

# MÜHENDİSLİK ANA KAYASININ BELİRLENMESİNE YÖNELİK JEOFİZİK YÖNTEMLERİN BÜTÜNLEŞİK YORUMU: İZMİR YENİ KENT MERKEZİ UYGULAMALARI

## Interpretation Of Integrated Geophysical Methods For The Determination Of Engineering Bedrock: İzmir New City Center Application

Mustafa AKGÜN<sup>1</sup>, Tolga GÖNENÇ<sup>1a</sup>, Oya PAMUKÇU<sup>1</sup>, Şenol ÖZYALIN<sup>1</sup>, Özkan C. ÖZDAĞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Tınaztepe Yerleşkesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Buca-İZMİR  
(<sup>a</sup>tolga.gonenc@deu.edu.tr)

### ÖZET

Türkiye geçmişte depreme dayalı mal ve can kayıpları ile hatırlanmaktadır. Özellikle yakın zamanda Gölcük ve Van depremleri hatırlanabilir örneklerdir. Gölcük ve Van depremlerinden sonra sunulan raporlarda; deprem, yapı, zemin ve mühendislik anakayasası ilişkisi göz önüne alınarak inşa edilen yapıların, depremi hasarsız veya az hasarlı olarak atlattığı saptanmıştır.

Zemini oluşturan katmanların S-Hızı değerleri, yoğunlukları, kalınlıkları ve sönüm katsayıları ile mühendislik ana kayasının sıklığına bağlı olarak oluşturulan zemin modelinin iyi seçilmiş olması, yüzeydeki yatay deprem ivmesinin doğru tahminini sağlamaktadır. Zemin ve mühendislik ana kayası ile ilgili olan bu parametreler zemin transfer fonksiyonunun hesaplanmasında kullanılmaktadır. Zemin transfer fonksiyonu, mühendislik ana kayası üzerinde yer alan zeminin, deprem dalgası üzerindeki etkisini tanımlar. Eğer mühendislik anakayasası ortalama 30 metre gibi sığ bir derinlikte ise, dinamik zemin parametreleri deprem yönetmeliklerine göre hesaplanabilir. Ancak, zemin kalınlığı 30 metreden fazla ise bu yönetmelikler uygulanamaz. Bu gibi durumlarda zemin transfer fonksiyonunu tanımlamak için yerinde (In-Situ) ölçümlerin kullanılması gerekir.

Bu çalışma kapsamında İzmir Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alanda mühendislik ana kayası ile zemin özelliklerini araştırmak için Mikrogravite, Çok Kanallı Yüzey Dalga Analizi (MASW-Multi Channel Analysis of Surface Waves), Özdirenç Tomografi ve Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışmaları ile Uzaysal Özilişki (SPAC- SpatialAutocorrelation) ölçümleri alınmıştır. Ayrıca SPAC ölçüm noktasında 90 m. derinlikli ve karotlu zemin sondaj litolojisi de vardır. Tüm çalışmalardan elde edilen sonuçlar ortak yorumlanarak İzmir Yeni Kent Merkezi'ne ait olası zemin modeli tanımlanmıştır. Bu zemin modeline göre, düşey yönde S hız değerleri sırasıyla ve ortalama olarak 150 m/sn, 450 m/sn, 300 m/sn, 500 m/sn olmak üzere 4 zemin tabakası ve 800 m/sn hıza sahip olası anakaya 300-400 m derinlikte tanımlanmıştır. Bu ana kaya olasılıkla jeolojik olarak Bornova Filişi birimidir.

**Anahtar Sözcükler:** İzmir, mühendislik anakayasası, zemin transfer fonksiyonu.

### ABSTRACT

Turkey is often recognized with earthquake-induced material loss and casualties during the past. Particularly, Gölcük and Van earthquakes caused serious material and casualties in recent years. In regard to the reports presented after Gölcük and Van

earthquakes, the buildings that were constructed by taking into account the correlation between earthquake, structure, soil and engineering bedrock proved to suffer less or no damage at all.

The S-velocities, densities, thicknesses and attenuation coefficients of the strata that form the soil and also the soil model which is formed depending upon the stiffness of the engineering bedrock should be selected properly. This provides us accurate estimation horizontal earthquake acceleration of the ground. It is well known that these parameters, which are related to soil and engineering bedrock, are used for the calculation of soil transfer function. Soil transfer function defines the effect of soil, which is located over the engineering bedrock, on an earthquake wave. In case the engineering bedrock has an average shallow depth like 30 meters, the dynamic soil parameters can be calculated in accordance with the earthquake regulations. However, if the soil thickness is more than 30 meters, these regulations are not applicable. In such cases, in-situ measurements are utilized in order to define the soil transfer function.

In this study, the engineering bedrock and soil properties should be well-defined, especially in the region called "New City Center", on which tall buildings will be constructed. Within the scope of this study; microgravity, multi-channel analysis of surface waves (MASW), vertical electrical sounding (VES) method, electrical resistance tomography (ERT) studies as well as the spatial autocorrelation (SPAC) measurements were carried out in the New City Center area in order to investigate engineering bedrock and soil properties. Furthermore, results of the 90 meter well-log lithology which is nearby the SPAC measurement point were used. The results obtained from all these studies were interpreted together, and the possible soil model was composed. According to this soil model, average S-velocity values were obtained for four soil segments (150 m/sec, 450 m/sec, 300 m/sec and 500 m/sec) and the possible bedrock at a depth of 300-400 meter (S-velocity= 800m/sec.). The basement segment, which was defined as possible bedrock, may be Bornova flysch unit.

**Key Words:** İzmir, engineering bedrock , soil transfer function.

## GİRİŞ

Deprem yapılarında oluşturduğu hasarlar, deprem dalgalarının, mühendislik ana kayası ile zemin yüzeyi arasında kalan katmanların içinden geçerken süre, frekans ve genliklerinde oluşan değişimlerden kaynaklanır. Bu değişimlere neden olan parametreler; mühendislik ana kayasının sıklığı ve derinliği ile zemini oluşturan tabakalarının S-Hızı değerleri, yoğunlukları ve tabaka kalınlıklarıdır. Bu değişimler ortalama 30 m derinlik için Eurocode 8 yönetmeliğinde tanımlanmıştır. Buna karşın zemin 30 m. den kalın ve S-Hızı değerleri 250-300 m/sn'den daha küçük ise yönetmeliklerdeki tanımlar geçersiz olmaktadır.

Bu parametrelerin araştırılıp saptanabilmesi için önce mühendislik ana kayasının araştırılması ve tanımlanması gerekir. Çalışma alanında hangi jeolojik birimin mühendislik ana kayası olabileceği ve bu katmanın sıklığı ile zemin yüzeyinden olan derinliği araştırılması gereken tanımlardır (Şekil 1). Ayrıca deprem odaklanması ve tekrarlı yansımalar etkilerinde tanımlanması için mühendislik ana kayası ile zemin arasındaki ara yüzeyinin topografyasının da araştırılması gerekir. Ayrıca zemin içinde S-Hızları ve yoğunluk farkları yüksek olan küçük ölçekli merceksi yapılar ve ince katmanlar arasında da tekrarlı yansımalar oluşabilir (Şekil 2).

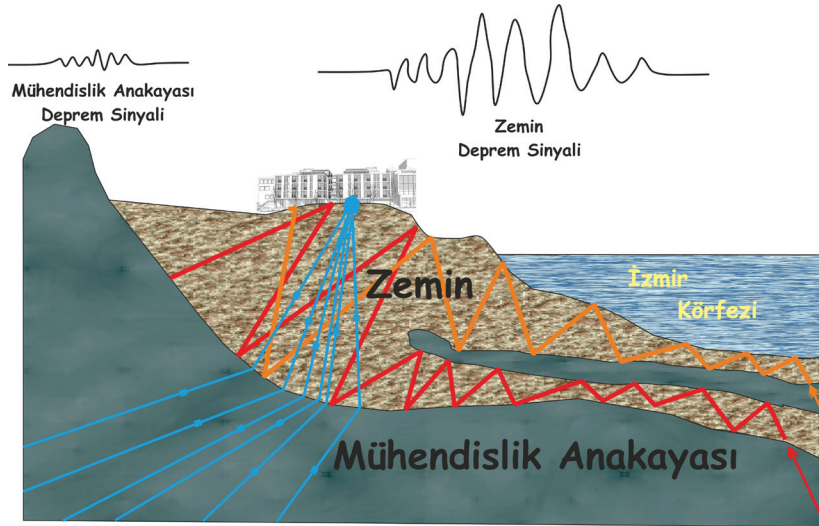
Depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin yüzeyindeki yanal yönlü deprem ivmesi ve spektrumun şekli büyük önem taşır. Zemin yüzeyindeki yanal yönlü deprem ivmesi tanımlanırken zemin transfer fonksiyon hesaplamalarının yapılması gerekir. Bu hesaplamalarda kullanılan parametreler; zemin S-Hızı değerleri, yoğunlukları, kalınlıkları ile mühendislik ana kayasının sıklığıdır. Mevcut deprem yönetmeliklerinde (NEHRP 2005; Ansal 2004) zemin tanımlanırken 30 m derinlik temel alınmaktadır. Bunun anlamı 30 m. derinlikten sonra ya mühendislik ana kayasına girildiği (S-Hızı değeri > 700 m/sn) veya bu derinlikten sonra zemin dinamik yapısının değişmediği yani S-Hızı değerlerinin değişmediğinin kabul edildiğidir (NEHRP 2005; Kramer 1996) .



Şekil 1. Zemin ve mühendislik ana kaya tanımı.

Mühendislik ana kayası araştırmalarında, genel olarak S-Hızı değerinin  $>700$  m/sn sonraki seviyeler mühendislik ana kayası olarak tanımlanır (Şekil 1). Ayrıca, bu tanımın geçerli olabilmesi için bu seviyenin altında S-Hızı değerinin  $700$  m/sn den düşük olmaması ve bu hız değerinin artarak devam etmesi gerekir. Bu hız değerleri ortamın düşük gözenekli ve su içeriğinin çok çok az olmasını gerektirir.

Bu koşulun sağlandığı derinliğe kadar mevcut katmanların S-Hızı, kalınlık ve yoğunluk değerlerinden oluşan düşey yönlü zemin profili olarak kabul edilir (Şekil 2). Zemin ve mühendislik ana kayası ile zemin büyütmesi arasındaki ilişkisinin tam olarak kurulabilmesi için hem S-Hızı değeri  $>700$  m/sn koşulunun araştırılması hem de zemin profilini oluşturan katmanların S-Hızı değerleri ile kalınlıkları ve yoğunluklarının saptanması gerekir. Ayrıca özdirenç değişimleri ile dolaylı olarak ortamın su içeriği ve gözenek miktarı hakkında destekleyici bilgiler sağlanabilir (Tablo 1). Böylece depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan zemin transfer fonksiyonu da yerinde ölçümlerle tanımlanmış olacaktır (Şekil 3) (Nath 2007).



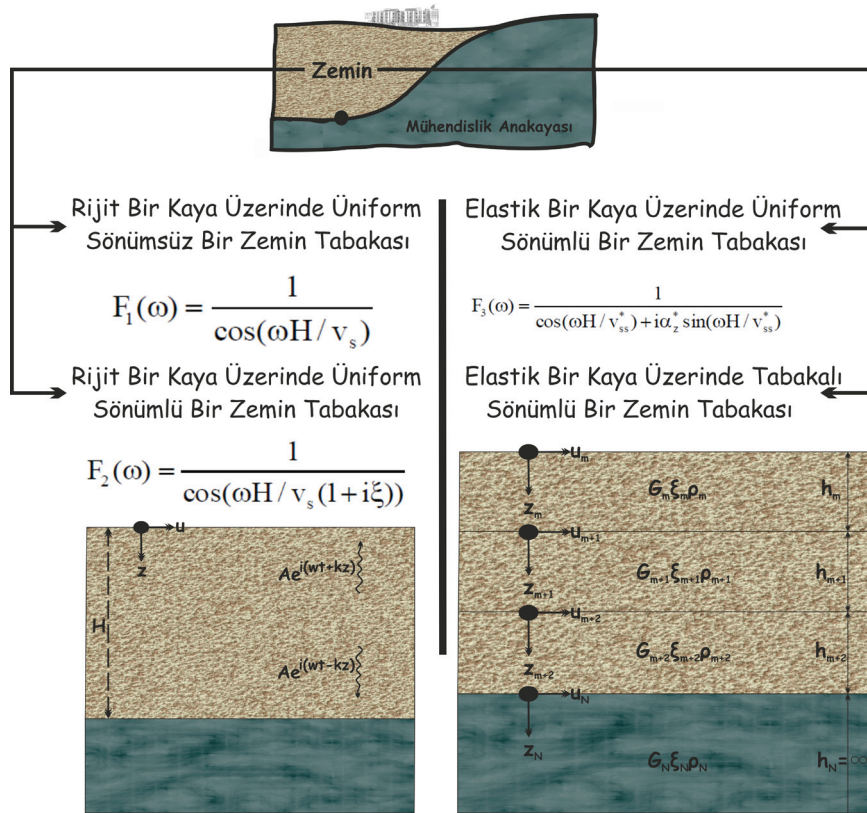
Şekil 2. İzmir Metropol Alanı için zeminde deprem dalgalarının odaklanması ve tekrarlı yansımalar (Ergin vd. 2004'ten revize edilmiştir).

Düşey yönde, mühendislik ana kayasına kadar olan S-Hız değerlerine dayalı zemin profilini tanımlamak için çalışma alanına uygun jeofizik yöntemler kullanılarak araştırmalar yapılır. Bu tür çalışmalarda mühendislik ana kayası ile S-Hız profilini doğrudan

elde etmek için aktif veya pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemleri (örn. MASW, ReMi), Sismik Kırılma, Sismik Yansıma ile Kuyu içi Sismik (örn. Down-Hole, Up-Hole, Cross-Hole, full wave sonic log, PS Logging...) kullanılır.

**Tablo 1.** İngiliz standartlarına (BS 1016) göre gerçek özdirenç-korozyon sınıflaması (Bozkurt ve Kurtuluş 2009)

Gerçek Özdirenç (Ohm.m)	Korozyon
<10	Yüksek korozif
10-100	Orta korozif
100<	Düşük korozif

**Şekil 3.** Zemin profil tanımları ve zemin transfer fonksiyon hesabı (Kramer1996'dan revize edilmiştir).

Yeni yerleşim alanlarının planlanması sürecinde, mühendislik ana kayası araştırmaları, zemin ve ana kaya ilişkisinin ortaya çıkarılmasında mikrogravite yöntemi kullanılmaktadır (Issawy vd. 2010). Mikrogravite yönteminde yoğunluk ile S-Hızı değerleri arasındaki ilişkiyi yararlanılarak (Keçeli 2012) elde edilen yer altı modelleri ve bu modellerden elde edilen sonuçlar, MASW ve mikrotremor ölçümlerinin sonuçları ile birlikte değerlendirilebilir. Tüm bu yöntemlerin sonuçları yoğunluk farkı ve S-Hızı farkları ile ilişkilidir. Bu nedenle mikrogravite yönteminin MASW yöntemi ve mikrotremor yöntemleri ile birlikte mühendislik

ve sismik anakaya araştırmalarında, zemin ara yüzeyi topoğrafyası tanımlamalarında ve zemin modellerinin oluşturulmasında birlikte uygulanması daha uygundur (Xu ve Butt 2006; Crice 2005; Koichi vd. 2005).

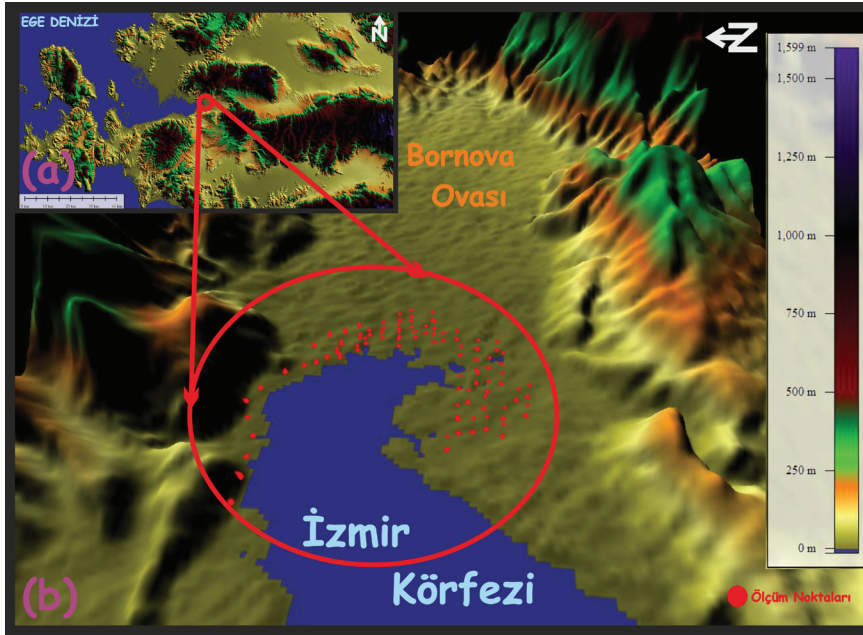
Bu çalışmada İzmir Metropol Alanı içinde yer alan ve Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan alanda mühendislik ana kayasını ve zemini tanımlamak için yapılan jeofizik çalışma sonuçlarına ait örnekler verilecektir. Yapılan çalışmalarda mikrogravite, MASW, mikrotremor, SPAC, özdirenç tomografi ve düşey elektrik sondaj ile down-hole kuyu içi sismik yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca derin amaçlı açılmış zemin sondaj logları ile de sonuçlar denetlenmiştir.



## ALAN ÇALIŞMALARI

İzmir Metropol Alanı içinde yer alan ve Yeni Kent Merkezi olarak tanımlanan çalışma alanında mühendislik ana kayası ile zeminin araştırılmasına yönelik jeofizik çalışmalar yapılmıştır (Şekil 4a ve b). Bu alanda yapılmış olan derin amaçlı zemin

sondaj logları ile genel jeolojik özelliklerine göre çalışma alanını tanımlayan olası zemin modeli Şekil 5'de tanımlanmıştır. Bu modele göre mühendislik ana kayası olasılıkla Bornova Filişi birimidir. Bu birimin üzerinde yer alan andezit birimi hem ayrışma hem de küçük ölçekli dağılımı nedeniyle mühendislik ana kayası tanımına uymamaktadır.



Şekil 4. a) Çalışma alanı genel görünümü, b) Çalışma alanı ve çevresinin morfolojisi.

Çalışma alanında toplam 39 noktada (Şekil 6) Geometrics Geode marka 24 kanallı sismometre ile yapılan MASW çalışması sonucu S-Hızı değerlerinden elde edilen 40 m seviye için S-Hızı dağılım haritası bu derinliğe kadar ve çalışma alanının büyük bir yüzdesinde mühendislik ana kayası özelliklerinin bulunmadığını göstermektedir (Şekil 7). Ayrıca bu derinliğe kadar S-Hızı değerleri ortalama 300 m/sn dir. Bu hız değerleri deprem mühendisliği açısından zemin yüzeyinde zemin büyütmesi olma olasılığını arttırmaktadır.



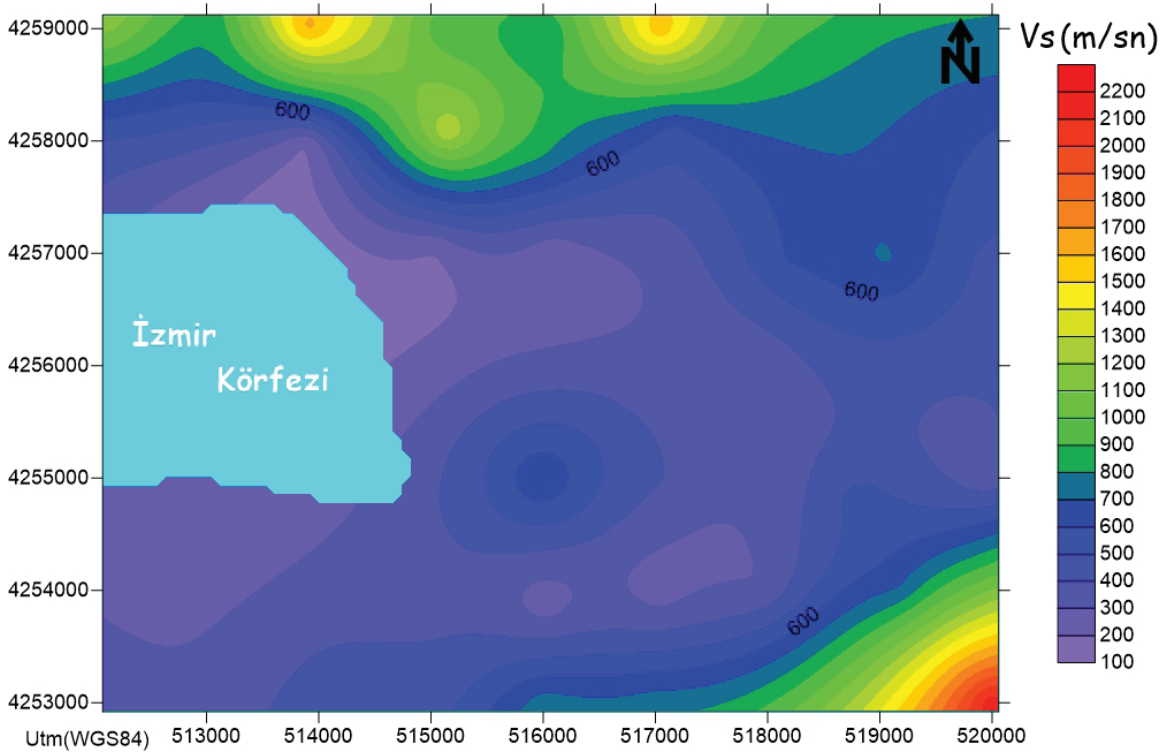
Şekil 5. Çalışma alanına ait olası zemin-mühendislik ana kayası şematik stratigrafik kesit (Uzel vd. 2012; Sözbilir vd. 2008).

Mikrotremor ölçüm çalışmaları toplam 58 noktada (Şekil 6), CMG-6TD hızölçer kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Nakamura (1989) spektral oran yöntemi ile elde edilen hakim genlik-periyot değişim

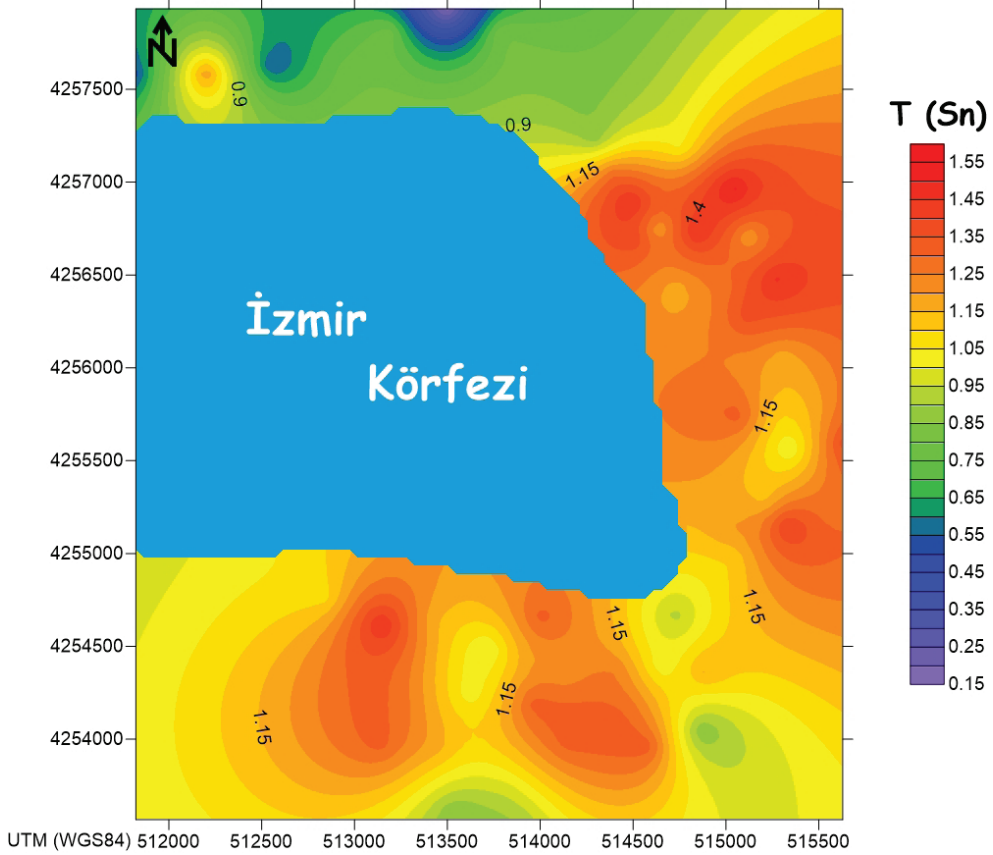
haritası Şekil 8'de verilmiştir. Kubotera ve Otsuka (1970), Teves-Costa vd. (1996) yaklaşımlarına göre hakim periyot değerlerinin 1.0s den büyük olduğu alanlarda kalın bir zemin tabakası hakimdir.



Şekil 6. Karotlu Zemin Sondajı, Mikrogravite (Grav), Mikrotremor, MASW, SPAC, Down Hole (Aşağı-Kuyu içi Sismik) ve Elektrik Tomografi (ERT) uygulama lokasyonları.



Şekil 7. Çalışma alanı S-Dalga hızı değişimi (40 m Seviye MASW).



Şekil 8. Çalışma alanı hakim periyot dağılım haritası.

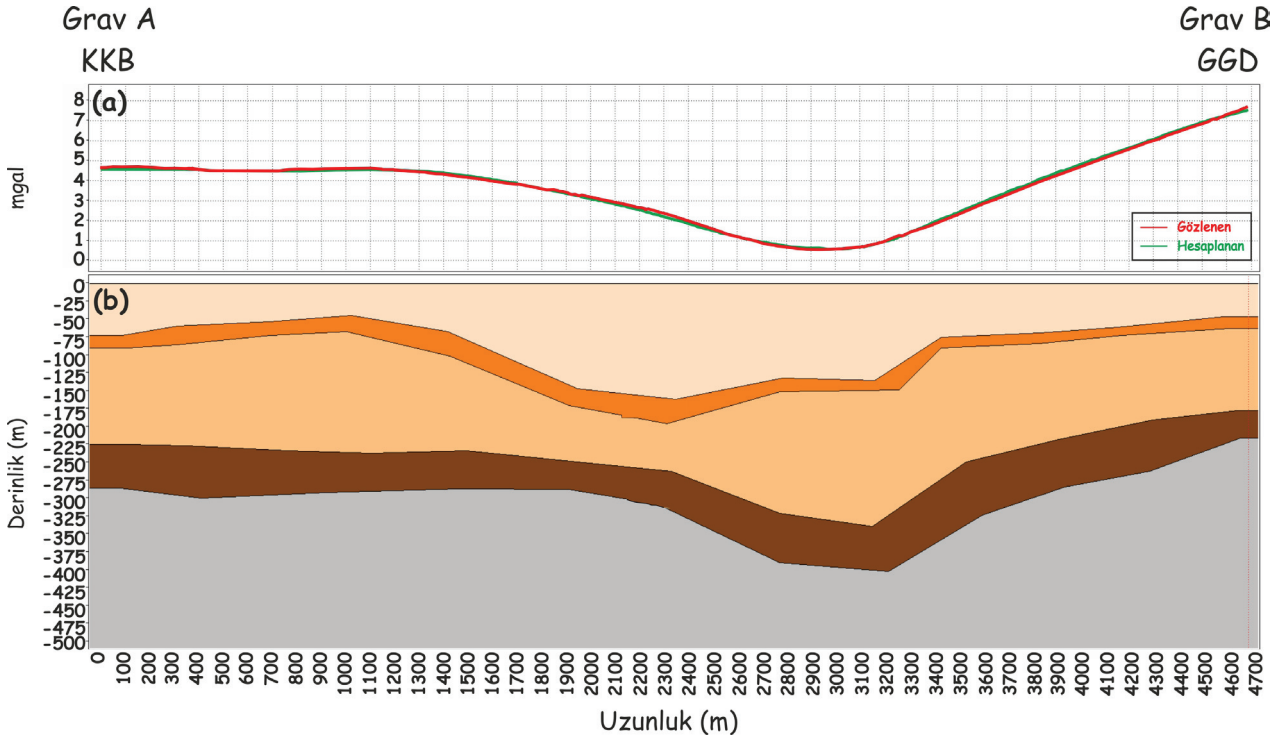
ScintrexCG-5 gravite cihazı kullanılarak yaklaşık kuzeybatı-güneydoğu yönlü 4600 m'lik profil boyunca arazi ve şehirleşme koşullarına bağlı olarak yaklaşık 100-150 m. örnekleme aralığı ile gravite ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 6). Bu ölçümlerden GravA-GravB gravite profili elde edilmiştir. Bu profille beraber S-Hızı değerleri, Sondaj logları, DES sonuçları birlikte kullanılarak Keçeli (1990, 2000, 2010 ve 2012) çalışmalarında sunulmuş S-Hızı ( $V_s$ ) - yoğunluk ( $\rho$ ) ilişkileri ve genel kayaç tipleri ile zemin mühendislik parametreleri dikkate alınarak, (1) bağıntısına (Keçeli 2012) göre tanımlanmış yoğunluk (Tablo 2) değerlerinden oluşan zemin modeli Şekil 9'da verilmiştir. Zemin modelinde yoğunluk ve S-Hızı değerlerine göre 4 tabaka tanımlanmıştır (Zemin-1, Zemin-2, Zemin-3 ve Zemin-4). Zemin-2 tabakası mühendislik ana kayası özellikleri taşımasına karşın, Zemin-3 tabakasının S-Hızı düşük olduğundan Zemin-2 tabakası mühendislik ana kayası özelliklerini taşımamaktadır. Bu modele göre, olası mühendislik ana kayası ( $V_s > 700$  m/sn) ortalama 300-400 m. derinlikten sonra başlamaktadır. Bu modeli oluşturan tabakaların ayrıntılı tanımı Tablo 2'de verilmiştir.

Bunun anlamı  $V_s > 700$  m/sn koşulu temel alındığında zemin transfer fonksiyonu hesaplamalarında bu derinliğin dikkate alınması gerekmektedir.

$$\rho = 0,44 * V_s^{0,25} \quad (1)$$

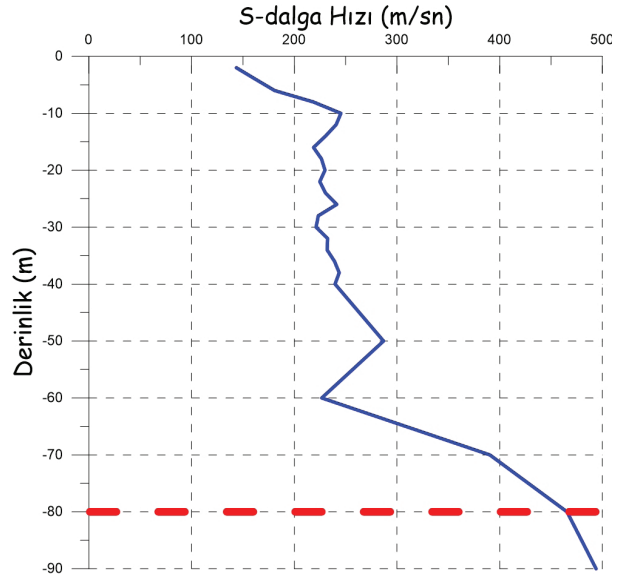
Tablo 2. Grav A-Grav B Noktaları arası Mikrogravite Model Parametreleri

Tabaka	S-Dalgı Hızı (m/sn)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Zemin 1	150	1.530
Zemin 2	400-500	2.020
Zemin 3	250-300	1.750
Zemin 4	500-600	2.080
Müh. Anakayası	>800	3.100



Şekil 9. Grav A-Grav B noktaları arası Tablo2'de verilen parametrelere göre; a) Gözlenen ve hesaplanan mikrogravite anomalisi, b) Bouguer gravite model kesiti.

Kuyu içi sismik çalışma olarak Down-hole ölçüsü toplam 1 noktada yapılmıştır. Ortalama derinlik 90 m. dir. Kullanılan donanım Geostuff BHG-3 (3 bileşenli jeofon) ve enerji kaynağı olarak 100 librelilik ivmeli hidrolik balyoz kullanılmıştır. Elde edilen S-Hızı-Derinlik kesiti Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10'da izlendiği gibi 90 m. derinlik boyunca S-Hızı değerlerindeki değişim 80 m. derinlikten sonra mühendislik ana kayası özelliği taşıdığı izlenimini vermektedir. Ancak 90 m 'den daha derin amaçlı yapılan zemin sondaj logu (Şekil 11), SPAC (Şekil 12), Model HVSR (Şekil 13), Özdirenç DES (Şekil 14) ve Özdirenç Tomografi (Şekil 15) sonuçları mühendislik anakayasının daha derinde beklenmesi sonucunu desteklemektedir. Bu uyumsuzluğun nedeni 90 m derinlikten sonra düşük S- dalga hız zonları, düşük özdirenç değerlerinin gözlenmiş olması, zemin sondaj loglarında killi ve kumlu zeminler gözlenmesidir.



Şekil 10. Down-Hole kuyu içi sismik çalışmasından elde edilen zemin S-dalga hızı-derinlik profili.

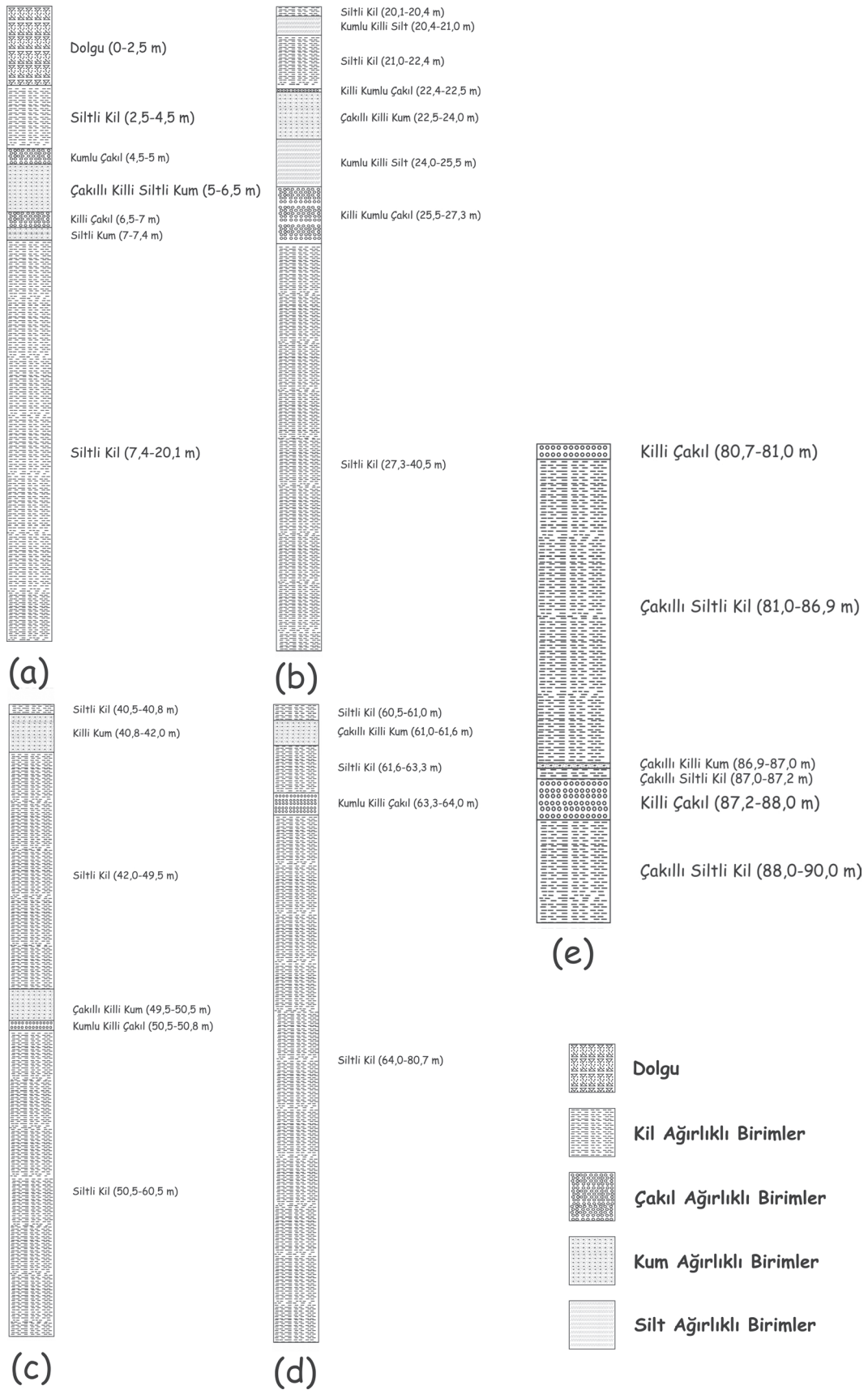


SPAC çalışması toplam 4 noktada yapılmıştır. Toplam 6 adet Güralp sistem CMG-6TD hız ölçer kullanılarak aynı noktada farklı yarıçaplı 3 çember üzerinde en az 60 dk. kayıtlar alınarak ölçümler tamamlanmıştır. Alınan SPAC verileri Geopsy V2.5.0 programı kullanılarak S-Hızı Derinlik kesitleri elde edilmiştir. Elde edilen S-Hızı-derinlik kesitlerine göre mühendislik ana kayası tanımı ( $V_s > 700$  m/sn) ortalama 350-400 m derinlikten sonra oluşmaktadır. Her bir S-Hızı-derinlik modeli kuramsal ve gözlemsel zemin transfer fonksiyonları (HVSR) karşılaştırmaları yapılarak (Herak 2008) optimize edilmiştir. Bunun için önce mikrotremor verileri Nakamura tek istasyon yöntemi (Nakamura 1989) ile değerlendirilerek, gözlemsel HVSR eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra SPAC çalışması sonucunda elde edilen S-Hızı-Derinlik modeli kullanılarak Herak 2008 yaklaşımı ile kuramsal HVSR eğrileri elde edilmiştir. Kuramsal HVSR eğrileri iteratif yöntemler kullanılarak gözlemsel HVSR eğrilerine en uygun kuramsal HVSR eğrisi veren S-dalga-hızı-derinlik modeli elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlardan birer örnek Şekil 12 ve 13'te verilmiştir.

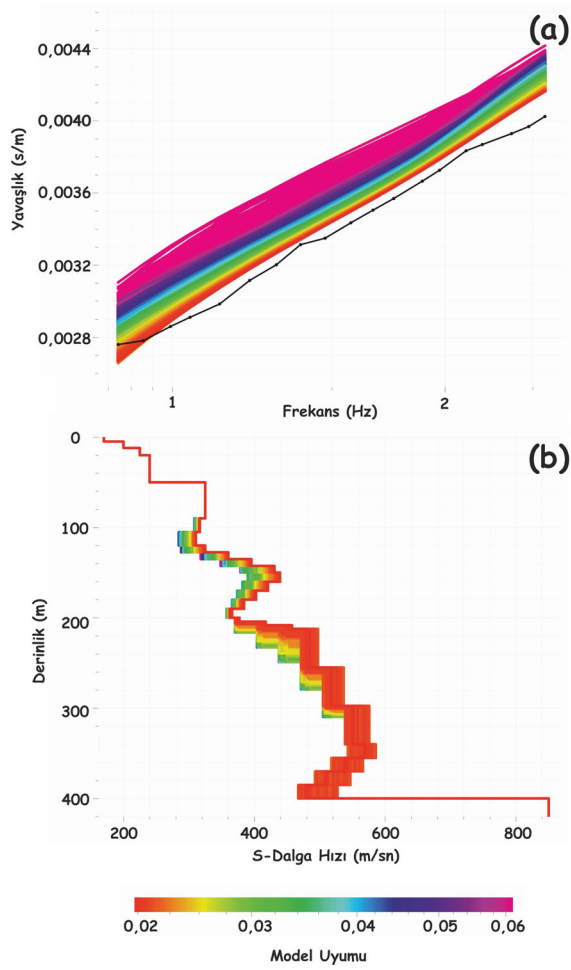
DES çalışması AGI SuperSting R8 IP cihazı ile çevre gürültüleri dikkate alınarak AB/2 1000 m olmak üzere tam Schlumberger Elektrot Dizilimi ile 1 nokta üzerinde tamamlanmıştır. IPI2WIN programı ile yapılan değerlendirme ve modelleme sonucu Şekil 14'te verilmiştir. Gerçek özdirenç- derinlik değişimleri

mühendislik ana kayası özelliklerinin ortalama 300 m derinlikten sonra oluştuğunu desteklemektedir. Tablo 1' de izlendiği gibi, ortamın su içeriği (korozif etki) ile özdirenç arasında ilişki ters orantılı olarak gözlenmektedir. Bunun sonucunda gerçek özdirenç değerlerinin azalması, su miktarının ve dolaylı olarak gözenek oranının artışı belirtecektir. Bunun anlamı bu özellikteki ortamın mühendislik anakayası tanımına uymayacağıdır.

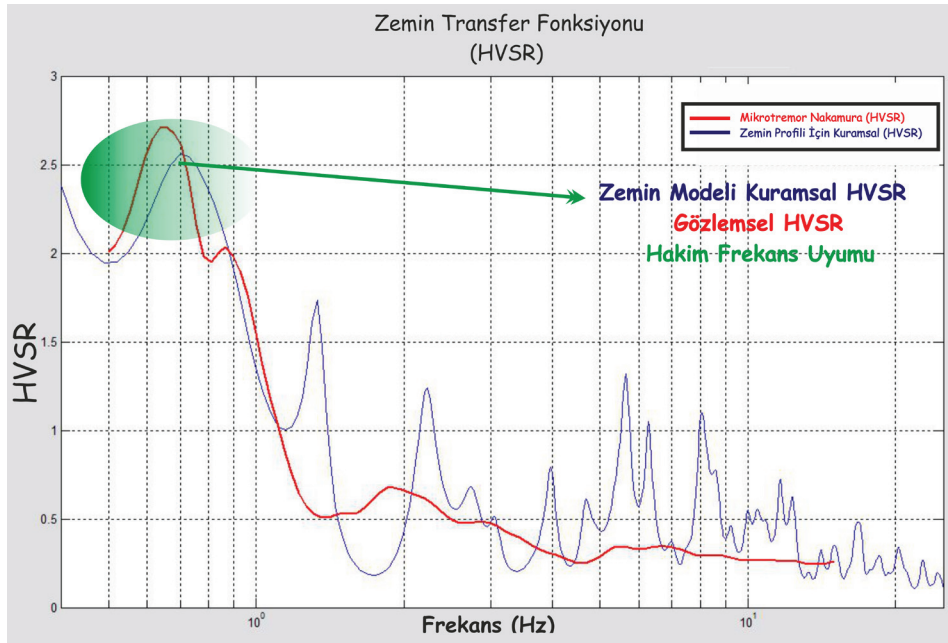
Özdirenç tomografi çalışması AGI SuperSting R8 IP cihazı ile 56 kanal, 18 m elektrot aralığı, Dipol-Gradyent Elektrot Dizilimi kullanılarak ve çevre gürültüleri de dikkate alınarak 1 profil üzerinde tamamlanmıştır. Çalışma profili denize yakın olduğu için doğal olarak görünür özdirenç değerlerinin düşük olması beklenir. Ölçü almada kullanılan ekipmanın kapalı devre sistemine sahip olması ölçülen akım ve potansiyel fark değerlerinin çok küçük aralıklarda örneklenmesine izin vermektedir. Bu durum dikkate alınarak ölçüler yüksek hassasiyetle toplanmıştır. Earth-Imager 2D programı ile yapılan değerlendirme ve modelleme sonucu Şekil 15'te verilmiştir. Elde edilen özdirenç değişimlerine göre ortalama 220 m derinlik ve 980 m uzunluk boyunca özdirenç değeri baskın olarak ortalama 6-7 ohm-m civarındadır. Bu özdirenç değerleri bu derinlik boyunca mühendislik ana kaya tanımı ve özelliklerinin oluşmadığını desteklemektedir.



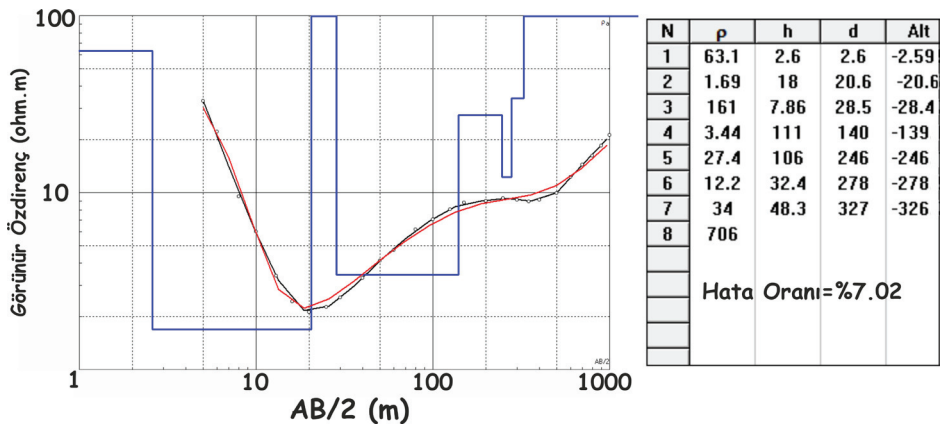
**Şekil 11.** Çalışma alanında yapılan ortalama 90 m derinlikte zemin sondaj logu. **a)** 0-20,1m, **b)** 20,1-40,5m, **c)** 40,5-60,5m, **d)** 60,5-80,7m, **e)** 80,7-90 m kolon kesit örneklenmiş birimler.



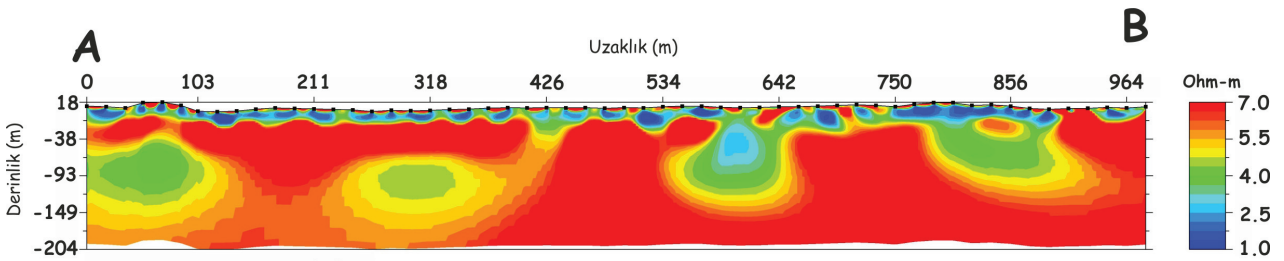
Şekil 12. SPAC-3 Noktasına ait **a)** Dispersiyon eğrisi, **b)** Vs-derinlik modeli (Başlangıç Modeli seçiminde zemin sondaj logu dikkate alınmıştır).



Şekil 13. SPAC-3 Noktasına ait Kuramsal HVSr ve gözlemsel mikrotremor HVSr karşılaştırılması.



Şekil 14. DES çalışması değerlendirme sonucu..



Şekil 15. A-B profilî Öz direnç tomografi kesiti.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada İzmir Metropol Alanı içinde yer alan Yeni Kent Merkezi'nde hem mühendislik ana kayasının 30 m. den derin olduğu hem de zemin içindeki S-Hızı değerlerinin yanal ve düşey yönlerde ani değişimler gösterdiği saptanmıştır. Çalışma alanı yerleşim yeri içinde olmasına karşın uygun jeofizik ekipmanlar ve yöntemler ile yerinde ölçüm çalışmaları olarak kullanıldığında zeminin mühendislik ana kayasına kadar olan dinamik özelliklerini etkileyen S-Hız değerlerine ulaşılmıştır. Öz direnç DES ve Tomografi çalışmaları sonucu elde edilen gerçek öz direnç değerleri zeminin su içeriği ve gözeneklilik (porozite) oranı yüksek ve buna bağlı olarak ince taneli yapıda olduğu sonucunu vermektedir (Tablo 1). Bu sonuç ortamın sıkışmamış ve düşük S-Hız değerlerine sahip olacağını göstermektedir. Ayrıca S-Hız değerlerinde yanal ve düşey yönlü değişimleri saptanmıştır. Bu çalışmanın sonuçları ortak bir model üzerinde Şekil 16'da verilmiştir. Şekilden izlendiği gibi hem zemin içindeki S-Hızı değişimleri ve hem de zemin-mühendislik ana kayası arasındaki ara yüzey değişimleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır.

Mikrogravite, SPAC, Aşağı-Kuyu İçi Sismik ve zemin sondaj logu birlikte yorumlanarak, yapılan modelleme sonucu zeminin S-Hızı ve yoğunlukları

farklı 4 tabakadan oluştuğu ve toplam zemin kalınlığının 300-400 m arasında değiştiği saptanmıştır. (Şekil 9)

### 1. Katman (Zemin 1)

S hızı = ortalama 180-200 m/sn, yoğunluk 1.53 gr/cm<sup>3</sup>, kalınlık 75 m-125 m. arası

Killi-kumlu-siltli. Bu birimin su içeriği yüksek (öz direnç değişimlerinden saptandı) ve viskoelastik yapılı.

### 2. Katman (Zemin 2)

S hızı = ortalama 400-500 m/sn, yoğunluk 2.02 gr/cm<sup>3</sup>, kalınlık 15 m- 25 m. arası

Olasılıkla çakıl oranı yüksek killi-kum-siltli. Bu birimin su içeriği yüksek (öz direnç değişimlerinden saptandı) ve viskoelastik yapılı.

### 3. Katman (Zemin 3)

S hızı = ortalama 250-300 m/sn, yoğunluk 1.75 gr/cm<sup>3</sup>, kalınlık 60 m-125m. arası

Olasılıkla düşük çakıl oranına sahip kumlu siltli birim. Bu birimin su içeriği yüksek (öz direnç değişimlerinden saptandı) ve viskoelastik özellikli.



## 4. Katman (Zemin 4)

S hızı = ortalama 500-550 m/sn, yoğunluk 2.08 gr/cm<sup>3</sup>, kalınlık 40 m-50 m. arası

Andezit çakıllarından oluşmuş ve alterasyona uğramış birim ve su içeriği yüksek. Bu birimin jeotermal su içermesi ve alterasyona uğrama olasılığı yüksektir.

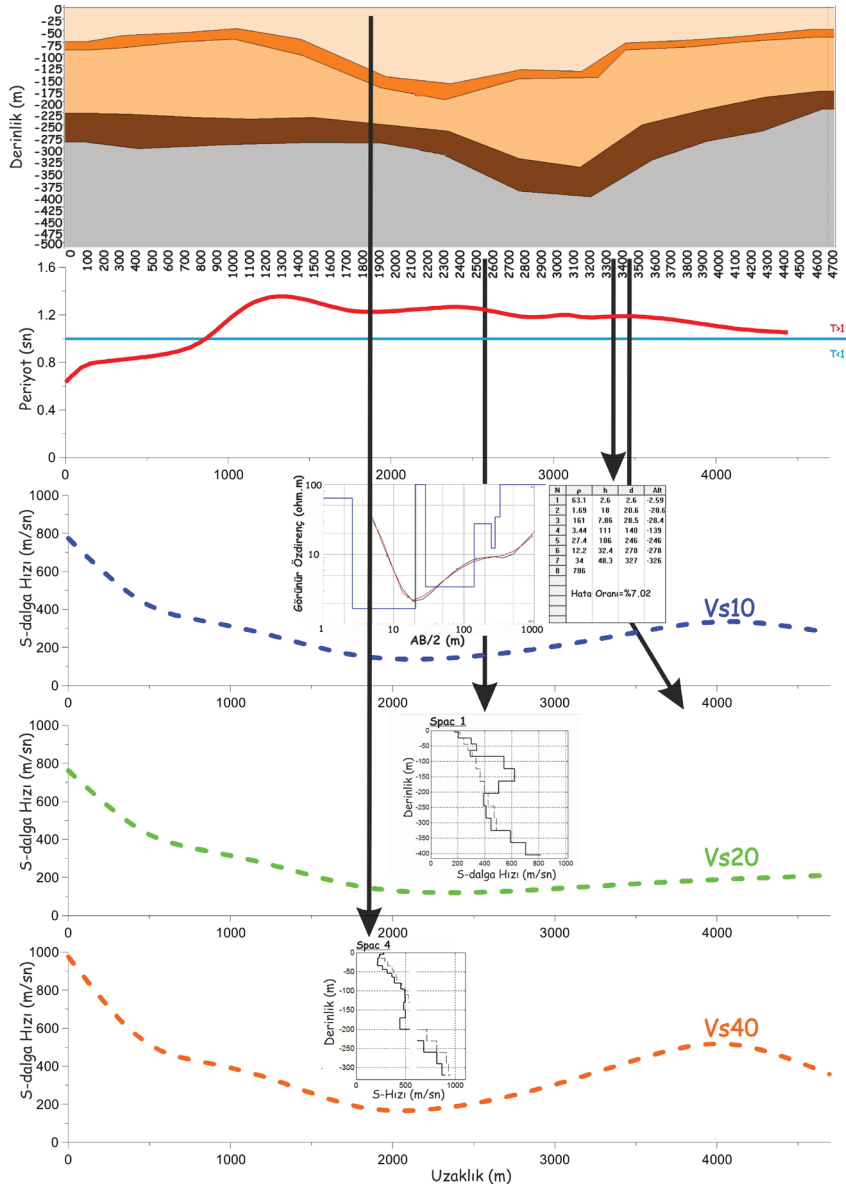
## 5. Mühendislik Ana Kayası

S-hızı>800 m/sn, yoğunluk 3.1gr/cm<sup>3</sup>, yüzeyden derinlik 300-400 m.

Bu birim olasılıkla kuvarslı şist içeren Bornova Filişinden oluşmaktadır. Ayrıca jeotermal kaynaklı suları içermesi de bulunmaktadır. Kuvarslı

içermesi nedeni ile deformasyon özelliği olarak plastik yapıda olma olasılığı vardır.

Sonuç olarak, depreme dayanıklı yapı tasarımında uygun jeofizik yöntemler kullanılarak zemin-mühendislik ana kayası ilişkisinin jeolojik yapıya uygun kurulması ve S-dalgası hızı değerlerinin yerinde çalışmalarla elde edilmesi gerekmektedir. Elde edilen S-dalgası hızları ve kuyu içi bilgiler doğrultusunda birimlere ait yoğunluk değerlerine ulaşılması sonucunda mikrogravite verilerinden zemine ait taban topoğrafyasının (zemin-ana kayaya arası ilişki) elde edilmesi, depreme dayanıklı yapı tasarımı ve yeni şehirleşme alanlarının planlanmasında oldukça önemlidir.



Şekil 16. Zemin ve mühendislik ana kayası arasındaki ilişkilerin Jeofiziksel cevapları (GravA-GravB profil doğrultusu boyunca 10, 20 ve 40 m seviyeler için S-Hızı değişimleri, SPAC S-Hızı-Derinlik değişimleri, DES sonuçları).

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 106G159 numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Jeofizik Dergisinin yayın hayatına devam etmesinde emeği olan Sayın Doç. Dr. Ali AYDIN'a ve Prof. Dr. Hakan KARSLI'ya, arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı da Onur ILGAR'a teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

Ansal, A., 2004, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation (Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering), Springer Kluwer Academic Publishers, p.139.

Bozkurt, A. ve Kurtuluş, C., 2009, Alikahya bölgesinde birleştirilmiş jeolojik, jeofizik ve jeoteknik araştırmalarla zemin incelemesi, Uygulamalı Yerbilimleri 1, 1-17.

Crice, D., 2005, MASW, the wave of future editorial. Journal of Engineering Geophysics, 10 (2) 77-79.

Ergin, M., Özalaybey, S., Aktar, M., Yalçın, M.N., 2004, Site Amplification at Avcılar, İstanbul, Tectonophysics, V. 391, Pp: 335-346

Herak, M., 2008, Model HVSR-A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise, Computer and Geosciences, V.34, Pp:1514-1526.

Issawy, E.,A., Othman, A.,A., Mrlina, J., Saad, A.,M., Radwan, A.,H., Elhafeez, T.,A., Emam, M.,S. 2010, Engineering and geophysical approach for construction site selection at AL-AMAL area, southeast of Cairo, Egypt. CZECH Association of Geophysicists EGRSE Journal [http://www.caag.cz/egrse/2010-2/04-10\\_2-Issawy\\_et\\_al.pdf](http://www.caag.cz/egrse/2010-2/04-10_2-Issawy_et_al.pdf).

Keçeli, A. D., 1990, The determination of the Bearing Capacity by means of the seismic method.(in Turkish). Jeofizik 4, 83-92.

Keçeli, A., 2000, Sismik Yöntemle Kabul edilebilir veya Emniyetli Taşıma Kapasitesi Saptanması, "The Determination of the Presumptive or Safe Bearing Capacity by means of the Seismic Method", Jeofizik Dergisi, 14, 1-2, Ankara.

Keçeli, A. 2010, Sismik yöntem ile zemin taşıma kapasitesi ve oturmasının saptanması, Jeofizik Bülteni Sayı: 63.

Keçeli, A. 2012, Soil parameters which can be determined with seismic velocities, Jeofizik, 16, 17-

Koichi, H., Tsohifumi, M., Hatekeyama, H. 2005, Joint analysis of a surface wave method and micro gravity survey, Journal of Environ. Eng. Geophys. 10, 2, 175-184.

Kramer, S., L., Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall PTR, 1996 (ISBN:0133749436,9780133749434)

Kubotera, A. and Otsuka, M. 1970, Nature of nonvolcanic microtremor observed on the Aso- Caldera, J. Phys. Earth. 18, 115-124.

Nakamura, Y. 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quarterly report of the Railway Technical Research Institute 30(1),25-33.

Nath, S. K. 2007, Seismic Microzonation Framework – Principles and Applications, at the Microzonation Workshop at Indian Institute of Science, Bangalore during June 26-27, 2007. Published in the Proceedings volume, pp. 07 – 35.

Nehrp Site Class (Vs(30m)) Amplification Factors From Site Response Simulations, Pacific Engineering and Analysis, 2005 <http://www.pacificengineering.org/AMP1and2/AMP1and2.pdf>

Sözbilir, H., Uzel, B., Sümer, Ö., Ersoy, Y.E., Koçer, T., Demirtaş, R., Özkaymak, Ç. 2008, Evidence for a kinematically linked E-W trending İzmir Fault and NE-trending Seferihisar Fault: Kinematic and paleoseismological studies carried out on active faults forming the İzmir Bay, Western Anatolia (in Turkish). Geological Bulletin of Turkey, 51, (2) Ankara.

Teves-Costa, P., L. Matias, L., Bard P. Y. 1996, Seismic behaviour estimation of thin alluvium layers using microtremor recordings. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, London, AGU , 15(3): 201-209.

Uzel B, Sözbilir H and Özkaymak Ç. 2012, Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey Turkish Journal of Earth Sciences. 21: 439-471.

Xu, C. and Butt, S.,D. 2006, Evaluation of MASW techniques to image steeply dipping cavities in laterally inhomogeneous terrain. Journal of Applied Geophysics., 59, 2, Pp:106-116.