



## **Mikrotremor Verilerinde Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu Tekniği Kullanılarak Zemin Büyütmesinin Belirlenmesi**

### **Determination of Soil Amplification in Microtremor Data Using Cross Spectrum and Power Spectrum Techniques**

**Mustafa Gürbüz** <sup>1</sup> \*

<sup>1</sup> Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta, TÜRKİYE  
Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: [mustafagurbuz@dsi.gov.tr](mailto:mustafagurbuz@dsi.gov.tr)

Geliş Tarihi / Received: 21.01.2022

Kabul Tarihi / Accepted: 13.07.2022

*Atıf şekli/ How to cite:* GÜRBÜZ, M. (2023). Mikrotremor Verilerinde Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu Tekniği Kullanılarak Zemin Büyütmesinin Belirlenmesi. DEÜ FMD 25(73), 37-53.

Araştırma Makalesi/Research Article

DOI:10.21205/deufmd.2023257304

#### **Öz**

Zemin büyütmesi ve etkin frekansların belirlenmesinde en çok tercih edilen yöntem Nakamura HVSR tekniğidir. Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu tekniği; yatay ve dikey bileşenin çapraz spektrumunun, dikey bileşenin güç spektrumuna oranlanması temeline dayanan bir tekniktir. Bu çalışmada, Burdur İl Merkezinde yapılan mikrotremor çalışmalarına ait sonuçlar HVSR Tekniği ile birlikte Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu Tekniğini kullanarak veriler değerlendirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Her iki yöntemde elde edilen etkin frekanslar % 96 ile %100 arasında değişen bir oranda uyumlu sonuçlar vermiştir. Buna karşın bu frekanslarda, HVSR spektrumları zemin büyütmesi değerleri %20 ile % 60 daha büyük değerler vermiştir. HVSR tekniğinden hesaplanan hasar görebilirlik katsayıları 0,7 ile 4,3 arasında değişen değerler verirken, Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu tekniğinden hesaplanan hasar görebilirlik katsayıları ise 0,1 ile 4,8 arasında değişen değerler vermiştir. Genel olarak her iki yöntemde de yüksek frekanslarda büyütme değerlerinde bir artış olduğu görülmüştür. Zemin büyütmesi ve hasar görebilirlik değerlerinin büyük olduğu noktalar, Burdur İl merkezini etkileyecek bir deprem anında yüksek yapısal hasar riski olan alanları göstermesi bakımından önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikrotremor, Nakamura HVSR, Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu tekniği, etkin frekans, büyütme, hasar görebilirlik

#### **Abstract**

The most preferred method for soil amplification and determination of effective frequencies is the Nakamura HVSR technique. Cross Spectrum and Power Spectrum technique; It is a technique based on the ratio of the cross spectrum of the horizontal and vertical components to the power spectrum of the vertical component. In this study, the results of the microtremor studies which were conducted in the city center of Burdur, were evaluated and compared by using the Cross Spectrum and Power Spectrum technique together with the HVSR technique. The effective frequencies were obtained in both methods which gave concurring results varying between 96% and 100%. On the other hand, at these frequencies, the ground amplification values of the HVSR spectra contributed 20% to 60% higher values. The vulnerability coefficients were calculated from the HVSR technique which gave

values ranging from 0,7 to 4,3 while the calculated vulnerability coefficients from the Cross Spectrum and Power Spectrum technique resulted ranging from 0,1 to 4,8. In general, it was observed that there was an increase in magnification values at high frequencies in both methods. The points where the soil amplification and vulnerability values are high are important in terms of showing the areas with high risk of structural damage in the event of an earthquake that will affect the city center of Burdur.

**Keywords:** Microtremor, Nakamura HVSR, Cross Spectrum and Power Spectrum technique, effective frequency, amplification, vulnerability.

## 1. Giriş

Deprem etkisi ile oluşan yapısal hasarın nedenlerini ve sonuçlarını anlamaya yönelik pek çok çalışma ve görüş mevcuttur. Hasara neden olan ve herhangi bir istasyondan kaydedilen deprem sinyali, kaynak etkisi, yol etkisi ve yerel zemin etkisi gibi bileşenlerden oluşur[1]. Kaynak etkisi değişmese de yol ve yerel zemin etkisi değişkenlik gösterebilir. Büyük depremlerde oluşan yapısal hasarda lokal zemin büyütmesi ve jeolojik durum anahtar rol oynamaktadır[2]. Jeolojik durum, çökelti tabakasının kalınlığı, yüzey toprak tabakasının yapısı, kayacın sertliği ve malzeme bileşimi gibi fiziksel özellikleri ile ilişkilidir [3]. Bu fenomen, anakaya üzerindeki ince sediman çökelti ile anakaya arasındaki yüksek empedans kontrastından kaynaklanan yerel zemin etkisi olarak bilinir [4]. Bir deprem olduğunda, sediman tabakası ile ana kaya arasında, sismik dalga çoklu yansıma yapacaktır. Bu da zemin büyütme genliklerini arttırmakta ve yüksek genlikli yüzey dalgaları oluşturmaktadır[5]. Kalın alüvyonal sediman yapılarında genellikle düşük frekanslarda zemin büyütmesi oluşması beklenmektedir. Ancak deprem sırasında havza bazında jeolojik modele bağlı olarak, yüksek frekanslarda da güçlü bir zemin büyütme etkisi oluşabilmektedir. Zeminde oluşan yüksek frekansların, daha büyük genliklere hapsolmuş yüzey dalgalarına neden olduğu gösterilmiştir[6]. Bu tür çalışmalarda en çok kullanılan yöntemlerden biri Nakamura HVSR[3] yöntemidir. Yüksek genlikli HVSR pik noktalarının, tortul örtü ile ana kaya arasındaki yüksek empedans kontrastı ile ilişkili olduğu, düşük genlikli piklerin ise daha düşük bir kontrast ve sıkı bir zeminin varlığını ortaya koyduğu belirtilmiştir[7, 8, 9, 10]. Bu sonuçlara karşı olarak, HVSR her ne kadar yüzey jeolojisi ile ilişkili olsa da, sismik dalgaların büyütmesinde güvenilir bir ölçüm olmadığı yönünde çalışmalar da bulunmaktadır[11, 12]. HVSR ile belirlenen büyütme faktörünün,

olduğundan daha az bulunacağı ve kaya zeminlerde uygulanmasının doğru sonuçlar vermeyeceği de belirtilmektedir[13]. Zemin büyütmesini tahmin etmeye yönelik başka bir yaklaşım ise, VS30'u ölçmek ve bunu zemin büyütmesi için bir model olarak kullanmaktır[14, 15, 16]. Çok kanallı veya tek kanallı VS30 çalışmalarında, aktif ve pasif kaynaklı sismik yöntemler (SASW, MASW, REMI vb) ve çeşitli analiz teknikleri kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı VS30'u zemin büyütmesi için iyi bir yöntem olarak önermiş olsa da [17, 18] diğer birkaç çalışma VS30 ölçümlerinin zemin büyütmesi için iyi bir sonuç sağlamayabileceğini (sediman kalınlığının 30m den kalın olması vb. nedenlerden) göstermiştir[19, 20, 21]. Zemin büyütmesiyle ilgili kullanılan yöntemler ve sonuçlarına bakıldığında farklı sonuçlar elde edildiği görülmektedir. Ancak zemin büyütmesi ve lokal zemin özelliklerinin, yapısal hasara etkisi tartışma götürmeyen bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. 28.03.1970 Kütahya Gediz Depreminde, Bursa'daki Ford Fabrikasının ve birçok sanayi tesisinin yıkılması ve ağır hasar görmesi buna bir örnektir. 17.08.1999 Kocaeli Depreminde, deprem merkezine 100 km uzakta olmasına rağmen Avcılar İlçesindeki yapısal hasar da buna başka bir örnek olarak verilebilir. Oluşan hasarın nedeni Avcılar'da yapılan mikrobölgeleme etütleriyle araştırılmıştır[22]. Yapısal hasarda, binalardaki kötü mühendisliğin yanı sıra, yüzey dalgası genliklerinde oluşan zemin büyütmesi ve sismik şiddet artışı en önemli etkidir [22]. İl ve ilçe merkezlerinde mikrobölgeleme etütleri yapılarak, yapısal hasar oluşturabilecek zemin özellikleri belirlenebilir. Bununla birlikte, mikrotremor (titreşimcik) ölçümleri yapılarak zemin büyütmesi ve bu büyütme frekans değerleri elde edilerek, yapısal hasar ile zemin büyütmesi arasında bir ilişki kurmak mümkündür[3]. Yerel jeoloji durumu, depremin hasar seviyesini etkileyen en önemli parametrelerden biri haline gelmiştir.

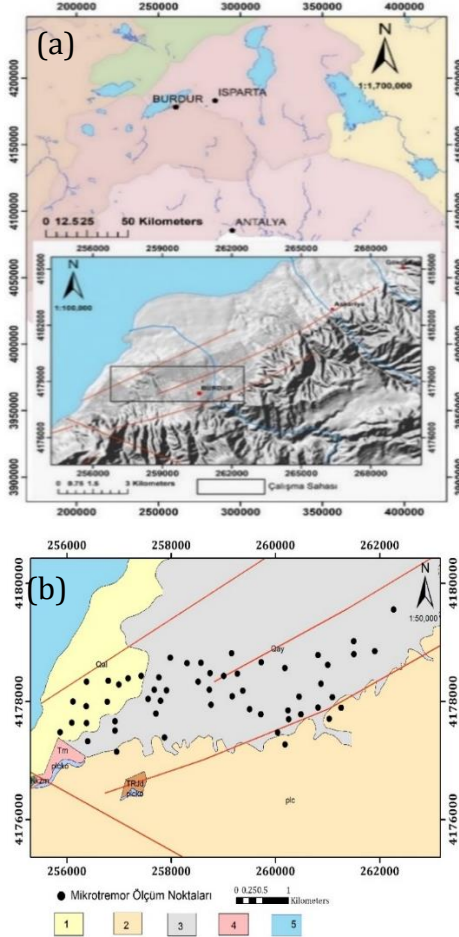
Hasar görebilirlik katsayısı (Kg) değerine göre yapısal hasar bölgeleri analiz edilebilir. Hasar görebilirlik değerleri yüksek olan alanlar, olası bir deprem anında zeminde yüksek deformasyon riski olan alanların tahminini sağlar[23]. HVSR tekniği, veri toplama ve işleme açısından en ucuz ve en basit jeofizik araçlardan biridir [24]. Bu teknik Nakamura'dan [25] sonra teorik ve deneysel olarak birçok çalışmada geçerliliği ortaya konmuş ve test edilmiş bir tekniktir[26, 27, 28, 29, 30, 31]. Bu makalede bahsi geçen ve kullanılan, Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu Tekniği; Hawker Hunter MK 12 uçaklarının uçuş simülasyonu sonucunda oluşan verilerinin analizlerinde, 1970'li yıllarda kullanılan bir yöntemdir[32]. Yöntemin özü, sisteme uyarı olarak rastgele bir  $x(t)$  sinyalinin uygulanması ve bu sinyal ile elde edilen çıktı  $y(t)$  arasındaki çapraz korelasyon fonksiyonunun hesaplanmasıdır[32]. Bu yöntemde düşey bileşende büyütme olmadığı kabulünden yola çıkarak sisteme girdi olarak düşey bileşen alınmış ve yatay bileşenler de çıktı olarak kabul edilmiştir. Uygulanan yöntem iki temel tanıma dayanmaktadır. Bunlardan birincisi çapraz spektrum ve diğeri ise transfer fonksiyonu ya da aktarım işlevidir[32]. Dolayısıyla bu yöntem makalenin geri kalan kısmında, Çapraz Spektrum(Cross Spectrum) ve Transfer Fonksiyonu(Transfer Function) olarak tanımlanıp kullanılmasının uygun olacağı düşünüülerek, CSTF(Cross Spectrum Transfer Functions) olarak kısaltılmıştır. 1999 Kocaeli depremi sonrası Avcılar Belediye sınırları içinde yapılan, Avcılar Mikrobölgeleme Çalışmalarında mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde de CSTF tekniği kullanılmıştır[22]. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacıların [33,34,35] zayıf ve kuvvetli yer hareketi(deprem) verilerinden yaptığı çalışmalar ile karşılaştırılmış ve uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür[22]. Ancak CSTF tekniği mikrotremor verileri için doğrudan HVSR ile karşılaştırmalı olarak sunulmamıştır. Bu karşılaştırmaların yapılması için, Burdur İl Merkezinde alınmış, toplam 80 adet üç bileşenli mikrotremor verileri kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bu ölçümlerden bazıları veri kalitesi bakımından yetersiz bulunarak değerlendirmeden çıkartılmış ve yapılan ön eleme sonucunda toplam 55 noktadaki ölçümler değerlendirmeye alınmıştır. Burdur İl Merkezinde yapılan mikrotremor çalışmasında, HVSR yöntemi ile birlikte CSTF yöntemi de kullanılarak veriler

değerlendirilmiştir. Her iki yöntemle ait sonuçlar, zemin etkin frekansı, zemin büyütmesi ve hasar görebilirlik değerleri olarak ayrı ayrı hesaplanmış, spektrumlar grafik ve kontur haritaları olarak karşılaştırılmıştır.

## 1.2. Çalışma Alanı ve Genel Jeoloji

Çalışma alanı, Güneybatı Anadolu da Burdur il merkezi ve Burdur Gölü çöküntüsünün Güney-Güneydoğu kenarında yer alır. Bu alan Şekil 1'de kare ile gösterilen ve Burdur İl Merkezini içine alan, yaklaşık 8 kilometreye 4 kilometrelik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma sahasının güneyi Budur Gölü ile sınırlanırken güneyi Seccede Tepe, Kurna Deresi, Oyuklu Tepe ve batısında Isparta İli yer almaktadır. Çalışma sahasında Kuzey-Doğu, Güney-Batı istikametinde uzanan Burdur Fetiye Fay hattı, Burdur Gölü ile çalışma sahası içinde görülmektedir(Şekil 1 a,b). Etüt sahasında, allokon Lycian birimine ilişkin kireçtaşı blokları içeren ofiyolitler vardır. Pliosen gölsel çökeller ile kuvarterner yaşlı alüvyon konileri yanında yer yer travertenler de yüzeylenmektedir. Karaburun Formasyonunun inceleme alanı içerisinde çok geniş bir yayılımı yoktur. Burdur'un kuzeydoğusunda Askeriye Köyü ile Burdur-Antalya yol kavşağı arasında ve Karaburun Tepede yüzeylenmektedir. Ancak birimin inceleme alanı dışında, özellikle Burdur Gölünün kuzeyindeki alanlarda geniş yayımları bulunmaktadır. Birim büyük bölümüyle polijenik çakıllı, sıkı çimentolu çakıltaşlarından oluşur. İnceleme alanı içinde en iyi görüntüler Burdur'un güneybatısındaki Karaburun Tepede gözlemlendiği için birime Karaburun formasyonu adı verilmiştir [36]. Burdur Formasyonu inceleme alanı içinde gözlenen en yaygın birimdir. Burdur Gölü çöküntüsünün güneyinde kalan alanlarda ve Burdur İl merkezi çevresinde geniş yüzeylenmeleri bulunmaktadır [36]. Burdur formasyonu başlıca kırmızımsı kahverengi zayıf pekleşmiş, kötü boyanmalı çakıltaşı, beyazımsı, sarımsı, yer yer çapraz tabakalı kumtaşı, yeşilimsi kiltası, marn, killi kireçtaşları ile yersel ince kömür ara katmanlarından oluşur. Birimin üst düzeylerine doğru beyazımsı, sarımsı tüfit arakatıkları gözlenir [37]. Kireçtaşları; Yer yer yüzeyde görünen ofiyolit ve radyolaritli karmaşıktan oluşan kireçtaşlarının ovada bir yayılımı yoktur. Ovada sadece bloklar halinde bulunur [37]. Alüvyon ovada Pliosen gölsel çökelleri örten kil, kum ve çakıl ardalanmasından oluşan bir birimdir. Burdur İlinin ortasından geçen Kurna

Deresi geniş bir birikinti konisi oluşturur. Kurna Deresi yoluyla ovada kalın bir alüvyon tabaka oluşmuştur[37].



1- Qal: Alüvyon, 2- Plc: Çakıltaşı-Kumtaşı-Çamurtaşı, 3- Qay: Alüvyon Yelpazesi. 4- Tm: Kireçtaşı, 5- Burdur Gölü. 1 Qal: Alluvium, 2- Plc: Conglomerate-Sandstone-Mudstone, 3-Qay: Alluvial Fan, 4- Tm: Limestone, 5-Burdur lake  
Fay (fault): —

**Şekil 1.** (a) Çalışma sahasının Türkiye'deki yeri ve morfolojik haritası. (b) Çalışma sahasının genel jeolojik haritası (DSİ[37]'den değiştirilmiştir).

**Figure 1.** (a) Location of the study site in Turkey and its morphological map. (b) Working area general geological map (modified from DSİ[37]).

## 2. Materyal ve Metot

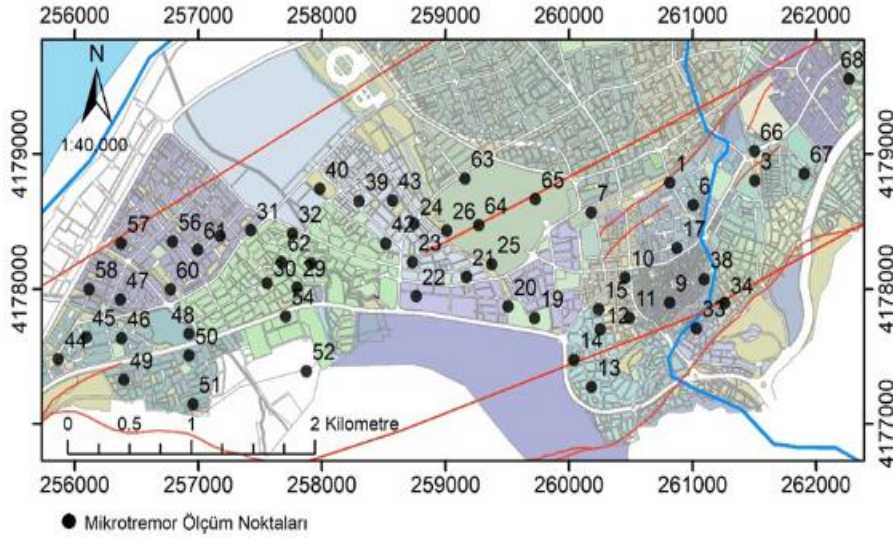
Mikrotremor verileri, Güralp CMG 5TD ivme sensörü ve kayıt sistemi kullanılarak alınmıştır. Toplam 55 adet olan mikrotremor noktalarının genel jeoloji haritasında(Şekil 1(b)) ve Burdur İmar Planı üzerindeki dağılımı Şekil 2'de görülmektedir. Her bir noktada kayıt uzunluğu 3 dakika ve örnekleme frekansı 100Hz seçilmiştir. Arazide, ivme sensörünün üzerindeki ok yönü coğrafi kuzeyi gösterecek ve yere paralel olacak şekilde dengelenerek yerleştirilmiştir. Üç bileşenli olarak alınan verilere öncelikle eksen düzeltmesi (base line correction) uygulanmıştır. Verilerin filtrelenmesinde çeşitli bant aralıklarında ve değişik tip filtreler kullanılabilir. Burada ölçümde kullanılan sensörün algılama (çalışma) frekans aralığına uygun filtre ve bant aralığı seçilmiştir.

Çalışmada kullanılan Güralp CMG 5TD ivme kayıtcı 0,1 Hz ile 50 Hz aralığında düz bir tepki spektrumu vermektedir. Bu bant aralığındaki sinyale aynı büyütme uyguladığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla alınan verilerden alet düzeltmesi yapılmasına gerek kalmamıştır. Yapılan çalışmada kullanılan ivme kayıtcının algılama bant aralığına ve zeminde ilgililenen frekans bant aralığına uygun olarak 0,1 -12Hz arasında Butterword Bandpass filtre uygulanmıştır.

Genlik Spektrumunun yuvarlatılması için 0,4 Parzen pencere uygulanarak Fourier Spektrumları (FFT) alınmıştır. Uygulanan bu standart veri işlem aşamalarından sonra aşağıda açıklanan Yatay-Düşey Spektral Oran (HVSr) Nakamura tekniği ve başka bir spektral oran tekniği olan Çapraz Spektrum ve Transfer Fonksiyonu (CSTF) kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi ve grafiklerinin oluşturulmasında MATLAB programıyla yazılan kodlar kullanılmıştır. Değerlendirme sonuçları, yer bulduru ve jeoloji haritaları ArcGIS programı ile yapılmıştır.

### 2.1. Nakamura (HVSr) Tekniği

Bu teknik mikrotremor ölçümleri yapılması ve spektrumların oranlanması(H/V) esasına dayanan teknik HVSr ya da Quasi Transfer Spektrumu olarak bilinir [3,25]. Yapay titreşim kaynakları çoğunlukla düşey hareketlerde hâkimdirler ve Rayleigh dalgalarına sebep olurlar.



**Şekil 2.** Çalışma sahasında alınan mikrotremor Burdur İmar Planı üzerindeki dağılımı.  
**Figure 2.** Distribution of microtremor taken in the study area on the Burdur Zoning Plan.

Düşey bileşende Rayleigh dalgalarının etkisi açıkça görülür. Bu yüzden Rayleigh dalgaları mikrotremorların gürültüsü olarak varsayılır ve etkileri elimine edilmesi ayrıntılı olarak irdelenmiştir[38]. Birçok gözlem ve deneyim mikrotremor kayıtlarında cisim ve yüzey dalgalarının varlığını göstermiştir. Nakamura bu tekniği zemin büyütme faktörünün hesaplanmasında kullanmıştır. Metodun detayları Nakamura tarafından verilmiştir[3,25,38].

$$HVSR = \frac{Hf}{Vf} = \frac{Ah \cdot Hb + Hs}{VAv + Vb + Vs} = \frac{Hb}{Vb} * \frac{[Ah + \frac{Hs}{Hb}]}{[Av + \frac{Vs}{Vb}]} \quad (1)$$

Denklem 1'de, Ah (yatay) ve Av (düşey) büyütme faktörü, Hb(yatay), Vb (düşey) ana kaya (basement) spektrumları, Hs(yatay), Vs (düşey) yüzey dalgası spektrumları Hs/Hb ve Vs/Vb rayleigh dalgalarının enerji rotası ile ilgilidir [25]. Burada Hf (yatay), Vf(düşey) sedimandaki spektrumları temsil eder. Bu teknikte düşey bileşende büyütme olmadığı varsayılarak iki yatay bileşenin bileşkesi alınarak düşey bileşenin spektrumuna oranlanır. Elde edilen spektral oranın en büyük genliği zemin büyütmesini ve bu genliğin frekansı da etkin frekans olarak alınır[38].

## 2.2.Çapraz Spektrum ve Transfer Fonsiyonları Tekniği(CSTF).

Bu makalede bahsi geçen ve kullanılan, Çapraz Spektrum ve Güç Spektrumu tekniği; Hunter MK 12 uçaklarının uçuş simülasyonu sonucunda oluşan verilerinin analizlerinde, 1970'li yıllarda kullanılan bir yöntem[32] olarak karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 3.** Transfer Fonsiyonunun genel şeması [32].

**Figure 3.** General diagram of the Transfer Function [32].

Yönteminin şematik olarak gösterimi Şekil 3'te gösterilmektedir. Yöntemin özü, sisteme uyarı olarak rastgele bir x(t) sinyalinin uygulanması ve bu sinyal ile elde edilen çıktı y(t) arasındaki çapraz korelasyon fonksiyonunun hesaplanmasıdır[32]. Çapraz güç spektrumu daha sonra çapraz korelasyon fonksiyonunun Fourier dönüşümü alınarak elde edilir ve dolayısıyla çapraz spektrumun giriş spektrumuna bölünmesiyle frekans yanıtı elde edilir[32]. Teknik iki temel tanıma dayanmaktadır. Bunlardan birincisi çapraz spektrum ve diğeri ise transfer fonksiyonu ya da aktarım işlevidir[32]. Burada ana kavram,

gözlemlenen bir sistemin çıktısını yorumlamaktır. Doğrusal bir sistem, analitik olarak tanımlanmış bir dürtü yanıtının kombinasyonu olarak transfer fonksiyonları ile tanımlanabilir[39, 40, 41, 42]. Yeraltı dinamiklerini modellemek için transfer fonksiyonlarının kullanımı çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir[43, 44]. Tanımlanmak istenen sistemin özelliklerine, girdi ve sistemin çıktısına bağlı olarak kullanılan matematiksel modeller değişkenlik gösterebilir. Burada tanımlanan yöntemde, HVSR tekniğine benzer olarak, düşey bileşende büyütme olmadığı kabul edilir ve düşey bileşen girdi ve yatay bileşenler çıkı olarak kullanılarak transfer fonksiyonları hesaplanır. Ana yöntem[32] ait kullanılan formüllerin bazıları aşağıda verilmektedir.

Otokorelasyon fonksiyonu;

$$\phi_{xx}(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)(t - \tau) dt, \quad (2)$$

Çapraz korelasyon fonksiyonu;

$$\phi_{xy}(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T y(t)x(t - \tau) dt \quad (3)$$

Güç spektrumu(girdi);

$$W_{xx}(w) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{xx}(\tau) e^{-i\omega\tau} dt \quad (4)$$

Çapraz güç spektrumu;

$$W_{xy}(iw) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi_{xx}(\tau) e^{-i\omega\tau} dt, \quad (5)$$

Transfer fonksiyonu;

$$F(iw) = W_{xy}(w) / W_{xx}(w), \quad (6)$$

şeklinde ifade edilir[32].

Burada;  $Q_{xx}(t)$  girdinin otokorelasyon fonksiyonu,  $Q_{xy}(t)$  çapraz korelasyon(girdi/çıktı),  $W_{xx}(w)$  girdinin güç spektrumu,  $W_{xy}(iw)$  çapraz güç spektrumu(girdi/çıktı) ve  $F(iw)$  ise sistemin transfer fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır[32].

Bu formüller [32]'den alınıp değiştirilerek kullanılmıştır. Yukarıda tanımlanan formülleri makalede kullanıldığı şekilde ve sayısal hesaba uygun bir yapıda ifade etmek gerekirse çapraz spektrum ve güç spektrumu;

$$W_{xy} = \sqrt{XYRi^2 + XYLi^2} \quad (7)$$

$$W_{xx} = (X Ri^2 + X Li^2) \quad (8)$$

$$XYRi = X Ri * Y Ri + X Li * Y Li \quad (9)$$

$$XYLi = X Ri * Y Li + Y Ri * X Li \quad (10)$$

Şeklinde yazmak mümkündür. Burada;  $X Ri$  ve  $Y Ri$  girdi ve çıktının reel bileşenlerini,  $X Li$  ve  $Y Li$

ise girdi ve çıktının imajinal bileşenlerini temsil etmektedir[45].

Bu durumda transfer fonksiyonları(CSTF);

$$CSTF(f) = \frac{W_{xy}}{W_{xx}} = \sqrt{\frac{XYRi^2 + XYLi^2}{W_{xx}}} \quad (11)$$

$$CSTF(EU) = \frac{W_{eu}}{W_{ud}} = \sqrt{\frac{EURi^2 + EU Li^2}{W_{ud}}} \quad (12)$$

$$CSTF(NU) = \frac{W_{nu}}{W_{ud}} = \sqrt{\frac{NURi^2 + NU Li^2}{W_{ud}}} \quad (13)$$

$$CSTF(NE) = \frac{W_{ne}}{W_{ud}} = \sqrt{\frac{NERi^2 + NE Li^2}{W_{ud}}} \quad (14)$$

olarak tanımlanlanmıştır. Sistemin Transfer Fonksiyonu(CSTF(f)), denklem 11'deki gibi yazılırsa, CSTF(EU) Doğu-Batı, CSTF(NU) Kuzey-Güney ve CSTF(NE) bileşke yöne ait çapraz spektrum transfer fonksiyonları sırasıyla denklem 12, 13 ve 14 şeklinde ifade edilerek kullanılmıştır. Kuzey-Güney ve Düşey bileşenlerin çapraz spektrumu  $W_{nu}$ , Doğu-Batı ve Düşey bileşenlerin çapraz spektrumu  $W_{eu}$ , Kuzey-Güney ve Doğu-Batı bileşenlerin çapraz spektrumu  $W_{ne}$  ve düşey bileşenin güç spektrumu  $W_{ud}$  olarak kısaltılmıştır. CSTF spektrumları, çapraz spektrumların düşey bileşenin güç spektrumuna oranlanmasıyla  $W_{nu}/W_{ud}$ ,  $W_{eu}/W_{ud}$  ve  $W_{ne}/W_{ud}$  olarak ilgili bağıntılar kullanılarak hesaplanmıştır.

### 2.3. Hasar Görebilirlik İndeksi Kg Değerleri

Nakamura tarafından, olası bir depremde yapısal hasarın tahmin edilmesinde kullanılan bir parametredir. Hasar görebilirlik değeri Kg;

$$Kg = A^2 / F \quad (15)$$

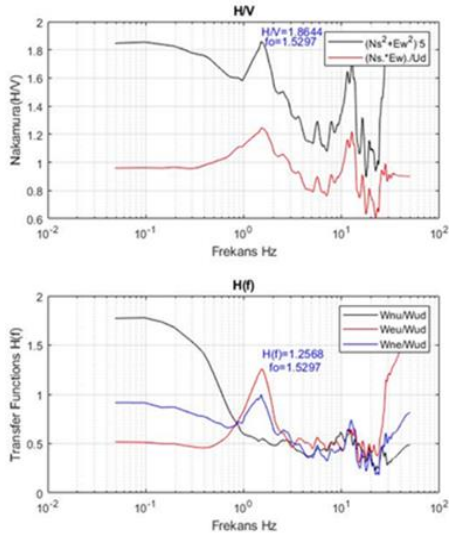
Olarak tanımlanır[3]. Burada A büyütme değeri, F etkin frekansı temsil etmektedir. Denklem (15) kullanılarak hem HVSR hem de CSTF ile elde edilen sonuçlardan hasar görebilirlik Kg değerleri hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular

CSTF tekniğini HVSR tekniğinden ayıran bazı özellikler vardır. Bu özellikler; yatay ve düşey bileşenlerin çapraz spektrumlarının düşeyin güç spektrumuna oranının alınması, daha yüksek tutarlılığa sahip bir spektrum elde edilmesine imkân vermesi, gereksiz gürültüleri ortadan kaldırılması ve sinyal gürültü (S/N) oranının arttırması olarak tanımlanabilir. CSTF tekniğinde zemini oluşturan formasyonların kalınlık, eğim, dalım ve istiflenmesindeki anizotropiye bağlı olarak, zemin büyütmesi ve



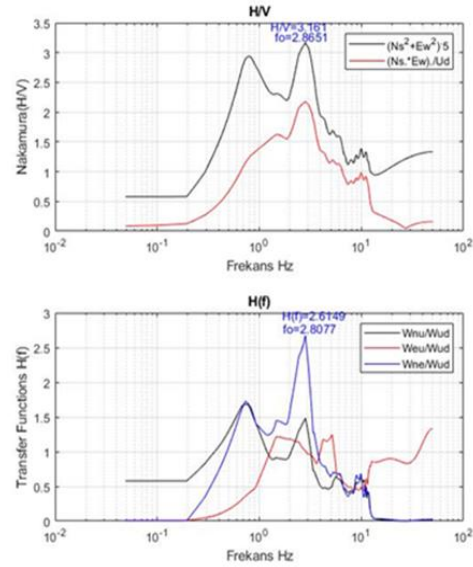
frekans tepkisindeki değişimleri yön bağımlı olarak görmek mümkün olmaktadır(Şekil4). Şekil 4'te HVSR spektrumunda 1,5 Hz'de maksimum büyütme görülürken CSTF spektrumunda Doğu-Batı(Weu/Wud) yönündeki spektrumda aynı frekansta(1,5 Hz) büyütme vermektedir. Kuzey-Güney (Wnu/Wud) bileşende bu frekansta bir büyütme olmadığı görülmektedir. CSTF spektrumuna göre ölçüm yapılan noktada zeminin, Doğu-Batı yönünde gelecek deprem etkisini 1,5 Hz'de büyütürken iletme eğiliminde olduğu söylenebilir. Dolayısı ile bu noktadaki bir mühendislik yapısının Doğu-Batı yönünde 1,5 Hz frekansında maksimum spektral ivme değerlerinde salınma zorlanacağı öngörülebilir.



Şekil 4. CSTF spektrumlarında yön bağımlı olarak etkin frekans değişimine örnek.

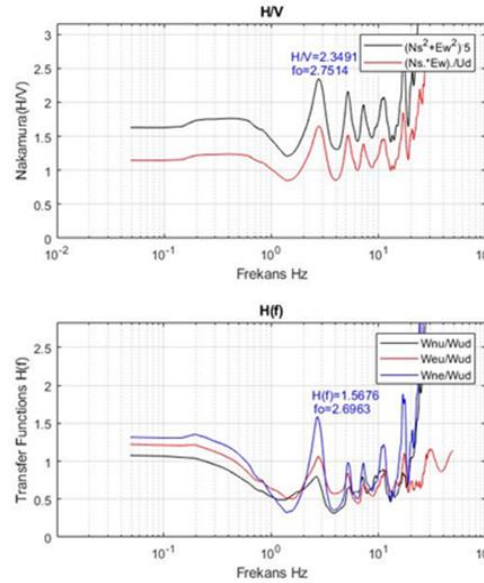
Figure 4. Example of effective frequency variation in CSTF spectra as a direction dependent

CSTF(Wne/Wud) bileşke spektrumunda elde edilen etkin frekans ve büyütmelerin, HVSR tekniğindeki etkin frekans ve büyütme benzerliği ve yön bağımlı frekans değişiminin bileşke spektrumu nasıl etkilediği açıkça görülmektedir(Şekil 5). HVSR spektrumunda 0,7 Hz'deki ilk pikin, CSTF spektrumunda Kuzey-Güney(Wnu/Wud) yönündeki büyütmeden ve HVSR spektrumundaki 2,8 Hz'de belirgin olan ikinci pikin Doğu-Batı(Weu/Wud) ve Kuzey-Güney (Wnu/Wud) yönündeki büyütme bileşkesinden etkilendiği görülmektedir.



Şekil 5. HVSR spektrumu etkileyen yön bağımlı değişim ve CSTF(Wne/Wud) spektrumların benzerliği.

Figure 5. Direction dependent variation affecting HVSR spectrum and similarity of CSTF(Wne/Wud) spectra.



Şekil 6. CSTF tekniğinde yön bağımlı frekans değişiminin her noktada oluşmadığına bir örnek.

Figure 6. An example where direction dependent frequency change does not occur at every point in the CSTF technique.

**Tablo 1.** Burdur İl Merkezinde yapılan mikrotremor çalışmasına ait sonuçlar ve karşılaştırmaları  
**Table 1.** Results and comparisons of the microtremor study conducted in Burdur City Center

X	Y	No	HVSr(H/V)			CSTF H(f)								
			Fo(Hz)	(H/V)	Kg	Wne/Wud			Weu/Wud			Wnu/Wud		
			Fo(Hz)	(H/V)	Kg	Fo(Hz)	H(f)	Kgne	Fo(Hz)	H(f)	Kge	Fo(Hz)	H(f)	Kgn
260814	4178786	1	1,95	1,44	1,06	1,8	0,75	0,31	1,85	0,57	0,17	1,8	0,7	0,27
261503	4178802	3	3,43	1,6	0,74	3,5	0,68	0,13	3,66	0,6	0,09	3,17	0,6	0,11
261004	4178621	6	1,87	1,79	1,72	1,87	0,97	0,50	1,85	0,68	0,24	1,8	0,79	0,34
260180	4178566	7	2,15	2,04	1,93	2,15	1,27	0,75	2,1	0,8	0,30	2,14	0,83	0,32
260815	4177898	9	4,38	4,23	4,08	4,21	5,15	6,29	4,24	1,81	0,77	4,24	1,52	0,54
260454	4178082	10	4,65	1,77	0,67	4,39	0,77	0,13	4,29	0,61	0,08	4,54	0,86	0,16
260490	4177783	11	3,23	2,49	1,91	3,1	1,88	1,14	3,2	1,17	0,42	2,9	1,08	0,40
260254	4177699	12	2,34	1,79	1,32	1,91	1,1	0,63	1,9	0,95	0,47	1,41	0,75	0,39
260183	4177272	13	2,75	2,35	2,0	2,69	1,56	0,90	2,78	1,08	0,41	2,63	0,79	0,23
260040	4177473	14	1,52	1,86	2,2	1,51	1	0,66	1,52	1,25	1,02	1,55	0,54	0,18
260240	4177848	15	1,99	1,9	1,81	1,85	0,79	0,33	1,87	1,02	0,55	1,85	0,53	0,15
260872	4178301	17	2,34	1,7	1,23	2,24	0,81	0,29	2,44	0,78	0,24	2,24	0,52	0,12
259721	4177782	19	3,43	2,43	1,72	3,5	2,08	1,23	2,88	0,93	0,30	5,3	0,87	0,14
259505	4177869	20	3,57	2,62	1,92	3,43	1,81	0,95	3,61	1,17	0,37	3,5	0,81	0,18
259170	4178088	21	2,98	2,49	2,08	2,92	1,74	1,03	2,83	1,09	0,41	3,4	0,89	0,23
258764	4177945	22	2,29	1,52	1,0	2,15	0,77	0,27	2,15	0,75	0,26	2,78	0,71	0,18
258733	4178198	23	4,38	2,08	0,98	4,04	1,33	0,43	4,1	0,89	0,19	4	0,68	0,11
258747	4178482	24	3,96	2,42	1,47	4,12	1,45	0,51	3,9	1,35	0,46	4,6	0,88	0,16
259373	4178182	25	4,04	2,34	1,35	4,04	1,48	0,54	3,8	0,9	0,21	4	1,02	0,26
259010	4178432	26	3,36	2,42	1,72	2,8	1,71	1,04	2,63	0,96	0,35	2,63	0,95	0,34
257912	4178188	28	4,75	2,41	1,22	4,84	1,41	0,41	4,1	1,06	0,27	5	0,69	0,09
257798	4178010	29	4,56	2,31	1,17	4,56	2,67	1,6	4,61	1,91	0,79	4,5	1,05	0,24
257558	4178043	30	4,2	1,77	0,74	4,29	2,19	1,1	4,3	0,8	0,14	4,2	1,17	0,32
257425	4178433	31	1,46	1,32	1,19	1,31	0,63	0,30	1,31	0,63	0,30	1,31	0,63	0,30
257764	4178409	32	3,65	2,6	1,85	3,5	1,89	1,1	3,5	0,9	0,23	4,3	1,02	0,24
261031	4177707	33	4,47	3,59	2,88	4,47	3,54	2,8	4,5	1,6	0,56	4,4	1,14	0,29
261259	4177894	34	3,3	3,77	4,30	3,3	3,99	4,8	2,5	1,54	0,94	3,1	1,86	1,11
261093	4178071	38	2,29	1,66	1,20	2,29	0,82	0,29	2,34	0,71	0,21	2,34	0,71	0,21
258303	4178649	39	3,5	2,18	1,35	3,7	1,7	0,78	4,1	0,8	0,15	3,02	0,85	0,23
257984	4178740	40	3,57	2,24	1,40	3,5	1,43	0,58	4,3	1,01	0,23	3,56	0,97	0,26
257176	4178392	41	3,3	1,65	0,82	3,23	0,76	0,17	3,27	0,69	0,145	4,2	0,65	0,10
258518	4178335	42	3,5	2,5	1,78	3,57	1,87	0,97	3,95	1,17	0,34	3,6	1,01	0,28
258572	4178655	43	3,72	2,94	2,33	2,92	2,24	1,7	1,8	1,17	0,76	3,85	1,5	0,58
255869	4177477	44	3,8	1,77	0,82	3,8	0,87	0,19	4,1	0,74	0,13	4,1	0,63	0,09
256095	4177641	45	1,46	1,76	2,12	1,41	0,89	0,56	1,32	0,99	0,74	1,7	0,58	0,19
256379	4177632	46	3,04	1,89	1,17	3,04	1,06	0,36	2,9	0,71	0,17	2,9	0,84	0,24
256370	4177919	47	1,46	1,91	2,49	1,41	1,11	0,87	3,5	0,79	0,17	1,46	1,1	0,82
256924	4177665	48	1,52	1,53	1,54	1,56	0,65	0,27	1,56	0,6	0,23	2,19	0,54	0,13



**Tablo 2.** Tablo 1.'in devamı**Table 2.** Continuation of Table 1.

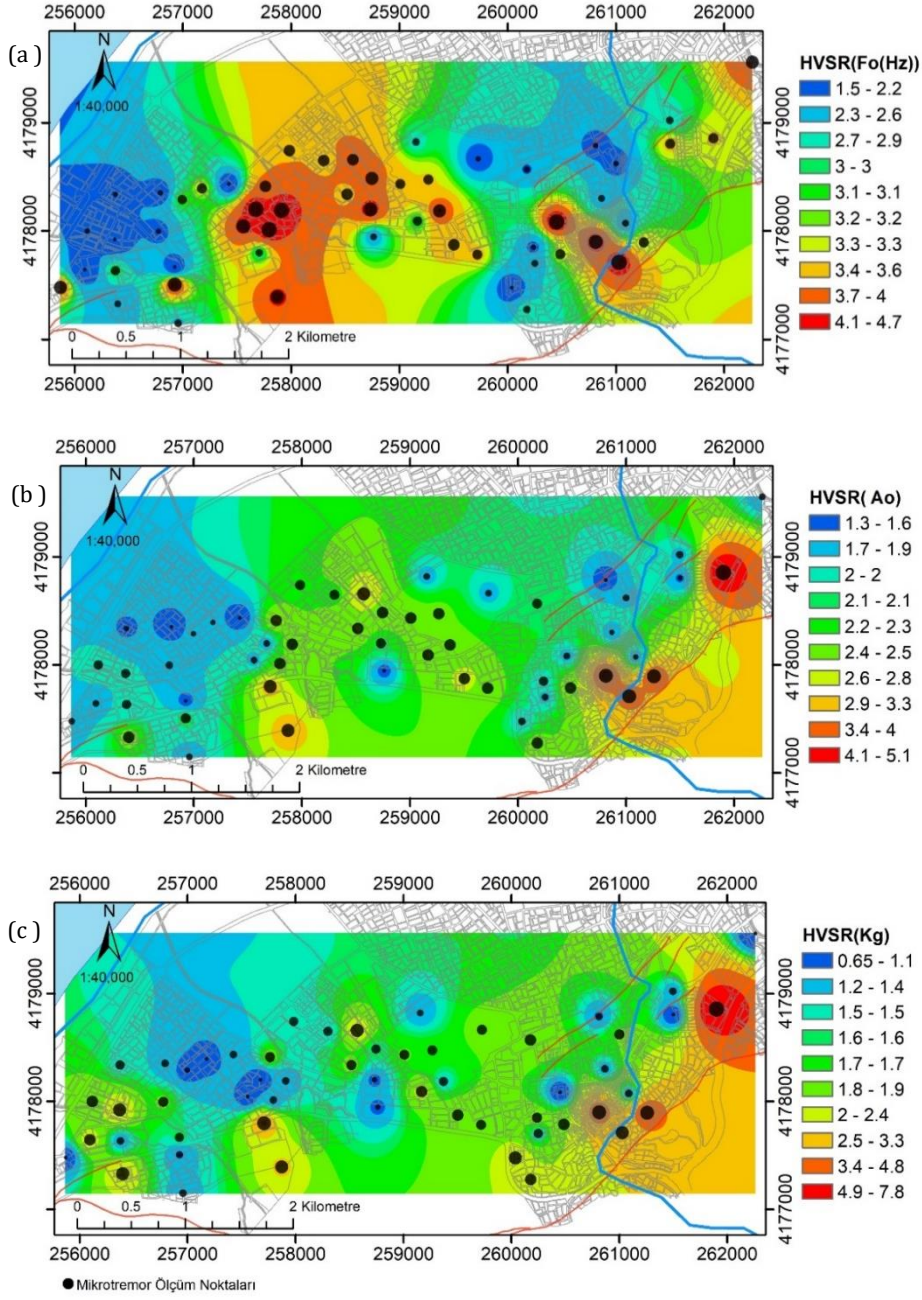
X	Y	No	HVSr(H/V)			CSTF H(f)								
			Fo(Hz)	(H/V)	Kg	Wne/Wud			Weu/Wud			Wnu/Wud		
			Fo(Hz)	(H/V)	Kg	Fo(Hz)	H(f)	Kgne	Fo(Hz)	H(f)	Kge	Fo(Hz)	H(f)	Kgn
256399	4177325	49	2,34	2,39	2,44	2,14	1,79	1,5	2	0,94	0,44	2,05	1,12	0,61
256925	4177505	50	4,2	2,12	1,07	4,2	0,99	0,23	4,2	0,64	0,09	4,3	0,85	0,16
256957	4177146	51	2,58	1,73	1,16	2,39	0,96	0,38	2,19	0,54	0,13	2,58	1,1	0,46
257874	4177390	52	4,12	3,24	2,54	4,12	4,38	4,65	4,39	1,79	0,72	4,39	1,79	0,72
257708	4177796	54	2,86	3,1	3,36	2,8	2,61	2,43	1,51	1,21	0,96	2,83	1,48	0,77
256792	4178350	56	1,72	1,44	1,24	1,59	0,72	0,32	1,61	0,67	0,27	1,61	0,49	0,14
256377	4178336	57	1,76	1,59	1,43	1,66	0,64	0,24	1,62	0,76	0,35	3,6	0,62	0,10
256116	4177997	58	2,07	1,99	1,91	1,49	1,22	0,99	1,3	0,74	0,42	2	0,74	0,27
256774	4177996	60	1,95	1,85	1,74	1,9	0,9	0,42	1,95	1,02	0,54	2,49	0,69	0,19
256996	4178288	61	3,17	1,68	0,89	2,98	0,84	0,23	3,32	0,71	0,15	2,05	0,81	0,32
257675	4178197	62	4,75	1,76	0,65	4,78	0,77	0,12	4,7	0,6	0,07	5	0,76	0,11
259158	4178818	63	2,75	1,75	1,11	2,58	1,06	0,43	2,58	0,89	0,30	2,39	0,64	0,17
259269	4178472	64	3,36	2,34	1,62	3,1	1,71	0,94	3,27	0,94	0,27	3,1	0,93	0,27
259728	4178664	65	1,72	1,77	1,82	2,34	0,77	0,25	2,07	0,92	0,40	2,39	0,6	0,15
261500	4179020	66	2,69	1,81	1,27	2,53	1,02	0,41	2,58	0,73	0,20	3,1	0,74	0,17
261903	4178853	67	3,36	5,12	7,80	3,1	6,8	1,49	3,46	1,57	0,71	3,22	2,6	2,09
262265	4179556	68	3,88	1,73	0,77	3,88	0,87	0,19	2,88	0,73	0,18	3,85	0,75	0,14

Yön bağımlı değişimin her noktada oluşmayabileceği ve aynı etkin frekanslarda farklı zemin büyütme elde edilebileceğine örnek olarak Şekil 6 verilebilir. Bu noktadaki zeminin birbirine paralel, yatay tabakalı ve homojene yakın bir yapıda olduğu düşünülebilir.

Burdur Merkezde mikrotremor çalışmasının yapıldığı yerler ve koordinatları Tablo 1'de verilmektedir. Koordinatlar UTM ED50 6 derece olarak el GPS'i ile alınmıştır. Tablo 1'de HVSr tekniği ve CSTF tekniği ile yapılan değerlendirmelerin sonuçları görülmektedir. HVSr spektrumlarında etkin frekans değerlerinde, CSTF(Wne/Wud) bileşene ait etkin frekans değerlerinin ve büyütme uyumlu olduğu görülmektedir. Bu uyumda Burdur İl Merkezindeki fayların uzanımının yaklaşık KD-GB 50° olmasının bir etken olduğu düşünülebilir. Ancak CSTF grafiklerine bakıldığında, bileşke spektruma, bazen KG ve bazen de DB bileşenin etkin olduğu görülmektedir(Şekil 4-5).

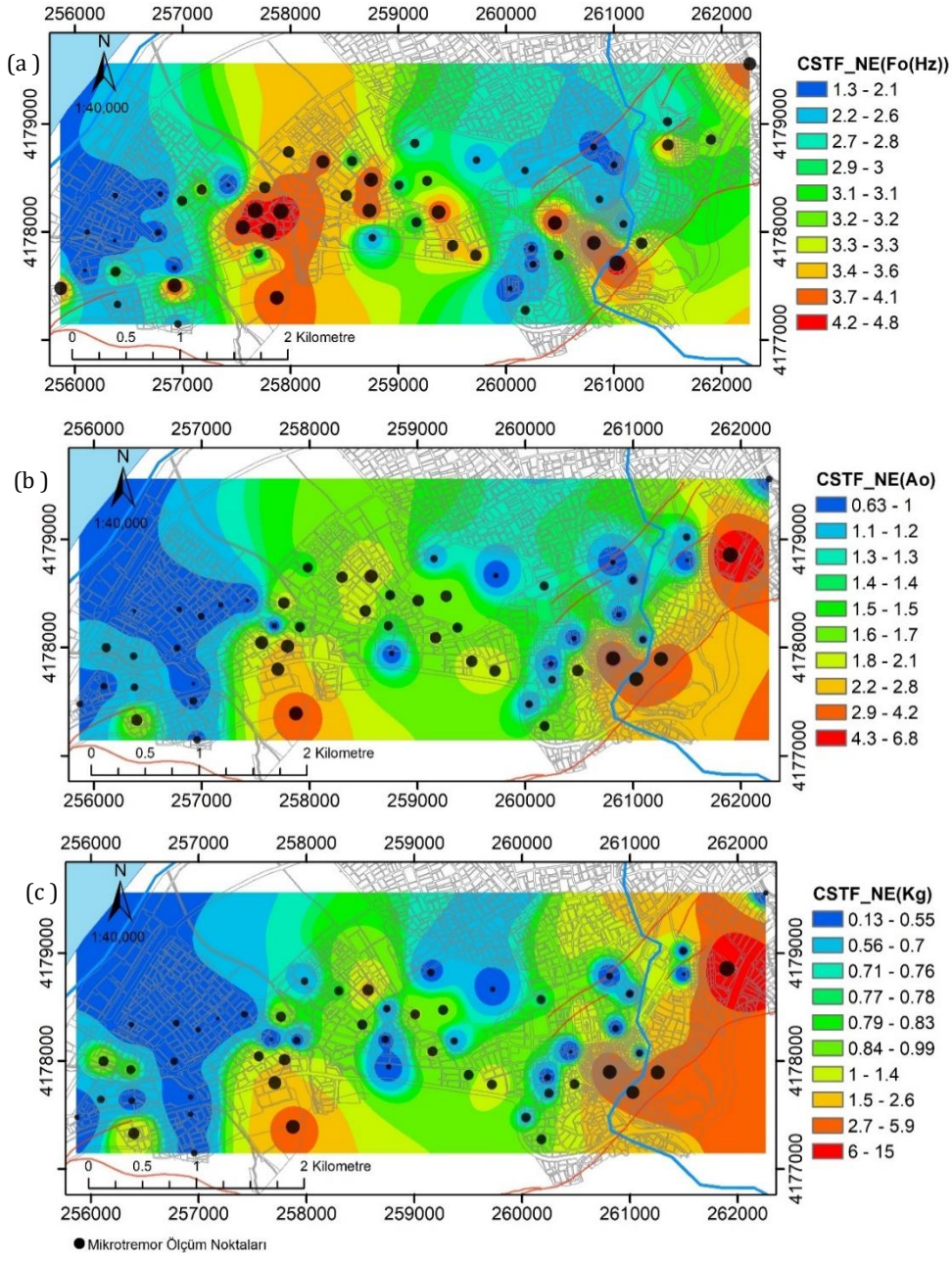
HVSr spektrumundan elden, etkin frekans, zemin büyütme ve hasar görebilirlik

değerlerinin Burdur Merkez yerleşim planı üzerindeki değişimi Şekil 7'de görülmektedir. Kontur haritasında maviden kırmızıya doğru değerler büyürken noktasal gösterimde de küçükten büyüğe doğru benzer bir sınıflandırma yapılmıştır. Şekil 7'de yüksek frekansların yoğunlaştığı bazı alanlarda( kırmızı kapanımlar) zemin büyütme ve hasar görebilirlik değerlerinde de bir artış göze çarpmaktadır. Zemin etkin frekansları 1,4-4,75 Hz, büyütme değerleri 1,32 ile 5,12 kat ve hasar görebilirlik değerleri ise 0,65-7,8 arasında değişmektedir. CSTF spektrumlarında HVSr ile hemen hemen yakın sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlar CSTF(EU), CSTF(NU), CSTF(NE) olarak HVSr sonuçlarına benzer olarak sunulmaktadır(Şekil 8,9,10). Elde edilen sonuçlar ve kontur haritalarına bakıldığında HVSr sonuçlarına en yakın sonucun CSTF(NE) bileşke değerlerinin olduğu görülmektedir( Şekil 8). CSTF(NE) spektrumlarında, etkin frekans değerleri 1,31-4,8 Hz, büyütme değerleri 0,68-6,8 kat ve hasar görebilirlik değerleri 0,12-14 arasında değişmektedir. Kg değerlerindeki 14 değeri tek



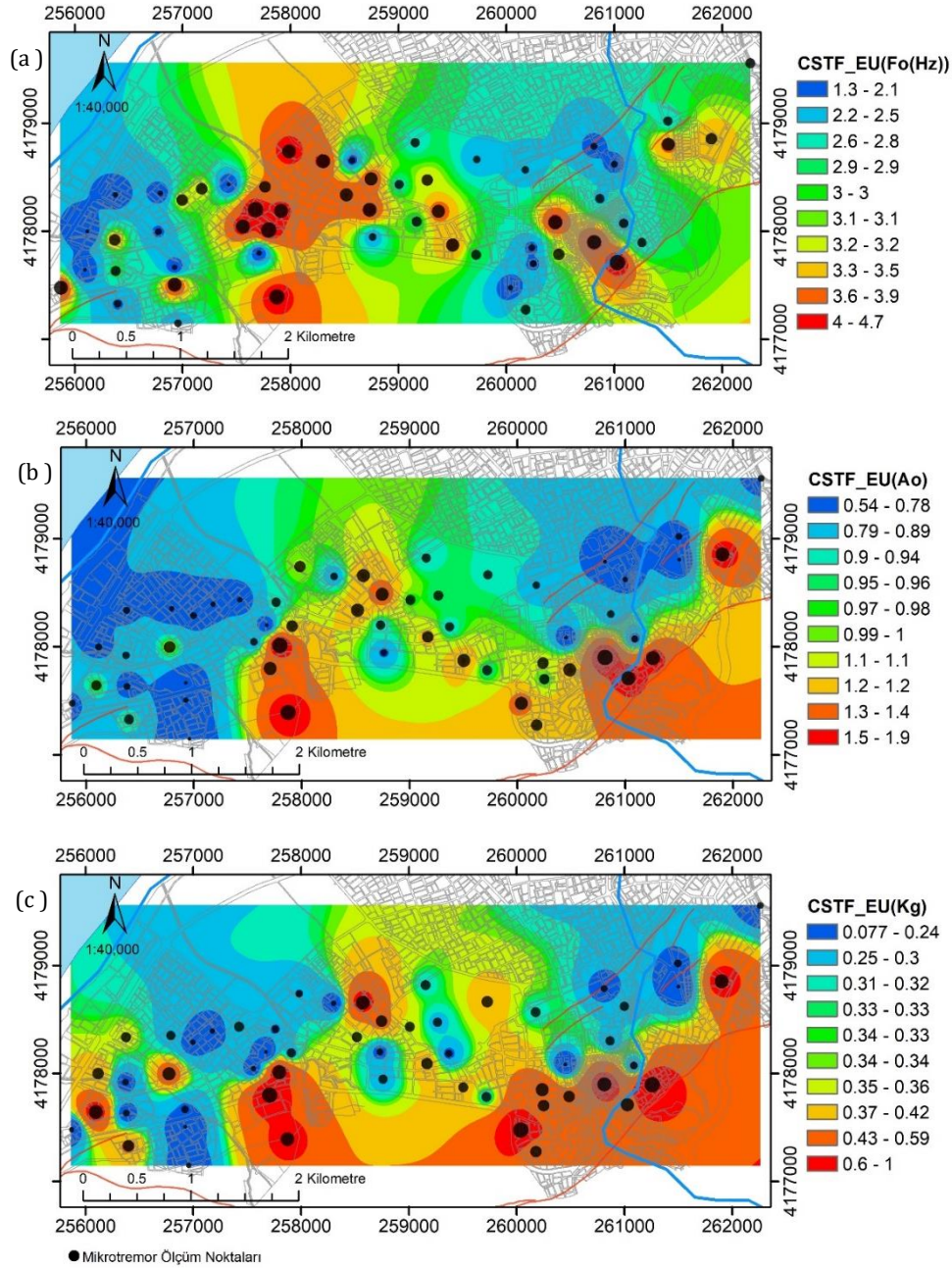
**Şekil 7.** HVSr Tekniği sonuçları (a) Zemin etkin frekans haritası. (b) Zemin büyütme haritası. (c) Kg Hasargörebilirlik değerleri haritası.

**Figure 7.** HVSr Technique results (a) Ground effective frequency map. (b) Ground amplification map. (c) Kg Vulnerability values map

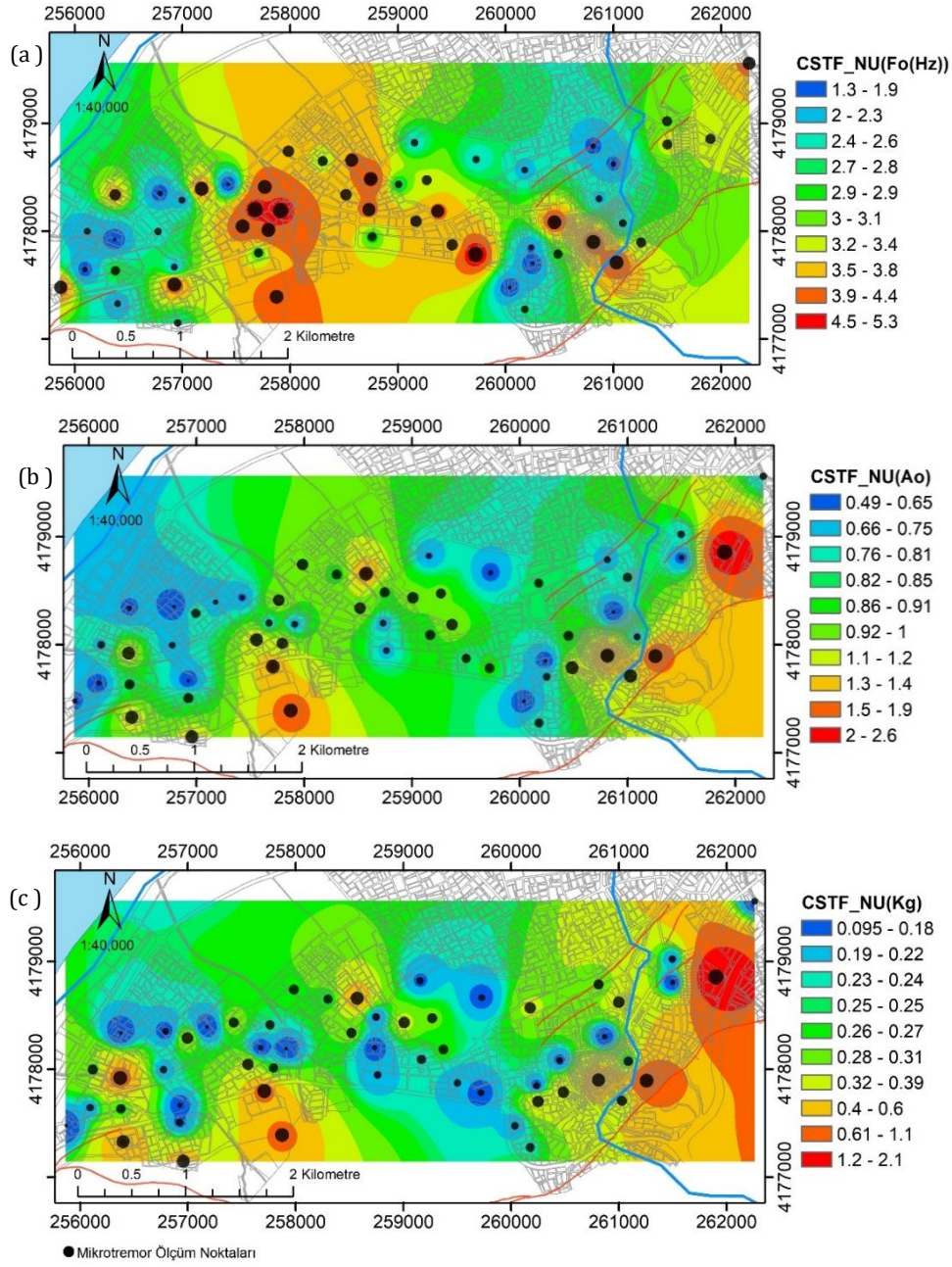


**Şekil 8.** CSTF(NE), Bileşke(Wne/Wud) spektrum sonuçları. (a) Zemin etkin frekans haritası. (b) Zemin büyütme haritası. (c) Kg Bileşke Hasargörebilirlik değerleri haritası.  
**Figure 8.** CSTF(NE), Compound(Wne/Wud) spectrum results. (a) Ground effective frequency map. (b) Ground amplification map. (c) Kg resultant Vulnerability values map.





**Şekil 9.** CSTF(EU), Doğu-Batı(Weu/Wud) spektrum sonuçları (a) Zemin etkin frekans haritası. (b) Zemin büyütme haritası. (c) Kg Hasargörebilirlik değerleri haritası.  
**Figure 9.** CSTF(EU), East-West(Weu/Wud) spectrum results (a) Ground effective frequency map. (b) Ground amplification map. (c) Kg Vulnerability values map.



**Şekil 10.** CSTF(NU), Kuzey-Güney(Wnu/Wud) spektrum sonuçları (a) Zemin etkin frekans haritası. (b) Zemin büyütme haritası. (c) Hasargörebilirlik değerleri haritası.

**Figure 10.** CSTF(NU), North-South(Wnu/Wud) spectrum results (a) Ground effective frequency map. (b) Ground amplification map. (c) Vulnerability values map.

bir noktada görülmüş olduğu için ihmal edilirse maksimum Kg değeri 6 olarak alınabilir. CSTF(EU) bileşendeki etkin frekans, büyütme ve hasar görebilirlik değerleri Şekil 9'da görülmektedir. CSTF(EU) spektrumlarında etkin frekans değerleri minimum 1,3 Hz ve maksimum 4,7 Hz aralığında değişmektedir. Bu frekans aralığında büyütme değerleri ise, 0,54 ile 1,91 kat ve Kg değerleri 0,08 ile 1,03 arasında elde edilmiştir. CSTF(EU) etkin frekans kontur haritalarında bileşkeye ait CSTF(NE) ve HVSR kontur dağılımına benzer kapanımlar sunmakla birlikte çalışma sahasının Doğu-Batı yönünde büyütme ve Kg konturlarında yoğunlaşma görülmektedir(Şekil 9 b, c). CSTF(NU) kontur haritalarında elde edilen sonuçlarda da etkin frekansların hemen hemen aynı bölgelerde kapanımlar vermektedir. CSTF(NU) spektrumlarında etkin frekans değerleri minimum 1,3 Hz ve maksimum 5,3 Hz aralığında değişmektedir. Bu frekans aralığında büyütme değerleri ise, 0,49 ile 2,5 kat ve Kg değerleri 0,1 ile 2,1 arasındadır. Şekil 10'da zemin büyütme ve hasar görebilirlik konturları uyumlu olup çalışma sahasının Kuzey-Güney yönünde konturlarda yoğunlaşma olduğu görülmektedir(Şekil 10).

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Elde edilen veriler karşılaştırılacak olursa; HVSR spektrumları ve CSTF spektrumları kullanılarak elde edilen etkin frekanslar %96 ile %100 arasında değişen bir oranda uyumlu olduğu bulunmuştur. Buna karşın, bu frekanslarda elde edilen HVSR zemin büyütme değerleri, CSTF spektrumlarından elde edilenlerden %20-%60 oranında daha büyüktür. Her iki yöntemle elde edilen Kg değerlerinin farklı değerler vermesinin nedeni ise aynı frekanslarda CSTF spektrumundan elde edilen zemin büyütme değerlerinin, HVSR spektrumlarından elde edilenden küçük olması ile açıklanabilir. Kg değerleri farklı olmakla birlikte aynı lokasyonlarda hasargörebilirlik konturları yoğunluk vermektedir. Büyütme değerleri ile Kg değerlerinin değişimleri her iki yöntemde de kendi içinde uyumlu sonuçlar vermektedir. Kontur haritalarındaki kapanımlar ve geçişler alansal olarak değerlerdeki değişimi ve yayılımı göstermesi bakımından önemlidir. Kalın alüvyonal sediman yapılarında, düşük frekanslarda zemin büyütmesi değerlerinde bir artış oluşmaktadır[46]. Ancak daha önceki çalışmalardan jeolojik yapıya ve taban

topografyasına bağlı olarak yüksek frekanslara hapsolmuş yüksek genlikli yüzey dalgalarının oluşabileceği gösterilmiştir[6]. Benzer bir sonucu Avcılarda yapılan mikrotremor çalışmalarında, heyelan nedeniyle sürüklenerek ötelenmiş gömülü kireçtaşı blokları üzerinde ve yakınında yüksek frekanslarda zemin büyütmelerinde ve yapısal hasarda artış olarak görülmüştür[22]. Burdur İl Merkezi fay düzlemleriyle ötelenmiş basamaklı bir taban topografyasına sahiptir[36]. Kent merkezi alüvyon ve alüvyon yelpazesi üzerinde oturmakta birlikte bu yapı altında, kumtaşı-çakıltası veya kireçtaşından oluşan bloklu ve temel kaya niteliği olmayan bir yapı özelliği gösterebilir. Dolayısı ile alüvyona göre rijit olan bloklu yapı, HVSR ve CSTF spektrumlarında yüksek frekanslı(4-5 Hz) adacıklar (kapanımlar) olarak kendini göstermektedir. Bu da yüksek frekanslarda zemin büyütmesi ve hasar görebilirlik Kg değerlerindeki artışı açıklamaktadır. Zemin büyütmesi ve hasar görebilirlik değerlerinin büyük olduğu noktalar, Burdur İl merkezini etkileyecek bir deprem anında yüksek yapısal hasar riski olan alanları göstermesi bakımından önemlidir.

#### 5. Discussion and Conclusion

If the obtained data were compared, the effective frequencies obtained using the spectra of HVSR, and the CSTF were found to be compatible at a rate ranging from 96% to 100%. In contrast, at these frequencies, the obtained HVSR back soil amplification values, were 20%- 60% greater than those obtained from the CSTF spectra. On the other hand, the Kg values were found to be different by both methods, which can be explained by the fact that the soil amplification values obtained from the CSTF spectrum at the same frequencies are smaller than those obtained from the HVSR spectra. Although the Kg values were different, the vulnerabilities gave densities in the same locations. Changes in magnification values and Kg values gave consistent results in both methods. The inclusions and transitions in the contour maps are important in terms of showing the change and spread of the values spatially. In thick alluvial sediment structures, an increase in soil amplification values occurs at low frequencies [46]. However, previous studies have shown that high amplitude surface waves trapped at high frequencies can occur depending on the geological structure and base topography[6].



An increase in soil amplification and structural damage at high frequencies on and near the buried limestone blocks that were drifted away by landslides were observed in microtremor tests carried out in Avçılar, producing a similar outcome [22]. Burdur City Center has a stepped base topography offset by fault planes [36]. Although the city center is built on alluvial and alluvial fan deposits, beneath this structure may reveal a blocky structure composed of sandstone-conglomerate or limestone and lacking the characteristics of a basement rock. Therefore, the blocky structure, which is rigid compared to the alluvium, shows itself as high frequency (4 -5 Hz) islets (inclusions) in the HVSR and CSTF spectra. This explains why soil amplification and vulnerability Kg values increase at high frequencies. The points with high soil amplification and vulnerability ratings are significant for identifying those with a high risk of structural damage in the event of an earthquake that could hit Burdur's city center.

#### 6. Etik Kurul Onayı ve Çıkar Çatışması Beyanı

"Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur"

"Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır"

#### Teşekkür

Burdur İl Merkezinde yapılan mikrotremor çalışmalarına yardım ve katkılarından dolayı Doç.Dr. Veli KARA hocaya, makaleye yorum ve görüşleriyle katkıda bulunan Prof.Dr. Fatma GÜRBÜZ'e teşekkür ederim.

#### Kaynakça

- [1]. Delgado J, Lopez Casado C, Estevez A, Giner J, Cuenca A, Molina S.. 2000 Mapping soft soils in the Segura river valley (SE Spain): a case study of microtremors as an exploration tool. *Journal of Applied Geophysics*;45(1):19e32.s.[https://doi.org/10.1016/S0926-9851\(00\)00016-1](https://doi.org/10.1016/S0926-9851(00)00016-1)
- [2]. Borcherdt, R.D. 1970, Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay. *Bulletin of the Seismological Society of America* 60, 29-61. <https://doi.org/10.1785/BSSA0600010029>
- [3]. Nakamura Y. 1996 "Real Time Information Systems for Seismic Hazards Mitigation UrEDAS, HERAS and PIC", Railway Technical Research Institute, 37(3), 112-127.
- [4]. Zaharia, B., Radulian, M., Popa, M., Grecu, B., Bala, A. and Tataru, D. 2008. "Estimation of the local response using the Nakamura method for the Bucharest area. *Romanian Report in Physics*, Vol. 60, No. 1, P. 131-144,
- [5]. Tuladhar, R. 2002 "Seismic microzonation of greater Bangkok using microtremor. Thesis. Asian Institute of Technology, School of Civil Engineering, Thailand"
- [6]. Semblat J F, Kham M, Bard P.Y. 2008. "Seismic wave propagation in alluvial basins and influence of site-city interaction", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(6), 2665-2678, <https://doi.org/10.1785/0120080093>
- [7]. Bard, P. Y. 1999. Microtremor measurements: a tool for site effect estimation. *The effects of surface geology on seismic motion*, 3, 1251-1279.
- [8]. Sylvestre, B. C., Cécile, C., Pierre-Yves, B., Fabrice, C., Peter, M., Jozef, K., & Fäh, D. 2006 H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophysical Journal International*, 167(2), 827-837. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03154>.
- [9]. Bonnefoy-Claudet, S., Köhler, A., Cornou, C., Wathelet, M., & Bard, P. Y. 2008. Effects of Love waves on microtremor H/V ratio. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(1), 288-300. <https://doi.org/10.1785/0120070063>
- [10]. Woolery, E. W., & Street, R. 2002. 3D near-surface soil response from H/V ambient-noise ratios. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(9-12), 865-876. [https://doi.org/10.1016/S0267-7261\(02\)00109-4](https://doi.org/10.1016/S0267-7261(02)00109-4)
- [11]. Pilz M, Parolai S, Leyton F, Campos J, and J, Zschau J. 2009. A comparison of site response techniques using earthquake data and ambient seismic noise analysis in the large urban areas of Santiago de Chile, *Geophys. J. Int.* 178, 713-728. <https://doi.org/v10.1111/j.1365-246X.2009.04195>.
- [12]. Pilz, M., Parolai, S., Stupazzini, M., Paolucci, R., & Zschau, J. 2011 Modelling basin effects on earthquake ground motion in the Santiago de Chile basin by a spectral element code. *Geophysical Journal International*, 187(2), 929-945. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2011.05183>.
- [13]. Yassminh, R., Gallegos, A., Sandvol, E., & Ni, J. 2019. Investigation of the regional site response in the Central and Eastern United States. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 109(3), 1005-1024. <https://doi.org/10.1785/0120180230>
- [14]. Borcherdt, R. D. 1992. Simplified site classes and empirical amplification factors for site-dependent code provisions. In *Proc. NCEER, SEAOC, BSSC Workshop on Site Response during Earthquakes and Seismic Code Provisions* (pp. 18-20). University of Southern California, Los Angeles, California.
- [15]. Borcherdt, R. D. 1994. Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification). *Earthquake spectra*, 10(4), 617-653. <https://doi.org/10.1193/1.1585791>

- [16]. Bekler, T., Demirci, A., Ekinci, Y. L., & Büyüksaraç, A. 2019. Analysis of local site conditions through geophysical parameters at a city under earthquake threat: Çanakkale, NW Turkey. *Journal of applied geophysics*, 163, 31-39. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2019.02.009>
- [17]. Hartzell, S., Carver, D., & Williams, R. A. 2001. Site response, shallow shear-wave velocity, and damage in Los Gatos, California, from the 1989 Loma Prieta earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(3), 468-478. <https://doi.org/10.1785/0120000235>
- [18]. Boore, D. M. 2014. Ground-motion prediction equations: Past, present, and future. In *2014 Annual Meeting of the Seismological Society of America* (Vol. 30).
- [19]. Wald, L. A., & Mori, J. 2000. Evaluation of methods for estimating linear site-response amplifications in the Los Angeles region. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90(6B), S32-S42. <https://doi.org/10.1785/0119970170>
- [20]. Mucciarelli M, Gallipoli, M. R. 2006 Comparison between Vs30 and other estimates of site amplification in Italy. In First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology.
- [21]. Hassani, B., & Atkinson, G. M. 2016. Applicability of the site fundamental frequency as a VS 30 proxy for central and eastern North America. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 106(2), 653-664. <https://doi.org/10.1785/0120150259>
- [22]. Gürbüz, M. 2002 Avçılar Mikrobölgeleme Çalışmaları. Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- [23]. Sugianto, N., Muhammad, F., & Wiwit, S. 2016. Local geology condition of bengkulu city based on seismic vulnerability index (Kg). *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(7), 4797-4803.
- [24]. Mucciarelli, M., Gallipoli, M. R., & Arcieri, M. 2003. The stability of the horizontal-to-vertical spectral ratio of triggered noise and earthquake recordings. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(3), 1407-1412. <https://doi.org/10.1785/0120020213>
- [25]. Nakamura, Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. *Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports*, 30(1).
- [26]. Fäh, D., Kind, F., & Giardini, D. 2001. A theoretical investigation of average H/V ratios. *Geophysical Journal International*, 145(2), 535-549. <https://doi.org/10.1046/j.0956-540x.2001.01406>
- [27]. Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., & Bard, P. Y. 2006. The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies: A literature review. *Earth-Science Reviews*, 79(3-4), 205-227. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.07.004>
- [28]. Över, S., Büyüksaraç, A., Bekta, Ö., & Filazi, A. 2011. Assessment of potential seismic hazard and site effect in Antakya (Hatay Province), SE Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 62(2), 313-326. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0525-3>
- [29]. Büyüksaraç, A., Bektaş, Ö., Yılmaz, H., & Arısoy, M. Ö. 2013. Preliminary seismic microzonation of Sivas city (Turkey) using microtremor and refraction microtremor (ReMi) measurements. *Journal of seismology*, 17(2), 425-435. <https://doi.org/10.1007/s10950-012-9328-1>
- [30]. Büyüksaraç, A., Över, S., Geneş, M. C., Bıkçe, M., Kacın, S., & Bektaş, Ö. 2014. Estimating shear wave velocity using acceleration data in Antakya (Turkey). *Earth Sciences Research Journal*, 18(2), 87-98.
- [31]. Akkaya, İ. 2015. The application of HVSR microtremor survey method in Yüksekova (Hakkari) region, eastern Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 109, 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2015.05.018>
- [32]. FRY, D. E. 1970 The use of cross-correlation and power spectral techniques for the identification of the hunter MK. 12 dynamic response. Ministry Of Technology Aeronautical Research Council Current Papers. C.P. 1121.
- [33]. Ergin M, Özalaybey S, Ayçın M N, Aktar M. 2000. "Avçılar Yöresi Yer Büyütme Etkisinin Sismik Yöntemle Araştırılması", Aktif tektonik Araştırma Grubu Dördüncü Toplantısı, p. 46, Eskişehir, Türkiye, 16-17 Kasım.
- [34]. Yalcinkaya E, Alptekin O. 2002. "A preliminary study of site effects in Gölcük-Izmit Earthquake of 17 August 1999 (Mw = 7.4) in Turkey", *Istanbul Yerbilimleri Dergisi*, 277-281,
- [35]. Cranswick E, Özel O, Meremonte M, Erdik M, Şafak E, Mueller C, Overturr D and Frankel A. 2000. "Earthquake damage, Site Response, and Building Response in Avçılar, West of Istanbul, Turkey", *International Journal for Housing Science and Its Applications, Special Issue: Kocaeli Earthquake 1999*, 24(1), 85-96,
- [36]. Ertunç A, Karagüzel R, Yağmurlu F, Türker AE, Keskin SN. 2001. "Burdur Belediyesi Kent Merkezi ve Yakın Çevresinin Yerleşime Uygunluk Açısından İncelenmesi", Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Sonuç Raporu, Isparta, Türkiye,
- [37]. DSİ. 2016. DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Burdur Göller Havzası Yeraltısuyu Planlama ( Hidrojeolojik Etüt) Raporu Yapım İşi Nihayi Rapor", Cilt 1, Isparta Türkiye.
- [38]. Nakamura Y. 2000. "Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and

- Its Applications”, Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand, Auckland Vol. 2656.
- [39]. Kennaugh, E. M., & Moffatt, D. L. 1965. Transient and impulse response approximations. Proceedings of the IEEE, 53(8), 893-901. DOI: [10.1109/PROC.1965.4068](https://doi.org/10.1109/PROC.1965.4068)
- [40]. Box G E P, Jenkins G M. 1970 “Time Series Analysis Forecasting and Control”, San Francisco-Holden-Day, books.google.com,
- [41]. Marco J.B. 1993 Armax and Transfer Function Modelling in Hydrology. In: Marco J.B., Harboe R., Salas J.D. (eds) Stochastic Hydrology and its Use in Water Resources Systems Simulation and Optimization. NATO ASI Series (Series E: Applied Sciences), vol 237. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-1697-8\\_6](https://doi.org/10.1007/978-94-011-1697-8_6)
- [42]. Remesan R, Mathew J .2015 “Hydrological data driven modelling: a case study approach”, Of Earth Systems Data and Models, vol. 1, Springer International Publishing, Switzerland DOI:10.1007/978-3-319-09235-5,
- [43]. Besbes M, De Marsily G. From infiltration to recharge: use of a parametric transfer function, Journal of Hydrology, 74(3-4), 271-293 .DOI:10.1016/0022-1694(84)90019-2, 1984.
- [44]. Gehrels J C, Van Geer F C, De Vries J J, 1994. Decomposition of groundwater level fluctuations using transfer modelling in an area with shallow to deep unsaturated zones J. Hydrol., 157,pp. 105-138, DOI:10.1016/0022-1694(94)90101-5.
- [45]. Stein, J. Y. 2000. Digital signal processing: a computer science perspective (p. 115). New York: Wiley. DOI:10.1002/047120059
- [46]. Özdağ, Ö. C., & Gönenc, T. 2020. Modeling stratigraphic structure of Menemen Plain-Izmir/Turkey by microgravity, passive seismic methods and examining its behavior under earthquake effect. Journal of Applied Geophysics, 182, 104175. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2020.104175>