

## The Effect of Soil-Structure Interaction Obtained by MATLAB Software on Earthquake Response Spectrum

<sup>1</sup>Yeşim Tümsek

<sup>1</sup>Institute of Natural Sciences, Civil Engineering Sakarya University, Turkey

### Abstract

In this study, the dynamic interaction of the soil-structure coupled system, which is forced to vibrate with earthquake ground motion, is considered as two separate systems within the superstructure and substructure approach. The dynamic behavior of the bridge pier-soil interaction model was investigated according to the behavior spectrum in which different soil conditions were taken into consideration. A solution algorithm based on the use of impedance functions in the substructure approach that will contribute to the practical engineering lives of civil engineers has been developed to create numerical analyzes. The effect of soil-structure interaction on the earthquake response spectrum was obtained with the MATLAB software created within the content of the said solution algorithm. This developed solution algorithm is important to provide practical information in engineering applications.

**Key words:** MATLAB software, solution algorithm, soil-structure interaction, response spectrum

## MATLAB Yazılımı ile Elde Edilen Zemin-Yapı Etkileşiminin Deprem Davranış Spektrumuna Etkisi

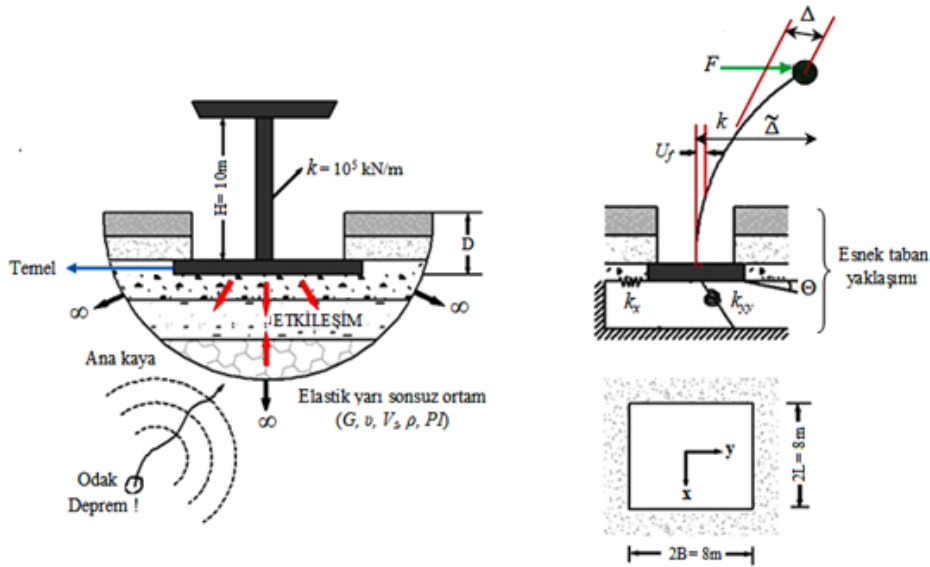
### Özet

Bu çalışmada deprem yer hareketiyle titreşime zorlanan zemin-yapı ortak sisteminin dinamik etkileşimi üstyapı ve zemin altsistem yaklaşımı içerisinde iki ayrı sistem olarak ele alınmaktadır. Köprü ayağı-zemin etkileşim modelinin dinamik davranışı farklı zemin koşullarının dikkate alındığı davranış spektrumuna göre incelenmiştir. Sayısal analizleri oluşturmak için inşaat mühendislerinin pratik mühendislik hayatlarına katkı sağlayacak altsistem yaklaşımında empedans fonksiyonlarının kullanımına dayalı bir çözüm algoritması geliştirilmiştir. Söz konusu çözüm algoritması kapsamında oluşturulan MATLAB yazılımı ile zemin-yapı etkileşiminin deprem davranış spektrumuna etkisi elde edilmiştir. Geliştirilen bu çözüm algoritması mühendislik uygulamalarında pratik bilgiler sunmak üzere önem taşımaktadır.

**Anahtar kelimeler:** MATLAB yazılımı, çözüm algoritması, zemin-yapı etkileşimi, davranış spektrumu

## 1. Giriş

Mühendislik uygulamasında, yapı temellerinin rijit ve zemine ankastre olarak bağlı kabul edildiği geleneksel hesap yönteminde yapıya etki eden deprem yükleri yapısal sönüm oranına bağlı olarak çizilen davranış spektrumları üzerinden elde edilir. Bu hesap yönteminde zemin koşullarının sistemin sönüm oranı ve periyodu üzerindeki etkileri dikkate alınmaz. Ancak bu yaklaşım büyük ölçekli masif yapıların deprem yükleri altında dinamik davranışını incelerken eksik kalmaktadır. Bu çalışmada zemin-yapı etkileşiminin sistemin dinamik parametreleri üzerinde etkisi araştırılarak zemin koşullarının söz konusu sistemin periyoduna ve sönümüne etkisi gösterilmiştir. Bu kapsamda deprem yer hareketine maruz köprü ayağı modeli örnek olarak seçilmiştir. Köprü ayağı temelene göre Şekil 1’de verilen serbest titreşim ve zorlanmış titreşim hareketi esnek taban kabulü altında incelenmiştir. Seçilen Erzincan depremin ivme spektrum eğrisi değişen dinamik parametrelere bağlı SeismoSignal programıyla elde edilmiştir [1]. Rijit taban kabulü yapılarak elde edilen spektral ivme değerleri esnek taban kabulü yapılarak elde edilen spektral ivme değerleri ile çözüm algoritması geliştirilerek MATLAB pragramlama dilinde karşılaştırılıp grafik halinde değerlendirilmiştir. Zemin koşullarında dalga yayılımı olayları ile zemin-yapı etkileşimi problemlerinin dinamik analizi için çok sayıda teorik çözüm, hesaplama modelleri [2-5] ve deneysel araçlar [6-8] bulunmaktadır. Sismik yüklere maruz kalan yapı, temel çevresindeki zeminin deformasyonundan etkilenerek dinamik özellikleri değişmektedir.

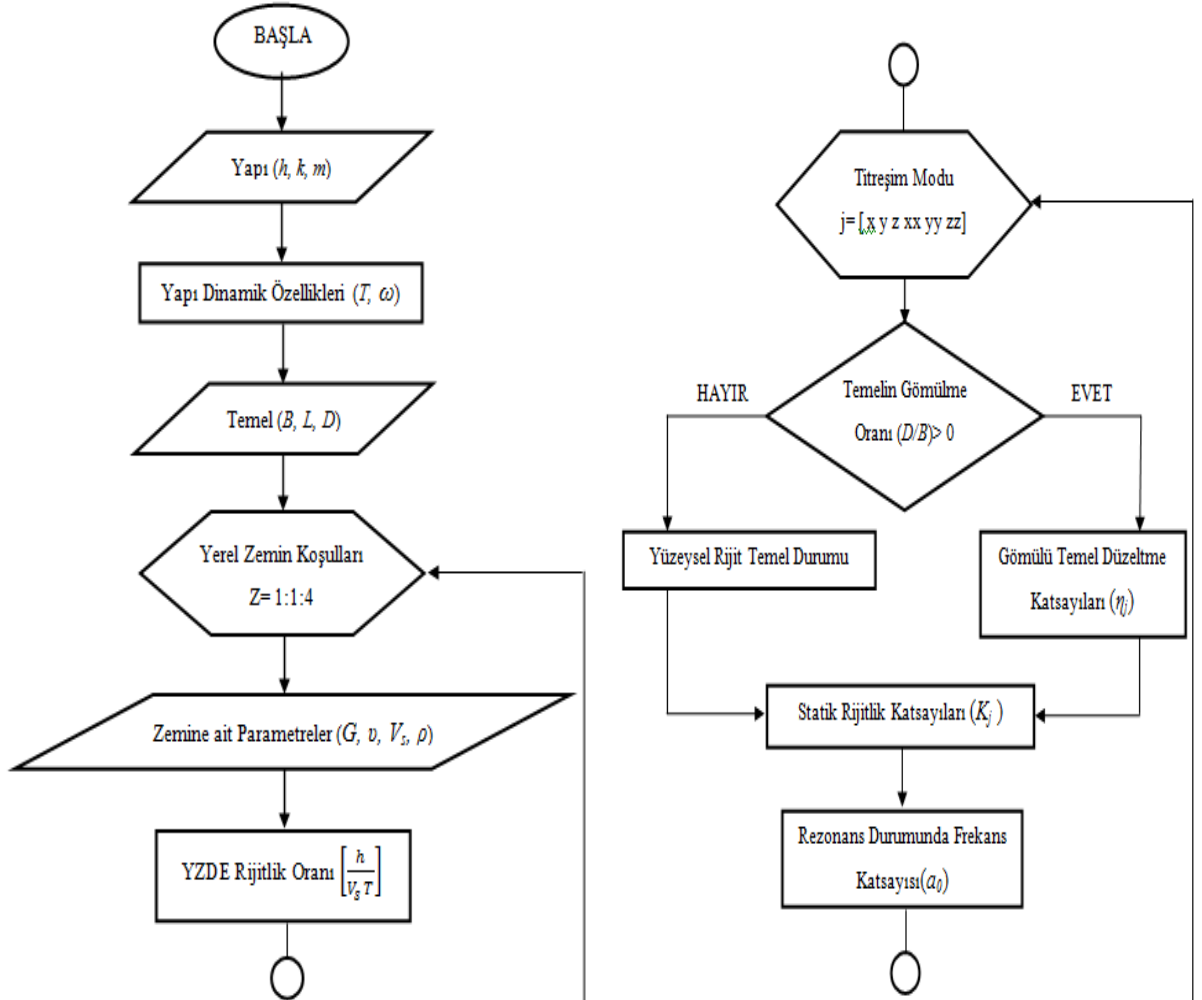


Şekil 1. Örnek köprü ayağı modelinde zemin-yapı ortak sisteminin genel yapısı

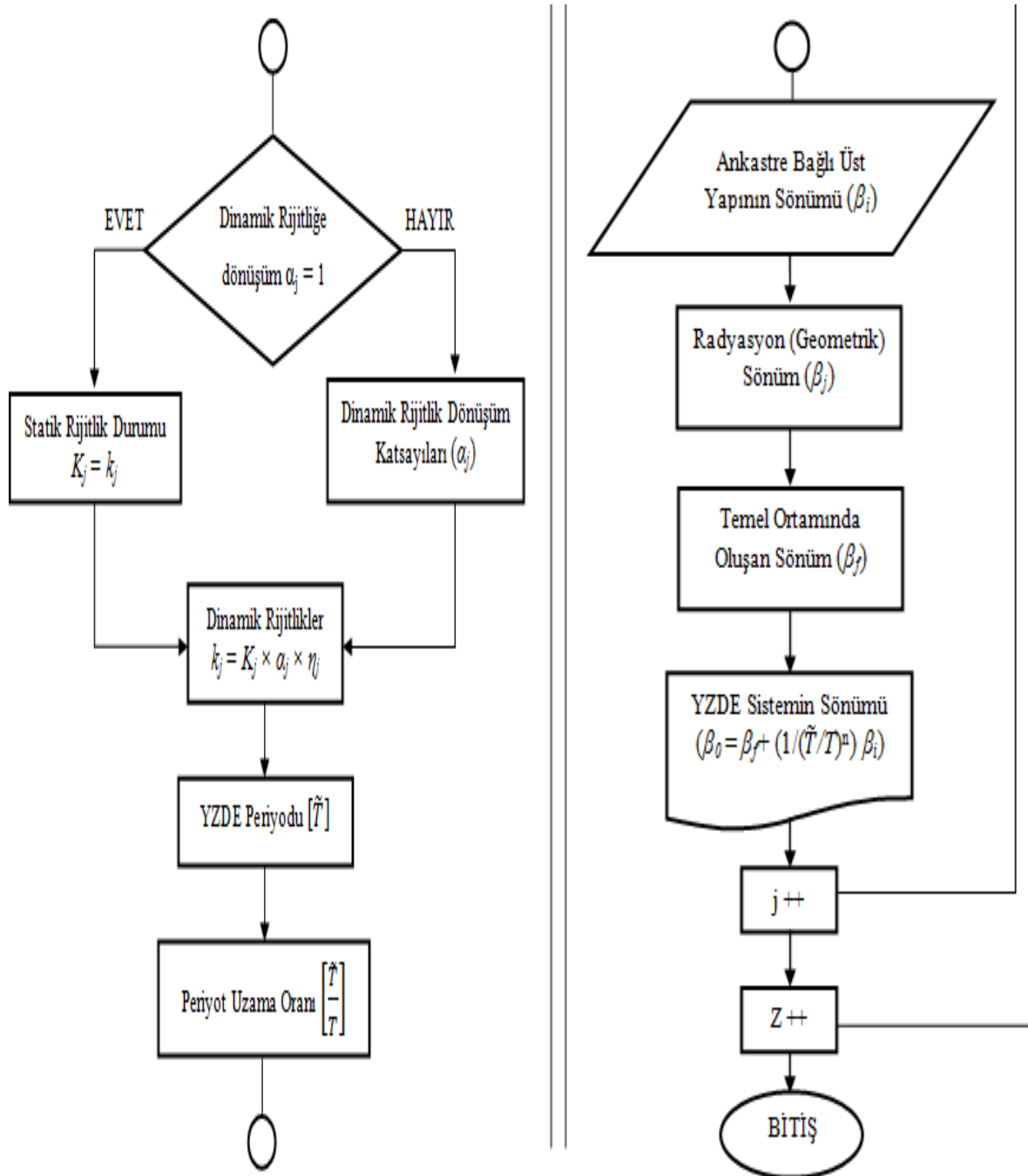
## 2. Yöntem

### 2.1. Çözüm Algoritması

Yerel zemin koşullarının yapının dinamik davranışı üzerindeki etkilerinin incelendiği zemin-yapı etkileşim problemlerinde doğrudan çözüm yöntemi [9-11] veya altsistem yaklaşımı [12-14] kullanılarak geliştirilen matematik model yapısal ve geoteknik parametrelere bağlı ele alınmaktadır. Altsistem yaklaşımı üstyapı ve zemin ortamı iki ayrı sistem olarak alınması esasına dayanırken doğrudan çözüm ise üstyapı ve zemin ortamı tek sistem olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada altsistem yaklaşımının empedans fonksiyonları ile geliştirilen çözüm algoritması üstyapı hareket denklemleri ile altyapı hareket denkleminin ayrı ayrı yazıldığı ve temel-zemin arakesitinde etkileşim kuvvetleri ile birleştirilerek ele alınmıştır [15-17]. Analiz çalışmalarında incelenen parametreler Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST GCR, 2012) raporundan alınmıştır [18]. Ayrıca mühendislik uygulamalarında programlama dili olan MATLAB için teknik notlar literatürde mevcuttur [19]. Mühendislik uygulaması olan zemin-yapı ortak sisteminin sönümünün ( $\beta_0$ ) elde edilmesinde MATLAB yazılımı kullanılarak geliştirilen çözüm algoritmasının akış şeması Şekil 2.'de verilmiştir. Akış şemasında verilen j ötelenme (x, y, z) ve dönme (xx, yy, zz) modlarını belirlemektedir.



Şekil 2. Yapı-temel-zemin ortak sistemin sönümünü hesaplayan akış şeması



Şekil 2. (Devamı)

### 3. Sayısal Uygulama ve Tartışma

Üst yapı açısından tek serbestlik dereceli sistem olarak sayısal uygulamada değerlendirilen

betonarme köprü ayağı modelinin zeminle etkileşimi altsistem yaklaşımı içerisinde empedans fonksiyonlarına bağlı analiz edilmiştir. Sayısal uygulamada kullanılan betonarme köprü ayağı modeline ait mekanik ve geometrik özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Köprü ayağı modeline ait mekanik ve geometrik özellikler

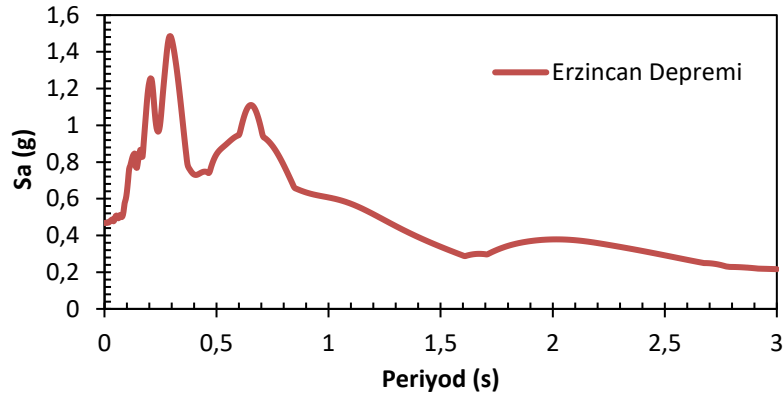
| Parametre                            | Sembol   | Birim | Büyüklik |
|--------------------------------------|----------|-------|----------|
| Yapısal ağırlık                      | W        | kN    | 500      |
| Yanal ötelenme rijitliği             | k        | kN/m  | 100000   |
| Yapının yüksekliği                   | H        | m     | 10       |
| Temel genişliğinin yarısı            | B        | m     | 4        |
| Temel uzunluğunun yarısı             | L        | m     | 4        |
| Zemine rijit bağlı sistemin periyodu | T        | s     | 0,14     |
| Açısal frekans                       | $\omega$ | rad/s | 44,74    |

Sayısal analizlerde Tablo 2’de verilen İzmit/Kocaeli bölgesine ait temel etüt raporundan alınan zemin mekanik özellikleri kullanılmıştır [20].

**Tablo 2.** İzmit/Kocaeli bölgesine ait zemin mekanik özellikleri

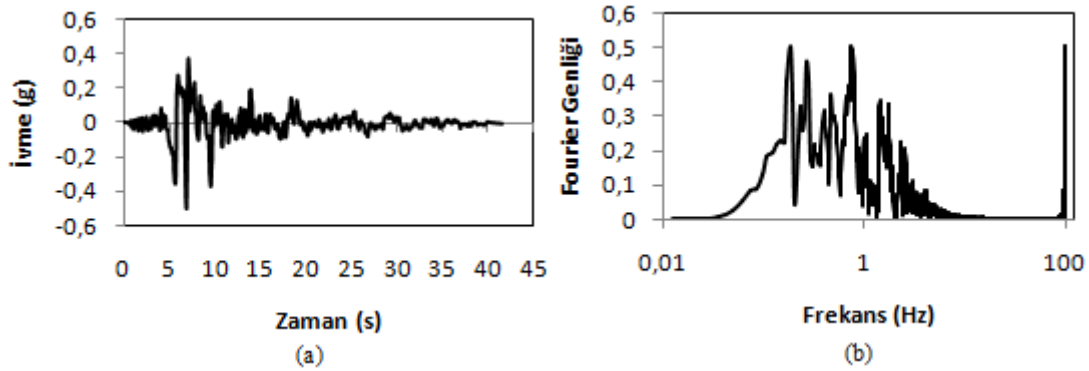
| Zemin Türü  | $\rho$<br>[kN/m <sup>3</sup> ] | G<br>[kN/m <sup>2</sup> ] | V <sub>s</sub><br>[m/s] | $\nu$ | PI<br>[%] | h <sub>1</sub><br>[m] |
|-------------|--------------------------------|---------------------------|-------------------------|-------|-----------|-----------------------|
| Gevşek kum  | 13,9                           | 16800                     | 110                     | 0,459 | -         | 4,5                   |
| Yumuşak kil | 16,4                           | 11800                     | 85                      | 0,41  | 7         | 2                     |

Yapının sismik davranışı; üstyapı, deprem kaynağı, zemin şartları ve temelin özellikleri ile ilgilidir [21]. Yerel zemin koşullarının deprem davranış spektrum eğrileri üzerindeki etkisini değişen sönüm oranına bağlı olarak göstermek için yer hareketine önemli bir etkisi olan ivme verilerinin daha büyük olduğu Erzincan deprem kaydı seçilmiştir [22]. Yapılan çalışmada Erzincan (1992) depremine ait % 5 sönüme karşı gelen ivme davranış spektrum eğrisi Şekil 3.’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Erzincan depremine ait % 5 sönüme karşı gelen ivme davranış spektrum eğrisi

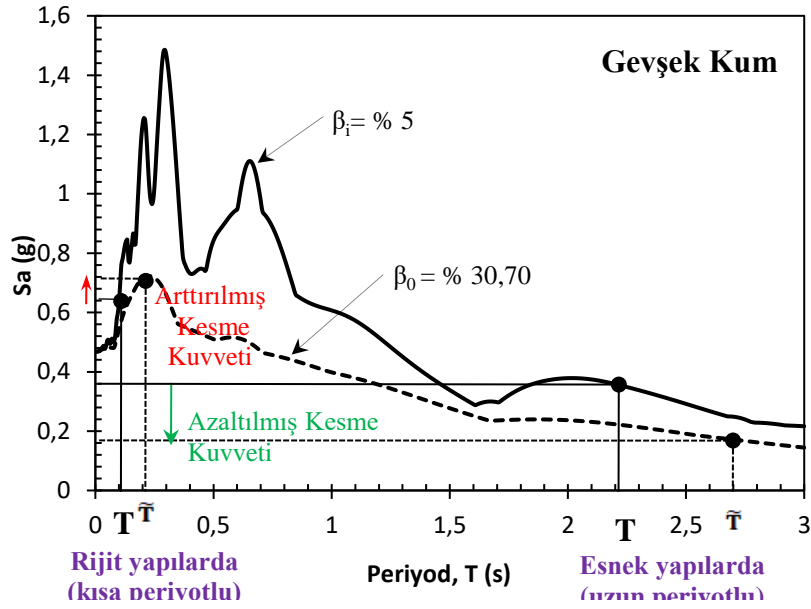
Sayısal analizlerde Erzincan depremine ait ivme-zaman ve Fourier genliği-zaman grafikleri Şekil 4.'de gösterilmiştir.



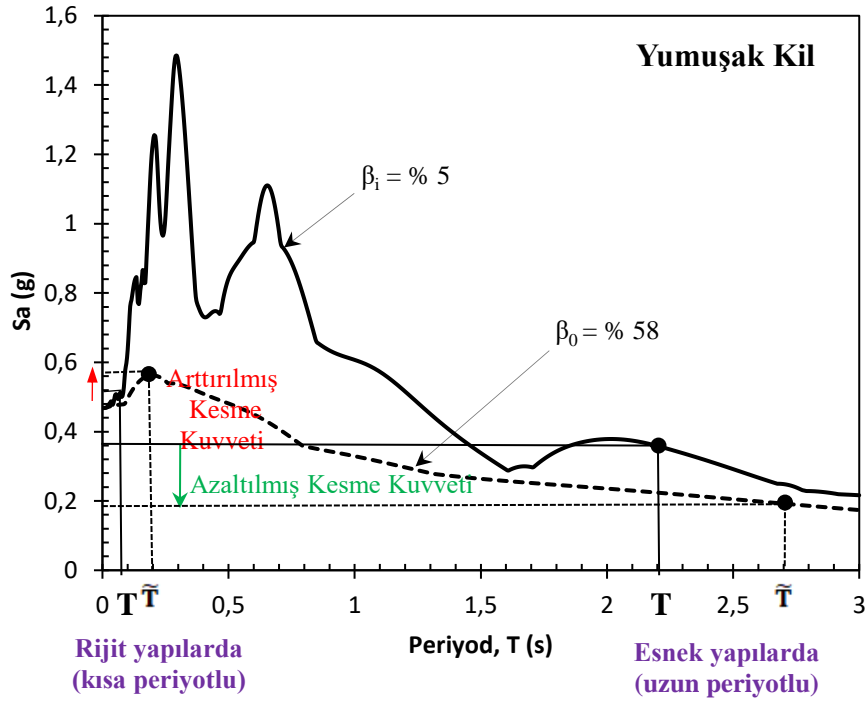
Şekil 4. Erzincan (1992) depremine ait ivme-zaman grafiği ve Fourier spektrumu

### 3.1. Zemin-Yapı Etkileşiminin Deprem Davranış Spektrumuna Etkisi

Erzincan (1992) depreminin ivme spektrumları gevşek kum ve yumuşak killi zeminler için ayrı ayrı Şekil 5. ve 6.'da gösterilmiştir. Yapı-zemin etkileşimli sistemin artan sönüm değerlerine bağlı elde edilen ivme spektrum eğrileri üzerinden kısa ve uzun periyotlu yapılarda oluşacak kesme kuvvetinin etkisi, zemine rijit bağlı sistemle karşılaştırılarak yorumlanmıştır.



Şekil 5. Erzincan (1992) depreminin gevşek kumlu zeminler için ivme spektrumunun artan sönüm değerine bağlı değişiminin rijit ve esnek yapılarda kesme kuvvetine etkisi



Şekil 6. Erzincan (1992) depreminin yumuşak killi zeminler için ivme spektrumunun artan sönüm değerine bağlı değişiminin rijit ve esnek yapılarda kesme kuvvetine etkisi

Zemin koşullarının yapısal davranış üzerindeki etkileri dikkate alınarak elde edilen sönüm değerine göre çizilmiş davranış spektrum eğrisinin pik değerleri rijit mesnetlenmiş olanlara göre azaldığı açıkça görülmektedir. Özellikle  $T < 0,5$  olduğu aralıkta  $T= 0,295$  karşı gelen pik ivme değerlerinde kumlu zemin için % 55, killi zemin için de % 64 azalma meydana gelmiştir. Aynı şekilde  $T > 0,5$  değerleri için, özellikle  $T= 0,655$ 'de gözlemlenen ivme pik değerleri kumlu zeminde % 55, killi zeminde ise % 62 azalmıştır. Kısa periyotlu yapılar için yapı-zemin etkileşimli ivme spektrum eğrisi incelendiğinde spektral değerlerde gevşek kumlu zeminde % 13 civarında bir artış gözlemlenirken, uzun periyotlu yapılarda bu değerlerde % 56 azalım meydana gelmiştir. Bu durumda, kısa periyotlu yapıların gevşek kumlu zeminle etkileşiminden dolayı kesme kuvvetinde % 13 artış beklenmektedir. Aynı durum yumuşak killi zeminle etkileşim yapıların tasarımı içinde geçerlidir. Kısa periyotlu yapılarda tasarım kesme kuvveti % 12 civarında artarken, uzun periyotlu yapılarda % 47 azalmıştır.

#### 4. Sonuçlar

Geliştirilen çözüm algoritmasıyla MATLAB yazılım ile elde edilen zemin-yapı etkileşiminin deprem davranış spektrumuna etkisi değerlendirilmiştir. Gevşek kum ve yumuşak kil zemin sınıflarına (zayıf zemin koşulları) ait eğriler incelendiğinde, bu zemin sınıflarına ait sönüm oranlarının ve periyot değerlerinin değiştiği görülmektedir. Zayıf zemin koşullarının ortak sistemin sönüm değerini önemli derecede artırarak değiştirmesinden dolayı incelenen deprem kaydının frekans içeriğine bağlı olarak deprem ivme spektrum eğrilerinde fark edilir azalmalar meydana gelmiştir. Zayıf zemin koşullarında ve depremselliği yüksek bölgelerde tasarlanacak kısa periyotlu yapıların deprem hesabında yapı-zemin dinamik etkileşimini çözüm sürecine katmak mühendislik açısından önemli bir olgu haline gelmiştir. Söz konusu çözüm algoritması kapsamında oluşturulan MATLAB kodu, zemin-yapı ortak sisteminin sönümünü dinamik rijitlik parametrelerine bağlı her türlü zemin sınıfı ve yapı türü için incelemek mümkün olmaktadır.

#### Kaynaklar

- [1] SeismoSoft, SeismoSignal 5.1.2., Computer program for earthquake engineering software solutions, 2015.
- [2] Farghaly AA, Ahmed HH, Contribution of soil-structure interaction to seismic response of buildings. KSCE J of Civ Eng, 2013, 17: 959-971.
- [3] Torabi H, Rayhani MT, Three dimensional finite element modeling of seismic soil-structure interaction in soft soil. Comput Geotech, 2014, 60: 9-19.
- [4] Coleman JL, Bolisetti C, Whittaker AS, Time-domain soil-structure interaction analysis of nuclear facilities. Nucl Eng Des, 2016, 298: 264-270.



- [5] Forcellini D, Seismic assessment of a benchmark based isolated ordinary building with soil structure interaction. *Bull Earthq Eng*, 2018, 16: 2021-2042.
- [6] Hokmabadi AS, Fatahi B, Samali B, Assessment of soil-pile-structure interaction influencing seismic response of mid-rise buildings sitting on floating pile foundations. *Comput Geotech*, 2014, 55: 172-186.
- [7] Aldaikh H, Alexander NA, Ibraim E, Oddbjomsson O, Two dimensional numerical and experimental models for the study of structure-soil-structure interaction involving three buildings. *Comput Struct*, 2015, 150: 79-91.
- [8] Hirave V, Kalyanshetti M, Seismic response of steel braced building frame considering soil structure interaction (SSI) an experimental study. *J Inst Eng India Ser A*, 2018, 99: 113-122.
- [9] Wang S, Schmid G, Dynamic structure-soil-structure interaction by FEM and BEM. *Comput Mech*, 1992, 9: 347-357.
- [10] Wolf JP, Song C, *Finite-element modeling of unbounded media*. Wiley, 1996.
- [11] Yazdchi M, Khalili N, Valliappan S, Dynamic soil-structure interaction analysis via coupled finite-element-boundary-element method. *Soil Dyn Earthq Eng*, 1999, 18: 499-517.
- [12] Gazetas G, *Foundation vibrations. Foundation Engineering Handbook*, 2nd Edition Chapter 15, H-Y Fang ed., Chapman and Hall, New York, 1991.
- [13] Stewart JP, Seed RB, Fenves GL, Seismic soil-structure interaction in buildings. I Analytical aspects, *J Geotech Geol-Env Eng*, 1999, 125: 26-37.
- [14] Mylonakis G, Nikolaou S, Gazetas G, Footings under seismic loading analysis and design issues with emphasis on bridge foundations. *Soil Dyn Earthq Eng*, 2006, 26: 824-853.
- [15] Pais A, Kausel E, Approximate formulas for dynamic stiffnesses of rigid foundations. *Dynamics and Earthquake Engineering*, 1988, Vol. 7 No. 4 pp. 213-227.
- [16] Aydınoğlu MN, *Yapı-zemin dinamik etkileşiminin genel formülasyonu ve zemine gömülü yapılar için bir altsistem yöntemi*. Doçentlik Tezi, 1981.
- [17] Apsel RJ, Luco JE, Impedance functions for foundations embedded in a layered medium: an integral equation approach. *J. Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 1987, 15, 213-231.

- [18] NIST GCR 12-917-21, Consultants joint venture; soil-structure interaction for building structures. U.S. Department of Commerce National Institute of Standards and Technology, 2012.
- [19] Galvin P, Romero A, Technical note a MATLAB toolbox for soil-structure interaction analysis with finite and boundary elements. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2014, Vol. 57, Pages 10-14.
- [20] İzmit Belediyesi, Zemin ve temel etüt raporu. Kent Konut Tuana Evleri, İzmit, Kocaeli, 2013, Rapor No 09/004.
- [21] Çağlar N, Garip ZS, Yaman ZD, Deprem etkisindeki betonarme yapılarda yapı-zemin etkileşimi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2005, 1089-1096.
- [22] PEER, Pacific earthquake research center strong motion database.