

# Sahaya Özel Analizlerde Farklı Periyot Değerlerindeki Zemin Büyütme Faktörlerinin Karşılaştırılması

Ersin Güler<sup>1</sup>

Kamil Bekir Afacan<sup>2</sup>

## Özet

Deprem bölgelerinde, zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışının belirlenmesi ve yapı tasarımında dikkate alınması büyük önem arz etmektedir. Bu analizler, zemin davranışını doğrusal ve doğrusal olmayan davranış açısından detaylı bir şekilde incelemektedir. Bu analizlerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle sahaya özel zemin davranış özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Zeminlerin dinamik parametrelerinin belirlenmesinde farklı deney sistemleri ile laboratuvar çalışmaları yapılmaktadır. Bu deney sistemlerinde hem kayma modülü hem de sönümleme oranı değerleri elde edilerek zemin davranışı belirlenmektedir. Bu çalışmada sahaya özel zemin büyütme analizleri (IB) olarak gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, yapı tasarımlarında önemli olan farklı periyotlardaki zemin büyütme etkileri karşılaştırılmıştır.

## 1. Giriş

Deprem bölgelerinde gerçekleştirilen saha özelindeki zemin davranış analizleri, sismik kuvvetin ana kayadan yüzeye doğru olan hareketini inceleyerek ve zemin yüzeyindeki spektral özellikleri belirlemek amacıyla yürütülmektedir.

Türkiye konumu itibariyle Arabistan ve Afrika Levhaları'nın kuzeye doğru hareketi ve Anadolu Levhası'nın batıya doğru hareketi görülmektedir. Bu nedenle önemli fay hatlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde geçmişten günümüze depremler meydana gelmiştir. Ülkede genel olarak meydana gelen önemli depremler şunlardır; Erzincan (1992),

1 Öğr.Gör.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, eguler@ogu.edu.tr, 0000-0002-5679-8838

2 Doç.Dr., Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, kafacan@ogu.edu.tr, 0000-0002-3667-4432

Kocaeli (1999), Düzce (1999), Van (2011), Elazığ (2020), Seferihisar (2020), Pazarcık (2023) ve Elbistan (2023) depremleri meydana gelmiştir. Deprem bölgelerindeki yapıların tasarımlarında zeminlerin deprem anındaki göstereceği davranışın belirlenmesi önemlidir. Deprem bölgelerinde ayrıca suya doygun alüvyon zeminlerin olması sonucunda yapıların büyük hasarlar görmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle yerel zemin koşullarının araştırılmasına sebep olmuştur.

Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda deprem bölgelerinde yüzey ivmeleri incelenmiş ve yakın bölgeler arasından büyük farklılıklar olduğu görülmüştür. Bunun zemin tabakalarındaki farklılıklardan kaynaklandığı belirlenmiştir [1]. Sahaya özel olarak yapılacak olan analizler sonucunda zeminlerin dinamik parametrelerinin belirlenmesi ve analizlerin yöntemi, kullanılacak olan deprem ivme kayıtları, ölçeklendirme yöntemi analiz sonuçlarını etkileyen önemli faktörlerdendir. Yapılan analizler sonucunda yüzeyde oluşan ivme spektrumları yapı tasarımlarda önemli bir parametredir [2].

Zeminlerin vereceği tepkilerin belirlenmesi deprem yönetmeliklerinde belirlenmiştir. Yapıların tasarımlarında yönetmeliğin önerdiği tasarım spektrumları kullanılmaktadır. Yapıların doğal titreşim periyodu belirlenerek yapıya etki edecek yatay ve düşey yükler belirlenmektedir. Yapıların tasarımlarında T:0.01s, T:0.1s, T:1.0s periyotları önemlidir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) yürürlüğe girmiş olduğu 2019 yılından itibaren her noktaya tasarım spektrumu önermektedir. Ancak araştırmacılar tarafından bu önerilen spektrumların geliştirilmesi üzerine çalışmalar devam etmektedir [3-8].

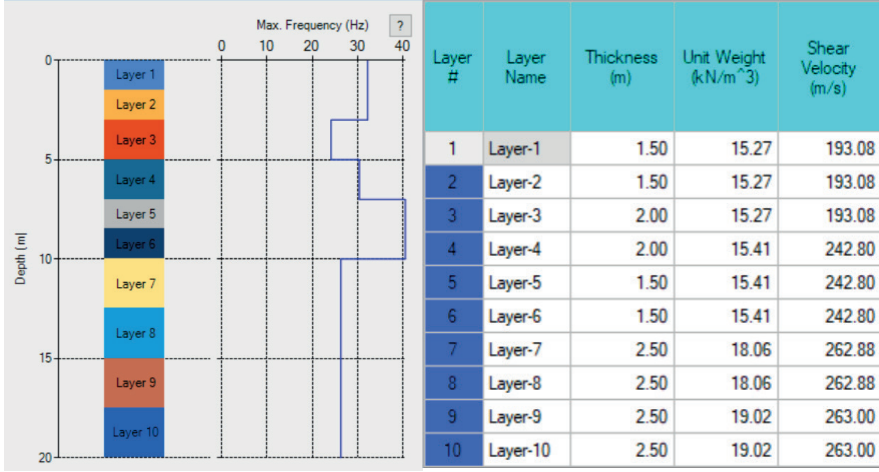
Bu çalışmada sahaya özel 1B zemin büyütme analizleri yapılmış ve ardından eşdeğer doğrusal (EL) ve doğrusal olmayan (NL) analiz sonuçları ile yapıların tasarımlarında kullanılan periyotlar üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır.

## 2. SAHAYA ÖZEL ZEMİN BÜYÜTME ANALİZİ

### 2.1. 1B Zemin Büyütme Analizi

Çalışma kapsamında Sakarya ilinden elde edilen veriler kullanılarak DeepSoil [9] programı yardımıyla (1B) zemin büyütme analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu program ile hem eşdeğer doğrusal hem de doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Bölgenin zemin tabakalarının tanımlanması ve bölgeye özel seçilen deprem ivme kayıtları ile tabakalanma boyunca ivmenin yüzeye kadar değişimi ve davranış spektrumları elde edilerek analizler

tamamlanmaktadır. PEER (Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) [10] seçilen ve bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan deprem ivme kayıtları ile analizler yapılmaktadır. (Şekil 1).

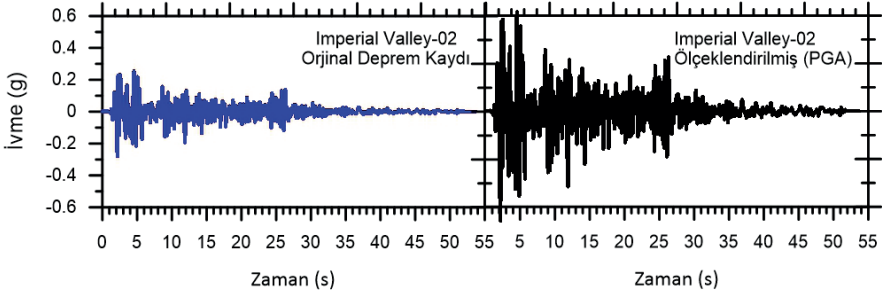


Şekil 1. Zemin bilgilerinin programa girilmesi

Sahaya özel analizlerde kullanılacak olan deprem ivme kayıtlarını bölgenin depremsellik karakteristiğine göre seçilmelidir. Seçilen deprem ivme kayıtlarının daha sonra analizlerde kullanılması için ölçeklendirilmesi gerekmektedir. TBDY 2018'e göre deprem yer hareketi ile uyumlu depremler fay uzaklıkları ve yerel zemin koşulları dikkate alınarak seçilmelidir. Bu kapsamda 11 adet deprem ivme kaydı seçilmiştir.

Seçilen deprem ivme kayıtlarının öncelikle ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Farklı yöntemler kullanılarak ölçeklendirme yapılmaktadır. Burada zaman-tanımlanma alanında yapılan basit ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu ölçeklendirme yönteminde frekans içeriği değişmeden sadece kaydın genliği değiştirilmektedir [11-12]. Araştırmacılar tarafından ölçeklendirilen depremler ile zemin büyütmesi üzerine farklı çalışmalar yapılmaktadır [13-14]. Basit ölçeklendirme yönteminin kullanılması için AFAD tarafından bölgeye önerilen PGA değeri olan 0.689g değeri kullanılmıştır.

Yapılan ölçeklendirme sonucunda deprem ivme kayıtlarında değişimler oluşmaktadır. Bu değişim Şekil 2'de gösterilmektedir. Deprem ivme kaydı basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir.

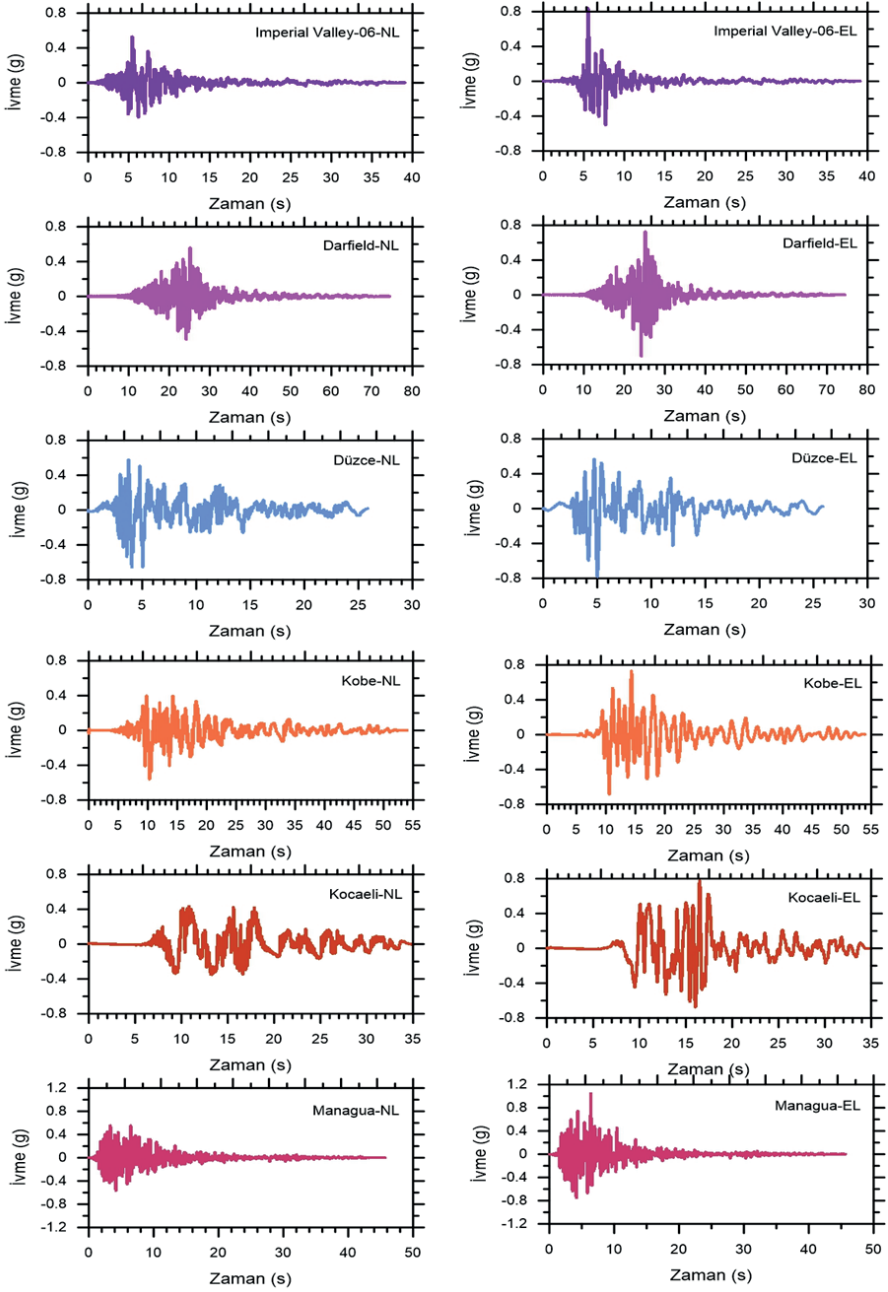


Şekil 2. Ölçeklendirme sonucunda deprem ivme kaydında meydana gelen değişim

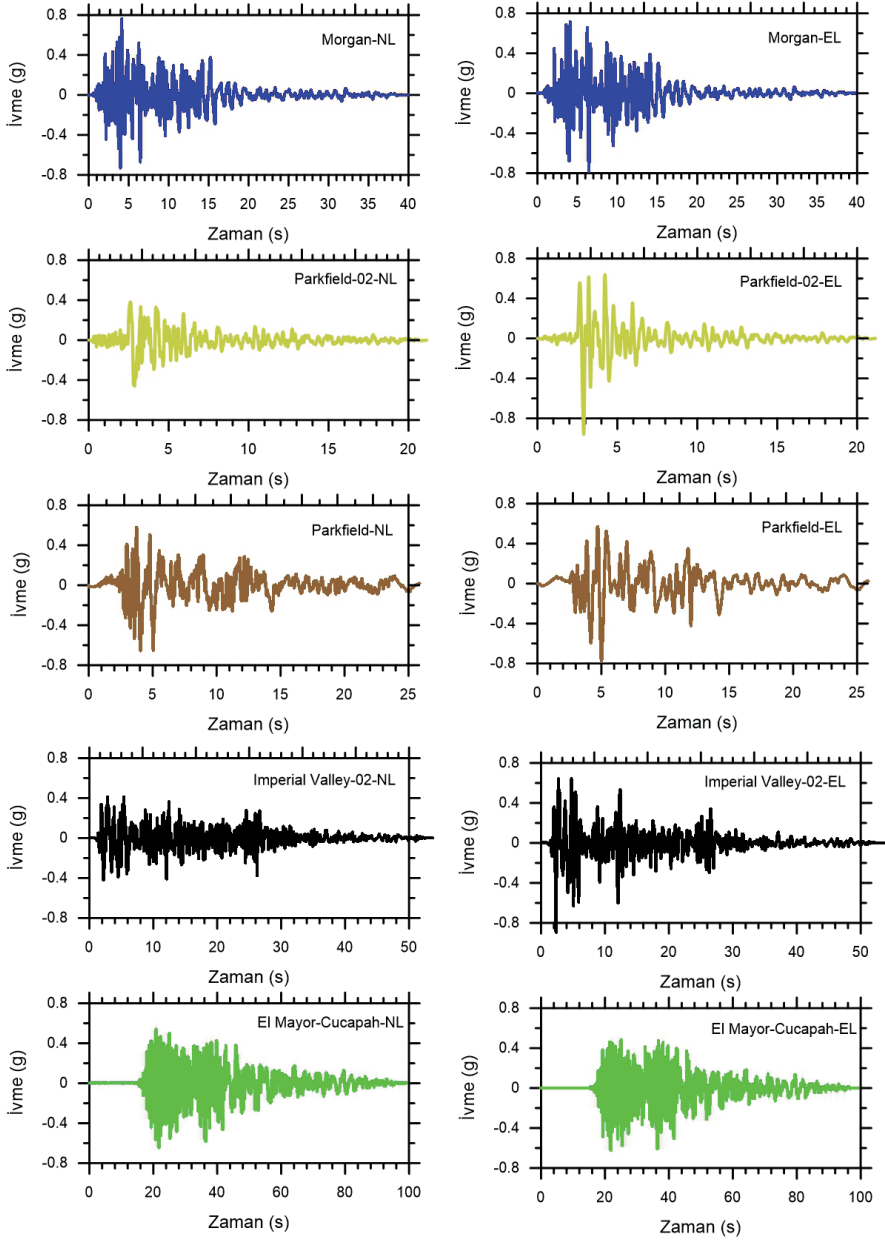
### 3.BULGULAR

Çalışma kapsamında sahaya özel elde edilen zemin parametrelerinin ardından bölgeye özel seçilen 11 adet deprem ivme kaydı ile zemin büyütme analizleri elde edilmiştir. Bu analizlerde hem eşdeğer doğrusal (EL) hem de doğrusal olmayan (NL) analiz sonuçları elde edilmiştir.

Anakayadan yüzeye doğru hareket eden deprem ivme kaydına ait yüzeydeki ivme değerleri EL ve NL analiz sonuçlarından elde edilmiş ve Şekil 3'te gösterilmiştir.

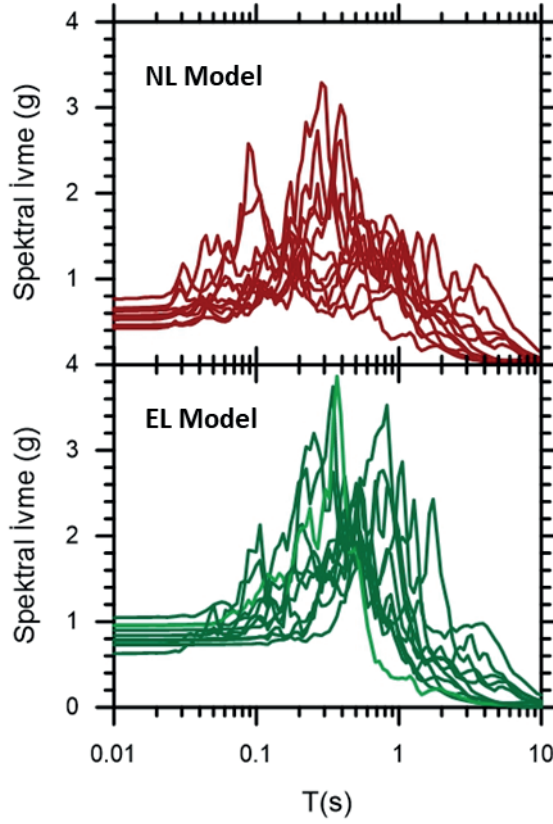


Şekil 3. Yüzeyde oluşan ivme değerleri (EL-NL)



Şekil 3. Yüzeyle oluşan ivme değerleri (EL-NL) (devam)

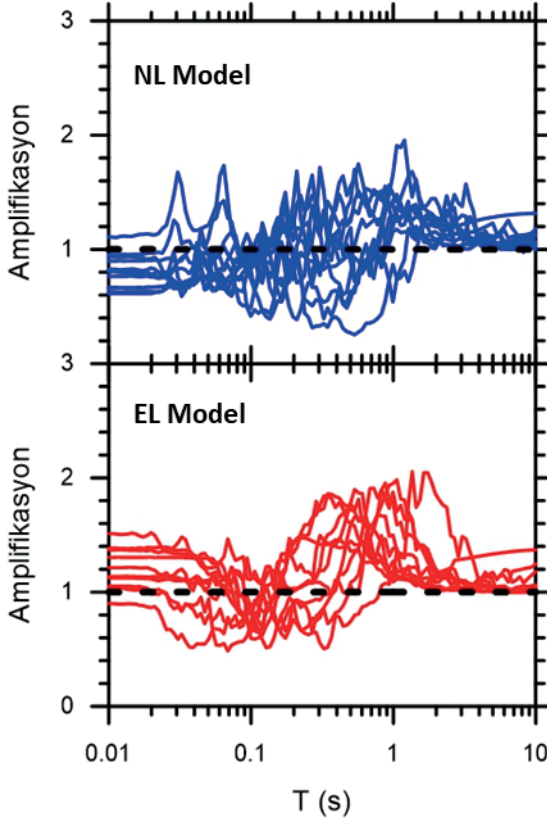
Yüzeyde oluşan spektral ivme değerleri her iki analiz yönteminde de (EL\_NL) elde edilmiş ve Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Yüzeyde oluşan spektral ivme değerleri

Analizler sonucunda NL analizler yapılarak yüzeyde oluşan pik ivmeler 0.25 sn'lerde 3.2 g olarak elde edilmiş ve EL olarak yapılan analizlerde 0.3 sn'de 4.0 g'ye varan değerler elde edilmiştir.

Zemin büyütme faktörü değerleri elde edilmiş ve Şekil 5'de her iki analiz yönteminde sonuçlar gösterilmiştir. Faktörün 1.0'dan yüksek olduğu periyotlarda zemin büyütmesi gerçekleştiğini göstermektedir. NL analiz yönteminde 0.1-1.0 sn aralığında 1.8'e kadar büyütme oranı elde edilmiştir. Ayrıca T:1.0 sn'de 2.0 olduğu belirlenmiştir. EL analiz yönteminde 0.3-2.0 sn'de toplanma olduğu ve 2.0 oranına kadar yükseldiği görülmektedir.

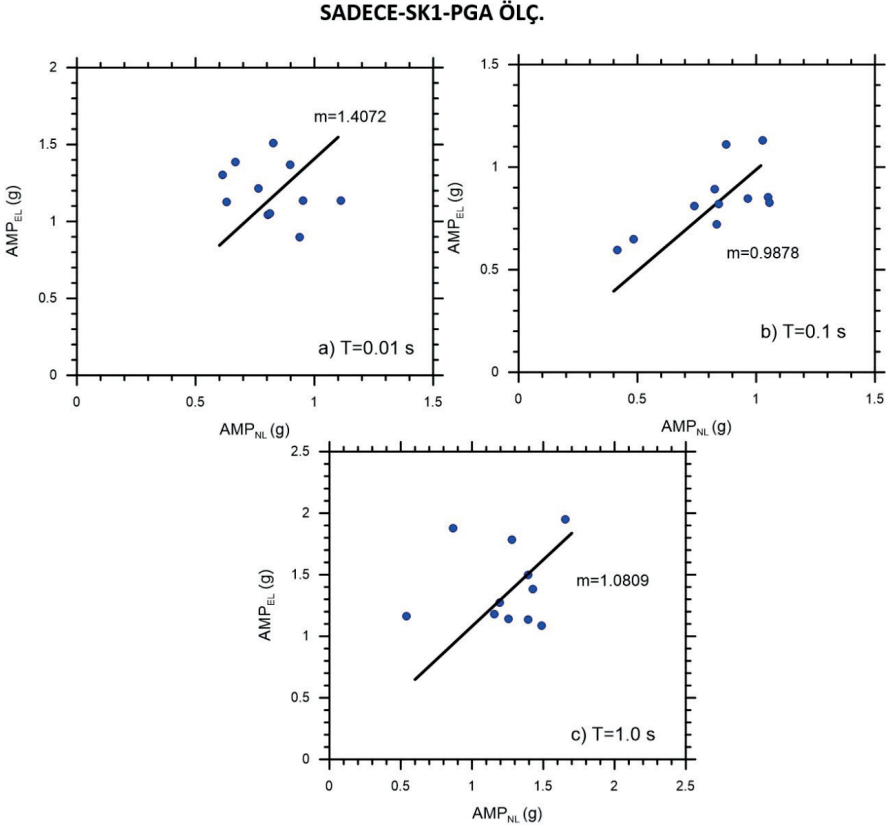


Şekil 5. Elde edilen zemin büyütme faktörü değerleri

Yapı tasarımında kullanılan ve önemli periyot değerleri olan  $T:0.01$ ,  $T:0.1$  ve  $T:1.0$  sn periyot değerlerinde (NL) ve (EL) analiz yöntemlerinde sonuçlar karşılaştırılmış ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

İncelenen üç farklı periyot değerlerinde elde edilen zemin büyütme faktörleri EL-NL olarak karşılaştırılmıştır. Şekil 6 incelendiğinde  $T:0.01$  s'de her iki analiz yöntemi sonuçları karşılaştırıldığında arasındaki bağıntıda  $m:1.4072$  benzerlik,  $T:0.1$  s'de yapılan incelemede  $m:0.9878$  benzerlik ve  $T:1.0$  s'de ise  $m:1.0809$  oranında benzerlik olduğu belirlenmiştir.





Şekil 6. Üç farklı periyot değerlerinde zemin büyütme analizlerinin karşılaştırılması

#### 4.SONUÇLAR

Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, Sakarya ilinde yapılan çalışmada sahaya özel zemin büyütme analizleri yapılmıştır. Bölgenin depremsellik karakteristiğine göre seçilen 11 adet deprem ivme kaydı basit ölçeklendirme yöntemi ile ölçeklendirilmiştir. Yapılan analizler şu şekilde özetlenebilir;

- Deepsoil programı yardımıyla yapılan 11 adet deprem ivme kaydı ile EL ve NL analizler yapılmıştır. Toplam 22 adet analiz yapılmıştır.
- Yapılan analizler sonucunda EL ve NL analizlerde yüzeyde oluşan ivme değerleri elde edilmiştir.
- Her iki analiz yöntemi karşılaştırıldığında EL analizlerin NL analizlere göre daha yüksek değerlerde olduğu belirlenmiştir.

- Zemin büyütme faktörleri incelendiğinde ise EL analizlerin NL analizlerden daha yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir.
- Çalışmada yapı tasarımında önemli olan üç periyot değeri ile analizler karşılaştırılmıştır.
- Analizler, periyot değerleri T:0.01 s ve 1.0 s'de 1.4072 ve 0.9878 oranında, T:0.1 s'de ise 1.0809 oranında benzerlik elde edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

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

## KAYNAKLAR

- Idriss, I. M., Seed, R. B. (1968) An analysis of ground motions during the 1957 San Francisco Earthquake. *Bulletin of Seismological Society of America*, 58(6), 2013-2032.
- Ansal, A., Tönük, G., Kurtuluş, A., (2011) Zemin Büyütme Analizleri ve Sahaya Özel Tasarım Depremi Özelliklerinin Belirlenmesi. *1. Turkey Earthquake Engineering and Seismology Conference*:1-8.
- Başaran, V. (2018) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY2019) Göre Afyonkarahisar İçin Deprem Yüklerinin Değerlendirilmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Sayı 18, s. 1028-1035.
- Keskin, E., Bozdoğan, K.B., (2018) 2007 ve 2018 Deprem Yönetmeliklerinin Kırklareli İli Özelinde Değerlendirilmesi, *Kırklareli University Journal of Engineering and Science*, Cilt 4, Sayı 1, s. 74-90.
- Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M.G., Arslan, M.H. (2018) Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY2018 ve TDY2007'ye göre Karşılaştırılması, *Selçuk Teknik Dergisi*, Cilt 17, Sayı 2, s. 43-58.
- Afacan, K.B., Güler, E., (2019). Yeni Deprem Yönetmeliği Performansının Zemin Büyütme Analizi ile Belirlenmesi”, *5. International Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, Ankara, Turkey, 8-11 October 2019.
- Güler, E., & Afacan, K. B. (2021). Killi Zeminlerin Sahaya Özel Doğrusal Olmayan Davranış Analizinin TBDY (2018) ile Karşılaştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 1047-1062. <https://doi.org/10.17482/uumfd.962459>
- Güler, E. (2021) Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi ve Zemin Büyütme Analizlerinin Yapılması. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü*. Doktora Tezi.
- Hashash YMA (2011) DEEPSOIL: User Manual and Tutorial. Version 5. Dept. of Civil and Environmental Engineering. Univ. of Illinois at Urbana-Champaign
- PEER. Pacific Earthquake Engineering Research.2023.
- Özdemir Z, Fahjan YM (2007) Comparison of Time and Frequency Domain Scaling of Real Accelerograms To Match Earthquake Design Spectra. *Sixth Natl Conf Earthq Eng*. 435-446.
- Fahjan YM (2008) Selection and scaling of real earthquake accelerograms to fit the Turkish design spectra. *Tek Dergi/Technical J Turkish Chamb Civ Eng*. Vol:19. 1231-1250.

- Alielahi H, Adampira M (2016) Seismic effects of two-dimensional subsurface cavity on the ground motion by BEM: Amplification patterns and engineering applications. *Int J Civ Eng*. Vol:14. 233–251. DOI:10.1007/s40999-016-0020-7.
- Rodrigues H, Furtado A, Vila-Pouca N, Varum H, Barbosa AR (2018) Seismic Assessment of a School Building in Nepal and Analysis of Retrofitting Solutions. *Int J Civ Eng*. Vol:16. 1573–1589. DOI:10.1007/s40999-018-0297-9.