

## Mikrotremor, Çok Kanallı Yüzeysel Dalgaları (ÇKYD) ve Mikrogravite Yöntemleri Kullanılarak Zemin Dinamik Özelliklerinin İrdelenmesi: Karşıyaka-İzmir Örneği

### *Examining the Dynamic Properties of Soil by Using Microtremor, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) and Microgravity Methods: A Case Study in Karşıyaka-İzmir*

AYKUT TUNÇEL<sup>1\*</sup>, OYA PAMUKÇU<sup>1</sup>, TOLGA GÖNENÇ<sup>1</sup>, MUSTAFA AKGÜN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 35160 İzmir

Geliş (received) : 24 Kasım (November) 2015  
Kabul (accepted) : 11 Temmuz (July) 2016

#### ÖZ

Bu çalışma kapsamında yeraltı tabakalarının dinamik koşullar altındaki özelliklerini incelemek için İzmir Körfezi kuzeyinde D-B yönünde yaklaşık 4 km ve K-G yönünde 5 km ile sınırlandırılmış 20 km<sup>2</sup>'lik bir alandan jeofizik veriler toplanmıştır. Çalışma kapsamında Rayleigh tipi yüzeysel dalgalarının dispersif özelliğini kullanan Çok Kanallı Yüzeysel Dalgaları (ÇKYD) yöntemi kullanılmıştır. ÇKYD yöntemiyle 30 metre derinliğe kadar olan makaslama dalgası hızları ( $V_s30$ ) elde edilmiş ve bu hız değerleri kullanılarak alana ait Zemin Hâkim Titreşim Periyodu (ZHTP) ve yoğunluk değişimleri hesaplanmıştır. ZHTP değerleri çalışma alanı içinde 112 noktada mikrotremor yöntemi ile kaydedilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Mikrotremor ve ÇKYD yöntemlerinden elde edilen dağılım haritalarıyla ortak yorumlayabilmek için, mikrogravite yöntemi verileri kullanılarak Bouguer gravite dağılım haritası oluşturulmuştur. Mikrotremor tek nokta ölçümleri ile elde edilen ZHTP değerlerinin 1 sn'den daha büyük olduğu noktalarla  $V_s30$  hızlarının 700 m/sn'den daha düşük olduğu yerlerin örtüştüğü dağılım haritalarında gözlenmektedir. Bu örtüşmenin gözlemlendiği yerlerde alüvyon zeminlerin yer aldığı ve mühendislik anakayasası derinliğinin 30 m'den fazla olabileceği söylenebilir. Çalışma alanı, uygulanan yöntemler sonucunda elde edilen parametrelere göre fiziksel özellikleri açısından KB-GD yönlü çizgisel bir sınır ile iki ayrı alana ayrılabilir dağılım haritalarına bakılarak söylenebilir. Bu çizginin kuzeyinde daha yüksek hız değerleri ve ayrıca bu hız değerlerinden elde edilen daha yüksek yoğunluk ve daha düşük ZHTP değerleri gözlenmiştir. Bu bulgular ışığında çalışma alanının kuzey kesimlerinin görece gerilme dayanımı yüksek jeolojik birimlerden oluştuğundan, güney bölümde ise özellikle İzmir Körfezi kıyılarına doğru görece gerilme dayanımı düşük jeolojik birimlerin varlığından söz edebiliriz. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular bölgenin jeolojisi ve tektonik özellikleri ile uyum sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Kanallı Yüzeysel Dalgaları (ÇKYD), İzmir, Karşıyaka, Mikrogravite, Mikrotremor.

#### ABSTRACT

In this study, to investigate the characteristics of the subterranean structures under dynamic conditions the geophysical data were collected in approximately 4 km along EW direction and 5 km along NS direction in an area of 20 km<sup>2</sup> in the North of İzmir Bay. At the scope of the study Multi-Channel Analyses of Surface Waves (MASW) method which uses the dispersive feature of Rayleigh type surface waves is used. Shear wave velocity ( $V_s30$ ) up to 30 meters deep is obtained with MASW method, using these velocity values predominant site period (PSP) and density changes are calculated. Furthermore PSP changes are calculated using the recorded microtremor method data at 112 points in the study area. To examine the site structure of the study area and common interpretation seismic velocity and the other distribution maps derived from the seismic velocities with Bouguer gravity maps which were created using microgravity method data. To common interpret the distribution maps obtained from Microtremor and MASW methods with Bouguer gravity distribution map which were created using microgravity method. It is observed at distribution maps that the points where PSP values obtained from Microtremor single point measurements are greater than 1 second overlaps the locations where  $V_s30$  velocities are lower than 700 m/sec. At the locations that overlapping can said the alluvium soil takes place and engineering bedrock depth is more than 30 meters. It can be said that the study area can be divided into two separate parts by a NW-SE trending boundary line in terms of physical properties according to the parameters

\* A.Tunçel  
e-posta: aykut.tuncel@deu.edu.tr

obtained from the methods applied at the study area by looking at the distribution maps. Higher velocity values and also higher density and lower PSP values obtained by these velocities were observed at the north of this line. These findings led us that the northern part of the area consists of geological units which are more resistant to earthquakes but towards the bay coast at southern part of the area there exists weaker geological units. The findings obtained according to the scope of the study are compatible with the geology and tectonic features of the region.

**Keywords:** İzmir, Karşıyaka, Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW), Microgravity, Microtremor.

## GİRİŞ

Bir gözlem noktasında kaydedilen deprem kaydı, kaynağından çıkıp sismometre tarafından kaydedilene kadar yeraltı tabakalarının birçok fiziksel özelliğinden etkilenir. Yapılarda hasar oluşturan depremlerdeki en önemli etkenler; deprem kaynağının kinematik ve dinamik özellikleri, deprem dalgalarının geçtiği ortamların fiziksel ve geometrik parametreleri, dalgaların soğurulması, gözlem noktasındaki sıçır yapısının fiziksel ve yapısal özellikleri ile o ortamın bölgesel davranış özellikleri olarak sayılabilir.

Bir yapının deprem gerilme dayanımının yüksek olabilmesi sadece yapıya ait mühendislik hesaplarının değil aynı zamanda çevredeki yapılaşma, bina yükleri ve özellikle üzerine inşa edileceği zeminin özelliklerinin hesaba katılması ile mümkündür. Bu da zeminin dinamik yükler altında nasıl davranacağından önceden bilinmesinin önemini ortaya koymaktadır. Zemin tabakası, deprem dalgasının genlik, periyot vb. özelliklerini değiştirerek üzerinde taşıyacağı yapıya aktarır. Sismik dalgaların özelliklerinde zemin tabakalarından geçerken zeminin fiziksel özelliklerine göre değişimler meydana gelmektedir. Bu sebeplerle bir mikro bölgeleme çalışması Aki (1988) ve Bolt (1999) tarafından da belirtildiği gibi deprem dalgalarının özelliklerini ve zeminin fiziksel özelliklerini mutlaka dikkate almalıdır.

Günümüzde Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve Eurocode 8 (2004) yönetmeliklerine göre zeminlerin deprem sırasında yapacağı dinamik davranış spektrumlarının ön kestirilmesinde 30 metreye kadar olan makaslama dalgası hız değerleri ( $V_s30$ ) ile ZHTP ( $T_0$ ) değerleri yaygın olarak kullanılır.

Zemin dinamik parametrelerinin (zemin hâkim titreşim periyodu, yoğunluk vb.) tamamı makaslama dalga hızı ile ilişkilidir. Bu sebeple, makaslama dalga hızının ( $V_s$ ) derinlik ile değişimi büyük önem taşır. Zemin davranışının tanımlanmasında,  $V_s$  değeri, zemin

büyütmesi, yoğunluk ve zemin hâkim titreşim periyodu bilgileri birlikte kullanılırlar (Joyner ve Furnal, 1984, Borchard vd., 1991). Bu nedenle, sismik kırılma veya ÇKYD yöntemleri zemin dinamik parametrelerinin tanımlanması çalışmalarında (Tunçel, 2014) kullanılan yöntemlerdendir. Zemine ait makaslama dalgası hızının derinliğe bağlı değişiminin tanımlanması derinliğe bağlı yoğunluk değerlerinin elde edilmesine olanak verir. ÇKYD yöntemiyle elde edilen makaslama dalgası hızlarından elde edilen yoğunluk dağılımı ve mikrogravite yöntemiyle elde edilen gravite değerlerinin değişiminin birbirleriyle uyumlu olması beklenmektedir.

İzmir ili birinci derece deprem bölgesinde yer almakta ve sıklıkla küçük ve orta ölçekte depremlerden etkilenmektedir. Nüfus artışı, kontrolsüz yapılaşma ve zeminin deprem anındaki dinamik etkilerinin göz önüne alınmadığı durumlar deprem riskini arttıracaktır. Gerekliliğin alınması durumunda, bir deprem sonucu oluşabilecek sosyo-ekonomik hasar en aza indirilip, yalnızca İzmir şehri için değil, tüm ülke ekonomisi için ciddi kazançlar sağlanabilecektir.

Bu çalışma kapsamında, Batı Anadolu içinde yer alan ve Marmara bölgesi gibi deprem riski yüksek olan İzmir ili Karşıyaka ilçesinde (Şekil 1) ÇKYD, mikrotremor ve mikrogravite yöntemleri kullanılarak çalışma alanında yer alan jeolojik birimlerin dinamik koşullardaki özelliklerinin tanımlanması için jeofizik yöntemler ile veri toplanmıştır. ÇKYD yöntemi kullanılarak 30 m derinliğe kadar olan makaslama dalgası hızları ( $V_s30$ ) değişimleri elde edilmiştir. Bu hız değerleri kullanılarak çalışma alanında 30 m derinliğe kadar olan ZHTP ve yoğunluk değişimleri hesaplanmıştır. Elde edilen  $V_s30$ , ZHTP ve yoğunluk parametrelerinin çalışma alanındaki değişimleri dağılım haritaları (Şekil 3, 4, 5) ile verilmiştir. Mikrotremor yöntemi verileri işlenerek ZHTP değerleri elde edilmiş ve dağılım haritası olarak Şekil 6'da verilmiştir. Mikrogravite verilerine 2. derece trend analizi uygulanarak çalışma alanına ait Bouguer gravite anomali haritası elde edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası.  
Figure 1. Location map of the study area.

Tüm yöntemlerden elde edilen sonuçların kendi aralarındaki uyumlarına ve jeolojik birimler de göz önüne alınarak ortak sonuçlara ulaşmaya çalışılmıştır.

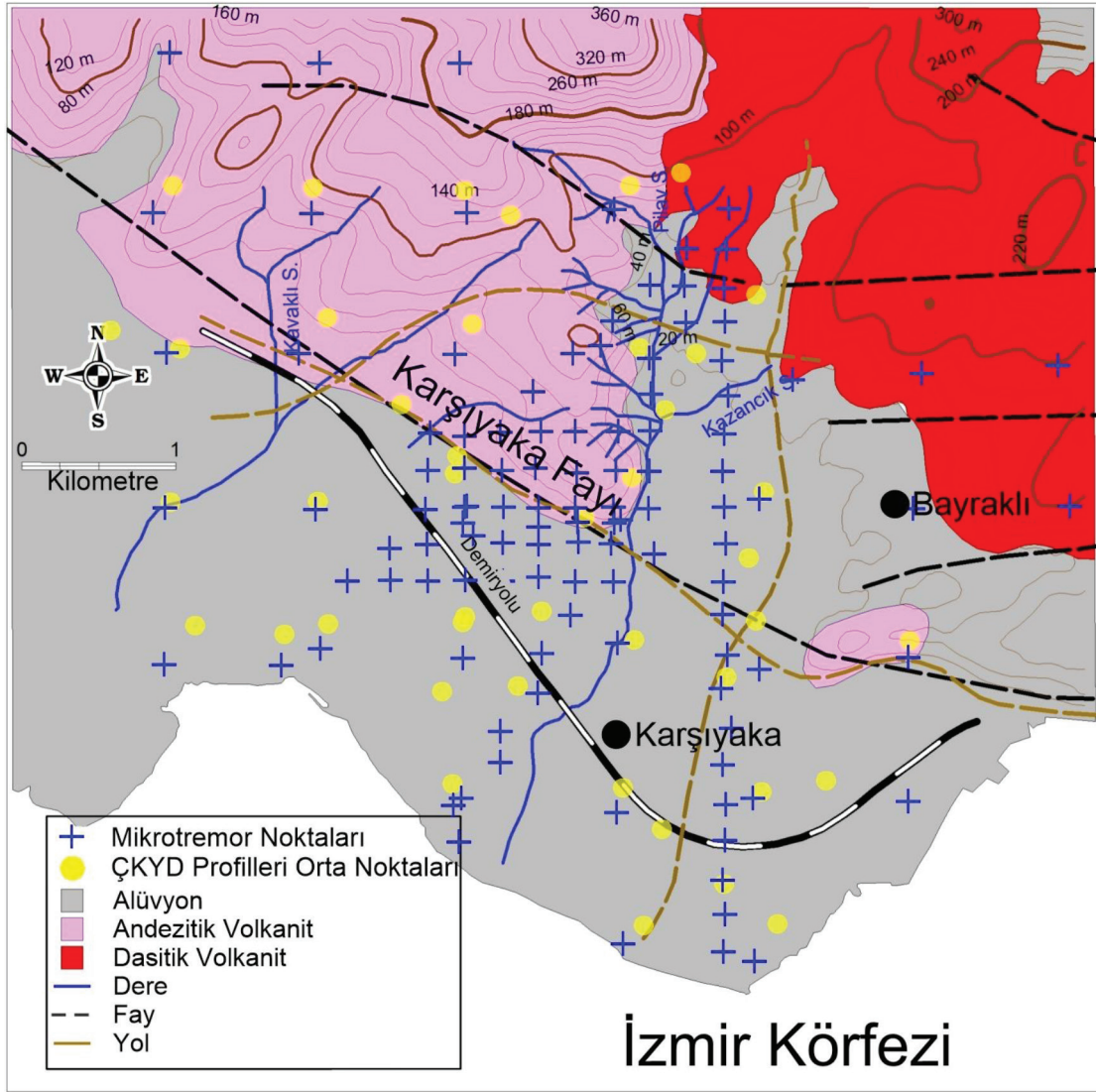
## JEOLOJİ

Çalışma alanı, Batı Anadolu içinde yer alan İzmir ilinin Karşıyaka ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Yamaç molozlarını inceleme alanını çevreleyen ana dereler ve ana derelere dik konumda yer alan küçük dereler boyunca görmek mümkündür. Yamaç molozları, temel kayalardan türeme blok ve çakıllar içeren kumlu siltli ve killi zemin özelliği sunmakta ve arazi genelinde görülmektedir.

Çalışma alanı içinde bulunan Karşıyaka Fayı, İzmir İç Körfezi'nin kuzey sınırını oluşturur ve konumu itiba-

ıyla Karşıyaka ilçesini kuzey ve güney olacak şekilde iki parçaya böldüğü söylenebilir (Şekil 2). Bayraklı-Karşıyaka ilçeleri arasında yaklaşık D-B yönünde uzanan bu fay, Karşıyaka ilçesi sınırları içerisinde KB-GD uzanımlıdır. Fayın yükselen bloğundaki Miyosen yaşlı volkanik birimler ve Bornova Karmaşığ'ına ait birimler KD ve KB uzanımlı doğrultu atım bileşenli faylarla kesilmiştir. Karşıyaka Fayı'nın düşen bloğunun büyük bir kesimi İzmir Körfezi'nin suları altında kalmıştır (Sözbilir vd., 2008).

Karşıyaka Fayı, Bayraklı'dan Karşıyaka'ya kadar olan bölümde, önceki çalışmalarda Yamanlar volkanitleri (Akdeniz vd., 1986) olarak bilinen Altıntepe volkanitleri, Sancaklı volkanitleri ve Dumanlıdağ grubundan oluşan (Dönmez vd., 1998) Miyosen yaşlı volkanik birimler ile Holosen çökellerini keser. Çalışma alanının temel kayasını Bornova Karmaşığ oluşturmaktadır.



Şekil 2. Çalışma alanı 1/25000 ölçekli jeoloji haritası (MTA, 2000'den değiştirilmiştir).  
Figure 2. 1/25000 scale geological map of the study area (modified from MTA, 2000).

Çalışma alanının kuzey kesimlerinde ise Yamanlar Volkanitleri yüzlek verirler ve andezitik-dasitik masif lav, tüf, otobreşik andezit ve aglomeralarla temsil edilirler. Volkanitler, bölgede bulunan Neojen çökeltilerini uyumsuz olarak üstlemektedir.

## JEOFİZİK ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

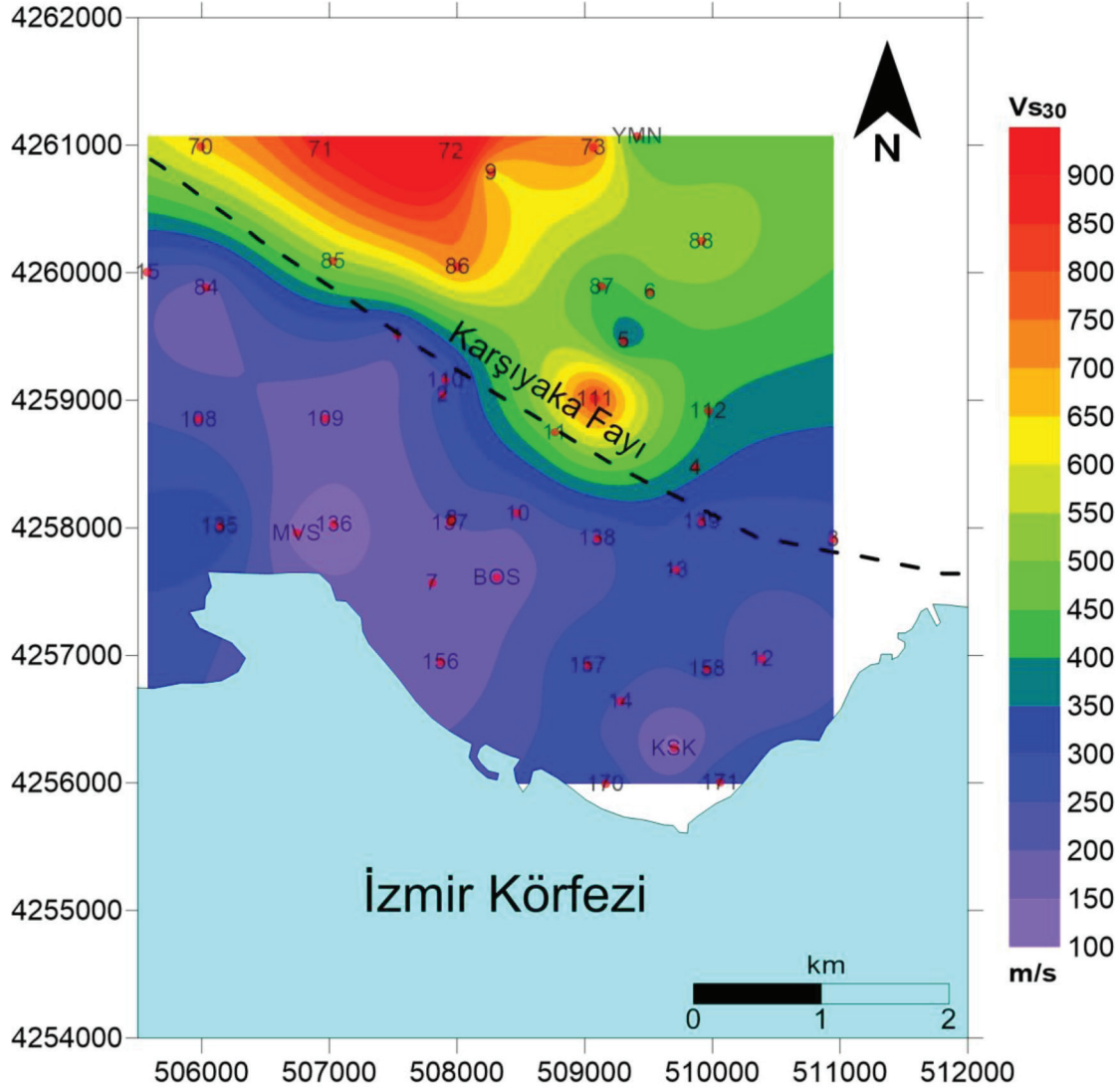
### ÇKYD Yöntemi Çalışmaları

ÇKYD yöntemi arazi çalışmaları farklı serim uzunluklarındaki 43 profil üzerinde yapılmıştır (Şekil 2). Saha koşullarına göre, jeofon aralıkları 1, 2.5 ve 5 m, jeofon

sayısı 24-48 adet jeofon olacak şekilde seçilmiştir.

Veri setleri Geometrics firması üretimi 24 kanallı sismik alıcı, 4.5 Hz kesme frekanslı düşey jeofon ve 100 lb. hidrolik çekiç enerji kaynağı kullanılarak oluşturulmuştur. 4.5 Hz'lik jeofonlar bir çok araştırmacı tarafından bu yöntemde sıkça kullanılmıştır (Park vd., 1999; Dikmen vd., 2010; Kanbur vd., 2011; Tunçel, 2014). Arazi çalışması sırasında 0.125 ms örnekleme aralığı ile 2 sn süresince kayıtlar alınmıştır. Veri değerlendirme işlemleri Seisimager programı kullanılarak yapılmıştır.

ÇKYD yöntemi verilerinin değerlendirilmesinde Ortak Orta Nokta Çapraz İlişki (CMPCC) analiz tekniği kul-



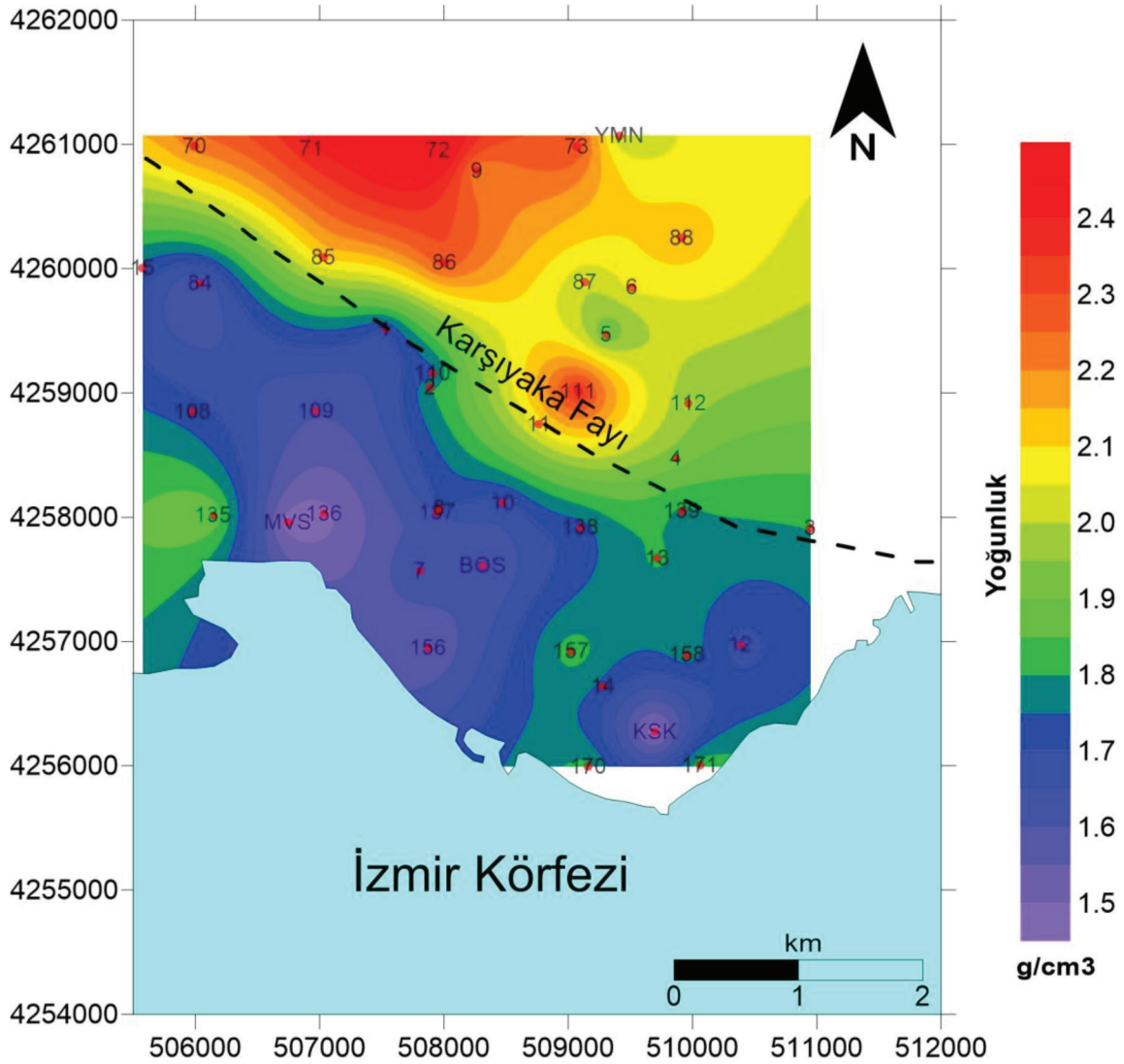
Şekil 3. ÇKYD yöntemi ile elde edilen  $V_{s30}$  hızları dağılım haritası (kırmızı noktalar ÇKYD yöntemi ölçüm profillerinin orta noktasını göstermektedir).

Figure 3.  $V_{s30}$  velocities distribution map obtained by the MASW method (red points indicate the center point of the MASW method measuring profile).

lanılmıştır (Hayashi ve Suzuki, 2004). Yüzeysel dalgası yöntemlerinde CMPCC toplam tekniği uygulanırken alıcı dizilimi içerisindeki alıcılar arasındaki orta noktalar eşleştirilir. Bu teknik kullanılarak aynı ortak noktada toplanan sinyaller üst üste bineceğinden analizlerde çözünürlüğün artması sağlanmaktadır. Bu bakımdan sismik yansıma yöntemindeki tekniklerle benzerlik göstermektedir. Analizlerde, her bir atışa ait alıcı dizilimindeki alıcı çiftlerine çapraz korelasyon işlemi uygulanır ve bunlar daha sonra CMPCC toplamlar halinde sıralandırılır. Her bir CMPCC noktasında, eşit aralıklı çapraz korelasyona uğramış alıcılar zaman

ortamında yığılır. Bu çalışmada her profil için jeofon aralığı kadar seçilip birleştirilen tüm sismik kayıtların, faz hızı-frekans dönüşümleri yapılmıştır. Faz hızı-frekans dönüşümlerinden yararlanılarak dispersiyon eğrileri çizdirilmiştir. İşlemler sırasında düşük kaliteli veriler programda elenmiş ve dispersiyon eğrilerine yumuşatma uygulanmıştır. Ters çözüm sonucunda S dalgası hızının derinlikle değişimini gösteren 2 boyutlu (2B) modeller oluşturulmuştur.

Çalışmanın devamında, her profil için elde edilen  $V_{s30}$  hızları kullanılarak çalışma alanına ait  $V_{s30}$  hız dağılım haritası çizilmiştir (Şekil 3). Uygulama ala-



Şekil 4. ÇKYD yöntemi verisinden elde edilen makaslama dalgası hızları kullanılarak hesaplanan yoğunluk dağılımı (kırmızı noktalar ÇKYD yöntemi ölçüm profillerinin orta noktasını göstermektedir).

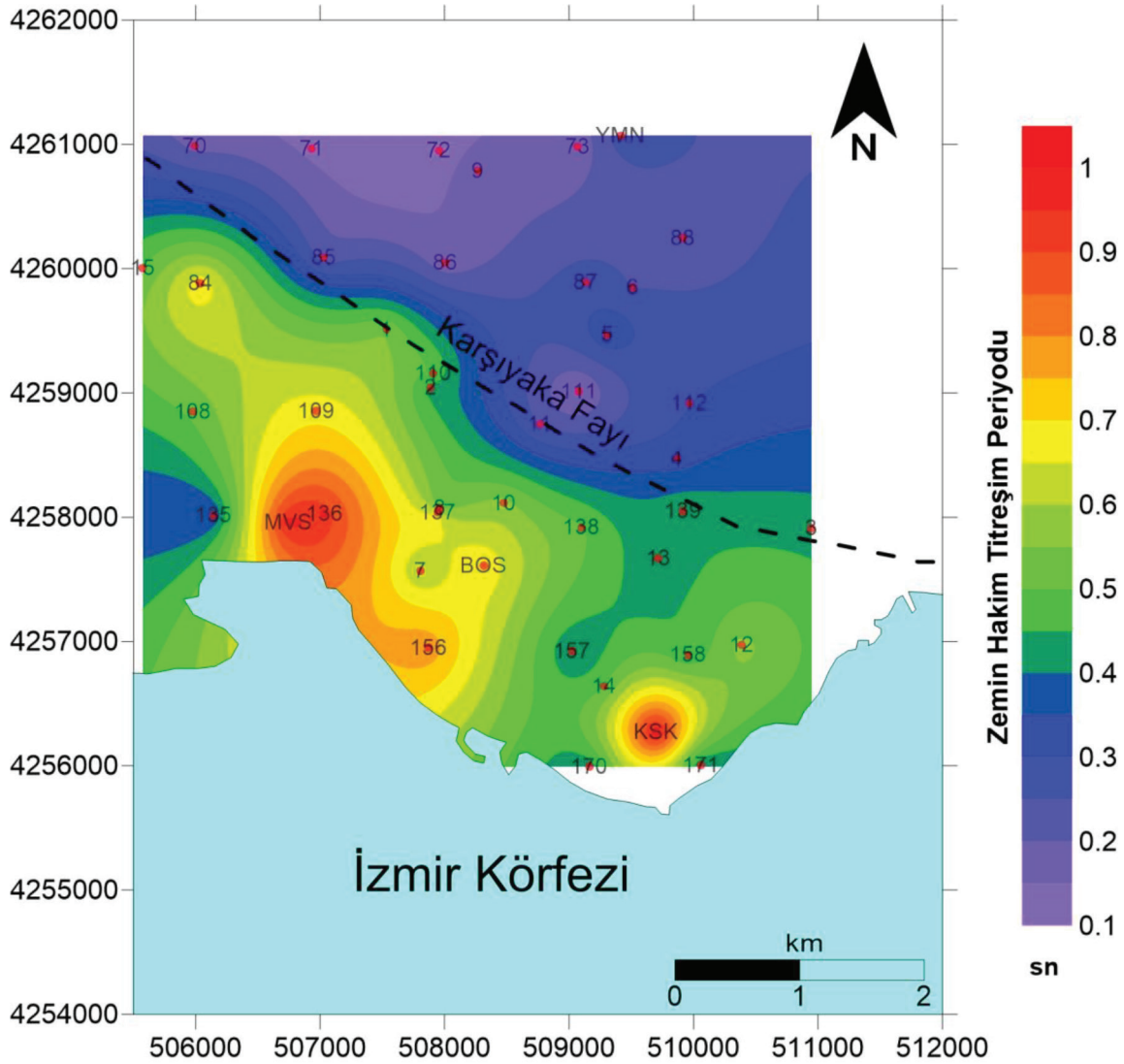
Figure 4. Calculated density distribution map using shear wave velocities obtained from MASW method (red points indicate the center point of the MASW method measuring profile).

nında 43 profilde 30 m derinliğe kadar elde edilen makaslama dalgası hızları kullanılarak  $\rho=0.44 \cdot V_s^{0.25}$  (Keçeli, 1990) bağıntısından yoğunluk değerlerinin çalışma alanındaki dağılımı haritalanmıştır (Şekil 4).

Zemin hâkim titreşim periyodu  $T_0=4h/V_s30$  bağıntısıyla 30 m derinliğe kadar hesaplanmış ve alanın ZHTP dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 5). Bu yaklaşımda jeolojik modelin zemin ve altındaki ana kayadan oluşacak şekilde 2 tabakalı olması ve zemin kalınlığının en fazla 30 m olması kabulü geçerlidir. Çalışma alanında bazı yerlerdeki zemin kalınlıkları 30

metreden daha kalın olabileceği için bu yaklaşımla hesaplanan değerler bu ortamların gerçek zemin hâkim titreşim periyotlarına yaklaşım olarak değerlendirilebilir ve mikrotremor yöntemi ile ulaşılan ZHTP değerleriyle kıyaslama yapmak amacıyla kullanılabilir. Zeminin sadece kalınlığı ile  $V_s$  hızına bağımlı olan karakteristik zemin periyodu, en önemli büyütmelerin hangi titreşim periyodunda gelişeceği hakkında çok önemli bir belirteçtir (Kramer, 1996).

$V_s30$  hızları dağılım haritası incelendiğinde çalışma alanının güney ve kuzey bölümleri birbirine göre



Şekil 5. ÇKYD yöntemi verisinden elde edilen makaslama dalgası hızları kullanılarak hesaplanan ZHTP dağılım haritası (kırmızı noktalar ÇKYD yöntemi ölçüm profillerinin orta noktasını göstermektedir).

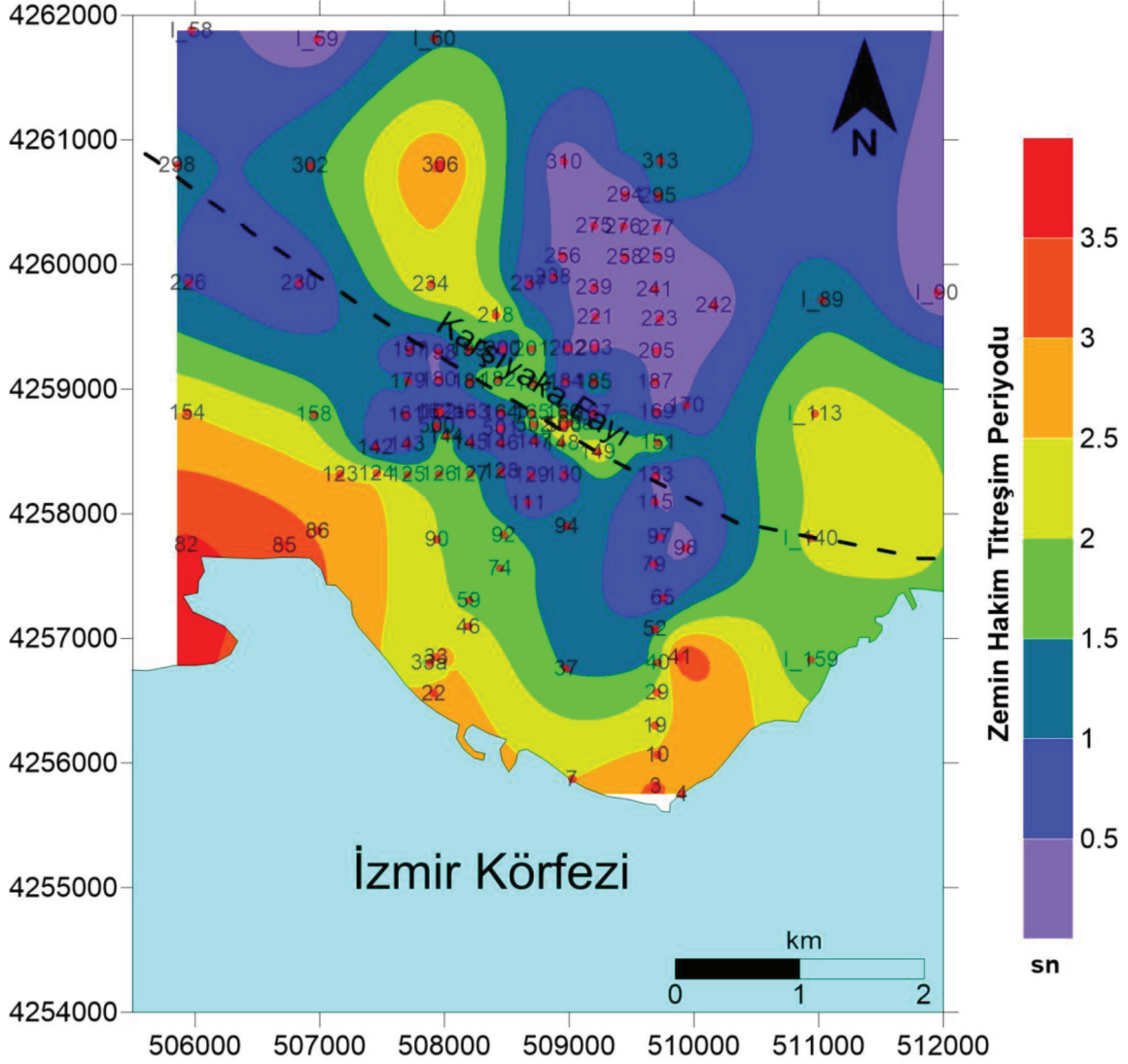
Figure 5. Calculated PSP distribution map using shear wave velocities obtained from MASW method (red points indicate the center point of the MASW method measuring profile).

belirgin hız farklılıkları göstermektedir. Kuzeyden güneye doğru hızlar azalmakta ve en güneyde deniz kenarlarına yaklaşıldıkça  $V_s30$  hızının 150 m/sn civarına düştüğü görülmektedir. Kuzeye doğru gidildikçe kademeli olarak hızlar artmakta ve 900 m/sn civarında en yüksek  $V_s30$  hız değerleri dağılım haritasında gözlenmektedir (Şekil 3).  $V_s30$  hızları kullanılarak elde edilen yoğunluk dağılım haritasında ise çalışma alanının güney ve kuzeyinde birbirlerine göre yoğunluk kontrastı belirgin olup anomali uzanımlarının KB-GD yönlü olduğu gözlenmektedir (Şekil 4).

ÇKYD yönteminden elde edilen makaslama dalgası hızları kullanılarak hesaplanan ZHTP değerlerinin bölgede dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Çalışma alanı yaklaşık olarak KB-GD yönünde ikiye bölünürse kuzeyde kalan bölgede en fazla 0.4 sn süreli ZHTP değerleri gözlenirken güney bölgede daha uzun yaklaşık 1 sn değerlerine ulaşan ZHTP değerleri görülmektedir.

#### Mikrotremör Yöntemi Çalışmaları

Mikrotremör yöntemi ölçümleri ZHTP ve büyütme faktörü parametrelerini elde etmek ve diğer yön-



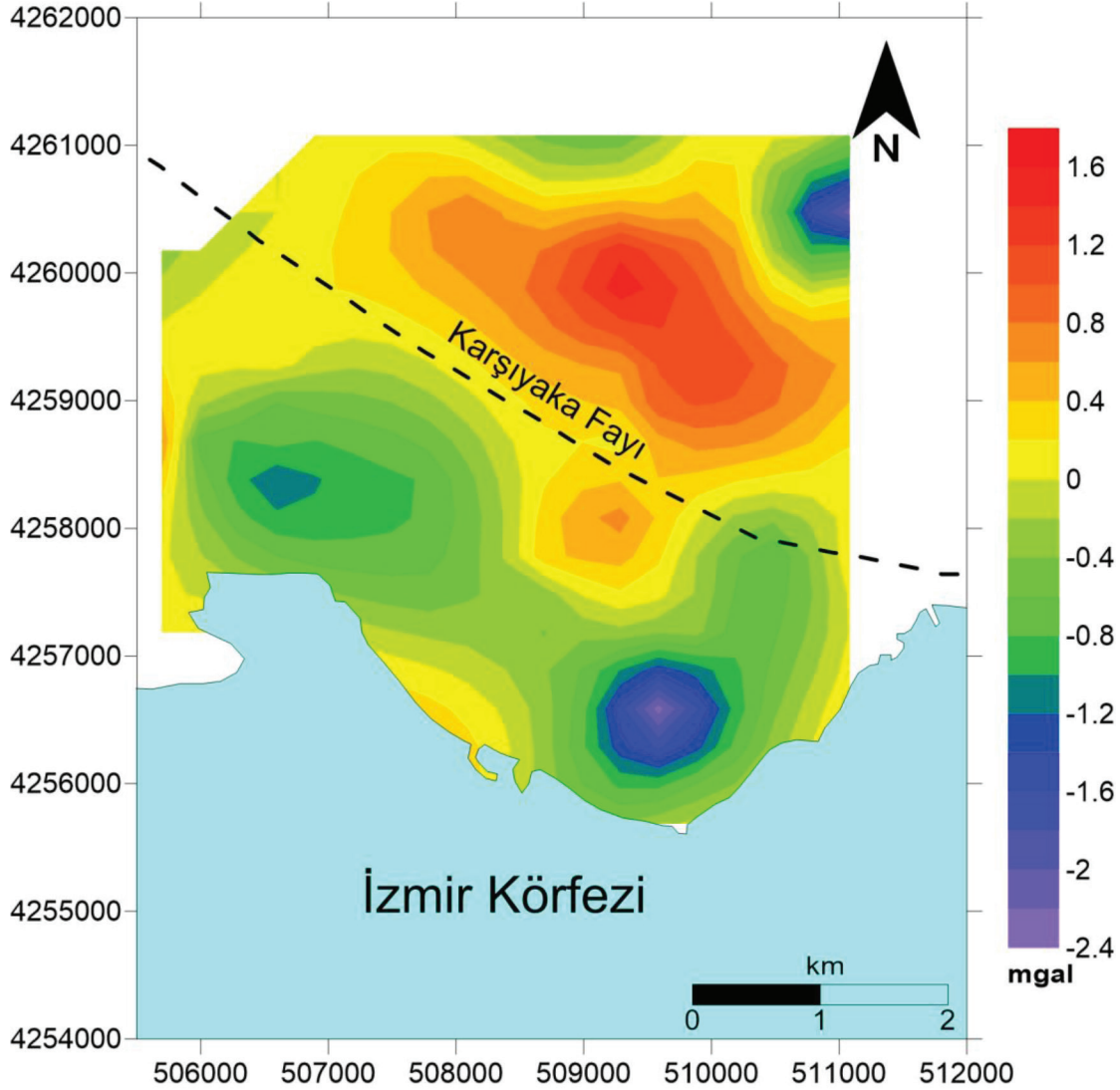
Şekil 6. Mikrotremor yöntemi verisi kullanılarak hesaplanan ZHTP dağılım haritası (kırmızı noktalar mikrotremor yöntemi ölçüm noktasını göstermektedir).

Figure 6. Calculated PSP distribution map using Microtremor method data (red points indicate the microtremor method measuring point).

temlerin sonuçları ile kıyaslama yapabilmek için uygulanmıştır. Bu amaçla çalışmada veri toplamak için 3 bileşenli CMG-6TD hız kayıtçısı kullanılmıştır. Ölçümler Nakamura (1989) tek nokta tekniğiyle (HVSZ) değerlendirilmiştir. Kayıt süresi yaklaşık 30 dakika, örnekleme aralığı 100 Hz olacak şekilde çalışma alanında toplam 112 noktada veri toplanmıştır (Şekil 2). Ölçümler sırasında bozucu çevresel (rüzgar) etkileri azaltmak için kayıt cihazı üzeri kapatılarak veya gömülerek korunmuştur. Özellikle yoğun insan ve araç trafiğinin olduğu ölçüm noktalarında kayıtlar gece saatlerinde alınmıştır.

Mikrotremor yöntemi ölçümlerinden elde edilen ZHTP dağılım haritası Karşıyaka çalışma alanı için Şekil 6'da verilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen spektrumlarından okunan ZHTP değerleri çalışma alanı için 0.1-3.5 sn değerleri arasında değişmektedir. Çalışma alanının güneydoğu köşesinde birkaç noktada en yüksek periyot değerleri (3.5 sn) elde edilirken alanın genelinde 2 saniyeden daha düşük ZHTP değerlerine ulaşılmıştır. Çalışma alanında jeolojik birim olarak Yamanlar Volkanitleri üzerinde yer alan kuzey ölçüm noktalarında düşük baskın periyot değerleri gözlenirken güneye (deniz





Şekil 7. İkinci derece trend uygulaması sonucu elde edilen Bouguer gravite anomali haritası.  
Figure 7. Bouguer gravity anomaly map obtained using second order polynomial application.

kıyasına doğru daha yüksek (uzun süreli) baskın periyot değerleri gözlenmektedir.

#### Mikrogravite Yöntemi Çalışmaları

Mikrogravite ölçümleri Scintrex CG-5 gravite cihazı kullanılarak saha koşullarına göre 250-300 m örneklem aralığı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçüm noktalarındaki yükseklik değişim bilgileri Cors-Tr bağlantılı olarak Leica 1200++ GNSS cihaz seti kullanılarak toplanmıştır. Veri toplanması sırasında 60 sn süreli 5 tekrarlı okuma yapılmıştır. Ölçülen mikrogravite değerlerinden elde edilen Bouguer gravite anomali

li haritasında polinomal yaklaşım kullanılarak farklı derecelerde rejyonel Bouguer gravite değerleri elde edilmiş ve bu değerler ölçülen değerlerden çıkarılarak, rezidüel gravite anomali değerleri elde edilmiştir. Saha geneline ait  $V_{30}$  (Şekil 3) ve  $T_0$  (Şekil 6) değerlerinden elde edilen haritalar esas alınarak hâkim anomali uzanım benzerliği ve anomalilerin dağılımı en uygun olan sonucun ikinci derece polinom değerlerinden elde edilen rezidüel anomali haritasına ait olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ikinci derece polinom uygulaması ile elde edilen bouguer gravite anomali haritası bu çalışmada esas alınmıştır (Şekil 7). Elde edilen haritada anomaliler KB-GD yönlü olup

yüksek ve düşük değerlerdeki genlikler kuzeyden güneye doğru ardalanmalı olarak gözlenmektedir. Yüksek genlikli anomali değerleri harita genelinde bölgenin kuzeyinde KB-GD yönlü, düşük genlikli anomali değerleri de yine aynı şekilde KB-GD yönlü olarak sahanın güneyinde gözlenmektedir (Şekil 7).

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Karşıyaka çalışma alanında ÇKYD yöntemiyle yapılan arazi ölçümleri sonucunda, alanda 100-900 m/sn arasında değişen  $V_{s30}$  hızları elde edilmiştir. Makaslama hızlarının dağılımı alan genelinde kuzeyden güneye doğru azalma göstermektedir. Kuzeyde yer alan, jeolojik olarak Yamanlar Volkanitleri üzerine gelen ve alüvyon kalınlığının çok az olduğu düşünülen yerlerde makaslama dalgası hızlarında yüksek değerler elde edilirken, güneyde alüvyon birimler üzerinde hesaplanan değerlerde makaslama dalgası hızlarında düşme görülmektedir. Özellikle körfez kıyısına yakın kısımlarda makaslama dalgası hızları 150 m/sn değerlerine kadar azalmıştır. Bu azalmanın sebebi alüvyon kalınlığının artması ile açıklanabilir.

Çalışma alanında ZHTP değerleri ÇKYD yöntemi ve mikrotremor yöntemi olmak üzere iki farklı jeofizik yöntemden elde edilen veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı yöntemler kullanılarak ulaşılan sonuçlara bakıldığında her iki yöntem için de çalışma alanının kuzeyinde ZHTP değerlerinin görece düşük, güneyinde ise görece yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen değerlerin yöntemler arası farklılık göstermesinin sebebi olarak, farklı araştırma derinliklerine sahip olmaları gösterilebilir. Bu çalışma kapsamında ÇKYD yöntemi ile 30 m derinliğe kadar elde edilen veri değerlendirmeleri kullanılırken mikrotremor yöntemiyle zemin ile anakaya arasındaki sınır derinliğine kadar olduğu kabul edilen veri değerlendirmeleri kullanılmaktadır. Çalışma alanının güneyinde mikrotremor yöntemiyle hesaplanan ZHTP değerleri ÇKYD yöntemiyle hesaplanan değerlerden daha yüksektir. Bu farklılığın bölgenin güneyinde zemin kalınlıklarının 30 metreden daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

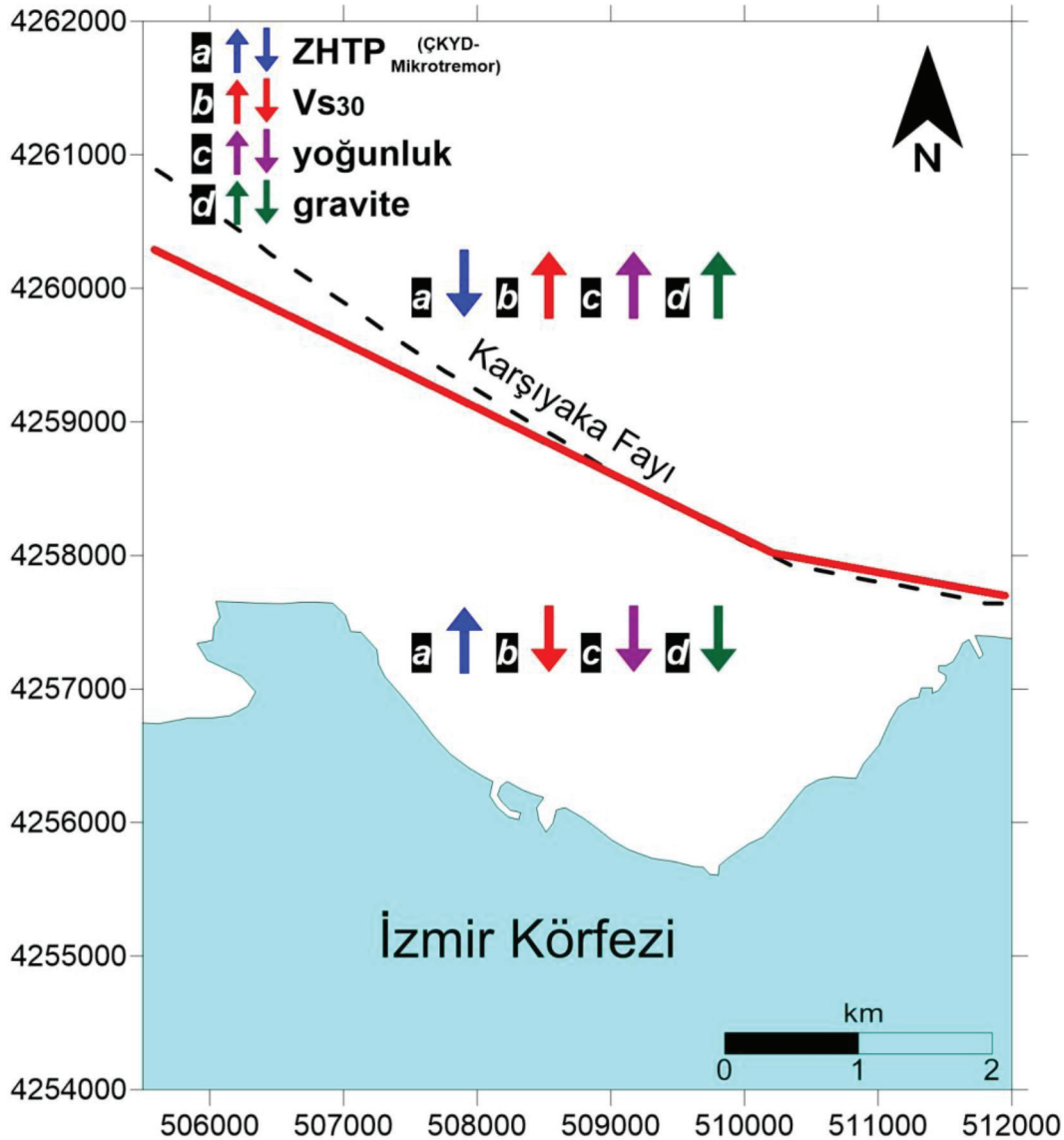
Mikrotremor tek nokta ölçümleri ile elde edilen ZHTP değerlerinin 1 sn'den daha büyük olduğu yerlerde,  $V_{s30}$  hızlarının genellikle 700 m/sn'den daha düşük olduğu gözlenmiştir. Ölçüm noktasında ZHTP değerinin 1 sn'den büyük olmasının, anakaya derinliğinin 30 metreden daha fazla olmasından kaynaklandığı sonucuna da varılabilir.

Türkiye deprem yönetmeliğinde (DBYBHY, 2007) zemin sınıflama tablosunda kullanılan en büyük  $T_B$  değeri 0.9 sn'dir. ZHTP'nin belirlenmesi durumunda zeminin alt ve üst hâkim periyotlarının yani spektrum karakteristik periyotlarını ampirik ilişkiler ( $T_A=T_0/1.5$ ,  $T_B=T_0.1.5$ ) ile belirlemek mümkündür (Uyanık, 2015). Zemin hâkim titreşiminin 1 sn olduğu bir zeminde ilgili bağıntı ile  $T_B$  değeri 1.5 sn hesaplanır ve bu değer zemin sınıflama tablosundaki en büyük  $T_B$  değerinden büyüktür. Yönetmelikteki tablo 0.9 sn'den büyük  $T_B$  değerleri içermediğinden çalışma alanında ZHTP değerleri kullanılarak hesaplanacak  $T_B$  değerlerinin 0.9 sn'den büyük olduğu noktalarda zemin sınıfının tablo kullanılarak belirlenmesi mümkün olmayacaktır.  $T_B$  değerinin 0.9 sn'den büyük hesaplandığı noktalarda zemin sınıfının belirlenebilmesi için yönetmelikte de belirtildiği gibi özel tasarım ivme spektrumları elde edilmelidir. Bu çalışma kapsamında çalışma alanında zemin sınıfı dağılımları hesaplanmamıştır.

Zemin kalınlığının 30 m'den fazla olduğu alanlarda yüksek katlı yapılar için rezonansa girme olasılığı artmaktadır. Zemin kalınlığı arttıkça ZHTP değeri artar aynı şekilde bina yüksekliğinin artması da binanın periyodunu arttırmaktadır. Zemin ve bina periyotlarının birbirine yakın olması rezonans riskini arttıracığı için istenmeyen bir durumdur. Zemin kalınlığının fazla olduğu alanlarda yüksek katlı yapılar inşa edilecekse, zemin tabakası kalınlığı doğru hesaplanmalı ve anakaya kadar zemin transfer fonksiyonu (ZTF) elde edilmelidir.

Çalışma alanında uygulanan jeofizik yöntemlerden elde edilen dağılım haritaları (Şekil 3-7) incelendiğinde, alanın orta kısmında konturlarda gözlenen ani renk geçişlerinin KB-GD yönünde çizgisel olarak değişim gösterdiği dikkat çekmektedir. Bu çizginin kuzeyinde kalan bölgede makaslama hızı, yoğunluk ve gravite değerleri görece yüksek, bunlarla ters orantılı olarak ZHTP değerleri ise görece düşük değerler almıştır. Çizginin güneyinde kalan bölgede ise tüm parametreler kuzeyde elde edilen parametrelerin tam tersi yönde dağılım göstermektedir. Bu sonuçlardan yararlanarak çalışma alanında saptanan sınırın çizimi Şekil 8'de verilmektedir.

Çalışma alanında bulunan Karşıyaka Fayı (Şekil 2) ve Şekil 8'de jeofizik yöntemler yardımı ile saptanan sınırın birbiri ile doğrultu ve konum bakımından çok benzer olduğu görülmektedir. Dolayısıyla jeofizik çalışmalar sonucunda elde edilen ve Şekil 8'de çizilen kırmızı renkli sınır, bölgeyi ikiye bölen bir fay zonunun varlığı ile ilişkilendirilebilir.



Şekil 8. Jeofizik yöntem sonuçlarının çalışma alanındaki değişimleri, kırmızı düz çizgi parametrelerin değişimine göre bölgeyi ikiye ayıran sınır.

Figure 8. Changes of the geophysical method results at the study area, red solid line separating the two regions according to changing physical parameters.

Bu çalışma kapsamında mikrotremor kayıtları, 30 m derinliğe kadar olan makaslama dalgası hızları ve bu hızlarla hesaplanan parametreler ve ayrıca mikrog-  
ravite yöntemi ile elde edilen rezidüel Bouguer gra-  
vite anomalilerinin bölgedeki dağılımları elde edilip  
değerlendirilmiştir. Deprem dalgalarının kaynağından  
çıkıp anakaya ve zemin tabakalarında seyahat ettik-  
ten sonra binalara ulaşması ile son bulan deprem ola-  
yını daha iyi analiz etmek için daha derin çalışmalar  
yapılabilir. Bu çalışma sonucunda tabakalar arası hız  
farklarından meydana gelen sismik empedans oranı

değişimlerinin hesaplanabileceği derinliklere (anaka-  
ya derinliği) kadar jeofizik çalışmaların genişletilmesi  
önerilmektedir.

#### KATKI BELİRTME

Bu çalışma 2008-2011 yılları arasında yürütülen TÜ-  
BİTAK-KAMAG 106G159 numaralı proje ve Dokuz  
Eylül Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kap-  
samında 2009.KB.FEN.036 numaralı proje ile des-  
teklendiştir. Yazarlar, yayına öneri ve düzeltmeler

ile katkı sağlayan hakemlere (Ünal Dikmen ve diğer anonim hakem) ve dergi editörlerine teşekkür ederler. Ayrıca yazarlar projelerde görev alanlara teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., Konak, N., Öztürk, Z. ve Çakır, M.H., 1986. İzmir-Manisa dolayının jeolojisi. MTA Rapor No: 7929, Ankara.
- Aki, K., 1988. Local site effects on strong ground motion. Proceedings of Earthquake Engineering and Soil Dynamics II, Park City, Utah, 103-155.
- Bolt, B.A., 1999. Earthquakes. NY: W.H. Freeman and Company.
- Borcherdt, R.D., Wentworth, C.M., Janssen, A., Furnal, T. and Gibbs, J., 1991. Methodology GIS mapping of special study zones for strong ground shaking in the San Francisco Bay region. Proceedings 4th International Conference on Seismic Zonation, 3, 545-552
- DBYBHY, 2007. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Resmi Gazete, Ankara.
- Dikmen, Ü., Arsoy, M.Ö. and Akkaya, İ., 2010. Offset and linear spread geometry in the MASW method. Journal of Geophysics and Engineering, 7, 211-222.
- Dönmez, M., Türkecan, A., Akçay, A.E., Hakyemez, Y. ve Sevin, D., 1998. İzmir ve kuzeyinin jeolojisi, Tersiyer volkanizmasının petrografik ve kimyasal özellikleri. MTA Rapor No: 10181.
- Eurocode 8, 2004. Design provisions of structures for earthquake resistance. European Committee for Standardization, Brüksel.
- Hayashi, K. and Suzuki, H., 2004. CMP cross-correlation analysis of multi-channel surface-wave data. Exploration Geophysics, 35, 7-13.
- Joyner W.B. and Furnal, T., 1984. Use of measured shear-wave velocity for predicting geological site effects on strong motion. Proceedings 8th World Conference on Earthquake Engineering, 2, 777-783.
- Kanbur, Z.M., Silahtar, A. ve Özsoy, C. 2011. Sığ sismik yansıma, MASW, ReMi yöntemleri ile sığ yapıların incelenmesi: Isparta yerleşim merkezi kuzeyi pliyokuvaterner Çökel yapı örneği. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 15 (3), 224-232.
- Keçeli, A., 1990. Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilebilir Dinamik Zemin Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması. Jeofizik Dergisi, 2, 83-92.
- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-374943-6.
- M.T.A., 2000. İzmir 1/25000 ölçekli jeoloji paftaları. MTA yayınları, Ankara
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimations of subsurface using microtremors on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, Japan, 30, 25-33.
- Park C.B., Miller R.D. and Xia J., 1999. Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 64 (3), 800-808
- Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., Ersoy, Y.E., Koçer, T., Demirtaş, R. and Özkaymak, Ç., 2008. Evidence for a kinematically linked EW trending İzmir fault and NE trending Seferihisar fault: Kinematic and paleoseismological studies carried out on active faults forming the İzmir Bay, Western Anatolia. Geology Bulletin Turkey, 51, 91-114.
- Uyanık, O., 2015. Deprem ağır hasar alanlarının önceden belirlenmesi ve şehir planlaması için makro ve mikro bölgelendirmelerin önemi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (2), 24-38
- Tunçel, A., 2014. Jeofizik yöntemlerle zemin-anakaya sınırının belirlenmesi ve dinamik zemin parametrelerinin elde edilmesi: Karşıyaka ve Güzelbahçe (İzmir) örneği. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.