



**MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE HİLALKENT
(ERZURUM) BÖLGESİNİN ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Fatih KARSLI

**Dr. Öğr. Üyesi Erdem Bayrak
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı
2022
(Her Hakkı Saklıdır)**

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

**MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE HİLALKENT (ERZURUM) BÖLGESİNİN
ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

(Determination of soil Properties in Hilalkent (Erzurum) Region by Microtremor Method)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih KARSLI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdem BAYRAK

Erzurum

Haziran 2022

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Fatih KARSLI tarafından hazırlanan “Mikrotremor Yöntemi İle Hilalkent (Erzurum) Bölgesinin Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi” başlıklı çalışması 20 / 06 / 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:	Dr. Öğr. Üyesi Babak Karimi GHALEHJOUGH <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Erdem BAYRAK <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat DİLMAÇ <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı Islak İmzalıdır

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

Prof. Dr. Saltuk BuĐrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

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

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Dr. Öğretim Üyesi Erdem BAYRAK* danışmanlığında sunulan “Mikrotremor Yöntemi İle Hilalkent (Erzurum) Bölgesinin Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi” 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	2	30
Kuramsal Temeller	12	30
Materyal ve Yöntem	21	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	0	20
Sonuçlar	4	20
Tezin Geneli	9	25

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

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

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Fatih KARSLI	Dr. Öğr. Üyesi Erdem BAYRAK
21.6.2022	21.6.2022
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 çalışmaya cihaz desteği sağlayan Atatürk Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi'ne ve veri desteği sağlayan Jeoloji Mühendisi Abdullah EKİNOĞLU'na teşekkür ederim. Bilgi ve becerisi ile çalışmama yön veren çok değerli danışman hocam Dr. Öğretim Üyesi Erdem BAYRAK'a, arazi çalışmalarında en zor şartlarda araç desteği veren çalışma arkadaşım Sn. Sıtkı AYDIN'a teşekkürü bir borç bilirim. Hayatım boyunca hep arkamda duran, eğitimime sonsuz destek veren ve bu tez çalışmamda benden desteğini esirgemeyen kıymetli aileme teşekkürlerimi sunarım.

Fatih KARSLI



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKROTREMOR YÖNTEMİ İLE HİLALKENT (ERZURUM) BÖLGESİNİN ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Fatih KARSLI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Erdem BAYRAK

Amaç: Erzurum ili etrafında birçok aktif fay ile çevrelenmiş bir konumda bulunmaktadır. Ayrıca, meydana gelen orta büyüklükteki depremlerde bile maddi hasar ve can kayıpları yaşanmaktadır. Deprem zararlarının azaltılmasındaki en önemli araç yerel zemin özellikleri ve yapı stoğunun ortaya koyulmasıdır. Bu çalışmanın ana amacı, Erzurum ili Yakutiye ilçesi Hilalkent Mahallesi ve civarında mikrotremor yöntemi ile zemin özelliklerinden olan hakim periyot, büyütme faktörü, Vs30 ve hasar görebilirlik indisi belirlenmiştir.

Yöntem: Bu çalışma kapsamında ilk olarak 60 farklı noktada tek istasyon mikrotremor yöntemi ile üç bileşen gürültü kayıtları alınmıştır. Daha sonra, bu kayıtlar Nakamura yatay/düşey yöntemi ile değerlendirilerek çalışma alanına ait zemin hakim periyot ve büyütme faktörü değerleri elde edilmiştir. Son olarak, zemin hakim periyot ve büyütme faktörü değerleri kullanılarak çalışma alanına ait Vs30 ve hasar görebilirlik indisi haritaları oluşturulmuştur.

Bulgular: Zemin hakim periyot değerlerinin 0.04 ile 1.75 sn arasında, büyütme faktörü değerlerinin ise 1 ile 12 arasında değiştiği görülmüştür. Çalışma alanının batısında bulunan alüvyon zeminler üzerinde yüksek zemin hakim periyot değerleri ve doğuda bulunan volkanik birimler üzerinde ise küçük zemin hakim periyot değerleri elde edilmiştir. Hasar görebilirlik indisi değerleri de geniş bir aralıkta elde edilmiş olup, genel olarak büyük değerler alüvyon zeminlerle ilişkilidir. Yer altındaki ilk 30 metredeki tabakaların kesme dalgası hızlarının ortalaması (Vs30) da ampirik bağıntı yardımı ile elde edilmiş olup bölgenin jeolojisi ile uyumlu bir şekilde elde edilmiştir.

Sonuç: Çalışma alanının batısında bulunan alüvyon zemin üzerinde yüksek periyot, yüksek büyütme faktörü, yüksek Kg ve düşük Vs30 değerleri hesaplanmıştır. Bu bölgede bulunan ve gelecekte yapılması planlanan yapılaşmalar özelinde çok disiplinli araştırmalar yürütülmelidir.

Anahtar Kelimeler: Hilalkent mahallesi, mikrotremor, Nakamura yöntemi, zemin hakim periyodu, hasar görebilirlik indisi

Haziran 2022, 55 sayfa

ABSTRACT

MASTER THESIS

DETERMINATION OF SOIL PROPERTIES IN HILALKENT (ERZURUM) REGION BY MICROTREMOR METHOD

Fatih KARSLI

Supervisor: Asst. Dr. Erdem BAYRAK

Purpose: Erzurum province is located in a surrounded by many active faults. In addition, loss of life and property are experienced even in medium-sized earthquakes. The most important tool in reducing earthquake damage is to reveal the local soil properties and building stock. The main purpose of this study, the dominant period, amplification factor, Vs30 and vulnerability index, which are the soil properties, were examined by microtremor method in Hilalkent Street and its around, which located Yakutiye district in Erzurum province.

Method: Within the scope of this study, firstly, three-component noise recordings were taken with the single station microtremor method at 60 different points. Then, these records were evaluated with the Nakamura horizontal/vertical method and the ground dominant period and amplification factor values of the study area were obtained. Finally, Vs30 and vulnerability index maps of the study area were created by using the soil dominant period and amplification factor values.

Findings: It was observed that the ground dominant period values varied between 0.04 and 1.75 sec, and the amplification factor values varied between 1 and 12. High ground dominant period values were obtained on the alluvial soils in the west of the study area and low ground-dominant period values were obtained on the volcanic units in the east. Vulnerability index values were also obtained in a wide range, and generally large values are associated with alluvial soils. The average of the shear wave velocities (Vs30) of the layers in the first 30 meters underground were also obtained with the help of empirical relation and obtained in accordance with the geology of the region.

Results: The high dominant period, amplification factor, Kg and low Vs30 values were calculated on the alluvial soil in the west of the study area. Multi-disciplinary research should be conducted for the structures planned to be built in this region.

Keywords: Hilalkent district, microtremor, Nakamura method, soil dominant period, vulnerability index

June 2022, 55 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 VE SİMGELER DİZİNİ.....	ix
GİRİŞ.....	1
Genel Bilgiler	1
Çalışma Alanı	1
Çalışma Alanının Jeolojisi.....	2
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Önceki Çalışmalar	4
Zemin Büyütmesi	5
Çalışma Alanının Depremselliği	7
MATERYAL VE METOT.....	11
Mikrotremor Yöntemi	11
Mikrotremor Yöntemi Kullanım Amaçları:	11
Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi (Nakamura Yöntemi, H/V):.....	11
Hasar Görebilirlik İndisi (Kg)	13
Vs30 ve Frekans İlişkisi	14
Scream ve Geopsy Programlarının Kullanımı.....	14
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	18
Tek İstasyon Mikrotremor Ölçümleri.....	18
Nakamura Yöntemi ile Frekans ve Büyütme Faktörü Değerlerinin Elde Edilmesi	19
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	27
KAYNAKLAR.....	28
EKLER	34
ÖZGEÇMİŞ.....	44

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Zemin büyütme değerine bağlı tehlike düzeyi	6
Tablo 2. 1900'den günümüze kadar Erzurum ve civarını etkileyen depremler	10
Tablo 3. Tek istasyon mikrotremor ölçü noktalarına ait koordinat bilgileri ve her nokta için elde edilen F (frekans), A(büyütme faktörü), T (periyot), K_g (hasar görebilirlik indisi) ve V_{s30} değerleri	20



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu	2
Şekil 2. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş jeoloji haritası	3
Şekil 3. Deprem dalgalarının farklı zemin türlerindeki davranışı	6
Şekil 4. 1985 Meksika depremi ve uzaklığa bağlı kaydedilen ivme kayıtları.....	6
Şekil 5. 1900-2022 yılları arasında Erzurum ve civarında meydana gelen depremlerin episantr dağılımı.....	9
Şekil 6. 1900-2022 yılları arasında Erzurum ve civarında meydana gelen depremlere ait büyüklük dağılımı	9
Şekil 7. Mikrotremor ölçümlerini açıklamak için kullanılan basit metod.....	12
Şekil 8. Arazide yapılan ölçünün Scream 4.6 programında görünümü.....	14
Şekil 9. Geopsy programının ana menüsü ve verinin yüklenmesi	15
Şekil 10. a) Geopsy programına yüklenen verinin grafiğinin çizdirilmesi b) Ham verinin görüntülenmesi.....	16
Şekil 11. Veriye yapılacak olan trend etkisi giderme, filtreleme gibi işlemlerin yapıldığı Waveform menüsü	16
Şekil 12. Nakamura yatay/düşey oran yönteminin uygulama penceresi ve sonucun elde edilmesi. Select seçeneği yanında açılan alt menüde pencere ekleme, çıkarma ve temizleme işlemleri yapılır.....	16
Şekil 13. Yatay/Düşey oran yöntemi uygulama penceresine ait seçenekler	17
Şekil 14. Mikrotremor ölçümlerinde kullanılan sismometre, bilgisayar, GPS ve güç ünitesi .	18
Şekil 15. Arazide elde edilen mikrotremor verilerinden Nakamura yöntemi ile zemin hakim periyot ve büyütme faktörü değerlerinin elde edilmesi a) Ham veri b) Filtrelenmiş ve trend etkisi giderilmiş veri c) Uygun pencere seçimi d) Yatay/düşey spektral oran yöntemi ile zemin hakim periyot ve büyütme faktörünün elde edilmesi.....	20
Şekil 16. Zemin hakim periyot değerleri haritası	24
Şekil 17. Büyütme faktörü değerleri haritası	24
Şekil 18. Vs30 dağılım haritası	25
Şekil 19. Hasar görebilirlik indisi haritası.....	26

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

F	: Zemin Hakim Frekansı
T	: Zemin Hakim Periyodu
A	: Zemin Büyütme Faktörü
K _g	: Hasar Görebilirlik İndisi
V _{s30}	: Yer altındaki ilk 30 metredeki tabakaların kesme dalga hızlarının ortalaması
H/V	: Nakamura yöntemi ile elde edilen yatay/düşey genlik oranı
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TDTH	: Türkiye Deprem Tehlike Haritası
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
M	: Magnitüd
m	: Metre
sn	: Saniye
Hz	: Hertz

GİRİŞ

Genel Bilgiler

Depremler insanlık tarihi boyunca meydana gelen ve birçok hasara neden olan doğal afetlerin başında gelmektedir. Ülkemizde Dünya'nın en aktif deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunmakta ve yapı tasarımında ve/veya zemin özelliklerinin belirlenmesindeki eksikliklerden dolayı birçok yapının yıkılmasına neden olmuştur (Taşdelen vd. 2015). Depremler nedeni ile meydana gelecek hasarı azaltma çalışmaları insanoğlunun depremden etkilenmesini azaltacak en önemli hususların başında gelmektedir.

Bir deprem nedeni ile zemine etki eden dinamik kuvvetler nedeni ile zeminler farklı davranışlar sergilemektedir. Bu farklı davranışın binaya etkisi ile aynı tip binalar farklı deprem etkisi altında kalmakta ve hasara neden olabilmektedir. Bu sebeple, zeminlerin fiziksel özelliklerinin ortaya koyulması yapı tasarımında büyük önem arz etmektedir. Hem yapıların hem de zeminlerin sismik etkiye verdiği tepkilerin birlikte ele alınması deprem-zemin-yapı etkileşimi konusunda zorunluluktur. Zemin ve yapı arasında oluşacak karşılıklı etki nedeni ile hem zeminin hem de yapının davranışı etkilenecektir. Özellikle yerel zemin koşulu olarak bilinen yüzey tabakalarının özelliklerinin bilinmesi deprem kuvvetinin binayı ne derecede etkileyebileceğini tahmin etmede kullanılmaktadır (Nakamura, 1989).

Zemin özelliklerinin belirlenmesinde sondaj ile doğrudan ve laboratuvarında belirleme yöntemleri yanı sıra jeofizik yöntemler de aktif bir şekilde kullanılmaktadır (Borcherdt vd. 1991; Park vd. 1999; Okada, 2003). Jeofizik yöntemlerde genel prensip aktif veya pasif kaynaklar yardımıyla oluşturulan enerjinin alıcılarda kaydedilmesi, işlenmesi ve değerlendirilmesi şeklindedir. Bu çalışma kapsamında da hem ülkemizde hem de dünyanın farklı yerlerinde yaygın bir şekilde tercih edilen pasif kaynaklı yöntemlerden olan mikrotremor yöntemi kullanılmıştır.

Çalışma Alanı

Bu tez çalışması kapsamında Erzurum ili Yakutiye ilçesine bağlı Hilalkent mahallesinde tek istasyon mikrotremor ölçümleri alınmıştır (Şekil 1). Hilalkent mahallesi, Erzurum ili şehir merkezine yaklaşık 7 km uzaklıkta merkezin kuzeydoğusunda yer alan yeni bir yerleşim alanıdır. Türkiye İstatistik Kurumundan alınan verilere göre 2021 yılında Hilalkent mahallesinin nüfusu 34.565 kişidir (<https://www.tuik.gov.tr/>).



Şekil 1. Çalışma alanının coğrafi konumu

Çalışma Alanının Jeolojisi

Erzurum – Kars Platosu içinde yer alan Erzurum’un çarpışma - kökenli volkanik aktivitenin 11 – 2,5 milyon yıllar arasındaki jeolojik tarihçesini, son derece iyi yüzlükler içermesinden dolayı özel bir değere sahiptir (Keskin, 1998).

Bölgenin Arap ve Anadolu levhalarının çarpışması ile Tetis okyanusunun kapanması ve yerkabuğunun kalınlaşması sonucu bölgede yükselme oluşmuştur. Çarpışma ile oluşan volkanizmanın sonunda proklastik malzeme ve lavlarla Erzurum – Kars platosu örtülmüştür. 11 – 2.5 milyon yıl arası devam eden volkanik aktivite bu platodaki volkanik malzemeleri ara ara 1 km kalınlığa çıkarmıştır. Volkanizma malzemeleri bölgeye genelde KD- GB yönlü kesen, volkanizma boyunca aktif olan doğrultu atımlı fay sistemleriyle yüzeye çıkmış ve bu havzaları lavlar doldurmuştur (Keskin, 1998; Tavlaşoğlu, 2021).

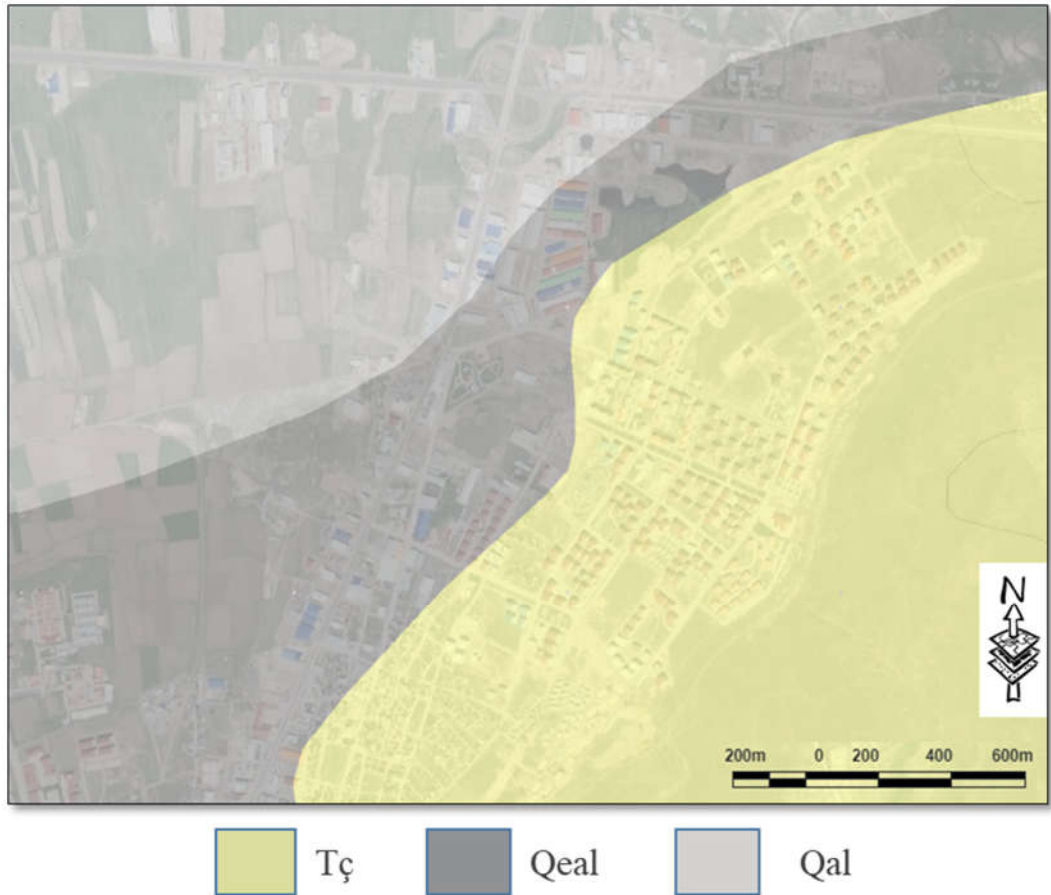
Çalışma alanının jeomorfolojisi incelendiğinde Erzurum ve çevresinde bulunan volkanik malzemelerin çeşitli sebeplerle yükselmesi ile oluşan ova şeklinin Karasu ve Palandöken Dağından akan alüvyon malzemelerin doldurması ile son şeklini almıştır (Aydın Mühendislik, 2016).

Çalışma alanında üç farklı formasyon bulunmaktadır (Akbaş vd., 2011). Bunlar tabandan tavana doğru Üst Miyosen-Pliyosen aralığında çobandede volkanitleri, kuvaterner yaşlı eski alüvyon ve güncel alüvyon olarak sıralanır (Şekil 2).

Yeni Alüvyon(Qal): Ovaların orta bölümünde akarsu vadilerinde, düzlük alanlarda oluşumu devam eden alüvyonlardır. Çalışma alanının en alt kısmındaki düzlük düzlük alanları örtmektedir.

Eski Alüvyon (Qeal): Ovaların kenar kısımlarında daha önceden oluşan alüvyonlardır. İncelenme alanında alüvyon tabaka ile çobandede volkanitleri arasında kalan bölgeyi oluşturur genelde daha sıkı yapılı, iri taneli (kum, çakıl, blok) yer yer az pekişmiş eski karasu çökelleridir.

Çobandede Volkanitleri (Tç) : Genelde bazaltlardan oluşan pliyosen yaşlı veya daha genç volkanitlerdir. Çobandede bazaltları (Tokel, 1965) ve kargapazarı bazaltları (Akkuş, 1965) şeklinde adlandırmışlardır. Proklastik düzeylerin önemli derecede yer alması ve çobandede isminin kolay olması nedeniyle birime bu isim verilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanına ait genelleştirilmiş jeoloji haritası (Akbaş vd. 2011)

KURAMSAL TEMELLER

Önceki Çalışmalar

Omori (1908) mikrotremorlar hakkındaki ilk çalışmaları başlatmış ve periyodu 2 sn den daha büyük olan mikrotitreşimler üzerine araştırmalar yapmıştır. Zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemek amacıyla mikrotremor yönteminin mühendislik uygulamaları ilk olarak Kanai (1954), Kanai ve Tanaka (1961) tarafından yapılmıştır. Bu amaçla, Kanai ve Tanaka (1961) yüzlerce noktada aldığı mikrotremor ölçümlerinden 2 dakikalık pencereler olarak frekans-periyod dağılımlarını incelemişlerdir.

1960'lı yıllardan bu yana pek çok araştırmacı mikrotremorların spektral özellikleri ile zeminin dinamik davranışları arasındaki ilişkileri araştırmışlardır (Aki, 1957; Kanai, 1966; Field vd. 1990; Field ve Jacob, 1993; Lermo ve Chavez-Garcia, 1994; Mucciarelli, 1998; Mirzaoglu ve Dikmen, 2003).

Tüzel (2004), Çalışmasında Isparta ili kent merkezi için olasılıksal sismik tehlike analizi yöntemini kullanarak deprem tehlike haritalarını oluşturmuş, Nakamura (1989) (H/V) yöntemini kullanarak da bölgede oluşacak bir depremin göreceli olarak büyütüleceği yerleri belirlemiştir.

Demiryürek (2005), Nakamura (1989) (H/V) yöntemi yardımıyla Kastamonu il merkezinde yaptığı çalışmasında yerleşim alanlarının hâkim periyot, büyütme faktörü değerlerini hesaplayarak Kastamonu il merkezinin riskli bölgelerini belirlemiştir.

Ergin (2007), İstanbul antik Galata bölgesinin zemin özelliklerini zemin hâkim periyodu, zemin büyütmesi, ve yapıların rezonansını kullanarak incelemiş ve dinamik davranışın Haliç dolgusunda zayıf Galata kulesinin olduğu tepelerde güçlü olduğu sonucuna varmıştır.

Kepçeoğlu (2008), Bursa ili Güzelyayla ilçesi için yaptığı çalışmada Nakamura (1989) H/V yöntemini kullanarak zemin hakim periyodunun 0.05-0.90 saniye ve zemin büyütmesinin 1,15 -7,73 değerleri arasında farklılık gösterdiğini saptamıştır.

Beker (2011), Karadeniz Teknik Üniversitesi kampüs alanında yaptığı çalışmada Nakamura H/V yöntemini uygulamış ve çalışma alanına ait zemin sınıfı haritalarını oluşturmuştur.

Özcan (2013), betonarme yapıdan mikrotremor kayıtları olarak titreşimlerini incelemiştir. Baskın titreşim periyotlarını hesaplayarak deneysel yöntemle hesaplanan doğal

titreşim periyotları analiz yöntemlerine göre elde edilen periyotlardan daha düşük olduğu sonucuna varmıştır.

Pamuk (2014), İzmir İli Buca ilçesinde MASW, REMİ, SPAC yöntemlerini kullanarak yaptığı çalışmada Vs30 değerlerini hesaplamış, ölçümlerini Nakamura tekniğine göre değerlendirerek H/V oranlarını elde ederek kontur haritalarını oluşturmuştur.

Parlak (2014), alüvyon zeminlerde mikrotremor yöntemini kullanarak depreme dayanıklı bina tasarımında inşaat, jeoloji ve jeofizik mühendislerinin ortak çalışma yapmasını önermiştir.

Akın (2014), aktif (MASW) ve pasif kaynaklı yüzey dalgaları yöntemlerini (ReMi, Tek istasyon mikrotremor) kullanarak elde ettiği zemin hakim periyod ve anakaya derinliklerini karşılaştırmış ve uyumlu sonuçlar elde etmiştir.

Bolbol (2016), İzmir ili Bornova ilçesi kent merkezinde yaptığı çalışmada bölgenin ana kaya derinliklerini, kayma dalga hızını, dinamik zaman parametrelerini yorumlamıştır.

Aktan (2017), Isparta ili Senirkent yerleşim alanında Nakamura H/V yöntemi ile yaptığı çalışmada yerleşim alanının güneyi ile diğer alanların zemin özelliklerinin ayrıştığı sonucuna varmıştır.

Türkşanlı (2018), Çanakkale yerleşim yerinde yaptığı çalışmada MASW yöntemini kullanmış ve toplam havza kalınlığını hesaplayarak önceki çalışmalarla karşılaştırmıştır.

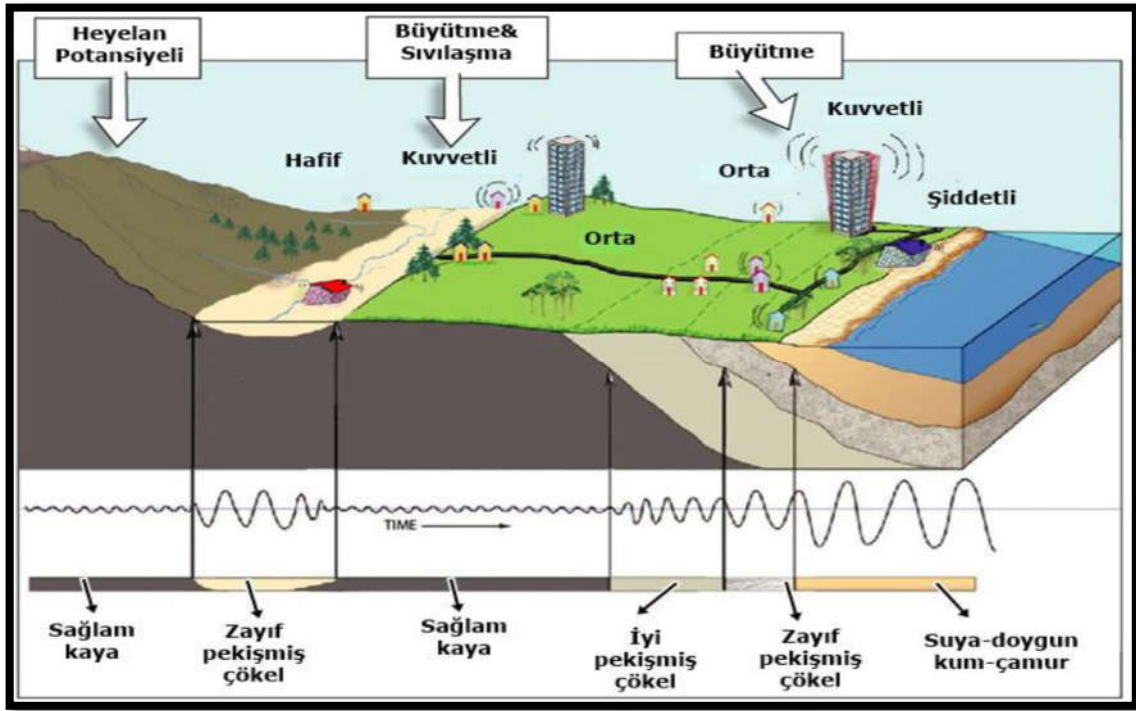
Özel (2019), üç boyutlu zemin-yapı etkileşim modelini kullanarak mikrotremor ölçümlerini karşılaştırmıştır.

Bu tez kapsamında, pasif kaynaklı jeofizik yöntemlerden olan tek istasyon mikrotremor yöntemi kullanılmıştır. Erzurum ili Yakutiye ilçesi Hilalkent bölgesinde tek istasyon mikrotremor yöntemi ile 60 noktada 45 dakikalık ölçümler alınmıştır. Tek istasyon mikrotremor yöntemi ile; zemin baskın periyodu (T), yatay/düşey spektral oranı (H/V) ve ampirik bağıntılar kullanılarak anakaya derinliği, hasar görebilirlik indisi (Kg) ve Vs30 değerleri elde edilmiştir.

Zemin Büyütmesi

Kramer (1996), zemin büyütmesini şu şekilde tanımlamıştır: küçük ivme değerlerine sahip ana kaya kayıtları, zemin tabakalarının özelliklerinin etkisiyle bazı alanlarda ivme değeri yüzeye çıkarken birkaç kat büyümesi yapılara ağır ve kalıcı hasarlar vermektedir. Deprem sırasında kötü veya yumuşak zeminlerdeki yapıların sağlam veya sert zeminlerdeki yapılara göre daha çok hasar gözlenmesinin sebeplerinden bir tanesi de zemin büyütmesidir (Şekil 3).

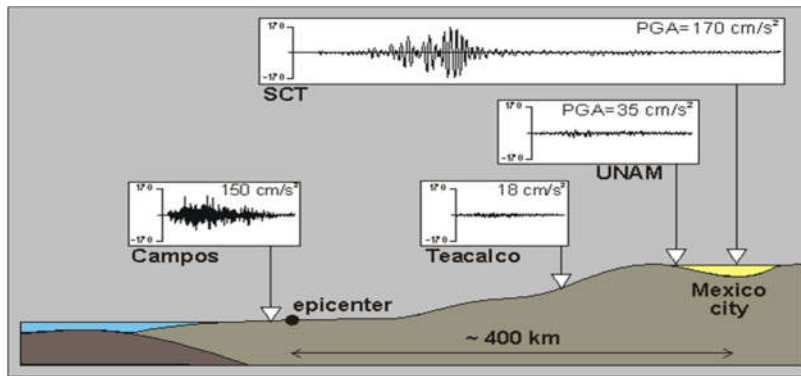
Meydana gelen bu olaya zemin büyütmesi denilmektedir (Şekil 4). Zemin büyütme değerine göre tehlike düzeyi ise Tablo 1’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Deprem dalgalarının farklı zemin türlerindeki davranışı (Anonim, 2022).

Tablo 1. Zemin büyütme değerine bağlı tehlike düzeyi (Özçep, 2007).

Büyütme Değeri	Tehlike Düzeyi
0,00 – 2,50	C (düşük tehlike)
2,50 – 4,00	B (orta tehlike)
4,00 – 6,50	A (yüksek tehlike)



Şekil 4. 1985 Meksika depremi ve uzaklığa bağlı kaydedilen ivme kayıtları (Yalçınkaya, 2010).

Çalışma Alanının Depremselliği

Türkiye deprem potansiyeli yüksek olan bir bölgede bulunmaktadır. Geçmişten günümüze ülkemizde birçok deprem meydana gelmiş çok ciddi boyutta can ve mal kayıplarına sebep olmuştur. Önlenemez ve ertelenemez olan depremden kaçış yoktur fakat önlemlerle hasarların en aza indirilmesi sağlanabilir. Depremlerde oluşan can kayıplarına bakıldığında Türkiye; Çin, Japonya ve İtalya'dan hemen sonra gelmektedir. Deprem ülkemizde sadece can kayıplarına değil önemli ölçüde ekonomik kayıplara da yol açmaktadır. Türkiye'nin genç bir ülke olması, kıvrımlı kırıklı yapıların ve fay zonlarının olması ve bu fay zonları etrafında depremlerin daha çok olması elbette bir tesadüf değildir.

Erzurum ili, birçoğu volkanik kökenli olan Dumlu (3169 m), Palandöken (3176m) ve Kargapazarı Dağları (3120 m) tarafından çevrelenmiştir (Keskin, 1998). Erzurum ve civarının tektonik oluşumunda rol alan olaylar; Arap levhasının Kuzey'e, Afrika levhasının Kuzeydoğuya, Avrasya levhasının ise Güney yöndeki hareketi Anadolu levhasını doğusunu sıkıştırmasıdır. Bu levhaların birbirlerine göre hareketleri nedeni ile Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) meydana gelmiştir. Bu tektonik hareketlerin devam etmesi ile oluşan küçüklü büyüklü birçok fay ve çatlak Erzurum ve çevresinin tektonik oluşumunda önemli rol oynamaktadır. Erzurum ve civarındaki en önemli faylar (Koçyiğit ve Canoğlu, 2017):

- Erzurum-Dumlu Fay Zonu (EDFZ),
- Palandöken Fay Zonu (PFZ),
- Başköy-Kandilli Fay Zonu ve
- Aşkale Fay Zonu (AFZ) fayı olarak söylenebilir.

Lahn (1939), çalışmasında bölgedeki volkanizmanın üst miyosenden geldiğine dikkat çekmiştir.

Erinç (1953), Erzurum'un önemli tektonik yapılarının KD-GB doğrultulu olduğundan bahsetmiştir.

Erentöz (1954), Erzurum ve çevresindeki önemli tektonik hareketlerden bahsetmiştir.

Lahn (1956), oligosen ve miyosen zamanında bölgenin jeolojik gelişiminin önemli aşama kaydettiğini belirtmiştir.

Atalay (1978), Erzurum'un şekillenmesinin Miyosen-Piliyosen ve hatta kuvaterner de oluşan gerilmelerden meydana gelen faylanmalar ile oluştuğuna değinmiştir. Karlıova üçlü keşişiminde Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu fay zonlarının kesiştiğini ve bu bölgenin de Erzurum'u etkileyebileceğine değinmiştir.

Demir (1985), Erzurum – Kars depremi sonucunda can ve mal kayıpları yaşandığını ve yapıların sınıflandırılarak depreme karşı davranışlarının ölçülmesi gerektiğinden bahsetmiştir.

Yarbaşı vd. (2002), Erzurum'un ikinci derece deprem bölgesi olmasından ve şehrin büyük bir kısmının aktif faylar tarafından kesilen alüvyon yelpazeler üzerinde olması nedeniyle deprem tehlikesi taşımasından söz etmiştir.

Gök vd. (2007), Yaptığı çalışmada depremlerin meydana getirdiği ekonomik kayıplar ile sosyal ve psikolojik etkilerinden bahsetmiştir.

Yapıcı (2015), Anadolu'nun büyük bir deprem kuşağı üzerinde bulunduğunu ve hem tarihsel hem de aletsel dönemlerde farklı büyüklükteki depremler oluştuğuna değinmiştir.

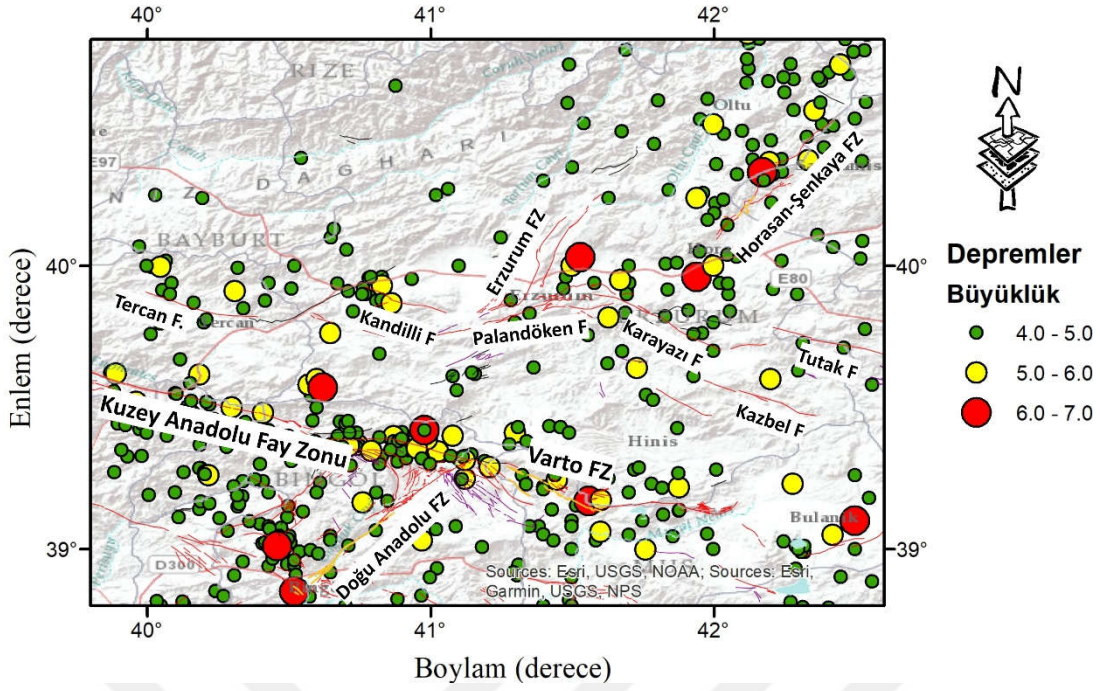
Koçyiğit ve Canoğlu (2017), Erzurum çek-ayır havzasının gelecekte deprem üretme potansiyeli olan tektonik bölgelere dikkat çekmiştir.

Kuşçu (2019), çalışmasında Erzurum ve civarının litolojik yapısının oldukça karmaşık olduğunu belirtmiştir.

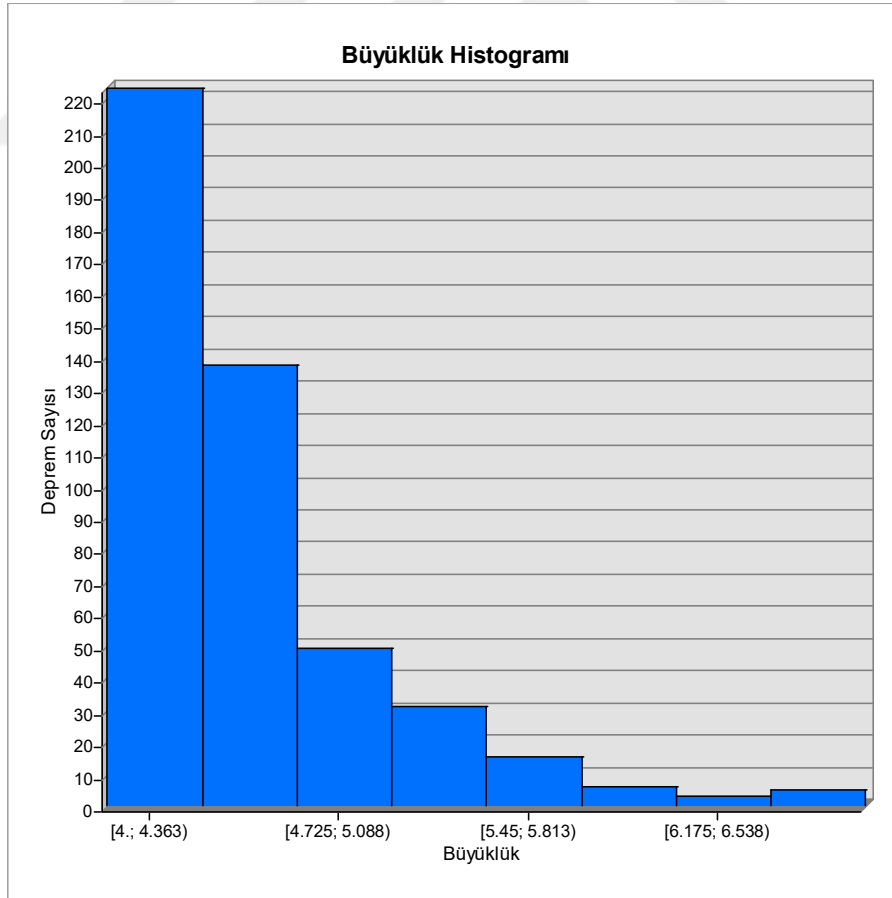
Özer vd. (2019), Doğu Anadolu Bölgesi için Moho süreksizliğini yerel deprem tomografisi yöntemi ile araştırmış ve bu süreksizliğin yaklaşık 30-40 km arasında olduğunu belirtmiştir.

Bayrak vd. (2020), Erzurum ve civarında meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümlerini kullanarak gerilmenin arttığı ve azaldığı alanları belirlemiştir.

Ayrıca 1900 yılından sonra Erzurum'da meydana gelen ve hasar yapan depremler 1901 Pasinler-Erzurum ($M=6,1$), 1906 Oltu-Erzurum ($M= 6,0$), 1924 Pasinler ($M=6,8$) ve 1983 Horasan ($M_w=6,6$) depremleridir (Şekil 5 ve Tablo 3). Bunların yanı sıra 2004 yılında Aşkale'de meydana gelen depremlerde de çok sayıda can ve mal kaybı yaşanmıştır. Aktif fayların büyüklüğü ve meydana gelen depremlerin sayısı dikkate alınırsa gelecekte $M \geq 6,0$ depremler meydana gelebileceğini ortaya koymaktadır (Şekil 6).



Şekil 5. 1900-2022 yılları arasında Erzurum ve civarında meydana gelen depremlerin episantır dağılımı (Depremlere ait veriler <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu> web sitesinden alınmıştır. Faylara ait veriler ise Emre vd. (2013)'den elde edilmiştir)



Şekil 6. 1900-2022 yılları arasında Erzurum ve civarında meydana gelen depremlere ait büyüklük dağılımı

Tablo 2. 1900'den günümüze kadar Erzurum ve civarını etkileyen depremler (AFAD, 2022)

Tarih	Boylam	Enlem	Derinlik (km)	Büyükölük	Yer
08.11.1901	41,53	40,03	10	6,1 (Ms)	Pasinler-Erzurum
28.04.1903	42,5	39,1	30	6,3 (Ms)	Malazgirt-Muş
28.12.1906	40,5	42,0	30	6,0 (Ms)	Oltu-Erzurum
13.09.1924	41,94	39,96	10	6,8 (Ms)	Köprüköy-Erzurum
17.08.1949	40,62	39,57	40	6,7 (Ms)	Tercan-Erzincan
19.08.1966	41,56	39,17	26	6,9 (Ms)	Varto-Muş
20.08.1966	40,98	39,42	14	6,2 (Ms)	Karlıova-Bingöl
30.10.1983	42,173	40,331	15	6,6 (Mw)	Horasan-Narman-Erzurum

MATERYAL VE METOT

Mikrotremor Yöntemi

Mikrotremorlar, birçok farklı kaynaktan yayılan yeryüzündeki sürekli titreşimlerdir (Kanai ve Tanaka, 1961). Bu titreşimciklerin genlikleri 0,001-0,01 nm, periyotları ise 0,05 s ve 2 s arasındadır. Bu titreşimleri etkileyen birçok farklı faktör bulunmaktadır: okyanus dalgaları, rüzgârlar, jeotermal etkiler, yeraltındaki sismik aktiviteler, yer sarsıntıları vb. doğal etkiler vardır. Bununla birlikte kültürel etkilerde bu titreşimleri etkilemektedir. Bunlar ise: trafik gürültüsü, endüstriyel gürültüler gibi insandan kaynaklı gürültülerdir.

Mikrotremor Yöntemi Kullanım Amaçları:

Mikrotremor yöntemi günümüzde maliyetinin düşük olması, hızlı ölçüm alınıp ve hızlı yorumlanması sebebiyle tercih edilmektedir. Mikrotremor yönteminin kullanım alanı geçmişten günümüze giderek gelişme göstermektedir. Mikrotremor yöntemiyle yapılan zemin ölçümlerinde zeminin yapısı hakkında önemli fiziksel parametrelere ulaşılmaktadır. Bu yöntem deprem mühendisliği ve sismolojik çalışmalarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Mikrotremor yöntemi ile ilk olarak zeminin baskın periyodu ve zemin büyütmesi değeri elde edilebilir. Daha sonra bu parametreler yardımıyla ampirik bağıntılar kullanılarak Vs30 değeri, anakaya derinliği, hasar görebilirlik indisi ve zeminlerin elastoplastik özelliği gibi parametreler elde edilebilmektedir (Nakamura, 1997; Ibs-Von Seht ve Wohlenberg 1999; Nakamura, 2000; Ghofrani ve Atkinson, 2014; Nakamura, 2019, Aydın vd. 2022).

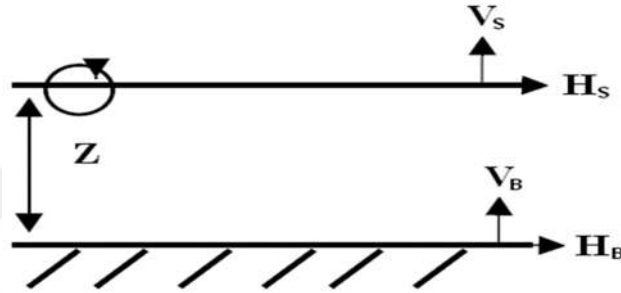
Mikrotremor yönteminde elde edilen baskın periyot değeri ile rezonans meydana gelme ihtimali araştırılabilir. Çünkü dinamik kuvvetler altında oluşan salınımın oluşturduğu baskın periyot, zemin yada yapılarda farklı, aynı yada çok yakın değerler alabilir. Hem yapının hem de zeminin periyot değerlerinin eşit olduğu durumda rezonans durumu olacak ve yapının hasar alma ihtimali artacaktır.

Yatay/Düşey Spektral Oran Yöntemi (Nakamura Yöntemi, H/V):

Bu yöntemin amacı tek istasyon mikrotremor ölçümü ile elde edilen üç bileşen kayıtlarının yatay bileşenlerinin karekök ortalamasının düşey bileşene oranlanmasıdır. Nakamura (1989) mikrotremorların Rayleigh dalgaları tarafından oluşturulduğunu ifade etmiştir. Rayleigh dalgaları tabakalı ortamda yatay ve düşey hareketlerden aynı oranda etkilenir. Bu yöntemde düşey bileşenlerin zemin tabakalarından etkilenmediği fakat yatay

bileşenlerin düşük hızlı tabakalardan ve yoğunluktan etkilendiği varsayılmaktadır. Bu nedenle zemin transfer fonksiyonunu elde etmek için yatay bileşen kayıtların spektrumları düşey bileşenlerin spektrumlarına oranlanır.

Nakamura (1989) yönteminde mikrotremorları yarı sonsuz ortam üzerine uzanan tek tabakalı bir ortamda yayılan Rayleigh dalgaları yaklaşımı ile açıklamış, Fourier frekans bölgesinde dört tane genlik spektrumunu tanımlamıştır. Bu spektrumlar yüzeydeki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki (H_s, V_s) bileşenlerine ait genlik ve üstteki yüzey tabakanın tabanındaki hareketin yatay ve düşey doğrultudaki bileşenleri (H_B, V_B) olan genlik spektrumlarıdır (Şekil 7).



Şekil 7. Mikrotremor ölçümlerini açıklamak için kullanılan basit metod (Nakamura, 1989)

İlk olarak, mikrotremor hareketi frekansın bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Dikmen, 2005):

$$A_s(\omega) = \frac{V_s(\omega)}{V_B(\omega)} \quad \text{Denklem 1.1}$$

Denklemden, V_s , yüzeydeki; V_B , yüzey tabakasının tabanındaki hareketlerin düşey bileşenlerini ifade etmektedir.

Transfer fonksiyonu, temel ve yüzeydeki yatay bileşenlerin spektral oranı olarak tanımlanır:

$$S_E(\omega) = \frac{H_s(\omega)}{H_B(\omega)} \quad \text{Denklem 1.2}$$

Nakamura (1989), yukarıdaki bağıntıda verdiği transfer fonksiyonunun $S_M(\omega)$ 'nin (1.2) bağıntısında verdiği kaynak etkisini gösteren $A_s(\omega)$ 'a oranlayarak kaynak etkisinin ölçüm parametrelerinden uzaklaştırılabileceğini göstermektedir. Bu oran (1.3) bağıntısında verilen $S_M(\omega)$ biçiminde tanımlanır.

$$S_M(\omega) = \frac{S_E(\omega)}{A_S(\omega)} = \frac{\frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)}}{\frac{V_S(\omega)}{V_B(\omega)}} = \frac{H_S(\omega)}{H_B(\omega)} \cdot \frac{V_B(\omega)}{V_S(\omega)} = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)} \cdot \frac{V_B(\omega)}{H_B(\omega)}$$

$$= R_S(\omega)R_B(\omega)$$

Denklem 1.3

Nakamura (1989)' a göre mühendislik amaçlı yapılan çalışmalarda gösterilen frekans aralığında (1-20 Hz) temel kayadan alınan yatay/düşey spektral oran $R_B(\omega)$ (1.1) formülünde belirtildiği gibi $\cong 1$ dir.Böylelikle $R_S(\omega)$ şeklinde verilen transfer fonksiyonu yüzeyde ölçülen mikrotremor verilerinden elde edilir.

$$R_B(\omega) = \frac{V_B(\omega)}{H_B(\omega)} = 1$$

Denklem 1.4

Denklem (1.2)'nin kullanılması ile yer etkisi hareketinin yüzeydeki yatay/düşey bileşenleri türünden tanımlanır. K-G ($NS(\omega)$) ve D-B ($EW(\omega)$) olarak kaydedilen iki yatay bileşeni tek bileşene düşürmek için (1.5) formülünden faydalanılır ve düşey bileşen $V_S(\omega)$ 'ya oranlanarak (1.6) formülünde belirtilen yatay - düşey spektral oran elde edilmiş olur.

$$H_S(\omega) = \sqrt{NS(\omega)^2 + EW(\omega)^2}$$

Denklem 1.5

$$S_M(\omega) = \frac{H_S(\omega)}{V_S(\omega)}$$

Denklem 1.6

Zeminin ve yapının periyodunu belirlemek için tek istasyon mikrotremor yöntemi günümüzde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir.

Hasar Görebilirlik İndisi (Kg)

Nakamura (1997, 2000) çalışmalarında hasar görebilirlik indisi (Kg) ile en büyük genlik ve frekans arasındaki olan ilişkiyi değerlendirerek bu yöntem ile deprem oluşmadan önce çalışma alanındaki tehlikeli alanların tespitinin yapılabileceğini belirterek, hasar görebilirlik indisi (Kg)'nin değerini şu şekilde hesaplamıştır:

$$(Kg) = A^2 * T$$

Denklem 1.7

Burada Kg hasar görebilirlik indisi, A büyütme faktörü ve T hakim periyot ($1/f$) değerleridir.

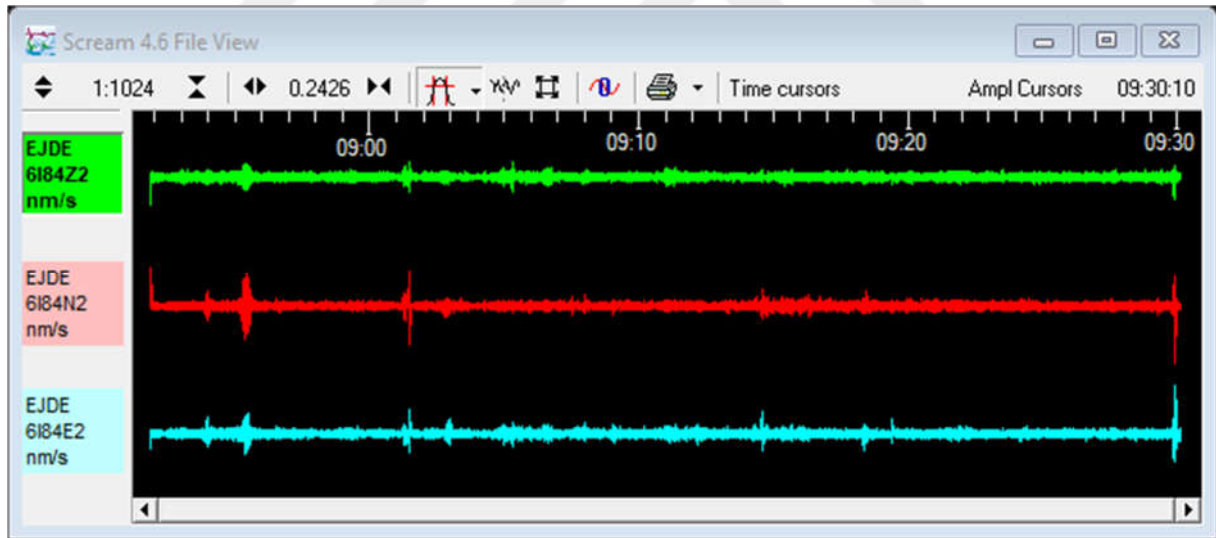
Vs30 ve Frekans İlişkisi

Ghofrani ve Atkinson (2014) NGA-West 2 kuvvetli yer hareketi veri tabanındaki verileri (<http://peer.berkeley.edu>) kullanarak Vs30 ile H/V en büyük genliği ve zemin hakim frekansı arasındaki ilişkiyi araştırarak aşağıdaki denklemi belirlemişlerdir.

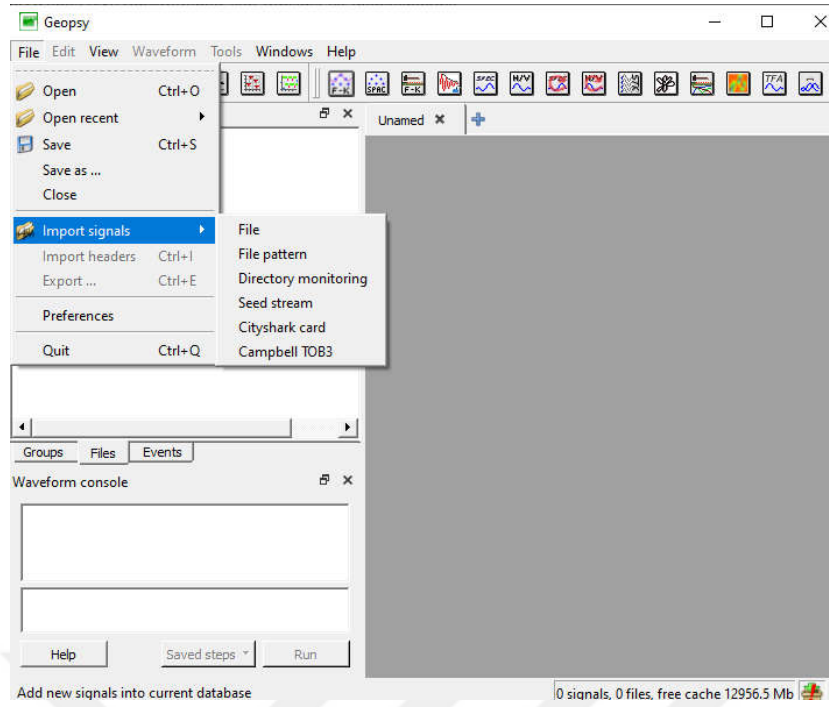
$$\log_{10}(V_{s30}) = 2.8 (\pm 0.02) + 0.16(\pm 0.02)x(\log(f)) - 0.50(\pm 0.03)\log(A) \quad \text{Denklem 1.8}$$

Scream ve Geopsy Programlarının Kullanımı

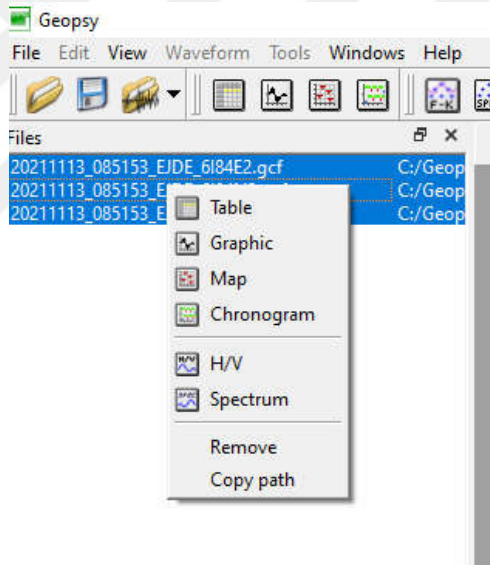
Bu tez çalışmasında ölçüler Güralp marka CMG-6TD model sismometre ile alınmıştır. Verilerin arazide bilgisayara kaydedilmesinde Scream 4.6 programı kullanılmıştır (Şekil 8). Scream programı ile .gcf formatında kaydedilen veriler daha sonra Geopsy (Wathelet vd. 2020) programına aktarılmıştır (Şekil 9). Şekil 10'da ise yüklenen verinin ham hali görülmektedir. Veriye yapılacak olan veri işlem seçenekleri ise Waveform menüsü altında bulunmaktadır (Şekil 11). Şekil 12 ve 13'de ise Geopsy programında Nakamura yatay/düşey yönteminin uygulama aşamaları ve sonucunun elde edilmesi görülmektedir.



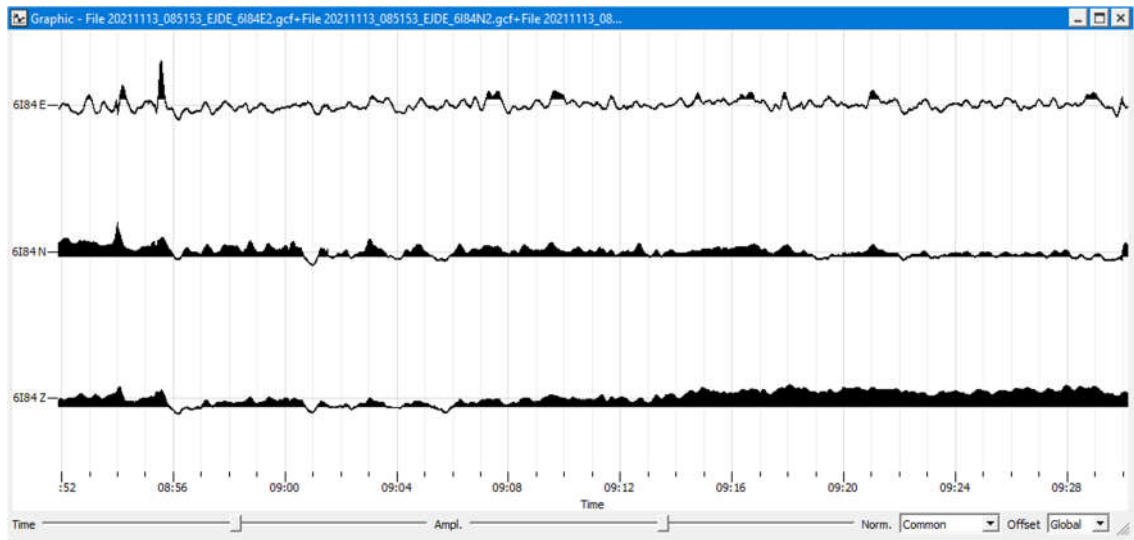
Şekil 8. Arazide yapılan ölçünün Scream 4.6 programında görünümü



Şekil 9. Geopsy programının ana menüsü ve verinin yüklenmesi

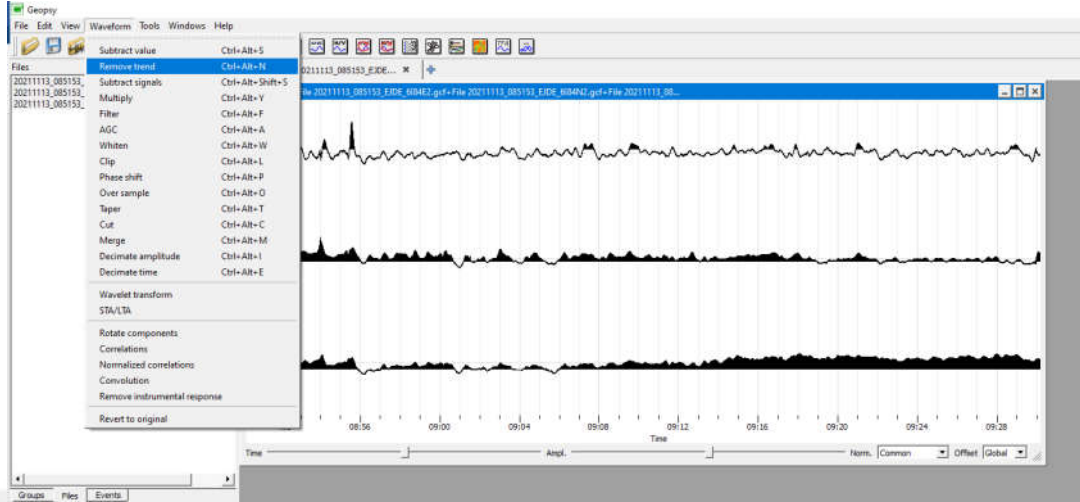


(a)

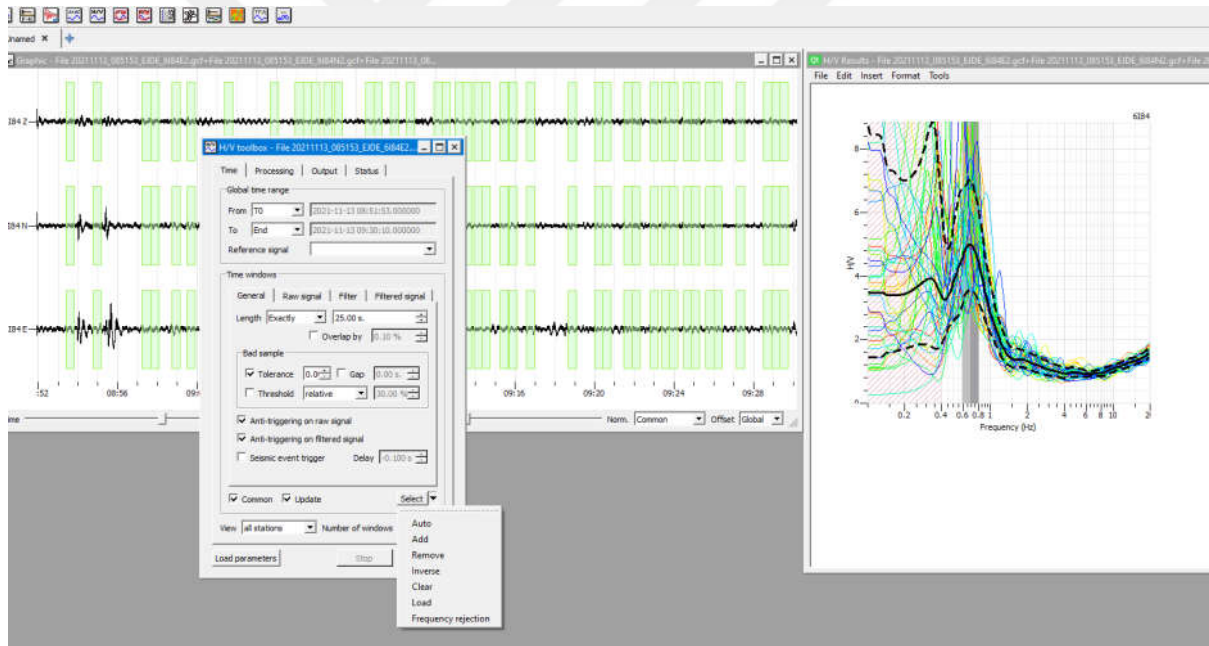


(b)

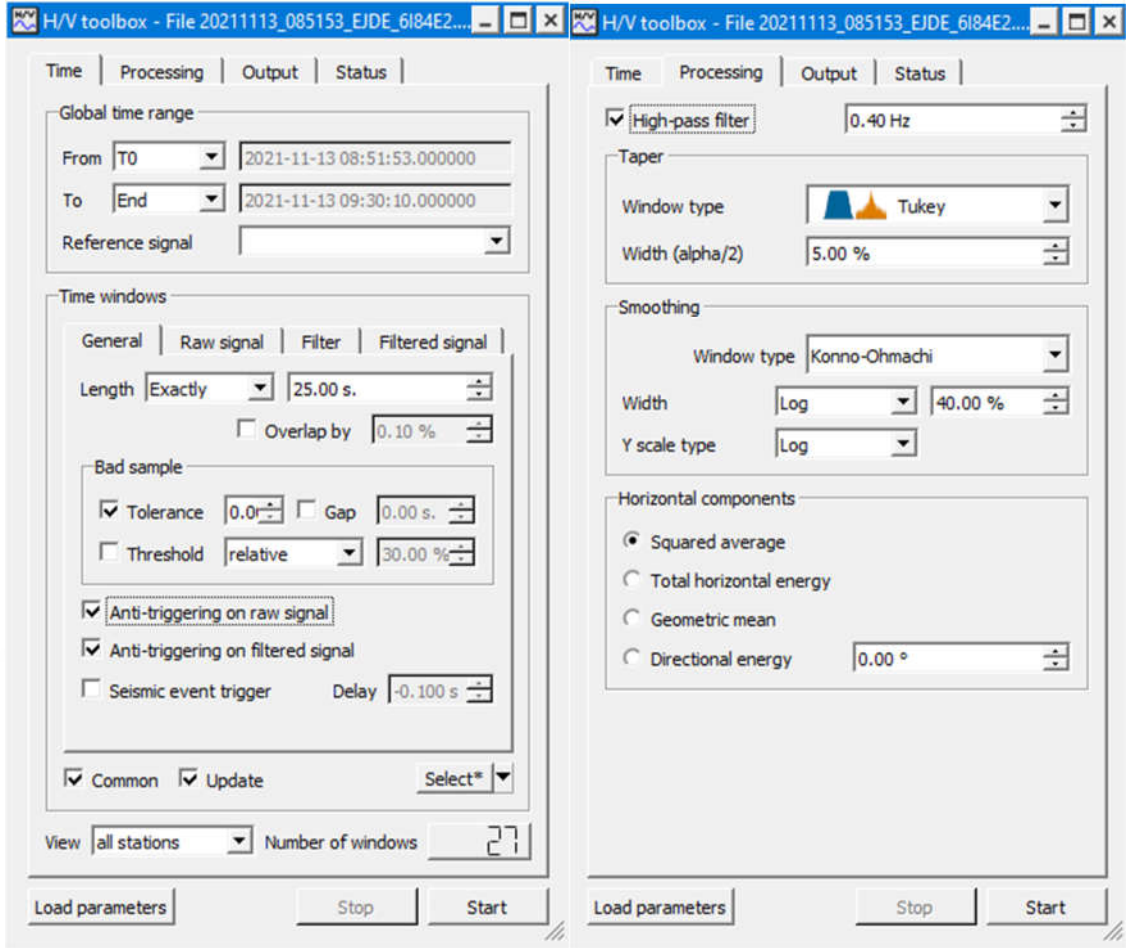
Şekil 10. a) Geopsy programına yüklenen verinin grafiğinin çizdirilmesi b) Ham verinin görüntülenmesi



Şekil 11. Veriye yapılacak olan trend etkisi giderme, filtreleme gibi işlemlerin yapıldığı Waveform menüsü



Şekil 12. Nakamura yatay/düsey oran yönteminin uygulama penceresi ve sonucun elde edilmesi. Select seçeneği yanında açılan alt menüde pencere ekleme, çıkarma ve temizleme işlemleri yapılır



Şekil 13. Yatay/Düşey oran yöntemi uygulama penceresine ait seçenekler

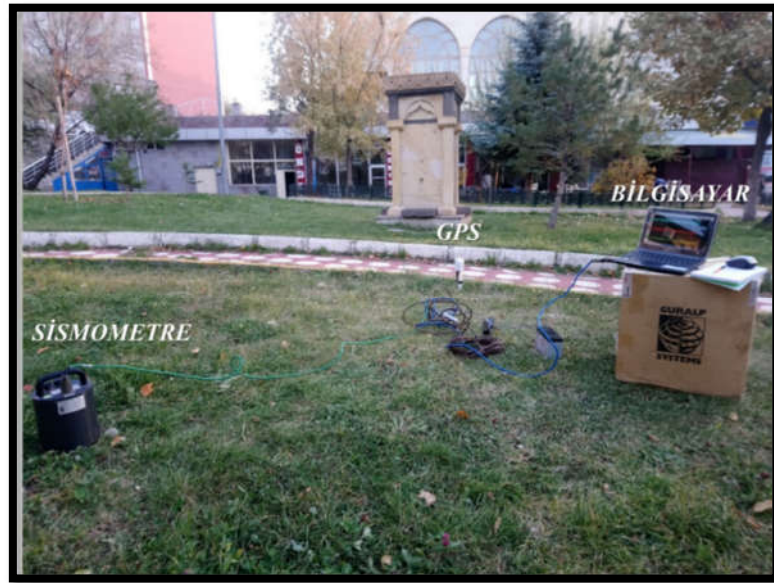
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma alanının zemin hâkim frekansı ($1/T$) ve büyütme faktörü (A) değerleri Nakamura yöntemine göre hesaplanmıştır (Nakamura, 1989; 2019). Gevşek zeminlerde genellikle düşük zemin hakim frekans değerlerinde elde edilen zemin büyütme değerleri öne çıkarken daha sıkı-sağlam zeminlerde ise yüksek frekans değerlerindeki büyütme değerleri öne çıkmaktadır (Borcherdt vd. 1991; Park vd. 1999; Louie 2001; Okada 2003; Pamuk vd. 2017; Subaşı vd. 2019)

Tek İstasyon Mikrotremor Ölçümleri

Tek istasyonlun mikrotremor yöntemiyle yapılan çalışmada yaklaşık 4 km² lik bir alanda 60 noktadan ve iki nokta arası mesafe 300 m olacak şekilde ölçümler alınmıştır. Elde edilen veriler Scream 4.6 programı ile okunmuş, bu veriler GEOPSY programına alınarak gerekli işlemler yapılarak zemin özellikleri (zemin hakim periyodu, büyütme faktörü) belirlenmiştir. Mikrotremor ölçümlerinde Guralp marka CMG-6TD sismometre, bir adet akü, dizüstü bilgisayar ve bir adet GPS kullanılmıştır (Şekil 14). Çalışma alanında mikrotremor kayıtları 30 – 45 dakika boyunca 100 Hz örnekleme aralığında alınmıştır.

Mikrotremor kayıtları alınırken doğal ve yapay gürültülerden etkilenmemek için son bahar dönemi seçilmiştir. Rüzgâr ve insan kaynaklı gürültülerin en az olduğu yerleşim alanlarında inşaat çalışmalarında ağır iş makinelerinin çalışmadığı zamanlara dikkat edilmiştir. Trafik vb. gürültülerin kaçınılmaz olduğu alanlarda ölçüm süresi uzatılmıştır.



Şekil 14. Mikrotremor ölçümlerinde kullanılan sismometre, bilgisayar, GPS ve güç ünitesi

Nakamura Yöntemi ile Frekans ve Büyütme Faktörü Değerlerinin Elde Edilmesi

Nakamura (1989) yöntemi kullanılarak ölçü alınan noktalara ait zemin hâkim periyodu ve büyütme faktörü değerleri hesaplanmıştır. Bu yöntemin en büyük avantajı, şehir içinde veya temel kayanın bulunmadığı bölgelerde de hızlıca uygulanabilmesi, ölçüm alımının kolay olması ve herhangi bir referans noktasına ihtiyaç duymamasıdır.

Nakamura yöntemi ile HVSR eğrilerinin elde edilebilmesi için Geopsy (Wathelet vd., 2020) programı kullanılmıştır. Elde edilen ilksel veriden HVSR eğrisinin elde edilmesi için aşağıdaki iş akışı dikkate alınmıştır (Şekil 15):

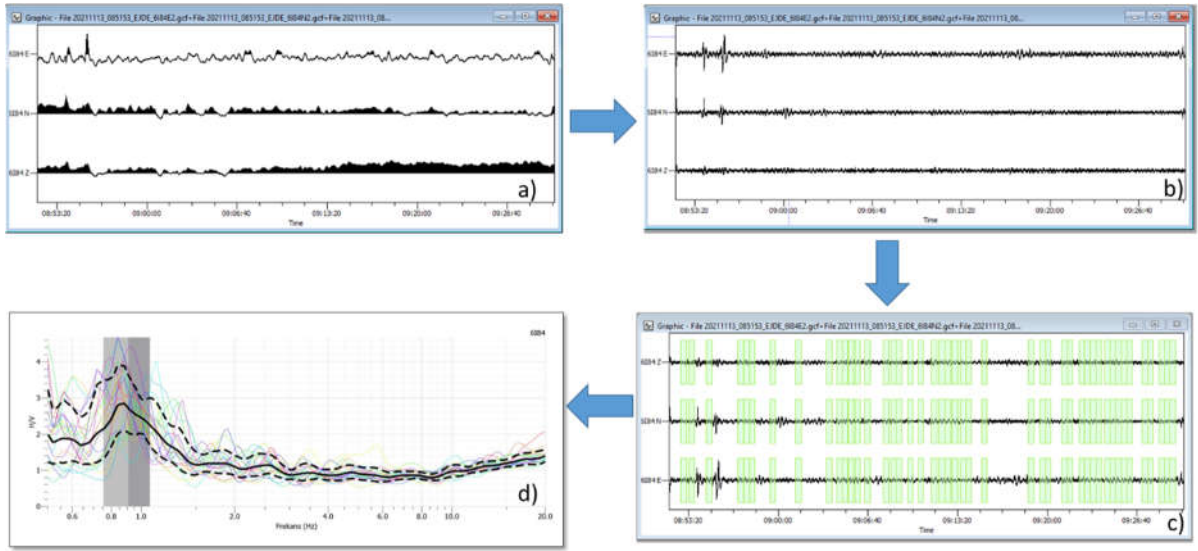
- Trend Etkisinin Düzeltilmesi: Mikrotremor verileri alınırken genellikle verinin başında ve sonunda meydana gelen etkilerin giderilmesi amacı ile yapılmaktadır. Yani veriler yatay eksene getirilir.

- Verinin Filtrelenmesi: Bilindiği gibi mikrotremorların periyotları 0,05 ile 20 Hz arasında değişmektedir. Bu nedenle veriye 0,05-20 sn arasında bant geçişli süzgeç uygulanmıştır.

- Genlik Spektrumlarının Elde Edilmesi: İlk olarak zaman ortamında elde edilen veriler hızlı fourier dönüşümü ile frekans ortamına geçirilir. Daha sonra üç bileşen içinde genlik spektrumları elde edilerek Konno & Ohmachi penceresi (Konno ve Ohmachi, 1998) ile yuvarlatma işlemi uygulanır.

- Yatay/Düşey Spektral Oranın Hesaplanması: Bu amaç için önce yatay bileşen genlik spektrumlarının karekök ortalaması alınarak düşey bileşen genlik spektrumuna oranlanarak H/V spektral oran grafiği elde edilir. Bu grafikte de en büyük genliğe gelen frekans değeri zemin hakim frekansı ve buna karşılık gelen genlik değeri de büyütme faktörü değeri olarak belirlenir.

Bu çalışmada veriler mikrotremor yöntemiyle değerlendirilirken verilerin işlem aşamalarında bant geçişli filtre (0,05 – 20 Hz) ve %5 işleple kosinüs törpü yapılmıştır. En az 25 saniyelik pencereler kullanılmıştır. Hesaplanan spektrumlarda b katsayısı 40 olarak belirlenerek Konno-Ohmachi yuvarlaması uygulanmıştır (Konno ve Ohmachi, 1998).



Şekil 15. Arazide elde edilen mikrotremor verilerinden Nakamura yöntemi ile zemin hakim periyot ve büyütme faktörü değerlerinin elde edilmesi a) Ham veri b) Filtrelenmiş ve trend etkisi giderilmiş veri c) Uygun pencere seçimi d) Yatay/düşey spektral oran yöntemi ile zemin hakim periyot ve büyütme faktörünün elde edilmesi

Yapılan analizler sonucunda zemin hâkim frekans değerleri 0,6 ve 17,5 Hz arasında hesaplanmıştır (Tablo 4). En düşük değerler 0,6 Hz ile 55 ve 56. ölçü noktalarında elde edilirken 17 Hz'den yüksek değerler ise 24., 34. ve 20. noktalarda gözlenmiştir. Bu frekans değerlerine göre zemin hakim periyot değerleri ise 0,04 ile 1,7 sn arasında değişmektedir.

Tablo 3. Tek istasyon mikrotremor ölçü noktalarına ait koordinat bilgileri ve her nokta için elde edilen F (frekans), A(büyütme faktörü), T (periyot), Kg (hasar görebilirlik indisi) ve Vs30 değerleri

Ölçü No	Boylam (°)	Enlem (°)	F (Hz)	A	T (sn)	Kg	Vs30 (m/sn)
1	41,3201783	39,9543167	1,4	1,7	0,71	2,0	513
2	41,31923	39,952095	2,2	2,1	0,46	2,0	495
3	41,3171683	39,948685	2,2	2,6	0,46	3,1	442
4	41,3170583	39,9469383	1,7	2,9	0,59	5,1	400
5	41,316155	39,94434	1,4	4,3	0,69	12,7	323
6	41,31476	39,941775	1,1	4,9	0,91	21,8	289
7	41,3168	39,9548833	5,5	1,6	0,18	0,5	655
8	41,3158667	39,9521033	1,0	3,4	0,98	11,0	345
9	41,3138317	39,94923	2,0	2,4	0,51	3,0	452

Tablo 3. (devamı)

10	41,3135717	39,946885	0,8	7,0	1,25	61,3	230
11	41,3125783	39,9446233	2,1	3,5	0,47	5,8	379
12	41,311139	39,94203	2,7	2,4	0,37	2,1	477
13	41,3134033	39,9552733	0,9	5,6	1,06	33,7	263
14	41,31202	39,951875	1,8	1,9	0,56	2,0	501
15	41,3119967	39,9501217	1,4	2,1	0,69	3,2	457
16	41,3099583	39,9473533	0,9	5,3	1,12	31,0	270
17	41,3090767	39,945005	5,9	1,5	0,17	0,4	693
18	41,3076417	39,9419867	1,4	6,5	0,69	29,3	262
19	41,3102183	39,95631	0,9	11,3	1,15	146,5	183
20	41,3093613	39,9528134	17,5	1,4	0,06	0,1	837
21	41,3078333	39,95069	5,6	1,0	0,18	0,2	815
22	41,30551	39,948725	4,3	1,1	0,23	0,3	753
23	41,3054533	39,9454167	3,0	3,0	0,34	3,0	434
24	41,3039483	39,9422633	17,2	2,2	0,06	0,3	670
25	41,30663	39,9562267	15,3	3,7	0,07	0,9	510
26	41,3056133	39,95355	0,7	6,4	1,47	60,0	234
27	41,3048017	39,95121	0,7	4,6	1,39	28,9	280
28	41,3034783	39,94943	1,0	4,5	0,98	19,9	298
29	41,30313	39,94535	6,6	3,0	0,15	1,4	492
30	41,2998567	39,9438117	1,4	3,5	0,74	9,2	352
31	41,3032817	39,9564683	2,5	5,4	0,41	11,9	313
32	41,3021117	39,9537617	8,3	6,0	0,12	4,3	362
33	41,2996517	39,951195	10,7	2,8	0,09	0,7	548
34	41,30084	39,94862	17,3	1,5	0,06	0,1	812
35	41,2982183	39,9456933	7,0	1,8	0,14	0,5	643

Tablo 3. (devamı)

36	41,29852	39,94252	1,0	1,8	0,98	3,3	467
37	41,2985183	39,957235	1,0	6,7	1,05	47,5	241
38	41,2988783	39,9547817	2,7	5,1	0,37	9,9	325
39	41,2967567	39,9507717	4,1	5,4	0,24	7,0	341
40	41,2962533	39,9487883	4,1	7,2	0,25	12,8	293
41	41,295525	39,9457017	8,0	5,8	0,13	4,2	364
42	41,2939517	39,9430117	1,1	2,1	0,91	3,9	446
43	41,2959	39,956265	1,0	5,9	1,02	35,4	259
44	41,295455	39,9551967	1,4	4,4	0,74	14,2	315
45	41,2939867	39,95111	1,7	7,9	0,60	37,1	244
46	41,2931667	39,9486667	1,8	9,1	0,56	45,8	230
47	41,29136	39,94618	1,5	4,7	0,66	14,3	312
48	41,2905217	39,94373	1,8	5,0	0,57	14,0	309
49	41,2922083	39,956175	2,9	2,7	0,34	2,5	454
50	41,29158	39,953795	0,9	8,0	1,08	68,0	221
51	41,2912617	39,9511783	1,1	7,4	0,92	50,1	235
52	41,288815	39,9499417	1,1	4,7	0,94	20,7	294
53	41,2880317	39,9470167	0,7	8,2	1,39	94,1	208
54	41,2862733	39,9942267	0,7	5,5	1,37	41,9	255
55	41,29019	39,956235	0,6	10,4	1,67	180,3	180
56	41,2882333	39,955035	0,6	12,0	1,69	244,1	167
57	41,2879983	39,95325	0,7	4,7	1,43	31,8	274
58	41,285495	39,9495233	0,7	5,3	1,47	40,5	258
59	41,28424	39,9472864	0,8	2,5	1,20	7,5	388
60	41,284345	39,94457	0,8	4,8	1,28	29,5	276

Mikrotremor verilerinden elde edilen H/V spektral oran grafiğindeki en büyük genlik zemine ait büyütme faktörü olarak da kullanılmaktadır. Çalışma alanı için büyütme faktörü değerleri 1 ile 12 arasında değişmektedir. En küçük değerler 21, 22 ve 20. ölçü noktalarında sırası ile 1,0, 1,1 ve 1,4 elde edilirken en yüksek değerler ise 56, 19 ve 55. noktalarda sırasıyla 12,0, 11,3 ve 10,4 olarak elde edilmiştir.

Kg ve Vs30 değerlerinin elde edilmesi aşağıdaki gibi yapılmıştır:

- İlk nokta için Kg değeri hesaplama yöntemi

$$(Kg) = A^2 \cdot T \text{ denkeminden}$$

$$= 1.7^2 \cdot 0.71$$

$$\cong 2$$

- Vs30 değeri hesaplama

$$\log_{10}(vs30) = 2.8(\pm 0.02) + 0.16(\pm 0.02) \times (\log(f)) - 0.50(\pm 0.03)\log(A)$$

denkleminde

$$\log_{10}(Vs30) = 2.8(\pm 0.02) + 0.16(\pm 0.02) \times (\log(1.4)) - 0.50(\pm 0.03)\log(1.7)$$

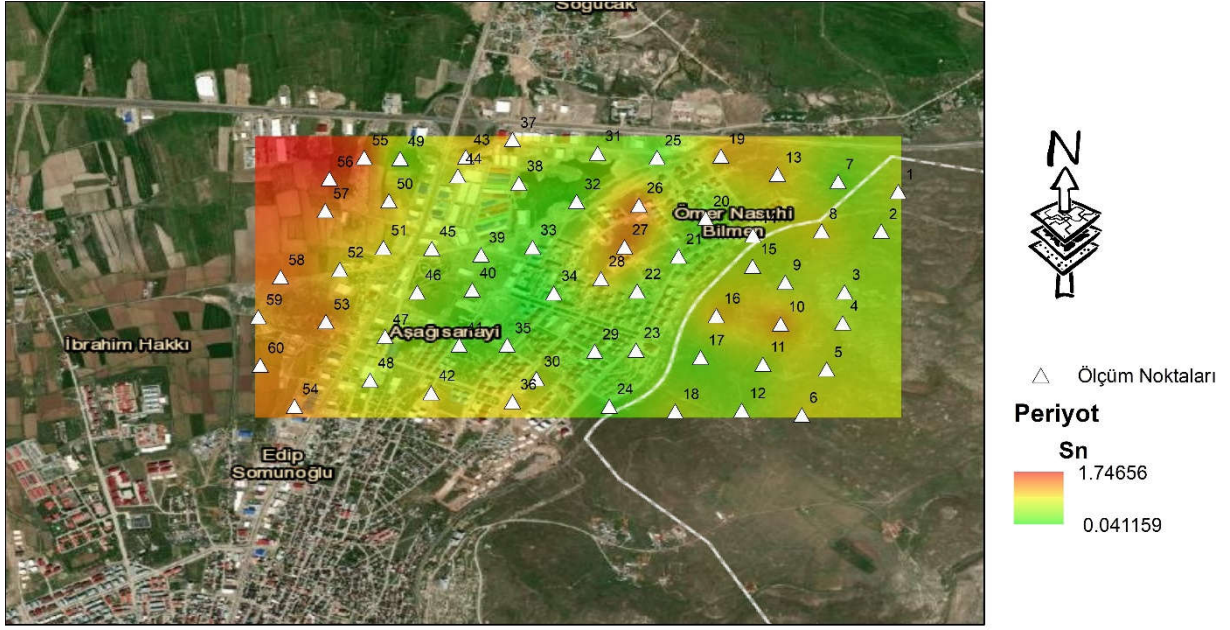
Vs30 = 513 m/sn olarak bulunur.

Hasar görülebilirlik indisi (Kg) ile mikrotremor verilerinden elde edilen periyot ve en büyük genlik arasındaki ilişki ilk olarak Nakamura (1997) tarafından ifade edilmiştir. Bu çalışma kapsamında da her ölçü noktası için Kg değeri hesaplanmıştır. Kg değeri yaklaşık 0,1 ile 240 arasında değiştiği ve en küçük değerler 0,1 ile 20. ve 34. noktalarda gözlenirken en yüksek değerler ise 56. ve 55. noktalarda sırası ile 240 ve 180 olarak gözlenmiştir.

Ayrıca çalışma alanına ait Vs30 değerleri Ghofrani ve Atkinson (2014)'ın önerdiği denklem 1.8 kullanılarak hesaplanmıştır. En küçük değerler 56., ve 55. noktalarda sırası ile 167 ve 180 m/sn hesaplanırken en büyük değerler ise 34., 21. ve 20. noktalarda 812, 815 ve 837 m/sn hesaplanmıştır.

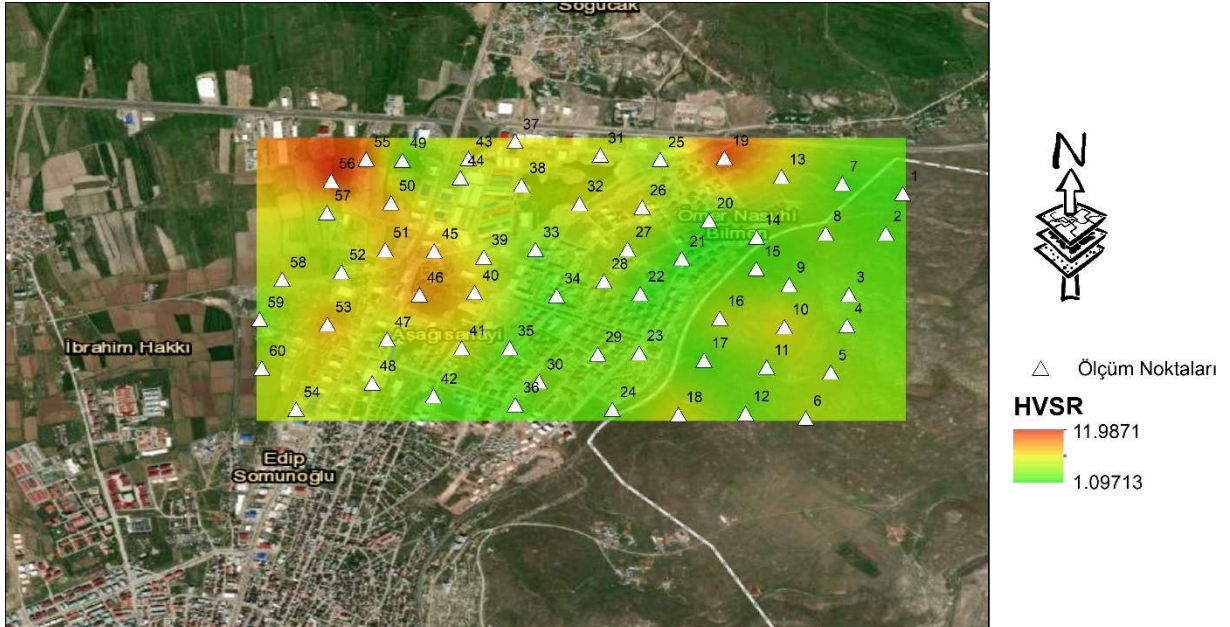
Elde edilen bu değerlerin (T, A, Kg ve Vs30) mekânsal değişimini incelemek için veri dağılım haritaları oluşturulmuştur (Şekil 16-19).

Zemin hakim periyot değerleri çalışma alanının orta kısmında, yerleşimin daha yoğun olduğu bölgede düşük değerler (< 1 sn) elde edilirken çalışma alanının batısında ise daha büyük (>1 sn) değerler elde edilmiştir (Şekil 16). Özellikle çalışma alanının batısında bulunan 49-60 arasındaki ölçü noktaları güncel alüvyon üzerinde alınmıştır ve bu bölgelerdeki yüksek periyot değerlerinin bu zemin ile ilişkili olduğu söylenebilir. Çalışma alanının doğusu (1-12 arası ölçüler) Çobandede volkanitlerine denk gelmekte ve alüvyon zemine göre daha sıkı ve sağlam olduğu söylenebilir. Bu nedenle bu bölgede daha küçük periyot değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 16. Zemin hakim periyot değerleri haritası

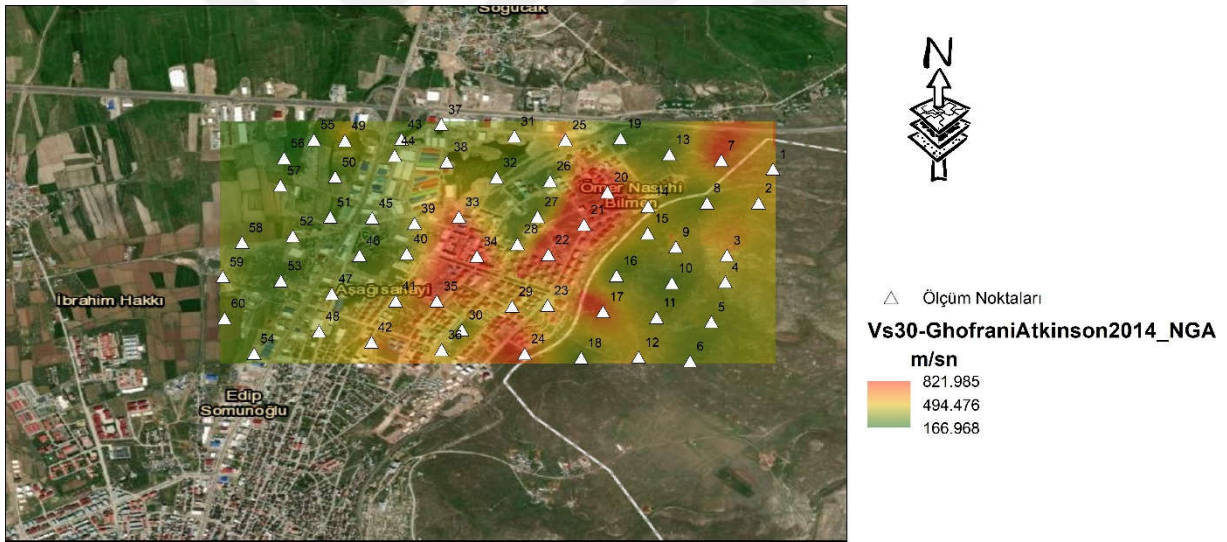
H/V genliği gevşek zeminlerde en büyük değere ulaşmakta ve bu da büyütme faktörü olarak bilinmektedir (Nakamura, 2019). Sert veya kompakt zeminlerde ise H/V genliği yaklaşık 1.0 değerine yaklaşmakta ve büyütmenin hiç olmadığı veya çok düşük olduğunu ifade etmektedir (Nakamura, 2000; 2019). Büyütme faktörü değerleri 1,0 ile 12 arasında değişmektedir (Şekil 17). En yüksek değerler çalışma alanının batısında elde edilirken çalışma alanının genelinde ise genellikle nispeten küçük büyütme faktörü değerleri elde edilmiştir.



Şekil 17. Büyütme faktörü değerleri haritası

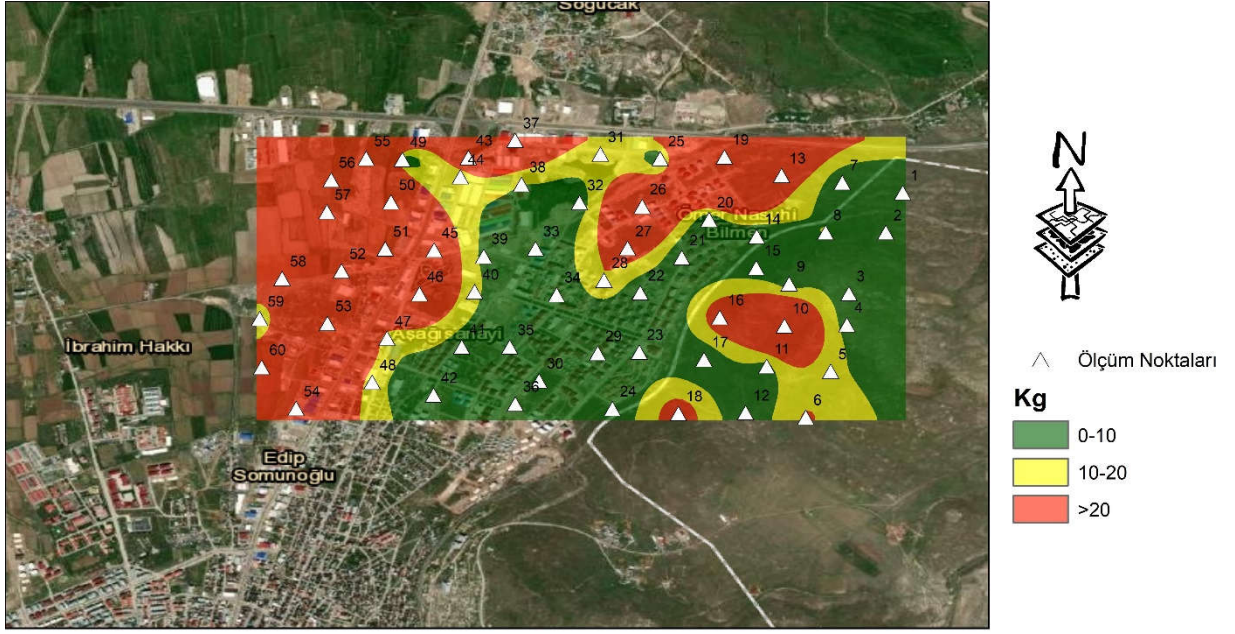
Yer altındaki ilk 30 metredeki tabakaların kesme dalgası hızlarının ortalaması (V_{s30}) Ghofrani ve Atkinson (2014) denklemi yardımı ile elde edilmiştir (Şekil 18). V_{s30} hızı

özellikler yerel zemin özelliklerinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmakta ve ülkemizde de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) zemin sınıfı belirlenirken kullanılan bir parametredir. TBDY’ye göre $V_{s30} < 180$ m/sn olan zeminler ZE, $180 < V_{s30} < 360$ m/sn olan zeminler ZD, $360 < V_{s30} < 760$ m/sn olan zeminler ZC, 760-1500 olan zeminler ZB ve > 1500 m/sn olan zeminler ZA sınıfı olarak tanımlanmıştır (TBDY, 2018). Özellikle çalışma alanının batısında düşük V_{s30} (< 360 m/sn) değerleri gözlenmiştir. Bu bölgedeki düşük V_{s30} değerleri bölgedeki alüvyon zemin ile ilişkilidir. Çalışma alanının orta kısmında yüksek V_{s30} değerleri elde edilirken batısında ise nispeten daha küçük V_{s30} değerleri gözlenmiştir. Aydınlar Mühendislik (2016) tarafından Erzurum ili Yakutiye ilçesi imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt raporu hazırlanmıştır. İlgili çalışmada yapılan MASW analizi sonucunda V_{s30} değerlerinin Hilalkent bölgesinde 300 ile 740 m/sn. arasında değiştiği ve Hilalkent’in batısından doğusuna doğru değerlerin giderek azaldığı rapor edilmiş ve bu tez kapsamında elde edilen V_{s30} değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 18. V_{s30} dağılım haritası

Hasar görebilirlik indisi değerleri (K_g) 0,1 ile 240 arasında geniş bir aralıkta elde edilmiştir (Şekil 19). K_g dağılım haritası üç farklı değer aralığı kullanılarak haritalanmıştır. 0 ile 10 arası orta-düşük, 10-20 arası yüksek ve > 20 ise yüksek K_g değeri olarak belirlenmiştir (Dikmen vd., 2016). Yüksek hasar görebilirlik indisi değerlerinin elde edildiği alanlarda düşük V_{s30} , yüksek büyütme faktörü ve yüksek periyot değerleri gözlenmiştir.



Şekil 19. Hasar görebilirlik indisi haritası

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Erzurum ili bulunduğu coğrafi konum itibarı ile aktif tektonik yapılar üzerinde bulunması yanı sıra ülkemizin en büyük faylarından olan Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fay zonlarına da yakın bir konumda bulunmaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi (AFAD) tarafından yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre 50 yılda %2 aşılma olasılığına göre (475 yıl geri dönüş periyodu) beklenen en büyük ivme değeri yaklaşık 0,45 g dir. Bu nedenle Erzurum ili için yerel zemin özelliklerinin belirlenmesi gelecekte meydana gelebilecek depremlerin zararının azaltılmasında önemli bir rol oynayacaktır.

Erzurum ili Yakutiye ilçesi Hilalkent Mahallesiinde yerel zemin özelliklerinin belirlenmesi amacı ile 60 farklı noktada tek istasyon mikrotremor ölçüleri alınmıştır. Nakamura yatay/düşey spektral oranlar yöntemi ile yapılan değerlendirme sonucunda elde edilen zemin hakim periyot değerleri 0,06 ile 1,7 sn arasında ve büyütme faktörü değerleri ise 1 ile 12 arasında değişmektedir. Özellikle çalışma alanının batısında bulunan alüvyon zeminlerde elde edilen yüksek periyot ve yüksek büyütme faktörü değerleri dikkati çekmektedir. Ampirik bağıntı yardımı ile zemin hakim periyodu ve büyütme faktörü değeri kullanılarak çalışma alanına ait Vs30 dağılım haritası oluşturulmuş ve elde edilen Vs30 değerleri 300 m/sn ile 820 m/sn arasında değişmektedir. Ayrıca, hasar görebilirlik indisi değerleri de zemin hakim periyodu ve büyütme faktörü değeri kullanılarak hesaplanmış ve 0,1 ile 240 arasında değiştiği görülmüştür. Çalışma alanının batı kısmında çok yüksek Kg, düşük Vs30, yüksek periyot ve yüksek büyütme faktörü değerleri elde edilmiştir. Bu bölgede planlanan ve mevcut yapılaşmanın yerel zemin özellikleri ile birlikte irdelenmesinin gelecekte meydana gelebilecek bir deprem sırasında hasar azaltmada önemli bir rol oynayacağı açıktır. Çalışma alanındaki mevcut yapılaşmaların ve üzerlerinde bulundukları zeminlerin de özellikleri belirlenerek rezonans durumu da irdelenmelidir.

Son olarak, imara esas planlar veya zemin etütlerinde jeoloji, jeofizik ve inşaat mühendislerinin birlikte çalışması ve birden fazla yöntemin birlikte uygulanması ile deprem zararlarının azaltılması ve depreme karşı huzurlu kentlerin oluşturulması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2022. <https://deprem.afad.gov.tr/ddakatalogu>, (Erişim Tarihi, 20.05.2022)
- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2011. 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.
- Aki, K., 1957. Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors. Bulletin of the Earthquake Research Institute, 35, 415-456.
- Akın, Ö., 2014. Arsin İlçe Merkezinde (Trabzon) Zemin Parametrelerinin Yüzey Dalgası Yöntemleriyle Belirlenmesi. Y.Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akkuş, M. F., 1965. Pasinler havzasının 1: 25 000 ölçekli detay petrol etüdü raporu: MTA Rap., 4087 (yayımlanmamış).
- Aktan, G., 2017. Senirkent Yerleşim Alanı Zemin Özelliklerinin Mikrotremor Ölçümleri İle Belirlenmesi. Y.Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Anonim, 2022. https://www.iris.edu/hq/inclass/animation/buildings_bedrock_effects_of_amplification_liquefaction (Son Erişim Tarihi, 20.05.2022)
- Atalay, İ., 1978. Erzurum Ovası ve Çevresinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi. Erzurum Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Aydın, U., Pamuk, E., ve Ozer, C., 2022. Investigation of soil dynamic characteristics at seismic stations using H/V spectral ratio method in Marmara Region, Turkey. Natural Hazards, 110(1), 587-606.
- Aydiner Mühendislik., 2016. Erzurum İli Yakutiye İlçesi İmar Planına Esas Jeolojik – Jeoteknik Etüt Raporu. Erzurum.
- Bayrak, E., Çağlar, Ö., Çakıcı, H., ve Kocadağistan, M. E., 2020. 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.
- Beker, Y., 2011. KTÜ Yerleşkesinde Mikrotremor Yöntemiyle Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi. Y. Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Bolbol, D., 2016. Mikrotremor Verilerinden Elde Edilen H/V Eğrilerinin Güvenilirliğinin ve Zemin Hakim Titreşim Periyodunun Nitelenmesi: Bornova (İzmir) Kent Merkezi Örneği. Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Glassmoyer, G., Fumal, T., Mork, P., Gibbs, J., 1991. On the observation and predictive GIS mapping of ground response in the San Francisco Bay region, California: fourth international conference on seismic zonation, Stanford, California, proc., III, 545–552

- Demir, H., 1985. Erzurum-Kars Deprem Bölgesinde İncelemeler, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı Anabilim Dalı Yay.
- Demiryürek, C. İ., 2005. Mikrotremor yöntemini kullanarak Kastamonu il merkezinin zemin hakim periyodunun, büyütme faktörünün ve K değerinin belirlenmesi. Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Dikmen, Ü., 2005. Mikrotremor Yöntemi, Mühendislik Jeofiziği ve Uygulamaları Kurs Notları-1, Bölüm 10, 313-345, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası.
- Dikmen, Ü., Hasancebi, N., Arısoy, M. Ö., Demirci, İ., 2016. Estimation of source, path and site effect from S-waves of local earthquakes in Izmir, western Turkey. *Jeofizik*, 18, 14-35.
- 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
- Erentöz, C., 1954. Aras havzası jeolojisi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 5(12), 1-53.
- Ergin, B., 2007. Antik Galata Bölgesi'nin (İstanbul) Mikrotremor Ölçümleri Esaslı Mikrobölgeleme Çalışması. Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Erinç, S., 1953. Doğu Anadolu Coğrafyası. İstanbul İstanbul Üniversitesi Yayınları.
- Field, E. H., Hough, S. E., ve Jacob, K. H., 1990. Using microtremors to assess potential earthquake site response: a case study in Flushing Meadows, New York City. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80(6A), 1456-1480.
- Field, E., ve Jacob, K. 1993. The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise. *Geophysical research letters*, 20(24), 2925-2928.
- Gök, Y., Altaş, N. T., ve Zaman, S., 2007. Aşkale Depremleri ve Etkileri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 17, 162-184.
- Ghofrani, H., ve Atkinson, G. M., 2014. Site condition evaluation using horizontal-to-vertical response spectral ratios of earthquakes in the NGA-West 2 and Japanese databases. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 67, 30-43.
- Ibs-Von Seht M, Wohlenberg J (1999) Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 250–259
- Kanai, K. 1954. Measurement of Micro-tremor. I. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 32, 199-209.
- Kanai, K., ve Tanaka, A. T., 1961. On microtremors, VII, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 39, 97-114.
- Kanai, K. 1966. Improved Empirical Formula for the Characteristic of Strong Earthquake Motions. In *Proc. Japan Earthq. Engng. Symp.*
- Kepçeoğlu, Ö., 2008. Bursa İli Güzelyalı Beldesi için Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması. Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ. İzmir.

- Keskin, M., 1998. Erzurum-Kars Platosunun arpışma Kökenli Volkanizmasının Volkanostratigrafisi ve Yeni K/Ar Yaş Bulguları Işığında Evrimi. Kuzeydoğu Anadolu MTA Derg. 120, 135-157.
- Konno, K., Ohmachi, T., 1998. Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor. Bulletin of the Seismological Society of America, 88(1), 228-241.
- Koçyigit, A., ve Canoglu, M. C., 2017. Neotectonics and seismicity of Erzurum pull-apart basin, East Turkey. Russian Geology and Geophysics, 58(1), 99-122.
- Kramer, S., 1996. Geotechnical earthquake engineering. Prentice Hall, New Jersey, p 653.
- Kuşcu, İ., 2019. Erzurum İlinin Depremselliği ve İl Merkezindeki Ortaöğretim Öğrencilerinin Depreme Duyarlılığı, Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Erzurum.
- Lahn, E. 1939. Kızılırmak ve Yeşilirmak Arasındaki Bölge Hakkında Rapor. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor, (1026).
- Lahn, E., 1956. Aras Nehri Amenajman Sahasının Jeolojik ve Sismolojik Durumu. Türk Coğrafya Dergisi, İstanbul, 15/16, 74-84.
- Lermo, J., ve Chávez-García, F. J. 1994. Are microtremors useful in site response evaluation?. Bulletin of the seismological society of America, 84(5), 1350-1364.
- Louie, J. N., 2001. Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. Bulletin of the Seismological Society of America, 91(2), 347-364.
- Mirzaoglu, M., Dikmen, Ü., 2003. Application of microtremors to seismic microzoning procedure. Journal of the Balkan Geophysical Society, 6(3), 143-156.
- Mucciarelli, M. 1998. Reliability and applicability of Nakamura's technique using microtremors: an experimental approach. Journal of earthquake engineering, 2(04), 625-638.
- 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, 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.
- Okada, H., Suto, K., 2003. The microtremor survey method. Society of Exploration Geophysicists.
- Omori, F. 1908. On micro-tremors. Bulletin of the Imperial Earthquake Investigation Committee, 2(1), 1-6.

- Ozer, C., Ozyazicioglu, M., Gok, E., Polat, O., 2019. Imaging the crustal structure throughout the East Anatolian Fault Zone, Turkey, by local earthquake tomography. *Pure and Applied Geophysics*, 176(6), 2235-2261.
- Özcan, G., 2013. Yapıların dinamik özelliklerinin mikrotremor ölçümleri ile belirlenmesi. Y.Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Özçep, F., 2007. Mikrobölgeleme: İlkeler ve Uygulamalar. TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 211.
- Özel, F., 2019. Comparison of Microtremor Measurements and 3-D Soil Structure Interaction Analysis for A Historical Masonry Arch Bridge Under Near-Fault and Far-Fault Earthquakes. Y. Lisans Tezi (İngilizce), Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.
- Pamuk, E., 2014. İzmir (Buca) bölgesinde yüzey dalgası yöntemleriyle elde edilen kayma dalgası hızlarının (vs) analizi ve mikrotremor uygulamaları. Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 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.
- Park, D., Rilett, L. R., Han, G., 1999. Spectral basis neural networks for real-time travel time forecasting. *Journal of Transportation Engineering*, 125(6), 515-523.
- Parlak, S., 2014. Alüvyonal Zeminlerde Mikrotremor ve MASW Yöntemleriyle elde Edilen HVSr Değerlerinin İncelenmesi. Y. Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Subaşı, O. Haşal, M. E. Özasan, B. İyisan, R. Yamanaka, H. & Chimoto, K. 2019. Bir boyutlu dinamik analiz ve mikrotremor ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması. *Teknik Dergi*, 30(5), 9459-9481.
- Taşdelen, S., Akyol, E., Çelik, B., 2015. Işıklı Beldesi (Denizli) yerleşim alanının jeolojik ve jeoteknik özellikler. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 3(2015), 1-15
- Tavlaşoğlu, E., 2021. Erzurum Aziziye Bölgesi Jeolojik ve Jeoteknik Çalışması. Y. Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Erzurum.
- TBDY (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.
- Tokel, S., 1965. Erzurum I 16-b2 ve Tonum H 46-c3 paftalarına ait jeolojik rapor: MTA Rap., 4118 (yayımlanmamış).
- Türkşanlı, S., 2018. Mikrotremor Verisi Sprektral Genlik Oranları Ters Çözümü İle Çanakkale Sismik Katman Modellemesi. Y. Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Tüzel, B., 2004. Isparta kent merkezinin zemin büyütmelelerinin mikrotremor yatay/düşey bileşen (H/V) tekniği ile belirlenmesi ve deprem tehlikesi. Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Yalçinkaya, E., 2010. Zemin neden bu kadar önemli. *Jeofizik Bülteni*, 63, 77-80.

- Yapıcı, H., 2015. Tarih Boyunca Erzurum'da Meydana Gelen Zelzeleler. Mavi Atlas, 5, 15-20.
- Yarbaşı, M., Bayrakturan, S., ve Kadirov, A., 2002. Atatürk Üniversitesi-Yenişehir (Erzurum) Yerleşim Alanı Zemini Geoteknik Özellikleri. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3, 289-298.
- 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.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Fatih KARSLI
Uyruğu:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Erzurum Ziya Gökalp Lisesi
Lisans:	Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	
Jeoloji Mühendisleri Odası	