



## 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\*<sup>1</sup> , Nilgün SAYIL<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

• Geliş tarihi / Received: 12.01.2024

• Kabul tarihi / Accepted: 02.052024

### 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/periodyot, 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 periodyotlar 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 periodyot, büyütme potansiyel riski ve  $V_{S30}$  değerlerine ait mikrobölgelendirme haritaları oluşturulmuştur. Bu haritalara göre Gümüşhane ili merkez ilçesinde yüksek baskın frekans ve düşük baskın periodyot 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

## 52 1. Giriş

### 53 1. Introduction

54

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

68

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

76

77 Uygun ve doğru mühendislik sismolojisi çalışmaları neticesinde zemin karakteristiğinin tanımlanmasıyla,  
78 deprem gibi yer hareketlerinin yerel etkilerinden korunmak mümkün olacaktır. Zemin ve mühendislik ana  
79 kayası boyunca S-dalgası hız ( $V_s$ ) profillerinin elde edilmesi depreme dayanıklı yapı tasarım çalışmalarında  
80 ve imar planının geliştirilmesinde önem taşımaktadır. Bu nedenle, yerleşime uygunluk, afet risklerine karşı  
81 güvenli kentleşme ile yaşam kalitesi yüksek mekanların oluşturulmasına yönelik birçok çalışma yapılmıştır  
82 (Tüdeş, 2001; Akın, 2020; Özdağ vd., 2020; Öztürk vd., 2021; Acar vd., 2022; Güven, 2022; Arrahman vd.,  
83 2023; Chopra vd., 2023; Wibowo vd., 2023; Kim vd., 2024; Pomsopin vd., 2024).

84

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

92

## 93 2. İnceleme alanının jeolojisi ve depremselliği

### 94 2. The geology and seismicity of the investigation area

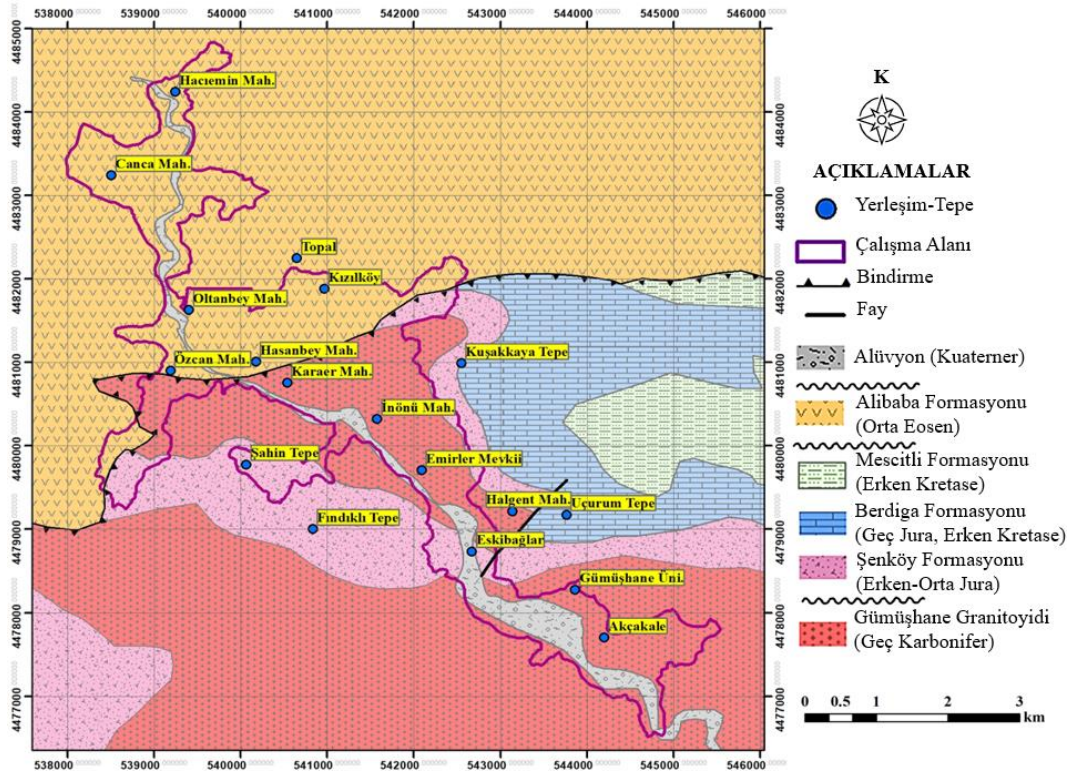
95

96 İnceleme alanı olarak seçilen, Gümüşhane İli Merkez ilçesi, dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahip olan,  
97 Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunmaktadır (Şekil 1). Doğuda Bayburt, batıda Giresun, kuzeyde Trabzon ve  
98 güneyde Erzincan illeri ile komşu olan Gümüşhane  $38^{\circ} 45' - 40^{\circ} 12'$  doğu boylamları ve  $39^{\circ} 45' - 40^{\circ} 50'$  kuzey  
99 enlemleri arasında yer alır. Merkez ilçenin yüzölçümü  $6.668 \text{ km}^2$  ve deniz seviyesinden olan ortalama  
100 yüksekliği  $1210 \text{ m}$ 'dir. Gümüşhane İl'inde yeryüzü şekilleri bakımından güney kesim yüksek bir plato  
101 özelliğine sahipken, çalışma alanı olan Merkez ilçesinin bulunduğu kuzey kesim oldukça engebelidir.

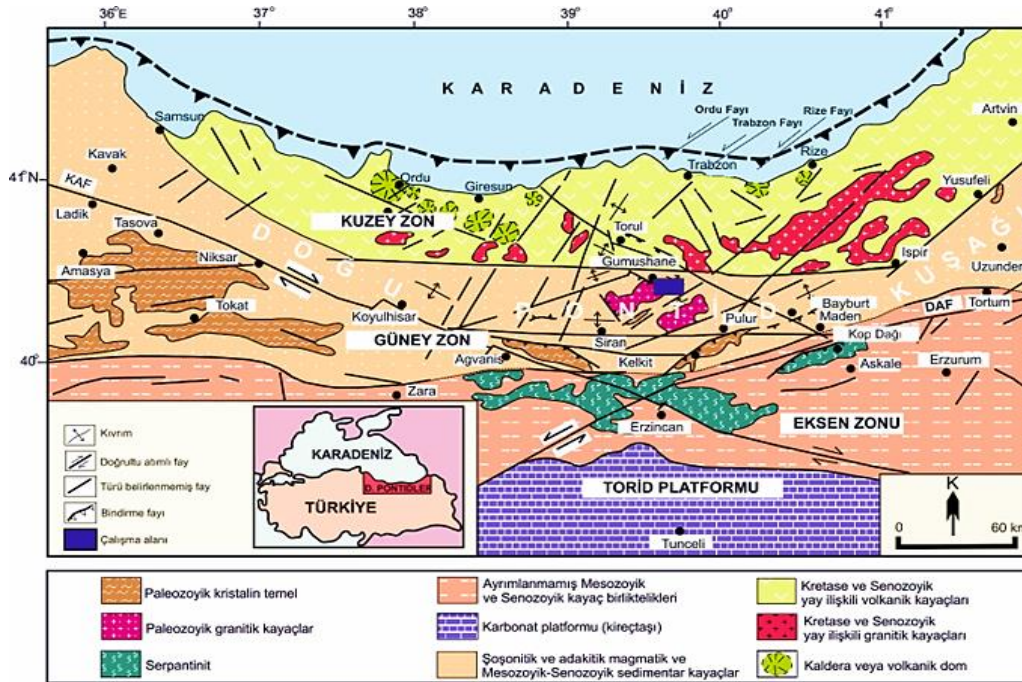
102

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

109 formasyon, gri-bej renkli, tümüyle kalın-yer yer masif katmanlı, dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşur.  
 110 Kıvrımlı tortul malzemeli kireçtaşlarını içeren Mescitli Formasyonunun üzerine açılmal uyumsuzlukla Eosen  
 111 yaşlı Alibaba Formasyonu gelmektedir (Tokel, 1972). Volkano-tortul istif özelliği taşıyan Alibaba formasyonu  
 112 çoğunlukla arazide ince bir taban konglomerasıyla başlamaktadır (Tüdeş, 2001). İnceleme alanındaki en genç  
 113 oluşuklar yaşlı alüvyon ve taraçalardır (Şekil 1).  
 114



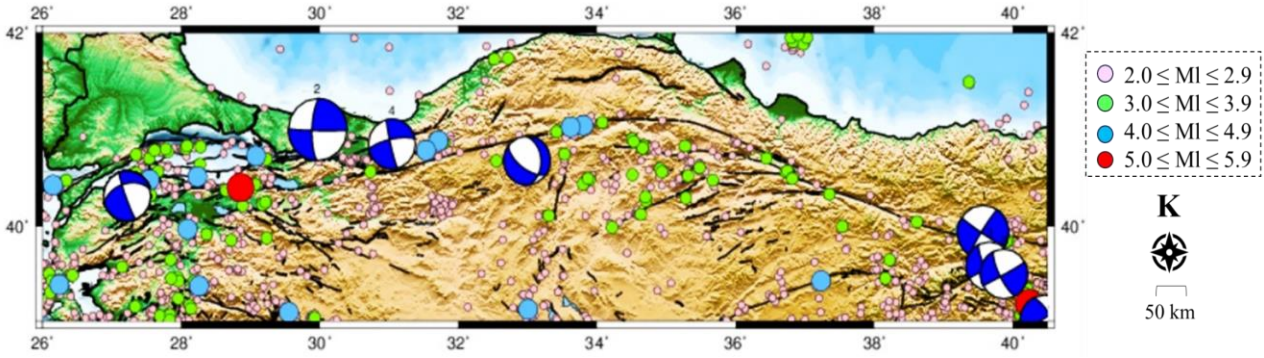
115  
 116  
 117 **Şekil 1.** İnceleme alanı ve yakın civarına ait jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek alınmıştır)  
 118 **Figure 1.** Geology map of the investigation area and its surrounding (modified from Güven, 1993)  
 119  
 120



121  
 122  
 123 **Şekil 2.** Doğu Pontidlerin başlıca tektonik zonları ve birimleri (Alkan vd., 2019'dan düzenlenerek alınmıştır)  
 124 **Figure 2.** Main tectonic features and tectonic zones of the Eastern Pontides (modified from Alkan et al., 2019)

125 Doğu Pontidler, sedimantolojik, magmatik ve tektonik özelliklere bağlı olacak şekilde Bektaş ve Yılmaz  
 126 (1995) tarafından üç tektonik alt birime ayrılmıştır. Bu birimler, Kuzey Zon, Güney Zon ve Eksen Zonu'dur  
 127 (Şekil 2). Kuzey Zon, genel olarak Geç Kretase ve Tersiyer yaşlı volkanik ve granitik kayalarla temsil  
 128 edilirken, Güney Zon ağırlıklı olarak Erken Jura yaşlı tortul birimlerle temsil edilmektedir (Dokuz, 2000;  
 129 Dokuz & Tanyolu, 2006). Eksen Zonu ise Jura-Kretase yaşlı ofiyolitik-olistostromal melanj ve çoğunlukla  
 130 ultramafik kütleler ile karakterize edilmektedir (Eyüboğlu vd., 2010).

131  
 132 Gümüşhane ve yakın civarının depremselliği göz önüne alındığında, konumu itibarıyla buradaki kıvrım  
 133 tektoniğinin ve kırık sistemlerinin etkili olduğu söylenebilmektedir. KAFZ'a yakın olan bölgelerdeki kırık  
 134 zonları normal, ters ve doğrultu atımlı faylardan meydana gelmektedir. Buna karşın kıvrımlı yapılar asimetrik  
 135 antiklinal ve senklinalardan oluşmaktadır (Taş vd., 2003). Ülkemizin en aktif fay zonlarından biri olan  
 136 KAFZ'nun Gümüşhane'ye olan uzaklığı yaklaşık 80 km'dir. Son yıllarda hızlı bir yapılaşma sürecine girmiş  
 137 olan şehirde, yüksek katlı binalar çoğunlukla Harşit Çayı boyunca inşa edilmiş ve yoğun yerleşimler özellikle  
 138 bu kısımlarda yer almaktadır. Harşit Çayı boyunca zeminin jeolojik yapısına bakıldığında, buralarda alüvyonal  
 139 birim hakimdir. Dolayısıyla, Gümüşhane ili hem KAFZ'a olan yakınlığı hem de gevşek zemin karakteristiğine  
 140 sahip alanlardaki yoğun yerleşimlere sahip olması bakımından büyük ( $M>6.0$ ) ve yıkıcı nitelikteki bir  
 141 depremden etkilenebilecek potansiyeldedir (Şekil 3, Tablo 1). Ayrıca Gümüşhane İli'nin Kelkit ilçesinde 17  
 142 Aralık 2023 tarihinde 4.3 ve 18 Aralık 2023 tarihinde 3.9 büyüklüğünde art arda iki deprem meydana gelmiştir.  
 143



144  
 145  
 146 **Şekil 3.** 1976-2023 yıllarında KAFZ ve çevresinde meydana gelen deprem aktivitesi (USGS, 2024) ile büyük  
 147 depremlerin ( $M>6.0$ ) odak mekanizma çözümleri (GCMT, 2024)

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

150  
 151 **Tablo 1.** Şekil 3'te odak mekanizması çözümleri verilen büyük depremlerin ( $M>6.0$ ) listesi (KOERİ, 2024)  
 152 **Table 1.** List of major earthquakes ( $M>6.0$ ) whose focal mechanism solutions are given in figure 3 (KOERİ,  
 153 2024)  
 154

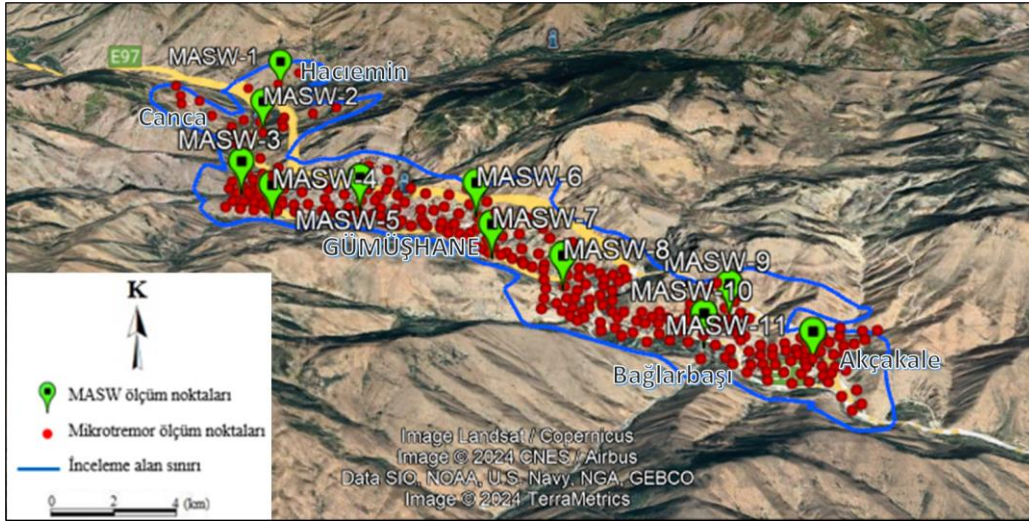
| Tarih<br>(Gün.Ay.Yıl) | Enlem (°K) | Boylam (°D) | Magnitüd<br>(M) | Odak derinliği<br>(h, km) |
|-----------------------|------------|-------------|-----------------|---------------------------|
| 05.07.1983            | 40.32      | 27.22       | 6.1             | 10                        |
| 13.03.1992            | 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                        |

### 155 3. Materyal ve yöntem

#### 156 3.1. Materyal ve yöntem

157 3.1. Materyal ve yöntem  
 158  
 159 Gümüşhane ili merkez ilçesinde yerel zemin karakteristiklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmada  
 160 Yatay/Düşey Spektral Oran (HVSr) ve MASW uygulanmıştır. Yaklaşık 7 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olan merkez

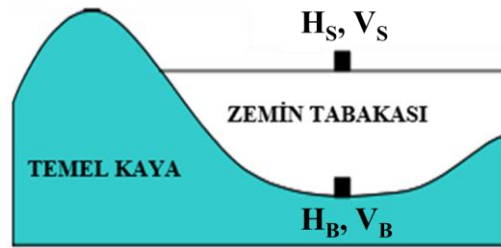
161 ilçesinde, 279 tek istasyonda alınan mikrotremor ölçüm noktalarını temsil edecek şekilde ve farklı jeolojik  
 162 birimler üzerinde 11 adet MASW ölçümü gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).  
 163



164 **Şekil 4.** İnceleme alanındaki ölçüm noktalarının konumları

165 **Figure 4.** Locations of measurement points in the investigation area

166  
 167  
 168  
 169 Tek istasyon mikrotremor ölçümleri Güralp marka CMG-6TD sayısal çıkışlı portatif üç bileşenli (doğu-batı,  
 170 kuzey-güney ve düşey) hız ölçer sismometre kullanılarak alınmıştır. Ölçüm noktaları arasındaki mesafeler  
 171 sabit olmayıp (100-400 m), konumları yerleşim düzenine ve arazi yapısına uyumlu olacak şekilde seçilmiştir.  
 172 Ayrıca gündüz kültürel gürültülerin yoğun olması sebebiyle daha sağlıklı kayıtlar elde edebilmek için tüm  
 173 ölçümler gece saatlerinde (23:00-03:00) alınmıştır. Verilerin kayıt süreleri 15-35 dk arasında olup,  
 174 ölçümlerdeki örnekleme aralığı 100 Hz'dir. Elde edilen kayıtlar "Geopsy" (Geopsy, 2022) programı ile  
 175 Yatay/Düşey Spektral Oran (Nakamura Tekniği, HVSR) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Nakamura  
 176 (1989)'a göre mikrotremorlar derinden değil, yüzeyden ve yüzeye yakın noktalardan gelen titreşimlerdir.  
 177 Nakamura (1989) tekniğinin temel varsayımına göre mikrotremorların yatay bileşenleri zemin tabakasının  
 178 sahip olduğu düşük hız ve yoğunluğa bağlı olarak önemli büyütmeleme uğrarken, düşey bileşen zemin  
 179 tabakasından etkilenmemektedir. Bu teknik, mikrotremorları Rayleigh dalgaları ile açıklamıştır. Fourier  
 180 frekans bölgesinde zemin tabakasının yüzeyi ile tabanındaki yatay ve düşey bileşenlere ait dört adet genlik  
 181 spektrumu ( $H_s$ ,  $D_s$ ,  $H_B$ ,  $D_B$ ) tanımlanmıştır (Şekil 5).  
 182

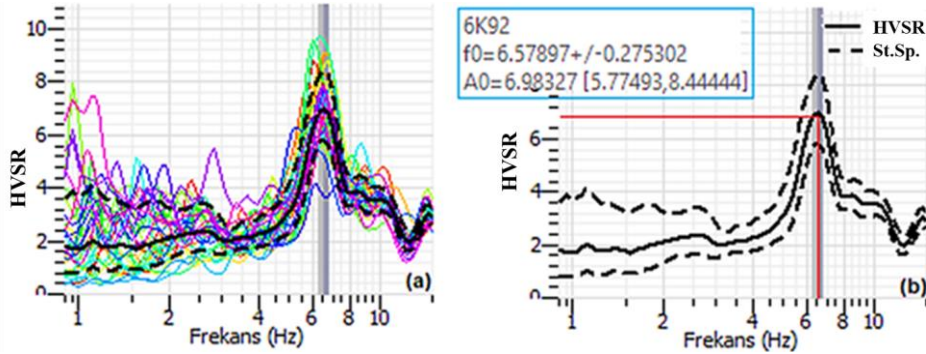


183 **Şekil 5.** Nakamura (1989) tarafından önerilen basit model ( $H_s$  ve  $V_s$ , yüzeydeki hareketin yatay ve düşey  
 184 bileşen genlik spektrumları,  $H_B$  ve  $V_B$  tabandaki hareketin yatay ve düşey genlik spektrumları)

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

188  
 189  
 190  
 191 Mikrotremor kaydının her bir bileşeni için ilk olarak ani genlik değişimlerinden kaynaklı trend etkileri  
 192 giderilmiştir. Daha sonra mikrotremor kayıtlarındaki çok düşük ve yüksek frekanslardaki gürültüleri atmak  
 193 için 0.5-20 Hz band geçişli Butterworth süzgeç uygulanmıştır. Çözümlemede kullanılacak pencere boyu için  
 194 farklı pencere boyları (10, 20, 25, 40 sn) Sesame kriterlerine (SESAME, 2005) göre denenmiş ve en uygun  
 195 pencere boyunun 20 sn olduğu belirlenmiştir. Zaman ortamındaki veriye Kosinüs penceresi %5 oranında  
 196 uygulanarak oluşacak enerji sızması engellenmiştir. Daha sonra zaman ortamındaki verinin Fourier dönüşümü

197 ile frekans ortamında üç bileşen genlik spektrumları hesaplanmıştır. Elde edilen yatay bileşenlerin genlik  
198 spektrumlarından (doğu-batı ve kuzey-güney) karekök ortalama ile tek bir ortalama yatay bileşen genlik  
199 spektrumu hesaplanmış ve bu ortalama yatay bileşen genlik spektrumu düşey bileşen genlik spektrumuna  
200 oranlanarak ölçüm noktası için HVSR eğrisi elde edilmiştir. Böylece HVSR eğrisi üzerinden maksimum pike  
201 karşılık gelen baskın frekans ( $f_0$ ) değeri ve o nokta için olan büyütme potansiyeli belirlenmiştir (Şekil 6).  
202



203  
204

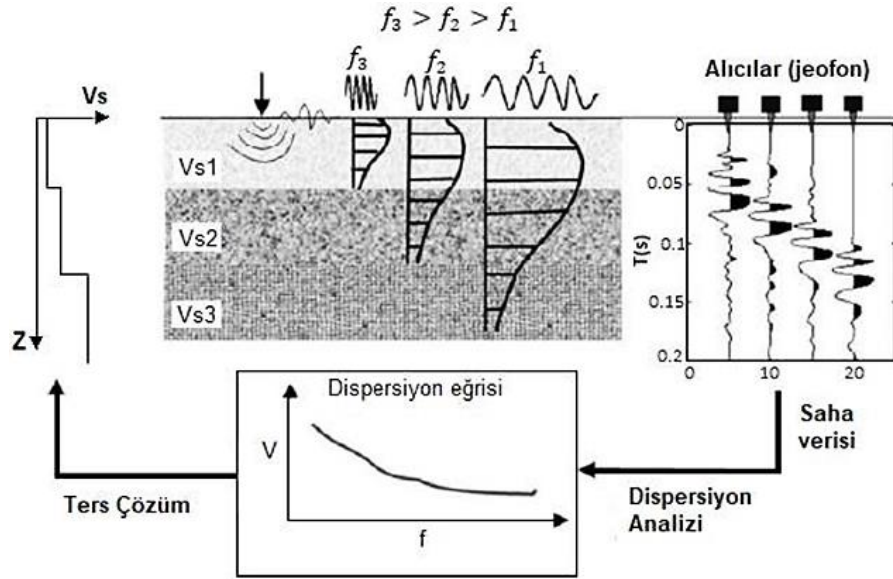
205 **Şekil 6.** (a) HVSR spektral oran eğrisi. (b) HVSR eğrisi üzerinde belirlenen baskın frekans ( $f_0$ ) ve büyütme  
206 potansiyeli ( $A_0$ )

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

209

210 MASW yönteminin temeli, yüzey dalgalarının dispersif özelliğinden yararlanarak tabakalı yeraltı için 1-  
211 boyutlu S-dalgası hız profillerinin elde edilmesine dayanmaktadır. Tahribatsız sismik yöntemlerden biri olan  
212 MASW, kolay uygulanabilir bir arazi düzeneği ve balyoz gibi basit bir kaynak ile güçlü yüzey dalgası enerjisi  
213 üretebilmektedir. Veri işlemde, uygulama adımları oldukça basittir ve işleme parametreleri güvenilir biçimde  
214 seçilebilmektedir. Ayrıca, farklı türde yüzeye yakın anomalilere en etkili cevabı yüzey dalgaları vermektedir  
215 (Park vd., 1999). MASW, üç aşamada uygulanmaktadır. Bunlar veri toplama, dispersiyon eğrisinin  
216 hesaplanması ve ters çözüm ile hız profilinin elde edilmesidir (Şekil 7). Arazide veri toplama düzeneği sismik  
217 kırılma yöntemi ile aynıdır, sadece veri toplamada farklı parametreler seçilir ve sismik kırılmaya göre daha  
218 fazla avantaj sağlar (Xia vd., 1999; Miller vd., 1999). MASW'de kolaylıkla yüksek sinyal/gürültü oranı elde  
219 edilebilmektedir. Ölçümlerdeki serim boyu, alıcılar arası mesafe ve ilk alıcıya olan uzaklığı, ulaşılmak  
220 istenen araştırma derinliği ile dispersiyon eğrisinin elde edilmesini etkileyen parametrelerdir.  
221

222



222  
223

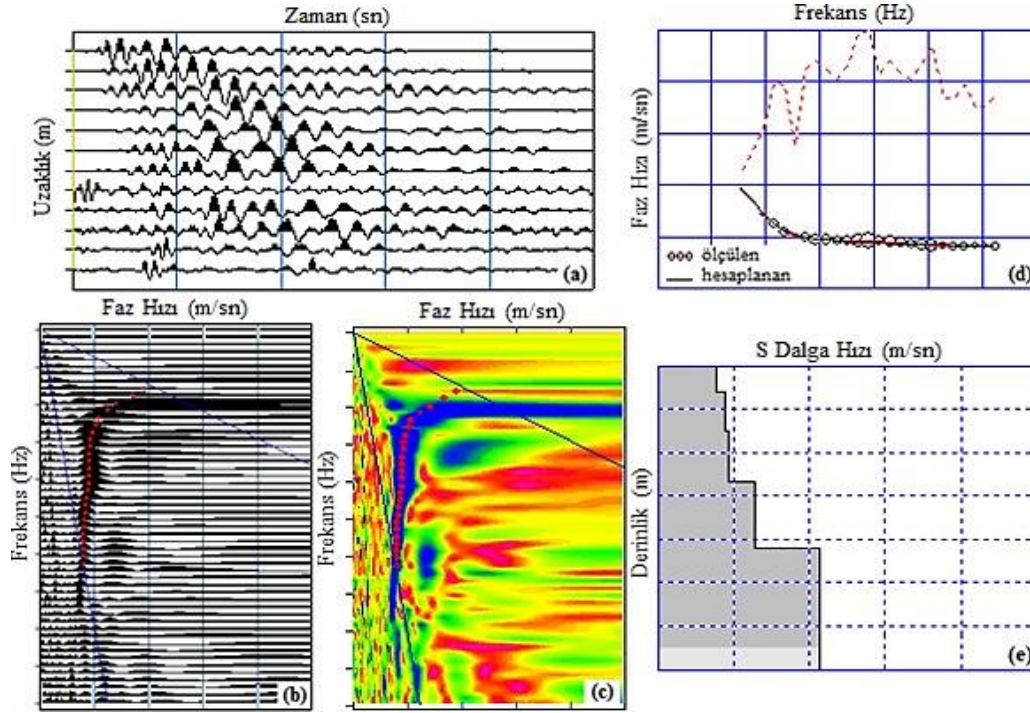
224 **Şekil 7.** MASW'nin veri işlem şeması (Dikmen, 2009)

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

226

227 İnceleme alanındaki her bir farklı jeolojik birimlerdeki 30 metre derinliğe kadar olan ortalama S-dalgası hız  
228 ( $V_{s30}$ ) değerini belirlemek amacıyla Seisronix RAS-24 marka, 12 kanallı sismograf, kaynak olarak 10 kg

229 ağırlığında balyoz ve 4.5 Hz'lik düşey alıcılar kullanılmıştır. Her bir profildeki serim boyu 75 m'dir. Ofset  
 230 mesafesi 10 m ve alıcılar arası mesafe de 5 m olarak ayarlanmıştır. Kayıtlarda örnekleme aralığı 0.5 msn ve  
 231 kayıt süresi 1 sn'dir. Ayrıca düz ve ters atışlarda sinyal/gürültü oranını arttırmak amacıyla ölçümler 3'er adet  
 232 yığma işlemi yapılarak alınmıştır. Toplamda 11 profilden elde edilen MASW kayıtlarının  
 233 değerlendirilmesinde SeisImager/Pickwin yazılımı kullanılmıştır (SeisImager, 2022). Verilerin ilk  
 234 değerlendirme aşaması, faz kayması tekniğinin kullanılmasıyla frekans-faz hızı ilişkisi ile başlamaktadır  
 235 (Park vd., 1999). Bu ilişki grafiğinde maksimum genliklere karşılık gelen temel mod piklenmiştir. Sönümlü  
 236 en küçük kareler yaklaşımı ile ters çözüm işlemi gerçekleştirilerek, ölçülen ve hesaplanan dispersiyon  
 237 eğrilerinin çakışması sağlanmıştır. Bu şekilde her bir profil için derinliğe bağlı 1 boyutlu S-dalgası hız profili  
 238 elde edilmiştir (Şekil 8).  
 239



240  
 241

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

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

246

## 247 4. Bulgular

248

### 249 4. Results

250

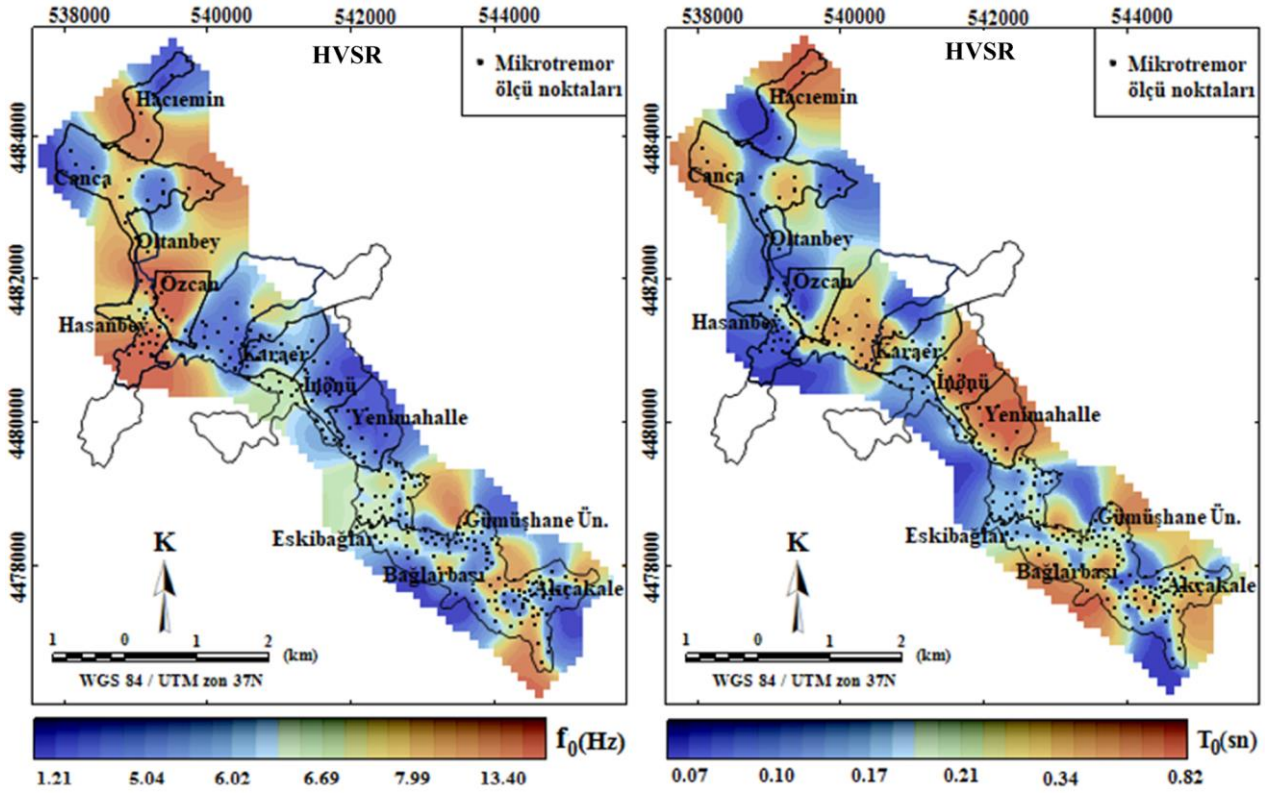
#### 251 4.1. Tek istasyon mikrotremor ölçümleri

252

##### 253 4.1. Single station microtremor measurement results

254

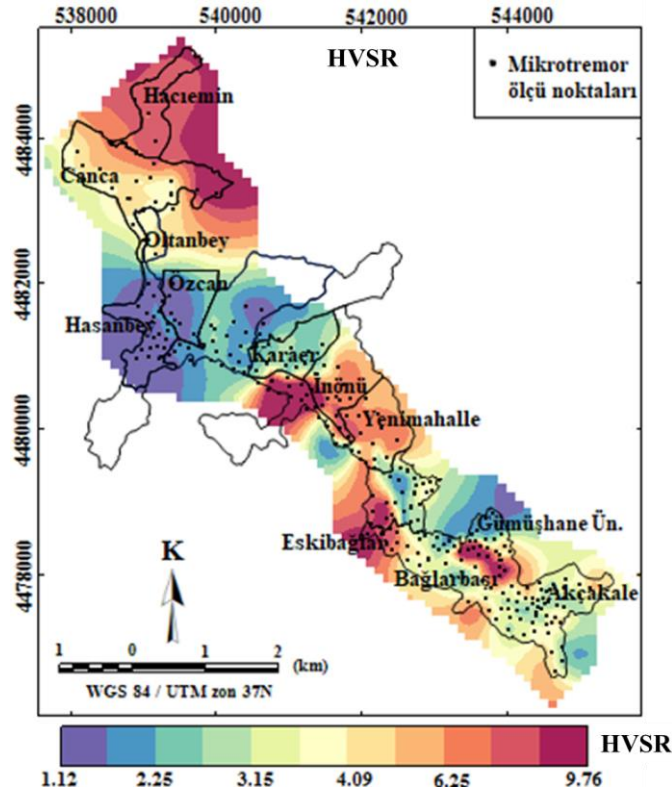
255 HVSR tekniğine göre değerlendirilen 279 istasyondaki mikrotremor kayıtlarından Gümüşhane ili merkez  
 256 ilçesine ait baskın frekans değerleri ( $f_0$ ) ile büyütme potansiyeli ( $A_0$ ) belirlenmiştir. İnceleme alanı için  
 257 HVSR'den elde edilen baskın frekans değerleri 1.21-13.40 Hz arasında ve baskın periyot değerleri de 0.07-  
 258 0.82 sn aralığında değişmektedir (Şekil 9). Merkez ilçe için oluşturulan baskın frekans dağılım haritasına  
 259 bakıldığında, çoğunlukla kuzey-batı kesiminde yüksek baskın frekans (6.02-13.40 Hz) değerlerinin olduğu  
 260 görülmektedir. Buna göre en yüksek baskın frekans değerlerinin bulunduğu alanlar için Hasanbey, Oltanbey  
 261 ve Özcan mahalleleri gösterilebilir. Bununla birlikte inceleme alanının kuzey-doğu kesiminde Gümüşhane  
 262 granitoyidi üzerinde yer alan Bağlarbaşı ve Akçakale mahallelerinde yine yüksek baskın frekanslar etkin  
 263 durumdayken, Harşit nehri boyunca alüvyon birimden (İnönü mahallesi ve Yenimahalle) elde edilen baskın  
 frekanslar oldukça düşük değerler sergilemektedir (1.21-6.02 Hz).



264  
265  
266  
267  
268  
269  
270

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



271  
272  
273  
274  
275

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

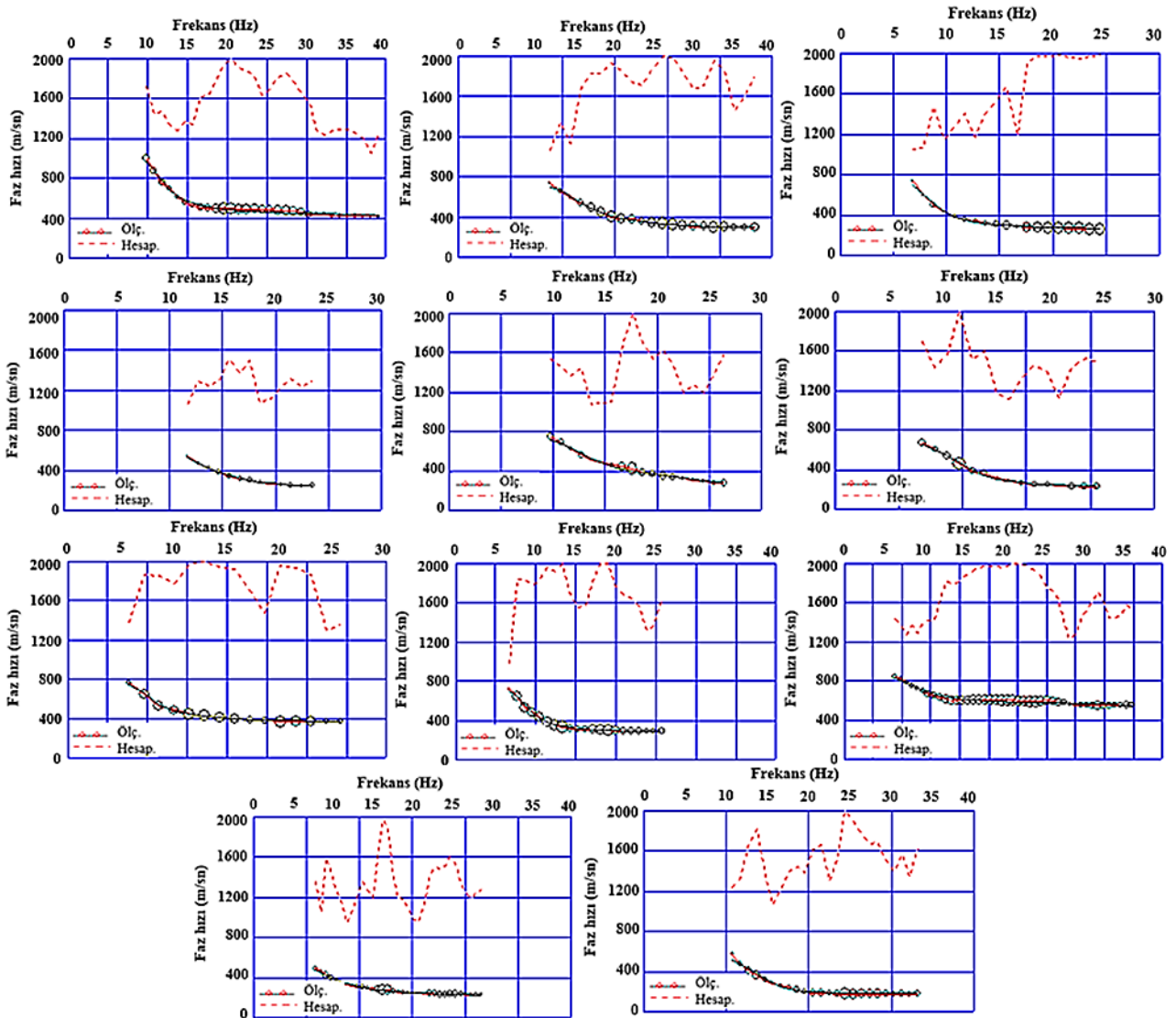


276 Harşit nehri boyunca yüksek katlı binaların olduğu kısımlarda büyütme potansiyelleri, granitik kayalara  
 277 oranla çok daha fazladır. Eskibağlarbaşı mahallesinde bulunan yeni Gümüşhane Devlet hastanesinin  
 278 bulunduğu alanda büyütme potansiyelleri en yüksek seviyelere sahiptir. Ayrıca Hacıemin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

## 4.2. MASW ölçümleri

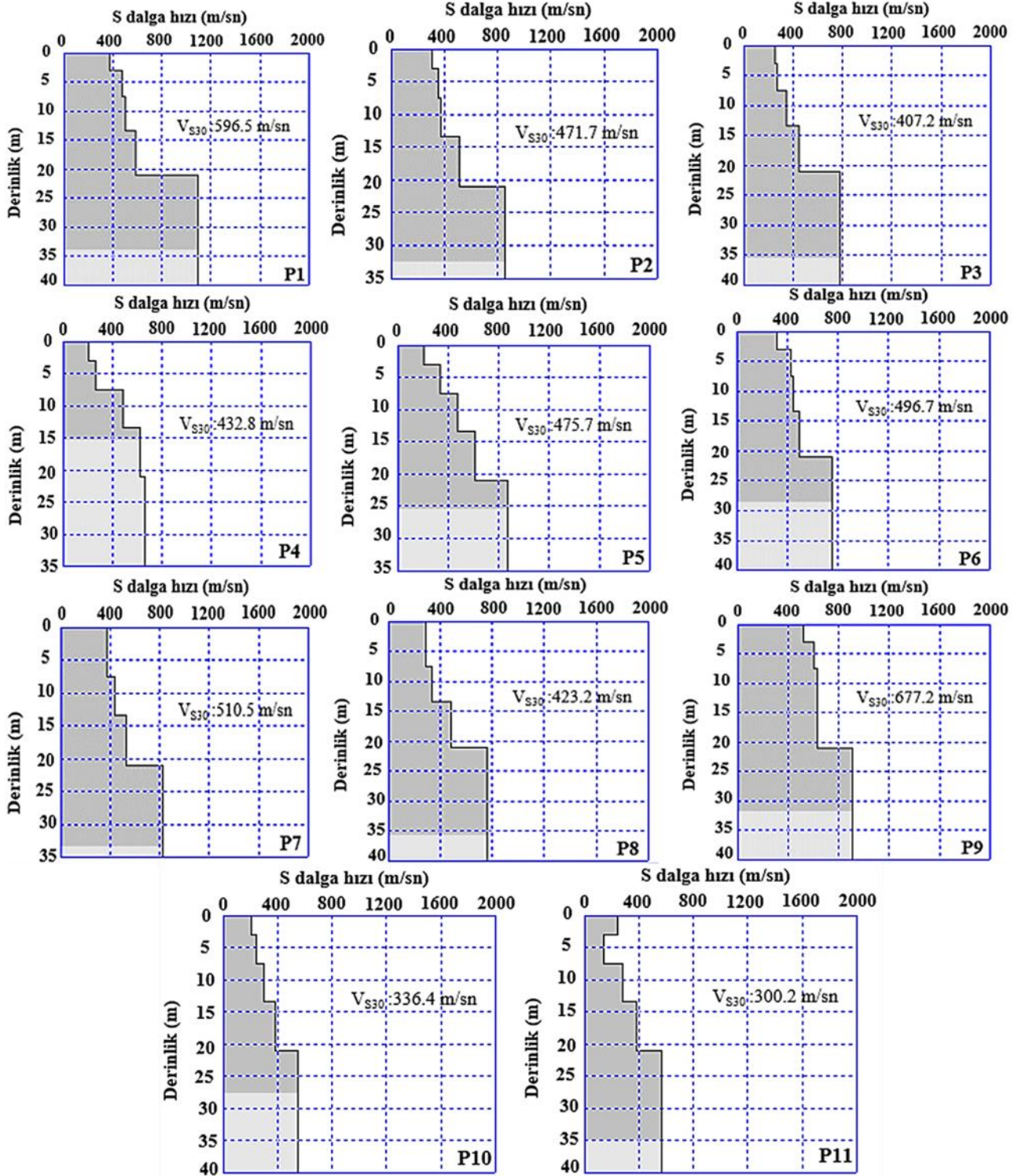
### 4.2. MASW measurements

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



296 Şekil 11. MASW profillerine ait ölçülen ve hesaplanan dispersiyon eğrileri

297 *Figure 11. Measured and estimated dispersion curves of MASW profiles*



300  
301  
302  
303  
304  
305  
306  
307  
308  
309  
310  
311  
312

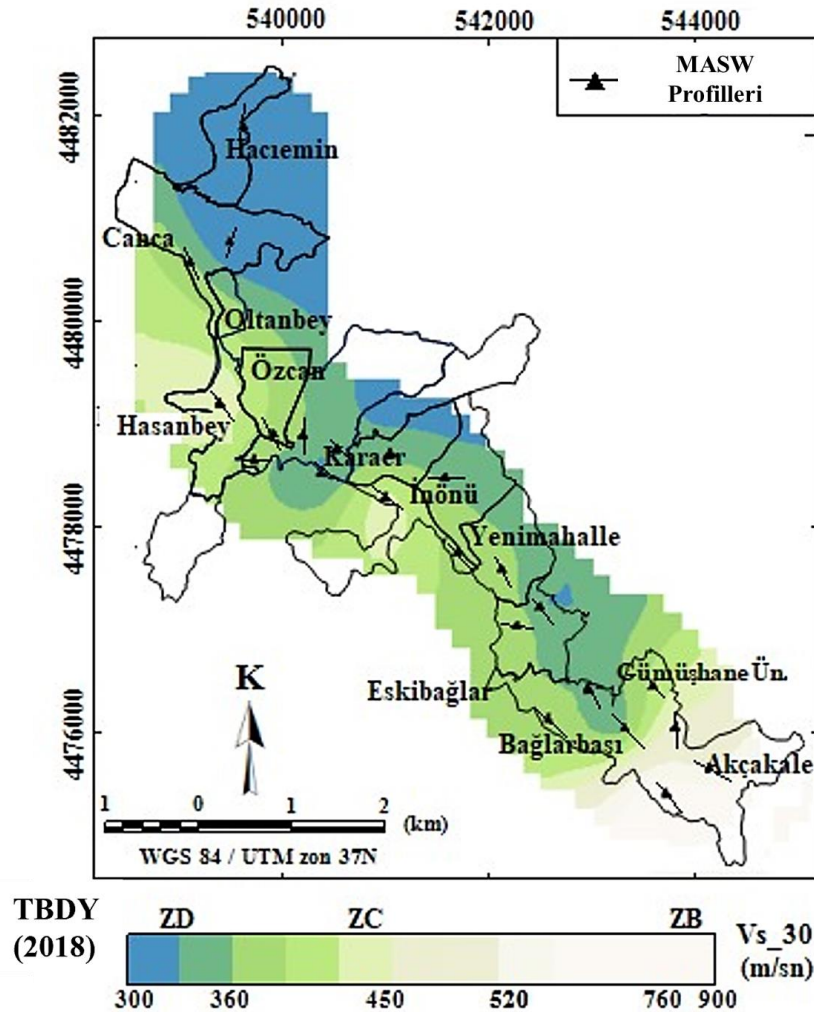
**Şekil 12.** Her bir profile ait 1B hız modelleri ve  $V_{S30}$  değerleri  
**Figure 12.** 1D Velocity models and  $V_{S30}$  values of each profile

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.

313 **Tablo 2.** MASW profillerinden 30 m derinlik için elde edilen  $V_{S30}$  değerleri ve zemin sınıflaması  
 314 **Table 2.** Soil classification and  $V_{S30}$  values obtained from MASW profiles for 30 m depth  
 315

| 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            |

316 Tüm profillerden elde edilen ortalama hızlar kullanılarak, Gümüşhane ili merkez ilçesi için  $V_{S30}$  dağılımına  
 317 göre zemin sınıfı haritası oluşturulmuştur (Şekil 13). Hacıemin ve Canca mahallelerinde en düşük  $V_{S30}$   
 318 değerleri ile **TBDY (2018)**'e göre en zayıf zemin sınıfını (ZD) oluşturmaktadırlar. Harşit nehri boyunca düşük  
 319  $V_{S30}$  değerleri görülürken, nehir seviyesinden yukarıya doğru gidildikçe  $V_{S30}$  değeri artış göstermektedir.  
 320 Dolayısıyla zayıf zemin özelliğine sahip alüvyon birimlerin kumlu, çakıllı, gevşek ve suya doygun özellikte  
 321 olması hız değerindeki bu azalmanın nedeni olarak kabul edilebilir.  
 322  
 323



**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.

**385 Etik beyanı****386 Declaration of ethical code**

387

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

390

**391 Çıkar çatışması beyanı****392 Conflicts of interest**

393

394 Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

395

**396 Kaynaklar****397 References**

398

399 Acar, İ., Kamacı, Z., & Kapucu, S. (2022). *Ödemiş kuzey bölgesinin imar ve bölge planlama alanı incelenmesi, Süleyman*  
400 *Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26(1), 83-89. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.959180>

401

402 Akın, Ö., & Sayıl, N. (2016). *Site characterization using surface wave methods in the Arsin-Trabzon province, NE*  
403 *Turkey. Environmental Earth Sciences*, 75, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4840-6>

404

405 Akın, Ö. (2020). *Trabzon – Ortahisar ilçesi güneyindeki heyelanlı alanların zeminözelliğinin aktif ve pasif yüzey*  
406 *dalgası yöntemleriyle incelenmesi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

407

408 Akkaya, İ., & Özvan, A. (2019). *Site characterization in the Van settlement (Eastern Turkey) using surface waves and*  
409 *HVSR microtremor methods. Journal of Applied Geophysics*, 160, 157-170.  
410 <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2018.11.009>

411

412 Alkan, H., Çınar, H., Oreshin, S., & Vinnik, L. (2019). *Investigation of the crustal and upper-mantle structure of the*  
413 *eastern Pontides orogenic belt (NE, Turkey): a receiver-function study. Journal of Seismology*, 23, 473-491.  
414 <https://doi.org/10.1007/s10950-019-09818-1>

415

416 Arrahman, M. A., Tohari, A., & Perwita, C. A. (2023). Seismic microzonation for Lembang fault hazard area in West  
417 Bandung Regency based on microtremor measurement. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental*  
418 *Science* (Vol. 1288, No. 1, p. 012018). IOP Publishing.

419

420 Ateş, E., & Uyanık, O. (2019). *Jeofizik yöntemler ile yer ve yapı etkileşimi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri*  
421 *Enstitüsü Dergisi*, 23, 46-60. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.430906>

422

423 Caielli, G., de Franco, R., Di Fiore, V., Albarello, D., Catalano, S., Pergalani, F., ... & Vassallo, M. (2020). Extensive  
424 surface geophysical prospecting for seismic microzonation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18, 5475-5502.

425

426 Chopra, S., Choudhury, P., Nikam, R., Chaudhary, P., Limbachiya, H., & Joshi, V. (2023). Use of Geophysical  
427 Techniques in Seismic Hazard Assessment and Microzonation. In *Geohazards: Analysis, Modelling and*  
428 *Forecasting* (pp. 73-87). Singapore: Springer Nature Singapore.

429

430 Dikmen, Ü. (2009). *Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils. Journal of*  
431 *Geophysics and Engineering*, 6(1), 61-72. <https://doi.org/10.1088/1742-2132/6/1/007>

432

433 Dokuz, A. (2000). *Yusufeli (Artvin-Turkey) yöresinin jeolojisi, jeotektoniği, magmatik- metamorfik kayaların*  
434 *jeokimyası ve petrojenezi* [Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].

435

436 Dokuz, A., & Tanyolu, E. (2006). *Geochemical constraints on the provenance, mineral sorting and subaerial weathering*  
437 *of lower jurassic and upper cretaceous clastic rocks of the Eastern Pontides, Yusufeli (Artvin), NE Turkey. Turkish*  
438 *Journal of Earth Sciences*, 15(2). <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol15/iss2/4>

439

440 Eurocode 8 (2004). *Design of structures for earthquake resistance – part 1: general rules, seismic actions and rules for*  
441 *buildings, authority: The European Union PerRegulation 305/2011, Directive 98/34/EC, Directive 2004/18/EC.*

442

443 Eyuboglu, Y., Dilek, Y., Bozkurt, E., Bektas, O., Rojay, B. & Şen, C. (2010). *Structure and geochemistry of an alaskan-*  
444 *type ultramafic-mafic complex in the Eastern Pontides, NE Turkey. Gondwana Research*, 18(1), 230-252.  
445 <https://doi.org/10.1016/j.gr.2010.01.008>

446

- 447 Fadli, D. I., Awaliyah, I. A., Hadi, A. I., Farid, M., Akbar, A. J., & Refrizon, R. (2023). Microzonation Site Effects and  
448 Shear Strain during Earthquake Induced Landslide Using HVSR Measurement in Ulu Mana Sub-District, South  
449 Bengkulu Regency Indonesia. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(2), 592-599.
- 450
- 451 Geopsy (2022, 10 Eylül). <https://www.geopsy.org/download.php>
- 452
- 453 Güven, İ.H. (1993). Doğu Pontidlerin 1/25 000 ölçekli jeolojisi ve komplikasyonu, Maden Tetkik Arama, Ankara  
454 (yayımlanmamış)
- 455
- 456 Güven, İ. T. (2022). *Seismic vulnerability indices for ground in Derince-Kocaeli (NW Turkey)*. *Environmental Earth*  
457 *Sciences*, 81(5), 167. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10288-x>
- 458
- 459 Güzel, M. (2009). *Mikrobölgeleme çalışmalarında jeolojik, jeofizik, jeoteknik verilerin birlikte kullanımı (kuzey Adana*  
460 *örneği)* [Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- 461
- 462 Kandemir, R. (2004). *Sedimentary characteristics and depositional conditions of lower- middle jurassic Şenköy*  
463 *Formation in and around Gümüşhane* [Doktora Tezi (yayımlanmamış), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen  
464 Bilimleri Enstitüsü].
- 465
- 466 Keskinsezer, A., & Dağ, E. (2019). *Investigating of soil features and landslide risk in Western-Atakent (İstanbul) using*  
467 *resistivity, MASW, Microtremor and boreholes methods*. *Open Geosciences*, 11(1), 1112-1128.  
468 <https://doi.org/10.1515/geo-2019-0086>
- 469
- 470 Kim, J., Park, D., Nam, G., & Jung, H. (2024). Shear-Wave Velocity Model from Site Amplification Using Microtremors  
471 on Jeju Island. *Applied Sciences*, 14(2), 795.
- 472
- 473 Miller, R. D., Xia, J., Park, C. B., & Ivanov, J. M. (1999). *Multichannel analysis of surface waves to map bedrock*. *The*  
474 *Leading Edge*, 18(12), 1392-1396. <https://doi.org/10.1190/1.1438226>
- 475
- 476 Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground  
477 surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1), 25-33.
- 478
- 479 NEHRP (2020). *National earthquake hazards reduction program, recommended seismic provisions for new buildings*  
480 *and other structures (FEMA P-2082-1), 2020 edition, Vol.1, Part 1: Provisions and Part 2: Commentary*.
- 481
- 482 Özdağ, Ö., Akgün, M., & Gönenç, T. (2020). *Determining bedrock of the northern part of Izmir Bay, western Anatolia,*  
483 *using a combination of microtremor, ESPAC, VES, and microgravity methods*. *Bollettino di Geofisica Teorica ed*  
484 *Applicata*, 61(4). Doi: 10.4430/bgta0313
- 485
- 486 Öztürk, S., Beker, Y., Sarı, M., & Pehlivan, L. (2021). *Estimation of ground types in different districts of Gümüşhane*  
487 *province based on the ambient vibrations H/V measurements*. *Sigma Journal of Engineering and Natural*  
488 *Sciences*, 39(4), 374-391. Doi: 10.14744/sigma.2021.00026
- 489
- 490 Park, C. B., Miller, R. D., & Xia, J. (1999). *Multichannel analysis of surface waves*. *Geophysics*, 64(3), 800-808.  
491 <https://doi.org/10.1190/1.1444590>
- 492
- 493 Pelin, S. (1977). *Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelenmesi*. *K.T.Ü yayını,*  
494 *13, 1-103.*
- 495
- 496 Pornsopin, P., Pananont, P., Furlong, K. P., Chaila, S., Promsuk, C., Kamjudpai, C., & Phetkongsakul, K. (2024). *Seismic*  
497 *Microzonation Map of Chiang Mai Basin, Thailand*. *Trends in Sciences*, 21(3), 7370-7370.
- 498
- 499 Putti, S. P., & Satyam, N. (2020). *Evaluation of site effects using HVSR microtremor measurements in Vishakhapatnam*  
500 *(India)*. *Earth Systems and Environment*, 4, 439-454. <https://doi.org/10.1007/s41748-020-00158-6>
- 501
- 502 SeisImager (2022, 2 Haziran). <https://www.geometrics.com/software/seisimager-sw/>
- 503
- 504 SESAME, (2005). *Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations*  
505 *measurements, processing and interpretation, European project*.
- 506
- 507 Tüdeş, Ş. (2001). *Gümüşhane kenti ve yakın çevresinin yerleşime uygunluk açısından araştırılması* [Doktora Tezi,  
508 Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- 509

- 510 Taş N., Okumuş E., Öner Ş., Köksal C., İcat M. Y., Tanış S. & Aslan N. (2003). *Gümüşhane İl Çevre Durum Raporu,*  
511 *Gümüşhane Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü,* 179.  
512
- 513 Tokel, S. (1972). Stratigraphical and volcanic history of the Gümüşhane region, NE, Turkey [Doktora tezi  
514 (yayınlanmamış), University College].  
515
- 516 Türkiye bina ve deprem yönetmeliği. (2018). *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı.*  
517
- 518 Wibowo, N. B., Fathani, T. F., Pramumijoyo, S., & Marliyani, G. I. (2023). Microzonation Of Seismic Parameters In  
519 Geological Formation Units Along The Opak River Using Microtremor Measurements. *Geomate*  
520 *Journal*, 25(110), 208-219.  
521
- 522 Xia, J., Miller, R. D., & Park, C. B. (1999). Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh  
523 waves. *Geophysics*, 64(3), 691-700. <https://doi.org/10.1190/1.1444578>  
524
- 525 GCMT-Global CMT Catalog Search. (2024, Şubat, 18) <https://www.globalcmt.org/CMTsearch.html>  
526
- 527 KOERİ, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi. (2024, Şubat 18) <http://udim.koeri.boun.edu.tr/>  
528
- 529 USGS, The U.S. Geological Survey Works. (2024, Şubat 17) <https://www.usgs.gov/>