

FARKLI MALZEME ÖZELLİKLERİNE SAHİP ZEMİNLERİN BETONARME YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

THE EFFECT OF SOILS WITH DIFFERENT MATERIAL PROPERTIES ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Zekai ANGİN¹, Olguhan Şevket KARAHASAN², Sabriye Banu İKİZLER³

ÖZET

Zemin-yapı etkileşimi birçok araştırmacı tarafından incelenen başlıca konulardan biridir. Araştırmacılar bu amaç doğrultusunda deneysel ve numerik çalışmalar gerçekleştirmektedirler. Bu konuya katkı sağlamak amacıyla, bu çalışmada farklı malzeme özelliklerine sahip zeminlerin betonarme yapıların dinamik davranışı üzerindeki etkisini gözlemlemek için numerik analizler yapılmıştır. Sonlu eleman analizlerini gerçekleştirmek için ANSYS (2016) yazılım programından yararlanılmıştır. ANSYS sonlu eleman programında zemin ve yapı farklı eleman tiplerine göre modellenmiştir. Sonlu eleman modeli tamamlandıktan sonra altında farklı malzeme özelliklerine sahip zeminler bulunan yapıların dinamik karakteristikleri elde edilmiştir. Daha sonra gerilme ve yer değiştirme üzerindeki etkiyi görebilmek için deprem kaydı uygulanmıştır. Uygulanan deprem ivmesi neticesinde yapıdaki gerilmeler ve yer değiştirmeler elde edilerek farklı malzeme özelliklerine sahip zeminlerin betonarme yapıların dinamik davranışı üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ANSYS, dinamik karakteristik, deprem, sonlu eleman modelleme, zemin-yapı etkileşimi

ABSTRACT

Soil-Structure Interaction is one of the main topics examined by many researchers. The researchers apply experimental and numerical studies in accordance with this purpose. To contribute to this topic, the numeric analyses are performed to obtain the effect of soil properties on the dynamic behavior of buildings in this study. To contribute to this topic, the numeric analyses are performed to obtain the effect of soil that has different material properties on the dynamic behavior of reinforced concrete structures in this study. In this paper, finite element analyses are applied using the ANSYS (2016) software program. The soil and structure are modelled in ANSYS software program by various element types. After

¹ Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, angin@ktu.edu.tr

² Arş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, olguhan@ktu.edu.tr (Olguhan Şevket KARAHASAN)

³ Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, banuh@ktu.edu.tr

the finite element modelling are completed, the dynamic characteristics of structures are obtained. There are soils that has different material properties under these structures. Then earthquake recordings are applied to investigate the effect on stress and displacement. Thus, the effect of soils that has different material properties on the dynamic behavior of reinforced concrete structures has been observed.

Keywords: ANSYS, dynamic characteristics, earthquake, finite element modelling, Soil-Structure Interaction

1. GİRİŞ

Özellikle son yıllarda Zemin-Yapı-Etkileşimi (ZYE) yapıların dinamik özelliklerinin belirlenmesinde önemli konulardan biri haline gelmiştir. ZYE modelinin frekansı zemin esnekliğinden dolayı tek başına değerlendirilen bir yapının frekansından daha düşüktür (Bhattacharya, 2004). Bu nedenle ZYE modelinin periyodu daha yüksektir. Buradan da anlaşılacağı üzere ZYE yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesinde çok büyük öneme sahiptir. Haiyang vd., (2014) temel izolasyonlu yapıların sismik tepkisini değerlendirmede ZYE'nin etkisini belirleyebilmek için sarsma tablası deneyleri yürütmüştür. Zhang vd., (2017) küçük ölçekli bir sarsma tablası testleri yürüterek ZYE sisteminin sönümlleme özelliklerini araştırmıştır. Li vd., (2011) sıkı zemin koşullarında ZYE sisteminin sarsma tablası deney sonuçlarını ortaya koymuştur. Aynı zamanda ANSYS sonlu eleman programını kullanarak sarsma tablası deneylerinin üç boyutlu sonlu eleman analizlerini de gerçekleştirmiştir. Lu vd., (2004) ZYE sistemini sarsma tablası üzerinde test etmiştir ve test sonuçlarını ANSYS yazılımını kullanarak yapmış olduğu sonlu eleman analizleriyle detaylı olarak karşılaştırmıştır. Zhang ve Jiang (2017) yapının sismik davranışı üzerinde ZYE'nin etkisini gözlemleyebilmek için sayısal ve deneysel bir çalışma yürütmüştür. Deprem analizlerinde yapının sismik tepkisinin genel olarak zeminden kaynaklı olarak azaldığını ancak depremin büyüklüğü arttıkça zeminden kaynaklı bu etkinin zayıfladığı görülmüştür. Kamal vd., (2022) yumuşak zemin üzerine yerleştirilmiş orta ve yüksek katlı betonarme binaların sismik davranışı üzerinde zemine ankastre bağlı sistemlerin ve zemin-yapı etkileşimi, yapı-zemin-yapı etkileşiminin etkisini araştırmışlardır. Bitişik nizam binalar arasındaki derz mesafesi yetersiz ve potansiyel bir sismik hareket mevcutsa komşu binaların yapı-zemin etkileşimli olarak ve bina yüksekliği dikkate alınmadan değerlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada farklı malzeme özelliklerine sahip zeminlerin betonarme bir yapının dinamik karakteristikleri üzerinde göstereceği etkinin gözlemlenmesi amacıyla dört farklı sonlu eleman modeli kullanılmıştır. Bu amaçla oluşturulan numerik modellerde çakıllı kum, silt ve kil zemin tipleri seçilmiştir. Oluşturulan üç sonlu eleman modelinde yapı ve zemin birlikte modellenmiştir ve seçilen zemin tiplerinin özellikleri kullanılmıştır. Ayrıca diğer bir sonlu eleman modelinde zemin kullanılmayarak yalnızca üstyapı modellenmiştir ve üstyapı ankastre olarak bağlanmıştır. Gerçekleştirilen analizler neticesinde sonuçlar karşılaştırmalı olarak ortaya konmuştur.

2. NUMERİK ÖRNEK

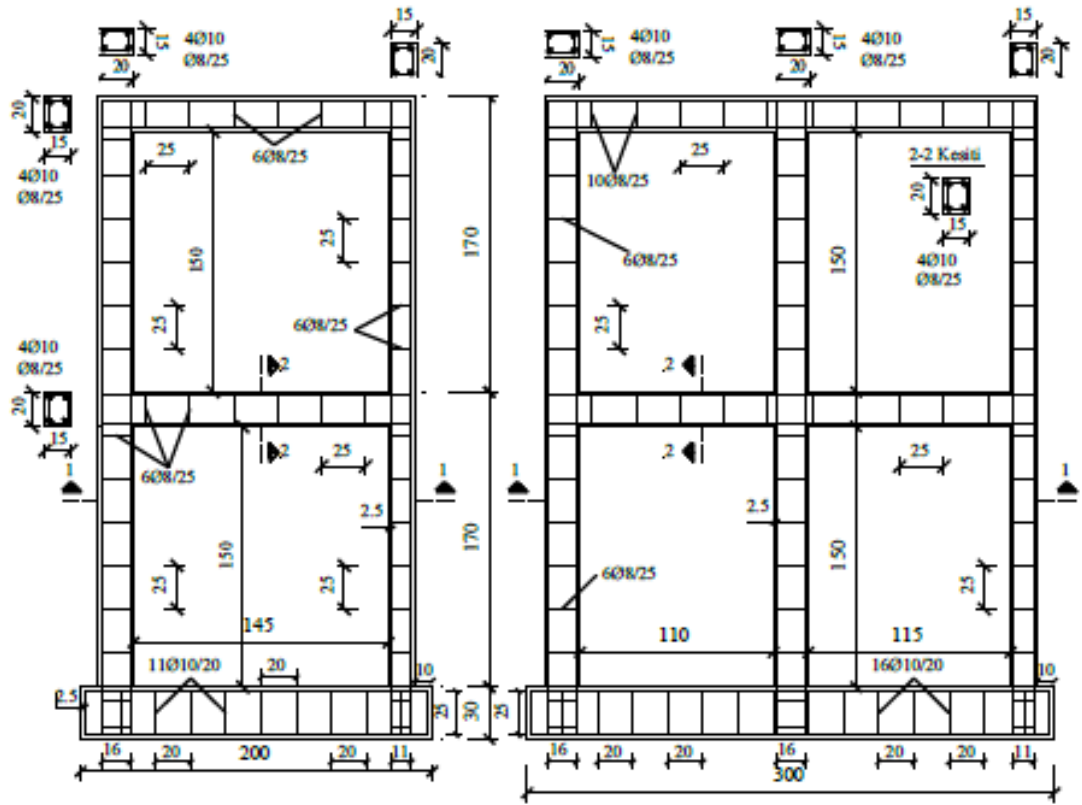
Farklı özelliklere sahip zeminlerin, betonarme yapıların dinamik karakteristikleri üzerinde göstereceği etkinin gözlemlenmesi amacıyla sonlu eleman modelleri ANSYS (2016) sonlu eleman programı kullanılarak oluşturulmuştur ve analizler gerçekleştirilmiştir. Beton ve zemini temsil etmesi için SOLID65 eleman tipi kullanılmıştır. Donatı çeliğini temsil etmesi için ise LINK180 eleman tipi kullanılmıştır. SOLID65 eleman tipi 8 düğüm noktasına sahiptir ve her bir düğüm noktası üç yönde ötelenme serbestliğine sahiptir. LINK 180 eleman tipi ise iki düğüm noktasına sahip ve her düğüm noktasında üç ötelenme serbestliğine sahip olan bir çubuk elemandır. Gerçekleştirilen numerik analizler için betonarme ve zemin elemanlarda kullanılan malzeme özellikleri Tablo 1’de (Bowles., 1997) sunulmuştur. Çakıllı kum, silt ve kil analizlerde dikkate alınan ve kullanılan zemin tipleridir. Analizlerde kullanılan sonlu eleman modeli her iki yatay doğrultuda iki açıklığa sahiptir ve iki katlıdır. Betonarme kolonlar ve kirişler 15x20 cm kesit boyutlarına sahiptir. Betonarme yapının yatay açıklıkları 140 cm ve kat yükseklikleri 170 cm’dir. Modellenen zeminin boyutları ise 7 m x 7 m x 6 m’dir. Modellenen üst yapıya ait geometrik detaylar Şekil 1’de sunulmaktadır. Betonarme yapının sonlu elemanlara ayrılmış modeli Şekil 2’de gösterilmektedir. Sonlu eleman modelleri oluşturulduktan sonra farklı özelliklere sahip zeminlerin, betonarme yapıların dinamik karakteristikleri üzerinde göstereceği etkiyi görebilmek için üç adet zemin ile birlikte modellenen üstyapı modellerine ve altında zemin modellenmeyip yalnızca ankastre mesnet koşullarıyla bağlanan üstyapı modeline modal analiz uygulanmıştır. Modal analizlerde üç mod dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Numerik analizlerde kullanılan malzeme özellikleri

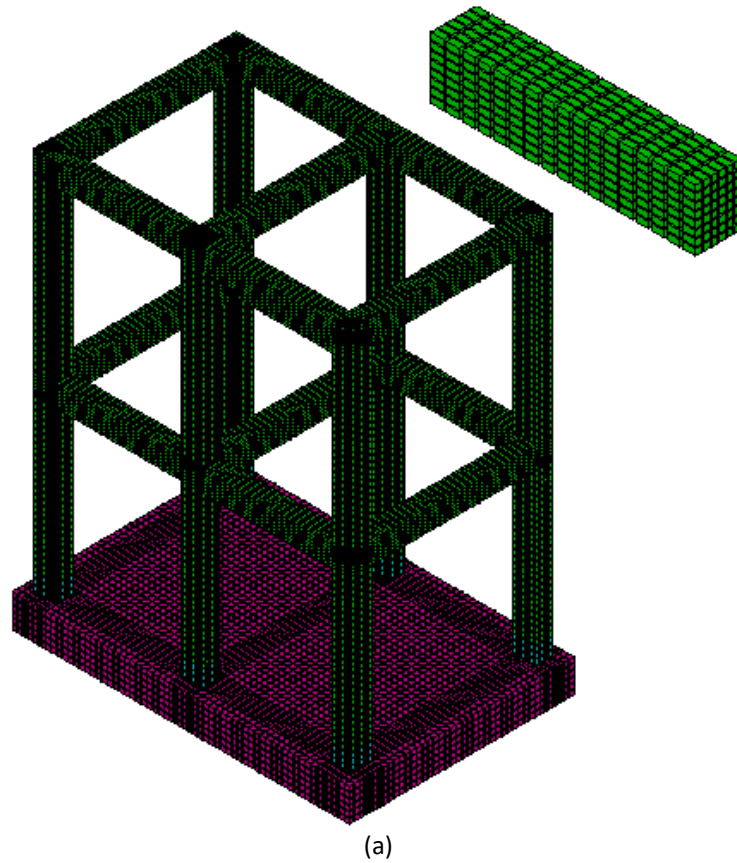
		Parametre		
		E^* (N/m ²)	D^* (kg/m ³)	P^*
Yapısal elemanlar	1. ve 2. kat kolonlar ve kirişler	1.628E10	2286	0.2
	Temel	1.88E10	2286	0.2
	Betonarme çeliği (S420)	2.1E11	7850	0.3
Zemin	Çakıllı kum (GS)	1E8	2000	0.35
	Silt (S)	1E7	1700	0.32
	Kil (C)	8E6	1650	0.45

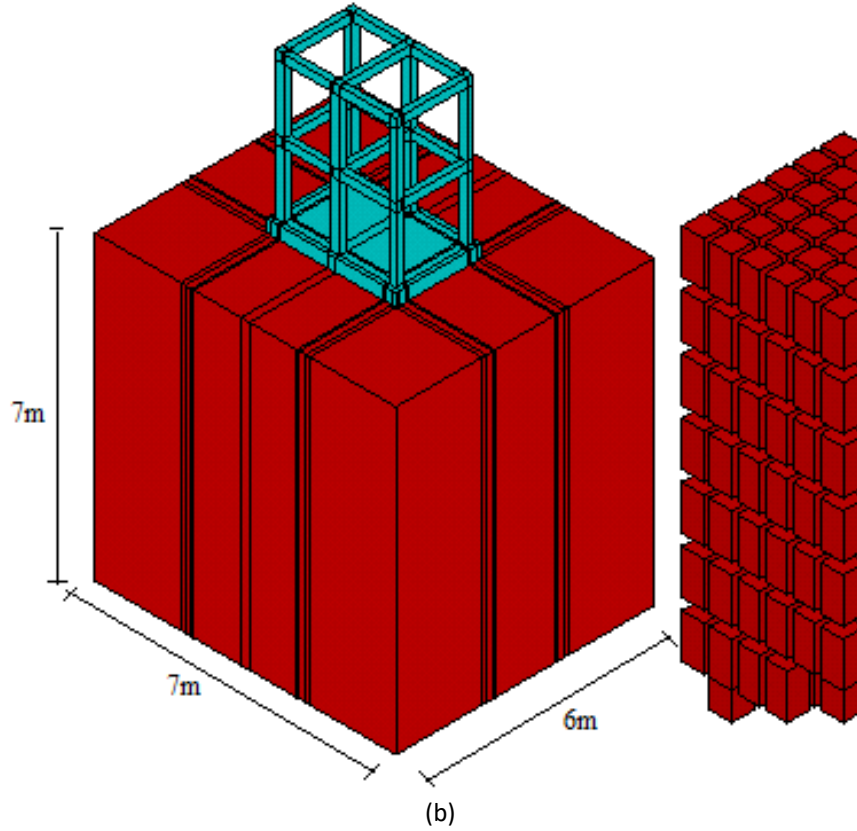
E^* : Elastisite modülü, D^* : Yoğunluk, P^* : Poisson oranı

Üstyapıda kullanılan malzeme özellikleri ve kesit boyutları ülkemizdeki genel yapı stokunu temsil etmesi amacıyla bu şekilde kullanılmıştır.



Şekil 1. Betonarme binanın çizim detayları (Birim cm'dir.)



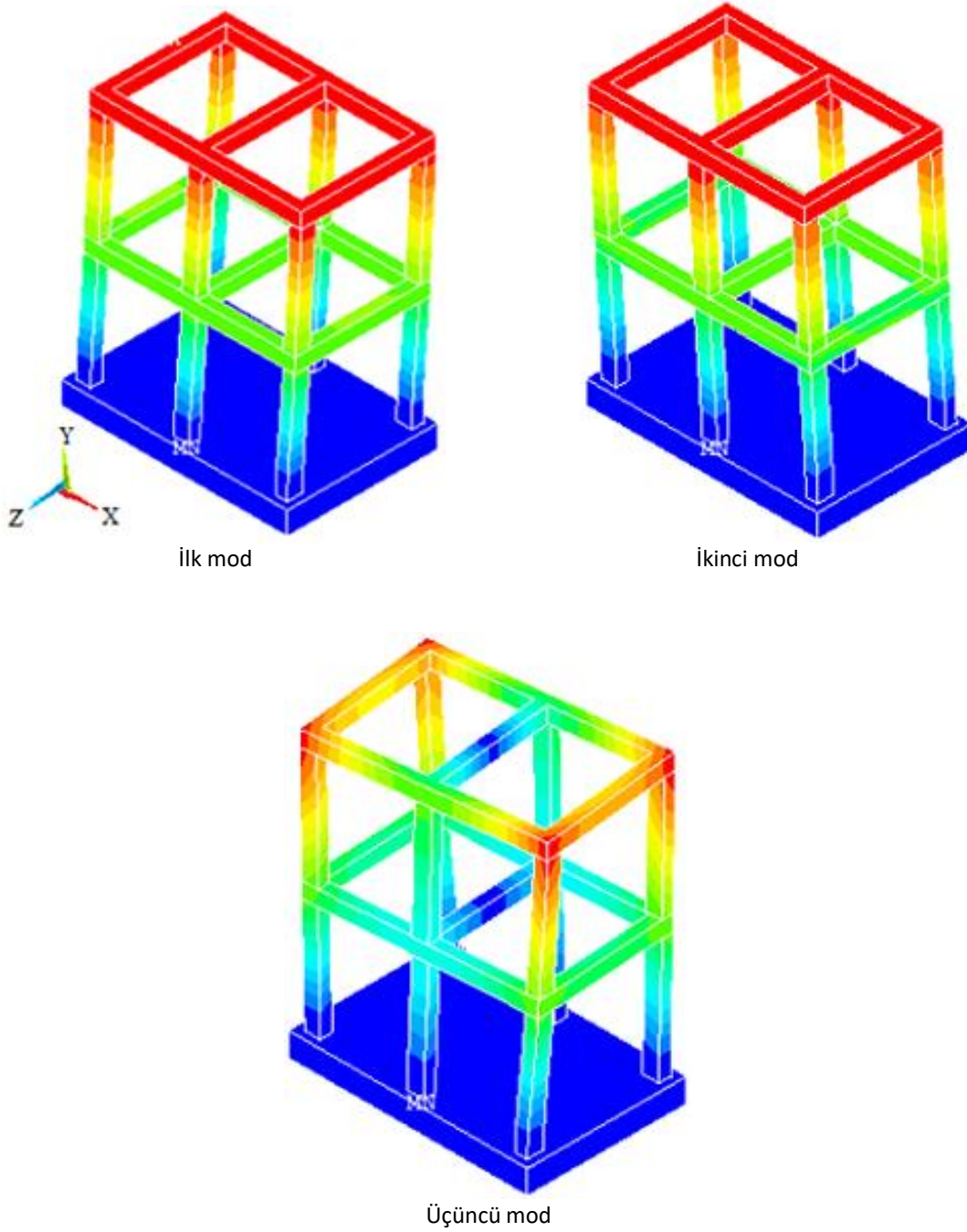


Şekil 2. Betonarme binanın sonlu eleman modeli

Modal analiz sonucu elde edilen doğal frekanslar Tablo 2’de sunulmaktadır. Ankastre mesnet ile bağlı model için belirlenen ilk üç doğal frekans sırasıyla 10.84 Hz, 12.62 Hz, 14.01 Hz. Çakıllı kum zemin modeli için belirlenen ilk üç doğal frekans sırasıyla 9.34 Hz, 10.48 Hz, 13.57 Hz. Silt zemin modeli için belirlenen ilk üç doğal frekans sırasıyla 5.80 Hz, 6.47 Hz, 8.22 Hz. Kil zemin modeli için belirlenen ilk üç doğal frekans sırasıyla 5.47 Hz, 6.06 Hz, 7.19 Hz’dir. Aynı zamanda Tablo 2’den de görüleceği üzere ankastre mesnet ile bağlı model ve çakıllı kum zemin modeli doğal frekansları arasındaki maksimum fark %16.96, ankastre mesnet ile bağlı model ve siltli zemin modeli doğal frekansları arasındaki maksimum fark %48.73, ankastre mesnet ile bağlı model ve killi zemin modeli doğal frekansları arasındaki maksimum fark %51.98’dir. Şekil 3 ankastre bağlı modelin ilk üç mod şeklini göstermektedir. Görüldüğü üzere ilk mod z yönünde, ikinci mod x yönünde ve üçüncü mod burulma şeklindedir.

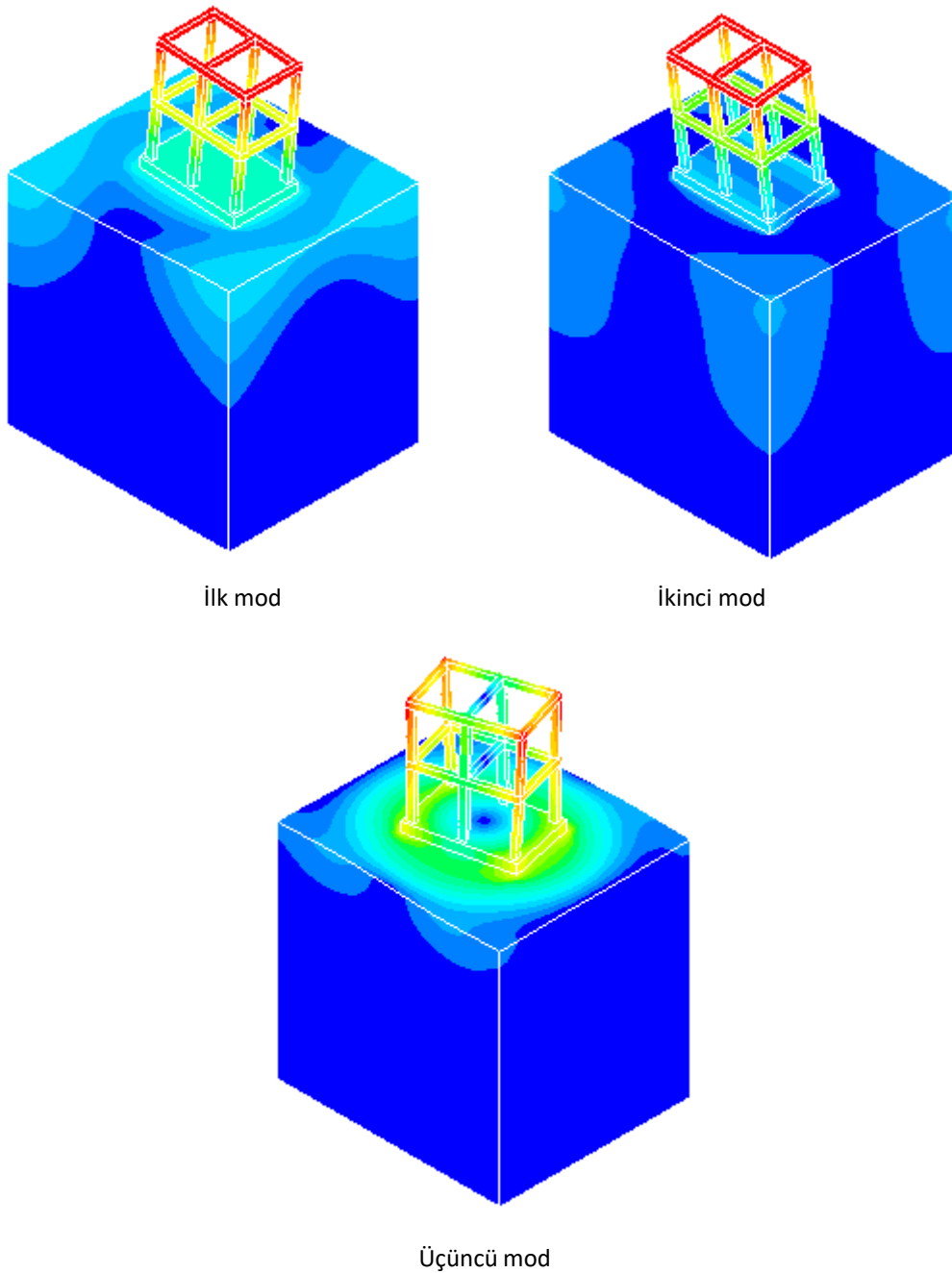
Tablo 2. Doğal frekansların karşılaştırılması

Mod Numarası	Yapı Modeli Ankastre Mesnetli	Frekans (Hz)				Farklar (%)		
		Zemin-Yapı Modeli						
		Çakıllı Kum	Silt	Kil				
1	10.84	9.34	5.80	5.47	13.84	46.49	49.54	
2	12.62	10.48	6.47	6.06	16.96	48.73	51.98	
3	14.01	13.57	8.22	7.19	3.14	41.33	48.68	



Şekil 3. Ankastre mesnet ile bağlı modelin ilk üç mod şekli

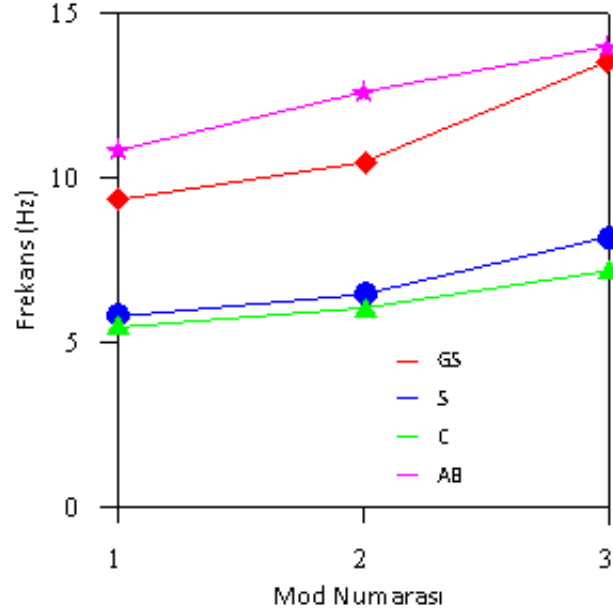
Sonuçlar incelendiğinde mod şekillerinin zemin-yapı modellerinde değişmediği gözlenmiştir. Şekil 4 zemin-yapı modellerinin mod şekillerini sunmaktadır. Ankastre bağlı model ve zemin-yapı modelleri karşılaştırıldığında doğal frekanslarda %50'ye varan oranda bir azalma belirlenmiştir. Tüm modeller için doğal frekanslardaki bu farklar Şekil 5'de sunulmaktadır. Şekil 5 incelendiğinde ankastre bağlı modelin en rijit ve en yüksek frekanslara sahip model olduğu görülmektedir. Bu modeli sırasıyla çakıllı kum zemin, silt zemin ve kil zemin modeli izlemektedir.



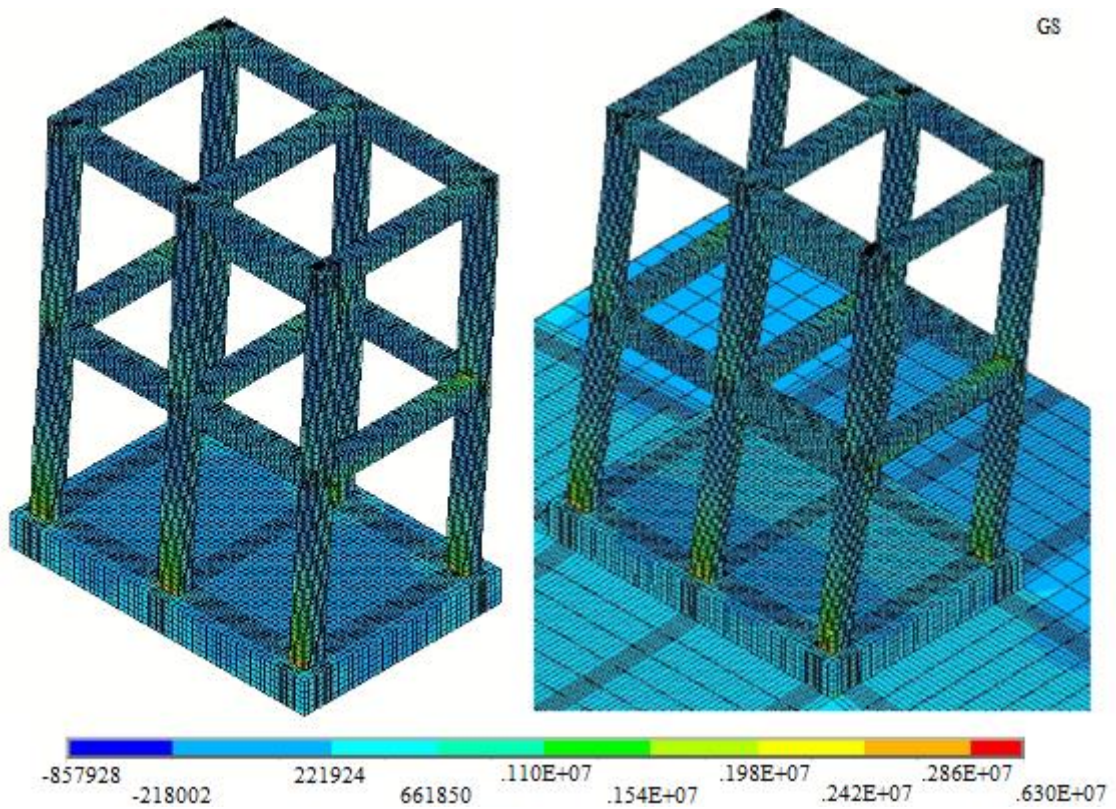
Şekil 4. Zemin-Yapı modellerinin mod şekilleri

Modal analiz sonuçları elde edildikten sonra tüm modellere yapının zayıf doğrultusunda 1992 Erzincan deprem kaydı (0.49g) uygulanmıştır. Lineer deprem analizi sonucu gerilme ve deplasman değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ankastre bağlı model için maksimum asal gerilme değeri 5.2 MPa, çakıllı kum zemin-yapı modeli için asal gerilme değeri 5.9 MPa, silt zemin-yapı modeli için asal gerilme değeri 5.7 MPa, kil zemin-yapı modeli için asal gerilme değeri 6.3 MPa'dır. Elde edilen minimum asal gerilme değerleri ise şu şekildedir; ankastre bağlı model için 0.54 MPa, çakıllı kum zemin-yapı modeli için 0.72 MPa, silt zemin-yapı modeli için 0.63 MPa, kil zemin-yapı modeli için 0.86 MPa. Maksimum yer değiştirme değerleri incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin kil zeminde ve 0.486

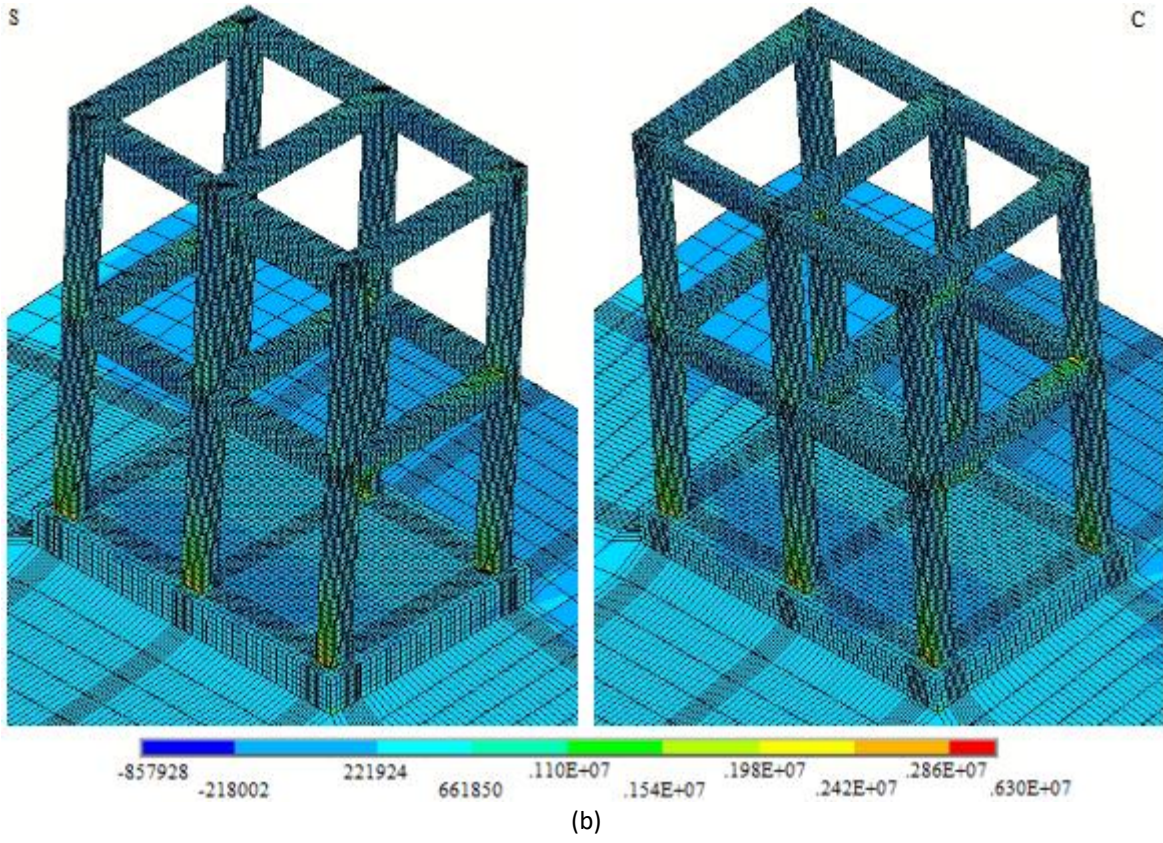
cm olduğu görülmüştür. Daha sonra sırasıyla silt zemin modelinin 0.418 cm, çakıllı kum modelinin 0.149 cm ve ankastre bağlı modelin 0.131 cm yer değiştirme yaptığı görülmüştür. Şekil 6 ve Şekil 7 sonlu eleman modellerinin maksimum ve minimum gerilme dağılışlarını göstermektedir.



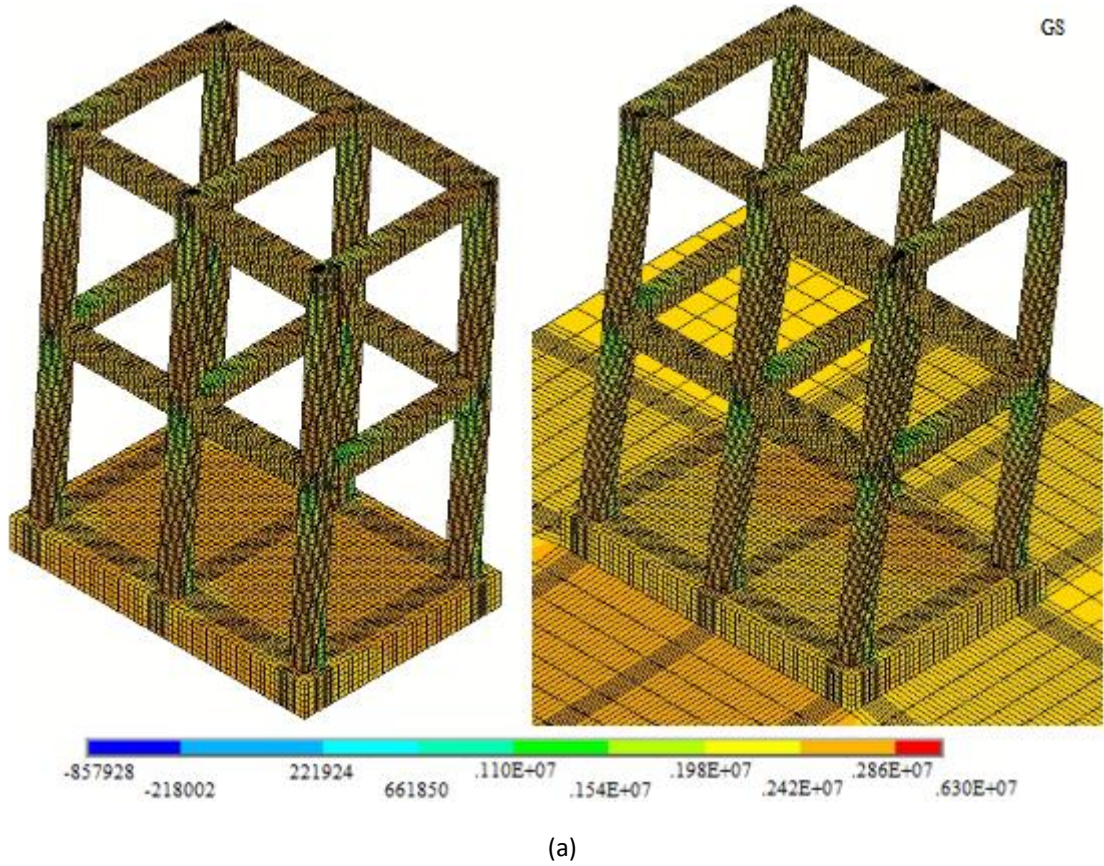
Şekil 5. Tüm modellerin ilk üç doğal frekansı



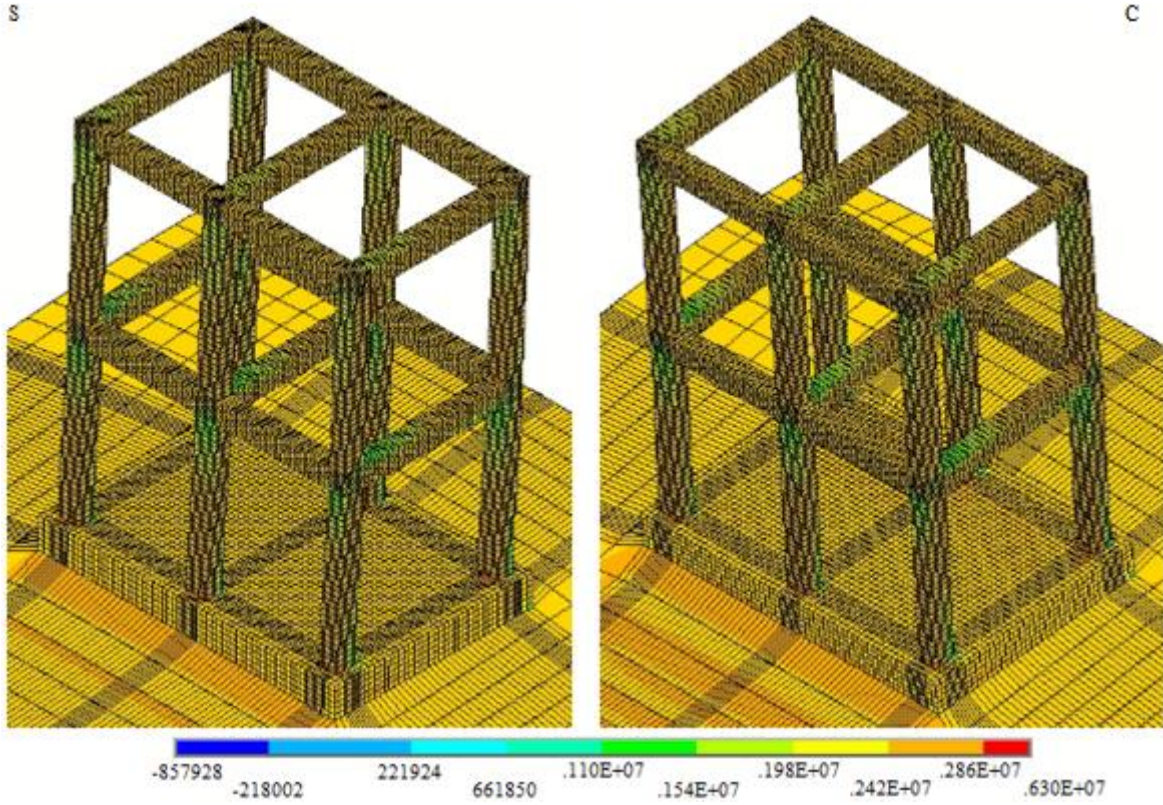
(a)



Şekil 6. Sonlu eleman modellerinin maksimum gerilme dağılışı



(a)



Şekil 7. Sonlu eleman modellerinin minimum gerilme dağılışı

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada, ankastre bağlı betonarme bina modeli ve üç farklı zemin-yapı modeli çeşitli eleman tipleri kullanılarak ANSYS (2016) sonlu eleman programında modellenmiştir. Ülkemizdeki yapı stokunu temsil etmesi amacıyla düşük beton sınıfı (16 MPa) tercih edilmiştir ve S420 tip donatı çeliği seçilmiştir. Zemin tipi olarak çakıllı kum, silt ve kil zemin seçilmiştir. Öncelikle modal analiz uygulanarak dinamik karakteristikler belirlenmiştir ve sonrasında modellerin zayıf doğrultusunda Erzincan depremi (1992) etkilmiştir. Uygulanan lineer deprem analizi neticesinde modellerin gerilme ve yer değiştirme sonuçları elde edilmiştir. Modal analizlerden ve lineer deprem analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Bu çalışmada farklı malzeme özelliklerine sahip zeminlerin betonarme yapıların dinamik karakteristikleri üzerinde göstereceği etki incelenmeye çalışılmıştır.

- Ankastre bağlı model en rijit duruma sahiptir ve bu modeli sırasıyla çakıllı kum zemin, silt zemin ve kil zemin izlemektedir.
- Tüm modellerde ilk mod z yönünde, ikinci mod x yönünde ve üçüncü mod burulma şeklindedir.
- Genlikler yapı yüksekliği boyunca beklendiği gibi artış göstermektedir.
- Ankastre mesnet ile bağlı model ve çakıllı kum zemin modeli doğal frekansları arasındaki maksimum fark %16.96, ankastre mesnet ile bağlı model ve silt zemin modeli doğal frekansları arasındaki maksimum fark %48.73, ankastre mesnet ile bağlı model ve kil zemin modeli doğal frekansları arasındaki maksimum fark %51.98'dir.

- Yapısal davranış zemin ile birlikte değerlendirildiğinde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmektedir.
- Ankastre bağlı model için maksimum asal gerilme değeri 5.2 MPa, çakıllı kum zemin-yapı modeli için asal gerilme değeri 5.9 MPa, silt zemin-yapı modeli için asal gerilme değeri 5.7 MPa, kil zemin-yapı modeli için asal gerilme değeri 6.3 MPa'dır.
- Minimum asal gerilme değerleri; ankastre bağlı model için 0.54 MPa, çakıllı kum zemin-yapı modeli için 0.72 MPa, silt zemin-yapı modeli için 0.63 MPa, kil zemin-yapı modeli için 0.86 MPa'dır.
- Maksimum yer değiştirme değerleri kil zemin modelinde 0.486 cm, silt zemin modelinde 0.418 cm, çakıllı kum zemin modelinde 0.149 cm ve ankastre bağlı modelde 0.131 cm'dir.

KAYNAKLAR

- ANSYS. (2016). Swanson Analysis System, Pennsylvania, USA.
- Bhattacharya, K. ve Sekhar C. D. (2004), "Assessing Lateral Period of Building Frames Incorporating Soil Flexibility", Journal of Sound and Vibration, Vol 269, 795-821.
- Bowles E. J. (1997), "Foundation Analysis and Design", 5th edn. Peoria, Illinois.
- Haiyang, Z., Xu, Y., Chao, Z. ve Dandan J. (2014), "Shaking Table Tests for the Seismic Response of a Base-Isolated Structure with the SSI Effect", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 67, 208-218.
- Li, P., Zhao, P. ve Lu, X. (2011), "Parameter Identification and Analysis of Shaking Table Tests on SSI System", Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol 10, 421-428.
- Lu, X., Li, P., Chen, Y. ve Chen, B. (2004), "Shaking Table Model Testing on Dynamic Soil-Structure Interaction System", 13th World Conference on Earthquake Engineering (WCEE), Vancouver, Canada, 1-6.
- Zhang, Z., Wei, H. ve Qin, X. (2017), "Experimental Study on Damping Characteristics of Soil-Structure Interaction System Based on Shaking Table Test", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 98, 183-190.
- Zhang, C. ve Jiang, N. (2017), "Effects of Equipment-Structure-Soil Interaction on Seismic Response of Equipment and Structure via Real-Time Dynamic Substructuring Shaking Table Testing", Shock and Vibration, 1-13.
- Kamal, M., Inel, M. ve Cayci B.T. (2022), "Seismic Behavior of Mid-rise Reinforced Concrete Adjacent Buildings Considering Soil-Structure Interaction", Journal of Building Engineering, Vol 51, 1-20.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
GS	Çakıllı kum	E	Elastisite Modülü
S	Silt	D	Yoğunluk
C	Kil	P	Poisson oranı

