KURAMSAL VE GÖZLEMSEL YATAY/DÜŞEY SPEKTRAL ORAN FONKSİYONLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

M. Akgün[1], M. Utku[2], Ş. Özyalın[2], E. Pamuk[3] ve Ö.C. Özdağ[3]

[1] *Doçent Doktor, Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
[3] *Jeofizik Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir*
Email: mustafa.akgun@deu.edu.tr

ÖZET:

Deprem sırasında zemin yüzeyinde oluşan zemin büyütme faktörlerinin önceden tahmin edilmesi çalışmaları günümüze değin sürmektedir. Nakamura 1989 çalışmasında mikrotremor ölçümlerinden yatay/düşey spektral oran değerlerini belirli varsayımlar dahilinde elde edildiğini ve bu değerlerin zemin büyütmesinin ön kestiriminde kullanılabileceğini önermiştir. Günümüzde jeofizik çalışmalarla cisim ve yüzey dalgaları kullanılarak elde edilen zemin P ve S dalga hızı/derinlik kesitlerinden kuramsal P ve S dalga hızına bağlı ayrı ayrı büyütme spektrumları ile bu iki büyütme spektrumunun oranından yatay/düşey spektral oran olarak tanımlanan kuramsal fonksiyon elde edilmektedir. Ayrıca kuramsal ve gözlemsel yatay/düşey spektral oran fonksiyonları birbirleri ile karşılaştırılarak, ortama en uygun P ve S dalga hızı zemin modeli tanımlanmış olur. Bunun yanında bir tasarı deprem kullanılarak elde edilen yatay/düşey spektral oran fonksiyonu da karşılaştırmaya tabii tutulabilir. Bu kapsam da İzmir Metropol Alanı içerisinde yapılan mikrotremor, uzaysal özilişki yöntemi ile elde edilen gözlemsel ve kuramsal yatay/düşey spektral oranlar karşılaştırılarak sonuçlar yorumlanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Yatay/düşey spektral oran, uzaysal özilişki yöntemi, Mikrotremor, İzmir.

1. GİRİŞ

Depreme dayanıklı yapı tasarımı için yapının üzerinde bulunduğu zeminin deprem sırasında değişim gösterecek parametrelerinin araştırılıp tanımlı hale getirilmesi gerekir. Mühendislik anakayası-yeryüzü arasında kalan ortamın kalınlığı, yoğunluğu, elastik özellikleri vb. parametreleri, oluşan deprem hasarında büyük ölçüde belirleyici rol oynamaktadır. Bu çalışmalar sırasında elde edilmesi gereken en önemli parametreler mühendislik anakayası-yeryüzü arasında kalan ortam içindeki deprem dalgalarının enerjisinin, genlik ve frekans içeriklerinin değişiminde rol oynayan sismik P ve S dalga hızları, yoğunluk ve bu parametrelerin yanal ve düşey yönlü değişimleridir. Ancak bu değişimlerin mühendislik anakayası derinliğine kadar irdelenmesi temel kavramdır (Akgün vd. 2013). Bunun anlamı araştırma derinliği ilk 30 m ile sınırlı değildir. Bu parametrelerin bu denli öneme sahip olmasının temel nedeni zemin üzerinde kurulacak olan yapıya etkiyecek yatay pik deprem ivmesinin (PGA) doğrudan bu sismik hızlar ve tabaka kalınlıklarına bağlı olarak değişim göstermesidir. Bu kavramların tümü zemin transfer fonksiyonu tanımı içinde irdelenir. Bunun anlamı zemin transfer fonksiyonu deprem öncesinde tanımlanabilirse depremin yeryüzündeki olası etkileri deprem olmadan önce tanımlı hale getirilebilir.

Sismik anakaya da gerçekleşmesi olası bir deprem hareketinin enerjinin korunumu ilkesine göre zemin içerisinde geçireceği değişimlerin tanımlanabilmesi için kullanılan fonksiyona zemin transfer fonksiyonu denir ve bu fonksiyon Nakamura 1989'a göre mikrotremor ölçümlerinden elde edilecek Yatay/Düşey spektral oranına eş

değer olduğu kabul edilir. Bunun anlamı Nakamura 1989 yaklaşımına göre mikrotremor ölçümlerinden elde edilecek yatay/düşey spektral oran spektrumları gözlemsel veri olarak kullanılabilir (Akgün vd. 2013a, Akgün vd. 2013b), Herak 2008). Bu çalışmada 30 m ve daha derinden bilgi sağlayabilen Uzaysal Özilişki Yöntemi (SPAC) ile elde edilen P ve S dalga hızları ve tabaka kalınlıkları ile yoğunluklar kullanılarak hesaplanan kuramsal zemin transfer fonksiyonu ile arazi mikrotremor ölçümleri sonucu elde edilen Nakamura Yatay/Düşey spektral oran eğrilerinin karşılaştırılması ve bu işlemin teorik tanımlamaları verilmiştir.

2. YÖNTEM

Çalışmanın izlencesinde kullanılan zemin transfer fonksiyonu (Yatay/Düşey oranlar) elde etmeye yönelik gözlemsel ve kuramsal çalışmalarla ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

2.1. Gözlemsel Yatay/Düşey Oran Hesaplamaları

Yapılan birçok araştırma, tek bir yerdeki mikrotremorların yatay spektrumlarının düşey spektrumlarına oranlanmasıyla bölgesel yer etkilerinin hesaplanabildiğini göstermiştir (Akgün vd. 2013) Bu fikir 1989' da Yutaka Nakamura tarafından açıklanmıştır. Yüzey jeolojisinden kaynaklanan yer etkileri genellikle yüzeydeki yumuşak zemindeki (Hs) deprem kayıtlarının yatay bileşeni ile temel kayanın (HB) yüzeydeki yatay bileşeni arasındaki spektral oran (SR) olarak kabul edilir ve (1) bağıntısı ile tanımlanır.

$$S_R = H_s/H_B \tag{1}$$

Bu teknik Nakamura (1989) tarafından ortaya konmuş ve Japonya'da ve bütün dünyada uzun zamandır kullanılmaktadır. Tekniğin dayandığı varsayımlar aşağıda özetlenmiştir.
Mikrotremorlar, birçok dalgadan özellikle temel kaya çevresinde yüzeylenen yumuşak zeminden yayılan Rayleigh dalgasından oluşur.

Rayleigh dalgası etkisi (E_{RW}) gürültüdür ve tabaka tabanından (V_B) değil de yüzeydeki (V_S) düşey spektrumdan kaynaklanır ve (2) bağıntısı ile tanımlanır.

$$E_{RW} = V_s/V_B \tag{2}$$

Mikrotremor hareketinin düşey bileşeni yumuşak zemin tarafından büyütülmez. Mikrotremor hareketi üzerindeki Rayleigh dalgası etkisi düşey ve yatay bileşene eşittir. Geniş bir frekans aralığında (0,2–20 Hz) temel kayada yatay ve düşey bileşen bir farklılık göstermez ve (3) bağıntısı ile tanımlanır.

$$H_B/V_B = 1 \tag{3}$$

Yatay ve düşey bileşen arasında spektral oran arka planda yumuşak zeminden kaynaklanan Rayleigh dalgası etkisi gürültü olarak kaydedildiğinde bu etkiyi elemek gerekmektedir ve sonuç olarak (4) bağıntısı ile tanımlanır.

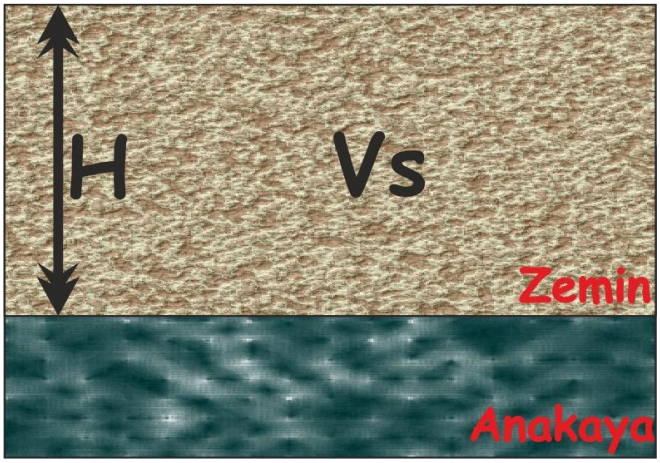
$$S_E = S_R/E_{RW} = H_S/V_S \tag{4}$$

Nakamura tarafından önerilen yönteme göre bir zeminin yatay bileşenlerinin spektrumlarını düşey bileşen spektrumlarına bölerek zemin hakim titreşim periyodu belirlenebilmektedir. (Nakamura, 1989, Bard, 1999). Bununla beraber genel olarak sığ zeminlerde hakim titreşim periyotlarına bağlı olarak zemin tiplerini belirlemede iyi sonuçlar vermesine karşın mühendislik anakayasının derin olduğu (Kayma dalga hızı Vs≥700±60 m/sn) (Anbazhagan ve Sitharam 2009) zeminlerde belirgin pikler görülememektedir.

Bu kavramlardan hareketle kuramsal olarak zemin hakim titreşim frekansı (f_0) zeminin kalınlığı ve kayma dalgası hızı arasındaki ilişki (5) bağıntısı ile açıklanır.(Şekil 1).

$$f_0 = V_S/4_H \tag{5}$$

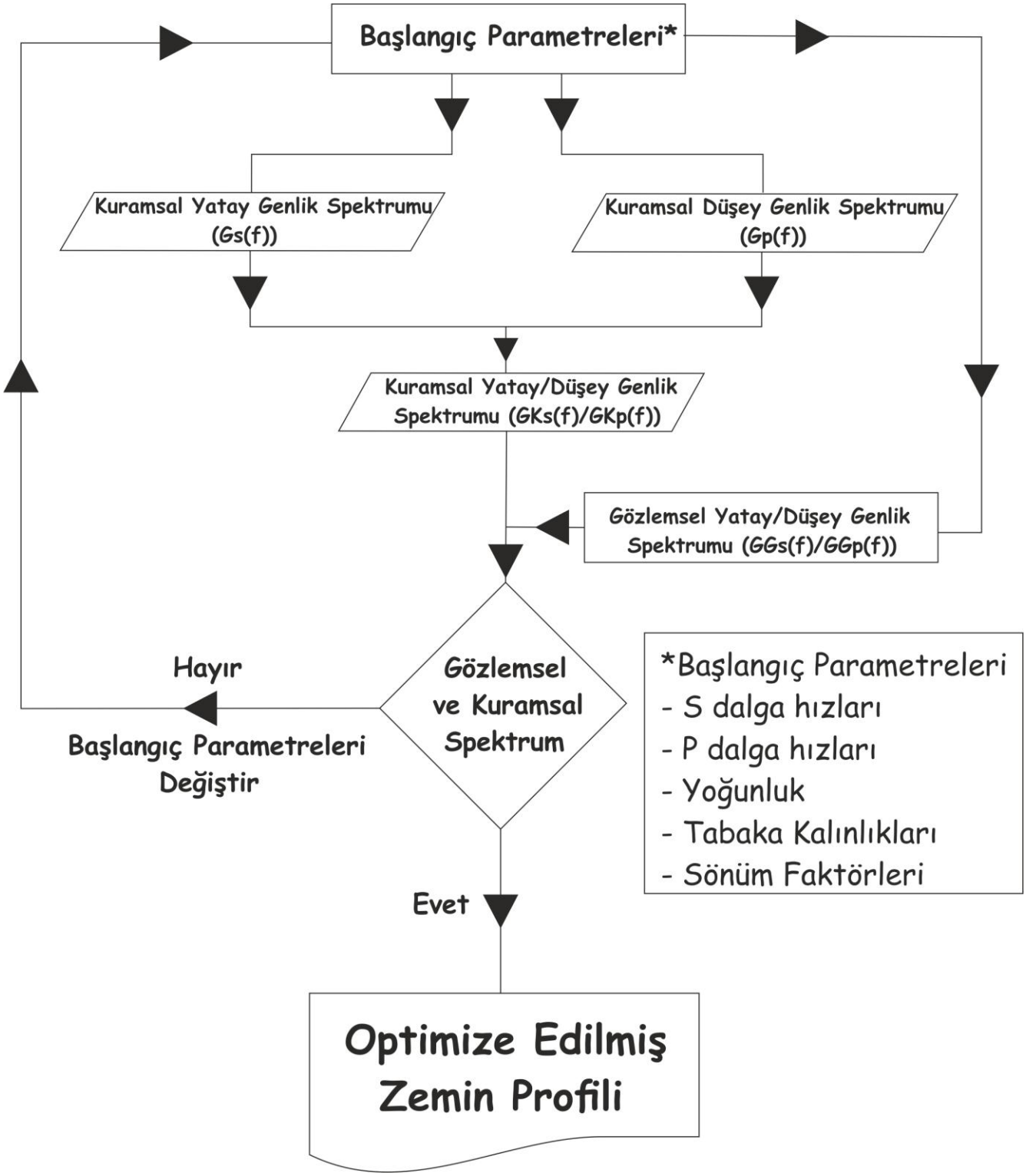
Sonuç olarak bu yöntem ile elde edilecek yatay/düşey spekral oran fonksiyonu, gözlemsel zemin transfer fonksiyonu olarak kullanılır.



Şekil 1. Zemin hakim titreşim frekansı hesaplanmasında zemin kalınlığı ve kayma dalgası hızı (Nakamura 2001'den revize edilmiştir.)

2.2. Kuramsal Yatay/Düşey Oran Hesaplamaları

Kuramsal çalışmalarda zeminin yatay, homojen, izotrop ve viskoelastik katmanlardan oluştuğu ve deprem dalgalarının düşey yönde seyahat ettiği kabul edilir. Ayrıca P ve S dalgaları ile anakaya-zemin kavramları kullanılarak kuramsal genlik spektrumları aşağıdaki akış şemasına (Şekil 2) göre hesaplanır (Herak 2008).



Şekil 2. Optimize edilmiş zemin profili elde etmek için kullanılan akış şeması

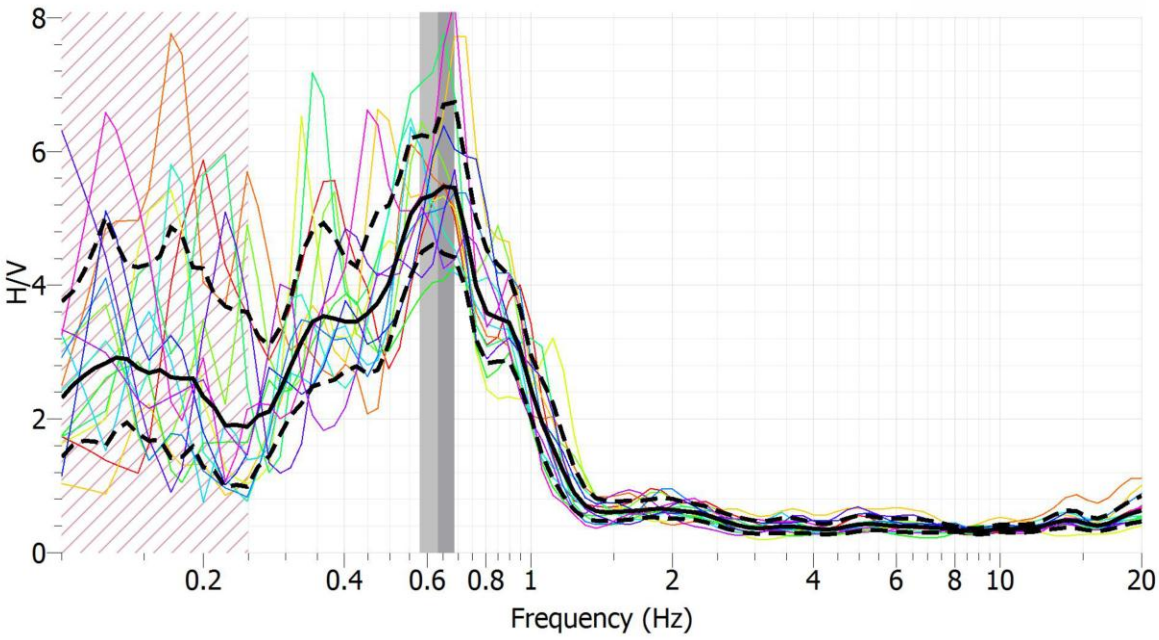
3. UYGULAMA

Arazi çalışmaları İzmir Körfezi'nin doğusunda ve zemin kalınlığının yaklaşık 300 m olduğu tahmin edilen bir alanda gerçekleştirilmiştir.

3.1. Mikrotremor Çalışmaları(Tek İstasyon Yöntemi ve Uzaysal Özilişki Çalışması)

Çalışma alanında toplam 3 çember üzerinde ve 10 noktada tek istasyon nakamura ölçümleri yapılmıştır.(Şekil 3) Ölçümlerde Guralp Systems CMG-6TD hız ölçerler kullanılmıştır. Ölçümlerde uzaysal özilişki çalışmasına uygun olarak cihaz frekans ölçüm aralığı uygun olarak seçilmiştir. Ayrıca her nokta için ortalama ölçü süresi 60 dakika seçilmiş olup çevresel bozucuların etkilerinden kaçınmak için ölçümler gece 00:00'dan sonra toplanmıştır. Mikrotremor değerlendirmelerinde Sesame kriterleri göz önüne alınarak yine bu proje kapsamında hazırlanan Geopsy programı ile yatay/düşey spektral oran grafikleri (gözlemsel zemin transfer fonksiyonları) hesaplanmıştır. Hesaplanan gözlemsel zemin transfer fonksiyonlarına bir örnek şekil 4'te verilmiştir.

Şekil 3. Çalışma alanı ve geometrisi

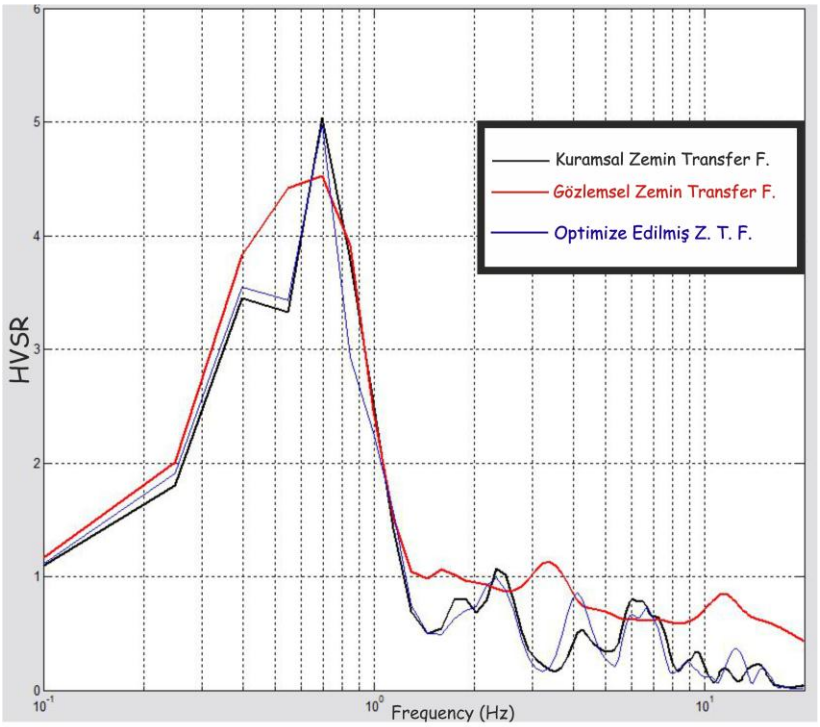


Şekil 4. Nakamura tek istasyon yöntemi ile hesaplanan gözlemsel zemin transfer fonksiyonu

Uzaysal özilişki yöntemi çalışma alanında oluşturulan merkezleri ortak yarıçapları sırası ile 21 m, 58 m ve 90 m olmak üzere 3 farklı çember üzerinde uygulanmış ve değerlendirmede Geopsy programı kullanılarak P, S dalga hızları-derinlik değişimleri hesaplanmıştır. Elde edilen S-dalga hızı-derinlik değişimi örnek olarak şekil 5'te verilmiştir (Şekil 5). Böylece kuramsal yatay/düşey oran hesaplamalarında kullanılacak zemin profili elde edilmiştir.

3.2. Gözlemsel ve Kuramsal Yatay/Düşey Oran Fonksiyonlarının Karşılaştırılması

Matlab® tabanlı bir program kullanılarak şekil 1'deki izlenceye göre kuramsal yatay/düşey oran spektrumu hesaplanmıştır. Zemin profilini gözlemsel zemin transfer fonksiyonu temel alınarak optimize etmek için iteratif işlemler uygulanmış ve elde edilen sonuçlar şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Gözlemsel ve kuramsal zemin transfer fonksiyonu karşılaştırılması

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüzde istatistiksel hesaplamalarla deprem yatay pik ivme (PGA) değerleri hesaplanırken çoğunlukla anakayanın 30 m derinlikte bulunduğu yaklaşımları kullanılmaktadır. Benzer şekilde PGA değerleri açısından Türkiye 5 deprem bölgesi ile tanımlanmakta ve zemin transfer fonksiyonları bu kabullere göre hesaplanmaktadır.

Anakaya ve zemin tanımlarının nasıl yapılacağı 1950'li yıllardan beri bilinmesine rağmen uygulamada bu yaklaşımlar çoğunlukla kullanılmamaktadır. Bunun nedeni olarakta araştırma maliyeti, çalışma alanının yerleşim yerlerinin içinde olması ve araştırma derinliği öne sürülmüştür.

Bu çalışmada zemin transfer fonksiyonun daha derin olaylardan etkilenebileceği gözlemsel ve kuramsal uygulamalarla ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca hem yerleşim alanı içinde çalışılmış hem de anakaya-zemin tanımlamaları kuramına uygun sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmanın izlencesinde önce Nakamura kabulleri temel alınarak gözlemsel ve kuramsal zemin transfer fonksiyon karşılaştırmaları yapılmış ve sonuçta zemin profilinin optimize edilebileceği görülmüştür. Böylece gözlemsel verilere dayalı zemin transfer fonksiyonu tanımlama olasılığı sağlanmıştır.

Bu hesaplamalar yapılırken özellikle anakaya ve zemin ayrımlılığının sağlanmasının önemli olduğu saptanmıştır. Diğer bir deyişle anakaya derinliği (zemin kalınlığı) bilinmeden zemin transfer fonksiyonu hesaplanamaz sonucu desteklenmiştir.

Uzaysal özilişki çalışması yapılarak yerleşim alanları içinde istenilen derinliğe kadar zemin-anakaya ayrımlılığı S dalga hızına bağlı olarak saptanabileceği tespit edilmiştir. Bunun anlamı, günümüzde bina yüksekliklerinin

arttığı ve kentsel dönüşümün gündemde olduğu düşünüldüğünde her türlü alanda anakaya-zemin ayrımlılığı yerinde (in-situ) çalışmalarla sağlanabilir.

Deprem mühendisliği çalışmalarından bilindiği gibi depreme dayanıklı yapı tasarımında zemin yüzeyindeki depremin yanal kuvveti bilinmeyen parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu parametreye istatistiksel yaklaşımlar yapılarak ulaşılmaya çalışılır. Bu yaklaşımın en az hata ile sağlanmasında anakaya-zemin profillerinin detaylı bir şekilde tanımlanması büyük önem taşıdığı yadsınamaz bir gerçektir.

Bu çalışma ile istatistiksel çalışmalarda kullanılacak ve zemini daha iyi yansıtacak parametreler sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

Akgün, M., Gönenç, T., Pamukçu,O., Özyalın, Ş., Özdağ, Ö.C., (2013), Mühendislik Ana Kayasının Belirlenmesine Yönelik Jeofizik Yöntemlerin Bütünleşik Yorumu: İzmir Yeni Kent Merkezi Uygulamaları, *Jeofizik Dergisi*, doi 13.b02 jeofizik-1304-12 *(Basımda)*

Akgün, M., Gönenç, T., Tunçel, A., Pamukçu, O., (2013b), A multi-approach geophysical estimation of soil dynamic properties in settlements: a case study in Güzelbahce-İzmir (Western Anatolia), *J. Geophys. Eng.*, **10 (2013) 045001** doi:10.1088/1742-2132/10/4/045001

Anbazhagan, P., Sitharam, T.G., (2009), Spatial Variability of the Depth of Weathered and Engineering Bedrock using Multichannel Analysis of Surface Wave Method, *Pure and Applied Geophysics*, **166,** 409-428

Bard P. Y., (1999), Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? State-of-the art paper, Second International Symposium on the The seismic microzonation map of Yenisehir-Bursa, NW of Turkey by means of ambient noise measurements 62 effects of Surface geology on seismic motion, Yoklahama, December 1-3, 1998. Irikura, Kudo, Okada and Sasatani (Editors). *Balkema*, **3,** 1251-1279

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

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

Nakamura ,Y., (2001) Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications *4th EqTAP Workshop (Kamakura)* http://eqtap.edm.bosai.go.jp/publications/EqTAP_ws/ws_4th/pdf/cd-rom/session_3/3_12_nakamura/paper_3_12.pdf