



Obtaining the Transfer Function in One Dimensional Soil Amplification Analysis with Modified Finite Element Transfer Matrix Method

Oznur Bilican¹, Kanat Burak Bozdogan² and Erdinc Keskin¹

¹ Kırklareli University, Department of Civil Engineering, Kayali,39000 Kırklareli, Turkey

² Canakkale Onsekiz Mart University, Department of Civil Engineering, Terzioğlu,17000 Canakkale, Turkey
ORCID: 0000-0003-3574-8521, 0000-0001-7528-2418, 0000-0002-8728-2906

Keywords

Soil amplification analysis, One dimensional analysis, Transfer function, Modified finite element transfer matrix method, Scilab

Highlights

*Practical derivation of the transfer function
*In the presented method, the system matrix is independent of the number of elements
*The presented method can be easily adapted to analysis in frequency and time history

Acknowledgements

Supports (with project numbers), name of institutions: e.g.; AFAD, TUBITAK, Governorship, Municipality, etc.

Aim

A method is proposed to obtain Transfer functions used in one-dimensional soil amplification

Location

Methods

MFETM method was adapted to the problem of finding transfer functions used in soil amplification analysis

Results

In the classical finite element method, the system matrix that increases depending on the number of elements is independent of the number of elements in the MFETM method.

Supporting Institutions

--

Manuscript

Research Article

Received: 28.04.2021

Revised: 02.06.2021

Accepted: 08.06.2021

Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.929449

Corresponding Author

Kanat Burak Bozdogan

Email: kbbozdogan@comu.edu.tr

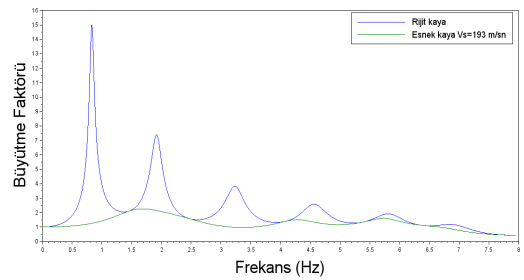


Figure
Transfer functions obtained with MFETM

How to cite

Bilican O., Bozdogan K.B., Keskin E., 2021. Obtaining the Transfer Function in One Dimensional Soil Amplification Analysis with Modified Finite Element Transport Matrix Method, Turk. J. Earthq. Res. 3 (1), 53-74, <https://doi.org/10.46464/tdad.929449>



Tek Boyutlu Zemin Büyütme Analizlerinde Transfer Fonksiyonunun Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi Yöntemi ile Elde Edilmesi

Öznur Bilican¹, Kanat Burak Bozdoğan² ve Erdinç Keskin³

¹ Kırklareli Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayalı Kampüsü, 39000 Kırklareli, Türkiye

² Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Terzioğlu Kampüsü, 17000 Çanakkale, Türkiye
ORCID: 0000-0003-3574-8521, 0000-0001-7528-2418, 0000-0002-8728-2906

ÖZET

Bu çalışmada tek boyutlu zemin büyütme analizlerinde kullanılan Transfer fonksiyonlarının elde edilmesi için bir yöntem önerilmiştir. Çalışma kapsamında daha önce literatürde zemin hâkim periyodunun bulunması için kullanılan Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi (DSETM) yöntemi zemin büyütme analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının bulunması problemine uyarlanmıştır. Klasik sonlu elemanlar yönteminde eleman sayısına bağlı olarak artan sistem matrisi DSETM yönteminde eleman sayısından bağımsızdır. Çalışmanın sonunda önerilen yöntemin uygunluğu iki örnek üzerinde gösterilmiştir. Ele alınan örnekler hem bu çalışmada sunulan DSETM yöntemiyle hem de literatürde yer alan yöntemle çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sunulan yöntemin uygulanması için Scilab ortamında bir program yazılmıştır.

Anahtar kelimeler

Zemin büyütme analizi, Tek boyutlu analiz, Transfer fonksiyonu, Değiştirilmiş sonlu elemanlar taşıma matrisi yöntemi, Scilab

Öne Çıkanlar

- * Transfer fonksiyonunun pratik olarak elde edilmesi
- * Sunulan yöntemde sistem matrisi eleman sayısından bağımsızdır
- * Sunulan yöntem frekans ve zaman tanım alanında analizlere kolaylıkla uyarlanabilir

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 28.04.2021
Düzeltilme: 02.06.2021
Kabul: 08.06.2021
Basım: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.929449

Sorumlu yazar

Kanat Burak Bozdoğan
Eposta:
kbbozdogan@comu.edu.tr

Obtaining the Transfer Function in One Dimensional Soil Amplification Analysis with Modified Finite Element Transfer Matrix Method

Oznur Bilican¹, Kanat Burak Bozdoğan² and Erdinc Keskin³

¹ Kırklareli University, Department of Civil Engineering, Kayalı, 39000 Kırklareli, Turkey,

² Canakkale Onsekiz Mart University, Department of Civil Engineering, Terzioğlu, 17000 Canakkale, Turkey
ORCID: 0000-0003-3574-8521, 0000-0001-7528-2418, 0000-0002-8728-2906

ABSTRACT

In this study, a method is proposed to obtain Transfer functions used in one-dimensional soil amplification analysis. Within the scope of the study, the Modified Finite Element Transfer Matrix (MFETM) method, which was used to find the soil fundamental period in the literature, was adapted to the problem of finding transfer functions used in soil amplification analysis. In the classical finite element method, the system matrix size that increases depending on the number of elements is independent of the number of elements in the MFETM method. At the end of the study, the suitability of the proposed method was shown on two examples. The examples discussed were solved using both the MFETM method presented in this study and the method in the literature, and the results were compared. A program was written in Scilab for the application of the presented method.

Keywords

Soil amplification analysis, One dimensional analysis, Transfer function, Modified finite element transfer matrix method, Scilab

Highlights

- * Practical derivation of the transfer function
- * In the presented method, the system matrix is independent of the number of elements
- * The presented method can be easily adapted to analysis in frequency and time history

Manuscript

Research Article

Received: 28.04.2021
Revised: 02.06.2021
Accepted: 08.06.2021
Printed: 30.06.2021

DOI

10.46464/tdad.929449

Corresponding Author

Kanat Burak Bozdoğan
Email:
kbbozdogan@comu.edu.tr

1. GİRİŞ

Sismik dalgalar ana kayadan yeryüzüne ulaşınca kadar içinden geçtikleri zemin tabakalarından etkilenecek çeşitli frekanslardaki dalgaları sönmüleyebilir veya büyütebilir. Buna yer etkisi denir. Dalgaların genliklerinin büyümesine zemin büyütmesi (yer transfer fonksiyonu) adı verilir (Yalçinkaya 2010). Zemin transfer fonksiyonunun belirlenmesinde deneysel ve teorik yöntemler kullanılmaktadır. Frekans ortamındaki çözümlemede zemini oluşturan katmanların viskoelastik olduğunu kabul eden teorik yöntemler ile zemine ait pek çok parametre incelenebilmekte ancak bunun için karmaşık hesaplamalar gerekmektedir (Tsai 1970, Dikmen ve diğ. 2013). Transfer fonksiyonlarının elde edilmesi için arazi ortamında kullanılan birçok deneysel yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden biri olan standart spektral oran (SSR) yöntemi deprem veya gürültü kayıtlarını kullanılmaktadır. SSR yöntemi (Borcherdt 1970, Kagami ve diğ. 1989), Yatay/Düşey Sprektral Oran (HVSR) (Nogoshi ve Igarashi 1971, Nakamura 1989) veya Ters Çözüm (Katz ve Bellon 1978) yöntemleri kullanılan başlıca deneysel yöntemlerdir. Ancak gürültü kayıtları kolay toplanabilse de güvenilirliğine kesin gözüyle bakılmamaktadır (Field ve Jacob 1995, Bonilla ve diğ. 1997).

Literatürde zemin tepki çözümlemeleri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Aşağıda son yıllarda yapılan çalışmaların bir kısmı özet olarak verilmiştir.

Yalçinkaya ve Alptekin (2003) 1995 Dinar depreminde zemin büyütmesinin bölgedeki hasar üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Dinar'da kurulu 5 kuvvetli yer hareketi istasyonundan kaydedilmiş artçı şoklar kullanılarak SSR ve HVSR yöntemleri ile ova içindeki istasyonlarda 8 kata çıkan büyütme tespit edilmiştir. İstasyonların bulunduğu zeminin hâkim periyotlarının 0.43 sn -0.5 sn olması nedeniyle en fazla hasarın 4-5 katlı binalarda gözlemlendiği ifade edilmiştir.

Choudhury ve Savoikar (2009) belediye katı atık düzenli depolama sahalarının çevresel ve halk sağlığı sorunları oluşturma potansiyelleri nedeniyle bu sistemlerin bulunduğu zeminlerin dinamik davranışını Deepsoil (Hashash ve diğ. 2020) programında bir boyutlu eşdeğer doğrusal analiz ile incelemiştir. Çalışma sonucunda alçak depolama (40 m'ye kadar) modellerinde düşük yer ivmesi için ortalama periyotlarda yüksek büyütme oranları elde edilmiştir. Kayma dalgası hızı ve birim hacim ağırlığının sabit alınması: zeminlerdeki maksimum yatay ivmenin, normalize edilmiş gerilmelerin ve büyütme oranlarının olduğundan daha düşük hesaplanmasına neden olmuştur.

Güzel ve diğ. (2009) Kuzey Adana' da 64 ayrı lokasyonda yapılan sismik refraksiyon uygulaması ile belirlenen kayma dalgası hızlarını (V_s) kullanarak Midorikawa (1987)'ye göre hesaplanan zemin büyütme değerlerini bölge için haritalamışlardır. İnceleme sonucunda 1.3-2.5 arasında değişen zemin büyütme değerlerinin çökel zemin birimlerinde 2'nin üzerine çıktığı görülmüştür.

Selcuk ve Aydın (2012) Van'ın traverten ve alüvyon bölgeleri üzerinde ölçülen 2011 Van depreminin ivme değerlerini kullanarak zeminlerin büyütme değerlerini ampirik formüller yardımıyla hesaplamışlardır. Bunun için 81 adet sondaj verisi kullanılmıştır. Çalışma sonucunda su seviyesi yüksek alüvyon zeminlerin traverten zeminlere göre deprem yer ivmesini 2.5 kat arttırdığı görülmüştür.

Gok ve diğ. (2014) İzmir ve Batı Anadolu' da 16 bölgede kaydedilen 10 deprem kaydını kullanarak SSR, HVSR ve Fourier genlik spektrum analizi yöntemleri ile zemin transfer fonksiyonlarını elde etmişlerdir. Yerel zemin koşullarının, sözde spektral hız (PSV) değerleri üzerinde önemli etkileri olduğu anlaşılmıştır. Kuvaterner alüvyon zeminlerde sert zeminlere göre 1 Hz frekans değerinde 9 kat fazla büyütme görülmüştür.

Ozer (2017) beş adet İzmirNET kuvvetli yer hareketi istasyonu kayıtlarını kullanarak SSR tekniği ile zemin transfer fonksiyonlarını elde etmiştir. Deprem verileri alınan istasyonlara yakın olan bölgelerde deprem büyütmesinin 4-5 kat arasında olduğu tespit edilmiştir. Alüvyal zeminlerde düşük frekanslarda hesaplanan büyük büyütme değerleri bu bölgelerde bulunan yapıların sismik yükler altındaki davranışı hakkında fikir vermiştir.

Alcik (2018) Muğla'nın Bodrum ilçesinde, aralarında $M_w=6.6$ olan Bodrum Kos depremi verilerinin de bulunduğu deprem kayıtlarını kullanarak HVSR ve SSR teknikleri ile bölgenin baskın frekansını ve zemin büyütme değerlerini belirlemiştir. Referans alınan bölgede 4.8 Hz olan baskın frekansın yumuşak zeminlerin bulunduğu bölgelerde 2.1-2.7 Hz aralığında ve zemin büyütme değerlerinin 1.0-6.6 arasında olduğu bulunmuştur.

Civelekler ve diğ. (2018) yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla Eskişehir il merkezinde elde edilmiş olan 40 farklı sondaj verisi kullanmışlardır. Çalışmada ele alınan zeminlerde Kocaeli deprem verileri kullanılarak Deepsoil programında bir boyutlu eşdeğer doğrusal analizler yapılmıştır. Her zemin modeli için hesaplanan büyütme değerleri ile şehir merkezinde güvenli yerleşim alanlarının belirlenmesi için Coğrafi Bilgi Sistemi ile haritalama yapılmıştır.

Pamuk ve diğ. (2018) sismik olarak aktif bir bölge olan İzmir Aliağa ilçesinde, bölgeden alınan gürültü kayıtları ile HVSR yöntemini kullanarak sığ zeminlerin dinamik analizini yapmışlardır.

Puri ve diğ. (2018) Hindistan'ın Haryana eyaletinde çeşitli bölgelerden elde edilen geoteknik verileri kullanarak zemin tepki analizlerini frekans alanında eşdeğer doğrusal analiz yöntemiyle Deepsoil programında yapmışlardır.

Sedaghati ve diğ. (2018) deprem bölgesinde yer alan Mississippi Körfezinde bulunan 11 istasyondan alınan verilerle HVSR tekniğini kullanarak körfezin üzerinde bulunduğu kalın konsolide olmamış zeminler için saha davranışı ve sismik analizler yapmışlar ve zemin büyütme değerlerini hesaplamışlardır.

Zhang ve diğ. (2018) Çin'in Sichuan Havzasında bulunan Zigong bölgesinin topoğrafik büyütme değerlerini, standart spektral oran (SSR) tekniğini kullanarak hesaplamışlardır. Çalışmada sonlu farklar yöntemi ile sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Topoğrafyanın ve zayıf zeminin etkisinin deprem hareketini önemli ölçüde arttırdığı gösterilmiştir.

Wang ve diğ. (2018) Çin'de Lős Platosu bölgesinde kaydedilen kuvvetli yer hareketinin özelliklerini incelemişler ve sismik yer hareketinde lős birikintisinin kalınlığının ve eğiminin büyütmeyle olan etkisini sarsma tablası deneyleri ve sayısal analizler ile incelemişlerdir. Sonuç olarak lős birikintisinin kalınlığının ve eğiminin artmasıyla büyütme etkilerinin daha baskın olduğu gösterilmiştir.

Kim (2019) Kanada'da derin yumuşak kil ve siltten oluşan Fraser Nehri deltasının zemin büyütmesi değerlerini Kaliforniya'da ölçülen güçlü yer hareketlerini kullanarak Deepsoil programı yardımıyla araştırmışlardır. Çalışmada zemin hareketinin uzun periyotlarda deltanın merkezinde büyüdüğü, kısa periyotlarda ise giriş hareketi büyük olduğunda zemin hareketinin sönümlendiğini tespit edilmiştir.

Ma ve diğ. (2019) Japonya Tokushima'nın Naka kasabasındaki bir heyelan bölgesinde birikmiş zemin üzerinde yakın bölgelerden alınmış 5 sismometre kaydını kullanarak HVSR tekniği ile

büyütme değerlerini incelemişlerdir. Zeminin çok tabakalı olduğu yerlerde HVSR tepe genliği 3-5 aralığında bulunmuş ayrıca zemin cinsinin, tabaka çeşitliliğinin, eğiminin, deprem dalgalarının türünün ve yayılma yönünün de büyütme değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu gösterilmiştir.

Özer (2019) Erzurum ve çevresinde 10 ivme-ölçerden elde ettiği deprem verilerini kullanarak HVSR ve SSR teknikleri ile zeminin deprem sırasındaki davranışını analiz etmiştir. Şehir merkezi ve çevresinin altında bulunan alüvyon zeminlerde düşük frekanslarda yüksek büyütme gözlenmiş ve zemin hakim frekansının bulunduğu 0.5-1.0 Hz aralığında 10-20 kat arasındaki yapılarda rezonans etkisinin oluşabileceğini tespit etmiştir.

Özyazıcıoğlu ve diğ. (2019) yüksek deprem tehlike bölgesinde yer alan Erzincan il merkezi için bir boyutlu eşdeğer-doğrusal zemin büyütme analizlerini 41 adet sondaj verisine dayanarak yapmışlardır. Çalışmada büyütme değerlerinin ovanın bazı bölümlerinde 2 katına çıktığı ve ovanın temel kayasının yüzeye yaklaştığı kısımlarında küçük periyotlu yapılarda büyük periyotlu yapılara oranla daha fazla büyütme görüldüğü anlaşılmıştır.

Pamuk (2019) Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey kesiminde farklı zemin türleri üzerinde bulunan 30 adet ivme-ölçerden kaydedilen altı deprem kaydı ile HVSR yöntemi kullanarak yaptığı analizlerde zemin büyütme değerlerinin 2-10.5, zemin hâkim periyodunun 0.1-1.2 sn arasında değiştiğini belirlemiştir.

Perk ve Ozer (2019) Hatay ve çevresinde 27 adet ivme-ölçerden alınan deprem verileri ile HVSR yöntemini kullanarak zemin büyütme değerlerinin 2-8 arasında değiştiğini gözlemlemiştir. Ayrıca yüksek büyütme değerlerinin alüvyon zeminlerde düşük frekanslarda gerçekleşirken kaya zeminlerde ise daha yüksek frekanslarda gerçekleştiği gösterilmiştir.

Subasi ve diğ. (2019) Kuzey Anadolu fay hattına yakın bir bölgede zeminin dinamik davranış analizlerini mikrotremor ve HVSR yöntemini kullanarak yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları sayısal çözümlerle karşılaştırmışlardır. Yüzey tabakaları için bir boyutlu dinamik analiz sonucu hesaplanan kayma şekil değiştirmeleri ile mikrotremor ölçümleri sonucu hesaplanan zemin büyütmesi ve hakim periyot değerleri ile sismik anakaya ivmesi arasındaki ilişki bir fonksiyonla ifade edilmiştir.

Tuncel ve diğ. (2019) İzmir'in Karşıyaka ilçesinde 112 adet mikrotremor kaydına uygulanan HVSR yöntemi ile bölge için dinamik büyütme faktörlerini ve zemin hakim periyodunu incelemişlerdir. Çalışmada deprem parametrelerinin belirlenmesinde 7 büyüklüğünde bir senaryo depremi dikkate alınmıştır. Çalışma sonunda sert ve yüksek bölgelerde büyütme faktörünün 2'nin altında kaldığı alüvyon ve düşük bölgelerde büyütme faktörünün 3'e kadar çıktığı görülmüştür. Zemin hakim periyodu ve büyütme değerleri birbirleri ile doğru orantılı bir ilişki göstermiştir.

Turkoz (2019) Eskişehir'in İnönü ilçesinde SPT ve çok kanallı yüzey dalgası analizi (MASW) yöntemleri ile yerel zemin koşullarını ve zeminin dinamik parametrelerini belirlemiştir. Yerinde test yöntemlerinden elde edilen değerler ile dinamik analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. MASW yönteminden elde edilen kayma dalgası hızları ile yapılan analizlerde kil tabakalarının yoğun olduğu bölgelerde, SPT verileri ile yapılan analizlerde kum tabakalarının yoğun olduğu yerlerde büyük spektral ivmeler hesaplanmıştır.

Alvarado ve diğ. (2020) Arjantin'de 1977 San Juan depremi ile 1985 Mendoza depremi ivme değerlerini kaydeden 15 ivme-ölçer ve 57 sismoskop ile depremin en yüksek yer ivmeleri (PGA) ve spektral ivmelerini (SA) analiz ederek zemin büyütme etkilerini araştırmışlardır. Zeminin

deprem ivmelerini düşük V_{s30} ' a (30 m de ortalama kayma dalgası hızı) sahip bölgelerde güçlü bir şekilde büyüttüğünü gözlemlemiştir.

Ates (2020) Amasya ilinden alınan deprem verileri ile mikrotremor kayıtlarının yatay/düşey spektral oran (HVSr) yöntemi ile analizini yaparak özellikle kalın alüvyon zeminlerde deprem ve mikrotremor analizlerinden hakim frekans ve büyütme değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir.

Ceren ve Karakan (2020) Kahramanmaraş Üngüt mahallesinden alınan 12 sondaj verisinden elde edilen zemin profillerinde Deepsoil programı ile frekans alanında doğrusal, eşdeğer doğrusal ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler yaparak büyütme değerlerini elde etmişlerdir. En büyük ivme zaman grafiklerinin elde edildiği frekans alanında doğrusal analizlerde pik büyütme faktörü 0.6. sn'de iken en küçük ivme zaman grafiklerinin elde edildiği zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde pik büyütme faktörü 0.87. sn'de bulunmuştur.

Matassoni ve Fiaschi (2020) İtalya'nın merkezindeki Abbadia San Salvatore' de kalın gevşek kumlu yapıya sahip volkanik bir bölgenin sismik analizini gürültü analizi ve HVSr yöntemlerini kullanarak yapmışlardır. Bölgenin bazı yerlerinde elde edilen büyütme değerlerinin ulusal yönetmelikte (İtalyan deprem yönetmeliği) belirtilen değerlerin üzerine çıktığı gösterilmiştir.

Huang ve diğ. (2021) Hong Kong Adası için kapsamlı sondaj verilerini kullanarak üç boyutlu zemin analizleri yaparak tabaka değişiminin, düzensiz kayaç oluşumunun ve kayma dalgası hızı değişiminin zemin büyütmesi üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak zemin büyütme değerlerinin yüksek frekanslarda yerel zemin koşullarından önemli derecede etkilendiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada ise Değiştirilmiş Sonlu Elemanlar Taşıma Matrisi (DSETM) yöntemi tek boyutlu zemin tepki analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının elde edilmesi için kullanılmıştır. Çalışmada zeminin tek boyutlu davranışı dikkate alınarak zeminin doğrusal davranış gösterdiği kabul edilmiştir. Transfer fonksiyonlarının elde edilmesinde yer altı su seviyesinin etkisi dikkate alınmamıştır. Çalışmada sunulan yöntem frekans alanında eşdeğer lineer ve zaman tanım alanında analizlerde de kullanılabilir.

2. BİR BOYUTLU DİNAMİK ANALİZ YÖNTEMLERİ

Zeminin deprem yükleri altındaki dinamik davranışını belirlemek için zemin büyütme analizleri yapılmaktadır. Bu analizleri yapmak için zemin profilinin derinlikle birlikte değişen kayma dalgası hızı, kayma modülü ve birim şekil değiştirme ile değişen sönüm oranı ilişkilerinin bilinmesi gerekir. Bu ilişkilerin belirlenmesinde kullanılan bir boyutlu zemin davranış analizleri sade ve güvenli tarafta kalmasından dolayı oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır (Ansal ve diğ. 2011). Deprem sırasında zemin tabakaları arasında yol alan deprem dalgaları kırılarak zemin yüzeyine ulaştıklarında neredeyse dik konuma gelir. Bu sebeple zemin koşullarına bağlı olarak deprem dalgalarında meydana gelen değişim, düşey yayılan kayma dalgasına dayanan bir boyutlu dinamik analizler ile belirlenebilmektedir. Ana kaya ve zeminin yatay yönde sonsuz ve zemin yüzeyinin eğimsiz olduğu kabulünü yapan bu yöntemde her tabakanın transfer fonksiyonu hesaplanarak yüzeydeki hareketin genliği ve buna bağlı zemin büyütmesi bulunmaktadır (Kramer 1996, Jeong ve Bradley 2017, Özkan 2017). Zemin davranış analizleri frekans tanım alanında ve zaman tanım alanında yapılabilmektedir. Tablo 1' ve Tablo 2' de zemin analizlerinde kullanılan modeller karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Tablo 1: Zemin analizlerinde kullanılan modellerin hesap yöntemleri

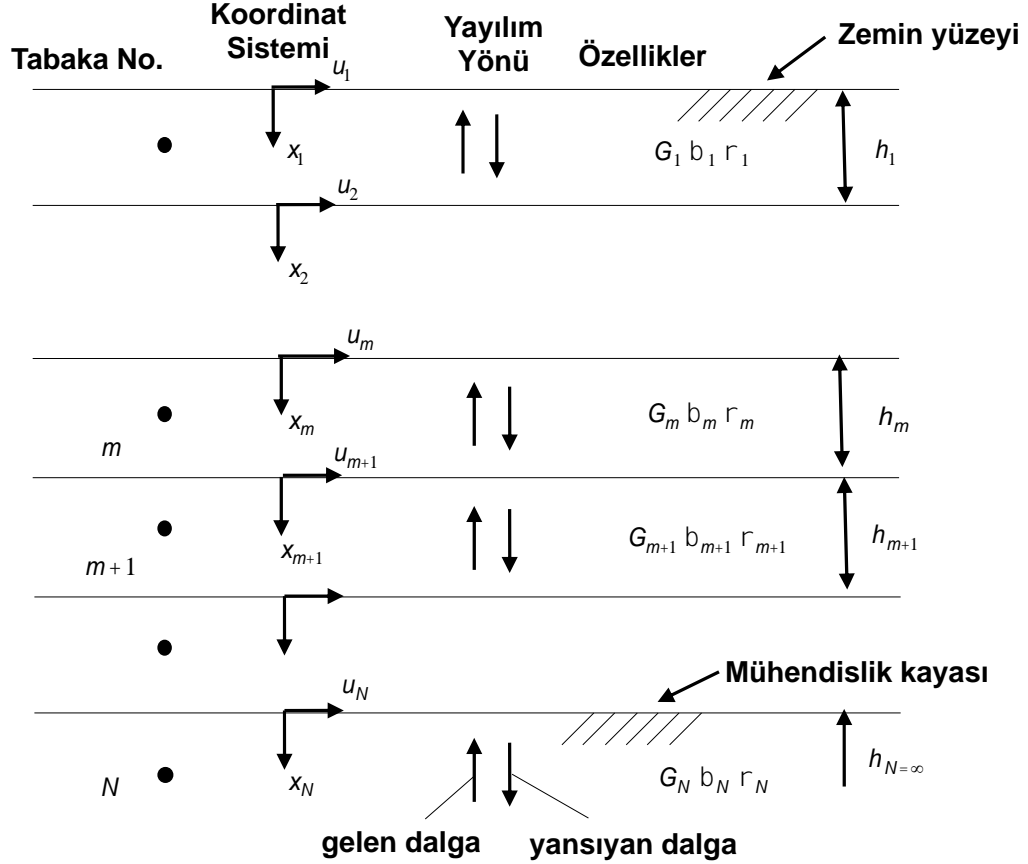
Hesap Yöntemi	
Frekans Alanında Doğrusal Analiz	Zemin Kelvin-Voight katısı özelliklerine sahip olduğu varsayılarak visko-elastik malzeme olarak tanımlanır. Her zemin tabakasındaki kayma modülü ve sönüm oranı sabit alınır. Doğrusal analiz yöntemi Fourier transfer fonksiyonlarını kullanarak anakaya hareketinin yer değiştirme, hız, ivme, kayma gerilmesi ve kayma birim deformasyonu gibi parametrelerini bulmada kullanılır. Bu yöntemde zamana bağlı anakaya hareketi Fourier dönüşümü ile frekans alanına dönüştürülür. Anakaya hareketinin Fourier serisindeki her terim transfer fonksiyonu ile çarpılarak zemin yüzeyindeki hareketin Fourier serisi elde edilir. Ters Fourier dönüşümü yapılarak frekans alanındaki zemin yüzey hareketi zaman alanında ifade edilir. Bu şekilde transfer fonksiyonu anakaya hareketinin zemin tarafından nasıl etkilendiğini gösterir (Kramer 1996).
Frekans Alanında Eşdeğer Doğrusal Analiz	Bu yöntemde zeminin birim hacim ağırlığı, kayma dalgası hızı, sönüm oranı ile deprem ivme kayıtları kullanılır. Zeminin dinamik davranışını temsil eden kayma modülü ve sönüm oranı her zemin tabakası için iteratif olarak kayma birim şekil değiştirmesine bağlı bir şekilde hesaplanır (Kaklamanos ve diğ. 2015).
Zaman Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizde kullanılan yaklaşım, küçük zaman artışları için artımsal hareket denkleminin sayısal olarak integre edilmesidir. Yükleme boşaltma kriterleri uygulanarak belirlenen gerilme-birim deformasyon ilişkileri ile kayma modülü ve sönüm oranı hesaplandıktan sonra her zaman adımı için sistem tepkisi hesaplanır. Bir zaman adımının sonundaki değerler bir sonraki zaman adımının başlangıç değerleri olarak kullanılıp her zaman adımı için sistem tepkileri elde edilir (Kramer 1996).

Tablo 2: Zemin analizlerinde kullanılan modellerin avantaj ve dezavantajları

	Avantajları	Dezavantajları
Frekans Alanında Doğrusal Analiz	Küçük birim şekil değiştirmelerin olduğu titreşimlerde veya sağlam kayada yol alan dalgaların deformasyonlarının hesabında bu yöntem çok pratik ve basittir (Bardet ve diğ. 2000).	Doğrusal analiz yöntemi pratik olmasına rağmen zeminin sismik yükler altındaki gerçek davranışını temsil edememektedir (Arslan ve Siyahi 2006).
Frekans Alanında Eşdeğer Doğrusal Analiz	Kayma modülü ve sönüm oranını birim deformasyona bağlı olarak iteratif şekilde hesapladığı için doğrusal yöntemin deformasyondan bağımsız olduğundan, doğrusal olmayan yöntemin ise karışık ve çok parametre gerektiren hesap adımlarından kurtarmıştır.	Zeminlerin sismik yükler altındaki davranışı doğrusal olmadığından eşdeğer doğrusal analiz ile dinamik davranış yaklaşık olarak hesaplanabilir (Khanbabazadeh ve diğ. 2018).
Zaman Alanında Doğrusal Olmayan Analiz	Yüksek birim deformasyon seviyelerinde doğrusal davranmayan zeminlerin en gerçekçi davranışı bu model ile belirlenebilmektedir (Rathje ve diğ. 2010).	Doğrusal olmayan modeller pek çok parametreye bağlı olarak kompleks yapıda olduğundan pratik değildir.

3. TRANSFER FONKSİYONU

Elastik kaya üzerinde tabakalı bir zemin modeli Şekil 1’de görülmektedir (Kramer 1996).



Şekil 1: Elastik anakaya üzerindeki zemin tabakalarının hareketi

Buna göre en üstteki yer değiştirmenin en alttaki yer değiştirmeye oranı transfer fonksiyonu olarak isimlendirilmekte olup (1) no’lu bağıntı ile hesaplanır (Kramer 1996).

$$F_{1N} = \left| \frac{u_1}{u_N} \right| = \frac{\lambda_1(\omega) + \kappa_1(\omega)}{\lambda_N(\omega) + \kappa_N(\omega)} \quad (1)$$

Burada λ ve χ fonksiyonları (2) ve (3) no’lu bağıntılarla tanımlanmıştır (Kramer,1996)

$$\lambda_N(\omega) = \frac{A_N}{A_1} \quad (2)$$

$$\kappa_N(\omega) = \frac{B_N}{B_1} \quad (3)$$

Burada ω açısal frekansı göstermektedir.

Her tabakadaki A ve B değerleri 1'inci tabakadan başlayarak ardışık olarak bulunur (Kramer 1996).

$$A_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (4)$$

$$B_{m+1} = \frac{1}{2} A_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} B_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (5)$$

Burada α_m^* m'inci tabaka için empedans sayısı olup (6) nolu bağıntı ile tanımlanmıştır (Kramer,1996).

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (6)$$

Burada G^* ve k^* (7) ve (8) no'lu bağıntılarla tanımlanmıştır (Kramer 1996) .

$$G_m^* = G_m (1 + 2i\xi) \quad (7)$$

$$k_m^* = \frac{\omega}{v_{sm}^*} \quad (8)$$

v_{sm}^* ise (9) no'lu bağıntı ile tanımlıdır.

$$v_{sm}^* = v_{sm} (1 + i\zeta_m) \quad (9)$$

Burada G_m , ξ_m ve v_{sm} sırasıyla m. tabadaki kayma modülünü, sönüm oranını ve kayma dalgası hızını göstermektedir. Birinci tabakanın üzerinde kayma gerilmesi sıfır olduğu için (10) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$A_1 = B_1 \quad (10)$$

4. TRANSFER FONKSİYONUNUN DEĞİŞTİRİLMİŞ SONLU ELEMANLAR TAŞIMA MATRİSİ YÖNTEMİ İLE BULUNMASI

Şekil 1'de gösterilen ve Kelvin Voigt katısının özelliklerine sahip m'inci zemin tabakasının titreşimini gösteren kısmi diferansiyel (11) no'lu denklemdeki gibi yazılır (Kramer 1996, Özkan 2017).

$$\rho_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial t^2} - G_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2} - \eta_m \frac{\partial^3 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2 \partial t} = 0 \quad (11)$$

Burada \mathcal{G} zemin tabakalarının yatay yer değiştirme fonksiyonunu, G_m m. tabakanın kayma modülünü, z_m m'inci zemin tabakası boyunca uzanan eksen takımını, t zamanı göstermektedir. η_m ise sönümü içeren terim olup (12) no'lu bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$\eta_m = \frac{2G_m}{\omega^2} = \frac{2G_m}{\omega} \xi_m \quad (12)$$

(12) no'lu bağıntı (11) no'lu bağıntıda yerine yazılırsa (13) no'lu diferansiyel denklem elde edilir.

$$\rho_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial t^2} - G_m \frac{\partial^2 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2} - \frac{2G_m}{\omega} \xi_m \frac{\partial^3 \mathcal{G}_m}{\partial z_m^2 \partial t} = 0 \quad (13)$$

(13) no'lu kısmi diferansiyel denklemde (14) no'lu bağıntı uygulanırsa (15) no'lu adi diferansiyel denklem elde edilir.

$$\mathcal{G}_m(z_m, t) = u_m(z_m) e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$G_m(1 + 2i\xi_m) \frac{d^2 u_m}{dz_m^2} + \rho_m \omega^2 u_m = 0 \quad (15)$$

(15) no'lu adi diferansiyel denklem yerine (16) no'lu adi diferansiyel denklem yazılabilir.

$$\frac{d^2 u_m}{dz_m^2} + \frac{\omega^2}{v_{sm}^{*2}} u_m = 0 \quad (16)$$

Burada v_{sm}^* ise (17) no'lu bağıntı ile tanımlıdır.

$$v_{sm}^* = \sqrt{\frac{G_m(1 + 2i\xi_m)}{\rho_m}} \quad (17)$$

(17) no'lu 2'inci mertebeden adi diferansiyel denklemin çözümleri (18) bağıntısı ile verilebilir.

$$u_m(z_m) = c_1 \sin(a_m z_m) + c_2 \cos(a_m z_m) \quad (18)$$

Burada a_m (19) no'lu bağıntı ile tanımlanmıştır.

$$a_m = \sqrt{\frac{\omega}{v_{sm}^*}} \quad (19)$$

m-inci tabakanın başlangıcında

$$z_m = 0 \Rightarrow u_m = c_2 \quad (20)$$

yazılabilir. Tabakanın en altında ise

$$z_m = h_m \Rightarrow u_{m+1} = c_1 \sin(a_m h_m) + c_2 \cos(a_m h_m) \quad (21)$$

(20) ve (21) no'lu denklemler matris formda (22) no'lu bağıntı ile yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ \sin(a_m h_m) & \cos(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (22)$$

m'inci tabaka için kayma gerilmesi (23) no'lu denklemlerle yazılabilir.

$$\tau(z_m) = G_m^* \frac{du_m}{dz_m} = G_m^* [c_1 a_m \cos(a_m z_m) - c_2 a_m \sin(a_m z_m)] \quad (23)$$

m'inci tabakanın başlangıç ve bitiş noktalarındaki kayma gerilmeleri (24) ve (25) no'lu bağıntılar ile yazılabilir

$$\tau_m = -G_m^* c_1 a_m \quad (24)$$

$$\tau_{m+1} = G_m^* [c_1 a_m \cos(a_m h_m) - c_2 a_m \sin(a_m h_m)] \quad (25)$$

(24) ve (25) no'lu denklemler matris formda (26) no'lu bağıntı şeklinde yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \tau_m \\ \tau_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -G_m^* a_m & 0 \\ G_m^* a_m \cos(a_m h_m) & -G_m^* a_m \sin(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \end{bmatrix} \quad (26)$$

(22)ve (26) no'lu matris denklemlerden (27) no'lu matris denklem elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \tau_m \\ \tau_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_m^* a_m \cot(a_m h_m) & -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) \\ -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) & G_m^* a_m \cot(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} \quad (27)$$

(27) numaralı denklemde (28) ve (29) no'lu Ricatti dönüşümleri uygulanırsa (30) no'lu matris denklem elde edilir (Choi 2003, Rong ve diğ. 2011, Ozturk ve Bozdoğan 2017).

$$\tau_m = -S_{m-1} u_m \quad (28)$$

$$\tau_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (29)$$

$$\begin{bmatrix} G_m^* a_m \cot(a_m h_m) & -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) \\ -G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) & G_m^* a_m \cot(a_m h_m) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_m \\ u_{m+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -S_{m-1} u_m \\ S_m u_{m+1} \end{bmatrix} \quad (30)$$

(30) no'lu matris denklemin ilk satırı (31) no'lu bağıntıda gösterildiği gibi yazılabilir:

$$G_m^* a_m \cot(a_m h_m) u_m - G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) u_{m+1} = -S_{m-1} u_m \quad (31)$$

(31) no'lu matris denklemden u_m çekilirse (32) no'lu bağıntı elde edilir.

$$u_m = \frac{G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m)}{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m) + S_{m-1}]} u_{m+1} \quad (32)$$

(30) no'lu matris denklemden (33) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$-G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m) u_m + G_m^* a_m \cot(a_m h_m) u_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (33)$$

(32) no'lu bağıntı (33) no'lu denklemden yerine yazılırsa (34) no'lu bağıntı elde edilir.

$$\frac{-G_m^{*2} a_m^2 \operatorname{cosec}^2(a_m h_m)}{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m) + S_{m-1}]} u_{m+1} + G_m^* a_m \cot(a_m h_m) u_{m+1} = S_m u_{m+1} \quad (34)$$

(34) no'lu denklemden (35) no'lu bağıntı elde edilir.

$$S_m = \frac{-G_m^{*2} a_m^2 + S_{m-1} G_m^* a_m \cot(a_m h_m)}{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m) + S_{m-1}]} \quad (35)$$

Sınır koşullarından dolayı en üst tabakanın üstünde kayma gerilmesi sıfırdır. Buradan (36) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$\tau_1 = 0 \quad (36)$$

(36) no'lu bağıntı (30) no'lu matris denklemden yerine yazılırsa S_1 (37) no'lu bağıntı şeklinde yazılır.

$$S_1 = \frac{-G_1^* a_1 \operatorname{cosec}^2(a_1 h_1)}{\cot(a_1 h_1)} + G_1^* a_1 \cot(a_1 h_1) \quad (37)$$

(30) no'lu matris denklemden (38) no'lu bağıntı yazılabilir.

$$u_m = \frac{[G_m^* a_m \cot(a_m h_m)] - S_m}{G_m^* a_m \operatorname{cosec}(a_m h_m)} u_{m+1} \quad (38)$$

N'inci tabakanın üzerindeki yer değiştirme (39) no'lu denklemden gösterildiği gibi 1 birim alınır (38) no'lu bağıntının ardışık olarak uygulanmasıyla u_1 bulunur.

$$u_{N-1} = 1 \quad (39)$$

u_N 'in bulunması için ise (40) no'lu denklemden yararlanılabilir.

$$\tau_{N-1} = S_{n-2}u_{n-1} = S_{n-2} \quad (40)$$

Son tabaka için Kramer'in yönteminde geçen yaklaşımdan yararlanılacaktır. Buna göre

$$A_{N-1} + B_{N-1} = 1 \quad (41)$$

$$A_{N-1} - B_{N-1} = \frac{S_{N-2}}{k_{N-1}^* G_{N-1}^* i} \quad (42)$$

bağıntıları yazılabilir. Buna göre (41) ve (42) no'lu bağıntılardan A_{N-1} ve B_{N-1} aşağıdaki (43) ve (44) no'lu bağıntılar ile bulunur.

$$A_{N-1} = \frac{S_{N-2}}{2k_{N-1}^* G_{N-1}^* i} + \frac{1}{2} \quad (43)$$

$$B_{N-1} = 1 - A_{N-1} \quad (44)$$

N'nci- tabaka için ise (45) ve (46) no'lu bağıntılar yazılır.

$$A_N = \frac{1}{2} A_{N-1} (1 + \alpha_{N-1}^*) e^{ik_{N-1}^* h_{N-1}} + \frac{1}{2} B_{N-1} (1 - \alpha_{N-1}^*) e^{-ik_{N-1}^* h_{N-1}} \quad (45)$$

$$B_N = \frac{1}{2} A_{N-1} (1 - \alpha_{N-1}^*) e^{ik_{N-1}^* h_{N-1}} + \frac{1}{2} B_{N-1} (1 + \alpha_{N-1}^*) e^{-ik_{N-1}^* h_{N-1}} \quad (46)$$

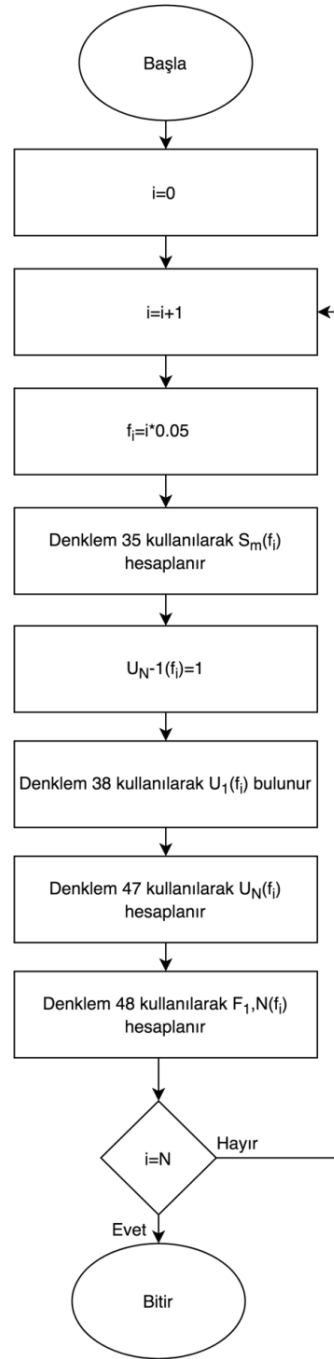
u_N bu durumda (47) no'lu bağıntı ile elde edilir.

$$u_n = |A_n| + |B_n| \quad (47)$$

En üst yer değiştirmenin en alttaki yer değiştirmeye oranını tanımlayan transfer fonksiyonu ise (48) no'lu bağıntı ile bulunur.

$$F_{1N} = \left| \frac{u_1}{u_N} \right| \quad (48)$$

Anlatılan yöntemin işlem adımları Şekil 2 'de verilen akış şeması üzerinde gösterilmiştir.



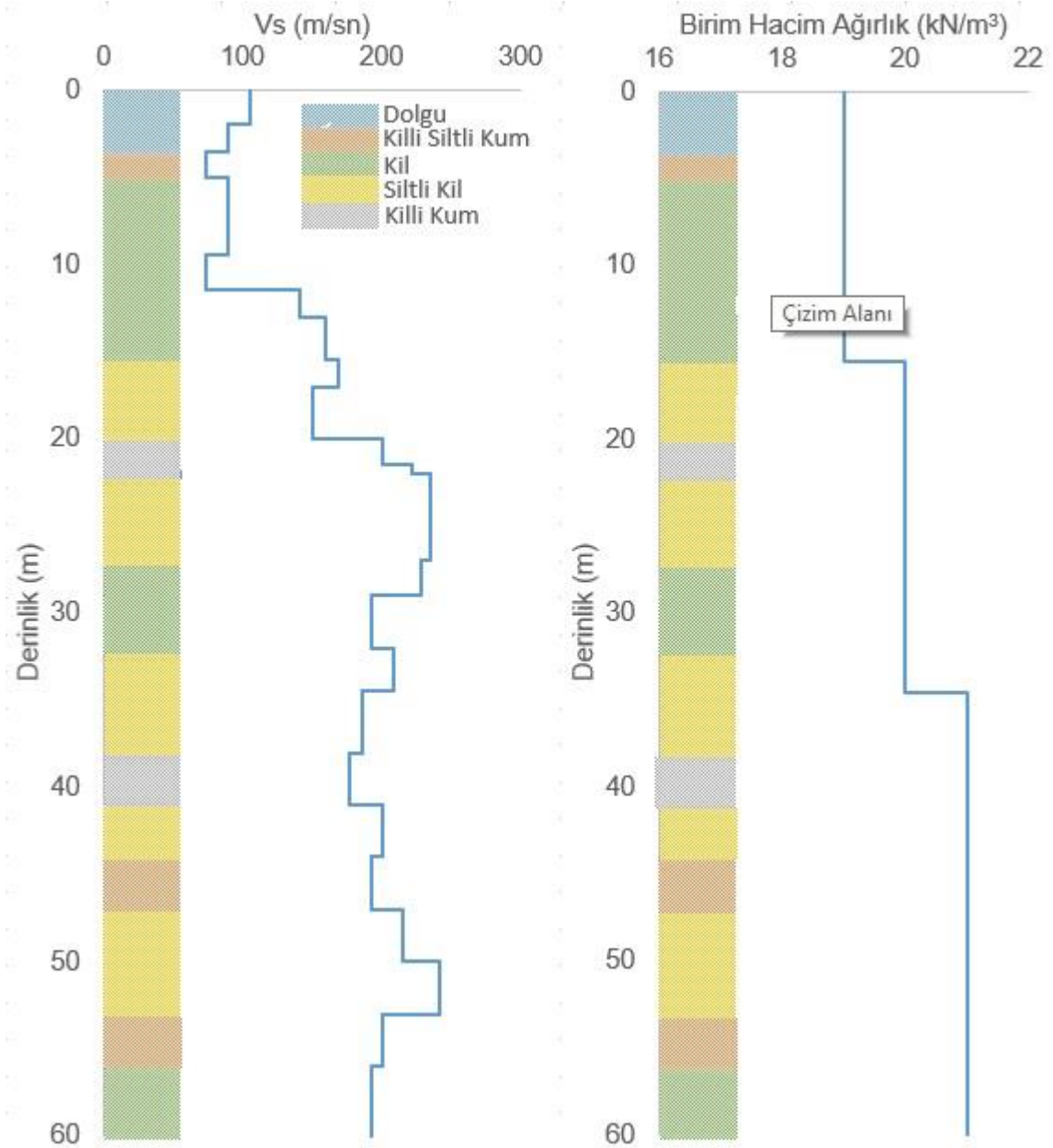
Şekil 2: Akış diyagramı

5. SAYISAL ÖRNEKLER

Bu bölümde sunulan yöntemin uygunluğunu göstermek üzere iki örnek çözülmüştür. Sunulan yöntem Scilab (Scilab 2021) ortamında yazılmış bir program yardımıyla uygulanmıştır. Çözülen örneklerde yer altı su seviyesi dikkate alınmamıştır.

5.1) Sayısal Örnek 1

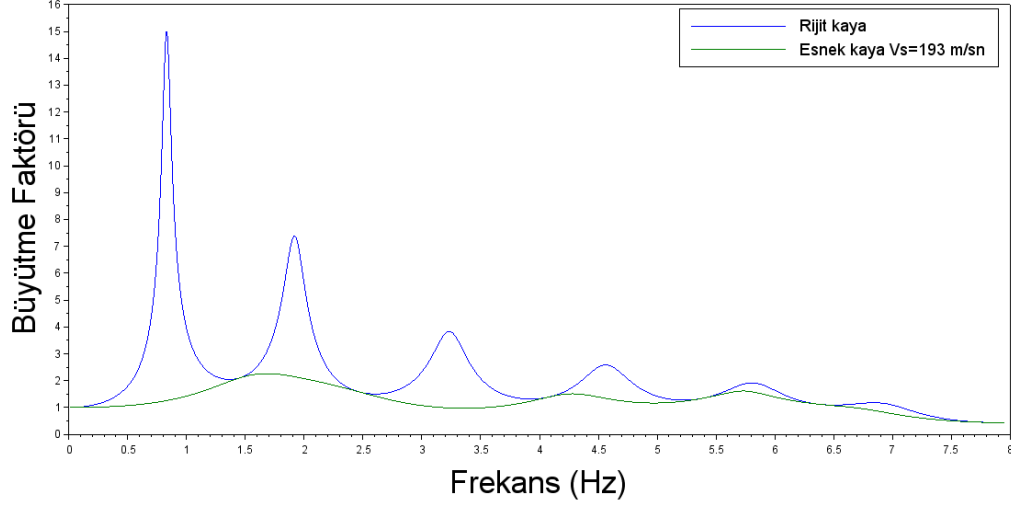
Bu örnekte İzmir ili Salhane bölgesini temsil edebilecek 60 m'lik bir zemin profili dikkate alınmıştır. Zemin profilinin özellikleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Ele alınan örnekte zemin tabakalarındaki sönüm oranının %5 olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3: Sayısal örnek 1 için zemin profili özelliklerinin derinlikle değişimi (a) Kayma dalgası hızı (b) Zemin birim hacim ağırlığı

Verilen zemin profili için iki durum dikkate alınarak bu çalışmada önerilen DSETM yöntemine göre transfer fonksiyonları elde edilmiş ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Ele alınan zemin profilinde İki durum dikkate alınmıştır bunlar a) Rijit kaya durumu b) $v_{SR}=193$ m/s olması durumudur. Rijit kaya

durumunu temsil etmek üzere kayma dalgası hızı 5000 m/sn olarak analizde dikkate alınmıştır. Bu değerler 60'inci metre için dikkate alınmıştır.



Şekil 4: Sayısal örnek 1 için DSETM yöntemiyle elde edilen transfer fonksiyonları

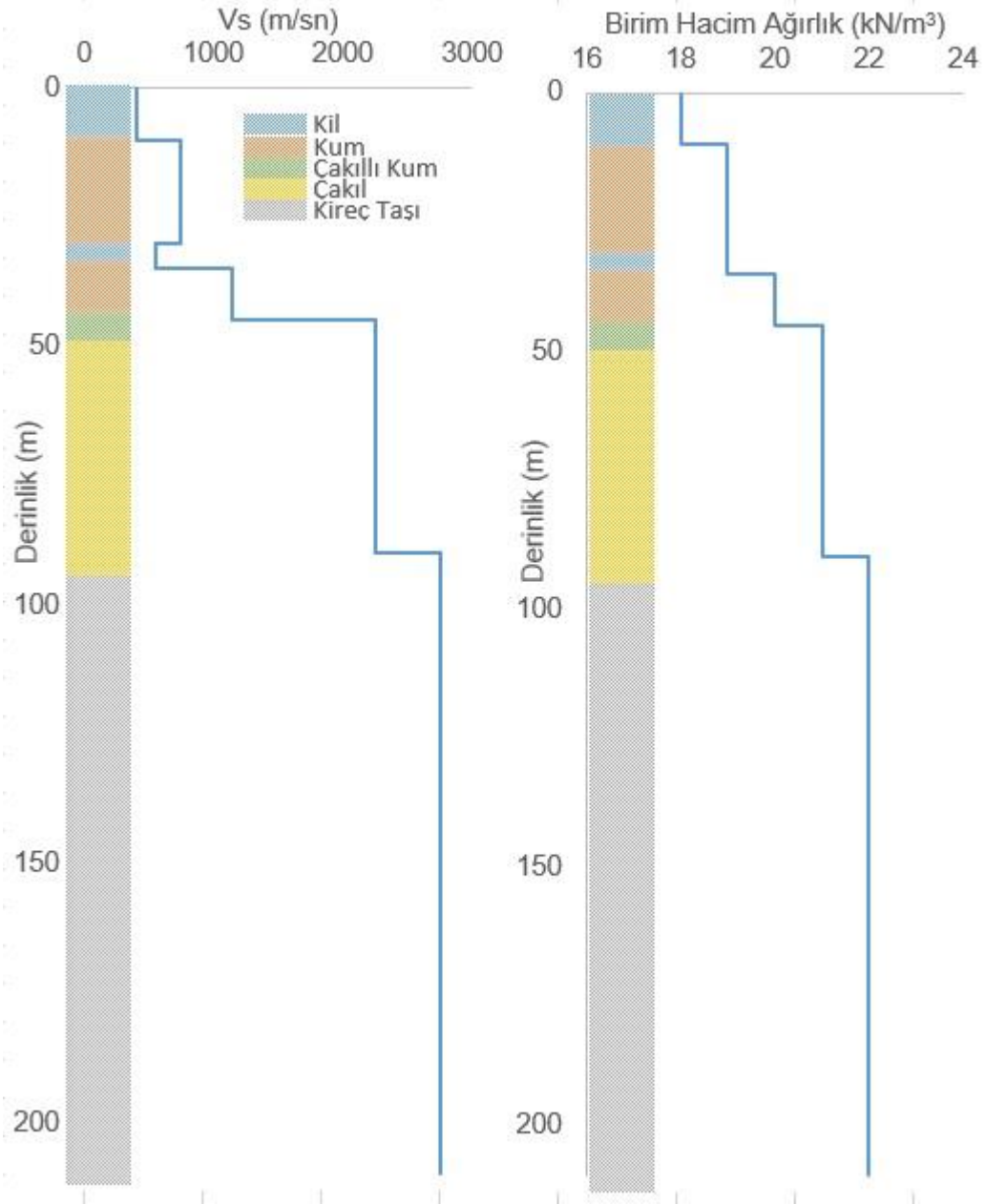
Aynı örnek Kramer (1996) tarafından önerilen ve 3'üncü bölümde anlatılmış olan yöntemle de çözümlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre sonuçların üst üste çakıştığı görülmüştür. Sonuçların üst üste çakışması nedeniyle grafik üzerinde karşılaştırma gösterilememiştir. Tablo 3'te Transfer fonksiyonundan elde edilen zemin periyotları sunulmuştur. Zemin periyotları rijit kaya durumu için verilmiştir.

Tablo 3: Örnek 1 için Zemin profilinin ilk iki periyodu

Mod No	DSETM
1	1.209 sn
2	0.513 sn

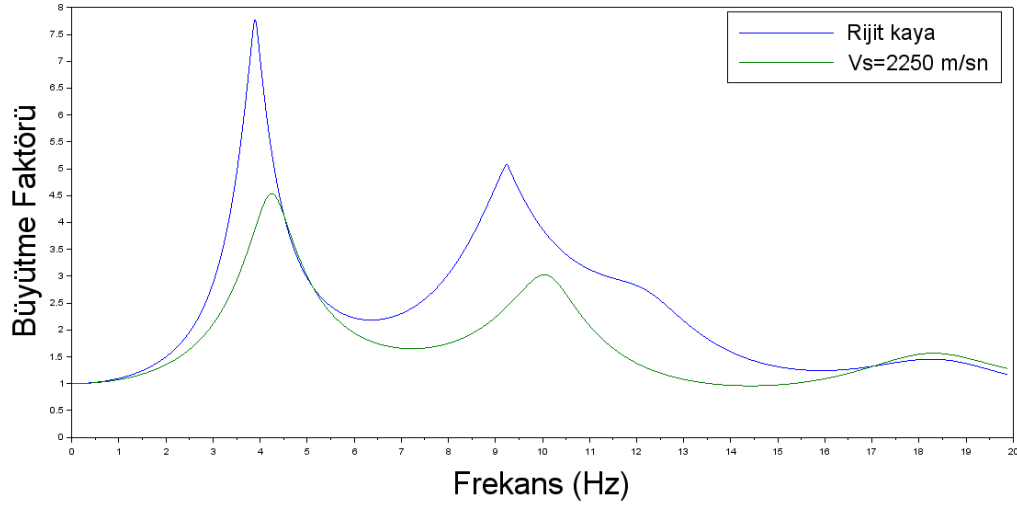
5.2) Sayısal Örnek 2

Bu örnekte Literatürden (Kuruoglu 2004) alınan ve Şekil 5'te gösterilen zemin profili dikkate alınmıştır. Zemin tabakalarındaki sönüm oranının %10 olduğu kabul edilmiştir. Zemin profilinin toplam kalınlığı 90 m alınmıştır.



Şekil 5: Sayısal örnek 2 için zemin profili özelliklerinin derinlikle değişimi (a) Kayma dalgası hızı (b) Zemin birim hacim ağırlığı

Verilen zemin profilinin DSETM yöntemine göre transfer fonksiyonu elde edilmiştir. Transfer fonksiyonu Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu örnekte de İki durum dikkate alınmıştır bunlar a) Rijit kaya durumu b) $v_{sR}=2200$ m/s olması durumudur. Rijit kaya durumunu temsil üzere kayma dalgası hızı 5000 m/sn olarak analizde dikkate alınmıştır. Bu değerler 90' ıncı metre için dikkate alınmıştır.



Şekil 6: Sayısal örnek 2 için DSETM yöntemiyle elde edilen transfer fonksiyonları

Aynı örnek Kramer (1996) tarafından ve 3'üncü bölümde anlatılan yöntem kullanılarak çözülmüş sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre sonuçların üst üste çakıştığı görülmüştür. Sonuçların üst üste çakışması nedeniyle grafik üzerinde karşılaştırma gösterilememiştir. Tablo 4'te Transfer fonksiyonundan elde edilen zemin periyotları sunulmuştur. Zemin periyotları rijit kaya durumu için verilmiştir.

Tablo 4: Örnek 2 için zemin profilinin ilk iki periyodu

Mod No	DSETM
1	0.272 sn
2	0.11 sn

6. SONUÇLAR

Bu makalede tek boyutlu zemin analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının bulunması için bir yöntem önerilmiştir. Çalışma kapsamında literatürde zemin hakim periyodunun bulunması için kullanılan Değiştirilmiş sonlu elemanlar taşıma matrisi yöntemi transfer fonksiyonlarının bulunması için uyarlanmıştır. Çalışmanın sonunda çözülen örneklerden sunulan yöntemin uygunluğu gösterilmiştir. Sunulan yöntemin klasik sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemine göre en büyük avantajı çözüme esas sistem matrisinin boyutunun eleman sayısından bağımsız olmasıdır.

Bu makalede tek boyutlu doğrusal zemin analizlerinde kullanılan transfer fonksiyonlarının bulunması için kullanılan DSETM yöntemi kolaylıkla frekans alanında eşdeğer doğrusal analiz

yöntemine uyarlanabilir. Aynı zamanda önerilen DSETM yöntemi zemin tepki analizinde kullanılan zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz içinde kullanılabilir. Bu konuda halen çalışmalar devam etmektedir.

KAYNAKLAR

Alcik H., 2018. Investigation of local site responses at the Bodrum peninsula (southwest of Turkey) using the mainshock and aftershocks of the 20 July 2017 Mw6.6 Bodrum-Kos earthquake, *Ann. Geophys* 61(3), SE339.

Alvarado P., Christiansen R., Gregori S. D., Saez M., 2020. Evidence of site amplification from ground motion of the last two large crustal earthquakes in central-western Argentina, *Nat. Hazards* 102, 1011-1031, <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03943-8>

Ansal A., Tönük G., Kurtuluş A., 2011. Zemin Büyütme Analizleri ve Sahaya Özel Tasarım Depremi Özelliklerinin Belirlenmesi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-14 Ekim 2011 - ODTÜ - ANKARA, s:1.

Arslan H., Siyahi B., 2006. A comparative study on linear and nonlinear site response analysis, *Environ. Geol.* 50, 1193-1200, doi 10.1007/s00254-006-0291-4

Ates E., 2020. Comparison of Horizontal / Vertical Spectral Ratios Obtained Using Earthquake and Microtremor Records: The Example of Amasya, *Turk. J. Earthq. Res.* 2 (2), 160-175, doi 10.46464/tdad.746926.

Bardet J.P., Ichii K., Lin C.H., 2000. EERA A Computer Program for Equivalent-linear Earthquake Site Response Analyses of Layered Soil Deposits. In University of Southern California, Department of Civil Engineering.

Bonilla L.F., Steidl J.H., Lindley G.T., Tumarkin A.G., Archuleta R.J., 1997. Site Amplification in the San Fernando Valley, California: Variability of Site-Effect Estimation Using the S-Wave, Coda and H/V Methods, *Bull. Seism. Soc. Am.* 87, 710-730.

Borcherdt R.D., 1970. Effects Of Local On Ground Motion Near San Francisco Bay, *Bull. Seism. Soc. Am.* 60, 29-61.

Ceren K., Karakan E., 2020. Zemin Analizleriyle Dinamik Davranış Özelliklerinin Belirlenmesine Yönelik Pilot Bir Çalışma: Kahramanmaraş İli Üngüt Mahallesi Örneği, *Doğ. Afet Çev. Derg.* 6 (1), 146-156, doi: 10.21324/dacd.582328.

Civelekler E., Okur D. V., Afacan K. B., 2018. Eşdeğer Analiz Yöntemi İle Belirlenen Zeminin Büyütme Değerlerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Haritalanması: Eskişehir Örneği, VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), 18-21 Eylül 2018, Eskişehir

Choi M.S., 2003. Free Vibration Analysis of Plate Structures Using Finite Element-Transfer Stiffness Coefficient Method, *J. Mech. Sci. Technol* 17 (6), 805-815.

Choudhury D., Savoikar P., 2009. Equivalent-linear seismic analyses of MSW landfills using DEEPSOIL, *Eng. Geo.* 107, 98-108.

Dikmen Ü., Arısoy M. Ö., Akkaya İ., Demirci İ., Hasaebi N., 2013. Yer Tepkisinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemlerin İvme Kaydı Üzerinde Deęerlendirilmesi, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 25-27 Eylül 2013 - MKÜ - HATAY, s:1.

Field E.H., Jacob K.H., 1995. A Comparison and Test of Various Site-Response Estimation Techniques, Including Three That Are Not Reference-Site Dependent, *Bull. Seism. Soc. Am.* 85, 1127-1143.

Gok E., Garcia F.J., Polat O., 2014. Effect of soil conditions on predicted ground motion: Case study from Western Anatolia, Turkey, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 229, 88-97

Güzel M., Bozdaę Ş., Özep F., 2009. Mikrobölgeleme alışmalarında Zemin Büyütmesi ölçütü (Kuzey Adana Örneği), *.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi* 24 (1-2), 229-236.

Hashash Y.M.A., Musgrove M.I., Harmon J.A., Ilhan O., Xing G., Numanoglu O., Groholski D.R., Phillips C.A., Park D., 2020. DEEPSOIL 7.0, User Manual, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL.

Huang D., Sun P., Jin F., Du C., 2021. Topographic amplification of ground motions incorporating uncertainty in subsurface soils with extensive geological borehole data, *Soil Dyn. Earth. Eng.* 141, 106441

Jeong S., Bradley B.A., 2017. Amplification of strong ground motions at Heathcote Valley during the 2010-2011 Canterbury earthquakes: Observation and 1D site response analysis, *Soil Dyn. Earth. Eng.* 100, 345-356.

Kagami H., Okada S., Shiono K., Oner M., Dravinski M., Mal A.K., 1989. Observation of 1- to 5-second microtremors and their application to earthquake engineering. Part III. A two-dimensional study of site effects in the San Fernando Valley, *Bull. Seism. Soc. Am.* 76 (6), 1801-1812.

Kaklamanos J., Baise L.G., Thompson E.M., Dorfmann L., 2015. Comparison of 1D linear, equivalent-linear, and nonlinear site response models at six KiK-net validation sites, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 69, 207-219.

Katz L. J., Bellon R.S., 1978. Microtremor site analysis study at Beatty, Nevada, *Bull. Seism. Soc. Am.* 68 (3), 757-765.

Khanbabazadeh H., Iyisan R., Ansal A., Zulfikar C., 2018. Nonlinear dynamic behavior of the basins with 2D bedrock, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 107, 108-115.

Kim B., 2019. Mapping of ground motion amplifications for the Fraser River delta in Greater Vancouver, Canada, *Earth. Eng. Eng. Vib.* 18, 703-717, doi: 10.1007/s11803-019-0531-8

Kramer S. L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 653 pp.

Kuruoglu M., 2004. Geographic Information System (GIS) based Database Development and Evaluation Study for Soils of Northern Coast of Izmir Bay, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 151 s.

- Ma N., Wang G., Kamai T., Doi I., Chigira M., 2019. Amplification of seismic response of a large deep-seated landslide in Tokushima, Japan, *Eng. Geo.* 249, 218-234.
- Matassoni L., Fiaschi A., 2020. Assessment of seismic ground motion amplification and liquefaction at a volcanic area characterized by residual soils, *Journal of Mountain Science* 17(3),doi:10.1007/s11629-019-5753-8
- Midorikawa S., 1987. Prediction of isoseismal map in Kanto Plain due to hypothetical earthquake, *J. Struct. Dyn.* 33, 43-48.
- 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.
- Nogoshi M., Igarashi T., 1971. On the Amplitude Characteristic of Microtremor, *Journal of Seismic Society of Japan* 24, 26-40, doi: 10.4294/zisin1948.24.1_26
- Ozer C., 2017. Analysis of Soil Transfer Function in Izmir Metropolitan Area, Turkey, *IOSR Journal of Applied Geology and Geophysics* 63-70, doi: 10.9790/0990-0501026370.
- Özer C., 2019. Erzurum ve Çevresi Yerel Zemin Etkilerinin SSR ve HVSr Yöntemleri Kullanılarak Araştırılması, *DEUFMD* 21 (61), 247-257.
- Özkan M.Y., 2017. Zemin Dinamiğine Giriş, Nobel, Ankara, Türkiye.
- Ozturk D., Bozdoğan K.B., 2017. A Method for Determination of the Fundamental Period of Layered Soil Profiles, *J. Appl. Comp. Mech.* 3(4), 267-273.
- Özyazıcıoğlu M., Dönmezçelik K., Orhan S.N., Özkan M.Y., 2019. Erzincan İli Zemin Büyütme Etkilerine Dayalı Mikrobölgeleme Çalışması, *Doğ. Afet Çev. Derg.* 5 (2), 247-256, doi: 10.21324/dacd.457438.
- Pamuk E., Ozdag O.C., Tuncel A., Ozyalin S., Akgun M., 2018. Local site effects evaluation for Aliaga/Izmir using HVSr (Nakamura technique) and MASW methods, *Nat. Hazards* 90, 887-899
- Pamuk E., 2019. Investigation of the local site effects in the northern part of the eastern Anatolian region, Turkey, *Boll. Geof. Teor. Appl.* 60, 549-568, doi 10.4430/bgta0291.
- Perk S., Ozer C., 2019. Investigation of Soil Properties based on Accelerometer Stations using Earthquake Recording: The Case Study of Hatay, Turkey, *Turk. J. Earthq. Res.* 1 (2), 167-179.
- Puri N., Jain A., Mohanty P., Bhattacharya S., 2018. Earthquake Response Analysis of Sites in State of Haryana Using DeepSoil Software, *Procedia Computer Science* 125, 357-366.
- Rathje E.M., Kottke A. R., Trent W.L., 2010. Influence of Input Motion and Site Property Variabilities on Seismic Site Response Analysis, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 136(4), 607-619, doi: 10.1061/_ASCE_GT.1943-5606.0000255
- Rong B., Rui X., Wang G., 2011. Modified finite element transfer matrix method for eigenvalue problem of flexible structures, *J. Appl. Mech.* 78(2), 021016.

Selcuk L., Aydin H., 2012. Kuvaterner Yaşlı Alüvyal Zeminlerin Kuvvetli Yer Hareketine Etkisi: 2011 Van Depremleri, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 36 (2), 75-97

Sedaghati F., Pezeshk S., Nazemi N., 2018. Site amplification within the Mississippi embayment of the central United States: Investigation of possible differences among various phases of seismic waves and presence of basin waves, *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 113, 534-544

Scilab, 2021. version 6.1.0: INRIA, ESI Group, Erişim adresi: <https://www.scilab.org>

Subasi O., Hasal M.E., Ozaslan B., İyisan R., Yamanaka H., Chimoto K., 2019. Bir boyutlu dinamik analiz ve mikrotremor ölçüm sonuçlarının karşılaştırılması, *Teknik Dergi* 9459-9481, yazı: 552

Tsai N.C., 1970. A Note On The Steady-State Response Of An Elastic Half-Space, *Bull. Seism. Soc. Am.* 60, 795-808.

Tuncel A., Ozdag O.C., Pamuk E., Akgun M., 2019. Calculation of the soil dynamic amplification factor values by using microtremor data: A case study in Izmir (North), *J. Fac. Eng. Archit.Gaz.* 34(1), 43-52.

Turkoz M., 2019. The Effect of Soil Type and Different In-situ Test Results on Soil Amplification Analysis, *DUJE* 10 (3), 1187-1196.

Yalçinkaya E., Alptekin Ö., 2003. Dinar' da zemin büyütmesi ve 1 Ekim 1995 depreminde gözlenen hasarla ilişkisi, *Yerbilimleri* 27, 1-13

Yalçinkaya E., 2010. Zemin neden bu kadar önemli, *Jeofizik Bülteni* 63, 77-80.

Zhang Z., Fleurisson J.A., Pellet F.L., 2018. A case study of topographic site effects on seismic ground motions at Xishan Park ridge in Zigong, Sichuan, *China Eng. Geol.* 243,308-319 doi :10.1016/j.enggeo.2018.07.004

Wang L., Wu Z., Xia K., Liu K., Wang P., Pu X., Li L., 2018. Amplification of thickness and topography of loess deposit on seismic ground motion and its seismic design methods, *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, doi 10.1016/j.soildyn.2018.02.021