

## **SAHAYA ÖZEL 1B ZEMİN BÜYÜTME ANALİZLERİNDE EŞDEĞER DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

### **COMPARISON OF EQUIVALENT LINEAR AND NONLINEAR ANALYZES IN SITE-SPECIFIC 1D SOIL AMPLIFICATION ANALYSIS**

**Ersin GÜLER<sup>1</sup>, Kamil Bekir AFACAN<sup>2</sup>**

#### **ÖZET**

Zeminlerin deprem bölgelerinde maruz kaldığı dinamik yükler sebebiyle göstereceği davranış yapıları etkilemektedir. Deprem anında ana kayadan yüzeye doğru hareket eden dalgalar buldukları zemin koşullarından etkilenerek değişim göstermektedir. Deprem dalgalarının anakayadan yüzeye doğru hareketinde frekans ve genliklerinde değişimler meydana gelmekte ve bu da zemin büyütme etkisine neden olmaktadır. Güvenli yapıların tasarımında deprem anında maruz kalabileceği ivmelerin belirlenmesi ve tasarımda kullanılması önemli rol oynamaktadır. Sahaya özel analizlerde depremin büyüklüğü, faylanma tipi, çalışma alanının faya olan mesafesi, yırtılma yönü, yerel zemin koşulları ve kaydın spektral içeriği ivme kayıtları seçiminde önemli etkenlerdendir. Bu çalışma, ülkemizin aktif bir deprem bölgelerinden biri olan Sakarya ilinde yapılmıştır. Bölgede yapılan sondaj çalışması sonrasında zeminlerin dinamik parametreleri belirlenmiş ardından bölgenin depremsellik özelliklerine göre 11 adet deprem ivme kaydı ile 1 boyutlu hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan zemin büyütme analizleri yapılmıştır. Zemin büyütme etkisi incelendiğinde seçilen analiz yönteminin elde edilen yüzey tepkilerinde farklılıklar olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sahaya Özel, Zemin büyütmesi, Deprem.

#### **ABSTRACT**

The behavior of the soils due to the dynamic loads they are exposed to in earthquake zones affects the structures. The waves moving from the bedrock to the surface at the time of the earthquake change by being affected by the soil conditions they are in. In the movement of earthquake waves from the bedrock to the surface, changes in frequency and amplitude occur and this causes the soil amplification effect. In the design of safe structures, determining the accelerations that they can be exposed to during an earthquake and using them in the design play an important role. In site-specific analyses, the magnitude of the earthquake, faulting type, distance of the study area to the fault, rupture direction, local soil conditions and spectral content of the recording are important factors in the selection of acceleration records. This study was carried out in Sakarya province, which is one of the active earthquake zones of our country. After the drilling work in the region, the dynamic parameters of the soils were determined, then 11 earthquake acceleration records and 1-B both equivalent linear and non-linear soil amplification analyzes were made according to the seismic characteristics of the region. When the soil amplification effect was examined, it was determined that there were differences in the surface responses of the selected analysis method.

<sup>1</sup> Dr. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, [eguler@ogu.edu.tr](mailto:eguler@ogu.edu.tr) (Sorumlu yazar)

<sup>2</sup> Doç.Dr. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, [kafacan@ogu.edu.tr](mailto:kafacan@ogu.edu.tr)

**Keywords:** Site specific, Soil amplification, Earthquake.

## 1. GİRİŞ

Zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışları incelendiğinde, anakayadan yüzeye doğru hareket eden deprem ivme kaydının zemin tabakalarında değişime uğradığı ve yüzeyde bulunan yapıya geldiğinde farklılıklar olduğu bilinmektedir. Deprem ivme kayıtlarının genliklerinde meydana gelen bu değişim sonucunda yüzeyde zemin büyütmesi dediğimiz kavram gerçekleşmektedir. Bu nedenle sahaya özel yapılacak olan analizler sonucunda zemin profilinin deprem anında göstereceği davranış daha gerçekçi olacaktır.

Tezcan vd. (2002) yılında Kuzey Anadolu Fay Hattı'nda etkilenen bir diğer merkez olan İstanbul Avcılar'da farklı dalga büyüklükleri ile yapmış oldukları çalışmada hakim periyotlar belirlenmiş ve zemin büyütmesi etkisi ile yüksek periyotlarda binalarda hasarların oluştuğu görülmüştür. Ulusay ve Aydan (2005) yılında yaptıkları çalışmada 2003 yılında meydana gelen Bingöl (M:6.4) depreminde bölgenin zemin karakteristikleri belirlenmiş ve zemin büyütme etkisi ile yapılarda büyük hasarların meydana geldiği belirlenmiştir. Beliceli (2006) yılında yerel zemin koşullarının Eskişehir yerleşim yerinde değişiminin incelenerek hasar etkisinin belirlenmesi amacıyla jeolojik gözlemlerin, jeofizik ölçümlerin ve jeoteknik deneylerin değerlendirilmesi yapılarak bölgedeki zemin büyütme değişimi araştırmıştır.

Bu çalışma kapsamında belirlenen iki adet sondaj noktasından elde edilen veriler ile zemin büyütme analizleri yapılmıştır. Analizlerde bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan 11 adet deprem ivme kaydı frekans tanım alanında ölçeklendirilmiştir. Hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında Türkiye'nin önemli fay hatlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer alan Sakarya ilinde sondaj çalışmaları yapılmıştır. Ardından 30m derinliğe kadar örselenmemiş numuneler elde edilmiştir (Şekil 1).

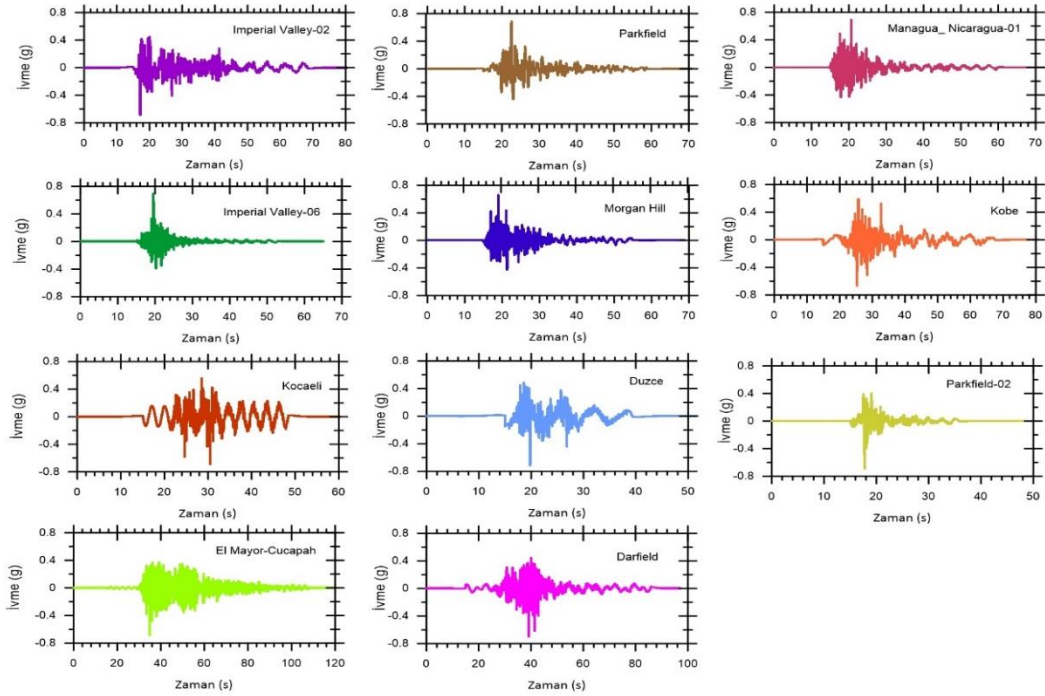


Şekil 1. Belirlenen noktalarda sondaj çalışmaları

Sakarya ilinin geçmişte büyük depremlere maruz kalması ve can, mal kayıplarının yüksek olması burada araştırmacıların incelemelerini yoğunlaştırmıştır. Sakarya ilinin alüvyon olarak 200m derinliklere kadar ulaşan bölgelerinin olduğu bilinmektedir. Şehrin önemli akarsularından olan Sakarya nehrinin geçmişte taşıdığı alüvyonlar yüzyıllar boyunca birikmiş ve şu an alüvyon üzerinde kent merkezi bulunmaktadır (Bol,2003; Güler, 2021).

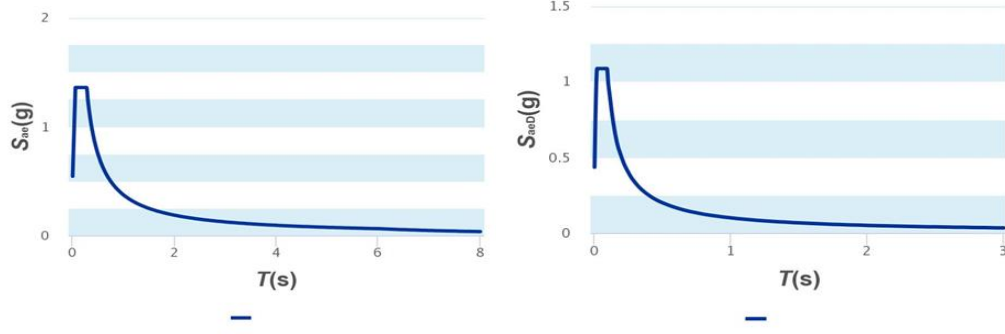
Çalışmada belirlenen noktalarda yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen numuneler UD tüpleri ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Geoteknik laboratuvarında değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Burada tanımlanan ve dinamik parametreleri elde edilen numunelerin sahaya özel zemin büyütme analizleri için verileri elde edilmiştir.

Bölgenin aktif deprem hatlarından biri üzerinde olması sebebiyle geçmişte meydana gelen bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan deprem ivme kayıtları incelenmiş ve 11 adet ivme kaydı elde edilmiştir. Deprem ivme kayıtlarının aynı zamanda anakaya ivmesi olacak şekilde ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Burada farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır. Bölgenin PGA değeri 0.689 olarak AFAD tarafından ilan edilmiştir ve aynı zamanda bölgeye ait spektral tasarım spektrumları elde edilmiştir. Ölçeklendirilen deprem ivme kayıtları Şekil 2, bölgenin spektral tasarım spektrumları Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Ölçeklendirilen deprem ivme kayıtları

## SAHAYA ÖZEL 1B ZEMİN BÜYÜTME ANALİZLERİNDE EŞDEĞER DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZLERİN KARŞILAŞTIRILMASI



Şekil 3. Yatay Elastik Tasarım Spektrumu ve Düşey Elastik Tasarım Spektrumu (Afad, 2023).

Elde edilen veriler ile Hashash vd. tarafından geliştirilen DeepSoil 7.0 programı kullanılarak sahaya özel 1B zemin büyütme analizleri yapılmıştır. Bu yazılım ile hem eşdeğer doğrusal (frekans tanım alanında) hem de doğrusal olmayan analizler (zaman tanım alanında) analizler yapılmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda Tablo 1’de gösterilen bilgiler DeepSoil programına tanımlanmış ve ardından 11 adet ölçeklenmiş deprem ivme kaydı ile zemin büyütme analizleri yapılmıştır.

Tablo 1. Analizlerde kullanılan zemin profili

Tabaka No	Tabaka	Tabaka K.(m)	Birim Ağ.(kN/m <sup>3</sup> )	Zemin Sınıfı	V <sub>s</sub> (m/s)
1	Layer-1	1.5	15.27	CH	193.08
2	Layer-2	1.5	15.27	CH	193.08
3	Layer-3	2.0	15.27	CH	193.08
4	Layer-4	2.0	15.41	CH	242.80
5	Layer-5	1.5	15.41	CH	242.80
6	Layer-6	1.5	15.41	CH	242.80
7	Layer-7	2.5	18.06	CH	262.88
8	Layer-8	2.5	18.06	CH	262.88
9	Layer-9	2.5	19.02	CH	263.00
10	Layer-10	2.5	19.02	CH	263.00

### 3. BULGULAR

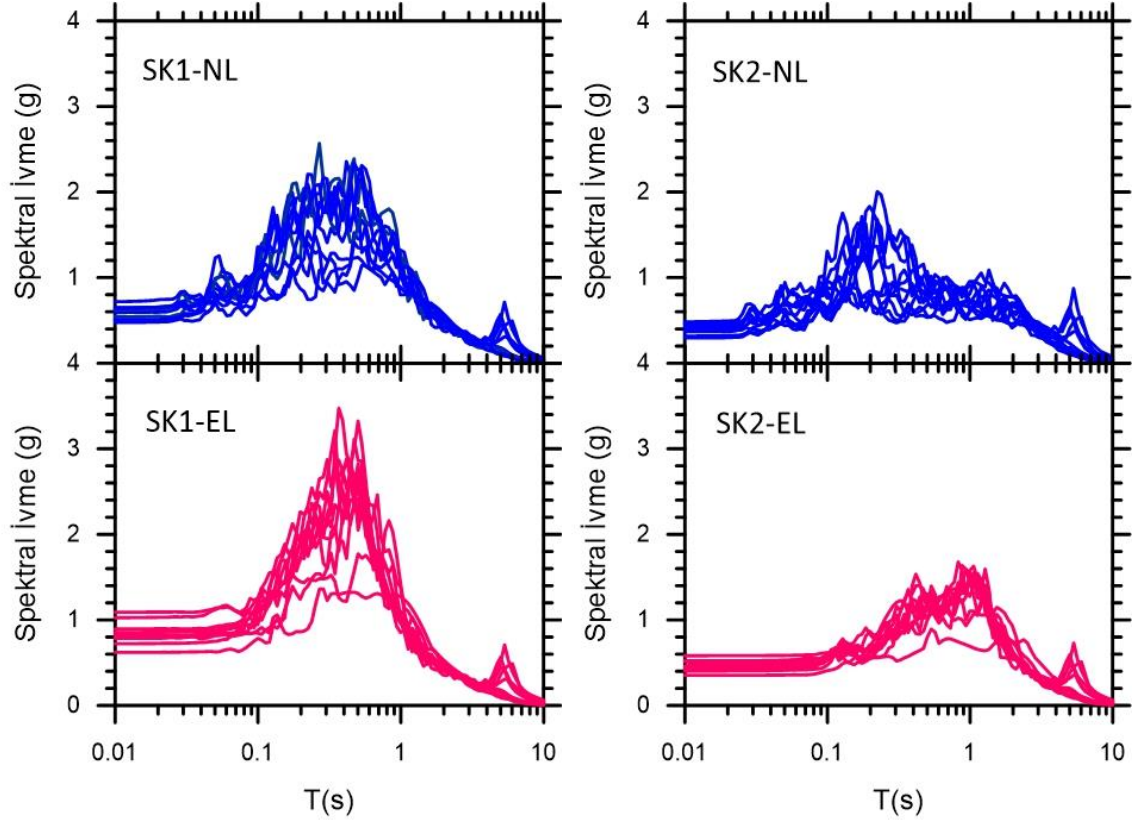
Yapılan analizler sonucunda iki adet sondaj noktasında veriler elde edilmiştir. Sahaya özel elde edilen veriler ile tanımlanan noktalar ardından frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak 11 adet deprem ivme kaydının ölçeklendirmesi sonucunda zemin büyütme analizleri elde edilmiştir. Analizlerde 1B eşdeğer doğrusal (EL) ve doğrusal olmayan (NL) analizler yapılmıştır. Zeminin dinamik özellikleri Güler ve Afacan (2023) de belirtilen yaklaşımla elde edilmiş olup tamamen örselenmemiş numune üzerinde yapılan dinamik deneylere bağlıdır.

Toplam 44 adet analiz yapılmıştır. 2 sondaj kuyusunda da yüzeyde elde edilen spektral ivme-periyot değerleri EL ve NL olarak Şekil 4’te gösterilmiştir.

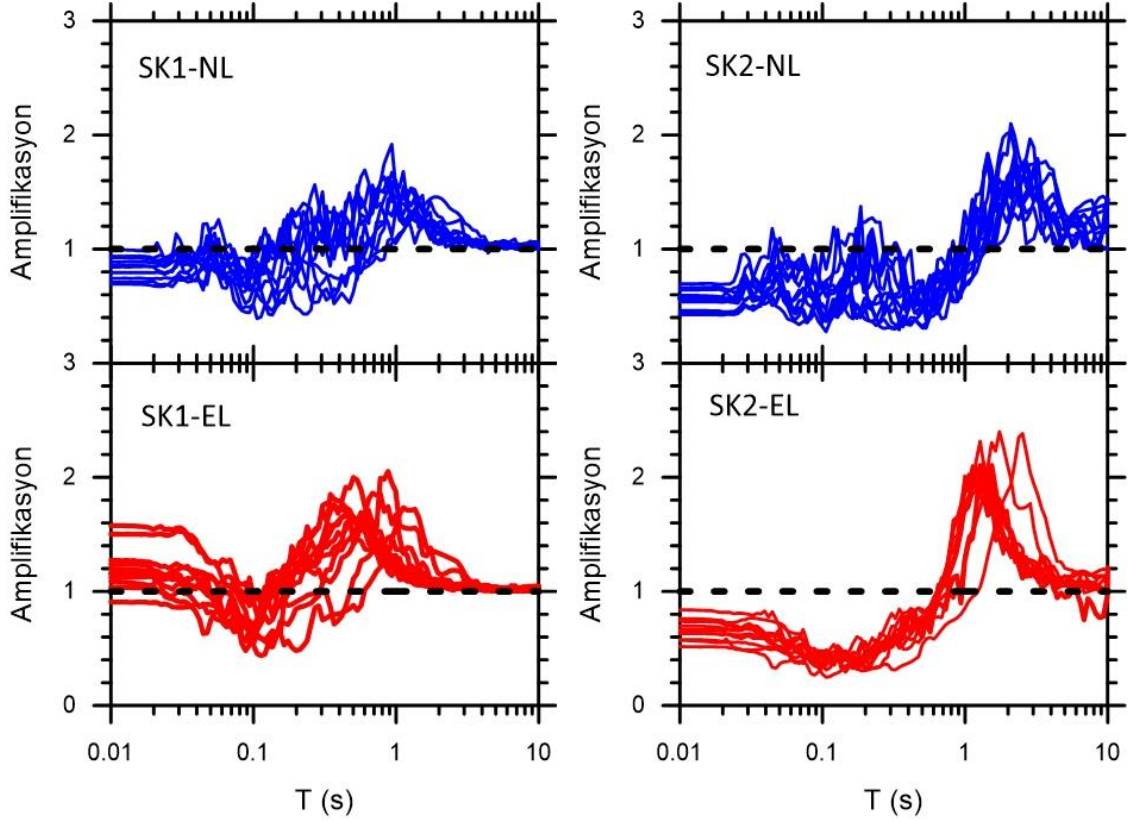
Sk-1 sondajında yapılan analizlerde, NL analiz yönteminde pik ivmeler 0.25 sn’lerde 3.2 g olarak belirlenirken, EL analizlerde 0.3 sn’de 4.0 g’ye yakın değerlerin olduğu görülmüştür.

Sk-2 sondaj logunda yapılan analizlerde, NL analiz yönteminde pik ivmeler 0.25 sn’lerde 2.0 g olarak belirlenirken, EL analizlerde 1.0 sn’de 1.6g’ye yakın değerlerin olduğu görülmüştür.

Zemin büyütme analizleri incelendiğinde, Sk-1 sondajında yapılan analizler sonucu zemin büyütme faktörü Şekil 5'te gösterilmiştir. Burada faktörün 1.0'den büyük olduğu periyot değerlerinde zemin büyütmesi meydana gelmektedir. Sk-1 sondaj noktasında NL analizde 11 adet depremin etkisi incelendiğinde, genel olarak 0.1-1.0 sn aralığında 1.8'e varan büyütme oranı olduğu ayrıca T:1.0 sn'de 2.0 olduğu görülmüştür. EL analizde ise genel trendin 0.3-2.0 sn'de yoğunlaştığı ve 2.0 oranına ulaştığı belirlenmiştir. Sk-2 sondaj noktasında NL analizde T=2.0 sn'de 2.0 oranına, EL analizlerde ise T=2.0 sn'de 2.4 oranına ulaştığı belirlenmiştir.



Şekil 4. Sk-1 ve Sk-2 sondajlarında yapılan EL ve NL spektral ivme-periyot değerleri



Şekil 5. Sk 1 ve 2 sondajlarında yapılan EL ve NL zemin büyütme (amplifikasyon) faktörü değerleri

#### 4. SONUÇLAR

Bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan 11 adet deprem ivme kaydı seçilerek ölçeklendirilmiştir. Analiz yöntemi olarak ise hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir;

- Tüm veriler DeepSoil programına tanımlanmış ve ardından eşdeğer doğrusal ve doğrusal olmayan toplam 44 adet analizler yapılmıştır.
- Frekans tanım alanında deprem ivme kayıtları ölçeklendirilmiştir.
- Çalışma yapılan EL ve NL analizler sonucunda yüzeyde oluşan spektral ivme-periyot değerleri elde edilmiştir.
- EL ve NL analizler ile zemin büyütme faktörü değerleri elde edilmiştir.

Yapılan analizler sonucunda;

- Aynı sondaj noktasında EL ve NL analizler arasında büyük farklılıklar olduğu belirlenmiştir.
- Analizlerde EL analiz sonuçlarında yüzey pik ivme değerlerinin NL analizlere göre daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.
- Sahaya özel analizlerde bu yöntemlerin kullanılarak farklılıkların görülmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

#### TEŞEKKÜR

*Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 201915A211 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.*

## **KAYNAKLAR**

Beliceli, A., (2006), "Eskişehir Yerleşim Yeri Zemin Büyütme Etkisinin Makaslama Dalga Hızına (Vs) Bağlı Olarak Belirlenmesi". Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi.

Bol, E., (2003), "Adapazarı Zeminlerinin Dinamik Özellikleri", Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.

Güler, E., (2021), "Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi ve Zemin Büyütme Analizlerinin Yapılması", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.

Güler, E., Afacan, K.B. (2023) "Combined resonant column and cyclic triaxial tests to estimate the dynamic behavior of undisturbed saturated clayey soils of Adapazarı, Turkey" *Geomechanic and Eng.* 33-3. 243-259.

Tezcan, S.S., Kaya, E., Bal, E., Özdemir, Z., (2002), "Seismic amplification at Avclar, Istanbul", *Engineering Structures*, 24, 661-667.

Ulusay, R., Aydan, Ö., (2005), "Characteristics and Geo-Engineering aspects of the 2003 Bingöl (Turkey) Earthquake", *Journal of Geodynamics*, 40, 334-346.