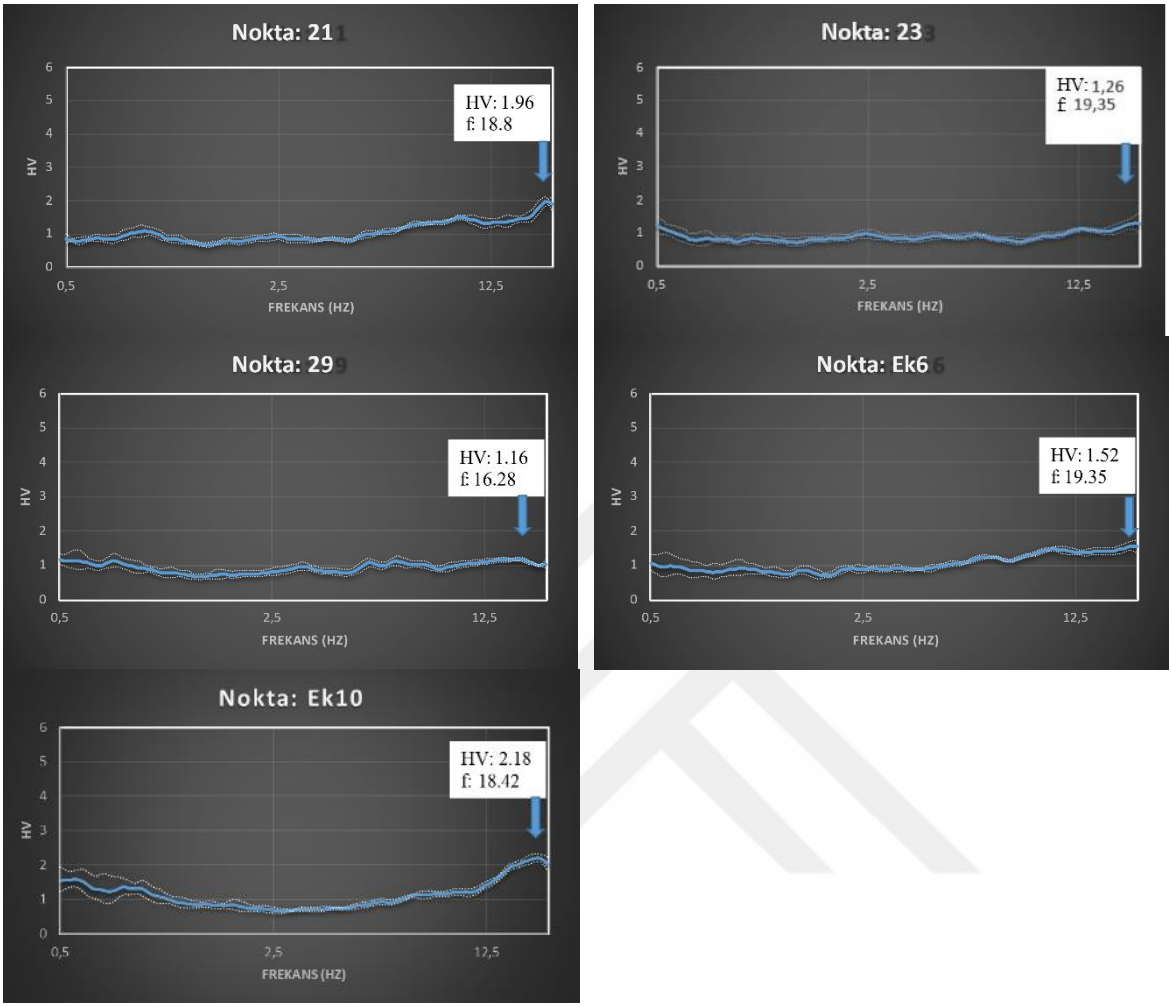


Şekil 15. Zemin hakim frekansı 5.0 Hz-10.0 Hz olan YDSO grafikleri



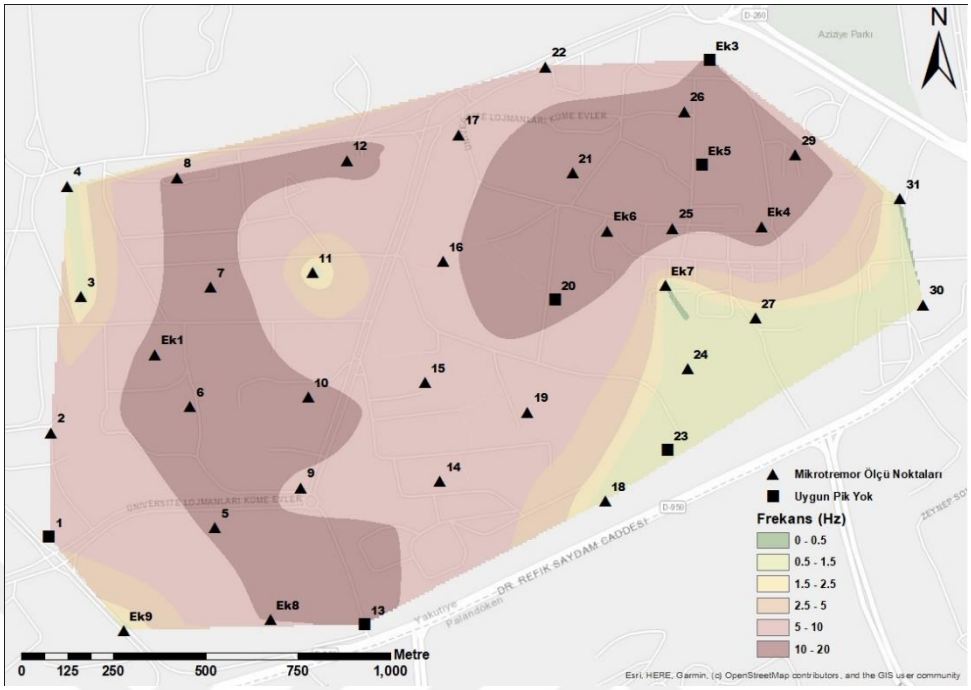


Şekil 16. Zemin hakim frekansı 10 Hz- 15 Hz olan YDSO grafikleri

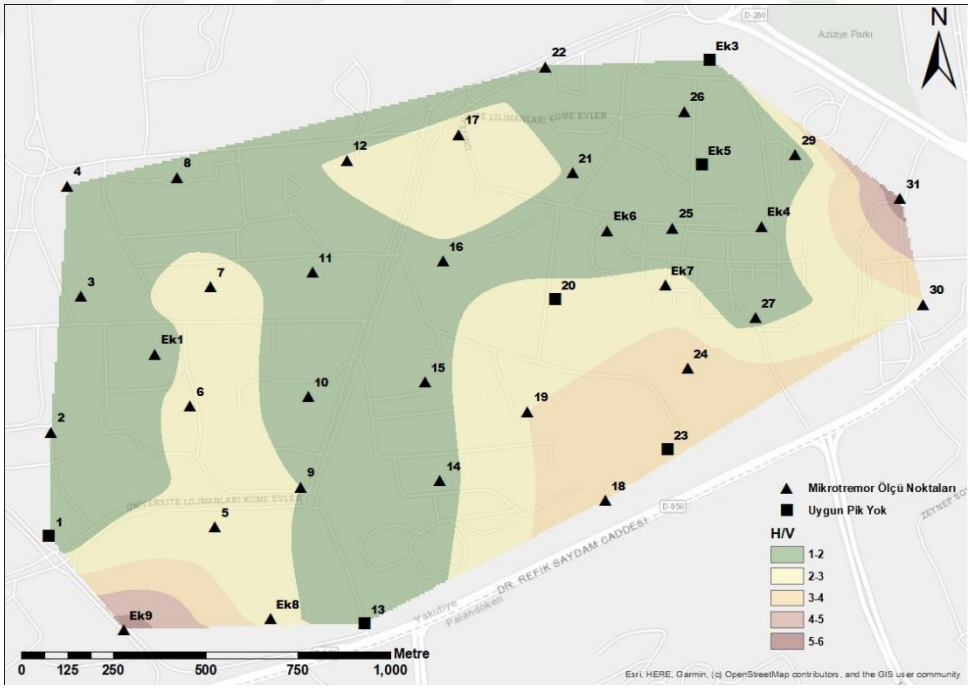


Şekil 17. Zemin hakim frekansı 15 Hz'den büyük olan YDSO grafikleri

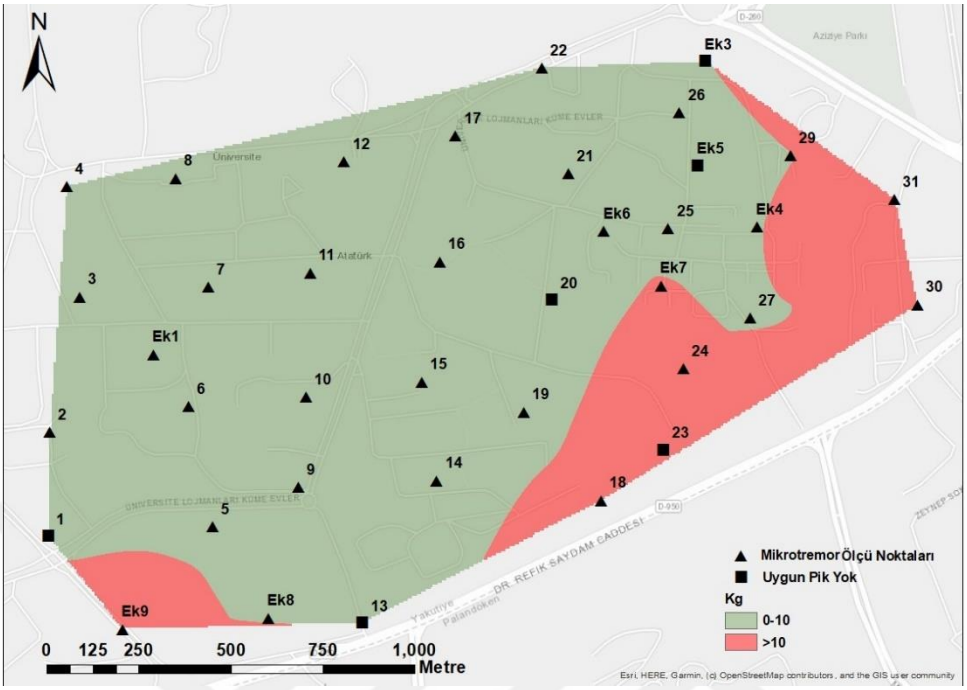
Elde edilen zemin hakim frekans ve zemin büyütme faktörü değerleri kullanılarak ampirik bağıntı yardımıyla Kg değeri hesaplanmıştır (Şekil 20). Kg değerleri ülkemiz koşulları baz alınarak ondan küçük ve büyük olacak şekilde çizdirilmiştir (Akkaya 2020). Kg haritasına göre on adet noktada (Ek3, Ek7, Ek8, Ek9, 18, 23, 24, 30, 31, 29) Kg değerleri 10'dan büyüktür. Ayrıca 18, 26, 31 ve Ek9 numaralı ölçümlerde Kg değeri 20'den büyüktür. Bu noktalarda yapılacak üst yapı çalışmalarında mutlaka aktif kaynaklı jeofizik yöntemler ile detaylı araştırma yapılması önemlidir. Genel bir değerlendirme yapıldığında kampüs alanının güneydoğusunda ve güney batısında yüksek Kg değerleri gözlenmektedir. Pasif kaynak kullanılarak yürütülen bu çalışmanın aktif kaynaklı jeofizik yöntemler ile de geliştirilmesi ve yapı stoğunun da ortaya konarak deprem-zemin-yapı ilişkisinin incelenmesi bu çalışma alanı için tavsiye edilmektedir.



Şekil 18. İnceleme alanı zemin hakim frekans dağılımı



Şekil 19. İnceleme alanı zemin büyütme faktörü dağılımı



Şekil 20. İnceleme alanı Kg değerleri dağılımı

SONUÇ ve ÖNERİLER

Erzurum ilinin önemli bir parçası olan Atatürk Üniversitesi merkez kampüste yürütülen bu çalışmada zemine ait dinamik parametrelerin elde edilmesi amacı ile 45 noktada mikrotremor ölçümü yatay/düşey spektral oran yöntemi ile değerlendirilerek zemin hâkim frekans ve zemin büyütme faktörü değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca ampirik bağıntı yardımıyla hesaplanan hasar görebilirlik katsayısı değeri çalışma alanı için elde edilmiştir. Beş noktada uygun eğri karakteristiği belirlenememiştir. Genel bir değerlendirme yapıldığında kampüs alanının güneydoğusunda düşük zemin hakim frekansları hakimken, kampüsün kuzeydoğu kısmında yüksek zemin hakim frekansları gözlenmiş olup kademeli bir formasyon geçişinin olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışma alanında bazı alanların yerel zemin koşullarına bağlı olarak çevresinden farklı zemin hakim frekansına sahip olduğu görülmüştür. Zemin büyütme faktörü değerleri incelendiğinde ise zemin hakim frekans değerlerine paralel olarak çalışma alanının güneydoğusunda yüksek zemin büyütmeleri gözlenirken çalışma alanının kuzeydoğusunda zemin büyütmeleri azalmaktadır. Kampüs alanının güneydoğu ve kuzeybatı alanlarının dışında etkin zemin hakim frekans değerlerinin 2.5 Hz'den büyük olduğu hesaplanmıştır. Zemin büyütme faktörü değerleri ise 1 ile 6 arasında değiştiği gözlenmiştir. Çalışma alanında genç çökel birimler gözlenmiştir. Zemin hakim frekans değerlerinin düşük ve zemin büyütme faktörü değerlerinin yüksek olduğu çalışma alanının güneydoğu kesimi çökel kalınlığının fazla ve olası depremde zemin kaynaklı hasar görmesi muhtemel alanların başında gelmektedir. Çalışma alanında 2018-Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) zemin sınıflarının araştırılması amacıyla yerbilimsel çalışmalar yoğunlaştırılmalıdır. Ayrıca pasif kaynak kullanılarak yürütülen bu çalışmanın aktif kaynaklı jeofizik yöntemler ile de geliştirilmesi ve yapı stoğunun da ortaya konarak deprem-zemin-yapı ilişkisinin incelenmesi bu çalışma alanı için tavsiye edilmektedir.

KAYNAKLAR

Acar, İ., Kamacı, Z., ve Kapucu, S., 2022. Ödemiş Kuzey Bölgesinin İmar ve Bölge Planlama Alanı İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26 (1), 83-89.

AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları, İnteraktif Web Uygulaması. https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml (25.02.2021).

AFAD, 2024a. Afet ve Acil Durum Yönetimi Tarihsel Deprem Kataloğu. https://deprem.afad.gov.tr/event-historical (05.06.2024).

AFAD. 2024b. Afet ve Acil Durum Yönetimi Aletsel Deprem Kataloğu https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog (05.06.2024).

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, I., Balcı, V., ve Bilginer, E., 2013. Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye. https://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx (05.04.2021).

Akbayram, K., Bayrak, E., Pamuk, E., Özer, Ç., Kıranşan, K., ve Varolgüneş, S., 2022. Dynamic sub-surface characteristic and the active faults of the Genç District locating over the Bingöl Seismic Gap of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey. Natural Hazards, 114 (1), 825-847.

Akbayram, K., Kıranşan, K., Varolgüneş, S., Büyükakpınar, P., Karasözen, E., ve Bayık, Ç., 2023. Multidisciplinary analyses of the rupture characteristic of the June 14, 2020, M w 5.9 Kaynarpınar (Karlıova, Bingöl) earthquake reveal N70E-striking active faults along the Yedisu Seismic Gap of the North Anatolian Fault Zone. International Journal of Earth Sciences, 112 (2), 489-509.

Akbulut, S., Budak, A., Arasan, S., Kalkan, E., ve Bayraktutan, M.S., 2004. Aşkale-Erzurum depreminde gözlenen zemin ve yapı problemleri. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Akkaya, İ., 2020. Jeofizik verilerinden elde edilen sismik zayıflık indisinin yapı hasar dağılımının belirlenmesinde kullanılabilirliği. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9 (4), 1711-1723.

Aktuğ, B., Dikmen, U., Doğru, A., ve Özener, H., 2013. Seismicity and strain accumulation around Karliova triple junction (Turkey). Journal of Geodynamics, 67, 21-29.

Alkan, H., Öztürk, S., ve Akkaya, İ., 2023. Seismic Hazard Implications in and Around the Yedisu Seismic Gap (Eastern Türkiye) Based on Coulomb Stress Changes, b-Values, and S-wave Velocity. Pure and Applied Geophysics, 180(9), 3227-3248.

Ar, H.İ., 2021. Sakarya ili sapanca ilçesi mahmudiye köyünde zemin özelliklerinin jeolojik ve jeofizik yöntemlerle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

ArcGIS, 2004. Desktop 10.6-ESRI. ArcMap. https://www.arcgis.com/index.html (01.07.2023).

Arpat, E. ve Şaroğlu, F., 1972. Doğu Anadolu Fayı İle İlgili Bazı Gözlemler Ve Düşünceler. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 78 (78), 44-50.

Ateş, A., 2013. Kaynaşlı (Düzce) Yerleşim Alanı Zeminlerinin Zemin Büyütme Özelliklerinin Ve Yapı Zemin Rezonans Uyumunun Araştırılması. Journal of Advanced Technology Sciences, 2 (2), 40-49.

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

Ateş, E., 2021. Mikrotremor, deprem ve yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi kayıtları kullanılarak zemin özelliklerinin belirlenmesi: AFAD kampüsünden örnek bir uygulama. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi 7 (2), 240-251.

Bayrak, E., Özer, Ç., ve Perk, Ş., 2020. Erzurum ve Çevresi İçin Gerilme Tensör ve Coulomb Analizleri. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 2 (1), 101-114.

Bayrak, E., Özer, Ç., Çakıcı, H., ve Kocadağistan, M.E., 2021. 24 Ocak 2020 Sivrice (Türkiye) Depremi (Mw 6.8): Yer Hareketi Tahmin Denklemlerinin Değerlendirilmesi ve Mikrotremor Çalışmaları. Türk Deprem Araştırma Dergisi, 3 (2), 125-148.

Bohnhoff, M., Martínez-Garzón, P., Bulut, F., Stierle, E., ve Ben-Zion, Y., 2016. Maximum earthquake magnitudes along different sections of the North Anatolian fault zone. Tectonophysics, 674, 147-165.

Bulut, F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kılıç, T., ve Dresen, G., 2012. The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 117(B7).

Chávez-García, F. J., ve Rodríguez, M., 2007. The correlation of microtremors: empirical limits and relations between results in frequency and time domains. Geophysical Journal International, 171 (2), 657-664.

Çakıcı, H., Kocadağistan, M.E., Özer, Ç., ve Zaimoğlu, A.Ş., 2023. Investigation of the Effects of Water Content and Relative Density on Soil Dominant Frequency in Separate Grained Soils by Microtremor Method. Journal of Engineering Research, 11 (2B).

Çelebi, O., Özer, Ç., Bayrak, B., Kılıç, M., ve Aydın, A.C., 2023. Earthquake response of historical church within the perspective of structural dynamics: Oltu Russian Church. Journal of Building Engineering, 75, 106884.

Çoşgun, T., Pınar, A., Yüksel, F.A. ve Çoşgun, A., 2007. Mevcut Yapıların Deprem Riski Analizinde, Dinamik Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Örnek Bir Mikrotremor Çalışması, Kocaeli Uluslararası Deprem Sempozyumu, 37-45, Kocaeli.

Demirtaş, R., Penirci, O., Yağyemez, B., ve Uğraş, M., 2010. Erzurum İli Büyük Şehir Belediyesi Yerleşim Alanının 1/5000 Ölçekli Nazım İmar Planına Esas Jeolojik-jeoteknik Etüt Raporu, Erzurum. https://www.researchgate.net/publication/331773115_Erzurum_ili_Buyuksehir_Belediyesi_YerleGim_Alaninin_15000_olcekli_Nazim_Imar_Planina_Esas_Jeolojik-

Jeoteknik_Etut_Raporu_Kapsaminda_Erzurum_Fay_Zonunun_Paleosismolojik_ve_Yuzey_Faylanma_Tehlike_Zonu_F (01.01.2022)

Duman, T.Y. ve Emre, Ö., 2013. The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics. Geological Society, London, Special Publications, 372 (1), 495-529.

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

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., ve Çan, T., 2018. Active fault database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 16(8), 3229-3275.

Fichtner, A., Saygın, E., Taymaz, T., Cupillard, P., Capdeville, Y., ve Trampert, J. 2013. The deep structure of the North Anatolian fault zone. Earth and Planetary Science Letters, 373, 109-117.

Gürbüz, M., 2023. Mikrotremor Verilerinde Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu Tekniği Kullanılarak Zemin Büyütmesinin Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 25(73), 37-53.

Hubert- Ferrari, A., Armijo, R., King, G., Meyer, B., ve Barka, A., 2002. Morphology, displacement, and slip rates along the North Anatolian Fault, Turkey. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 107(B10), ETG-9.

İmamoğlu, M.Ş., 2019. Diyarbakır il merkezi ve çevresinin depremselliği ve zemin özellikleri. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10 (2), 697-707.

İRAP, 2021. İl Afet Risk Azaltma Planı, Erzurum Afet Acil Durum Başkanlığı., https://erzurum.afad.gov.tr/kurumlar/erzurum.afad/IRAP/Erzurum_IRAP.pdf (03.05.2024).

Karabacak, V., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Tatar, O., Aktuğ, B., Özdağ, Ö. C., Çakır, R., Aksoy, E., Koçbulut, F., Softa, M., Akgün, E., Demir, A., Arslan, G., 2023. The 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş, Türkiye) earthquake (Mw 7.7): Implications for surface rupture dynamics along the East Anatolian fault zone. Journal of the Geological Society, 180(3), jgs2023-020.

Karaca, S. ve Bayram, H., 2019. Erzurum havzası'nda yerleşme ve zemin ilişkisi. Al Farabi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 3 (2), 80-98.

Kepçeoğlu, Ö., 2008. Bursa ili Güzelyalı beldesi için mikrotremor ölçümlerine dayanan bir mikrobölgeleme uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Keskin, M., Pearce, J.A., ve Mitchell, J.G., 1998. Volcano-stratigraphy and geochemistry of collision-related volcanism on the Erzurum-Kars Plateau, northeastern Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85 (1-4), 355-404.

Ketin, İ., 1957. Kuzey Anadolu Deprem Fayı. İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi, 15, 49-52.

Koçyiğit, A. ve Canoğlu, M. C., 2017. Neotectonics and seismicity of Erzurum pull-apart basin, East Turkey. Russian Geology and Geophysics, 58 (1), 99-122.

Küçükuğurlu, M., 2024. Görgü Tanıklarına Göre 19. Yüzyıl Erzurum Depremleri. Turcology Research, 79, 100-110.

Lermo, J., ve Chávez-García, F.J., 1994a. Are microtremors useful in site response evaluation?. Bulletin of the seismological society of America, 84 (5), 1350-1364.

Lermo, J., ve Chávez-García, F.J., 1994b. Site effect evaluation at Mexico City: dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 13 (6), 413-423.

McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. Geophysical Journal International, 30 (2), 109-185.

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).

Nakamura, Y., 1997. Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor. In:World congress on railway research in florence, Florence , Italy.

Nakamura, Y., 2000. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. In: 12th World conference on earthquake engineering, Auckland, paper no. 2656.

Nakamura, Y., 2019. What is the Nakamura method?. Seismological Research Letters, 90 (4), 1437-1443.

Özcan, G., 2013. Yapıların dinamik özelliklerinin mikrotremor ölçümleri ile belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Özer, Ç., 2019. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSR Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 21 (61), 247-257.

Özer, Ç., Öztürk, S., ve Pamuk, E., 2022. Tectonic and structural characteristics of Erzurum and its surroundings (Eastern Turkey): a detailed comparison between different geophysical parameters. Turkish Journal of Earth Sciences, 31, 85-108.

Özer, Ç., Bayrak, E., ve Perk, Ş., 2023. The Earthquake Activity Observed in the Aziziye Erzurum Region after the Devastating 2023 Kahramanmaraş Earthquakes (Mw 7.7 and 7.6). International Congress on Phenomenological Aspects in Civil Engineering, 20-23 Haziran 2023, Erzurum-Türkiye.

Özer, Ç., ve Saraç, B., 2023. Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Yöntemi ile İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Lisansüstü Tez Projeleri, 09.2023-08.2024, FYL-2023-12855.

Pamuk, E., 2014. İzmir (Buca) bölgesinde yüzey dalgası yöntemleriyle elde edilen kayma dalgası hızlarının (vs) analizi ve mikrotremor uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Pamuk, E., Özdağ, Ö. C., Özyalın, Ş., ve 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.

Pamuk, E., Gönenç, T., Özdağ, Ö. C., ve 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., ve Özer, Ç., 2020. Rayleigh dalgası Eliptisitesi kullanılarak S-Dalga Hız Yapısının Elde Edilmesi: Erzurum Örneği. Yerbilimleri, 41 (2), 147-168.

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., ... ve Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 111 (B5).

Saraç, B. ve Özer, Ç., 2024a. Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Yöntemi ile İncelenmesi. MÜHJEO'2024 Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, 06-08 Haziran 2024, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir.

Saraç, B. ve Özer, Ç., 2024b. Soil Dynamic Features of the Atatürk University Campus. (Erzurum), Eastern Türkiye, by microtremor method. Değerlendirme aşamasında.

Sayıl, N., 2015. Zemin Araştırmalarında Mikrotremorların Kullanımı ve Arazi Uygulaması, Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:21

SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibration. Measurements, processing and interpretations. Project No. EVG1-CT-2000-00026.https://sesame.geopsy.org/Delivrables/Del-D23-HV_User_Guidelines.pdf (09.10.2022)

Şahin, Ş., 2017. Erzurum il merkezinde eşdeğer lineer yöntemle zemin büyütme etkilerine dayalı bir mikrobölgeleme çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Şaroğlu F., Emre Ö., ve Kuşçu I., 1992. The East anatolian fault zone of Turkey. Ann Tectonicae, 6, 99-125.

Şengör, A.M.C,. 1979. The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. Journal of the Geological Society, 136 (3), 269-282.

Şengör, A.M.C., Görür, N., ve Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. Kitap Bölümü: Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Editörler: Kevin T. Biddle, Nicholas Christie-Blick.

Şengör, A.M.C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Le Pichon, X,. ve Rangin, C., 2005. The North Anatolian fault: A new look. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 33, 37-112.

Şengör, A.M.C, Özeren, M.S., Keskin, M., Sakınç, M., Özbakır, A.D., ve Kayan, I., 2008. Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens. Earth-Science Reviews, 90 (1-2), 1-48.

TERRA, 2023. Türkiye Earthquakes Recovery and Reconstruction Assessment Report. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/Turkiye-Recovery-and-Reconstruction-Assessment.pdf (01.01.2024).

Taymaz, T., Yılmaz, Y., Dilek, Y., 2007. The geodynamics of the Aegean and Anatolia: introduction. Geological Society, London, Special Publications, 291 (1), 1-16.

Tunçel, A., Pamukçu, O., Gönenç, T., ve Akgün, M., 2016. Mikrotremor, Çok Kanallı Yüzey Dalgaları (ÇKYD) ve Mikrogravite Yöntemleri Kullanılarak Zemin Dinamik Özelliklerinin İrdelenmesi: Karşıyaka-İzmir Örneği. Yerbilimleri, 37 (2), 81-92.

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

TÜİK, 2024. Türkiye İstatistik Kurumu Nüfus Verileri, https://cip.tuik.gov.tr/?il=25 (03.05.2024).

Utkucu, M., Kurnaz, T. F., ve İnce, Y., 2023. The seismicity assessment and probabilistic seismic hazard analysis of the plateau containing large dams around the East Anatolian Fault Zone, Eastern Türkiye. Environmental Earth Sciences, 82 (15), 371.

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

Wessel, P., Smith, W. H., Scharroo, R., Luis, J., ve Wobbe, F., 2013. Generic mapping tools: improved version released. Eos, Transactions American Geophysical Union, 94 (45), 409-410.

Yalçınkaya, E., 2004. Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden parametrelerin incelenmesi, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 17 (1), 47-56.

Yalçınkaya, E., 2010. Zemin neden bu kadar önemli?, Jeofizik Bülteni, 77-80.

Yalçınkaya, E., Alp, H., Özel, O., Görgün, E., Martino, S., Lenti, L., Bourdeau, C., Bigarre, P., ve Coccia, S., 2016. Near-surface geophysical methods for investigating the Buyukcekmece landslide in Istanbul, Turkey, Journal of Applied Geophysics, 134, 23-35.

Yarbaşı, N., ve Bayraktutan, M.S., 2003. Erzurum Şehir merkezi batı kesiminin jeoteknik özellikleri. Geosound, 43 (1), 151-168.

Yarbaşı, N., Kadirov, A., ve Bayraktutan, M.S., 2004. Erzurum şehir merkezi batı kesimi jeoteknik haritasında kullanılan kriterlerin istatistiksel analizi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10 (2), 211-219.

Yarbaşı, N., ve Kalkan, E., 2009. Geotechnical mapping for alluvial fan deposits controlled by active faults: a case study in the Erzurum, NE Turkey. Environmental geology, 58, 701-714.

Yılmaz, S., 2019. Batman ili ve civarının mikrotremor yöntemi ile zemin özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Beytullah SARAÇ
Eğitim	
Lise:	Kozan Anadolu Lisesi
Lisans:	Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora:	
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta seviye (B1)
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Jeoloji Mühendisleri Odası	
Tezden Üretilmiş Yayınlar/Projeler	
Özer, Ç., ve Saraç, B., 2023. Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Yöntemi ile İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Lisansüstü Tez Projeleri, 09.2023-08.2024, FYL-2023-12855.	
Saraç, B. ve Özer, Ç., (2024a). Atatürk Üniversitesi Yerleşkesi Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Yöntemi ile İncelenmesi. MÜHJEO'2024 Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, 06-08 Haziran 2024, NEVÜ, Nevşehir.	
Saraç, B. ve Özer, Ç., (2024b). Soil Dynamic Features of the Atatürk University Campus (Erzurum), Eastern Türkiye, by microtremor method. *Değerlendirme aşamasında*.	