

PAPER DETAILS

TITLE: Aktif ve pasif kaynakli yüzey dalgasi verileri kullanilarak yer etkisine dayali mikrobölgelendirme: Gümüşhane örneği

AUTHORS: Yasemin Beker Usta,Nilgün Lütüye Sayil

PAGES: 639-653

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3655723>

Aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası verileri kullanılarak yer etkisine dayalı mikrobölgelendirme: Gümüşhane örneği

Microzonation based on site effect using active and passive source surface waves data: The case of Gümüşhane

Yasemin BEKER USTA^{*1}, Nilgün SAYIL²

¹Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

²Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 12.01.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 02.05.2024

Öz

Gümüşhane ili, sismik aktivite açısından sakin bir bölge olmakla birlikte Kuzey Anadolu Fay Zonu'na (KAFZ) yakın olması sebebiyle deprem tehlikesi altındadır. Dolayısıyla, hızlı ve yoğun bir yapılaşma süreci içerisinde olan Gümüşhane ili merkez ilçesinde, yerel zemin etkilerinin ortaya çıkarılması büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla, Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSr) ve Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (MASW) uygulanarak yer etkilerinin tespitinde önemli parametreler olan baskın frekans/periyot, büyütme potansiyelini tanımlayan HVSr ve ilk 30 metreye ait ortalama S-dalgası hızı (V_{S30}) hesaplanmıştır. Tek istasyonda toplanan mikrotremor verilerinden inceleme alanı için belirlenen baskın frekanslar 1.21-13.40 Hz, baskın periyotlar 0.07-0.82 sn, büyütme potansiyel değerleri 1.12-9.76 ve V_{S30} değerleri ise 300.2-677.2 m/sn arasında değişmektedir. Ayrıca hesaplanan V_{S30} değerleri kullanılarak inceleme alanı için TBDY (2018), NEHRP (2020) ve Eurocode-8 (2004)'e göre zemin sınıfları tanımlanmıştır. HVSr ve MASW yöntemlerinden elde edilen ölçüm parametreleri kullanılarak çalışma alanına ait baskın frekans, baskın periyot, büyütme potansiyel riski ve V_{S30} değerlerine ait mikrobölgelendirme haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalara göre Gümüşhane ili merkez ilçesinde yüksek baskın frekans ve düşük baskın periyot bölgelerinin düşük büyütme potansiyeline ve yüksek V_{S30} değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışma ile Gümüşhane ili merkez ilçesi için farklı jeofizik yöntemlerden elde edilen zemin parametrelerinin birbirleriyle ve bölgenin jeolojik yapısıyla iyi bir uyum gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW), Gümüşhane, HVSr, Mikrobölgelendirme, Mikrotremor, Yer etkisi

Abstract

Although Gümüşhane province is a quiet region in terms of seismicity, it is under earthquake danger due to its proximity to the NAFZ. Therefore, it is of great importance to reveal the local site effects in the central district of Gümüşhane province, which is in a rapid and intense construction process. For this purpose, the predominant frequency (or period), horizontal to vertical spectral ratio (HVSr) defining the amplification potential and S-wave velocity (V_{S30}) values, which are important parameters in the detection of site effects, were calculated by applying the HVSr and multichannel surface wave analysis (MASW). The predominant frequencies determined for the investigation area from microtremor data collected at a single station vary between 1.21-13.40 Hz, dominant periods between 0.07-0.82 sec, amplification potential values between 1.12-9.76 and V_{S30} values between 300.2-677.2 m/sec. Additionally, using the calculated V_{S30} values, soil classification was defined for the investigation area according to TBDY (2018), NEHRP (2020) and Eurocode-8 (2004). Using the measurement parameters obtained from HVSr and MASW methods, microzonation maps of the predominant frequency, predominant period, amplification potential risk and V_{S30} values of the study area were created. According to these maps, it was seen that the high predominant frequency and low predominant period regions in the central district of Gümüşhane province had low magnification potential and high V_{S30} values. With this study, it has been concluded that the ground parameters obtained from different geophysical methods for the central district of Gümüşhane province are in good harmony with each other and with the geological structure of the region. With this study, it has been concluded that the site effect parameters obtained from different geophysical methods for the central district of Gümüşhane province are in good harmony with each other and with the geological structure of the region.

Keywords: Multichannel analysis of surface waves (MASW), Gümüşhane, HVSr, Microzonation, Microtremor, Site effect

*Yasemin BEKER USTA; yaseminbeker@gumushane.edu.tr

1. Giriş

1. Introduction

Ülkemizde zamanla yapılaşmanın geliştiği alanlarda zemin karakteristiklerinin yapılar üzerinde oluşturacağı etkinin belirlenmesi çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü, yeni yapılaşmanın gerçekleştirileceği veya yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarda bu etkidenden doğacak riskin afet öncesinde belirlenmesi gerekmektedir. Yer hareketinin zemin tabakalarından geçtikten sonra yeryüzüne ulaşmasına kadar olan süre içerisinde geçirmiş olduğu değişim yer etkisi olarak tanımlanmaktadır. Afetlerden kaynaklı can kaybı ve hasarların azaltılmasında yer etkisine bağlı dinamik zemin parametrelerinin ve yerin S-dalga hızının elde edilmesi çok önemlidir. Kentsel gelişim süreci kapsamında, arazi kullanımı için potansiyel tehlikenin belirlenmesine yönelik mikrobölgeleştirme çalışmaları gerçekleştirilmelidir. Mikrobölgeleştirme çalışmaları bir bölgedeki zemin-yapı arasındaki ilişki, heyelan/toprak kayması problemleri ve deprem tehlike parametrelerinin tespiti etkin bir biçimde yapılabilmektedir. Afet öncesi ve sonrasında zemin davranışında meydana gelen değişim hakkında bilgi sahibi olmak için jeofizik araştırmalar yapılmaktadır. Mikrobölgeleştirme çalışmalarında S-dalga hızı, zemin tabaka kalınlıkları, zemin baskın frekansı/periodyu, zemin büyütmesi ve dinamik/elastik parametreler hesaplanmaktadır.

Farklı jeofizik yöntemler kullanılarak kentsel gelişim alanlarında çok sayıda mikrobölgeleştirme çalışması yapılmıştır (Güzel, 2009; Akın & Sayıl, 2016; Ateş & Uyanık, 2019; Akkaya & Özvan, 2019; Keskinsezer & Dağ, 2019; Caielli vd., 2020; Fadli vd., 2023). Bir sismik olayda kuvvetli yer hareketi ile zemin tabakasına ait baskın frekans değeri aynı olduğu zaman rezonans durumu meydana gelecektir. Bunun sonucunda zemin tabakası üzerinde kurulu olan yapılarda büyük hasarlar oluşacaktır. Bu sebeple yeni kurulacak yerleşim alanlarında öncelikle zemin baskın frekansı/periodyu ve zemin büyütmesinin, kurulu olan yapılar için ise yapı baskın frekansının hesaplanması gerekmektedir (Putti & Satyam, 2020).

Uygun ve doğru mühendislik sismolojisi çalışmaları neticesinde zemin karakteristiğinin tanımlanmasıyla, deprem gibi yer hareketlerinin yerel etkilerinden korunmak mümkün olacaktır. Zemin ve mühendislik ana kayası boyunca S-dalgası hız (Vs) profillerinin elde edilmesi depreme dayanıklı yapı tasarım çalışmalarında ve imar planının geliştirilmesinde önem taşımaktadır. Bu nedenle, yerleşime uygunluk, afet risklerine karşı güvenli kentleşme ile yaşam kalitesi yüksek mekanların oluşturulmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır (Tüdeş, 2001; Akın, 2020; Özdağ vd., 2020; Öztürk vd., 2021; Acar vd., 2022; Güven, 2022; Arrahman vd., 2023; Chopra vd., 2023; Wibowo vd., 2023; Kim vd., 2024; Pomsopin vd., 2024).

Bu çalışma son yıllarda hızlı bir yapılaşma sürecinde olan Gümüşhane ili merkez ilçesinde temel jeofizik yöntemler (Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi, Mikrotremor Araştırma Yöntemi, MASW) kullanılarak zemine ait jeofizik özelliklerin belirlenmesi ve farklı büyütme potansiyeline sahip alanların yerel zemin etkileri açısından değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Gümüşhane ili Kuzey Anadolu Fay Zonu'na (KAFZ) oldukça yakın mesafede yer almaktadır. Dolayısıyla KAFZ üzerinde meydana gelebilecek herhangi bir depremden etkilenme potansiyeline sahip olduğu için Gümüşhane ili merkez ilçesine ait mikrobölgeleştirme haritaları oluşturulmuştur.

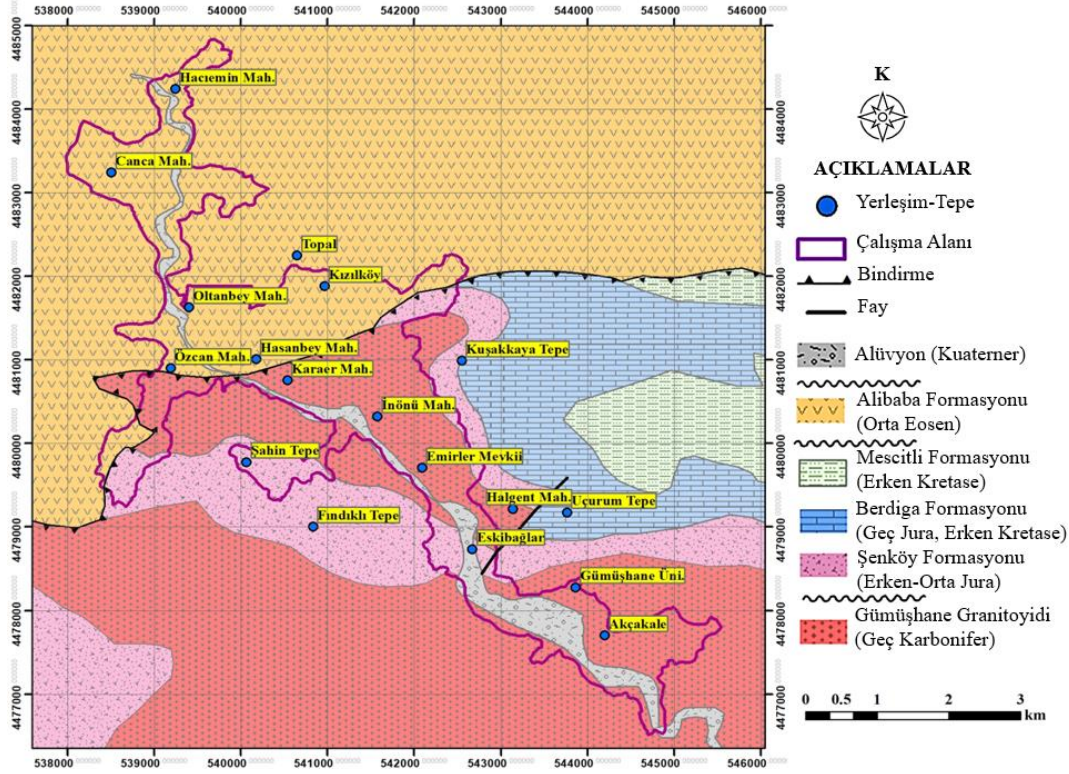
2. İnceleme alanının jeolojisi ve depremselliği

2. The geology and seismicity of the investigation area

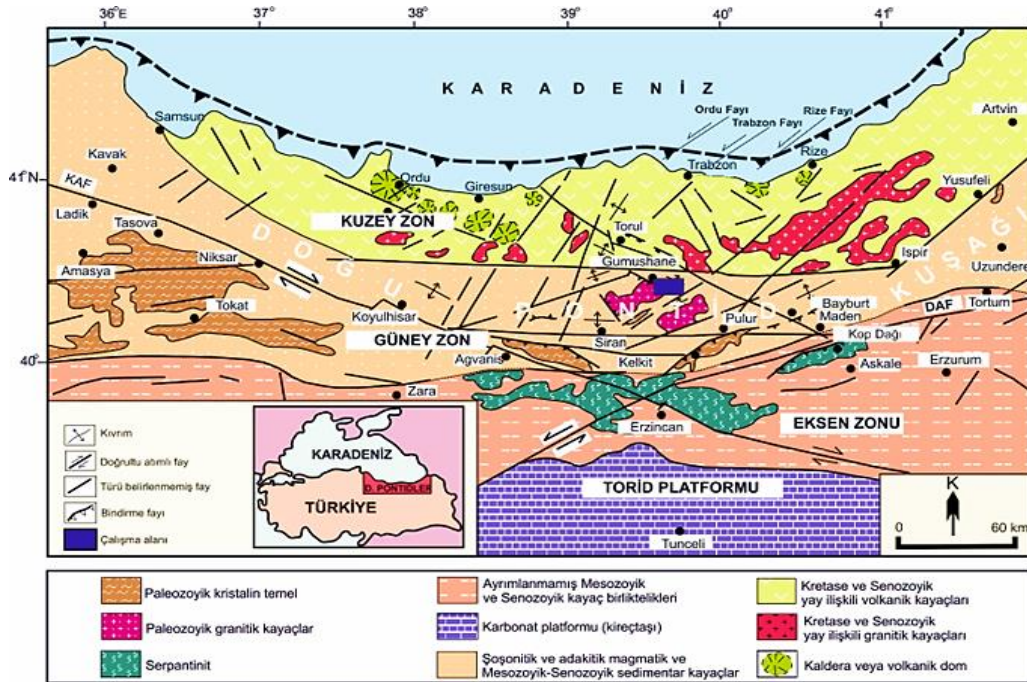
İnceleme alanı olarak seçilen, Gümüşhane İli Merkez ilçesi, dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahip olan, Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Doğuda Bayburt, batıda Giresun, kuzeyde Trabzon ve güneyde Erzincan illeri ile komşu olan Gümüşhane 38° 45' - 40° 12' doğu boylamları ve 39° 45' - 40° 50' kuzey enlemleri arasında yer alır. Merkez ilçenin yüzölçümü 6.668 km² ve deniz seviyesinden olan ortalama yüksekliği 1210 m'dir. Gümüşhane İl'inde yeryüzü şekilleri bakımından güney kesim yüksek bir plato özelliğine sahipken, çalışma alanı olan Merkez ilçesinin bulunduğu kuzey kesim oldukça engebelidir.

Gümüşhane İli, Pontid Orojenik Kuşağının doğusunda ve çoğunlukla tortul kayaların yüzeylenmiş olduğu Doğu Pontidler'in Güney Zonunda yer almaktadır. Gümüşhane Merkez ilçesinin yerleşim alanı ve yakın çevresinde Karbonifer (Geç Paleozoyik)'den Eosen'e kadar uzanan aralıkta oluşmuş kayalar yüzeylenmektedir. İnceleme alanının temelini oluşturan karbonifer yaşlı Gümüşhane granitoyidi, en yaşlı birimdir ve Şenköy Formasyonu (Kandemir, 2004) üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Geç Jura-Erken Kretase yaşlı Berdiga Formasyonu uyumlu olarak Şenköy Formasyonunun üzerine gelir (Pelin, 1977). Bu

formasyon, gri-bej renkli, tümüyle kalın-yer yer masif katmanlı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşur. Kırıntılı tortul malzemeli kireçtaşlarını içeren Mescitli Formasyonunun üzerine açılal uyumsuzlukla Eosen yaşlı Alibaba Formasyonu gelmektedir (Tokel, 1972). Volcano-tortul istif özelliği taşıyan Alibaba formasyonu çoğunlukla arazide ince bir taban konglomerasıyla başlamaktadır (Tüdeş, 2001). İnceleme alanındaki en genç oluşuklar yaşlı alüvyon ve taraçalardır (Şekil 1).



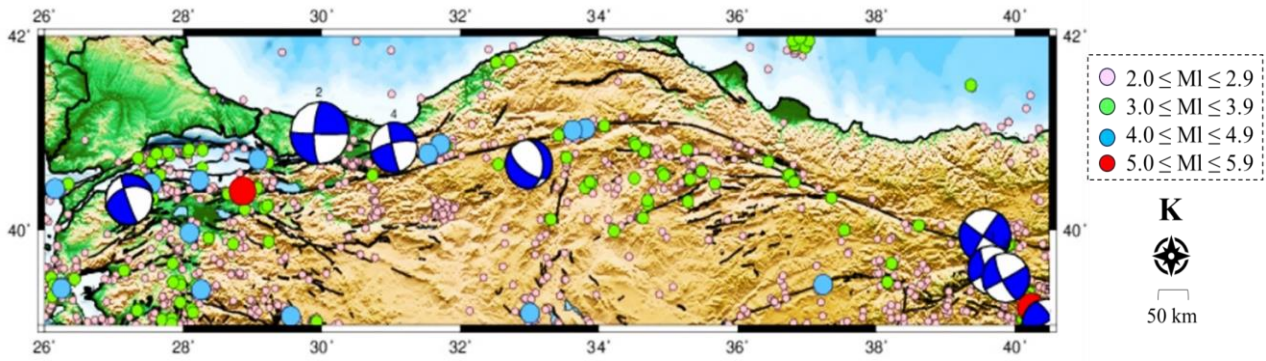
Şekil 1. İnceleme alanı ve yakın civarına ait jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek alınmıştır)
Figure 1. Geology map of the investigation area and its surrounding (modified from Güven, 1993)



Şekil 2. Doğu Pontidlerin başlıca tektonik zonları ve birimleri (Alkan vd., 2019'dan düzenlenerek alınmıştır)
Figure 2. Main tectonic features and tectonic zones of the Eastern Pontides (modified from Alkan et al., 2019)

Doğu Pontidler, sedimantolojik, magmatik ve tektonik özelliklere bağlı olacak şekilde Bektaş ve Yılmaz (1995) tarafından üç tektonik alt birime ayrılmıştır. Bu birimler, Kuzey Zon, Güney Zon ve Eksen Zonu'dur (Şekil 2). Kuzey Zon, genel olarak Geç Kretase ve Tersiyer yaşlı volkanik ve granitik kayalarla temsil edilirken, Güney Zon ağırlıklı olarak Erken Jura yaşlı tortul birimlerle temsil edilmektedir (Dokuz, 2000; Dokuz & Tanyolu, 2006). Eksen Zonu ise Jura-Kretase yaşlı ofiyolitik-olistostromal melanj ve çoğunlukla ultramafik kütleler ile karakterize edilmektedir (Eyüboğlu vd., 2010).

Gümüşhane ve yakın civarının depremselliği göz önüne alındığında, konumu itibarıyla buradaki kıvrım tektoniğinin ve kırık sistemlerinin etkili olduğu söylenebilmektedir. KAFZ'a yakın olan bölgelerdeki kırık zonları normal, ters ve doğrultu atımlı faylardan meydana gelmektedir. Buna karşın kıvrımlı yapılar asimetric antiklinal ve senklinallerden oluşmaktadır (Taş vd., 2003). Ülkemizin en aktif fay zonlarından biri olan KAFZ'nun Gümüşhane'ye olan uzaklığı yaklaşık 80 km'dir. Son yıllarda hızlı bir yapılaşma sürecine girmiş olan şehirde, yüksek katlı binalar çoğunlukla Harşit Çayı boyunca inşa edilmiş ve yoğun yerleşimler özellikle bu kısımlarda yer almaktadır. Harşit Çayı boyunca zeminin jeolojik yapısına bakıldığında, buralarda alüvyonal birim hakimdir. Dolayısıyla, Gümüşhane ili hem KAFZ'a olan yakınlığı hem de gevşek zemin karakteristiğine sahip alanlardaki yoğun yerleşimlere sahip olması bakımından büyük ($M>6.0$) ve yıkıcı nitelikteki bir depremden etkilenebilecek potansiyeldedir (Şekil 3, Tablo 1). Ayrıca Gümüşhane İli'nin Kelkit ilçesinde 17 Aralık 2023 tarihinde 4.3 ve 18 Aralık 2023 tarihinde 3.9 büyüklüğünde art arda iki deprem meydana gelmiştir.



Şekil 3. 1976-2023 yıllarında KAFZ ve çevresinde meydana gelen deprem aktivitesi (USGS, 2024) ile büyük depremlerin ($M>6.0$) odak mekanizma çözümleri (GCMT, 2024)

Figure 3. Earthquake activity (USGS, 2024) focal mechanism solutions of major earthquakes ($M>6.0$) along the NAFZ and surrounding region for the period of 1976–2023 (GCMT, 2024)

Tablo 1. Şekil 3'te odak mekanizması çözümleri verilen büyük depremlerin ($M>6.0$) listesi (KOERİ, 2024)
Table 1. List of major earthquakes ($M>6.0$) whose focal mechanism solutions are given in figure 3 (KOERİ, 2024)

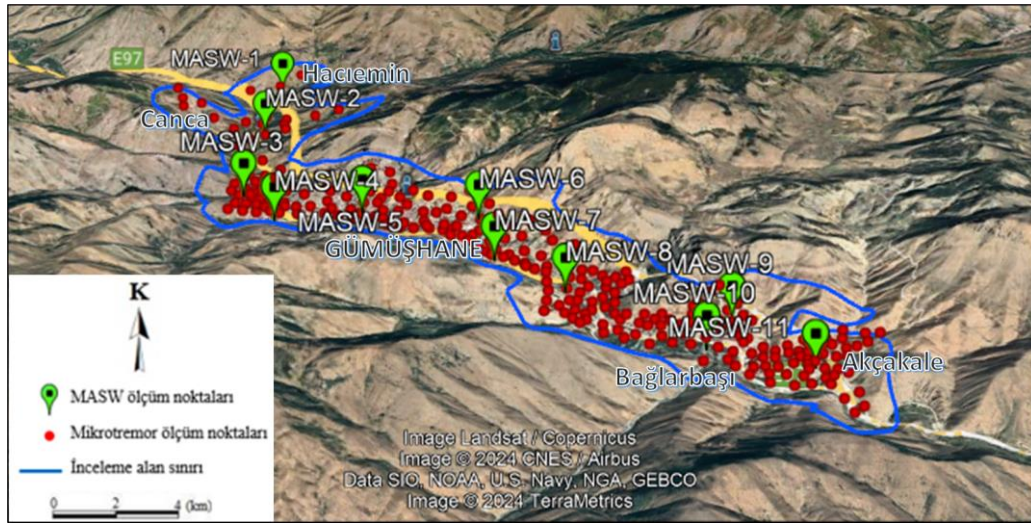
Tarih (Gün.Ay.Yıl)	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Magnitüd (M)	Odak derinliği (h, km)
05.07.1983	40.32	27.22	6.1	10
13.03.1992	39.94	39.57	6.6	15
17.08.1999	41.01	29.92	7.6	17
12.11.1999	39.58	39.66	6.0	15
06.06.2000	40.69	32.99	6.0	10
27.01.2003	39.50	39.87	6.1	10
01.05.2003	39.00	40.46	6.4	10
23.11.2022	40.86	31.04	6.1	12

3. Materyal ve yöntem

3. Material and method

Gümüşhane ili merkez ilçesinde yerel zemin karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSr) ve MASW uygulanmıştır. Yaklaşık 7 km²'lik bir alana sahip olan merkez

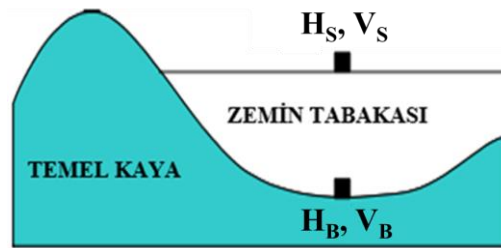
ilçesinde, 279 tek istasyonda alınan mikrotremor ölçüm noktalarını temsil edecek şekilde ve farklı jeolojik birimler üzerinde 11 adet MASW ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. İnceleme alanındaki ölçüm noktalarının konumları

Figure 4. Locations of measurement points in the investigation area

Tek istasyon mikrotremor ölçümleri Güralp marka CMG-6TD sayısal çıkışlı portatif üç bileşenli (doğu-batı, kuzey-güney ve düşey) hız ölçer sismometre kullanılarak alınmıştır. Ölçüm noktaları arasındaki mesafeler sabit olmayıp (100-400 m), konumları yerleşim düzenine ve arazi yapısına uyumlu olacak şekilde seçilmiştir. Ayrıca gündüz kültürel gürültülerin yoğun olması sebebiyle daha sağlıklı kayıtlar elde edebilmek için tüm ölçümler gece saatlerinde (23:00-03:00) alınmıştır. Verilerin kayıt süreleri 15-35 dk arasında olup, ölçümlerdeki örnekleme aralığı 100 Hz'dir. Elde edilen kayıtlar "Geopsy" (Geopsy, 2022) programı ile Yatay/Düşey Spektral Oran (Nakamura Tekniği, HVSR) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Nakamura (1989)'a göre mikrotremorlar derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın noktalardan gelen titreşimlerdir. Nakamura (1989) tekniğinin temel varsayımına göre mikrotremorların yatay bileşenleri zemin tabakasının sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı olarak önemli büyütmelelere uğrarken, düşey bileşen zemin tabakasından etkilenmemektedir. Bu teknik, mikrotremorları Rayleigh dalgaları ile açıklamıştır. Fourier frekans bölgesinde zemin tabakasının yüzeyi ile tabanındaki yatay ve düşey bileşenlere ait dört adet genlik spektrumu (Y_s , D_s , Y_B , D_B) tanımlanmıştır (Şekil 5).

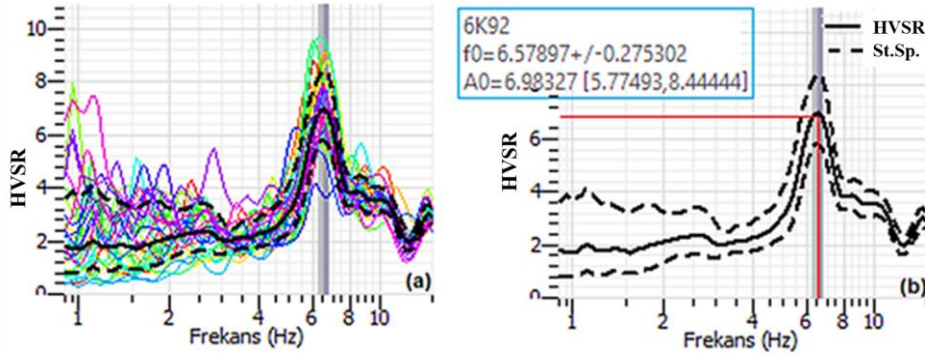


Şekil 5. Nakamura (1989) tarafından önerilen basit model (H_s ve V_s , yüzeydeki hareketin yatay ve düşey bileşen genlik spektrumları, H_B ve V_B tabandaki hareketin yatay ve düşey genlik spektrumları)

Figure 5. Simple model proposed by Nakamura (1989) (H_s and V_s are horizontal and vertical component amplitude spectra of motion on the surface, H_B and V_B are the horizontal and vertical amplitude spectra of the motion on the basement)

Mikrotremor kaydının her bir bileşeni için ilk olarak ani genlik değişimlerinden kaynaklı trend etkileri giderilmiştir. Daha sonra mikrotremor kayıtlarındaki çok düşük ve yüksek frekanslardaki gürültüleri atmak için 0.5-20 Hz band geçişli Butterworth süzgeç uygulanmıştır. Çözümlemede kullanılacak pencere boyu için farklı pencere boyları (10, 20, 25, 40 sn) Sesame kriterlerine (SESAME, 2005) göre denenmiş ve en uygun pencere boyunun 20 sn olduğu belirlenmiştir. Zaman ortamındaki veriye Kosinüs penceresi %5 oranında uygulanarak oluşacak enerji sızması engellenmiştir. Daha sonra zaman ortamındaki verinin Fourier dönüşümü

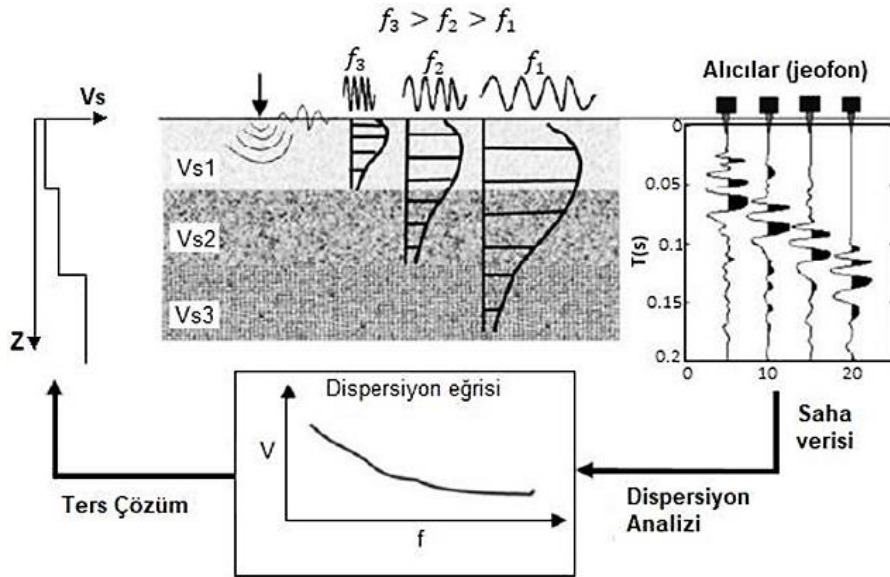
ile frekans ortamında üç bileşen genlik spektrumları hesaplanmıştır. Elde edilen yatay bileşenlerin genlik spektrumlarından (doğu-batı ve kuzey-güney) karekök ortalama ile tek bir ortalama yatay bileşen genlik spektrumu hesaplanmış ve bu ortalama yatay bileşen genlik spektrumu dikey bileşen genlik spektrumuna oranlanarak ölçüm noktası için HVSR eğrisi elde edilmiştir. Böylece HVSR eğrisi üzerinden maksimum pike karşılık gelen baskın frekans (f_0) değeri ve o nokta için olan büyütme potansiyeli belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. (a) HVSR spektral oran eğrisi. (b) HVSR eğrisi üzerinde belirlenen baskın frekans (f_0) ve büyütme potansiyeli (A_0)

Figure 6. (a) The HVSR curve. (b) predominant frequency (f_0) and amplification potential (A_0) on HVSR curve

MASW yönteminin temeli, yüzey dalgalarının dispersif özelliğinden yararlanarak tabakalı yeraltı için 1-boyutlu S-dalgası hız profillerinin elde edilmesine dayanmaktadır. Tahribatsız sismik yöntemlerden biri olan MASW, kolay uygulanabilir bir arazi düzeneği ve balyoz gibi basit bir kaynak ile güçlü yüzey dalgası enerjisi üretebilmektedir. Veri işleme, uygulama adımları oldukça basittir ve işleme parametreleri güvenilir biçimde seçilebilmektedir. Ayrıca, farklı türde yüzeye yakın anomalilere en etkili cevabı yüzey dalgaları vermektedir (Park vd., 1999). MASW, üç aşamada uygulanmaktadır. Bunlar veri toplama, dispersiyon eğrisinin hesaplanması ve ters çözüm ile hız profilinin elde edilmesidir (Şekil 7). Arazide veri toplama düzeneği sismik kırılma yöntemi ile aynıdır, sadece veri toplamada farklı parametreler seçilir ve sismik kırılmaya göre daha fazla avantaj sağlar (Xia vd., 1999; Miller vd., 1999). MASW’de kolaylıkla yüksek sinyal/gürültü oranı elde edilebilmektedir. Ölçümlerdeki serim boyu, alıcılar arası mesafe ve ilk alıcıya olan uzaklığı, ulaşılacak istenen araştırma derinliği ile dispersiyon eğrisinin elde edilmesini etkileyen parametrelerdir.

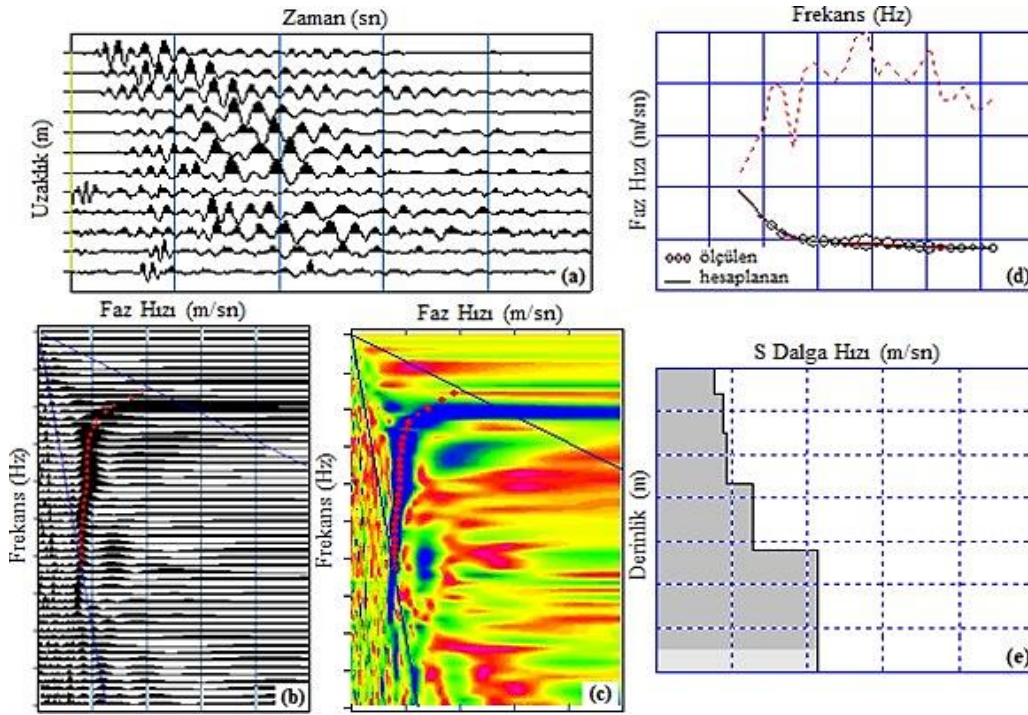


Şekil 7. MASW’nin veri işlem şeması (Dikmen, 2009)

Figure 7. Data processing scheme of MASW (Dikmen, 2009)

İnceleme alanındaki her bir farklı jeolojik birimlerdeki 30 metre derinliğe kadar olan ortalama S-dalgası hız (V_{S30}) değerini belirlemek amacıyla Seisronix RAS-24 marka, 12 kanallı sismograf, kaynak olarak 10 kg

ağırlığında balyoz ve 4.5 Hz'lik düşey alıcılar kullanılmıştır. Her bir profildeki serim boyu 75 m'dir. Ofset mesafesi 10 m ve alıcılar arası mesafe de 5 m olarak ayarlanmıştır. Kayıtlarda örnekleme aralığı 0.5 msn ve kayıt süresi 1 sn'dir. Ayrıca düz ve ters atışlarda sinyal/gürültü oranını arttırmak amacıyla ölçümler 3'er adet yığma işlemi yapılarak alınmıştır. Toplamda 11 profilden elde edilen MASW kayıtlarının değerlendirilmesinde SeisImager/Pickwin yazılımı kullanılmıştır (SeisImager, 2022). Verilerin ilk değerlendirme aşaması, faz kayması tekniğinin kullanılmasıyla frekans-faz hızı ilişkisi ile başlamaktadır (Park vd., 1999). Bu ilişki grafiğinde maksimum genliklere karşılık gelen temel mod piklenmiştir. Sönümlü en küçük kareler yaklaşımı ile ters çözüm işlemi gerçekleştirilerek, ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrilerinin çakışması sağlanmıştır. Bu şekilde her bir profil için derinliğe bağlı 1 boyutlu S-dalgası hız profili elde edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. (a) MASW verisi. (b) en büyük genliklerin piklenmesi. (c) en büyük genliklerin renklendirilmesi. (d) ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrilerinin çakışması. (e) 1-boyutlu S dalgası hız profili

Figure 8. (a) MASW data. (b) peaking of maximum amplitudes (c) coloring of maximum amplitudes. (d) matching of measured and calculated dispersion curves. (e) 1-dimensional S wave velocity profile

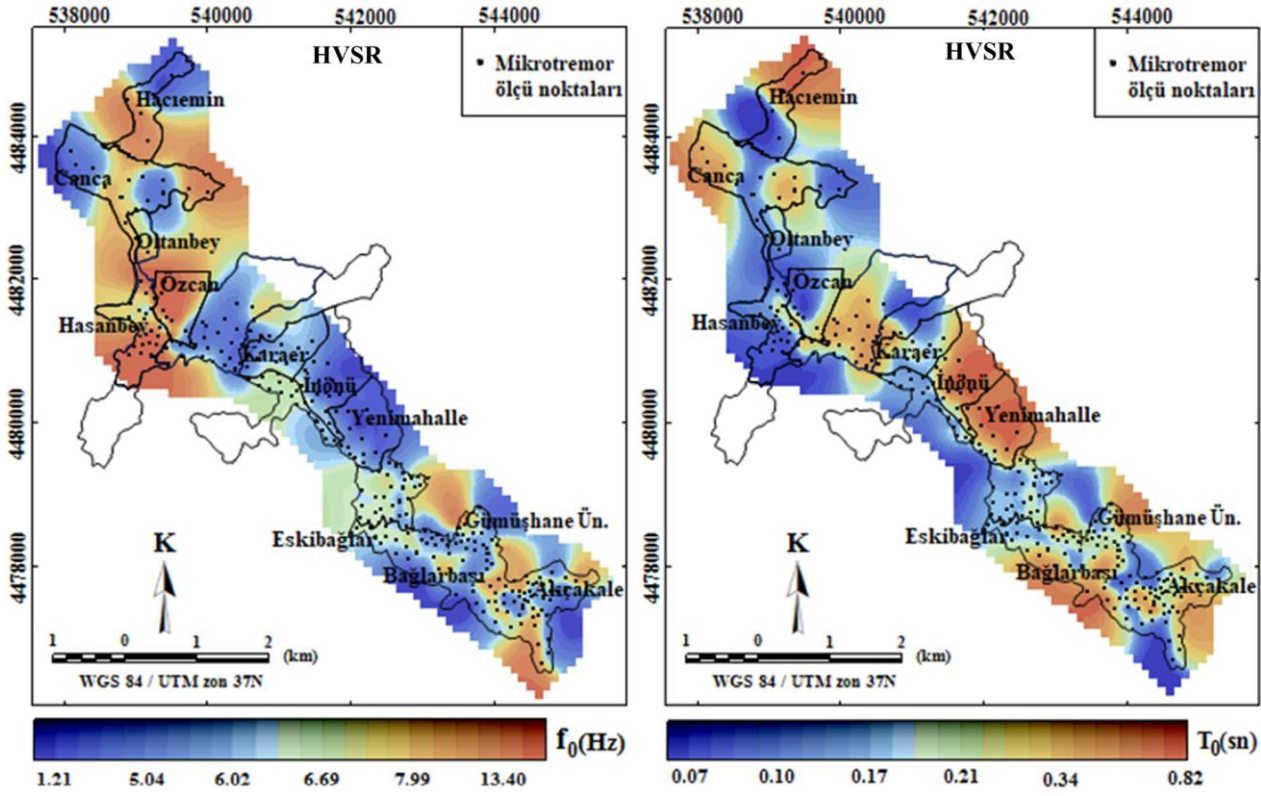
4. Bulgular

4. Results

4.1. Tek istasyon mikrotremor ölçümleri

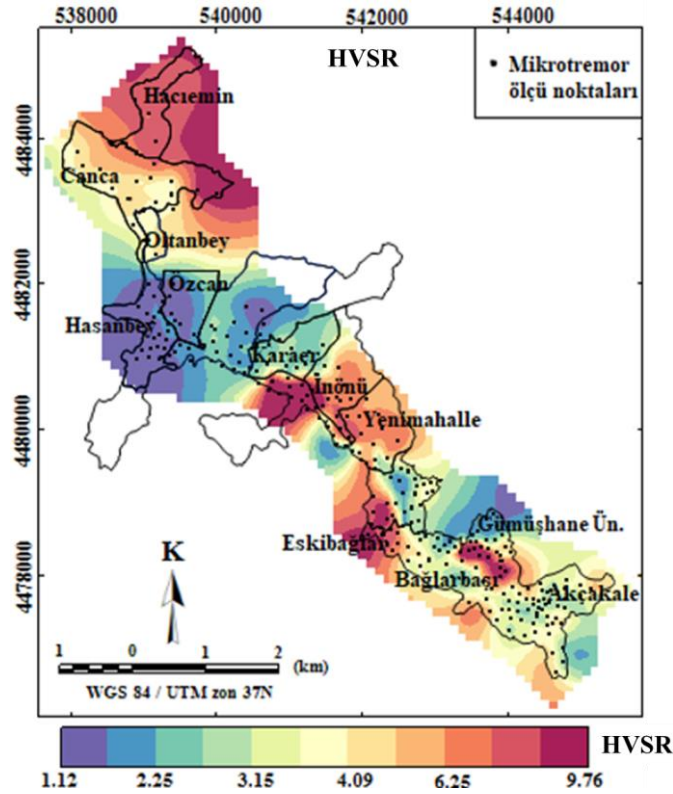
4.1. Single station microtremor measurement results

HVSR tekniğine göre değerlendirilen 279 istasyondaki mikrotremor kayıtlarından Gümüşhane ili merkez ilçesine ait baskın frekans değerleri (f_0) ile büyütme potansiyeli (A_0) belirlenmiştir. İnceleme alanı için HVSR'den elde edilen baskın frekans değerleri 1.21-13.40 Hz arasında ve baskın periyot değerleri de 0.07-0.82 sn aralığında değişmektedir (Şekil 9). Merkez ilçe için oluşturulan baskın frekans dağılım haritasına bakıldığında, çoğunlukla kuzey-batı kesiminde yüksek baskın frekans (6.02-13.40 Hz) değerlerinin olduğu görülmektedir. Buna göre en yüksek baskın frekans değerlerinin bulunduğu alanlar için Hasanbey, Oltanbey ve Özcan mahalleleri gösterilebilir. Bununla birlikte inceleme alanının kuzey-doğu kesiminde Gümüşhane granitoyidi üzerinde yer alan Bağlarbaşı ve Akçakale mahallelerinde yine yüksek baskın frekanslar etkin durumdayken, Harşit nehri boyunca alüvyon birimden (İnönü mahallesi ve Yenimahalle) elde edilen baskın frekanslar oldukça düşük değerler sergilemektedir (1.21-6.02 Hz).



Şekil 9. HVSR eğrilerinden elde edilen inceleme alanına ait baskın frekans(sol) ve periyot (sağ) dağılım haritası

Figure 9. Predominant frequency (left) and period (right) distribution map of the investigation area obtained from HVSR curves



Şekil 10. HVSR eğrilerinden elde edilen inceleme alanına ait büyütme potansiyellerinin dağılım haritası

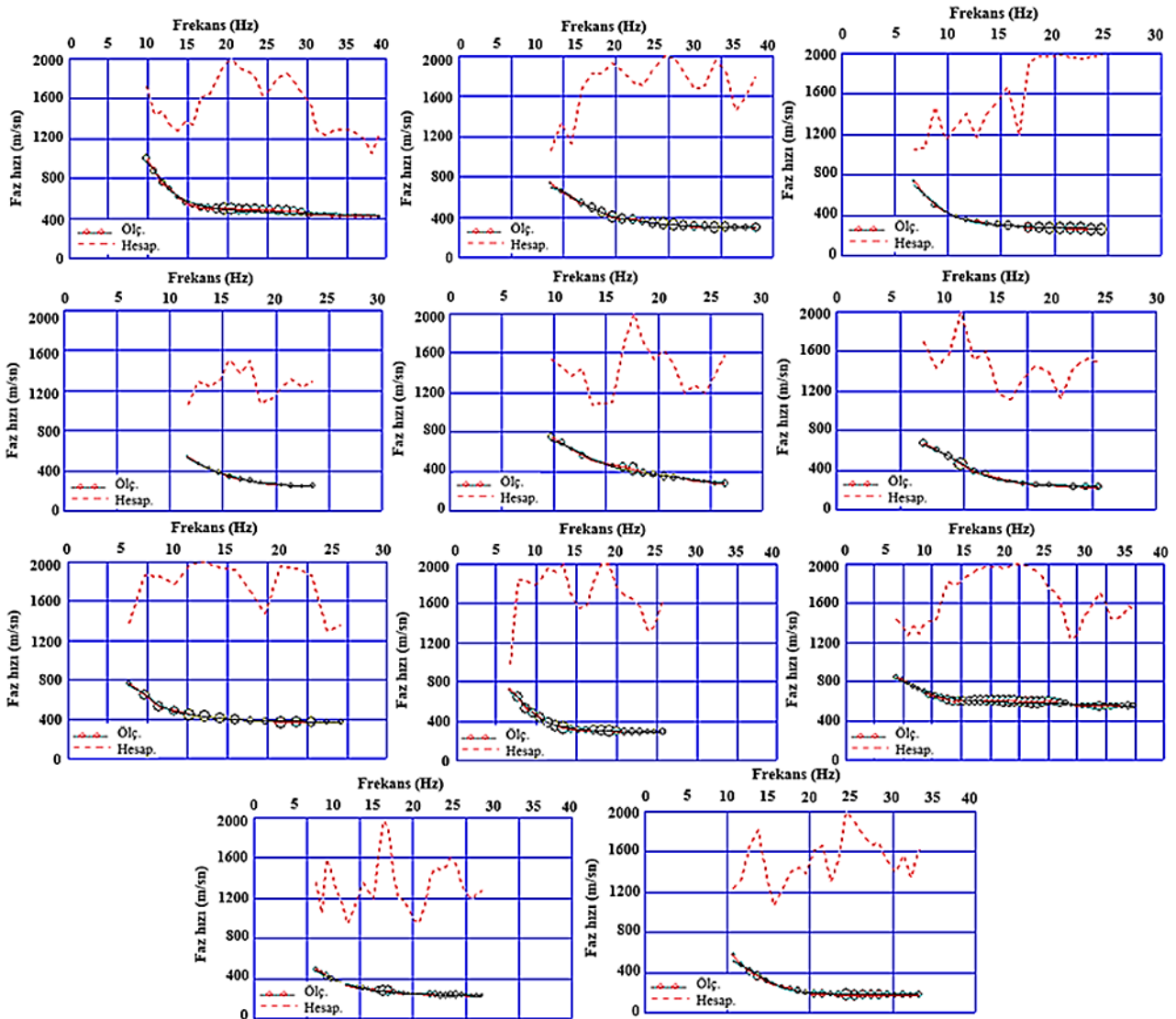
Figure 10. Distribution map of amplification potentials of the investigation area obtained from HVSR curves

Harşit nehri boyunca yüksek katlı binaların olduğu kısımlarda büyütme potansiyelleri, granitik kayalara oranla çok daha fazladır. Eskibağlarbaşı mahallesinde bulunan yeni Gümüşhane Devlet hastanesinin bulunduğu alanda büyütme potansiyelleri en yüksek seviyelere sahiptir. Ayrıca Hacıemin ve Canca mahallelerinde yüksek baskın frekanslar gözlemlenirken, bu bölgelerdeki üst zemin tabakasının kumlu-çakıllı, az kumlu çakıllı silt ve kırıklı parçalı bazaltlardan oluşmuş olması düşük büyütme potansiyeli sergilemesine sebep olmaktadır. Gümüşhane granitoyidi üzerinde bulunan Bağlarbaşı mahallesinde en düşük seviyelerden en yüksek seviyelere varan büyütme potansiyelleri gözlenmiştir. Bunun nedeni, kırıklı parçalı granitik özellikte olan Gümüşhane granitoidinin farklı ayrışma derecelerine sahip olmasıdır (Tüdeş, 2001). Elde edilen mikrotremor kayıtları neticesinde, inceleme alanı içerisindeki en sağlam zemin özelliğine sahip yer Hasanbey mahallesi olarak değerlendirilmiştir. Burada baskın frekanslar en yüksek değerlere sahipken, Y/D spektral oran değerleri en düşük seviyelerdedir. Dolayısıyla yüksek frekans değeri ve düşük büyütme potansiyeline sahip bu mahalle, merkez ilçe içerisindeki en sağlam bölge olarak değerlendirilebilir.

4.2. MASW ölçümleri

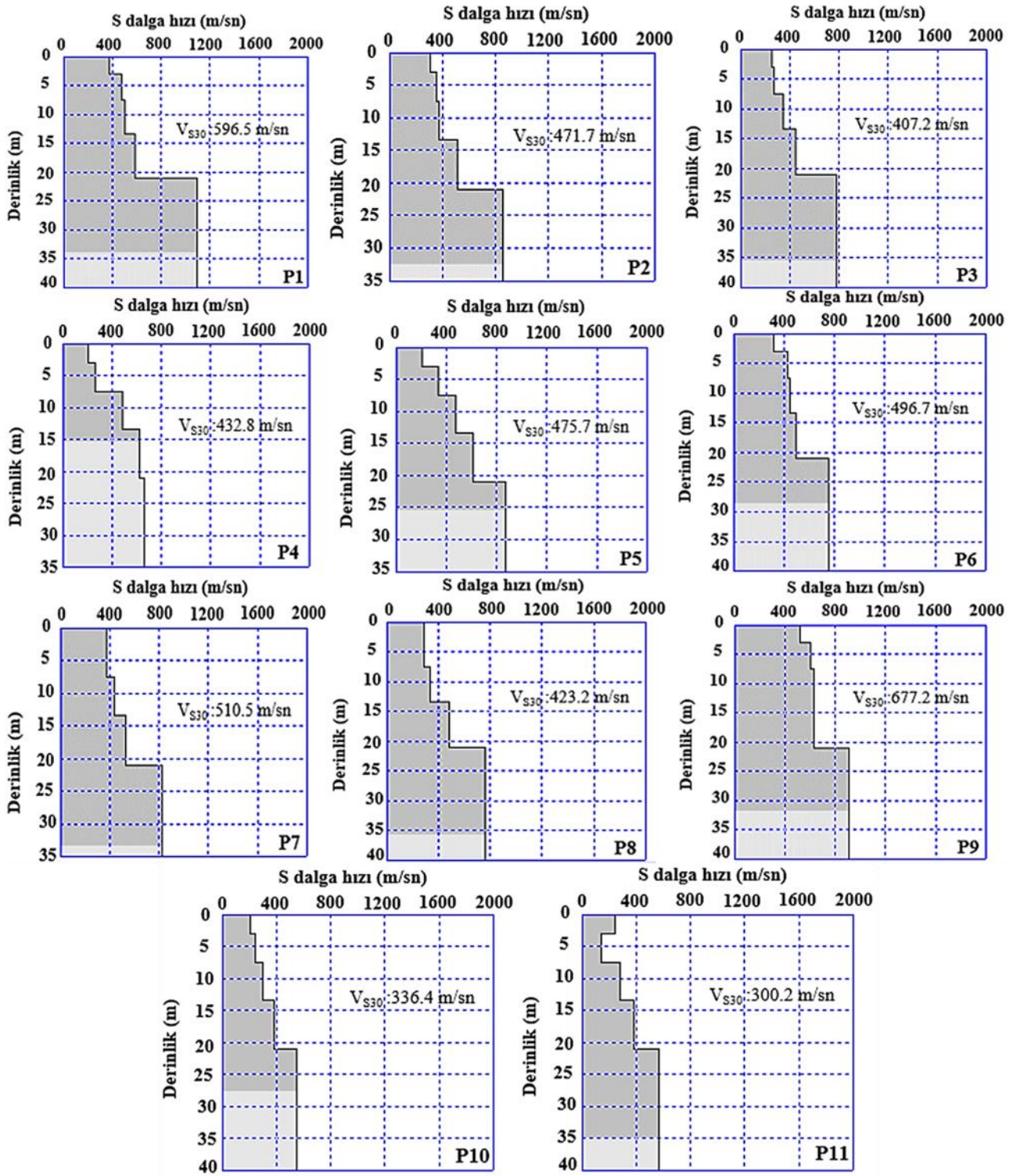
4.2. MASW measurements

MASW verilerinin çözülmesiyle her bir profil için ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrileri elde edilmiştir (Şekil 11). Sönümlü en küçük kareler yaklaşımı kullanılarak bu dispersiyon eğrilerinin ters çözümünden her bir profil için hız modeli oluşturulmuştur (Şekil 12).



Şekil 11. MASW profillerine ait ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrileri

Figure 11. Measured and estimated dispersion curves of MASW profiles



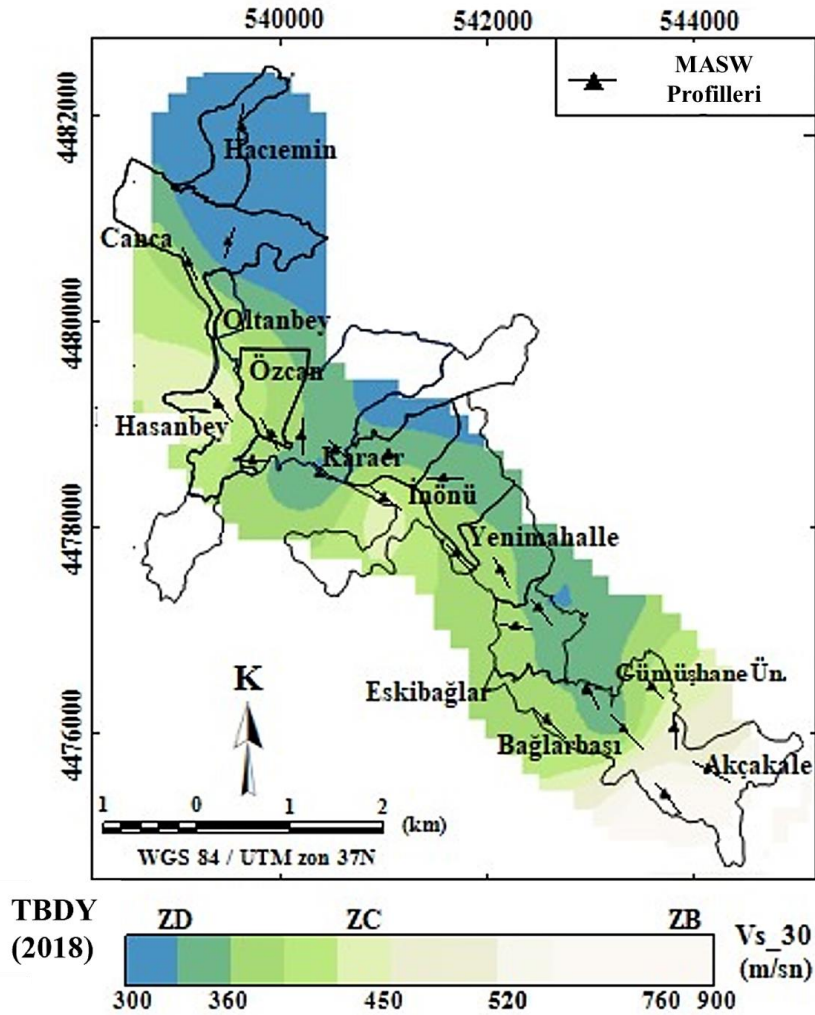
Şekil 12. Her bir profile ait 1B hız modelleri ve V_{S30} değerleri
Figure 12. 1D Velocity models and V_{S30} values of each profile

Hız modellerinden, inceleme alanındaki jeolojik formasyonlara ait V_{S30} değerleri hesaplanmıştır. V_{S30} değerleri Alibaba formasyonunda 300.2-596.5 m/sn, Gümüşhane granitoidinde 407.2-677.2 m/sn ve alüvyon birimde 404.7 m/sn olarak belirlenmiştir. İnceleme alanına ait zemin sınıflaması Ulusal Deprem Azaltma Programı (National Earthquake Hazards Reduction Program) Eurocode-8 (2004), Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) ve NEHRP (2020) kullanılarak hız değerlerine göre yapılmıştır (Tablo 2). Buna göre, MASW-10 ve MASW-11 haricindeki diğer profillerden inceleme alanı için Eurocode-8 (2004)'e göre "B" grubu, TBDY (2018)'e göre "ZC" ve NEHRP (2020)'e göre "C-CD" zemin sınıfı tanımlaması yapılabilir.

Tablo 2. MASW profillerinden 30 m derinlik için elde edilen V_{S30} değerleri ve zemin sınıflaması**Table 2.** Soil classification and V_{S30} values obtained from MASW profiles for 30 m depth

Profil	V_{S30} (m/sn)	Eurocode-8 (2004)	TBDY (2018)	NEHRP (2020)
MASW-1	300.2	B	ZC	C
MASW-2	336.4	B	ZC	C
MASW-3	596.5	B	ZC	C
MASW-4	471.7	B	ZC	CD
MASW-5	407.2	B	ZC	C
MASW-6	432.8	B	ZC	CD
MASW-7	475.7	B	ZC	C
MASW-8	496.7	B	ZC	CD
MASW-9	510.5	B	ZC	BC
MASW-10	423.2	C	ZD	CD
MASW-11	677.2	C	ZD	D

Tüm profillerden elde edilen ortalama hızlar kullanılarak, Gümüşhane ili merkez ilçesi için V_{S30} dağılımına göre zemin sınıfı haritası oluşturulmuştur (Şekil 13). Hacıemin ve Canca mahallelerinde en düşük V_{S30} değerleri ile **TBDY (2018)**'e göre en zayıf zemin sınıfını (ZD) oluşturmaktadırlar. Harşit nehri boyunca düşük V_{S30} değerleri görülürken, nehir seviyesinden yukarıya doğru gidildikçe V_{S30} değeri artış göstermektedir. Dolayısıyla zayıf zemin özelliğine sahip alüvyon birimlerin kumlu, çakıllı, gevşek ve suya doygun özellikte olması hız değerindeki bu azalmanın nedeni olarak kabul edilebilir.

**Şekil 13.** İnceleme alanına ait V_{S30} haritası ve zemin sınıflaması**Figure 13.** V_{S30} map and soil classification of the investigation area

5. Tartışma ve sonuçlar

5. Discussion and conclusions

Bu çalışmada, Gümüşhane ili merkez ilçesinin yerel zemin etkileri MASW ve HVSR yöntemleriyle belirlenmiştir. Tek istasyonda uygulanan mikrotremor yönteminden merkez ilçeye ait baskın frekans, baskın periyot ve bölge için büyütme potansiyelini ifade eden yatay/düşey spektral oranlar elde edilmiştir. MASW, uygulamasıyla incelenen alana ait V_{S30} değerleri hesaplanarak Eurocode-8 (2004), TBDY (2018) ve NEHRP (2020)'e göre zemin sınıfları tanımlanmıştır. Bulunan sonuçlardan merkez ilçe için yer etkisine dayalı mikrobölgelendirme haritaları hazırlanarak farklı tehlike potansiyeline sahip alanlar belirlenmiştir.

Gümüşhane ili merkez ilçesinde 279 tek istasyonda HVSR yönteminden elde edilen baskın frekans ve baskın periyot değerleri sırasıyla 1.21-13.40 Hz ile 0.07-0.64 sn arasında değişim göstermektedir. Bununla birlikte çalışma alanı için belirlenen büyütme potansiyeli 1.12-9.76 arasındadır. Bu değerlere göre, Hasanbey, Oltanbey, Özcan, Bağlarbaşı ve Akçakale mahalleleri yüksek baskın frekans değerleri sergilerken, İnönü mahallesi ve Yenimahalle çalışma alanı içerisindeki en düşük baskın frekans değerlerine sahiptirler. Çalışma alanı büyütme potansiyeli açısından Hasanbey ve Özcan mahallelerinde en düşük seviyelerde iken, en yüksek büyütme potansiyeline sahip alanlar çoğunlukla Harşit nehri boyunca elde edilmiştir.

Çalışma alanında gerçekleştirilen MASW ölçümleri ile 30 metre derinliğe kadar olan ortalama S dalga hızları belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre V_{S30} değerleri 300.2-677.2 m/sn aralığında değişmektedir. Bu hız değerleri kullanılarak çalışma alanına ait yapılan zemin sınıflaması Eurocode-8 (2004)'e göre "B", TBDY (2018)'e göre "ZC" ve NEHRP (2020)'e göre "C-CD" grubunda yer almaktadır. Çalışma alanı için oluşturulan V_{S30} değerleri dağılım haritasına göre düşük hız değerleri Harşit nehri civarında gözlemlenirken, bu seviyeden yukarıya gidildikçe hız değerlerinin arttığı görülmüştür.

Mikrotremorlardan elde edilen zemin parametreleri ile MASW'den belirlenen V_{S30} değerleri inceleme alanının jeolojik yapısıyla ve birbirleriyle uyumlu sonuçlar sergilemiştir. Genel anlamda V_{S30} değerlerinin yüksek olduğu alanlar, yüksek baskın frekans ve düşük büyütme potansiyellerine sahipken, daha düşük V_{S30} değerlerine sahip alanlarda düşük baskın frekanslara karşılık yüksek büyütme potansiyelleri gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, hesaplanan zemin parametreleri de tanımlanan zemin sınıfları ile örtüşmektedir. Bu çalışma ile elde edilen verilerin birbirleriyle ve jeolojik yapıyla olan uyumu HVSR ve MASW yöntemlerinin Gümüşhane ili merkez ilçesi için uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Gümüşhane, sismotektonik açıdan durgun bir bölge olarak kabul edilmekte, ancak Kelkit Çayı vadisinin Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'na olan yakınlığı sebebiyle oluşabilecek herhangi bir deprem tehdit edici olabilir. Böyle bir deprem hareketi, özellikle Harşit nehri boyunca, zayıf zeminler üzerine inşa edilmiş yapılarda hasarlar meydana getirebilir. Bu sebeple, afet risklerini en aza indirgeyebilmek adına yeni yerleşimlerin kurulacağı alanlarda herhangi bir yer hareketi meydana gelmeden yerel zemin koşullarının belirlenmesi çok önemli ve gereklidir.

Teşekkür

Acknowledgement

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından 2009.112.007.3 numaralı proje ile desteklenmiştir. Destekleri için KTÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimine teşekkür ederim.

Yazar katkısı

Author contribution

Bu makale KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Prof. Dr. Nilgün SAYIL'ın danışmanlığında Yasemin BEKER USTA tarafından yapılan "Gümüşhane ve Çevresinin Jeofizik Verilerle Yer Etkisinin İncelenmesi ve Mikrobölgelendirme Çalışması" başlıklı Doktora tezinin bir parçasıdır.

Etik beyanı*Declaration of ethical code*

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedirler.

Çıkar çatışması beyanı*Conflicts of interest*

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Kaynaklar*References*

- Acar, İ., Kamacı, Z., & Kapucu, S. (2022). *Ödemiş kuzey bölgesinin imar ve bölge planlama alanı incelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 83-89. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.959180>
- Akın, Ö., & Sayıl, N. (2016). *Site characterization using surface wave methods in the Arsin-Trabzon province, NE Turkey. Environmental Earth Sciences*, 75, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4840-6>
- Akın, Ö. (2020). *Trabzon – Ortahisar ilçesi güneyindeki heyelanlı alanların zeminözelliklerinin aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemleriyle incelenmesi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Akkaya, İ., & Özvan, A. (2019). *Site characterization in the Van settlement (Eastern Turkey) using surface waves and HVSr microtremor methods. Journal of Applied Geophysics*, 160, 157-170. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.11.009>
- Alkan, H., Çınar, H., Oreshin, S., & Vinnik, L. (2019). *Investigation of the crustal and upper-mantle structure of the eastern Pontides orogenic belt (NE, Turkey): a receiver-function study. Journal of Seismology*, 23, 473-491. <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09818-1>
- Arrahman, M. A., Tohari, A., & Perwita, C. A. (2023). Seismic microzonation for Lembang fault hazard area in West Bandung Regency based on microtremor measurement. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1288, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.
- Ateş, E., & Uyanık, O. (2019). *Jeofizik yöntemler ile yer ve yapı etkileşimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 46-60. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.430906>
- Caielli, G., de Franco, R., Di Fiore, V., Albarello, D., Catalano, S., Pergalani, F., ... & Vassallo, M. (2020). Extensive surface geophysical prospecting for seismic microzonation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18, 5475-5502.
- Chopra, S., Choudhury, P., Nikam, R., Chaudhary, P., Limbachiya, H., & Joshi, V. (2023). Use of Geophysical Techniques in Seismic Hazard Assessment and Microzonation. In *Geohazards: Analysis, Modelling and Forecasting* (pp. 73-87). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Dikmen, Ü. (2009). *Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. Journal of Geophysics and Engineering*, 6(1), 61-72. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/6/1/007>
- Dokuz, A. (2000). *Yusufeli (Artvin-Turkey) yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik- metamorfik kayaların jeokimyası ve petrojenezi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Dokuz, A., & Tanyolu, E. (2006). *Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering of lower jurassic and upper cretaceous clastic rocks of the Eastern Pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences*, 15(2). <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol15/iss2/4>
- Eurocode 8 (2004). *Design of structures for earthquake resistance – part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, authority: The European Union PerRegulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC.*
- Eyuboglu, Y., Dilek, Y., Bozkurt, E., Bektas, O., Rojay, B. & Şen, C. (2010). *Structure and geochemistry of an alaskan-type ultramafic-mafic complex in the Eastern Pontides, NE Turkey. Gondwana Research*, 18(1), 230-252. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.01.008>

- Fadli, D. I., Awaliyah, I. A., Hadi, A. I., Farid, M., Akbar, A. J., & Refrizon, R. (2023). Microzonation Site Effects and Shear Strain during Earthquake Induced Landslide Using HVSR Measurement in Ulu Mana Sub-District, South Bengkulu Regency Indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(2), 592-599.
- Geopsy (2022, 10 Eylül). <https://www.geopsy.org/download.php>
- Güven, İ.H. (1993). Doğu Pontidlerin 1/25 000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, Maden Tetkik Arama, Ankara (yayımlanmamış)
- Güven, İ. T. (2022). *Seismic vulnerability indices for ground in Derince-Kocaeli (NW Turkey)*. *Environmental Earth Sciences*, 81(5), 167. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10288-x>
- Güzel, M. (2009). *Mikrobölgeleme çalışmalarında jeolojik, jeofizik, jeoteknik verilerin birlikte kullanımı (kuzey Adana örneği)* [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Kandemir, R. (2004). *Sedimentary characteristics and depositional conditions of lower- middle jurassic Şenköy Formation in and around Gümüşhane* [Doktora Tezi (yayımlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Keskinsezer, A., & Dağ, E. (2019). *Investigating of soil features and landslide risk in Western-Atakent (İstanbul) using resistivity, MASW, Microtremor and boreholes methods*. *Open Geosciences*, 11(1), 1112-1128. <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0086>
- Kim, J., Park, D., Nam, G., & Jung, H. (2024). Shear-Wave Velocity Model from Site Amplification Using Microtremors on Jeju Island. *Applied Sciences*, 14(2), 795.
- Miller, R. D., Xia, J., Park, C. B., & Ivanov, J. M. (1999). *Multichannel analysis of surface waves to map bedrock*. *The Leading Edge*, 18(12), 1392-1396. <https://doi.org/10.1190/1.1438226>
- 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), 25-33.
- NEHRP (2020). *National earthquake hazards reduction program, recommended seismic provisions for new buildings and other structures (FEMA P-2082-1), 2020 edition, Vol.1, Part 1: Provisions and Part 2: Commentary*.
- Özdağ, Ö., Akgün, M., & Gönenç, T. (2020). *Determining bedrock of the northern part of Izmir Bay, western Anatolia, using a combination of microtremor, ESPAC, VES, and microgravity methods*. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 61(4). Doi: 10.4430/bgta0313
- Öztürk, S., Beker, Y., Sarı, M., & Pehlivan, L. (2021). *Estimation of ground types in different districts of Gümüşhane province based on the ambient vibrations H/V measurements*. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 39(4), 374-391. Doi: 10.14744/sigma.2021.00026
- Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). *Multichannel analysis of surface waves*. *Geophysics*, 64(3), 800-808. <https://doi.org/10.1190/1.1444590>
- Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi*. *K.T.Ü yayını*, 13, 1-103.
- Pornsopin, P., Pananont, P., Furlong, K. P., Chaila, S., Promsuk, C., Kamjudpai, C., & Phetkongsakul, K. (2024). *Seismic Microzonation Map of Chiang Mai Basin, Thailand*. *Trends in Sciences*, 21(3), 7370-7370.
- Putti, S. P., & Satyam, N. (2020). *Evaluation of site effects using HVSR microtremor measurements in Vishakhapatnam (India)*. *Earth Systems and Environment*, 4, 439-454. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00158-6>
- SeisImager (2022, 2 Haziran). <https://www.geometrics.com/software/seisimager-sw/>
- SESAME, (2005). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation, European project*.
- Tüdeş, Ş. (2001). *Gümüşhane kenti ve yakın çevresinin yerleşime uygunluk açısından araştırılması* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

- Taş N., Okumuş E., Öner Ş., Köksal C., İcat M. Y., Tanış S. & Aslan N. (2003). *Gümüşhane İl Çevre Durum Raporu, Gümüşhane Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü*, 179.
- Tokel, S. (1972). Stratigraphical and volcanic history of the Gümüşhane region, NE, Turkey [Doktora tezi (yayınlanmamış), University College].
- Türkiye bina ve deprem yönetmeliği. (2018). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*.
- Wibowo, N. B., Fathani, T. F., Pramumijoyo, S., & Marliyani, G. I. (2023). Microzonation Of Seismic Parameters In Geological Formation Units Along The Opak River Using Microtremor Measurements. *Geomate Journal*, 25(110), 208-219.
- Xia, J., Miller, R. D., & Park, C. B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves. *Geophysics*, 64(3), 691-700. <https://doi.org/10.1190/1.1444578>
- GCMT-Global CMT Catalog Search. (2024, Şubat, 18) <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>
- KOERİ, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi. (2024, Şubat 18) <http://udim.koeri.boun.edu.tr/>
- USGS, The U.S. Geological Survey Works. (2024, Şubat 17) <https://www.usgs.gov/>