

İZMİR METROPOL ALANINDA MÜHENDİSLİK ANAKAYASINA AİT YATAY PİK İVME DEĞERLERİNİN HESAPLANMASINA BİR ÖRNEK

M. Akgün¹, M. Utku² ve Ö.C. Özdağ³

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:

Ülkemizin hemen hemen tamamını tehdit eden depremler, mal ve can güvenliğimizi doğrudan tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle, hem deprem mühendislerine hem de yerbilimcilere oldukça önemli görevler düşmektedir. Yapılacak bina tasarımlarının zemin koşullarına ve deprem yanal kuvveti dikkate alınarak yapılması inşaat ve deprem mühendislerinin görevidir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında oldukça önemli bir parametre olan yatay pik ivme (PGA) değerlerinin yapı tasarımı öncesinde doğru bir şekilde tespit edilmesi hayati bir önem taşımaktadır. PGA değerleri birçok farklı yolla tespit edilebilmektedir. PGA değerleri gerçek deprem kayıtlarından veya senaryo depremi ve kuramsal zemin transfer fonksiyonları kullanılarak belirlenebilmektedir. Kuramsal çalışmalarda, yapıya gelmesi olası deprem kuvvetinin tasarımı sürecinde, PGA'nın yapı yapılacak bölgeyi tehdit eden farklı deprem kaynakları (faylar) ve farklı depremler için tasarlanıp, tasarı depremlerle irdelenmesi gerekmektedir. Mevcut bir kuvvetli yer hareketi istasyonu yanında yapılacak kuramsal çalışmalar sonucunda elde edilecek dinamik büyütme faktörü (DAF) ile beraber gerçek deprem kayıtları kullanılarak anakayadaki PGA değeri ile ilgili yaklaşımlar yapılabilir. Bu çalışmada, bu kavramlardan hareketle İzmir Metropol Alanındaki kuvvetli yer hareketi istasyonu için mühendislik anakayasası PGA değerleri P ve S dalga hızları zemin modelleri ve senaryo depremi kullanılarak elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Mühendislik anakayasası, yatay pik ivme, uzaysal özilişki yöntemi, İzmir, depreme dayanıklı yapı tasarımı, tasarı depremi.

1. GİRİŞ

Kramer 1996 çalışmalarında tanımlandığı gibi depreme dayanıklı yapı tasarımı yapılırken zemine uygun PGA değerlerinin kullanılması gerekir. PGA değerlerine ulaşırken ya gerçek deprem kayıtları ya da kuramsal çalışmalar yapılır. Gerçek deprem kayıtlarının kullanılması hem uzun bir zaman dilimi gerektirir hem de çok sayıda ve uygun parametrelere sahip depremlerin bu kayıtlar içerisinde bulunması zorunludur. Bu nedenle uygulamada kuramsal çalışmalar yaygın olarak kullanılır. Kuramsal çalışmaların temelini tasarım depremi ile elde edilen ve mühendislik anakayasasına ait olan PGA değeri ile zemin özelliklerini taşıyan zemin transfer fonksiyonu oluşturur. Bilindiği gibi zemin transfer fonksiyonu mühendislik anakayasasından çıkan deprem dalgalarının bazı özelliklerini (genlik, süre, frekans, sönüm, vb.) değiştirerek zemin yüzeyine ulaşmasını sağlayan matematiksel bir fonksiyon olarak tanımlanır.

Zemin transfer fonksiyonu hesaplamalarında başlangıç parametresi olarak zemine ait, P ve S dalga hızları, yoğunluk, tabaka kalınlıkları, P ve S dalgaları için sönüm faktörleri tanımlanır. Senaryo depremi (Magnitüd, Episantr ve Hiposantır uzaklıkları ve ortamın deprem dalgası yayılım özelliğini yansıtan “r” faktörü) ile

mühendislik anakayasına ait kuramsal PGA_a değeri hesaplanır (Herak 2008). Bu işlemlerin devamında zemin transfer fonksiyonu kullanılarak zemin yüzeyine ait kuramsal PGA_y değeri elde edilir. Sonuç olarak DAF değeri bu iki değerin birbirine oranlanması ile hesaplanmış olur.

Bu çalışmada referans noktası olarak TÜBİTAK 106G159 no'lu ve 2008-2012 tarihleri arasında gerçekleştirilen “İZMİR METROPOLÜ İLE ALİAĞA VE MENEMEN İLÇELERİNDE GÜVENLİ YAPI TASARIMI İÇİN ZEMİNİN SİSMİK DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ” adlı KAMAG projesi kapsamında kurulmuş olan İZMİRNET kuvvetli yer hareketi istasyon ağı içerisinde bulunan BYN kodlu istasyon noktası seçilmiştir. İlk aşamada Uzaysal özilişki çalışması ile elde edilen zemin profili kullanılarak P ve S dalgası zemin transfer fonksiyonları elde edilmiştir. Daha sonra 8 Ocak 2013 tarihli Ege Denizi'nde (Bozcaada Açıkları) gerçekleşen $M=5.9$ deprem model alınarak oluşturulan senaryo depremi ile DAF değeri elde edilmiştir. Elde edilen DAF değeri PGA_y değeri kullanılarak o nokta için PGA_a değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen PGA_a değeri kullanılarak kuvvetli yer hareketi istasyonu bulunmayan bir noktadaki PGA_y değeri, DAF değeri kullanılarak bulunmuş olur.

2. KURAMSAL GELİŞME

Nakamura 1989 yılında yaptığı çalışmada, yer içerisinde çeşitli nedenlerle oluşan titreşimcikler ile (mikrotremor) yüzey dalgalarının arasında bir paralellik olduğu varsayımı ile mikrotremor yöntemini ortaya koymuştur. Bu metod sismometreler tarafından kaydedilen titreşimciklerden, yatay yönde olanların düşey yönde olanlara bölümünden elde edilen yatay/düşey eğrilerinin zemin transfer fonksiyonu olduğu kabulünü yapmaktadır ve 1989 yılından günümüze kadar geçen süreçte mikrobölgeleme çalışmalarının vazgeçilmezlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Yönteme genel olarak bakış, tarihi gelişimi ve çeşitli uygulamalar Mucciarelli ve Gallipoli 2001'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Kuramsal zemin transfer fonksiyonlarının frekansa bağlı olarak zemin modellerinden hesaplanması işleminin algoritması Tsai 1970'te ortaya konmuştur. Bu algoritma içinde zemini oluşturan viskoelastik katmanların P ve S dalga hızları, kalınlıkları, yoğunlukları ve sönüm faktörleri kullanılmaktadır.

Kuramsal hesaplamalar yatay ve düşey genlik spektrumlarının hesaplanması ile başlamaktadır. Bu genlik spektrumları zemin transfer fonksiyonunu oluşturacak temel fonksiyonlar olup 1 ve 2 bağıntısında tanımlanmıştır.

$$G_s(f) = \frac{ds_y(f)}{ds_a(f)} \quad (1)$$

$$G_p(f) = \frac{dp_y(f)}{dp_a(f)} \quad (2)$$

Bağıntılarda $d(f)$ kararlı durum genliği olarak tanımlanır ve frekansla değişim gösterir. Parametrelerdeki ikinci indeks S ve P dalgalarını temsil eder. Üçüncü indeks ise “y” yüzey ve “a” anakaya olarak tanımlanmıştır. $G(f)$ zemini oluşturan tabakaların farklı frekanslardaki genlik hareketlerini temsil eder. P ve S dalgalarına bağlı olarak elde edilen $G_p(f)$ ve $G_s(f)$ fonksiyonlarından hareketle yatay/düşey spektral oranlar (zemin transfer fonksiyonları) 3 bağıntısı ile hesaplanır.

$$Y/D(f) = \frac{ds_y(f)}{dp_y(f)} = \frac{G_s(f)}{G_p(f)} \quad (3)$$

Deprem riski yüksek olan bölgelerde, sismik risk ya da mikrobölgeleme çalışmalarında çalışma noktasındaki oluşacak sismik kuvveti $G_s(f)$ spektrumundan elde edileceği varsayımı yapılır. $G_s(f)$ spektrumunu öngörebilmek içinde $Y/D(f)$ spektrumu kullanılır. Ancak S dalgasının yüksek modları rezonans olayından dolayı $Y/D(f)$ içerisinde maskelenebileceği dikkate alınarak ampirik $Y/D(f)$ ile büyütme öngörülürken dikkatli olunmalıdır.

Zemin yüzeyindeki PGA_y değerine ulaşmak için mühendislik anakayasındaki PGA_a değerinin önkestiriminin yapılması gerekir. Bunun için çoğunlukla; Magnitudü “M”, episantr uzaklığı “E”, hiposantir uzaklığı “H” ve ortamın deprem dalgası yayılım özelliğini yansıtan “r” faktörü parametreleri ile tanımlanan bir senaryo depremi kullanılarak PGA_a kestirimi yapmak oldukça önemlidir. PGA değerleri zaman ve frekans ortamında birbirine bağlı olarak tanımlanabileceği için PGA değeri $G(f)$ spektrumu içerisinde tanımlıdır. $G(f)$ den zaman ortamındaki PGA değerine ulaşmak için Parseval teoremi ve Rastgele titreşim kuramlarından yararlanır. Parseval teoremine göre frekans ortamındaki genliklerin karekök ortalamasının, zaman ortamındaki genliklerin karekök ortalamasına özdeş olduğu yaklaşımı yapılarak, 4 bağıntısı elde edilir.

$$kko[G(f)] \propto kko[g(t)] \quad (4)$$

Genelleştirilmiş bu yaklaşım S dalgası için kullanıldığında 5 bağıntısı elde edilir.

$$\begin{aligned} G_y(f) &= G_a(f)G_s(f), \\ kko[G_y(f)] &= kko[G_a(f)G_s(f)] \propto g_y(t) \end{aligned} \quad (5)$$

Rasgele titreşim kuramından bilindiği üzere, zaman serilerinin maksimum değerleri karekök ortalama değerleri ile orantılıdır ve bu sonuçtan hareketle PGA_y ve PGA_a değerlerine ulaşmak için 6 bağıntısı kullanılır.

$$\begin{aligned} PGA_y &\propto kko[g_y(t)] \propto kko[G_a(f)G_s(f)], \\ PGAA &\propto kko[ga(t)] \propto kko[G_a(f)] \end{aligned} \quad (6)$$

Frekans ortamında PGA_y ve PGA_a parametrelerinin birbirleri ile ilişkilendirilmesi sonucu olarak, DAF parametresi, 7 bağıntısı ile hesaplanır. (Trifunac 1993, Lee ve Trifunac 1995)

$$DAF = \frac{PGA_y}{PGAA} = \frac{kko[G_a(f)G_s(f)]}{kko[G_a(f)]} \quad (7)$$

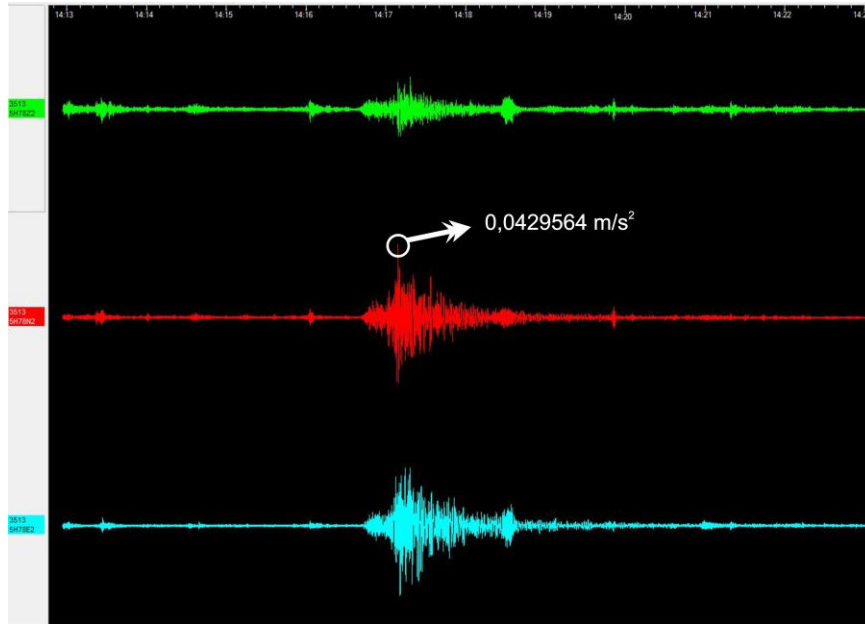
DAF değerini veren 7 bağıntısı irdelendiğinde herhangi iki parametrenin bilinmesi durumunda üçüncü parametrenin kolaylıkla hesaplanabileceği görülmektedir.

3. UYGULAMA

Çalışma alanı olarak kalın bir zeminin hakim olduğu ve kuvvetli yer hareketi istasyonunun bulunduğu İzmir Yeni Kent Merkezi bölgesi seçilmiştir (Şekil 1). Gerçek deprem kaydı olarak TÜBİTAK 106G159 no’lu ve 2008-2012 tarihleri arasında gerçekleştirilen “İZMİR METROPOLÜ İLE ALIĞA VE MENEMEN İLÇELERİNDE GÜVENLİ YAPI TASARIMI İÇİN ZEMİNİN SİSMİK DAVRANIŞLARININ MODELLENMESİ” adlı KAMAG projesi kapsamında kurulmuş olan BYN istasyonunda 8 Ocak 2013 tarihinde kaydedilmiş olan Bozcaada açıkları $M=5.9$ depremi kullanılmıştır. (Şekil 2).



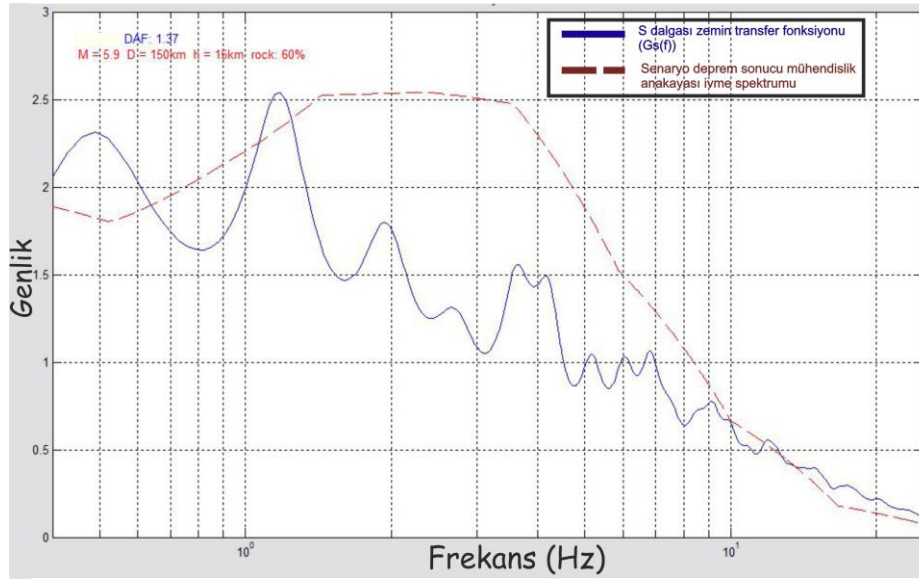
Şekil 1. Çalışma Alanı



Şekil 2. BYN kuvvetli yer hareketi istasyonu Bozcaada deprem kaydı

Zemin transfer fonksiyonunu P ve S dalga hızlarına bağlı olarak BYN istasyonuna en yakın noktada oluşturmak için jeofizik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kapsamında mühendislik anakayasına kadar zemini modellemek için Uzaysal özilişki yöntemi (SPAC) kullanılarak P ve S dalga hızları-derinlik modeli elde edilmiştir (Akgün vd. 2013).

BYN istasyon noktasına ait DAF değerine ulaşmak için önce kuramsal gelişmede verilen bağıntılar yardımı çalışma noktasına ait P ve S dalgaları için zemin transfer fonksiyonları elde edilmiştir. İkinci aşamada Bozcaada M=5.9 depremi temel alınarak oluşturulan senaryo depremi uygulaması sonucu DAF değerine 1,37 olarak 7 bağıntısı kullanılarak ulaşılmıştır.(Şekil 3) .

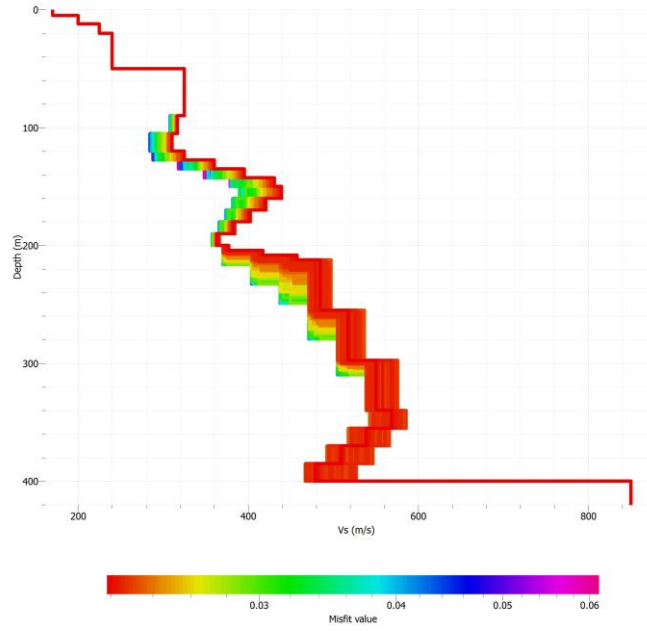


Şekil 3. BYN istasyon noktasına ait s dalgası zemin transfer fonksiyonu ve senaryo depremi ivme spektrumu

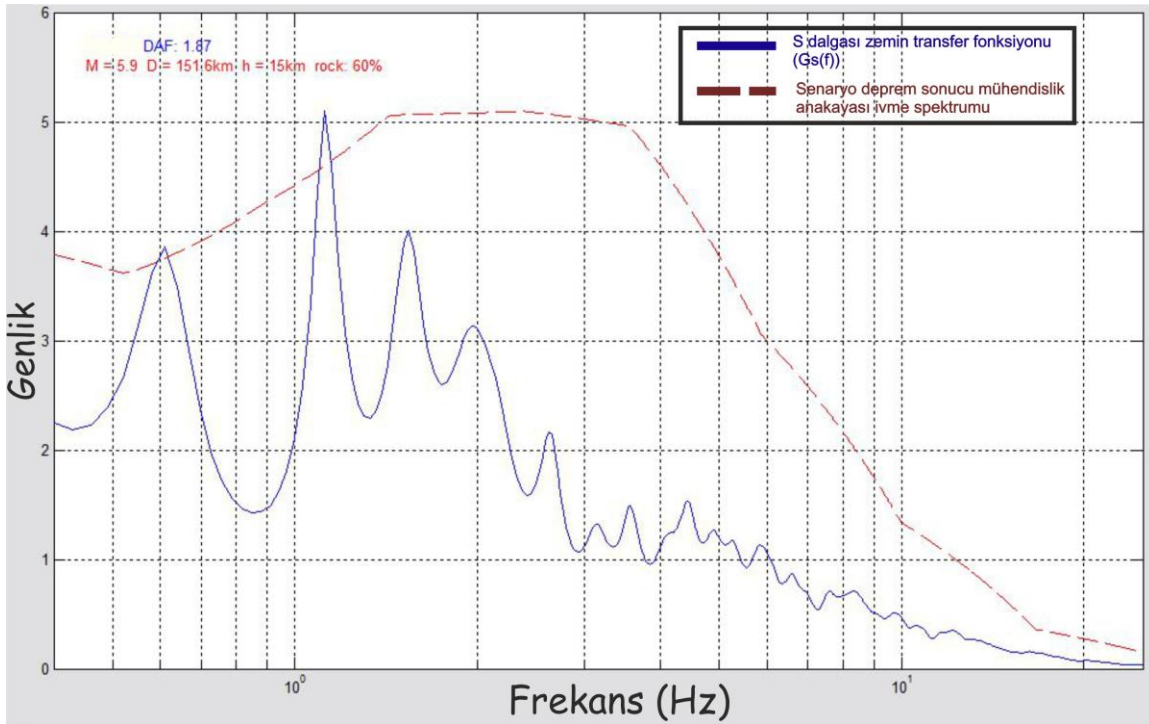
Son aşamadaki amacımızda BYN noktası için bilinmeyen parametre olan PGA_a değerine ulaşmak olacaktır. Bunun için Bozcaada $M=5.9$ depreminin kayıtlarından elde edilen PGA_y değeri ($0,0429564 \text{ m/s}^2$) (Şekil 2) ile 7 bağıntısından elde edilen DAF değeri birlikte kullanılarak PGA_a değerine $0,0313550 \text{ m/s}^2$ olarak ulaşılmıştır.

Mühendislik anakayası tanımı bölgesel yapıldığı için elde edilen PGA_a değeri aynı bölgede farklı noktalar için kullanılabilir. Bu kavramdan hareketle BYN istasyonu için elde edilen PGA_a değeri, istasyona 1600 metre mesafedeki (Şekil 1) bir nokta için temel alınarak zemin yüzeyindeki PGA_y değerine DAF kavramı ile ulaşılabilir.

DAF değeri zemin özelliklerine bağlı olduğu için yanal yönde değişkendir. Bu nedenle çalışılan noktaya ait önce SPAC çalışması (Şekil 4) ile düşey yönde elde edilen S hızlarına bağlı olarak zemin transfer fonksiyonu ve daha sonra DAF değeri hesaplanmalıdır. (Şekil 5) Bulunan DAF değeri ile PGA_a değeri 7 bağıntısında kullanıldığında çalışma noktasına ait zemin yüzeyindeki PGA_y değerine $0,05863385 \text{ m/s}^2$ olarak ulaşılır.



Şekil 4. N1 noktasına ait SPAC yöntemi ile elde edilen s dalga hızının derinlikle değişimi



Şekil 5. N1 noktasına ait s dalgası zemin transfer fonksiyonu ve senaryo depremi ivme spektrumu

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, kuramsal hesaplamalarla zemin yüzeyindeki PGA_y değerine ulaşılmaya çalışılır. Kuramsal hesaplamaların içeriğinde yer alan ve mühendislik anakayası PGA_a değeri olarak tanımlanan parametrenin hem zaman ortamındaki maksimum değeri hem de frekans ortamındaki spektrumu maksimum genlik değerlerindeki değişimler son derece önemlidir. Çünkü mühendislik anakayasından zemine geçen deprem enerjisi en az hata ile tahmin edilirse zemin yüzeyine ulaşacak deprem enerjisi de en az hata ile tahmin edilmiş olur. Deprem ile ilgili yapılan tüm işlemlerin temelinde doğadan elde edilen ve rastgele olay özelliğini taşıyan veriler tanımlı hale sokulmaya çalışılır. Bu işlemin yapılmasında tek yol kuramsal varsayımların kullanılmasıdır. Bu çalışmada da rastgele veri özelliği taşıyan PGA_a değerini elde etmek için kullanılabilecek kuramsal bir izlencenin tanıtılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak herhangi bir çalışma alanı içerisinde var olan bir kuvvetli yer hareketi istasyonundaki deprem kayıtları ve DAF değeri temel alınarak mühendislik anakayası PGA_a değerine ulaşılabileceği gösterilmiştir.

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*)
- Herak, M., (2008), Model HVSR-A Matlab® tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise, *Computer and Geosciences*, **34**, 1514-1526.
- Kramer, S., L., (1996) *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall PTR, (ISBN:0133749436,9780133749434)
- 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.
- Lee, V.W., Trifunac, M.D., (1995), Frequency dependent attenuation function, and Fourier amplitude spectra of strong earthquake ground motion in California. University of Southern California, Los Angeles, CA, USC Report no. **CE 95-03**, 190.
- Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., (2001), A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique. *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata* **42**, 255–266.
- Trifunac, M.D., (1993), Broad band extension of Fourier amplitude spectra of strong motion acceleration. University of Southern California, Los Angeles, CA, USC Report no. **CE 93-01**, 109pp.
- Tsai, N.C., (1970), A note on the steady-state response of an elastic half-space. *Bulletin of the Seismological society of America* **60**, 795–808.