



## **Yerel Zemin Özelliklerinin Microtremor ve ÇKYD Yöntemlerinden Elde Edilen Parametreler Kullanılarak İrdelenmesi: Eğridere/İzmir Örneği**

### **Examination of Local Soil Properties Using Parameters Obtained From Microtremor and Masw Methods: Eğridere / Izmir Case Study**

**Aykut Tunçel** <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: aykut.tuncel@deu.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 21.04.2021

Kabul Tarihi / Accepted: 19.09.2021

*Atıf şekli/How to cite: TUNÇEL, A.(2022). Yerel Zemin Özelliklerinin Microtremor ve ÇKYD Yöntemlerinden Elde Edilen Parametreler Kullanılarak İrdelenmesi: Eğridere/İzmir Örneği. DEUFMD, 24(70), 45-54.*

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2022247006

#### **Öz**

Eğridere inceleme alanı yüksek kotlarda ve dayanımı yüksek jeolojik birimler üzerinde yer almasına rağmen eğimli bir bölge olması ve heyelan potansiyeli yüksek olması sebebiyle risk oluşturabilecek unsurlar barındırmaktadır. Son olarak 2020 yılında Sisam adası yakınlarında yaşanan depremde Eğridere mahallesinin yer aldığı Bornova ilçesi ve çok yakınında olan Bayraklı ilçesinde ciddi derecede yapı hasarı ve can kaybı oluşmuştur. Tüm bu olumsuzlukların etkilediği inceleme alanında 15 noktada mikrotremor ve aynı noktaların üzerinde 15 profilde çok kanallı yüzey dalgaları yöntemleri kullanılarak veri toplanmıştır. Tek istasyon mikrotremor yöntemi ile toplanan verilerin, yatay düşey spektral oran tekniği ile değerlendirilmesiyle, zemin hâkim titreşim frekansı, büyütme faktörü ve zafiyet indeksi parametreleri hesaplanmıştır. Diğer bir yöntem olan çok kanallı yüzey dalgaları yöntemi kullanılarak toplanan verilerin değerlendirilmesiyle 30 metreye kadar olan kayma dalgası hızı elde edilmiştir ve bu hız kullanılarak zemin büyütmesi, zemin hakim titreşim frekansı ve zemin sınıfı parametreleri hesaplanmıştır. İnceleme alanındaki kayma dalgası hızlarının genelde 500 m/sn'den daha düşük olmadığı her iki yöntemden elde edilen frekans değerlerinin ise çoğunlukla 4-7 Hz arasında elde edildiği gözlenmiştir. Tüm elde edilen parametrelerin alandaki dağılım haritaları hazırlanmış ve bu parametrelerin jeolojik birimlerle ilişkisi kurularak çalışma alanının zemin özellikleri hakkında sonuçlar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Deprem ve diğer risklere karşı dayanıklılık gösterebilecek zemin parametrelerinin çalışma alanında yaygın olmasına rağmen, değişken kot ve jeoloji sunması sebebiyle parsel bazında ayrıntılı çalışmalar gerektiren bir bölge olduğu sonucu çıkmaktadır. Bunun yanı sıra bölgede heyelan riski de göz önüne alınmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Bornova, Eğridere, mikrotremor, ÇKYD, zemin özellikleri

#### **Abstract**

Although the Eğridere study area is located at high elevations and on geological units with high strength, it contains elements that may pose a risk due to its inclination and high landslide potential. In the recent earthquake that occurred near Samos island in 2020, serious building damage and loss

of life occurred in Bornova district, where Eğridere district is located and in Bayraklı district, which is very close. In the study area affected by all these negativities, data were collected using microtremor at 15 points and multi-channel surface waves in 15 profiles above the same points. By evaluating the data collected by single station microtremor method with horizontal to vertical spectral ratio technique, soil predominant frequency, amplification factor and vulnerability index parameters were calculated. Shear wave velocity up to 30 meters was obtained by evaluating the data collected by using another method, the multi-channel surface waves method, and using this velocity, soil amplification, soil predominant frequency and site classification parameters were calculated. It was observed that the shear wave velocities in the study area are generally not lower than 500 m/sec, and the frequency values obtained from both methods are mostly between 4-7 Hz. The distribution maps of all the obtained parameters in the area were prepared and by establishing the relationship of these parameters with the geological units, the results about the soil properties of the study area were tried to be revealed. Although soil parameters that can resist earthquakes and other risks are common in the study area, it is concluded that it is a region that requires detailed studies on parcel basis due to its variable elevation and geology. In addition, the risk of landslides in the region should also be considered.

**Keywords:** Bornova, Eğridere, microtremor, MASW, soil properties

## 1. Giriş

Bilindiği üzere deprem hareketi bir doğa olayıdır ve meydana gelmesi önlenemeyen bir hareket değildir. Bu sebeple depremin oluşturabileceği can ve mal kayıplarından korunmak için önlemler almak gerekmektedir. Korunma önlemlerinin başında depreme dayanıklı yapılar içinde ikamet etmek ilk akla gelir. Depreme dayanıklı bir yapının büyük magnitudlü depremlerde can güvenliğini sağlaması ve kalıcı yapısal hasar almaması gerekir. Deprem dalgalarının yapıya temas ettiği yer zemindir. Dolayısıyla dayanıklı ve güvenli yapılar tasarlamak için binanın oturacağı zemin ve fiziksel özellikleri net olarak tanımlanmalıdır. Ana kayanın derinliği, kayma dalgası hızı ( $V_s$ ), zemin hakim titreşim periyodu ( $T_0$ ) ve zemin büyütmesi ( $A$ ) değerlerinin elde edilmesi gerekli olan başlıca parametreler olarak tanımlanabilir [1]. Depremin kaynağından yola çıkan sismik dalgalar yapıya en son zemin tabakasından geçerek ulaşırlar ve zemin tabakasının fiziksel özellikleri ölçüsünde binaya etkirlir.

Günümüzde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [2], Eurocode 8 [3] ve NEHRP [4] yönetmelikleri dünya çapında en çok kullanılan yönetmeliklerdir. Bu yönetmeliklerde zeminlerin dinamik koşullardaki davranışlarının ön kestirilmesinde üst 30 metredeki kayma dalgası hız değerleri ( $V_{s30}$ ) ve zemin hakim titreşim frekansı (ZHTF) değerleri yaygın olarak kullanılır. Ayrıca yerel zemin sınıflarının belirlenmesinde kayma dalgası hızı  $V_s$  ve SPT

darbe sayısı  $N$  kullanılabilir. Jeofizik yöntemlerle elde edilen parametrelerin mikro bölgeleme çalışmalarında kullanımı Uyanık [5] tarafından ayrıntılı olarak tartışılmıştır.

Birinci derece deprem bölgesinde yer alan İzmir şehri yıkıcı depremlerden etkilenmektedir. Sisam Adası'nın hemen kuzeyinde ülkemiz sınırları içinde çalışma alanına 75 km uzaklıkta büyüklüğü  $M_w$  6,6 derinliği 14,9 km olan bir deprem meydana gelmiştir [6]. Çalışma alanına çok yakın olan Bornova ve Bayraklı ilçeleri 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen depremden ağır şekilde etkilenerek çok büyük can kaybı ve maddi hasara uğramıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda; 30 Ekim 2020 depreminin Sisam Fayı üzerinde yaklaşık 30 km uzunlukta bir kırılmaya yol açtığı düşünülmektedir [6]. Nüfus artışı, yüksek katlı yapılaşma ve zeminin dinamik parametrelerinin titizlikle hesaplanmadığı durumlarda deprem riski artmaktadır. Zemin ve bina parametrelerinin mühendislik çalışmalarıyla düzgün ve güvenilir şekilde hesaplanması durumunda, deprem sonucunda meydana gelecek olan sosyo-ekonomik hasarlar en aza inebilir.

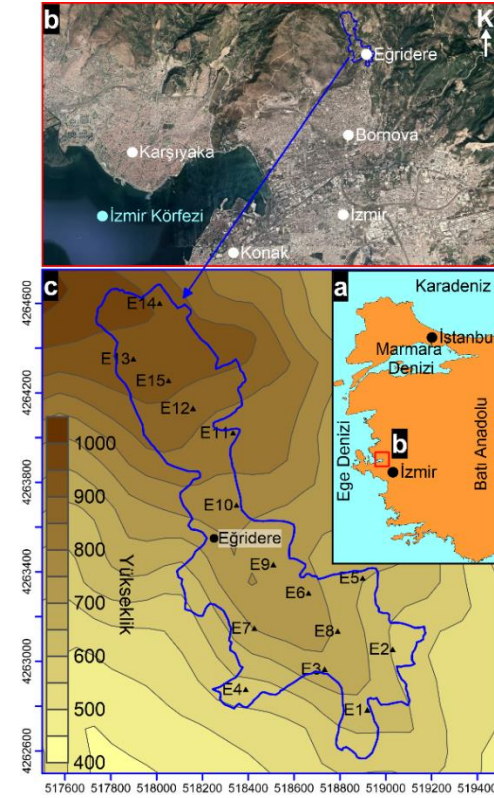
Bu çalışma kapsamında, İzmir ilinin kuzeyinde yer alan, depremde çok sayıda can kaybı ve yapı hasarına maruz kalan Bornova ilçesinin hemen üst kotlarında bulunan Eğridere mahallesinde jeofizik yöntemler ile veri toplanmıştır (Şekil 1). Mikrotremor ve çok kanallı yüzey dalgaları (ÇKYD) yöntemleri kullanılarak jeolojik

birimlerin dinamik koşullar altındaki özelliklerinin tanımlanması hedeflenmiştir. Mikrotremor yöntemiyle kaydedilen verilerin değerlendirilmesiyle zemin hakim titreşim frekansı (ZHTF), büyütme faktörü ve zafiyet indeksi (Kg) parametrelerine ulaşılmıştır. Hesaplanan tüm parametrelerin çalışma alanındaki dağılımları haritalar üzerinde gösterilmiş ve bu parametrelerin fiziksel anlamları tartışılarak çalışma alanı yorumlanmıştır. ÇKYD yöntemi ile toplanan verilerin değerlendirilmesi sonucunda 30 m derinliğe kadar olan kayma dalgası hızları ( $V_{S30}$ ) elde edilmiştir. Bu hız değerleri kullanılarak çalışma alanında ZHTF, zemin büyütmesi değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca  $V_{S30}$  hızları kullanılarak NEHRP [4] yönetmeliğine göre zemin sınıflaması yapılmıştır. ÇKYD yöntemi kullanılarak elde edilen tüm parametreler de dağılım haritaları çizilerek görselleştirilmiştir. Uygulanan jeofizik yöntemlerin sonucunda elde edilen parametrelerin değişimi ve jeolojik birimlerle ilişkisi yorumlanarak bölgenin zemin özellikleri irdelenmiştir. Daha önce benzer birçok çalışma [7-9] Bornova ilçesi için yapılmış ve bu çalışmalardan sonra meydana gelen depremde yoğun hasar ve can kayıplarının zemin özellikleri kötü olan bölgelerde yoğunlaştığı görülmüştür. Bu kapsamda zemin özelliklerinin belirlenmesini amaçlayan çalışmalar deprem hasarlarını azaltmak için büyük önem taşımaktadır. Zemin özelliklerinin tanımlanması amacıyla ayrıntılı jeofizik çalışmalar yaygın şekilde uygulanmaktadır [10].

## 2. Çalışma Alanı ve Jeoloji

Bornova ilçesi, İzmir şehri sınırları içerisinde yer alan büyük ve yoğun nüfusa sahip bir ilçedir. Çalışmanın yapıldığı Eğridere Mahallesi, Bornova ilçe merkezine 4 km uzaklıkta İzmir şehir merkezinin kuzeydoğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Eğridere mahallesi şehir merkezine göre daha yüksek kotlarda konumlanmış ve genelinde sağlam zemin özelliği gösteren bir bölgedir. Bununla birlikte heyelan potansiyeli yüksek olan bir bölge olduğu bilinmektedir [11]. Eğridere mahallesinde 2019 yılı şubat ayında şiddetli yağış sonrasında büyük bir heyelan meydana gelmiştir ve bu olayda yaklaşık 10 ev ve hayvan barınağı tamamen yıkılmış veya ağır hasar almıştır [12]. Bu sebeple yapılaşma öncesi parsel bazında zemin koşullarının ayrıntılı incelenmesi ve heyelan riskinin de bölgesel olarak araştırılması yerinde

olacaktır. Heyelan çalışmaları yürütülürken sismik ve elektrik yöntemler sıklıkla kullanılmakta ve başarılı sonuçlar vermektedir [13-15]. Bu çalışma kapsamında elektrik yöntem kullanılmamış olup ileriki çalışmalarda ayrıntılı heyelan potansiyeli olan yerlerin belirlenmesi amacıyla çalışmalar genişletilebilir.



**Şekil 1.-** Yerbulduru haritası **a** Batı Anadolu **b** İzmir körfezi ve Bornova ilçesi **c**. İnceleme alanının topoğrafik haritası ve ölçüm yapılan jeofizik yöntem noktaları (siyah üçgen).

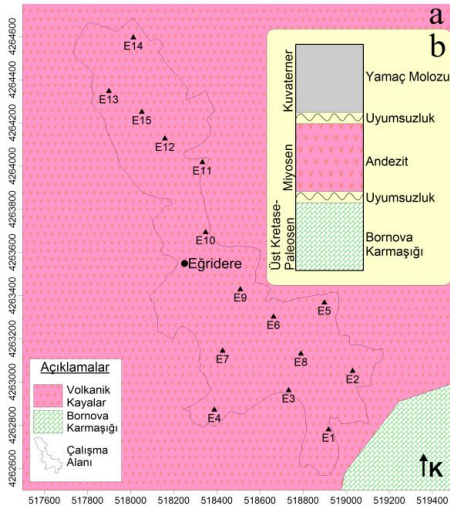
Çalışma alanı ve çevresinin genel jeolojisine bakıldığında Bornova Melanjı (karmaşığı), killi kireçtaşı, yamaç molozu ve alüvyon yer almaktadır. Bornova karmaşığı, çakıtaşı-kumtaşı-çamurtaşı ardalanmasından oluşmuş, kesikli ve sürekli Bouma istifi sunduğu için paleoakıntılar sonucunda gelişen, türbitidik akıntılarla filiş fasiyesinde çökelmiştir [16]. Bornova melanjı çalışma alanındaki en eski birim konumundadır. Neojen yaşlı gölsel tortullar Bornova Melanjı'nın üzerine çöşal uyumsuz olarak gelir. Kuvaterner yaşlı Yamaç Molozu ve alüvyon alanda mevcut tüm birimleri

uyumsuz olarak üstler [17]. Bornova Melanji (karmaşığı), kumtaşı/şeyl-kalkerli şeyl ardalanmasından oluşmuş matriks içerisinde yüzen platform türü kireçtaşı ve diyabaz bloklarından ve çakıltası merccek/kanal dolgularından meydana gelmiştir [16]. Çalışmanın yapıldığı Eğridere mahallesinin genel jeoloji haritasına göre yaygın olarak andezit birimlerin yer aldığı görülmektedir (Şekil 2.a). Bu andezit birimler çeşitli boy, dayanım ve ayrışma derecesinde olabilirler. Andezitik bileşimde birden fazla volkanik aktivite sonucunda oluşmuş olan volkanitler, tabanda ince bir tuf seviyesiyle başlar, aglomera ve andezit lavlarıyla devam eden kalın bir istif sunar. En üstte, bahsedilen birimlerden türeme, onların çakıl ve bloklarını içeren, ayrışma ürünü kil, silt ve kum boyutunda zemin türü malzemeden oluşan alüvyon ve yamaç molozları bulunmaktadır (Şekil 2.b). Bornova ve civarında yaygın olarak gözlenen yamaç molozu, üstlediği birimin ayrışmasıyla oluşmuştur. Yamaç molozu Bornova Karmaşığına ait birimleri ve tamamen andezitik lav akmalarının ayrışmasına ait birkaç santimetreden birkaç metreye kadar değişen boyutlarda bloklar içermektedir [18].

edilmiştir. Bu noktaların arası 200-300 metre mesafe olacak şekilde çalışma alanında yayılmaktadır. Aynı noktalarda ÇKYD ölçümleri de bir hat boyunca uygulanmıştır. Çalışma kapsamında Sara SR04 markalı 3 bileşenli hızölçer bir sismometre kullanılarak veriler kaydedilmiştir. Cihaz yere terazide olacak şekilde özenle yerleştirilerek 30 dk kayıt süresi olacak şekilde veri toplanmıştır. Kayıt sırasında örnekleme aralığı 100 Hz olacak şekilde kayıtçı ayarlanmıştır.

Ölçümler Nakamura [19] tek istasyon tekniği esas alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamalarında öncelikle mikrotremor verilerinin trend etkisi giderilmiştir. Trend etkisinden arındırılan veriye 0,1-20 Hz aralığında bant geçişli süzgeç uygulanmıştır. Daha sonra 20,48 sn. ve 40,96 sn. pencere boyları ve kosinüs pencere tipi seçilerek veri törpülenmiştir. Yuvarlatma için Konno-Ohmachi [20] tipi ve yuvarlatma sabiti 30 seçilmiştir. Her bir pencere için Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir. Nihai hedef olan yatay düşey spektral oran (HVSr) değerleri yatay bileşen spektrumlarının düşey bileşen spektrumuna oranlanmasıyla elde edilmiştir.

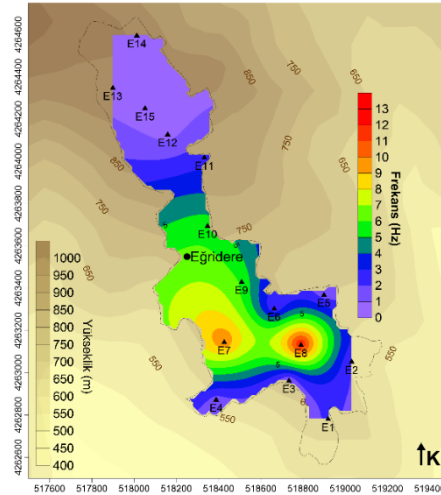
Kaydedilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda HVSr spektrum grafiği elde edilmiş ve elde edilen bu grafikten ZHTF değerleri okunmuştur. Çalışma alanında elde edilen hakim frekans değerlerinin bölgeye dağılımı kontur haritası üzerinde Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.a Genel jeoloji haritası b Stratigrafik kolon kesit.

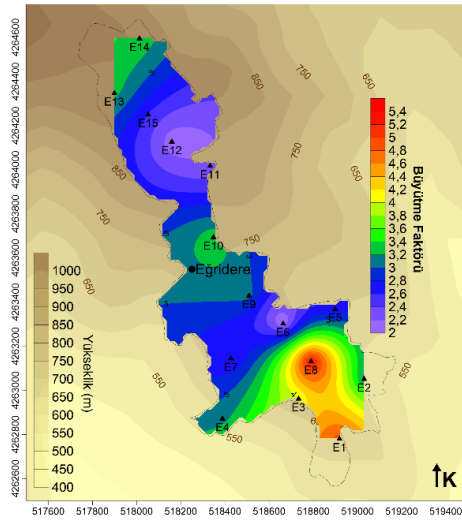
### 3. Mikrotremor Yöntemi Uygulama ve Değerlendirme

Bölgesel tarama amaçlı jeofizik etütlerde yaygın ve başarılı bir şekilde uygulanan mikrotremor yöntemi çalışma alanında 15 noktada tatbik



**Şekil 3.** Mikrotremor yönteminden hesaplanan ZHTF değerlerinin çalışma alanında dağılımı (topoğrafya haritası üzerine çizilmiştir).

Hakim frekansa karşılık gelen büyütme faktörü değerleri de spektrum grafiğinden okunarak haritalanmıştır (Şekil 4). Büyütme faktörü değerleri genelde 2 ile 3 arasında değişim göstermekle birlikte çalışma alanının güneyinde 5 değeri civarına ulaşmaktadır. Büyütme faktörü değerinin 2'den büyük olması SESAME [21] projesinde tavsiye edilen değerlendirme kriterlerini sağlaması açısından önemlidir.



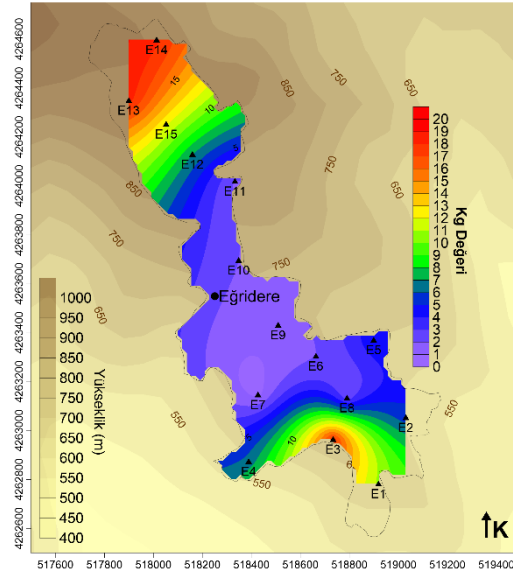
**Şekil 4.** Çalışma alanında hesaplanan büyütme faktörü değerlerinin dağılım haritası.

Bu çalışmada zemin Kg değerleri hesaplanmış olup, Kg değerinin matematiksel hesabı Nakamura [22] çalışmasında en net şekilde açıklanmış ve bağıntı 1'de verilmiştir.

$$Kg = Ag^2 / Fg \quad (1)$$

Bağıntıda  $Ag$  en büyük genlik değeri yani büyütme faktörüdür,  $Fg$  ise  $Ag$ 'ye karşılık gelen frekans değerini yani ZHTF olarak bahsedilen frekans temsil eder.  $Kg$  değeri ile deprem sonrasında oluşan yapısal hasarlar arasındaki ilişki Nakamura [23] tarafından incelenmiş ve hasar oranının arttığı yerlerde zafiyet indeksinin 20 den büyük değerler aldığı ortaya

konulmuştur. Zemin zafiyet indeksi olarak tanımlanan  $Kg$  değerlerinin, inceleme alanında en çok 20 değerine kadar yükseldiği görülmektedir (Şekil 5). Bu parametrenin hesaplanmasıyla çalışma alanındaki tehlikeli bölgeler belirlenebilir ve depremden önce hasarın oluşabileceği alanlar tahmin edilebilir.



**Şekil 5.** Zemin zafiyet indeksi ( $Kg$ ) değerlerinin çalışma alanını topoğrafya haritası üzerindeki dağılımı.

#### 4. ÇKYD Yöntemi Uygulama ve Değerlendirme

ÇKYD yöntemi arazi çalışmaları 15 serimde yapılmıştır. Serim uzunlukları 72 m ve offset mesafesi 6 m olacak şekilde arazi konumlanmaları ayarlanmış ve yöntem uygulanmıştır. Jeofon aralıkları ise 3 m olacak şekilde hazırlanmış ve güç kaynağı olarak 10 kg ağırlığında balyoz kullanılmıştır. Yöntem çalışma alanında Rusya üretimi Lakkolit X-M3 markalı sismik cihaz kullanılarak yürütülmüştür. Sismik yöntemin uygulandığı cihaz 24 kanallı olarak çalışmaktadır, bu cihazla birlikte 4,5 Hz düşey bileşenli jeofonlar kullanılmıştır. Her atış noktasında en az 3 kez vuruş yapılarak kayıtlar alınmıştır. Kullanılan ekipman ve arazide ölçü alma dizilimine ait görüntüler Şekil 6'da verilmiştir.

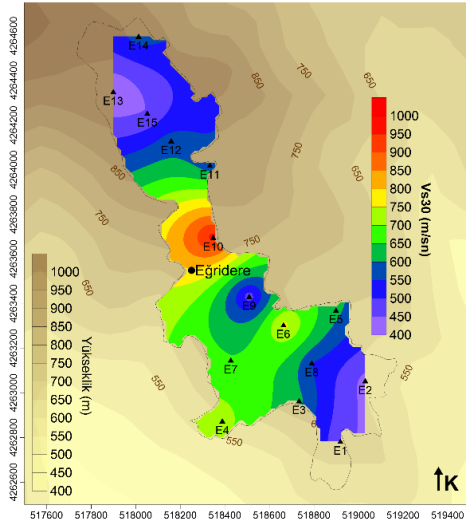




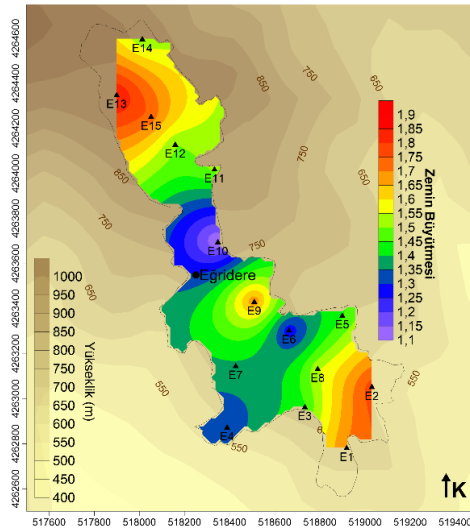
Şekil 6.a,b ÇKYD yönteminin arazide uygulanması ve kullanılan ekipman c,d mikrotremor yönteminde kullanılan cihaz ve arazide yerleşimi.

Çalışma alanında kaydedilen veriler SeisImager yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Faz hızının frekansa bağlı olarak değişimini gösteren dispersiyon eğrileri elde edilmiştir. Dispersiyon eğrisinde temel modlar ters çözüme sokularak kayma dalgası hızları hesaplanmıştır. İnceleme alanında kayma dalgası hızları 400 m/sn ile 1000 m/sn arasında hesaplanmış ve bu hızların dağılım haritası Şekil 7'de verilmiştir. Hesaplanan kayma dalgası hızları 30 metre derinliğe kadar olan ortalama hızlardır ve  $V_{S30}$  olarak tanımlanmaktadır.

Birçok araştırmacı [24-26], 30 m'ye kadar ortalama kayma dalgası hızlarını ( $V_{S30}$ ) kullanarak zemin büyütmesi (A) hesaplanmasını içeren çalışmalar yapmışlar ve sonuç olarak bir formül önermişlerdir ( Tablo 1). Bu çalışmada, Midorikawa'nın [25] korelasyonu kullanılarak zemin büyütmesi değerleri hesaplanmıştır. Çalışma alanında gözlenen en büyük zemin büyütmesi 1,9 değeri olarak hesaplanmış olup 1,1 değerine kadar düşüşlerin olduğu dağılım haritasında görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 7. ÇKYD yöntemiyle hesaplanan  $V_{S30}$  kayma dalgası hızlarının inceleme alanındaki kontur dağılımı.



Şekil 8. Elde edilen  $V_{S30}$  kayma dalgası hızı değerleri kullanılarak Midorikawa (1987) [25] bağıntısından hesaplanan zemin büyütmesi değerlerinin inceleme alanındaki dağılımı.

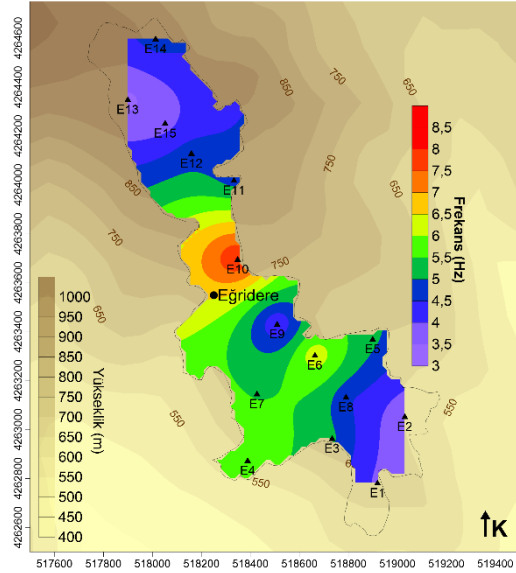
**Tablo 1.** Çeşitli yazarlar tarafından önerilen zemin büyütmesi (A) hesaplama formülleri.

Yazarlar	Zemin Büyütmesi (A)
	$A = 68V_{S30}^{0,6}$
Midorikawa (1987) [25]	$A = 23V_{S30}^{0,45}$
Joyner ve Fumal (1984) [24]	$A = \frac{700}{V_{S30}}$
Borcherdt (1994)-(zayıf hareket) [26]	$A = \frac{600}{V_{S30}}$
Borcherdt (1994)-(kuvvetli hareket) [26]	$A = \frac{600}{V_{S30}}$

Sismik çalışmalarla elde edilen ZHTF değerleri ile deprem kuvvetlerinin zeminde oluşturacağı hakim frekanslar hakkında önceden bilgi edinilebilir. Ortalama kayma dalgası hızı kullanılarak zemin hâkim titreşim frekansı;

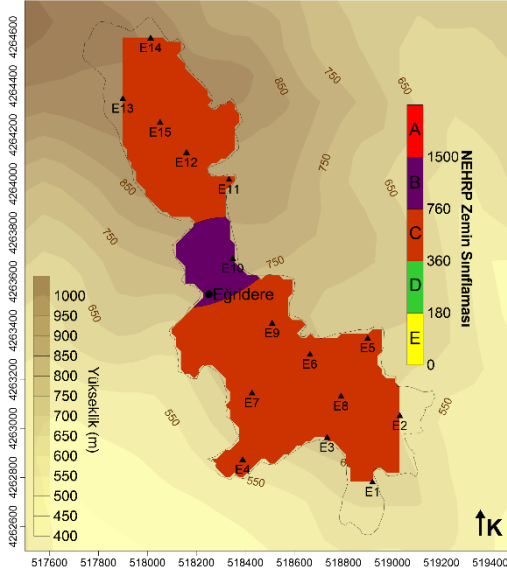
$$ZHTF = VS30/4h \quad (2)$$

bağıntısıyla [27] 30 m derinliğe kadar hesaplanmış ve alanın ZHTF dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 9) Zeminin sadece kalınlığı ile  $V_s$  hızına bağlı olan ZHTF, en önemli büyütmenin hangi titreşim frekansında gerçekleşebileceği hakkında çok önemli bir belirteçtir [28]. İnceleme alanında elde edilen  $V_{S30}$  kayma dalgası hızı değerleri, Ulusal Deprem Tehlikelerini Azaltma Programına (NEHRP) [4] göre zemin sınıflarının belirlenmesi için kullanılmıştır. Makaslama dalgası hızlarının 30 m'ye kadar aldığı değerlere göre tablodaki isimlendirmeler kullanılarak zeminler sınıflandırılmıştır (Tablo 2). Tabloya göre en sağlam zemin sınıfı A olacak şekilde, dayanım azaldıkça ise F harfine doğru değişen şekilde düzenlenmiştir.

**Şekil 9.** Kayma dalgası hızı kullanılarak hesaplanan ZHTF değerlerinin çalışma alanındaki değişimi.**Tablo 2.** Kayma dalgası hızlarına göre NEHRP [4] zemin sınıflama tablosu.

Zemin Sınıfı	Zemin Tanımlaması	Makaslama Dalgası Hızı ( $V_{S30}$ )
A	Sert ana kaya	>1500 m/s
B	Sağlam, dayanıklı ile sert kaya arası birimler	760 – 1500 m/s
C	Yoğun toprak, yumuşak kaya	360 – 760 m/s
D	Sert toprak	180 – 360 m/s
E	Yumuşak killer	< 180 m/s
F	Özel çalışma gerektiren zeminler	

Çalışma alanında zemin sınıflaması değişimine bakıldığında, alanın büyük bölümü C zemin sınıfına girmektedir. Çalışma alanının orta bölümünde ise B sınıfı zemin gözlenen bir bölge yer almaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Kayma dalgası hızları kullanılarak oluşturulan NEHRP zemin sınıflaması haritası.

## 5. Tartışma ve Sonuçlar

İnceleme alanında uygulanan her iki jeofizik yöntemle de elde edilen ZHTF değerleri kendi içinde uyum göstermektedir. Genel olarak kuzey ve güneyde düşük, inceleme alanının orta bölümlerinde ise görece yüksek hakim frekanslar saptanmıştır. Yöntemlerin sonuçları uyumlu olsa da rakamsal olarak farklılıklar gözlenmektedir. Daha önceki çalışmalarda [29] da bu rakamsal farklılıklarla karşılaşıldığı için beklenen bir durum olarak açıklanabilir. Buna sebep olarak farklı araştırma derinliğine sahip 2 farklı yöntemin karşılaştırılıyor olması da gösterilebilir. Mikrotremör yöntemi genelde daha derinlerden gelen bilgiyi taşıırken sismik yöntemle elde edilen hız bilgisi sadece 30 metrelik derinliğe kadar olan ortalama değerdir. Yine zemin büyütmesi değerlerinin de bölgedeki hakim frekans değerleri değişimiyle uyumlu olacak şekilde dağılım gösterdiği söylenebilir. Sismik hızlardan hesaplanan zemin büyütmesi parametresi en büyük olduğu noktalarda almıştır. Büyütme faktörü değerleri ise inceleme

alanının en güneyinde yüksek değerler almıştır. Büyütme faktörü değerleri çoğu zaman zemin büyütmesiyle uyumlu sonuçlar vermemekte ve zemin büyütmesi olarak tanımlanmamaktadır.

Kg zafiyet endeksi parametresi çalışma alanının özellikle kuzey kısımlarında en yüksek değerleri almıştır. Daha önce 2019 yılında meydana gelen heyelanın [12] da bölgenin kuzeyinde olduğu düşünüldürse, Eğridere mahallesinin en riskli bölgesinin kuzey yamaçlar olduğu söylenebilir. Çalışma alanının güneyinde de benzer yüksek değer gözlenmiş olmasına rağmen bu değerler 20 civarındadır. Bu değerler riskli olmayıp sadece bu inceleme alanı için görece yüksek olarak tanımlanmıştır. Kg parametresinin 20'den daha büyük değerler aldığı zaman çalışma alanlarının riskli olarak tanımlandığı daha önceki araştırmalarda ortaya konulmuştur [30,31]. İnceleme alanının orta bölümlerinde ise Kg değeri daha düşük elde edilmiştir. İnceleme alanının genelinde deprem sonrasında zafiyet gösterecek ve risk oluşacak bir bölge gözlemlenmemekle birlikte yine de yapıların durumu önemlidir. Bölgenin köy yeri olması ve hayvancılık yapılması sebebiyle burada yer alan ve mühendislik hizmeti alınmadan inşa edilmiş ahır ve baraka tipi yapılar risk altında olabilir.

İnceleme alanındaki kayma dalgası hızı dağılımlarında 400 m/s ile 1000 m/s arası değişimler gözlenmektedir, en yüksek değerleri ise çalışma alanının orta bölümünde 750 m kot değerine denk gelen bölgede gözlemlenmiştir. Hız değişimlerinin bölgedeki andezit kayaların farklı tane boyutlarındaki bileşenlerinden (yamaç molozu) kaynaklandığı şeklinde yorumlanabilir.

Elde edilen tüm parametreler hesaba katılarak inceleme alanı hakkında genel bir yorum yapmak gerekirse; inceleme alanında hakim olarak yer alan granit birimlerin farklı tane boyu ve ayrışma derecesindeki bileşenleri alandaki zemin dinamik parametrelerini belirlemektedir. Buna bağlı olarak derinlerden bilgi taşıyan mikrotremör yöntemi ve buradan elde edilen parametrelerden hesap edilen Kg değerlerine göre zeminin zafiyet gösterme ihtimali düşük olarak yorumlanmaktadır. Sığ araştırma derinliği olan ÇKYD yöntemi ile hesaplanan  $V_{s30}$  hızlarına göre ise 400 m/sn olan değerlere sahip bölgelerde zafiyet görülebilir ancak burada hızı düşüren yüzeydeki ayrılmış birimlerin etkisi olduğu tahmin edilmektedir. Sığ derinliklerdeki



küçük tane boyulu ve ayrıışmış birimlerin kazı yoluyla ortadan kaldırılmasıyla çalışma alanı genelinde çok daha sağlam birimlere ulaşılacaktır. Çalışma alanındaki ani kot değişimleri göz önüne alındığında sık aralıklarla yerinde araştırmalar önerilebilir. Jeolojik birim değişimleri ve heyelan potansiyelini iyi tanımlamak için ise bölgesel gözlem yapılarak jeofizik ve jeoloji araştırmaları yürütülmesi faydalı olacaktır.

### Teşekkür

Yazar mikrotremör ve sismik yöntemlerin ham verisini sağlayan Ege Yer Bilimleri Sondajcılık'a teşekkür eder. Yazar makaleye katkı sağlayan ve geliştiren hakemlere teşekkür eder.

### Kaynakça

- [1] Yalçınkaya, E. 2004. Bir boyutlu modeller için zemin büyütmesine etki eden parametrelerin incelenmesi. İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi, Cilt 17(1), s. 47-56.
- [2] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY). 2018. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı.
- [3] Eurocode 8, 2004. prEN 1998-1 Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings.
- [4] NEHRP, 2003. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions. Building Seismic Safety Council, Washington, DC, USA.
- [5] Uyanık, O. 2015. Deprem Ağır Hasar Alanlarının Önceden Belirlenmesi ve Şehir Planlaması için Makro ve Mikro Bölgelelendirmelerin Önemi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 19(2), s. 24-38. DOI: 10.19113/sdufbed.00543
- [6] AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, 2020. 30 Ekim 2020 Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) Açıkları (17,26 km) Mw 6.6 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu, AFAD.
- [7] Tunçel, A. 2008. Sismik Kırılma Yöntemi Ve Mikrotremör Ölçümlerinden Elde Edilen Dinamik Zemin Parametrelerinin Karşılaştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- [8] Eskişar, T., Özyalın, Ş., Kuruođlu, M.i Yılmaz, H.R. 2013. Microtremor Measurements in the Northern Coast of İzmir Bay, Turkey to Evaluate Site-Specific Characteristics and Fundamental Periods by H/V Spectral Ratio Method, Journal of Earth System Science, Cilt 122(1), s. 123-136.
- [9] Pamuk, E., Gönenç, T., Özdağ, Ö. C., & Akgün, M. 2018. 3D Bedrock Structure of Bornova Plain and Its Surroundings (İzmir/Western Turkey), Pure and Applied Geophysics, Cilt 175(1), s. 325-340. DOI: 10.1007/s00024-017-1681-0
- [10] Akin, Ö., Sayıl, N. 2016. Site characterization using surface wave methods in the Arsin-Trabzon province, NE Turkey. Environmental Earth Science Cilt 75:72. DOI: 10.1007/s12665-015-4840-6
- [11] Akgün, A., Kınal, C., Pradhan, B. 2012. Application of remote sensing data and GIS for landslide risk assessment as an environmental threat to İzmir city (west Turkey), Environmental Monitoring and Assessment, Cilt 184, s. 5453-5470. DOI: 10.1007/s10661-011-2352-8
- [12] Tunçel, A., Kınal, C., Berge, M.A., Ongar, A., Göktürkler, G., Koca, Y. 2019. Investigation of a landslide: a case study from Eğridere, İzmir, Turkey. International Earth Science Colloquium on the Aegean Region, IESCA-2019, 7-11 Ekim, İzmir, 187-189.
- [13] Göktürkler, G., Balkaya, Ç., Erhan, Z. 2008. Geophysical investigation of a landslide: The Altındağ landslide site, İzmir (western Turkey). Journal of Applied Geophysics, Cilt 65 (2), s. 84-96 DOI: 10.1016/j.jappgeo.2008.05.008
- [14] Bekler, T., Ekin, Y.L., Demirci, A., Erginal, A.E., Ertekin, C. 2011. Characterization of a Landslide using Seismic Refraction, Electrical Resistivity and Hydrometer Methods, Adatepe - Çanakkale, NW Turkey, Journal of Environmental and Engineering Geophysics, Cilt 16:3, s. 115-126. DOI: 10.2113/JEEG16.3.115
- [15] Uyanık, O., Catlioglu, B. 2014. Elektrik Özdirenç ve Sismik Kırılma Yöntemlerinden Heyelan Geometrisinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 18(3), s. 22-29.
- [16] Erdođan, B. 1990. İzmir-Ankara Zonu'nun İzmir ile Seferihisar Arasındaki Bölgede Stratigrafik Özellikleri ve Tektonik Evrimi: TPJP Bülteni, Cilt. 2:1, s. 1-20.
- [17] Kınal, C. 2004. İzmir İç Körfezi çevresinde yer alan birimlerin coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- [18] Turhanlar, B. 2015. İzmir İli Bornova İlçesi Eğridere Mahallesi 1/5000 Ölçekli Nazım İmar Planına ve 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, İzmir, Turkey (yayınlanmamış).
- [19] Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Cilt 30, s. 25-33.
- [20] 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, Cilt 88, s. 228-241.
- [21] SESAME (2004). Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations-measurements, processing and interpretation. SESAME European Research Project Technical Report, European Commission Research General Directorate Project.
- [22] Nakamura, Y. 2009. Basic Structure of QTS (HVSR) and Examples of Applications. In: Mucciarelli M., Herak M., Cassidy J. (eds) Increasing Seismic Safety by Combining Engineering Technologies and Seismological Data. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-1-4020-9196-4\_4

- [23] Nakamura, Y. 1997. Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor. World Congress on Railway Research in Florence, Italy.
- [24] Joyner, W.B., Fumal, T. 1984. Use of measured shear-wave velocity for predictive geological site effects on strong motion. Proceedings of the Eighth World Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, USA. 777-783.
- [25] Midorikawa, S. 1987. Prediction of seismic map in Kanto plain due to hypothetical earthquake. Journal of Structural and Construction Engineering, Cilt 33B, s. 43-48.
- [26] Borchardt, R.D. 1994. Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification). Earthquake Spectra, Cilt 10(4), s. 617-654.
- [27] Kanai, K., Tanaka, T., Yoshizawa, S. 1966. On Microtremors 9. Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Cilt 43, s. 577-588.
- [28] Kramer, S.L. 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River: 653 p.
- [29] Tunçel, A., Pamukçu, O., Gönenc, T., Akgün, M. 2016. Mikrotremor, Çok Kanallı Yüzey Dalgaları (ÇKYD) ve Mikrogravite Yöntemleri Kullanılarak Zemin Dinamik Özelliklerinin İrdelenmesi: Karşıyaka-İzmir Örneği, Yerbilimleri, Cilt 37:2, s. 81-92. DOI: 10.17824/yrb.61207
- [30] Nakamura, Y. 1997. Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor, World Congress on Railway Research, Florence.
- [31] Pamuk, E., Özdağ, Ö.C., Tunçel, A., Özyalın, S., Akgün, M. 2018. Local site effects evaluation for Aliağa/İzmir using HVSR (Nakamura technique) and MASW methods, Natural Hazards, Cilt 90, s.887-899.