T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

FARKLI NARİNLİK ORANLARINA SAHİP YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN VE TEMEL GÖMÜLME DERİNLİĞİNİN ETKİSİ

DOKTORA

Dilek KAYA

KASIM-2025
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

FARKLI NARİNLİK ORANLARINA SAHİP YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN VE TEMEL GÖMÜLME DERİNLİĞİNİN ETKİSİ

THE EFFECT OF SOIL PROPERTIES AND FOUNDATION EMBEDMENT DEPTH ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF STRUCTURES WITH DIFFERENT ASPECT RATIOS

DOKTORA

Dilek KAYA

KASIM-2025
GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

FARKLI NARİNLİK ORANLARINA SAHİP YAPILARIN DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN VE TEMEL GÖMÜLME DERİNLİĞİNİN ETKİSİ

THE EFFECT OF SOIL PROPERTIES AND FOUNDATION EMBEDMENT DEPTH ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF STRUCTURES WITH DIFFERENT ASPECT RATIOS

DOKTORA

Dilek KAYA

Danışman: Prof. Dr. Tufan ÇAKIR

KASIM-2025
GÜMÜŞHANE

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Doktora Tezi olarak hazırlamış olduğum "**Farklı Narinlik Oranlarına Sahip Yapıların Dinamik Davranışı Üzerinde Zemin Özelliklerinin ve Temel Gömülme Derinliğinin Etkisi**" isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirtiğimi ve Gümüşhane Üniversitesi'nin lisanslı kullanıcısı olduğu intihal yazılım programı ile Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlediği kıstaslara uygun olarak raporladığımı taahhüt ederim. Tezimin kâğıt ve elektronik kopyalarının Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü arşivinde saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim.

14/11/2025

…….

Dilek KAYA

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bilgi, deneyim ve rehberliğiyle bana yol gösteren ve her aşamada destek olan değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Tufan ÇAKIR'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Kendisi gerçekten hayatımda tanıdığım en iyi hocalardan biri ve bana çalışma süreci dışında da gösterdiği tutum ve davranışlarıyla örnek olması sebebiyle ayrıca minnetlerimi sunuyorum. Çalışmalarım boyunca bilgi, birikim ve deneyimi ile katkıda bulunan, her zaman bana yapıcı geri bildirimlerde bulunan ve motive eden Dr. Öğr. Üyesi Kaşif Furkan ÖZTÜRK'e, araştırma ve çalışma sürecinde her soruma cevap veren ve fikirleriyle bana katkı sağlayan değerli hocam Doç. Dr. Onur ARAZ'a teşekkür ederim.

Çalışmanın analiz süreçlerinde bilgisayar laboratuvarları konusunda bana yardımcı olan Gümüşhane Meslek Yüksekokulu Müdürlüğü'ne ve Yazılım Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ayrıca teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi bu zorlu süreçte de benden desteklerini esirgemeyen başta sevgili eşim Selahattin KAYA'ya ve babam Ayhan ÖZDEMİR, annem Sultan ÖZDEMİR, kardeşlerim Demet AKÇAY, Ali ÖZDEMİR ve Huri ÖZDEMİR'e sonsuz teşekkür ederim. Onların sabrı, sevgisi ve teşviki olmadan bu çalışmayı tamamlamam mümkün olmazdı.

Son olarak, çalışmamın her aşamasında yanımda olan, anlayışları ve destekleriyle güç veren arkadaşlarım başta Öğr. Gör. Pelin SAKIZ, Arş. Gör. Dr. Büşranur YAPRAK ve Arş. Gör. Mehmet Ali KÜÇÜK olmak üzere Dr. Öğr. Üyesi Pınar BOZBEYOĞLU, Dr. Öğr. Üyesi Pınar CELEN ve Öğr. Gör. Özgül DEMİRAĞ'a teşekkür ederim.

Dilek KAYA

GÜMÜŞHANE – 2025

ÖZET

Zemin-yapı etkileşimi (ZYE), sismik performansın özellikle zemin koşullarına bağlı olduğu yüksek binalar, barajlar, köprüler, nükleer santraller, silolar, bacalar ve su depoları için kritik öneme sahiptir. Ayrıca gömülü yapılarda, gömülme; zemin-yapı sisteminin periyodunu, rijitliğini, sönüm kapasitesini ve tepkilerini değiştirebilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; ZYE dikkate alınarak yapıların dinamik davranışı üzerinde narinlik oranının (2, 4 ve 6), zemin koşullarının, temel gömülme oranının (0, 0.5, 1 ve 1.5) ve deprem frekans içeriğinin (2 yüksek, 2 orta ve 2 düşük) tesirlerini irdelemektir. Bu amaçla, zemin-yapı sistemlerinin sonlu eleman modelleri oluşturulmuş ve bu modellerin kullanılabilirliği altsistem yaklaşımları vasıtasıyla gösterilmiştir. Sismik çözümlemeler gerçekleştirilmiş ve rölatif yer değiştirmeler, göreli kat ötelemeleri, gerilmeler ve ivmeler irdelenmiştir. Narinlik oranının artmasının ve yumuşak zemin koşullarının periyotları uzattığı ve yer değiştirmeler ile göreli kat ötelemelerini belirgin bir şekilde artırdığı görülmüştür. Gömülme oranının artmasıyla, yer değiştirme ve gerilmelerde genel olarak azalma gözlenmiştir. Zeminin yumuşamasıyla iç kuvvet tepkilerinin her zaman azalma eğiliminde olmadığı ve birçok parametrenin birleşik etkisi nedeniyle zemin yumuşamasının iç kuvvet tepkilerini artırma potansiyeline de sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, sismik davranışın bir tek parametre tarafından kontrol edilemeyeceğini ve zemin türü, deprem frekans içeriği, gömülme oranı ve narinlik oranı arasındaki karşılıklı etkileşimin tepkiler üzerinde beklentilerin aksine etkiler yaratabileceğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem frekans içeriği, Dinamik davranış, Narinlik oranı, Temel gömülme oranı, Zemin-yapı etkileşimi

SUMMARY

Soil-structure interaction (SSI) is of critical importance for high-rise buildings, dams, bridges, nuclear power plants, silos, chimneys, and water tanks, where seismic performance depends particularly on soil conditions. Furthermore, in embedded structures, embedment can alter the period, stiffness, damping capacity, and responses of the soil-structure system.

The main objective of this study is to examine the effects of aspect ratio (2, 4, and 6), soil conditions, foundation embedment ratio (0, 0.5, 1, and 1.5), and earthquake frequency content (2 high, 2 medium, and 2 low) on the dynamic behavior of structures by considering SSI. For this purpose, finite element models of the soil-structure systems were constituted, and the employability of these models was demonstrated through substructure approaches. Seismic analyses were performed, and relative displacements, interstory drifts, stresses, and accelerations were examined. It was seen that the increment of aspect ratio and soft soil conditions elongate the periods, and significantly increase the displacements and interstory drifts. In general, with the increment in the embedment ratio, the reductions in the displacements and stresses were observed. It was determined that softening of the soil does not always lead to a decrease in internal forces, and due to the combined effects of many parameters, soil softening also has the potential to increase internal forces. The results revealed that the seismic behavior cannot be controlled by a single parameter, and the mutual interaction among soil type, earthquake frequency content, embedment ratio, and aspect ratio can produce effects on responses that are contrary to expectations.

Keywords: Earthquake frequency content, Dynamic behavior, Aspect ratio, Foundation embedment ratio, Soil-structure interaction

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI IV
TEŞEKKÜR V
ÖZET VI
SUMMARY VII
İÇİNDEKİLER VIII
TABLOLAR DİZİNİ XII
ŞEKİLLER DİZİNİ XX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ XXXI
1. GENEL BİLGİLER 1
1.1. Giriş 1
1.2. Zemin-Yapı Etkileşimi 5
1.2.1. Altsistem Yaklaşımları 7
1.2.2. Doğrudan (Direkt) Çözüm Yöntemleri 8
1.3. Literatür Araştırması 12
1.4. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Gerekçesi 22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR 25
2.1. Ankastre Tabanlı Sayısal Modeller 25
2.2. Ankastre Tabanlı Analitik Modeller 30
2.2.1. Periyodun Kesme Tipi Yapı Modeline Göre Bulunması (AN-1) 30
2.2.2. Periyodun Tek Serbestlik Dereceli Sistem Kabulüne Göre Bulunması (AN-2) 33
2.3. ZYE'nin Dikkate Alındığı ve Gömülme Etkisinin Olmadığı Sayısal Modeller (2e/L=0) 34
2.4. ZYE'nin Dikkate Alındığı ve Gömülme Etkisinin Olmadığı Analitik Modeller (2e/L=0) 38
2.4.1. AN-1 38
2.4.2. AN-2 40
2.4.3. AN-3 41
2.5. Gömülmenin Olmadığı Durumda (2e/L=0) Yapıların Dinamik Analizi 43
2.5.1. 4 Katlı Yapının Analizi 45
2.5.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 49
2.5.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 52

2.5.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 54
2.5.1.4. İvmelerin İrdelenmesi (2e/L=0) 58
2.5.2. 8 Katlı Yapının Analizi 61
2.5.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 67
2.5.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 71
2.5.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 72
2.5.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 75
2.5.3. 12 Katlı Yapının Analizi 79
2.5.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 87
2.5.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 90
2.5.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 91
2.5.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0) 94
2.6. Gömülme Etkisinin Dikkate Alındığı Sayısal Modeller (2e/L=0.5-1-1.5) 97
2.7. Gömülme Etkisinin Dikkate Alındığı Analitik Modeller (2e/L=0.5-1-1.5) 99
2.8. Gömülme Etkisinin Dikkate Alındığı Durumlarda Dinamik Analiz 105
2.8.1. 4 Katlı Yapının Analizi 105
2.8.1.1. 2e/L=0.5 Durumu 110
2.8.1.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 110
2.8.1.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 112
2.8.1.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 113
2.8.1.1.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 115
2.8.1.2. 2e/L=1 Durumu 117
2.8.1.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 117
2.8.1.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 119
2.8.1.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 120
2.8.1.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 122
2.8.1.3. 2e/L=1.5 Durumu 124
2.8.1.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 124
2.8.1.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 126
2.8.1.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 127
2.8.1.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 129
2.8.2. 8 Katlı Yapının Analizi 131
2.8.2.1. 2e/L=0.5 Durumu 138
2.8.2.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 138
2.8.2.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 140

2.8.2.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 141
2.8.2.1.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 143
2.8.2.2. 2e/L=1 Durumu 145
2.8.2.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 145
2.8.2.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 147
2.8.2.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 148
2.8.2.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 150
2.8.2.3. 2e/L=1.5 Durumu 152
2.8.2.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 152
2.8.2.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 154
2.8.2.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 155
2.8.2.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 157
2.8.3. 12 Katlı Yapının Analizi 159
2.8.3.1. 2e/L=0.5 Durumu 167
2.8.3.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 167
2.8.3.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 169
2.8.3.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 170
2.8.3.1.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5) 172
2.8.3.2. 2e/L=1 Durumu 174
2.8.3.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 174
2.8.3.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 176
2.8.3.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 177
2.8.3.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1) 179
2.8.3.3. 2e/L=1.5 Durumu 181
2.8.3.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 181
2.8.3.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 183
2.8.3.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 184
2.8.3.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5) 186
3. İRDELEME VE TARTIŞMA 189
3.1. Gömülme Etkisinin Olmadığı Durum 189
3.1.1. Farklı Narinlik Oranları ve Depremler İçin ZYE Açısından İrdelemeler 189
3.1.2. Farklı Narinlik Oranları ve Zemin Türleri İçin Deprem Frekans İçeriği Açısından İrdelemeler 193
3.1.3. Farklı Zemin Türleri İçin Deprem Frekans İçeriği-Narinlik Oranı İlişkisi 196
3.1.4. Farklı Depremler için Zemin Türü-Narinlik Oranı İlişkisi 199

3.2. Gömülme Etkisinin Olduğu Durum 203
3.2.1. Farklı Narinlik Oranları ve Zemin Türleri İçin Deprem Frekans İçeriği-Gömülme Oranı İlişkisi 203
3.2.2. Farklı Narinlik Oranları ve Depremler İçin Zemin Türü-Gömülme Oranı İlişkisi 222
3.2.3. Farklı Depremler ve Zemin Türleri İçin Narinlik Oranı-Gömülme Oranı İlişkisi 240
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 256
KAYNAKÇA 259
ÖZGEÇMİŞ 270

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1. Zemin-yapı sisteminin özellikleri 25
Tablo 2. S4XYZ, S8XYZ ve S12XYZ modellerine ait modal analiz sonuçları 29
Tablo 3. S4X, S8X ve S12X modellerine ait modal analiz sonuçları..... 29
Tablo 4. C4X, C8X ve C12X modellerine ait modal analiz sonuçları 29
Tablo 5. AN-1 modeline ait modal analiz sonuçları..... 32
Tablo 6. Periyotların karşılaştırılması (s)..... 32
Tablo 7. Periyotların karşılaştırılması (s)..... 34
Tablo 8. Çalışmada ele alınan zemin özellikleri (Cakir, 2013). 35
Tablo 9. TBDY-2018'e göre yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018). 35
Tablo 10. Zemin-yapı sistemlerinin periyotları (XYZ) (s) 38
Tablo 11. Zemin-yapı sistemlerinin periyotları (s)..... 38
Tablo 12. ZYE sistemlerine ait birinci mod periyotlarının karşılaştırılması (s) 43
Tablo 13. Dikkate alınan deprem yer hareketleri ve özellikleri 43
Tablo 14. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) . 45
Tablo 15. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 45
Tablo 16. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 45
Tablo 17. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) . 45
Tablo 18. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) . 46
Tablo 19. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m).. 46
Tablo 20. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri . 46
Tablo 21. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 46
Tablo 22. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 46
Tablo 23. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri. 46
Tablo 24. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri . 47
Tablo 25. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri.. 47
Tablo 26. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 47
Tablo 27. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 47
Tablo 28. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 47
Tablo 29. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 47

Tablo 30. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 48
Tablo 31. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 48
Tablo 32. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 48
Tablo 33. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 48
Tablo 34. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 48
Tablo 35. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 48
Tablo 36. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 49
Tablo 37. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 49
Tablo 38.Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) .. 62
Tablo 39. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 62
Tablo 40. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 62
Tablo 41. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) . 62
Tablo 42. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) . 63
Tablo 43. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m).. 63
Tablo 44. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri . 63
Tablo 45. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 63
Tablo 46. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 64
Tablo 47. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri. 64
Tablo 48. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri . 64
Tablo 49. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri.. 64
Tablo 50. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 64
Tablo 51. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 65
Tablo 52. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 65
Tablo 53. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 65
Tablo 54. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 66
Tablo 55. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 66
Tablo 56. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 66
Tablo 57. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 66
Tablo 58. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2) 67
Tablo 59. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 67
Tablo 60. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 67

Tablo 61. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2) 67
Tablo 62.Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 79
Tablo 63. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 79
Tablo 64. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 80
Tablo 65. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 80
Tablo 66. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 80
Tablo 67. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 81
Tablo 68. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 81
Tablo 69. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 81
Tablo 70. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri..... 82
Tablo 71. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 82
Tablo 72. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 82
Tablo 73. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 83
Tablo 74. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 83
Tablo 75. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 83
Tablo 76. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 84
Tablo 77. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 84
Tablo 78. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 84
Tablo 79. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 84
Tablo 80. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 85
Tablo 81. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 85
Tablo 82. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 85
Tablo 83. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 86
Tablo 84. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2) 86
Tablo 85. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)..... 86
Tablo 86. Gömülü durumda zemin-yapı sistemlerinin periyotları (s) 98
Tablo 87. GSSI4, GSSI8 ve GSSI12 sayısal modelleri ile EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3 analitik modellerinin ilk mod periyotlarının karşılaştırılması (s) 103
Tablo 88. GSSI4, GSSI8 ve GSSI12 sayısal modelleri ile EMBD-4, EMBD-5 ve EMBD-6 analitik modellerinin ilk mod periyotlarının karşılaştırılması (s) 104

Tablo 89. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 105
Tablo 90. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 105
Tablo 91. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 106
Tablo 92. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 106
Tablo 93. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 106
Tablo 94. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 106
Tablo 95. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 106
Tablo 96. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 107
Tablo 97. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 107
Tablo 98. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 107
Tablo 99. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 107
Tablo 100. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 107
Tablo 101. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 108
Tablo 102. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 108
Tablo 103. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 108
Tablo 104. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 108
Tablo 105. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 109

Tablo 106. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 109
Tablo 107. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 109
Tablo 108. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 109
Tablo 109. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 109
Tablo 110. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 110
Tablo 111. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 110
Tablo 112. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 110
Tablo 113. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 132
Tablo 114. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 132
Tablo 115. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 132
Tablo 116. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 132
Tablo 117. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 133
Tablo 118. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 133
Tablo 119. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri..... 133
Tablo 120. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 134
Tablo 121. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri..... 134
Tablo 122. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri..... 134

Tablo 123. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 134
Tablo 124. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 135
Tablo 125. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 135
Tablo 126. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 135
Tablo 127. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 135
Tablo 128. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 136
Tablo 129. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 136
Tablo 130. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 136
Tablo 131. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 136
Tablo 132. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 137
Tablo 133. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 137
Tablo 134. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 137
Tablo 135. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 137
Tablo 136. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 138
Tablo 137. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 160
Tablo 138. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 160
Tablo 139. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m) 160

Tablo 140. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 161
Tablo 141. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 161
Tablo 142. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)..... 161
Tablo 143. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 162
Tablo 144. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 162
Tablo 145. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri..... 162
Tablo 146. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 163
Tablo 147. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 163
Tablo 148. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri 163
Tablo 149. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 164
Tablo 150. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 164
Tablo 151. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa) 164
Tablo 152. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 165
Tablo 153. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 165
Tablo 154. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)..... 165
Tablo 155. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 165
Tablo 156. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2) 166

Tablo 157. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 166
Tablo 158. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 167
Tablo 159. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 167
Tablo 160. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)..... 167

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda zayıf zemin nedeniyle yan yatmış bina (Manav vd., 2019). 3
Şekil 2. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen hasarlara örnekler: a) Rijit döşeme ve kiriş davranışı ve b) Zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimi ve zayıf kat etkisi (Cakir vd., 2024). 3
Şekil 3. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen hasarlara örnekler: a) Rijit asmolen döşeme ve zayıf kolon bağlantısı ve b) Kalitesiz beton ve kötü işçilik nedeniyle dağılan betonarme kiriş (Cakir vd., 2024). 4
Şekil 4. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde rijit perde ekseninde burulma kaynaklı hasar (Cakir vd., 2024). 4
Şekil 5. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen hasarlara örnekler: a) Katlar arası ötelenme ve b) Sarılma bölgesi oluşturulmamış kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı (Cakir vd., 2024). 5
Şekil 6. Yatay ötelenme ve dönme serbestliklerinin dikkate alındığı bir altsistem modeli (Wolf, 1994) 8
Şekil 7. Kütlesiz temel yaklaşımı tabanlı bir etkileşim modeli örneği 10
Şekil 8. 4 katlı yapının planı 27
Şekil 9. a) 4 katlı binanın çubuk modeli, b) 8 katlı binanın çubuk modeli, c) 12 katlı binanın çubuk modeli, d) 4 katlı binanın katı modeli, e) 8 katlı binanın katı modeli ve f) 12 katlı binanın katı modeli 28
Şekil 10. Önerilen ankastre tabanlı eş değer analitik model (AN-2) 33
Şekil 11. a) 4 katlı (SSI4), b) 8 katlı (SSI8) ve c) 12 katlı (SSI12) yapıya ait modeller 37
Şekil 12. ZYE sistemi için önerilen eş değer analitik model (AN-1) 39
Şekil 13. ZYE sistemi için önerilen eş değer analitik model (AN-2) 40
Şekil 14. ZYE sistemi için önerilen eş değer analitik model (AN-3) 42
Şekil 15. a) 1983 Coalinga, b) 1987 Whittier Narrows, c) 1995 Kobe, d) 2004 Parkfield, e) 1992 Erzincan ve f) 2023 Pazarcık depremlerinin ivme kayıtları 44
Şekil 16. Dinamik tepkilerin alındığı düğüm noktaları 44
Şekil 17. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi 50
Şekil 18. 4 katlı yapıda Coalinga depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 51

Şekil 19. 4 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 51
Şekil 20. 4 katlı yapıda Kobe depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 51
Şekil 21. 4 katlı yapıda Parkfield depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 52
Şekil 22. 4 katlı yapıda Erzincan depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 52
Şekil 23. 4 katlı yapıda Pazarcık depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 52
Şekil 24. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi 54
Şekil 25. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi 55
Şekil 26. 4 katlı yapıda Coalinga depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 56
Şekil 27. 4 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 56
Şekil 28. 4 katlı yapıda Kobe depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 57
Şekil 29. 4 katlı yapıda Parkfield depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 57
Şekil 30. 4 katlı yapıda Erzincan depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 57
Şekil 31. 4 katlı yapıda Pazarcık depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 58
Şekil 32. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi 59
Şekil 33. 4 katlı yapıda Coalinga depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 60
Şekil 34. 4 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 60
Şekil 35. 4 katlı yapıda Kobe depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 60
Şekil 36. 4 katlı yapıda Parkfield depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 61
Şekil 37. 4 katlı yapıda Erzincan depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 61
Şekil 38. 4 katlı yapıda Pazarcık depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 61
Şekil 39. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi 69
Şekil 40. 8 katlı yapıda Coalinga depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 69
Şekil 41. 8 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 70
Şekil 42. 8 katlı yapıda Kobe depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 70

Şekil 43. 8 katlı yapıda Parkfield depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi..... 70
Şekil 44. 8 katlı yapıda Erzincan depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi..... 71
Şekil 45. 8 katlı yapıda Pazarcık depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi..... 71
Şekil 46. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi 72
Şekil 47. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi 73
Şekil 48. 8 katlı yapıda Coalinga depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 74
Şekil 49. 8 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi..... 74
Şekil 50. 8 katlı yapıda Kobe depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 74
Şekil 51. 8 katlı yapıda Parkfield depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 75
Şekil 52. 8 katlı yapıda Erzincan depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi..... 75
Şekil 53. 8 katlı yapıda Pazarcık depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 75
Şekil 54. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi..... 76
Şekil 55. 8 katlı yapıda Coalinga depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 77
Şekil 56. 8 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 77
Şekil 57. 8 katlı yapıda Kobe depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 78
Şekil 58. 8 katlı yapıda Parkfield depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 78
Şekil 59. 8 katlı yapıda Erzincan depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi..... 78
Şekil 60. 8 katlı yapıda Pazarcık depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 79
Şekil 61. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi 88
Şekil 62. 12 katlı yapıda Coalinga depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi..... 88
Şekil 63. 12 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 89
Şekil 64. 12 katlı yapıda Kobe depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi..... 89
Şekil 65. 12 katlı yapıda Parkfield depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi..... 89
Şekil 66. 12 katlı yapıda Erzincan depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi..... 90

Şekil 67. 12 katlı yapıda Pazarcık depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi 90
Şekil 68. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi 91
Şekil 69. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi 92
Şekil 70. 12 katlı yapıda Coalinga depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 93
Şekil 71. 12 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 93
Şekil 72. 12 katlı yapıda Kobe depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 93
Şekil 73. 12 katlı yapıda Parkfield depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 94
Şekil 74. 12 katlı yapıda Erzincan depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 94
Şekil 75. 12 katlı yapıda Pazarcık depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi 94
Şekil 76. 12 katlı yapıda deprem yüklemesi altında ivme değerinin yüksekliğe bağlı değişimi 95
Şekil 77. 12 katlı yapıda Coalinga depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 96
Şekil 78. 12 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 96
Şekil 79. 12 katlı yapıda Kobe depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 96
Şekil 80. 12 katlı yapıda Parkfield depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 97
Şekil 81. 12 katlı yapıda Erzincan depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 97
Şekil 82. 12 katlı yapıda Pazarcık depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi 97
Şekil 83. Gömülmenin dikkate alındığı durumda zemin-yapı sistemlerinin sayısal modelleri 99
Şekil 84. Gömülme etkisinin dikkate alındığı durumda zemin-yapı sistemi için önerilen analitik model (EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3) 100
Şekil 85. Gömülme etkisinin dikkate alındığı durumda zemin-yapı sistemi için önerilen analitik model (EMBD-4, EMBD-5, EMBD-6) 102
Şekil 86. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 111
Şekil 87. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 112
Şekil 88. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 113
Şekil 89. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 114
Şekil 90. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 115
Şekil 91. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 116

Şekil 92. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 117
Şekil 93. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 118
Şekil 94. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 119
Şekil 95. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 120
Şekil 96. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 121
Şekil 97. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 122
Şekil 98. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 123
Şekil 99. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 124
Şekil 100. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 125
Şekil 101. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 126
Şekil 102. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 127
Şekil 103. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 128
Şekil 104. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 129
Şekil 105. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 130
Şekil 106. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık 4 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 131
Şekil 107. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 139
Şekil 108. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 140
Şekil 109. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 141
Şekil 110. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 142
Şekil 111. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 143
Şekil 112. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 144
Şekil 113. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 145
Şekil 114. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 146

Şekil 115. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 147
Şekil 116. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 148
Şekil 117. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 149
Şekil 118. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 150
Şekil 119. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 151
Şekil 120. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 152
Şekil 121. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 153
Şekil 122. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 154
Şekil 123. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 155
Şekil 124. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 156
Şekil 125. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 157
Şekil 126. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 158
Şekil 127. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 159
Şekil 128. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) .. 168
Şekil 129. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 169
Şekil 130. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 170
Şekil 131. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 171
Şekil 132. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 172
Şekil 133. 12 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5) 173
Şekil 134. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5) 174
Şekil 135. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 175
Şekil 136. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 176

Şekil 137. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 177
Şekil 138. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 178
Şekil 139. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 179
Şekil 140. 12 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1) 180
Şekil 141. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1) 181
Şekil 142. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) .. 182
Şekil 143. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 183
Şekil 144. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 184
Şekil 145. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 185
Şekil 146. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 186
Şekil 147. 12 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5) 187
Şekil 148. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5) 188
Şekil 149. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük yer değiştirme tepkileri 190
Şekil 150. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük gerilme tepkileri 191
Şekil 151. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük ivme tepkileri 192
Şekil 152. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük yer değiştirme tepkileri 194
Şekil 153. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük gerilme tepkileri 195
Şekil 154. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük ivme tepkileri 196
Şekil 155. a) Ankastre taban, b) S1, c) S2 ve d) S3 koşullarında narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 197
Şekil 156. a) Ankastre taban, b) S1, c) S2 ve d) S3 koşullarında narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 198
Şekil 157. a) Ankastre taban, b) S1, c) S2 ve d) S3 koşullarında narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri 199
Şekil 158. a) Coalinga, b) Whittier Narrows, c) Kobe, d) Parkfield, e) Erzincan ve f) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 200

Şekil 159. a) Coalinga, b) Whittier Narrows, c) Kobe, d) Parkfield, e) Erzincan ve f) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri.. 201
Şekil 160. a) Coalinga, b) Whittier Narrows, c) Kobe, d) Parkfield, e) Erzincan ve f) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri..... 203
Şekil 161. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 205
Şekil 162. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 206
Şekil 163. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 207
Şekil 164. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 208
Şekil 165. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 209
Şekil 166. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 210
Şekil 167. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 211
Şekil 168. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 212
Şekil 169. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 213
Şekil 170. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük gerilme tepkileri 214
Şekil 171. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük gerilme tepkileri 215
Şekil 172. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük gerilme tepkileri 216
Şekil 173. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri 217
Şekil 174. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri 218
Şekil 175. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri 219

Şekil 176. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük ivme tepkileri 220
Şekil 177. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük ivme tepkileri 221
Şekil 178. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük ivme tepkileri 222
Şekil 179. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 223
Şekil 180. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 224
Şekil 181. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 225
Şekil 182. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 226
Şekil 183. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 227
Şekil 184. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 228
Şekil 185. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 229
Şekil 186. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 230
Şekil 187. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 231
Şekil 188. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük gerilme tepkileri..... 232
Şekil 189. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük gerilme tepkileri..... 233
Şekil 190. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük gerilme tepkileri..... 234
Şekil 191. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri..... 235
Şekil 192. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri..... 236

Şekil 193. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri..... 237
Şekil 194. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük ivme tepkileri..... 238
Şekil 195. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük ivme tepkileri..... 239
Şekil 196. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük ivme tepkileri..... 239
Şekil 197. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 240
Şekil 198. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 241
Şekil 199. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri 242
Şekil 200. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 243
Şekil 201. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 243
Şekil 202. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri..... 244
Şekil 203. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 245
Şekil 204. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 246
Şekil 205. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 247
Şekil 206. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 248
Şekil 207. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 249
Şekil 208. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri 250
Şekil 209. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri..... 251

Şekil 210. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri..... 252
Şekil 211. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri..... 253
Şekil 212. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri 254
Şekil 213. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri 255
Şekil 214. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri 255

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: İvme (m/s^2)
a, b	: Temele ait yarı genişlik ve yarı uzunluk
A_0	: Temel alanı
AN-1, AN-2, AN-3	: Analitik modeller
C4X, C8X, C12X	: Rijit tabanlı zemin-yapı sistemine ait çubuk modeller
E	: Elastisite modülü
f	: Frekans
G	: Kayma modülü
GSSI4, GSSI8, GSSI12	: Gömülü zemin-yapı sisteminin sayısal modelleri
H	: Bina yüksekliği
h_s	: Eş değer yükseklik
h_n^*	: Etkin yükseklik
I_b	: Temelin b kenarına göre atalet momenti
I_i	: Kat kütle atalet momenti
I_0, I_f	: Temel kütle atalet momenti
K	: Zemin-yapı sisteminin hareket denkleminin rijitlik matrisi
K_{eqm}	: AN-2 modelinin eş değer rijitliği
K_{ry}	: AN-2 ve AN-3 modellerinin dönme rijitliği
K_s	: Eş değer rijitlik
K_x	: AN-2 ve AN-3 modellerinin yatay ötelenme rijitliği
k_n^*	: Etkin rijitlik
k_i	: Zemin-yapı sisteminin i. katındaki kolon yatay rijitliği
k_r	: AN-1 modelinin dönme rijitliği
k_s	: AN-1 modelinin yatay ötelenme rijitliği
L	: Bina genişliği
M	: Zemin-yapı sisteminin hareket denkleminin kütle matrisi
M_n^*	: Etkin kütle
m_0, m_f	: Temel kütlesi
m_i	: Zemin-yapı sisteminin i. katındaki kat kütlesi
m_s	: Eş değer kütle
m_θ, m_φ	: Dönme serbestlik derecesine atanan kütle atalet momenti

N	: Kat sayısı
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
S	: Gerilme
s	: Narinlik oranı
S4X, S8X, S12X	: Rijit tabanlı zemin-yapı sistemine ait katı modeller
S4XYZ, S8XYZ, S12XYZ	: Rijit tabanlı zemin-yapı sistemine ait katı modeller
SSI4, SSI8, SSI12	: Zemin-yapı etkileşimini dikkate alan sayısal modeller
T	: Periyot
V_p	: P dalgası hızı
V_s	: Kayma dalgası hızı
w	: Açısal frekans
x(t)	: Zemin-yapı sisteminin zamana bağlı yer değiştirmesi
$\ddot{x}(t)$	: Zemin-yapı sisteminin zamana bağlı ivmesi
z_i	: Zemin-yapı sisteminde i. katın temel seviyesine göre yüksekliği
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
ν	: Poisson oranı
ϕ_i	: i. koordinattaki hareket genliği
Γ_n	: Modal katılım çarpanı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yapısal güvenliği etkileyen birçok faktör arasında, doğal afetler insan hayatını derinden şekillendiren olaylar olarak öne çıkmaktadır. Depremler, bu olayların en yıkıcı olanıdır. Tarih boyunca ölümlere ve önemli ekonomik kayıplara sebep olan çok sayıda deprem kaydedilmiştir. Deprem olayını, sadece bir mühendislik problemi olarak görüp sosyal ve ekonomik etkilerini ihmal etmek doğru bir yaklaşım tarzı olmamaktadır (Doğangün, 2021). Zira yer hareketleri etkisiyle yıkılan yapı yığınlarını, eldeki bütün bileşenleri verimli, etkin ve birbirleriyle uyumlu şekilde kullanarak uygun bir planlama, örgütleme (organize etme), yöneltme (yürütme) ve denetim fonksiyonları çerçevesinde nispeten kısa bir sürede ortadan kaldırmak mümkündür. Bir seçim ve tercih faaliyeti olan planlama ile tüm faaliyetlerin amaca yönelik olması ve bileşenlerin etkin bir şekilde devreye sokulması sağlanarak rasyonel bir şekilde hareket edilebilir. Örgütleme (organize etme) ile mevcut insan kaynakları ve fiziksel imkânlar değerlendirilerek ve yetki ve sorumluluklar netleştirilerek uygun kişiler ve fiziksel araçlar eş güdüm halinde bir araya getirilebilir. Yöneltme (yürütme) ile ilgili kişilerin amaçlar çerçevesinde harekete sevk edilebilmesi için gerekli iletişim ve motivasyon sağlanabilir. Denetim mekanizması ile de kurgulanan amaçlar ile gerçekleşen sonuçlar arasındaki sapmalar değerlendirilerek gerekli önlemler alınabilir. Öte yandan depremler nedeniyle ülkelerin ve kişilerin maruz kaldıkları ekonomik zararları ve psikolojik sorunları gidermek çoğu durumda uzun seneler almaktadır. Bu bilgilerden hareketle, mühendislik yapılarının depreme dayanıklı bir şekilde tasarlanmasının; oluşabilecek can ve mal kayıplarını azaltabileceği gibi, ekonomik, sosyal ve psikolojik sorunların mertebesini de düşürebileceği söylenebilir.

Kaya türü bir ortama mesnetlenmiş yapısal sistemler ile zemin ortama mesnetlenmiş yapısal sistemlerin çözümlemelerinde göz önüne alınan mesnet koşulları birbirlerinden farklılaşmakta ve farklı ortamlara mesnetlenen yapısal sistemlerin sismik tepkileri de genel olarak yapı ağırlığına ve rijitliğine bağlı olarak değişmektedir. Bu kapsamda, zemin ve kaya ortamların sismik tepkilerinin farklı olacağının bilinmesi, daha güvenli tasarımlara ışık tutacağından, yıkıcı depremlerin etkilerinin anlaşılması gittikçe gelişirken, inşaat mühendisliği yapılarının (binalar, köprüler, otoyollar, tüneller, su depoları, istinat yapıları, menfezler vb.) ya zeminlerin üzerine ya da zeminlerin içine

inşa edilmesinden dolayı depremler sırasında zeminlerin dinamik davranışına olan ilgi de artmıştır. İnsanlık tarihi boyunca gerçekleşen ve ciddi yıkımlara sebep olan depremler, bilimsel araştırmaları ve daha dayanıklı yapılar tasarlama çabalarını tetiklemiştir. Özellikle deprem hassasiyeti yüksek kuşaklarda konumlanan ülkelerde gerçekleşen farklı büyüklüklerdeki depremler, oralarda yer alan üstyapıların yanı sıra, tam veya kısmi gömülü yapılarda da farklı mertebelerde yapısal hasarlar oluşturabilmektedir. Bu tür yapıların altında bulunan zeminler; dane boyutu, plastisite, kayma dayanımı, boşluk oranı, boşluk suyu basıncı, sıkışabilirlik, suya doygunluk ve geçirgenlik gibi faktörlere bağlı olarak derinlikle ve yatay doğrultuda davranış açısından büyük değişkenlik gösterebilmekte, statik ve dinamik koşullar altında farklı noktalarda ve yönlerde farklı tepkiler sergileyebilmekte ve bu da zemin ile yapı arasındaki etkileşimi dikkate alarak analizler gerçekleştirmeyi bir zorunluluk haline getirmektedir. Ayrıca yer hareketine maruz kalmış yapılarda oluşan hasar dağılımları etüt edildiğinde, tekrarlı gerilmeler etkisinde kalan zeminlerin hasarlar üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmektedir. Zira bu gerilmeler altında, artan çevrim sayısı ve genliklere bağlı olarak zeminlerde yumuşama meydana gelebilmekte ve zamanla değerleri değişebilen ilave parametreler ortaya çıkabilmektedir (Kramer, 1996).

Geleneksel yaklaşım stratejisi olarak yapıların zemine rijit bağlı olduğu kabul edilirken, güncel deprem deneyimleri temel ankrajının çok iyi yapıldığı çok rijit karakterli kaya türü zeminler dışında bu kabulün geçerli olmadığını ortaya koymuştur. Çünkü çok rijit olmayan zemin, sismik dalgaların karakterini yüzeye ulaşmadan önce değiştirmekte, yapıların doğal periyotlarını ve mod şekillerini değiştirmekte ve genel yapısal performansı önemli ölçüde etkileyebilecek temel dönmelerine neden olmaktadır. Örneğin, 1985 Meksika depreminde zemin hareketleri ve rezonans nedeniyle 9-13 katlı binalarda ve 1995 Kobe depreminde Hanshin otoyolunun yükseltilmiş güzergahlarında ciddi hasarların meydana geldiği bilinmektedir. Burada temel esnekliği nedeniyle köprü periyodunun uzamasının, köprü ayaklarındaki yapısal kuvvetlerde artışa ve dolayısıyla göçmeye neden olmuş olabileceği belirtilmiştir (Gazetas ve Mylonakis, 1998). Benzer şekilde, ülkemizde gerçekleşen 1999 Kocaeli depremi (M_w=7.4), 2011 Van Depremi (M_w=7.1), 2020 Elazığ Depremi (M_w=6.8) ve 2023 Kahramanmaraş depremleri (M_w=7.7 ve 7.6) birçok yapıya büyük hasarlar vermiştir. Şekil 1'de 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde Adapazarı'nda zeminin rijit kabul edilmesinden kaynaklanan tasarım hatalarının sonrasında yaşanan bir olaya örnek verilmektedir. Şekil 2-5'te de yurdumuzda asrın felaketi olarak kayıtlara geçen 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen hasarlara örnekler verilmektedir. Bu depremlerde yumuşak zemin

kaynaklı oturmalar, zemin taşıma kapasitesi yetersizliği, malzeme ve işçilik kusurları, yapısal tasarım hataları, yapısal sistemlere sonradan yapılan müdahaleler, zemin etütlerinin layıkıyla yapılmaması, denetim eksiklikleri, zemin kaynaklı periyot uzamaları ve rezonans nedeniyle birçok yapının göçmesi, zemin ile yapı arasındaki etkileşim mekanizmasının dikkate alınmasının, depreme dayanıklı yapı tasarımının ve denetim mekanizmalarının gerekliliğini gözler önüne sermiştir.



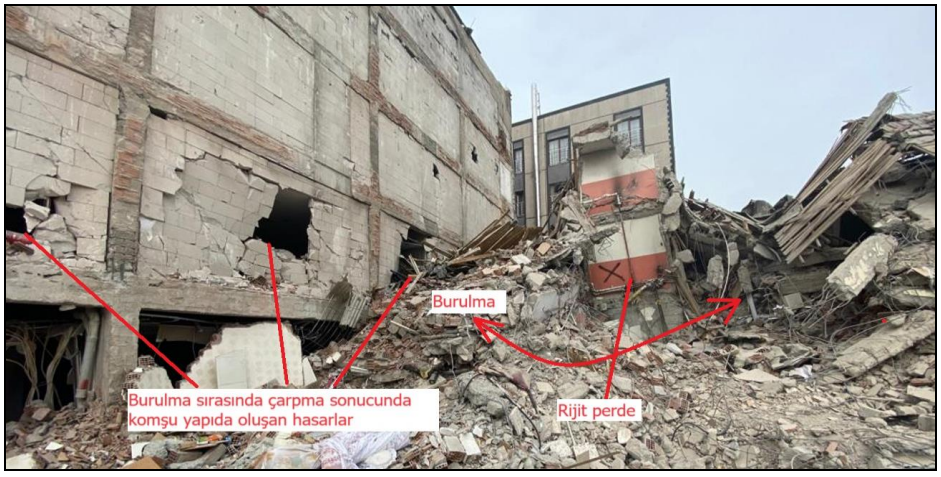
Şekil 1. 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda zayıf zemin nedeniyle yan yatmış bina (Manav vd., 2019).



Şekil 2. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen hasarlara örnekler: a) Rijit döşeme ve kiriş davranışı ve b) Zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimi ve zayıf kat etkisi (Cakir vd., 2024).



Şekil 3. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen hasarlara örnekler: a) Rijit asmolen döşeme ve zayıf kolon bağlantısı ve b) Kalitesiz beton ve kötü işçilik nedeniyle dağılan betonarme kiriş (Cakir vd., 2024).



Şekil 4. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde rijit perde ekseninde burulma kaynaklı hasar (Cakir vd., 2024).



Şekil 5. 2023 Kahramanmaraş depremlerinde meydana gelen hasarlara örnekler: a) Katlar arası ötelenme ve b) Sarılma bölgesi oluşturulmamış kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarı (Cakir vd., 2024).

1.2. Zemin-Yapı Etkileşimi

Bir yapının sismik tepkisi, yapının üzerinde bulunduğu zemin ortamdan değişik şekillerde etkilenmektedir. Zemin, ana kayadaki deprem etkisini, diğer bir deyişle yer hareketi ivmelerinin frekans içeriğini ve genliklerini değiştirir. Zeminin hareket etmesiyle de yapının periyot ve mod şekillerinde değişiklikler meydana gelir. Yer hareketi etkisiyle titreşen yapıdan yansıyarak zemin ortama geri dönen dalgalar, zemin ortamda radyasyona (yayılmaya) uğrar ve yapıdan zemine aktarılan titreşim enerjisinin bir kısmı geometrik nedenlerle yutulur. Son olarak da zemin hareketi etkisiyle deprem esnasında yapı taşıyıcı sisteminde farklı oturmalar oluşabilir. Bahsedilen bu şekillerde; zemin tepkisinin yapı davranışını, yapı tepkisinin de zemin davranışını etkilediği ve değiştirdiği bu mekanizmaya zemin-yapı etkileşimi (ZYE) adı verilir (Kramer, 1996; Cakir, 2017; Celep, 2022).

ZYE etkilerinin göz önüne alınması, doğası gereği ayrıntılı, pahalı ve zaman alıcı prosedürlerin izlenmesini gerektirmekte ve yukarıda belirtildiği üzere yapıların davranış analizlerinde ve tasarımında geleneksel olarak ihmal edilebilmekte, yapının zemine ankastre mesnetlendiği kabulü yapılmakta ve bu etkileşimin ihmal edilmesinin muhafazakar tarafta sonuçlar verdiği varsayılmaktadır (Sáez vd., 2013). Ancak bu yaklaşım tarzı, yapının inşa edildiği zemin ortamın karakteristiklerine bağlı olarak bazen olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Bu bağlamda, etkileşimin dikkate alınıp alınmayacağına karar verilmesi ya da yapının zemine ankastre olarak mesnetlendiği varsayımının yapısal tepkilere olan etkisinin öngörülebilmesi kritik öneme sahip bir adım olmaktadır. Zira sismik bir yüklemeye maruz kaldığında herhangi bir zemin-yapı sisteminin davranışı; giriş hareketi, temelin tipi ve derinliği, zeminin kayma modülü ve kayma dalgası hızı, üst yapının geometrisi ve doğal periyodu gibi farklı faktörlerden etkilenebilmektedir (Mylonakis ve Gazetas, 2000; Anand ve Kumar, 2018). Bu unsurlara bağlı olarak da zemin ortamın yapı davranışına etkilerinin dikkate alındığı yöntemlerden elde edilen sonuçlar arasında önemli mertebelerde farklılıklar ortaya çıkabilmektedir (Veletsos ve Meek, 1974; Veletsos vd., 1988; Mylonakis ve Gazetas, 2000; Cakir, 2013; 2014; Araz vd., 2022; Ozturk vd., 2022; 2023).

ZYE'ye sebep olan iki unsurdan söz edilebilir. Bunlar; temelin serbest alan deformasyonuna uyum sağlayamaması olarak nitelendirilen *kinematik etkileşim* ve yapı-temel sisteminin sismik tepkisinin zemin hareketi üzerindeki etkisi olarak adlandırılan *eylemsizliğe bağlı etkileşim* ya da *atalet etkileşimi*dir.

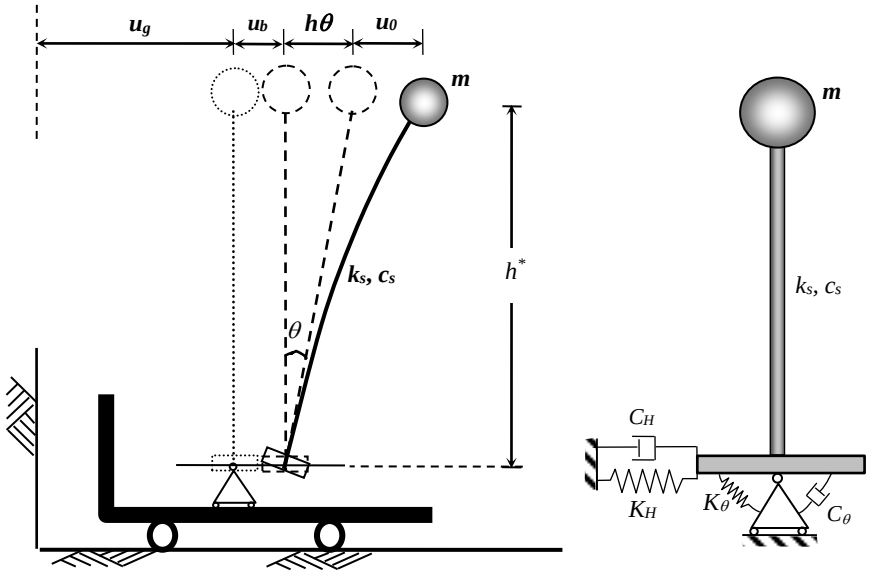
Deprem yer hareketleri serbest alanda, yatay ve düşey doğrultularda zemin yer değiştirmelerine sebep olmaktadır. Kinematik etkileşim, zemin içinde veya zemin üzerinde rijit bir temelin serbest alan hareketi ile aynı şekilde hareket edememesinden kaynaklanmaktadır (Torabi ve Rayhani, 2014). Diğer bir deyişle, kinematik etkileşimin, temel rijitliğinin serbest alan hareketlerini engellediği durumlarda ortaya çıkabileceği söylenebilir. Kinematik etkileşim etkisi genellikle frekans bağımlı bir transfer fonksiyonu ile ölçülmektedir. Bu da, kütlesiz bir temel ve yapı varsayıldığında temel hareketinin serbest alan hareketine oranı olarak tanımlanmaktadır (Veletsos ve Younan, 1997). Eylemsizliğe bağlı etkileşim ise yapı ve temel kütlesinin bir fonksiyonu olup yapıların titreşim özelliklerini etkilemektedir. Titreşen yapıda meydana gelen atalet kuvvetleri sebebiyle taban kesme kuvvetleri ve momentleri oluşmakta ve bu durum temel ile zemin ara yüzeyinde göreli yer değiştirmeleri tetiklemektedir. Ayrıca atalet etkileşimi, modal frekanslarda ve sönüm faktörlerinde değişikliklere sebep olmaktadır (Torabi ve Rayhani, 2014). Bu bağlamda Stewart vd. (1999) periyot uzamasının yapının

yer değiştirme talebini etkileyen atalet etkileşiminden kaynaklandığını göstermiştir. ZYE nedeniyle periyodun atalet kaynaklı uzamasının yapıda meydana gelen iç kuvvetler açısından genellikle faydalı olduğu kabul edilebilir ancak bazı sismik parametreler ve zemin şartları etkisinde bu etkileşim zararlı olabilir (Mylonakis ve Gazetas, 2000). Öte yandan, özellikle rijit ve gömülü temel konfigürasyonları için serbest alan hareketine göre daha düşük bir sismik talebe yol açarak, taban hareketinin kinematik kaynaklı modifikasyonu faydalı olabilir (Conti vd., 2018; Di Laora ve De Sanctis, 2013; Iovino vd., 2019).

ZYE, doğrudan (direkt) yöntemler ve altsistem yaklaşımları olmak üzere iki farklı strateji ile incelenebilmektedir.

1.2.1. Altsistem Yaklaşımları

Altsistem yaklaşımı, pratikliği ve etkileşim olgusunu yeter yaklaşıklıkla temsil kabiliyeti bakımından ZYE çözümlemelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yaklaşımda zemine ait rijitlik ve sönüm katsayıları hesaplanarak yapıya bağlanan yaylar ve sönümleyiciler vasıtasıyla zeminin varlığı hesaba katılmakta ve zeminin yapıya olan etkisi incelenmektedir. Burada öncelikle etkiyen yer hareketi kinematik etkileşime bağlı olarak belirlenerek temel girdi hareketi üretilir. Sonra temel ve zemin sistemine ilişkin empedans fonksiyonları hesaplanarak eylemsizliğe bağlı etkileşim ile sistemin çözümü gerçekleştirilir. Altsistem metotları çoğunlukla; temelin geometrik özelliklerine, gömülme derinliğine, taşıyıcı zeminin tabakalı bir formasyona sahip olup olmadığına veya temel zemininin rijit bir tabaka üzerinde olup olmadığına bağlı olarak ele alınmaktadır (Livaoglu, 2005). Bu bağlamda deneysel, sayısal ve analitik irdelemelerin yapıldığı birçok çalışmada yay ve sönüm katsayılarının hesabı konusunda çok farklı prosedürler litaratüre sunulmuştur. Şekil 6'da örnek olarak elastik ortam üzerindeki tek kütleli sisteme ait yatay ötelenme ve dönme serbestliklerinin göz önüne alındığı bir altsistem modeli verilmektedir. Burada yapıya, temel-zemin sisteminin karakteristiklerini temsil edebilen dönme ve ötelenme serbestlik dereceleri eklenerek tüm sistem uygun bir mekanik modelle tasvir edilmektedir.



Şekil 6. Yatay ötelenme ve dönme serbestliklerinin dikkate alındığı bir altsistem modeli (Wolf, 1994).

1.2.2. Doğrudan (Direkt) Çözüm Yöntemleri

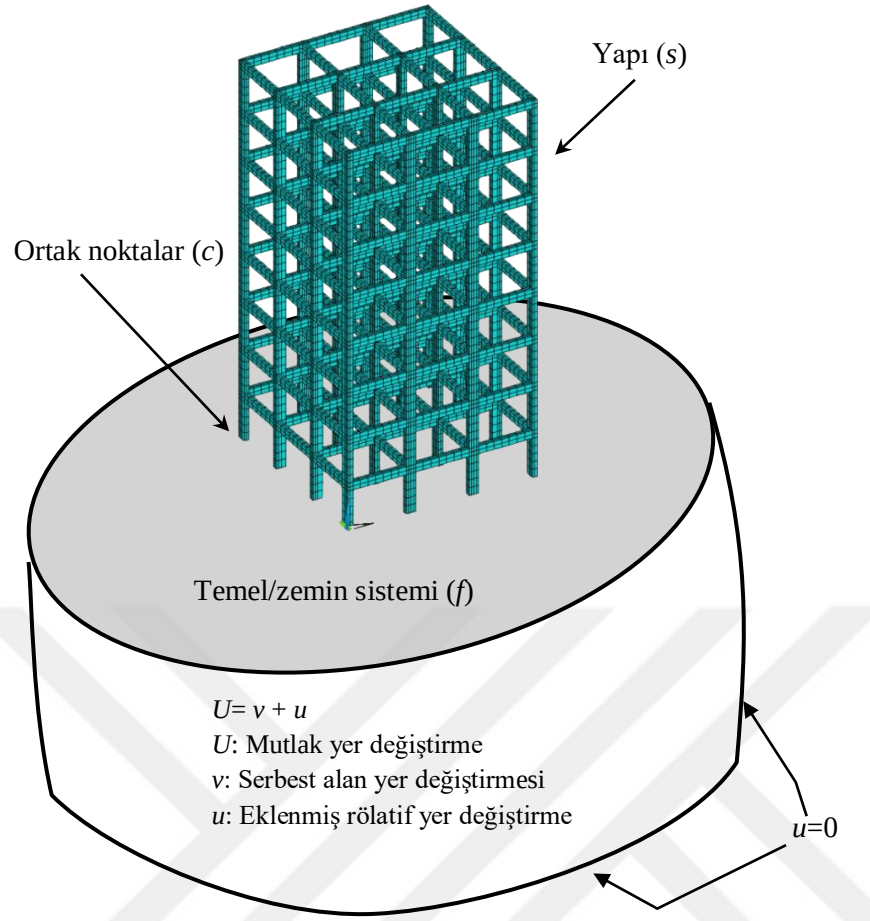
Doğrudan çözüm yönteminde, zemin-yapı sistemi bir bütün olarak ele alınmakta ve bu birleşik sistem sonlu elemanlar, sonlu farklar veya sınır elemanlar modeli oluşturularak tek aşamada analiz edilmektedir. Bu yaklaşım tarzında, yapının ve zeminin doğrusal olmayan davranışları farklı malzeme modelleriyle temsil edilebilmekte ve yapıda ve zeminde yüklemelere bağlı olarak oluşan iç kuvvetler belirlenebilmektedir.

Sayısal yöntemler aracılığıyla etkileşim problemi incelenirken, sonlu boyuta sahip yapı ile yarı sonsuz boyuta sahip zemin ortamın gerçekçi bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Modelleme aşamasında yarı sonsuz zemin ortamın iki bölgeden oluştuğu varsayılmaktadır. Bunlar; yapıya yakın olan ve genellikle doğrusal olmayan tepkinin baskın olabildiği "*yakın bölge*" ve zeminin çoğunlukla doğrusal tepki verdiği "*uzak bölge*" adıyla anılmaktadır (Wolf ve Song, 1996a; 1996b). Burada en önemli husus, doğru sonuçların elde edilebilmesi için dikkate alınan zemin ortam sınırlarının yapıdan belirli bir uzaklıkta olması gerekliliğidir. Zemin hacmini olabildiğince genişletmek sonuçların doğruluk oranını artırmakla birlikte, analiz sürelerini önemli ölçüde artırabilmektedir. Bu bağlamda, mühendislik çözümleri açısından gerçekte sonsuz büyüklükteki zemin hacminin, sonlu bir hacimle sınırlandırılması gerekmektedir. Yan sınırlara ek olarak, dikkate alınan temel zemini tabakasının kalınlığı da sistemin sismik tepkisini etkileyen bir başka önemli faktördür. Özellikle yumuşak zemin koşullarında ana kaya üzerindeki zemin tabakasının, doğru sismik tepkileri yakalayabilmek için doğru bir şekilde temsil edilmesi gerekmektedir. Zemin sınırları

doğru modellenmezse, gerçekte sonsuza dağılması gereken sismik dalgalar sınırlardan geri yansıyarak gerçekçi olmayan sonuçlara yol açmakta ve çözüm doğruluğunu olumsuz etkilemektedir.

Doğrudan çözüm yöntemlerinde gerçekte sonsuz olan zemin hacminin sonlu bir hacimle temsil edilmesi ve sınır koşullarının uygulanması genel olarak iki farklı yaklaşımla sağlanmaktadır. Bunlar, Kütlesiz Temel Yaklaşımı (Eklenmiş Hareket) ile Sanal Sınırların Kullanımı Yaklaşımıdır.

Kütlesiz temel yaklaşımı (Clough ve Penzien, 2003; Livaoglu , 2005; Wilson, 2002), genel amaçlı yapısal analiz programlarında yapılan ZYE analizlerinde, basitliği ve hesap verimliliği açısından yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımın temelinde yatan ana varsayım, zemin elemanlarına ait kütlelerin ihmal edilmesi ve zeminin sisteme rijitlik ve sönüm özelliklerini ileten bir ortam olarak temsil edilmesidir. İlaveten bu yaklaşımda uygun sonlu elemanlar modeline karar verme aşamasında, parametrik çalışmalar gerçekleştirmek suretiyle, temel/zemin sisteminin yan sınırlarında ve tabanında eklenmiş rölatif yerdeğiştirmelerin (u) sıfır olduğunun tesis edilmesi gerekmektedir (Şekil 7). Bunun sağlanabilmesi için temel/zemin sisteminin boyutlarının yeterince büyük tanımlanması gerekir. Bu gereklilik, sismik dalgaların zemin ortamda yayılmasına ilişkindir. Zemin hacmi yeterince artırıldığında, söz konusu dalgaların dağılması ve yayılması sağlanarak etkileşim etkilerinin gerçekçi bir şekilde yakalanması garanti altına alınır. Öte yandan, temel/zemin sistemi yetersiz boyutlarda modellenirse, zemin ortamın yarı sonsuz doğası temsil edilemez ve bu koşullar altında sismik dalgalar model sınırlarından geri yansır. Bu durumda dalga enerjisinin sonlu bir hacimde hapsedilmesinden kaynaklı yapay enerji birikimi, dinamik tepkilerde sapmalara yol açar. Bu bilgiler ışığında, kütlesiz temel yaklaşımında temel/zemin boyutlarının dikkatlice karar verilmesi büyük öneme haizdir. Bu çalışmadaki sayısal modellerde kütlesiz temel yaklaşımı kullanılmaktadır.



Şekil 7. Kütlesiz temel yaklaşımı tabanlı bir etkileşim modeli örneği

Sismik analizlerde hesap kolaylığı açısından sonlu elemanlar modellerindeki eleman sayıları elden geldiğince az tutulmaya çalışılmaktadır. Maksimum sonlu eleman boyutları genel olarak dalga yayılma hızı ve dikkate alınan frekans aralığı ile kontrol altında tutulduğundan, eleman sayısının azaltılması, ayrıklaştırılmış zemin ortamın boyutunun küçültülmesi anlamı taşımaktadır. Bu ortamın boyutunun küçültülmesi sınır şartlarının önemini daha belirgin hale getirmektedir. Bu çerçevede, ikinci yaklaşım olarak yakın bölge zeminiyle birlikte model sınırlarında sanal sınırların kullanılması sıklıkla tercih edilmektedir. Bu sınırların kullanılması ile radyasyon sönümü (yayılmaya bağlı sönüm) etkilerinin dikkate alınması ve yansıma etkilerinin önlenmesi mümkün olabilmektedir. Bu sanal sınırlardan en yaygın olanı, model zemin sınırlarına her bir doğrultuda yerleştirilerek kullanılan ve P ve S dalgalarının taşıdığı enerjiyi yutabilen viskoz sınırlardır (Lysmer ve Kuhlemeyer, 1969). Buna benzer şekilde geliştirilen birçok sınır modeli literatürde mevcuttur (Deeks ve Randolph, 1994; Du ve Zhao, 2010; Hall ve Oliveto, 2003; Liao ve Wong, 1984; Zhao, 2009). Yukarıda sunulan kütlesiz temel ve/veya viskoz sınır yaklaşımlarının matematiksel altyapıları; Lysmer ve

Kuhlemeyer (1969), Wilson (2002), Livaoglu (2005) ve Cakir (2010) çalışmalarında kapsamlı olarak verilmektedir.

Temel/zemin ortam sınırlarının yerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalar kapsamında, Rayhani ve El Naggar (2008), yatay zemin sınır mesafesi değişimlerinin farklı yapısal modellerin sismik tepkisi üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Temel genişliğinin (B) 5 ve 10 katı şeklinde iki sınır mesafesi dikkate alarak, mesafenin 5B'den 10B'ye arttırılmasının sismik tepkilerde az bir değişime sebep olduğunu göstermişler ve zemin sınırlarının her iki yatay doğrultuda yapı genişliğinin 5 katı mesafede, ana kaya derinliğinin ise 30 m mesafede olmasının uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Torabi ve Rayhani (2014), zeminin toplam yatay boyutunu uzun doğrultuda yapı temel uzunluğunun 11 katı, kısa doğrultuda yapı temel genişliğinin 6 katı ve ana kaya derinliğini 30 m olarak almışlardır. Fattah vd. (2015), düşey harmonik yük etkisi altında ve iki boyutlu koşullarda 3 m genişlikli şerit tipi makine temelinin sonlu elemanlar analizlerini gerçekleştirmişler ve toplam zemin genişliğini 30 m ve zemin tabakası kalınlığını 20 m almışlardır. Li vd. (2017), yapı-zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak binaların çarpışma davranışını inceledikleri çalışmalarında, yatay doğrultuda yapının boyutunun 20 katı kadar mesafede viskoelastik yapay sınırlar ve boyuna doğrultuda yapının boyutunun 5 katı kadar mesafede serbest sınırlar kullanmışlardır. Burada yer hareketine paralel olan doğrultu yatay doğrultu, dik olan doğrultu ise boyuna doğrultu olarak tanımlanmıştır. Van Nguyen vd. (2017), zemin-kazık-yapı etkileşimini dikkate alarak 16 adet kazık üzerine oturan 15 m temel genişliğine sahip 15 katlı bir binanın sismik performansı üzerinde kazık boyunun ve yük taşıma mekanizmasının etkilerini inceledikleri çalışmada, deprem doğrultusundaki toplam zemin uzunluğunu 160 m ve ana kaya derinliğini 30 m almışlardır. Wang vd. (2017), bina ve metro istasyonundan oluşan üç boyutlu sayısal modelde radyasyon sönümlemesi açısından zemin yanal sınırlarını, H ana kaya derinliği olmak üzere ilgili yapıların dış yüzeyinden itibaren 5H kadar uzaklıkta tanımlamışlardır. Kabtamu vd. (2018), çok katlı yapıların dinamik davranışı üzerinde ZYE etkilerini inceledikleri çalışmada, B yapının kısa doğrultudaki genişliği (15 m) olmak üzere, zemin tabakası kalınlığını 2B'den büyük (45 m), yatay yönlerde yapının sınırlardan uzaklığını yapı dış yüzeylerinden itibaren 3B'den büyük (60 m) ve yarı sonsuz ortamın toplam genişliğini 7B'den büyük (135 m) olacak şekilde tasarlamışlardır. Goktepe vd. (2019), yüksekliği 30 m olan 6 katlı ve 6 m genişlikli bir bina için ana kaya üzerindeki zemin tabakasının boyutlarını 10 m derinlik, 30 m uzunluk ve 18 m genişlik olacak şekilde seçmişlerdir. Gan vd. (2019), plandaki uzunlukları 30 m (x doğrultusunda) ve genişlikleri 12 m (y

doğrultusunda) olan ve kazıklı radye temel üzerine inşa edilmiş üç komşu yüksek binanın sismik davranışı üzerinde dinamik yapı-zemin-yapı etkileşimini incelemişlerdir. Sonlu elemanlar modelinde, y ekseni doğrultusunda uygulanan yer hareketi etkisi altında, zemin ortamı x doğrultusunda 300 m (yapı uzunluğunun 10 katı), y doğrultusunda 240 m (yapı genişliğinin 20 katı) ve zemin kalınlığını 70 m almışlar ve x ve y doğrultularında sırasıyla serbest sınır ve viskoelastik yapay sınır tanımlamışlardır. Miao vd. (2020), dört bina, zemin ve bir metro istasyonundan oluşan bir sistemde, yapı-zemin-yer altı yapısı etkileşimini inceledikleri çalışmalarında, bina boyutlarının 12 m x 36 m ve metro istasyonu boyutlarının 22.4 m x 72 m olduğu koşullarda, toplam zemin uzunluğunu her iki doğrultuda 800 m ve kalınlığını 50 m olarak belirlemişlerdir.

1.3. Literatür Araştırması

Son yıllarda ZYE konusunda yapılan çalışmalar açısından önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Halabian ve El Naggar (2002) tarafından yüksek ve narin yapıların dinamik davranışı üzerinde doğrusal olmayan ZYE etkisi incelenmiştir. Doğrusal olmayan zemin davranışının sistemin doğal frekansını azalttığı ve yer değiştirme tepkilerini arttırdığı sonucuna varmışlardır. Bhattacharya vd. (2004) tarafından farklı zemin koşulları, kat sayısı, açıklık sayısı, kolonların eğilme rijitliğinin kirişlerinkine oranı ve yer hareketi frekansı gibi etkiler değerlendirilmiştir. Zemin esnekliğinin yapı doğal periyodunun uzamasına sebep olduğu ve düşük katlı binalarda taban kesme kuvvetini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Temel burulma-yanal doğal periyot oranının 1'e yakın olması durumunda sismik burulma tepkisinin hassas olduğu bulunduğundan ZYE'nin dikkate alınmamasının sismik tasarımda hatalara neden olabileceği belirtilmiştir. Dutta vd. (2004) tarafından düşük katlı yapıların elastik ve elastik olmayan davranışları ZYE dikkate alınarak incelenmiştir. ZYE'nin kısa periyotlu yer hareketlerinde taban kesme kuvvetini artırdığı ancak temel bağ kirişi kullanımının bu kuvveti azaltıcı etki yaptığı belirtilmiştir. Galal ve Naimi (2008) tarafından 20 ve 6 katlı betonarme çerçeveli yapıların davranışı, dört tip zemin ve 13 yakın fay deprem kaydı ile değerlendirilmiş ve yumuşak ve orta sıkı zeminlerde ZYE etkisinin daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Katlar arası öteleme değerleri sabit tabanlara göre alt katlarda daha yüksek bulunmuştur. Tabatabaiefar ve Massumi (2010) tarafından farklı kayma dalgası hızlarına sahip zeminler üzerindeki 3, 5, 7 ve 10 katlı binaların kat kesme kuvvetleri ve yatay ötelenmeleri ZYE dikkate alınarak incelenmiştir. Kayma dalgası hızı (V_s) 375-750 m/s arasında olan zeminlerde tepkilerin ankastre modele oranla pek farklılık göstermediği vurgulanmıştır. Ancak 175-350 m/s kayma dalgası hızına sahip

zeminler için 7 kattan daha yüksek binalarda, bu hızın 175 m/s'den az olduğu zeminlerde ise 3 kattan daha yüksek binalarda ZYE'nin dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir. Fatahi ve Tabatabaiefar (2014) tarafından ZYE dikkate alınarak 5, 10 ve 15 katlı binalar için gerçekleştirilen dinamik analizlerde eş değer doğrusal yöntem (ELM) ile doğrusal elastik olmayan yöntemler karşılaştırılmıştır ve binaların yatay deplasmanları, göreli kat ötelemeleri ve taban kesme kuvvetleri değerlendirilmiştir. ELM ile gerçekleştirilen bir tasarım faaliyeti ile yumuşak zeminler üzerinde konumlanan orta yükseklikli yapıların emniyetinin yeterince garanti altına alınamayacağı vurgulanmıştır. Tabatabaiefar vd. (2014) tarafından yapı yüksekliği, zemin özellikleri ve ana kaya derinliğinin; orta yükseklikli moment dayanımlı yapı çerçevelerinin elastik ve elastik olmayan sismik davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sistemler FLAC2D yazılımında sonlu farklar metodu ile esnek ve sabit taban durumu dikkate alınarak modellenmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Farklı deprem kayıtları (2 yakın alan ve 2 uzak alan deprem) altında doğrusal olmayan dinamik analizler yapılmış ve maksimum yanal deplasmanlar ve taban kesme kuvvetleri açısından sonuçlar değerlendirilmiştir. Kayma dalgası hızı ve kesme modülü azalıp ana kaya derinliğinin artmasıyla, esnek temellerde sabit temele kıyasla taban kesme kuvveti azalırken katlar arası ötelenmelerin arttığı belirtilmiştir. Fatahi vd. (2014) tarafından yumuşak zeminler üzerinde inşa edilen yüksek binalarda saha etkisi ile ZYE'nin yapının dinamik davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapı davranışı üzerinde ZYE etkisinin özellikle yumuşak zemin varlığında önemi vurgulanmıştır. Torabi ve Rayhani (2014) tarafından doğrusal elastik tek serbestlik dereceli (SDOF) bir yapı modeli ile zeminin doğrusal olmayan elastoplastik davranışını tanımlayan bir malzeme modeli kullanılarak dinamik yüklemeler etkisinde doğrusal olmayan temel-zemin bağlaşık tepkisini yakalayabilen bir üç boyutlu sayısal model tanıtılmıştır. Rijit ve narin (yüksek) yapıların; doğal frekanstaki değişim, temel dönmesi ve aşırı taban kesme kuvveti talebi gibi ZYE etkilerine oldukça duyarlı olduğu gösterilmiştir. Lu vd. (2016) tarafından ZYE dikkate alınarak çok katlı yapıların sismik performansını araştırılmıştır. 1, 5, 10, 15 ve 20 katlı binalar dikkate alınarak ve bunlar farklı zemin sınıflarına karşılık gelen üç set spektrum-uyumlu sentetik depreme maruz bırakılarak zemin rijitliğinin, temel periyodun, yatay tasarım yükünün, kat sayısının, yapı narinlik oranının ve saha koşullarının etkileri incelenmiştir. ZYE'nin özellikle küçük narinlik oranına ve düşük süneklik talebine sahip çok katlı binalarda, dayanım ve süneklik taleplerini %60'a kadar azaltabileceğini göstermişlerdir. Ghandil ve Behnamfar (2017) tarafından iki yumuşak zemin katmanı üzerinde konumlanan 5, 10, 15 ve 30 katlı doğrusal elastik olmayan

yapıların yanal deplasmanları, kesme kuvvetleri ve süneklik talepleri incelenmiştir. ELM ile oluşturulan ZYE modeli sonuçları, ankastre mesnetli model sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. ZYE dikkate alınarak modellenen 15 ve 30 katlı yapıların yanal deplasmanları, ankastre mesnetli modellerinkine oranla yüksek hesaplanmıştır. %120'ye kadar ulaşan bu artışların temel düzeyindeki rijit cisim (rijit body) dönmelerinden kaynaklı P-delta (Δ) etkilerinden dolayı meydana geldiği ve ayrıca taban kesme kuvvetlerinin ankastre modele kıyasla azaldığı belirtilmiştir. Kabtamu vd. (2018) tarafından kayma dalgası hızı 150 m/s'nin altında olan esnek taban üzerindeki 7 ve 12 katlı iki yapının davranışı üzerinde ZYE etkileri incelenmiştir. Esnek tabanlar için temel periyot ve göreli kat ötelemelerinin ankastre tabanlı modellere kıyasla daha büyük, buna karşılık taban kesme kuvvetlerinin ise daha küçük olduğu belirtilmiştir. Ada ve Ayvaz (2019), komşu yapılar özelinde yapı-zemin-yapı etkileşim etkilerini incelemiş ve komşu yapıların varlığının yapısal davranışı değiştirebileceği sonucuna varmışlardır. Oz vd. (2020), Türkiye'deki kırk mevcut yapıyı 1998 öncesi (eski) ve 1998 sonrası (yeni) olarak gruplandırarak, yalnızca ZYE'nin deprem davranışı üzerindeki etkisini değil, aynı zamanda zemin koşullarının yıkılan yapı sayısına olan etkisini de incelemiştir. Araştırmacılar, farklı zemin kayma dalgası hızlarını göz önüne alarak doğrusal olmayan zaman tanım alanı çözümlemeleri yapmışlar ve özellikle yumuşak zemin koşullarında, ZYE'nin eski yapıların deprem davranışını önemli ölçüde etkilediğini ve yıkılan yapı sayısının, özellikle eski ve düşük katlı yapılar için belirgin şekilde arttığını göstermişlerdir. Miao vd. (2020), yerüstü yapıları, zemin ve metro istasyonundan oluşan etkileşim sisteminin deprem tepkilerini irdelemek maksadıyla bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, sayısal bir model önermiş ve bunu sarsma tablası deneyleriyle doğrulamışlardır. İvme tepkilerini ve göreli kat öteleme oranlarını karşılaştırmak suretiyle, yapı yüksekliğinin, yapı sayısının, yapılar ile metro istasyonu arasındaki yatay mesafenin ve gömülme derinliğinin, yeraltı yapılarının dinamik davranışını etkileyebileceği sonucuna varmışlardır. Forcellini (2021), periyot uzaması ve sönüm artışını dikkate alarak ZYE etkilerini değerlendirmek amacıyla eşdeğer ankastre tabanlı modeller önermiş ve yöntemi doğrusal olmayan sayısal çalışmalarla doğrulamıştır. Zhang ve Far (2022), dört farklı yer hareketi etkisi altında 20, 30 ve 40 katlı yapıların davranışı üzerinde ZYE etkisini değerlendirmek amacıyla sayısal bir model önermiş ve kat kesme kuvvetleri/ötelemeleri, temel dönmesi ve yatay yer değiştirmeleri karşılaştırmışlardır. ZYE'nin yüksek katlı çerçeve çekirdek tüp yapılarında yatay yer değiştirmeleri ve kat ötelemelerini artırabileceğini, kat kesme kuvvetlerini ise azaltabileceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle, ZYE'nin göz ardı edilmesinin güvenli

olmayan sismik tasarıma yol açabileceği sonucuna varmışlardır. Karakostas vd. (2022), bir idari yapının deprem davranışı üzerinde ZYE etkilerini, hem bodruma hem de serbest alan koşullarını dikkate alabilmek için yapıdan belirli bir uzaklıkta zemin yüzeyine yerleştirilmiş iki ivmeölçer istasyonundan elde edilen kayıtları kullanarak incelemişlerdir. Sonrasında bodrum ve serbest alan kayıtları arasında gözlemlenen sapmaları, altsistem yaklaşımı çerçevesinde hibrit sayısal-analitik bir yöntem kullanarak değerlendirmişlerdir. Zemin esnekliğinin göreli kat ötelemeleri talebi üzerinde önemli etkilerinin olabileceğini ve özellikle düzensiz bir geometriye sahip yapılarda kapsamlı sayısal modellerin kullanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Miari ve Jankowski (2022), farklı çarpışma senaryolarını göz önüne alarak 4, 6 ve 7 katlı yapıların çarpışma etkisi altındaki davranışına zemin tipinin etkilerini incelemişler ve çarpışmalar sonucunda çarpışan kolonun kesme kuvveti taleplerinin önemli ölçüde arttığını ve yumuşak kil zemin üzerindeki yapıların kolonlarında diğer zemin türlerine kıyasla çok daha yüksek kesme taleplerinin oluştuğunu belirtmişlerdir. Kamal vd. (2022), ZYE etkisini dikkate alarak orta yükseklikteki bitişik yapıların deprem davranışını doğrusal olmayan sonlu eleman analizleriyle incelemişler ve yumuşak zemin üzerindeki bitişik yapıların tepkilerinin ankastre tabanlı duruma nazaran farklılık gösterdiğini ve bu tür yapıların birbirlerinden etkilenebileceği için tek başlarına değerlendirilmemesi gerektiğini ifade etmişlerdir. Forcellini (2023), bitişik alçak katlı binalar arasındaki çarpışma riskine ZYE'nin etkilerini incelemiş ve zemin deformasyonunun, aynı yüksekliğe sahip iki alçak katlı bina arasındaki çarpışma riskini artırmadaki rolünü ortaya koymuştur. Abdulaziz vd. (2024), binaların konumlandırılma şeklinin ve aralarındaki mesafenin dinamik tepkiler üzerindeki etkilerini araştırmışlar ve bu parametrelerde bir değişiklik olduğunda yapı-zemin-yapı etkileşimi etkilerinin ortaya çıkabileceğini ve özellikle binaların konumlandırılmasının deprem dalgası yönüne dik olması durumunda bu etkilerin daha bariz bir şekilde ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Araz vd. (2024), 40 katlı bir yapının kat ivmeleri üzerindeki ZYE etkilerini altı zemin türü ve on deprem kaydı altında incelemişlerdir. ZYE'nin dikkate alınmasıyla, maksimum kat ivmelerinin ankastre taban durumuna kıyasla genellikle azaldığını ve beşinci ve on beşinci katlar arasında meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ozturk vd. (2025), ZYE'nin özellikle yumuşak zeminlerde, kafes kirişlerde kare kesitli boşluklu (SHS) birleşimlerin yer değiştirme ve gerilme tepkilerini büyük oranda etkilediği sonucuna varmışlardır. Kaya vd. (2025), düşük frekans içerikli depremlerin yüksek narinlik oranına sahip yapılarda yer değiştirme ve ivmeleri yüksek oranlarda artırdığını ve ZYE'nin bu etkileri daha da güçlendirdiğini vurgulamıştır. Chandrawanshi ve Garg (2025), farklı yüksekliklerdeki

bitişik binaların oturması üzerinde yapı-zemin-yapı etkileşiminin etkisini araştırmışlar ve bu etkileşimin bitişik yapılara yakın temel ayaklarındaki oturmayı önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varmışlardır. Liu vd. (2026), ZYE etkisi altındaki kemer barajlar için, temsil edici zemin hareketlerini seçmek üzere iyileştirilmiş normalleştirilmiş spektral kümeleme algoritması kullanarak analiz maliyetlerini azaltan bir sismik kırılganlık hesaplama yöntemi geliştirmişlerdir.

Zemin-yapı sistemlerinin deprem davranışı üzerinde temelin gömülme derinliği de göz önüne alınması gereken kritik bir unsurdur. Zemin-yapı sistemlerinde doğal frekansın ve sönümün gömülme ile arttığını gösteren bir çalışma Bielak (1974) tarafından yapılmıştır. Gömülmenin etkin dinamik parametreler üzerindeki etkisi, yine Bielak (1978) tarafından kinematik etkileşim etkisinin ele alınmadığı durumda, çevredeki zeminle tam temas halindeki rijit silindirik temeller için araştırılmıştır. Aviles ve Perez-Rocha (1998) tarafından zemin-yapı sistemlerinin tepkisi, efektif periyot ve sönüm üzerinde temel gömülmesinin etkilerini değerlendirmek için sayısal bir çözüm sunulmuştur. Hem kinematik hem de atalet etkilerini içeren sonuçlar, ZYE olmayan ve yalnızca atalet etkisini dikkate alan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Aviles ve Perez-Rocha (2003), elastik veya rijit ana kaya üzerindeki bir tabakaya gömülü değişken yan duvar yüksekliğine sahip silindirik temel üzerindeki yapı için dinamik parametreleri tahmin etmiştir. Spyrakos ve Xu (2004) tarafından sonlu elemanlar yöntemi (SEM) ve sınır elemanlar yöntemi (BEM) hibrit bir şekilde yeni bir yöntem olarak kullanılarak tabakalı zeminlerde ağır esnek şerit temellerin dinamik analizi yapılmıştır. Yeni yöntemin doğrulaması sınırlı rijit temeller üzerinde yapılmış ve sonuçlar Gazetas (1983) ve Ahmed ve Bharadwaj (1991) çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır. Yan duvarların katkısına istinaden gömülü temeller için yer değiştirmenin büyük ölçüde azaldığı gösterilmiştir. Takewaki vd. (2003) tarafından gömülü yapılarda ZYE etkilerinin basit ve hızlı bir değerlendirmesi koni modeli aracılığıyla sunulmuştur. Tek serbestlik dereceli üstyapı sisteminin göreli kat ötelemesinin transfer fonksiyonu genliği, dört gömülme oranı (0, 0.5, 1, 2) ve dört kayma dalga hızı (200, 100, 50, 30 m/s) ele alınarak hesaplanmıştır. Transfer fonksiyonu genliği genel olarak gömülmenin artmasıyla azalırken, çok küçük kayma dalgası hızları (V_S=30-50 m/s) ve büyük gömülme oranı (e/r=2) için transfer fonksiyonu genliğinin özelliklerinin düzensiz olduğu görülmüştür. Livaoglu ve Dogangun (2007) tarafından altı farklı temel zemini üzerinde bulunan ayaklı depoların sismik davranışı üzerinde temel gömülme etkileri araştırılmıştır. Yatay yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri, çatı yer değiştirmeleri, sıvı salınım yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri üzerine irdelemeler sunulmuştur. Zeminin

yumuşamasıyla, yer değiştirmelerin gömülmeden oldukça etkilendiğini belirtmişlerdir. Nakhaei ve Ghannad (2008), sismik etkiler altında ZYE'nin yapıların hasar indeksi üzerindeki etkisini çift doğrusal (bilinear)-SDOF model ile incelemişlerdir. Yapı-zemin rijitlik oranı ve yapının en-boy oranı parametrelerini göz önüne alarak farklı zemin koşullarında üç farklı yer hareketi etkisi altında parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. ZYE'nin özellikle yumuşak zeminlerde bulunan kısa periyotlu binaların hasar indeksini önemli ölçüde artırdığı ve narinlik oranının büyümesiyle de bu etkinin arttığı sonucuna varmışlardır. Mahsuli ve Ghannad (2009), özellikle yumuşak zeminlerde temel gömülmesinin narin binalar için yapısal talepleri artırdığını ifade etmiştir. ZYE etkilerinin temelin rijitliğine ve bodrum kat sayısına bağlı olduğunu öne süren El Ganainy ve El Naggar (2009), ZYE etkilerinin önemine de işaret ederek bu etkinin bodrum kat sayısı arttıkça kademeli olarak azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca esnek temelli binaların deformasyonlarının, yumuşak zemin koşullarına karşılık gelen E zemin sınıfı üzerindeki binalar için ankastre taban durumuna nazaran %50'den yaklaşık %300'e kadar değişen oranlarda bir artış gösterdiğini ve bu suretle ZYE'nin bina performansı üzerinde olumsuz etkilerini olabileceğini belirtmişlerdir. Makhmalbaf vd. (2011) tarafından binaların performansa dayalı tasarım sürecinde ZYE etkileri; yapı-zemin empedans oranına, narinlik oranına ve temelin gömülmesine bağlı olarak incelenmiştir. Sayısal modelleme için Sonlu Farklar Yöntemi ve sismik yük olarak Ricker dalgası kullanılmıştır. ZYE etkilerinin empedans oranının artmasıyla belirgin hale geldiği, bu etkilerin yüksek frekanslarda daha bariz olduğu ve kinematik etkileşimin filtreleme etkisi nedeniyle çatı seviyesinde yer değiştirmelerde önemli azalmalar oluşturduğu belirtilmiştir. Ayrıca alçak binaların doğal periyodunun küçük olması sebebiyle, bu yapıların sistemin doğal frekansına yakın frekanslardaki sismik hareketi şiddetlendirebileceği ve temel gömülmesinin çatı seviyesindeki yatay yer değiştirmeleri büyük oranda azalttığı vurgulanmıştır. Bir diğer çalışmada, gömülü temele sahip zemin-yapı sistemlerinde kinematik etkileşim problemi; yapı-zemin rijitlik oranı, yapı narinlik oranı, temel gömülme oranı, temel kütlesinin yapı kütlesine oranı ve zeminin Poisson oranı dikkate alınarak Jahankhah vd. (2013) tarafından incelenmiştir. Zemin-yapı modelinin, homojen elastik bir yarı uzaya gömülü elastik tek serbestlik dereceli bir üst yapıdan oluştuğu ve zemin ile temel arasında ayrılma olmadığının varsayıldığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, kinematik etkileşimin ihmal edilmesinin, diğer bir deyişle serbest alan hareketinin girdi hareketi olarak kullanılmasının, sığ temellere sahip alçak yapılar için genellikle konservatif sonuçlar verdiği ancak derin gömülü temellere sahip narin yapıların tepkisini az tahmin ettiği ifade edilmiştir. Turan vd.

(2013), gömülü bodrum katlara sahip ve sert kil zemin üzerindeki binalarda sismik ZYE problemini araştırmıştır. Zemin-yapı sisteminin frekansının, temelin esnekliği nedeniyle ankastre taban durumuna kıyasla azaldığını ve gömülme oranının artmasıyla zemin-yapı sisteminin etkin periyodunun yapının periyoduna oranının uzun periyotlu yapılar için azaldığını ancak kısa periyotlu yapılar için arttığını göstermiştir. Conti vd. (2018), gömülü temellerin uyguladığı filtreleme etkisi üzerinde temel kütlesinin etkisini; bu kütlenin, temel ile çevresindeki zemin arasındaki kinematik etkileşimde dikkate alınabildiği hibrit bir yaklaşımla incelemiştir. Filtreleme probleminin esas olarak girdi hareketinin boyutsuz frekansına, temel genişliği/gömülme derinliği oranına ve temel/zemin kütle yoğunluğu oranına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Bararnia vd. (2018) tarafından gömülü temelli zemin-yapı sistemlerinin inelastik yer değiştirme oranları üzerinde ZYE ve üstyapının doğrusal olmayan tepkisinin etkilerini, özellikle kinematik etkileşim etkisi açısından incelemek için detaylı bir çalışma sunulmuştur. Farklı dinamik özelliklere ve ZYE açısından önemli etkileşim parametrelerine sahip çok sayıda gömülü temelli zemin-yapı sistemi 19 ayrı deprem yer hareketi etkisinde çözümlenmiş ve hem kinematik hem de eylemsizliğe bağlı etkileşim etkilerini içeren sonuçlar parametrik olarak tartışılmıştır. Ankastre sistemlerin inelastik yer değiştirme oranlarının kullanılmasının, zemin-yapı sistemleri için maksimum inelastik taleplerin düşük hesaplanmasına yol açtığı, bu etkinin temel gömülme oranı arttıkça daha az belirgin hale geldiği ve ayrıca kinematik etkileşim nedeniyle oluşan dönen temel girdi hareketinin, inelastik yer değiştirme talepleri üzerindeki etkisinin, ZYE etkisinin baskın olduğu derin gömülü temellerde önem kazandığı görülmüştür. Ahmadi (2019) tarafından zemin-gömülü temel-yapı etkileşim sistemlerinde yapısal enerji dağılımı ve kümülatif hasar indeksi hem atalet hem de kinematik etkileşim dikkate alınarak incelenmiştir. Zemin-temel-yapı etkileşim etkilerinin; yapının toplam enerjisini, viskoz sönüm enerjisini ve histerezis sönüm enerjisini önemli ölçüde değiştirdiği görülmüştür. Ayrıca yalnızca eylemsizliğe bağlı etkileşimin dikkate alınmasının, yapının kümülatif hasar indeksini artırdığı ancak kinematik etkileşimin dahil edilmesinin azaltıcı bir etki sağladığı ortaya konulmuştur. Daha yüksek gömülme oranlarının daha düşük toplam enerji ve viskoz sönümleme enerjisine, daha yüksek histerik enerjiye neden olduğu vurgulanmıştır. Öte yandan, daha yüksek gömülme oranına sahip uzun periyotlu yapılarda daha düşük histerik enerji elde edilmiştir. Asadi-Ghoozhdi ve Attarnejad (2020) tarafından doğrusal olmayan ZYE dikkate alınarak gömülü temelli yapıların süneklik ve yer değiştirme taleplerinin hesabı üzerine parametrik bir çalışma yapılmıştır. Zemin-gömülü temel etkileşimi Winkler modeli ile dikkate alınmış ve eş

değer SDOF yapı için çift doğrusal (bilinear) davranış modeli kullanılmıştır. Temel gömülmesinin SDOF sistemin süneklik talebini genellikle artırdığı, kinematik etkileşimin süneklik talebi üzerindeki etkisinin derin gömülme oranlarına sahip yapılarda daha belirgin olduğu ve narinlik oranının artmasıyla dönme girdi hareketinin süneklik ve yer değiştirme talepleri üzerindeki rolünün daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Song vd. (2021) tarafından bayrak şeklinde histeretik davranış ile karakterize edilen kendi kendini merkezleyen SDOF sistemlerin sabit dayanımlı inelastik yer değiştirme oranları üzerindeki ZYE etkileri değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan zaman tanım alanı çözümlemeleri; çok sıkı, sert ve yumuşak zemin sınıflarına tekabül eden tasarım tepki spektrumlarına uyumlu olarak oluşturulmuş üç farklı grupta yer alan 20 sentetik yer hareketi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ankastre tabanlı üst yapının temel periyodu, dayanım azaltma katsayısı, yapı-zemin rijitlik oranı, üst yapının narinlik oranı, ikincil rijitlik oranı ve bayrak şeklindeki modelin enerji dağılım oranı gibi parametrelerin inelastik yer değiştirme oranları üzerindeki etkileri irdelenmiştir. Farklı zeminler üzerindeki zemin-yapı sistemlerinin inelastik yer değiştirme oranı spektrumlarının genel olarak benzer eğilimler sergilediği, kısa periyot bölgelerinde zemin-yapı sisteminin inelastik yer değiştirme oranının 1'den oldukça büyük olduğu, periyot arttıkça ankastre tabanlı yapının inelastik yer değiştirme oranı 1'e yaklaşırken, zemin-yapı sisteminin inelastik yer değiştirme oranının 1'den büyük sabit bir değere eğilim gösterdiği görülmüştür. Yapı-zemin rijitlik oranının artmasının, özellikle 2 ve 3 değerleri için, inelastik yer değiştirme oranında belirgin bir artışa neden olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca düşük yapı-zemin rijitlik oranı değerleri için zemin-yapı sisteminin inelastik taleplerinin narinlik oranına duyarsız olduğu ve yüksek yapı-zemin rijitlik oranı değerlerinde kısa periyotlu yapılar için narinlik oranının artmasının inelastik yer değiştirme oranını azalttığı ancak uzun periyotlu yapılar için narinlik oranı artışının inelastik yer değiştirme oranını artırdığı vurgulanmıştır. El Hoseny vd. (2022) tarafından, bodrum katı olmayan, 1 bodrum kata ve 2 bodrum kata sahip 7 katlı betonarme çerçeve tipi binaların dinamik tepkisini ankastre ve esnek taban koşullarında araştırılmıştır. 1:50 oranında küçük bir ölçek katsayısı ile sarsma tablası deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gömülme derinlikleri dikkate alınmadığında yanal yer değiştirmelerin aşırı tahmin edildiği ve esnek prototip modelde gömülme derinliğine sahip üst yapıların yanal yer değiştirmelerinin, gömülme derinliği olmayan duruma göre azaldığı tespit edilmiştir. Araz vd. (2023), çeşitli gömme derinlikleri ve zemin özelliklerini göz önünde bulundurarak 16 katlı bir binanın tepkilerini azaltmak için ayarlı kütle sönümleyicinin optimizasyonunu araştırmışlardır. Parametrik çalışmalarda

beş farklı optimizasyon algoritması, üç farklı gömülme oranı (0.5, 1, 1.5), iki farklı zemin türü (V_s=100 ve 200 m/s) ve yirmi deprem kaydı dikkate almışlar ve ayarlı kütle sönümleyicinin etkinliğinin, zemin özelliklerinden ve gömülme oranından etkilendiğini göstermişlerdir. Demir ve Livaoğlu (2023) tarafından gömülme etkileri ve stok malzemesi-silo-temel/zemin sistemi etkileşimi dikkate alınarak betonarme siloların deprem davranışı incelenmiştir. Analitik ve sayısal yaklaşımlarla, bodur ve narin siloları temsil eden iki farklı narinlik oranı ile dört çeşit zemin sınıfı göz önüne alınarak malzeme basınçları ve taban kesme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Siloların deprem davranışının, hem içlerindeki stok malzemesinden hem de temel/zemin etkileşiminden önemli ölçüde etkilendiği gösterilmiştir. El Hoseny vd. (2023) tarafından dinamik analizlerde küçük ölçekleme faktörünün yeterliliğini doğrulamak ve değişken gömülme derinlikleri ile ZYE etkilerini dikkate alarak yüksek binaların deprem davranışını incelemek amacıyla sayısal ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. ZYE ve gömülmenin, yüksek binaların dinamik davranışları üzerinde önemli etkilerinin olduğu gösterilmiştir. Wu vd. (2024), sonlu elemanlar yöntemiyle binaların sismik tepkisi üzerinde komşu yer üstü ve yer altı yapılarının etkisini, bitişik yapıların boyutunu ve yapılar arası mesafeyi değiştirerek incelemişlerdir. Yer altı yapıların varlığının, hedef yapının dinamik davranışı üzerinde yer üstü yapılara kıyasla daha etkili olduğunu ve ayarlı kütle sönümleyicilerin tasarımının ZYE'den etkilendiğini ifade etmişlerdir. Hu vd. (2024) tarafından doğrusal olmayan yapı-zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak reaktör binası grubunun sismik performansı ve gömülme etkileri üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Derin gömülmenin deprem titreşimlerini azaltabileceği ve adı geçen etkileşim etkilerinin nükleer yapıların sismik güvenlik değerlendirmesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Mittal vd. (2025), gömülme derinliğinin yapıların deprem performansı üzerindeki etkisini zemin-temel-yapı etkileşimini dikkate alarak deneysel yöntemlerle incelemişler ve gömülme oranı arttıkça yanal yer değiştirmelerin ve yapısal hasarların azaldığı sonucuna varmışlardır. Hafshejani vd. (2025) tarafından Abaqus yazılımı ile düzensiz yapıların ZYE tepkisi üzerinde, farklı gömülme derinliklerinin ve yapılar arasındaki mesafelerin birleşik etkisi araştırılmıştır. Yapılarda meydana gelen yer değiştirme, gerilme ve ivme tepkileri; yapılar arası mesafenin 2-10 m arasında ve gömülme derinliklerinin 0-3 m arasında değiştirilmesiyle değerlendirilmiştir. Komşu yapıların gömülme derinliklerinin 0'dan 3 m'ye artırılmasının, her iki yapının da zemin yüzeyinde bulunduğu duruma kıyasla, iki yapı arasındaki mesafeye bağlı olarak ZYE etkisini %31.2'den %19.2'ye düşürdüğü belirtilmiştir. En yüksek ZYE etkisi, iki yapının birbirine en yakın konumda ve her

ikisinin de zemin yüzeyinde bulunduğu durumda elde edilmiştir. Bu iki faktörün eş zamanlı hesaba katılmasının, ZYE'nin etkisini %84.4 oranında artırdığı vurgulanmıştır. Xu vd. (2025), kum zeminde yapılan tünel inşaatı eşliğinde, ayrık temeller üzerindeki çerçeveli binaların tepkisini inceleyen bir dizi sayısal modelle araştırmışlardır. Tünel inşaatı kaynaklı yatay yer değiştirmelerin ayrık temeller için önemli olduğunu, daha derin temel gömülme derinliklerinde daha büyük temel yatay yer değiştirmelerinin meydana geldiğini ve bina genişliği ile eksantrisitenin de zemin-temel etkileşimini etkilediğini belirtmişlerdir. Sonuç olarak tünel inşaatı nedeniyle süreksiz temellere sahip binalarda hasar değerlendirmesi yapılırken yatay şekil değiştirmelerin ve gerçekçi temel gömülme derinliğinin dikkate alınmasının önemini vurgulamışlardır. De Silva ve Silvestri (2025), dinamik zemin-temel-yapı etkileşim etkilerini dikkate alarak binaların sönüm oranını ve periyot uzamasını tahmin etmek için kapalı form çözümleri önermişlerdir. Esnek veya etkileşimli temeller üzerine oturan yapılarda periyot artışının daha belirgin olduğunu, dönme eğilimli yapılar için zemin histeretik katkısının en yüksek düzeyde olduğunu ve normal binalar için gömülme etkisinin hem periyot uzaması hem de sönüm oranı üzerinde ikincil bir öneme sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Li vd. (2025), gömülme etkisini dikkate alarak tabakalı bir zemin altındaki büyük ölçekli nükleer santral temelinin zemin dinamik empedans fonksiyonunun belirlenebilmesi için bir yaklaşım önermişlerdir. Önerdikleri algoritmanın farklı temel şekilleri ve temel gömülme etkileri için uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir. Hwang vd. (2025), sarsma tablası deneyleri ile bina bodrum duvarlarına etkiyen dinamik zemin basınçlarının ZYE dikkate alınarak değişimini inceledikleri çalışmada ZYE'nin bodrum duvarlarında oluşan yanal basınç dağılımını önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuşlardır. Nguyen vd. (2025), kinematik ve atalet etkilerini hesaba katarak bodrum duvarları üzerindeki dinamik toprak basıncını tahmin etmek için yeni bir analitik yöntem sunmuşlar ve binanın ataletini göz ardı etmenin basınç tahminlerinde büyük hatalara yol açabileceğini ortaya koymuşlardır. Hazem vd. (2025), ZYE dikkate alınarak ve alan indirgeme yöntemi kullanılarak yer altı kutu menfez yapılarının doğrusal olmayan sismik tepkisini araştırmışlar ve yapı kalınlığı ve donatı çapının sismik performansı önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymuşlardır. Tao vd. (2026), yapı-zemin-yapı etkileşim etkilerini dikkate alarak sıvılaşabilir zeminlerdeki çok yapılı yer altı sistemleri için yenilikçi bir deprem dayanıklılığı değerlendirme prosedürü geliştirmişlerdir. Deprem dayanıklılığının, yapının sağlamlığı ile deprem sonrası iyileştirme etkinliğinin birleşik etkilerinden önemli ölçüde etkilendiğini, daha iyi yapı deprem performansının ve yük altındaki daha küçük performans kayıplarının daha az

dayanıklılık kaybına yol açacağını ve deprem sonrası hızlı bir iyileştirme yöntemi seçmenin yapı dayanıklılığı kaybını azaltmak için son derece önemli olduğunu ifade etmişlerdir.

1.4. Çalışmanın Amacı, Kapsamı ve Gerekçesi

Dinamik yapısal tasarım açısından ZYE'nin önemini vurgulayan çok sayıda parametrik çalışma literatürde mevcuttur. Bir zemin-yapı sisteminin sismik davranışı; girdi hareketi, temelin tipi ve derinliği, zemin kayma modülü ve kayma dalgası hızı ve üst yapının geometrisi ve doğal periyodu gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Anand ve Kumar, 2018). Örneğin, Ciampoli ve Pinto (1995) yapı-zemin rijitlik oranı ve yapı en-boy oranını etkin parametreler olarak tanımlamıştır. Sonraki bazı çalışmalarda zemin-yapı sistemlerinin sismik davranışında sığ temeller için temel tipi ve boyutu ve kazıklı temeller için kazık boyutu ve yük transfer mekanizması gibi özelliklerin önemi irdelenmiştir (Van Nguyen vd., 2016; Van Nguyen vd., 2017). Zafarkhah ve Dehkordi (2017) ise zemin tipi ve yapı yüksekliğindeki değişkenliğin etkilerini incelemiş ve sayısal modelleri doğrulamak için elde edilen sonuçları NEHRP yönteminden türetilenlerle karşılaştırmıştır. Burada dikkate alınması gereken diğer parametreler arasında; yapısal sistemin deprem kaynağına olan mesafesi, zemin büyütme etkileri ve deprem frekans içeriği sayılabilir. Zira yakın fay depremlerinin (near fault earthquakes) özelliklerinin ve yapıya etkisinin uzak fay depremlerinkinden (far fault earthquakes) farklı olduğu bilinmektedir. Yakın fay ve/veya farklı frekans içeriğine sahip depremlere maruz yapıların davranışı, temel zemininin özelliklerinden etkilenmektedir. Bu bağlamda, bu tür yapılar için ankastre tabanlı sistem varsayımı, onların sismik tepkisini yeterince temsil etmeyebilir (Galal ve Naimi, 2008). Buradan hareketle; ZYE'nin hangi koşullar altında sonuçlar üzerinde önemli etkiler yarattığını ve hangi koşullarda göz ardı edilebileceğini, ZYE'nin dikkate alınmasının ihtiyatlı sonuçlara yol açıp açmadığını ve bu etkileşimin yapı narinliği ve temel gömülme derinliği ile olan karşılıklı ilişkisini belirlemeye yönelik olarak problemin ele alınması ve parametrik çalışmalar gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler ışığı altında;

a. Farklı narinlik oranlarına ve temel gömülme derinliklerine bağlı olarak yapı sistemlerinin dinamik davranışının belirlenebilmesi için üç boyutlu sayısal modeller geliştirmek,

b. Bina yüksekliğinin, zemin türünün ve deprem frekans içeriğinin değişimine bağlı olarak parametrik çalışmalar gerçekleştirmek suretiyle zemin-yapı sistemlerinin dinamik davranışlarını belirlemek,

c. Tasarımcılara ZYE'nin, temel gömülme derinliğinin, yapı narinlik oranının ve farklı yer hareketlerinin yapı davranışını nasıl değiştirebileceği hususunda bir bakış açısı sağlayabilmek,

bu tezin başlıca amaçlarını oluşturmaktadır.

ZYE'nin dikkate alınmasının yapılarda meydana gelen iç kuvvetleri azaltabileceği ve buna bağlı olarak konservatif bir yaklaşım olduğu kanısıyla, geleneksel yapısal tasarımda uzun yıllar boyunca ZYE etkileri göz ardı edilerek yapının zemine ankastre mesnetlendiği kabulü yapılmıştır. Ancak öte yandan farklı karaktere sahip zeminler üzerine inşa edilen yapılarda ZYE etkisiyle yapı periyodunda uzama ve yer değiştirmelerde artma eğilimi gözlenebilmektedir (Livaoglu, 2005; Cakir, 2010). Veletsos ve Meek (1974), ZYE'nin yapı dinamik davranışını önemli mertebelerde etkileyebileceğini ve yapının periyot ve sönümünü değiştireceğini belirtmektedir. Öte doğal periyodun artması ve girdi hareketinin zemin tabakalarının özelliklerini, zemin tabakalarının da girdi hareketi ivmelerinin genliklerini ve frekans içeriğini farklılaştırması sonucu yapıların sismik talebi değişebilmektedir (Seed vd., 1976).

Birçok araştırmacı moment dayanımlı binalar üzerinde ZYE etkisini araştırmıştır (Tabatabaiefar vd., 2013; Tabatabaiefar ve Fatahi, 2014; Ghandil ve Behnamfar, 2017; Yang vd., 2020). Genel olarak, ankastre model ile karşılaştırıldığında, ZYE etkisiyle taban kesme kuvveti azalırken yanal deformasyonlar artmakta ve ZYE etkileri zeminlerin kayma dalgası hızının azalmasıyla daha belirgin hale gelmektedir. Bu nedenle, ZYE'nin dikkate alınmaması, binaların performans düzeyinde değişikliklere ve sismik yüklemeye maruz kalan yapılarda güvenli olmayan sonuçlara yol açabilmektedir. Sismik yüklere maruz yapı sistemlerinin tasarımında, önemli parametrelerden biri de temelin gömülme derinliğidir. Gömülü temellere sahip yapılar için ZYE etkilerinin dikkate alınması ayrıca önem arz etmektedir. Bu durum narin ve yüksek yapılarda daha belirgin hale gelebilmektedir. Bu nedenle, temeli gömülü olan yapıların süneklik talepleri, olmayanlara göre daha fazladır (Asadi-Ghoozhdi ve Attarnejad, 2020). Birden çok bodrum katlı yapıların sismik tasarımına ilşkin mevcut uygulamalar, büyük ölçüde tasarımcının kişisel yargı ve deneyimine göre farklılık gösteren yaklaşımlara dayanmaktadır. Bunun altında yatan nedenin, yapı yönetmeliklerinde bu konuya ilişkin yeterli ve açık önerilerin bulunmamasının olduğu düşünülebilir. Çoğu bina yönetmeliği, birden fazla gömülü katı olan düşük ve orta katlı binaları, sığ temelli binalar için geçerli olan aynı önerilerle ele almaktadır (El Ganainy ve El Naggar, 2009). Ancak bina temelinin gömülme derinliğinin sismik performans üzerindeki etkisini yeterince değerlendirebilmek için bodrum katlarının, bodrum duvarlarının ve temel zemininin

modelleme aşamasında dikkate alınması son derece önemlidir. Birçok araştırmacı tarafından bu parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesi maksadıyla sayısal, analitik ve deneysel araştırmalar yapılmıştır (Stewart vd., 1999; Bielak, 1974; Kim ve Stewart, 2003). Ayrıca yüzeysel ve gömülü temellerin davranışını incelemek için basitleştirilmiş zemin modelleri de kullanılmıştır. Kısmen gömülü temellerin tepkisini araştırmak amacıyla kapalı formda çözümler de türetilmiştir (Nogami ve Chen, 2002; Yong vd., 1997). Vrettos (1999) tarafından da yarı-analitik bir yöntem kullanılarak sıkıştırılabilir ve homojen olmayan bir zemin ortam üzerindeki rijit temellerin düşey ve dönme tepkileri incelenmiştir. Bunlara ek olarak; temel esnekliği, zeminin homojen olmaması ve doğrusal davranış göstermemesi, zeminin tabakalanması, temel ile zemin arasındaki ayrılma ve taban kalkması dahil olmak üzere, etkileşim problemini inceleme ihtiyacından hareketle birçok yöntem geliştirilmiştir.

Teknik literatürde sayısal modellerden elde edilen sonuçlar; farklı sayısal modelleme yaklaşımlarının kullanıldığı sayısal modellerden, analitik modellerden veya deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmaktadır. Basitleştirilmiş analitik modeller, işlem zamanını oldukça kısaltarak etkileşim problemleri açısından pratik çözümler sunabilmekte ve fiziksel modeli büyük bir yaklaşıklıkla temsil edebilmektedir. Bu çalışmada önerilen sonlu elemanlar modellerinin etkinliği, bu modellerin modal analizinden elde edilen periyot değerlerinin, önerilen analitik modellerin çözümünden elde edilenlerle karşılaştırılmasıyla gösterilmektedir. Akabinde, önerilen sonlu elemanlar modelleri aracılığıyla, farklı zemin türleri, narinlik oranları, gömülme derinlikleri ve deprem kayıtları kullanılarak zaman tanım alanında sismik çözümlemeler yapılmaktadır. Rölatif yer değiştirmeler, göreli kat ötelemeleri, gerilmeler ve ivmeler; ifade edilen değişkenler ekseninde karşılaştırmalı olarak incelenmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Ankastre Tabanlı Sayısal Modeller

Bu bölümde ankastre tabanlı yapılara ilişkin sonlu eleman modelleri ve analitik modeller oluşturulmuştur. Bu modeller modal analize tabi tutularak elde edilen frekans/periyot değerleri karşılaştırılmıştır.

Modeller düşük, orta ve yüksek katlı yapıları temsil etmek üzere kat sayıları sırasıyla 4, 8 ve 12 olan üç farklı yapı olarak tasarlanmıştır. Kat yüksekliği tüm yapılarda 3 m alınmıştır. Beton sınıfı C25, elastisite modülü (E) $3x10^{10}$ N/m^2, Poisson oranı (ν) 0.2 ve kütle yoğunluğu 2500 kg/m^3 olarak seçilmiştir. Kiriş boyutları tüm yapılarda 30/50 cm seçilirken, kolon boyutları 4 katlı yapı için 30/50 cm, 8 katlı yapı için 30/60 cm ve 12 katlı yapı için 30/70 cm alınmıştır. Tüm yapılarda döşeme kalınlığı 12 cm olarak dikkate alınmıştır. Modelleme aşamasında döşemeler taşıyıcı eleman olarak modellenmemiş, ancak her döşemenin ağırlığı ilgili kiriş elemanlarına eklenmiştir. Kirişlerde duvar yükü 300 kg/m, döşemelerde sabit yük 150 kg/m^2 ve hareketli yük 200 kg/m^2 olarak seçilmiştir. Bu yükler tüm modellerde aynı şekilde kullanılmıştır. Modellemelerde hem yapı hem de zemin için doğrusal elastik malzeme modeli kullanılmıştır. Dinamik analizlerde sönüm matrisinin elde edilebilmesi için Rayleigh sönümü dikkate alınmış ve yapı ve zemin için sönüm oranı 0.05 olarak kabul edilmiştir. Ayrıca binaların narinlik oranı H ve L sırasıyla binanın yüksekliği ve genişliği olmak üzere Eşitlik 1'de gösterilmiştir. 4, 8 ve 12 katlı yapılar için bu oran sırasıyla s=2, s=4 ve s=6 olmaktadır.

$$s = \frac{2H}{L} \qquad \text{(Eşitlik 1)}$$

Tablo 1'de modal analiz için kullanılacak yapı sistemlerinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 1. Zemin-yapı sisteminin özellikleri

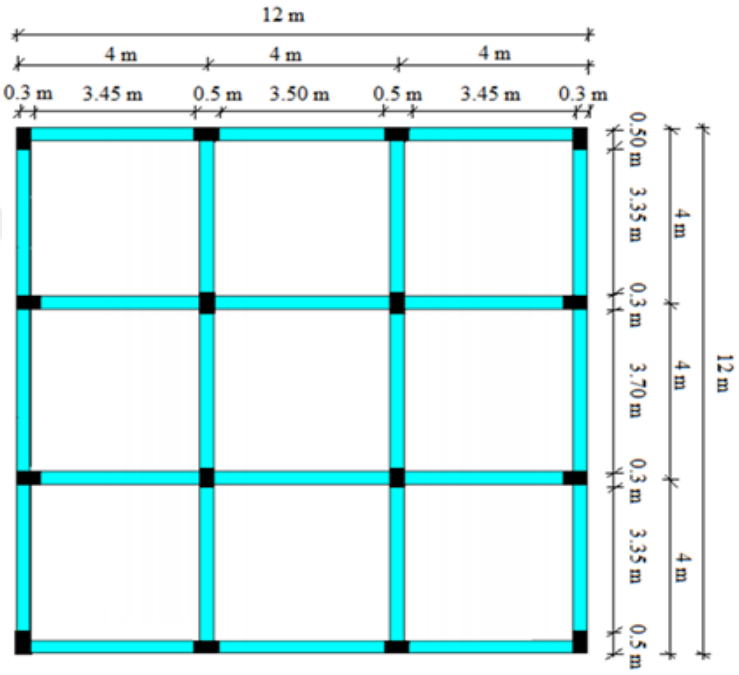
Parametre	4 kat	8 kat	12 kat
Kat kütlesi m_i (kg)	149040	137880	135600
Kat kütle atalet momenti I_i (kgm^2)	$1.69x10^6$	$1.56x10^6$	$1.53x10^6$
Kat rijitliği k_i (N/m)	$4.53x10^8$	$7.20x10^8$	$1.08x10^9$
Temel kütlesi m_0 (kg)	144000	288000	432000
Temel kütle atalet momenti I_0 (kgm^2)	$1.65x10^6$	$3.30x10^6$	$4.95x10^6$

Oluşturulan modeller için sonlu elemanlar paket programı ANSYS 13.0 (ANSYS, 2010) kullanılmıştır. Bu program ile ZYE sistemlerinin üç boyutlu olarak dikkate alınabilmesi, malzeme bünye modelleri kullanılarak yapı ve zeminin doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının yansıtılabilmesi, yarı sonsuz zemin ortamda yayılmaya bağlı (radyasyonel) sönüm etkilerinin dikkate alınabilmesi, ara yüzey davranışının modellenebilmesi, gerilme dağılımlarının belirlenebilmesi, yapı sistemlerinin zayıf noktalarının tespiti ve zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilebilmesi mümkündür. İfade edilen hususların yanı sıra analizlerde, etkileşim halinde olan malzeme yüzeylerinin değişen konumuyla doğrudan ilişkili temas problemi ve malzemelerin doğrusal olmayan özelliklerini yansıtan gerilme-deformasyon ilişkisi problemi gibi matematiksel olarak iterasyon bağımlı ifadelerin çözümünde bazı yakınsama problemleriyle karşılaşılabilmektedir. Böyle problemlerin çözümü için iterasyon tolerans kriterlerinin esnetilmesi, sonlu eleman ağ yapısının sıklaştırılması, yükleme adım aralığının küçültülmesi ve model sınır koşullarının doğru uygulanması çoğu zaman yeterli olmaktadır. Buradaki sonlu eleman modellerinde rijit tabanlı yapısal sistemler sekiz düğümlü ve her düğümde üç serbestlik derecesine (üç yönde ötelenme) sahip katı elemanlarla (SOLID65) ve üç düğümlü her düğüm noktasında altı serbestlik derecesine (x, y, z yönlerindeki ötelenme ve dönmeler) sahip çubuk elemanlarla (BEAM189) modellenmiştir.

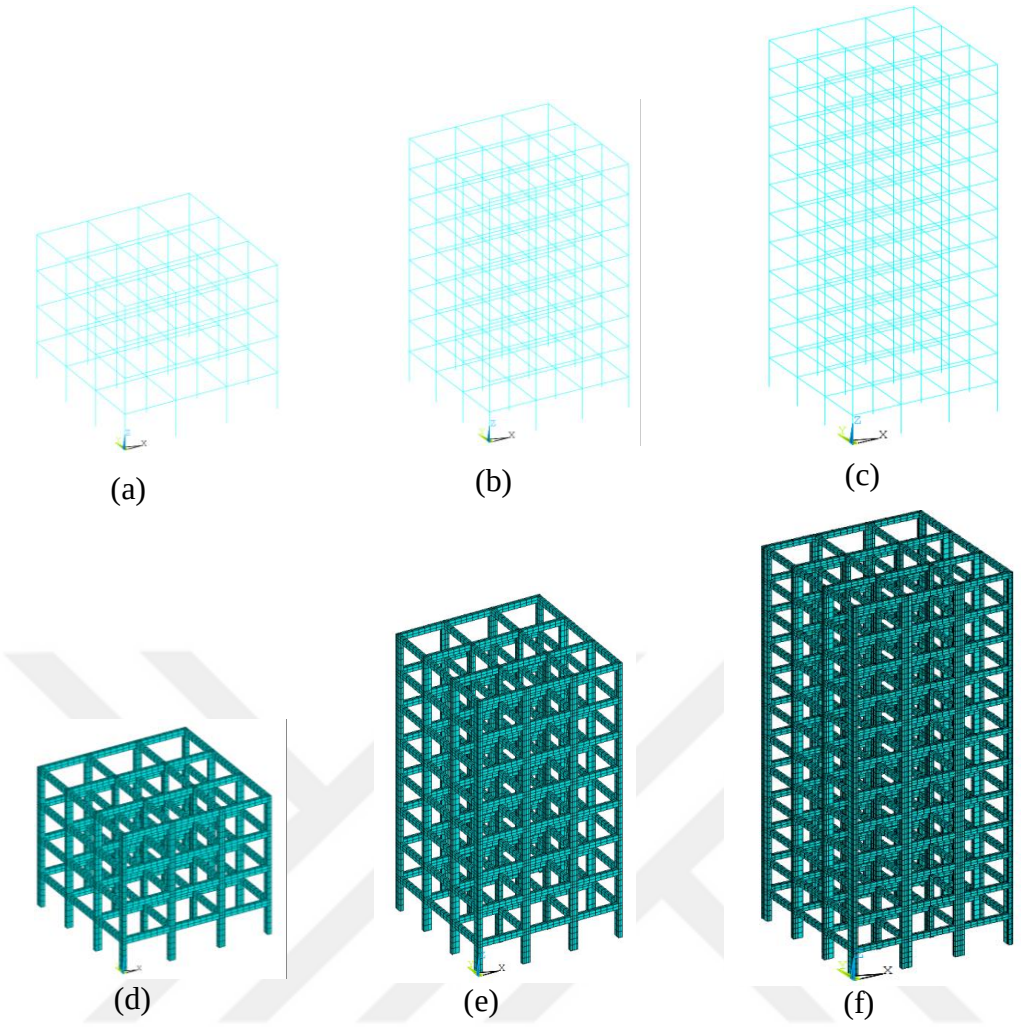
Yapı periyodu, sismik talebin değerlendirilmesinde önemli bir parametredir. Periyot hem analitik formüller aracılığıyla hem de yapının sayısal modeli üzerinde gerçekleştirilen modal analiz yoluyla değerlendirilebilir. Rijit tabanlı oluşturulan sayısal modellerden elde edilen periyotlar üzerinden yapılan karşılaştırmalar iki şekilde sunulmuştur. İlkinde, yapı sistemleri ayrı ayrı değerlendirilerek her sistemde kat seviyesinde toplanmış kütlelerden oluşan modellerin hareket denklemlerinden elde edilen analitik sonuçlarla sayısal modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış, ikincisinde ise yapı sistemleri tek serbestlik dereceli sistemlere dönüştürülerek hesaplamalar gerçekleştirilmiştir.

Sayısal modeller üç boyutlu katı ve çubuk model şeklinde oluşturulmuştur. Model geometrilerinde x ve y yatay doğrultular olarak seçilirken, z düşey doğrultu olarak seçilmiştir. SEM'de rijit taban davranışı dikkate alınarak katı modelde tüm serbestlikler (UX, UY, UZ) için ve sadece tek doğrultudaki yatay serbestliğe (UX) izin verilerek modal analiz gerçekleştirilmiştir. Bu modellere sırasıyla S4XYZ, S8XYZ, S12XYZ ve S4X, S8X, S12X isimleri verilmiştir. Çubuk modelde ise dönme etkisinin göz ardı edilmesiyle ötelenme serbestlikleri (UX, UY, UZ) için ve sadece tek doğrultudaki yatay

serbestliğe (UX) izin verilerek modal analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analiz sonucunda çubuk modelde izin verilen her iki serbestlik durumunda mod özelliklerinin x doğrultusunda aynı olduğu görülmüştür. Bu nedenle sadece tek doğrultudaki yatay serbestliğe (UX) izin verilmiş sonuçlar alınarak devam edilmiştir. Bu modellere ise sırasıyla C4X, C8X, C12X isimleri verilmiştir. 4 katlı yapının planı Şekil 8'de ve üç boyutlu sayısal modeller Şekil 9'da verilmiştir. Tablo 2-4'te sırasıyla katı ve çubuk modellerin modal karakteristikleri sunulmuştur.



Şekil 8. 4 katlı yapının planı



Şekil 9. a) 4 katlı binanın çubuk modeli, b) 8 katlı binanın çubuk modeli, c) 12 katlı binanın çubuk modeli, d) 4 katlı binanın katı modeli, e) 8 katlı binanın katı modeli ve f) 12 katlı binanın katı modeli

Tablo 2-4'te sunulan katı ve çubuk model sonuçları incelendiğinde kat sayısı arttıkça periyot değerlerinin arttığı görülmektedir. Bilindiği üzere yapı davranışı üzerinde en etkili modlar, etkin kütlelerin ve dolayısıyla kütle katılım faktörlerinin en yüksek olduğu modlardır (Cakir ve Livaoglu, 2013). Burada onlarca mod arasından katılım faktörlerine bağlı olarak seçilen dört modun, yapı davranışını temsil eden modlar olduğu ilgili tablolardan açıkça görülmektedir. Katı modeller ile çubuk modeller arasında oluşan periyot değeri farklarının etkin ve toplam kütlelerin farklılığından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca çubuk modelde (BEAM189) ve katı modelde (SOLID65) kullanılan elemanların düğüm noktalarının ve serbestlik derecelerinin sayısının farklı olmasının da (SOLID65: 8 düğüm noktası ve 3 serbestlik derecesi, BEAM189: 3 düğüm noktası ve 6 serbestlik derecesi) sonuçlar üzerinde etkili olabileceği ifade edilebilir. Katı model ile temsil edilen sistemlerde 4, 8 ve 12 kat için

elde edilen düğüm noktaları sayısı sırasıyla 11592, 22968 ve 34344'tür. Çubuk model için ise bu sayılar sırasıyla 2224, 4432 ve 6640'tır.

Tablo 2. S4XYZ, S8XYZ ve S12XYZ modellerine ait modal analiz sonuçları

SİSTEM	Mod özellikleri	Mod			
		1.	2.	3.	4.
S4XYZ	Mod periyodu (s)	0.40	0.13	0.08	0.06
	Etkin kütle (kg)	493373	58808.4	20021.1	6562.3
	Modal katkı (%)	83.89	9.99	3.40	1.11
	Toplam kütle (kg)	588129			
S8XYZ	Mod periyodu (s)	0.71	0.24	0.14	0.10
	Etkin kütle (kg)	880870	114988	39325.9	20934.2
	Modal katkı (%)	82.13	10.72	3.67	1.95
	Toplam kütle (kg)	1072580			
S12XYZ	Mod periyodu (s)	1.03	0.34	0.19	0.13
	Etkin kütle (kg)	1271650	182367	58372.4	30148.4
	Modal katkı (%)	81.31	11.66	3.73	1.89
	Toplam kütle (kg)	1563920			

Tablo 3. S4X, S8X ve S12X modellerine ait modal analiz sonuçları

SİSTEM	Mod özellikleri	Mod			
		1.	2.	3.	4.
S4X	Mod periyodu (s)	0.25	0.09	0.06	0.05
	Etkin kütle (kg)	526814	49724.9	11873.1	2265.58
	Modal katkı (%)	89.18	8.42	2.01	0.38
	Toplam kütle (kg)	590698			
S8X	Mod periyodu (s)	0.37	0.12	0.08	0.06
	Etkin kütle (kg)	937143	99956.6	32973.7	14530.2
	Modal katkı (%)	85.47	9.12	3.00	1.33
	Toplam kütle (kg)	1096470			
S12X	Mod periyodu (s)	0.45	0.15	0.09	0.07
	Etkin kütle (kg)	1361350	148577	51543.5	24798.3
	Modal katkı (%)	84.06	9.17	3.18	1.53
	Toplam kütle (kg)	1619490			

Tablo 4. C4X, C8X ve C12X modellerine ait modal analiz sonuçları

SİSTEM	Mod özellikleri	Mod			
		1.	2.	3.	4.
C4X	Mod periyodu (s)	0.31	0.11	0.07	0.06
	Etkin kütle (kg)	593307	55699.9	13191.3	2499.24
	Modal katkı (%)	89.26	8.38	1.98	0.38
	Toplam Kütle (kg)	664717			
C8X	Mod periyodu (s)	0.46	0.16	0.10	0.07
	Etkin kütle (kg)	1065310	113384	37254.2	16329.5
	Modal katkı (%)	85.53	9.11	2.99	1.31
	Toplam Kütle (kg)	1245500			
C12X	Mod periyodu (s)	0.56	0.19	0.11	0.08
	Etkin kütle (kg)	1563280	170399	58968.3	28271.1
	Modal katkı (%)	84.12	9.17	3.17	1.52
	Toplam Kütle (kg)	1858400			

2.2. Ankastre Tabanlı Analitik Modeller

2.2.1. Periyodun Kesme Tipi Yapı Modeline Göre Bulunması (AN-1)

Kütlelerin kat düzeylerinde toplandığı, döşemelerin düzlemi içerisinde rijit olduğu, kiriş ve kolon eksenel deformasyonları ile eksenel kuvvetin kolon rijitliğine etkisinin ihmali varsayımları altındaki çerçeve sistemler kesme çerçevesi olarak modellenebilmektedir. Örnek olarak 4 katlı yapı için hareket denklemi Eşitlik 2'de sunulmuştur. Bağıntıda gösterilen $x(t)$ ve $\ddot{x}(t)$ sırasıyla zemin-yapı sisteminin zamana bağlı yer değiştirme ve ivmesini göstermektedir. Eşitlik 3-4'te sırasıyla kütle ve rijitlik matrisleri verilmiştir. Sunulan eşitliklerde m_1, m_2, m_3 ve m_4 kat kütleleri ve k_1, k_2, k_3 ve k_4 kolon yatay rijitlikleri olup *i.* kattaki yatay rijitlik $k_i = 12EI / h^3$ ile belirlenmektedir. Burada *E*, *I* ve *h* sırasıyla elastisite modülünü, atalet momentini ve kat yüksekliğini ifade etmektedir.

$$M\ddot{x}(t) + Kx(t) = f(t) \qquad \text{(Eşitlik 2)}$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \qquad \text{(Eşitlik 3)}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \qquad \text{(Eşitlik 4)}$$

Serbest titreşim problemlerinde *F* kuvvet vektörü sıfıra eşit alınır (Eşitlik 5).

$$M\ddot{x}(t) + Kx(t) = 0 \qquad \text{(Eşitlik 5)}$$

Sönümsüz serbest titreşim için Eşitlik 6 ve vektör gösterimi için Eşitlik 7 yazılabilir. Burada ϕ_i *i.* koordinattaki hareket genliği, *n* ise serbestlik derecesi sayısıdır.

$$x_i = \phi_i \sin(wt - \phi) \quad i = 1, 2, 3....., n \qquad \text{(Eşitlik 6)}$$

$$\{x\} = \{\phi\}\sin(wt - \phi) \qquad \text{(Eşitlik 7)}$$

Eşitlik 7, Eşitlik 5'te yerine yazıldığında aşağıda verilen Eşitlik 8 elde edilir.

$$-w^2[M]\{\phi\}\sin(wt - \phi) + [K]\{\phi\}\sin(wt - \phi) = 0 \qquad \text{(Eşitlik 8)}$$

Eşitlik 8'deki terimler düzenlendiğinde Eşitlik 9 elde edilebilir. Burada ϕ_n: n. moda ait mod vektörünü, w^2: moda ait özdeğeri veya açısal frekansın karesini göstermektedir.

$$\left[K - w^2 M\right]\phi_n = 0 \qquad \text{(Eşitlik 9)}$$

Sistemin açısal frekanslarını ve modal değerlerini elde edebilmek için denklem sisteminin katsayılar matrisinin determinantının sıfıra eşit olması gerekir (Eşitlik 10). Bu determinantın çözümü sonucu sistemin serbestlik sayısı kadar $w_1, w_2, ..., w_N$ açısal frekans bulunur.

$$\det\left[K - w^2 M\right] = 0 \qquad \text{(Eşitlik 10)}$$

Hareket denklemlerinin direkt çözümlenmesi mümkün olduğu gibi sistemi eş değer modlara ayırarak da çözmek mümkün olabilmektedir.

Modal karakteristikler Eşitlik 11-12 yardımıyla belirlenebilmektedir (Chopra, 2007; Celep, 2022).

$$M_n^* = \Gamma_n L_n^h = \frac{(L_n^h)^2}{M_n}; \qquad h_n^* = \frac{L_n^\theta}{L_n^h}; \qquad k_n^* = w_n^2 M_n^* \qquad \text{(Eşitlik 11)}$$

Burada;

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n = \sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{jn}^2; \;\; \Gamma_n = \frac{L_n^h}{M_n}; \;\; L_n^h = \sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{jn}; \;\; L_n^\theta = \sum_{j=1}^{N} h_j m_j \phi_{jn} \qquad \text{(Eşitlik 12)}$$

ile elde edilmektedir. Bu eşitliklerde N: toplam mod sayısını, Γ_n: modal katılım çarpanını göstermektedir. Elde edilen Eşitlik 10'daki polinom denklemi çözülerek sistemin her moduna karşılık gelen frekansları, etkin kütleleri ve kütle katılım oranları hesaplanmıştır. Rijitlik ve kütle matrisleri kullanılarak bulunan bu değerler Tablo 5'te sunulmuştur. Buradaki analitik modele AN-1 adı verilmiş ve ilgili parametreler 4, 8 ve 12 katlı yapılar için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Tüm yapısal sistemlerde, ilk modun genel olarak davranışa hakim olduğu ve etkin kütlelerin toplam kütleye oranlarına bağlı olarak yapı davranışının hemen hemen tamamının ilk iki mod ile temsil edildiği açıkça görülmektedir. Tablo 6'da analitik ve sayısal model sonuçları verilmektedir. Yapılan karşılaştırmalardan katı modellerin analitik modelden daha düşük ancak çubuk modellerin analitik modelden daha büyük periyot değerleri ürettiği görülmektedir. Genel olarak farklar %6.25 ile %16.67 arasında değişmektedir. Katı modeller ile AN-1 karşılaştırıldığında ortalama farkın %8.91, çubuk modeller ile AN-1 karşılaştırıldığında ise ortalama farkın %10.19 olduğu görülmektedir.

Tablo 5. AN-1 modeline ait modal analiz sonuçları

SİSTEM	Mod özellikleri	Mod			
		1.	2.	3.	4.
4 Kat	Mod periyodu (s)	0.28	0.10	0.07	0.05
	Etkin kütle (kg)	520330	48260	11220	2090
	Modal katkı (%)	89.42	8.29	1.93	0.36
	Toplam kütle (kg)	581910			
8 Kat	Mod periyodu (s)	0.41	0.14	0.08	0.06
	Etkin kütle (kg)	924130	97910	31900	13830
	Modal katkı (%)	85.67	9.08	2.96	1.28
	Toplam kütle (kg)	1078740			
12 Kat	Mod periyodu (s)	0.48	0.16	0.10	0.06
	Etkin kütle (kg)	1339700	145700	50200	23900
	Modal katkı (%)	84.23	9.16	3.15	1.50
	Toplam kütle (kg)	1590450			

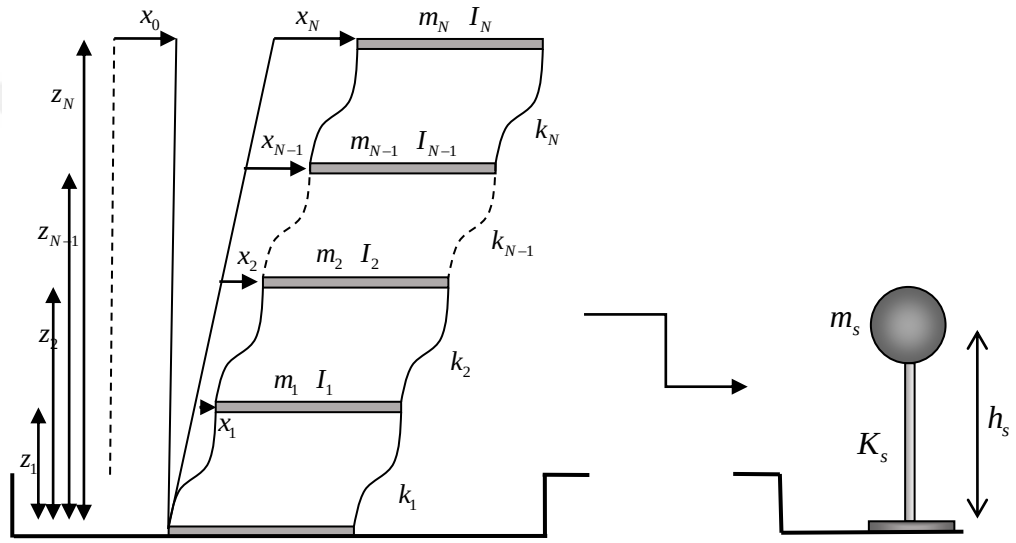
Tablo 6. Periyotların karşılaştırılması (s)

S4X	AN-1	Fark	S8X	AN-1	Fark	S12X	AN-1	Fark
0.25	0.28	10.71	0.37	0.41	9.76	0.45	0.48	6.25
C4X	AN-1	Fark	C8X	AN-1	Fark	C12X	AN-1	Fark
0.31	0.28	10.71	0.46	0.41	12.20	0.56	0.48	16.67

$$Fark\,\% = 100 \times \left| (Analitik - Sayısal) / Analitik \right|$$

2.2.2. Periyodun Tek Serbestlik Dereceli Sistem Kabulüne Göre Bulunması (AN-2)

Taşıyıcı sistemde kütle sürekli dağılı bulunduğu için, atalet kuvvetleri her noktanın ivmesinin, dolayısıyla yer değiştirmesinin zamanla olan değişimine bağlıdır. Sistemin her noktasının yer değiştirmesinin belirlenmesi ise, çok büyük işlem hacmi gerektirir ve çoğu zaman da gerekli olmaz. Sistemin yayılı kütlesi, seçilen noktalarda toplanarak bir basitleştirme yapılabilir. Böylece, sistemin tüm noktalarının yer değiştirmeleri bazı seçilmiş noktaların yer değiştirmesiyle ifade edilerek hesap hacmi kabul edilebilir seviyeye indirilebilir (Celep, 2022).



Şekil 10. Önerilen ankastre tabanlı eş değer analitik model (AN-2)

Burada 4, 8 ve 12 katlı yapı sistemleri tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlere dönüştürülerek doğal titreşim periyotları elde edilmiştir (Şekil 10). Kat kütleleri kat sayısına bağlı olarak $m_1, m_2 ....., m_N$ ve kat yüksekliği her kat seviyesi için $z_1, z_2 ....., z_N$ olmak üzere eş değer kütle değeri aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenebilmektedir (Eşitlik 13).

$$m_s = \frac{z_1 \times m_1}{h_s} + \frac{z_2 \times m_2}{h_s} + ... + \frac{z_N \times m_N}{h_s} \qquad \text{(Eşitlik 13)}$$

Kolon yatay rijitliği her kat için $k_i = 12EI / h^3$ olmak üzere eş değer rijitlik değeri ise Eşitlik 14 yardımıyla belirlenebilmektedir. Burada *E* elastisite modülü, *I* kolonun atalet momenti, *h* ise kat yüksekliğidir.

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + ... + \frac{1}{k_N} \qquad \text{(Eşitlik 14)}$$

Eş değer kütle ve rijitlik değerlerine bağlı periyot (*T*) ve frekans (*f*) değerleri Eşitlik 15 yardımıyla belirlenebilmektedir.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m_s}{K_s}}; \qquad f = \frac{1}{T} \qquad \text{(Eşitlik 15)}$$

Tablo 7'de analitik ve hareket yönünden eş değer sayısal modellerin çözümünden elde edilen periyot değerleri sunulmaktadır. Yapılan karşılaştırmalardan katı ve çubuk modellerin analitik modelden daha düşük periyot değerleri ürettiği görülmektedir. Genel olarak farklar %9.68 ile %30.56 arasında değişmektedir. Çubuk modeller (C4X, C8X, C12X) ile AN-2 karşılaştırıldığında ortalama farkın %11.7, katı modeller (S4X, S8X, S12X) ile AN-2 karşılaştırıldığında ise ortalama farkın %28.9 olduğu görülmektedir.

Tablo 7. Periyotların karşılaştırılması (s)

S4X	AN-2	Fark	S8X	AN-2	Fark	S12X	AN-2	Fark
0.25	0.36	30.56	0.37	0.52	28.85	0.45	0.62	27.42
C4X	AN-2	Fark	C8X	AN-2	Fark	C12X	AN-2	Fark
0.31	0.36	13.89	0.46	0.52	11.53	0.56	0.62	9.68

$Fark\,\% = 100 \times |(Analitik - Sayısal) / Analitik|$

2.3. ZYE'nin Dikkate Alındığı ve Gömülme Etkisinin Olmadığı Sayısal Modeller (2e/L=0)

Yer üstü ve yer altı yapılarının sismik analizinde zemin ortamın şekil değiştirmeyen rijit bir ortam olarak modellenemediği durumlarda ZYE'nin dikkate alınması çok önemli hale gelmektedir. Zira deprem hareketi sırasında yapı, zemin ile etkileşime girerek zemin deformasyonlarına neden olur. Bu deformasyonlar zemin ile yapının ara yüzey bölgesinin hareketinin serbest alan yer hareketinden farklı olmasına neden olur. Bu karşılıklı etkileşim yapının tepkisini önemli ölçüde değiştirebilir. Çok rijit zeminlerde bu değişiklik ihmal edilebilir düzeylerde olabilir. Bu gibi koşullarda inşa edilen yapılarda ankastre taban kabulünün dikkate alınması geçerli bir varsayım olmaya devam etmektedir (Datta, 2010). Öte yandan esnek zemin koşullarında, yapısal sistemin titreşim özelliklerinde ankastre tabanlı duruma nazaran önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır (Torabi ve Rayhani, 2014).

Bu bölümde ZYE sistemleri için gömülmenin olmadığı koşullarda SEM ve analitik modeller oluşturulmuştur. Bu modeller modal analize tabi tutularak elde edilen frekans/periyot değerleri karşılaştırılmıştır. Burada gömülme oranı; e gömülme derinliği, L yapı genişliği olmak üzere 2e/L ile tanımlanmaktadır. Analizlerde dikkate alınan zemin parametreleri Tablo 8'de verilmektedir. Dikkate alınan bu zeminler, TBDY-2018'de tanımlanan ve Tablo 9'da sunulan verilerden olan kayma dalgası hızlarına göre değerlendirildiğinde; S1'in ZD, S2 ve S3'ün ise ZE yerel zemin sınıfına karşılık geldiği söylenebilir. Yapılara ait radye temel boyutları 12 m x 12 m olup temel kalınlıkları 4, 8 ve 12 katlı yapılar için sırasıyla 0.4 m, 0.8 m ve 1.2 m'dir.

Tablo 8. Çalışmada ele alınan zemin özellikleri (Cakir, 2013).

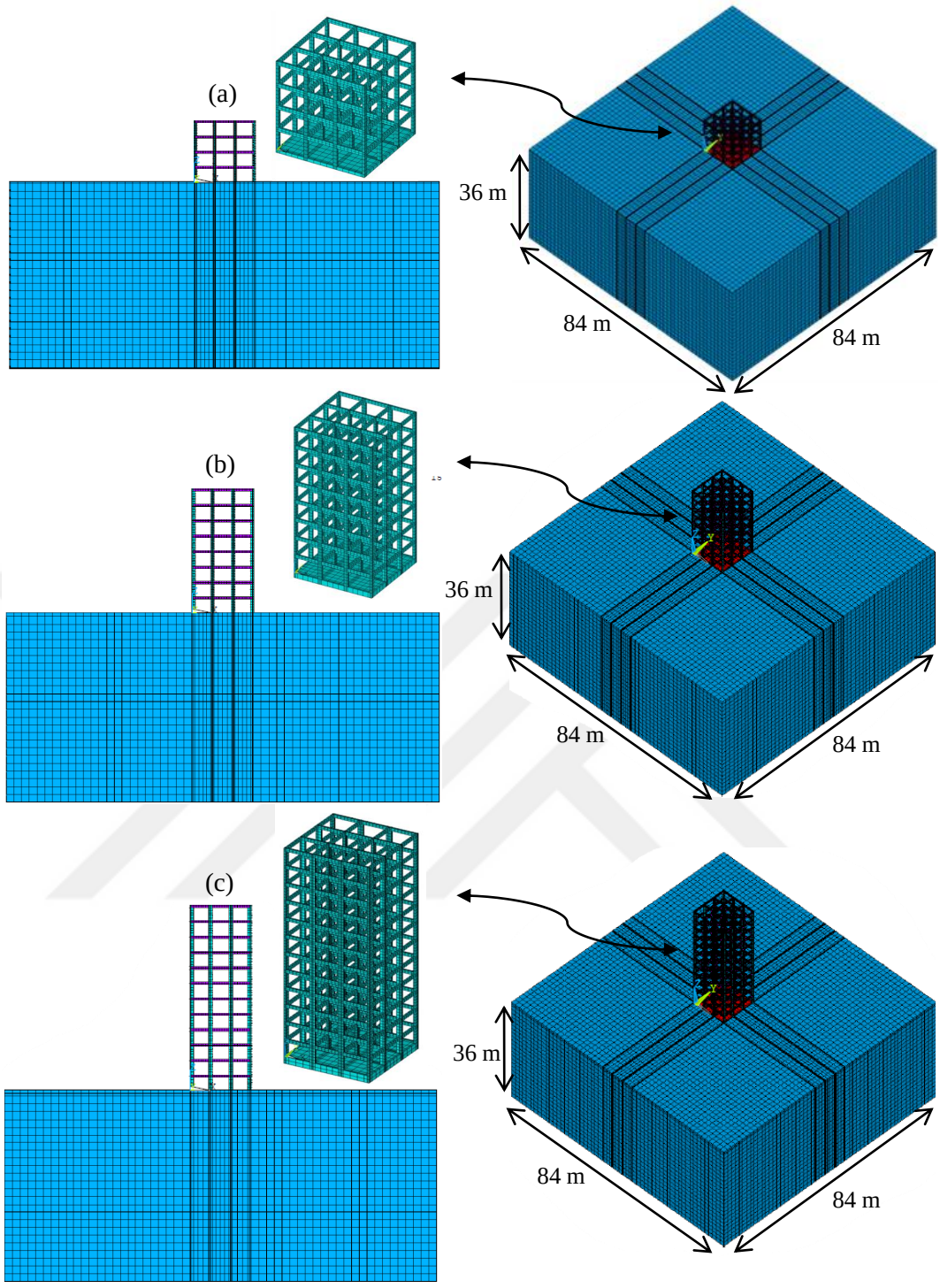
Zemin	E (kN/m^2)	G (kN/m^2)	υ	γ (kg/m^3)	V_s (m/s)	V_p (m/s)
S1	500000	185185	0.35	1900	312.20	649.89
S2	150000	55556	0.35	1900	171.00	355.96
S3	75000	26786	0.40	1800	121.99	298.81

Tablo 9. TBDY-2018'e göre yerel zemin sınıfları (TBDY, 2018).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 m ortalama		
		$(V_s)_{30}$	$(N_{60})_{30}$	$(c_u)_{30}$
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları PI>20 ve w>%40 koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (cu<25 kPa) içeren profiller.	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI>50) killer, 4) Çok kalın (>35 m) yumuşak veya orta katı killer.			

ZYE sistemleri için önerilen sonlu eleman modelleri Şekil 6'da görülmektedir. Zemin ve yapı sırasıyla SOLID45 ve SOLID65 elemanlarla modellenmiştir. Bu eleman tipleri her düğüm noktasında üç serbestliğe sahip sekiz düğüm noktalı elemanlardır. SOLID45 eleman tipinin plastisite, sünme, şişme, gerilmeye bağlı sertleşme ve büyük

şekil değiştirme gibi kabiliyetleri mevcuttur. SOLID65 eleman tipi ise donatısız olarak çekmede çatlama ve basınçta kırılma (ezilme) gibi beton davranışlarını dikkate alabilecek yeteneklere sahiptir. Zemin yapı sisteminin modal özellikleri ve dinamik tepkileri yarı sonsuz zemin ortamın boyutlarından etkilenmektedir. Zemin boyutlarının yetersiz kalması halinde, deprem dalgalarının yansıması ve yayılması açısından yaşanabilecek olumsuz etkileri giderebilmek için zemin boyutlarının doğru ve gerçekçi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar arasında, Kabtamu vd. (2018), iki boyutlu koşullarda anakaya derinliğini yapı genişliğinin iki katından büyük, yanal uzunlukları ise yapının her iki tarafına doğru yine yapı genişliğinin üç katından büyük seçmişlerdir. Rayhani ve El Naggar (2008), yatay zemin sınır mesafesi değişimlerinin farklı yapısal modellerin sismik tepkisi üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmalarında temel genişliğinin (B) 5 ve 10 katı olmak üzere iki sınır mesafesi dikkate almışlar ve sınır mesafesinin 5B'den 10B'ye arttırılmasının sismik tepkiler üzerinde küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Sonuç olarak zemin sınırlarının yatay doğrultularda yapı genişliğinin beş katı mesafede, ana kaya derinliğinin ise 30 metrede olmasının uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Bu bilgilerden hareketle, parametrik incelemeler gerçekleştirmek suretiyle, bu çalışmada ana kaya derinliği yapı genişliğinin (B=12 m) üç katı (36 m) ve yatay doğrultulardaki (x ve y doğrultuları) toplam uzunluk değeri yapı genişliğinin yedi katı (84 m) olacak şekilde dikkate alınmıştır.



Şekil 11. a) 4 katlı (SSI4), b) 8 katlı (SSI8) ve c) 12 katlı (SSI12) yapıya ait modeller

Şekil 11'den görüleceği üzere, 4, 8 ve 12 katlı yapılar için etkileşimin dikkate alındığı modeller sırasıyla SSI4, SSI8, SSI12 olarak adlandırılmıştır. Tablo 10'da x, y ve z doğrultusunda serbestliklerin ele alındığı modal analiz sonuçları verilirken Tablo 11'de x doğrultusundaki serbestliğin dikkate alındığı modal analiz sonuçları verilmiştir. Tablo 10-11'de ilgili modellerin modal analizi sonucu elde edilen periyot değerleri sunulmaktadır. Bu tablolarda etkin kütlelere bağlı olarak seçilen ve yapı davranışını temsil edebilen modlar verilmiştir. Zemin rijitliğinin azalmasına ve yapı kat sayısının

artışına bağlı olarak periyot değerlerinin arttığı görülmektedir. En yüksek periyot değeri SSI12 modelinde ve S3 zemin koşulunda elde edilmektedir.

Tablo 10. Zemin-yapı sistemlerinin periyotları (XYZ) (s)

Modeller	Zemin Sınıfı	Mod Değerleri	
		1. mod	2. mod
SSI4 (XYZ)	S1	0.42	0.14
	S2	0.45	0.14
	S3	0.48	0.15
SSI8 (XYZ)	S1	0.75	0.24
	S2	0.80	0.24
	S3	0.87	0.25
SSI12 (XYZ)	S1	1.08	0.34
	S2	1.18	0.34
	S3	1.30	0.35

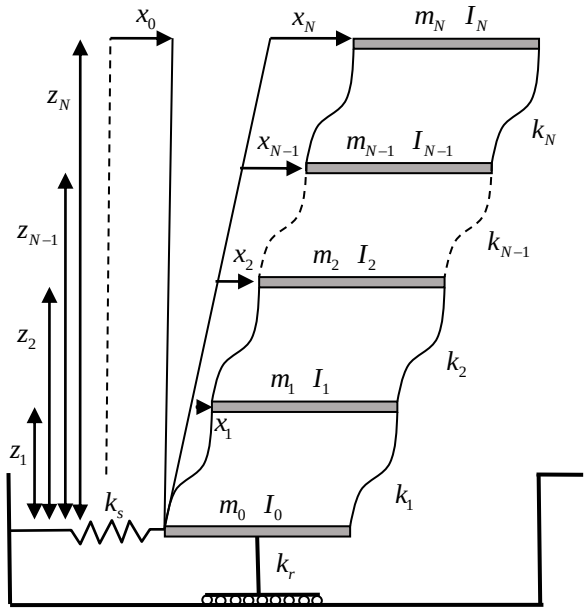
Tablo 11. Zemin-yapı sistemlerinin periyotları (s)

Modeller	Zemin Sınıfı	Mod Değerleri			
		1. mod	2. mod	3. mod	4. mod
SSI4	S1	0.26	0.09	0.06	0.05
	S2	0.27	0.09	0.06	0.05
	S3	0.28	0.10	0.06	0.05
SSI8	S1	0.37	0.13	0.08	0.06
	S2	0.39	0.13	0.08	0.06
	S3	0.41	0.14	0.09	0.07
SSI12	S1	0.46	0.15	0.09	0.07
	S2	0.47	0.16	0.10	0.07
	S3	0.49	0.17	0.11	0.08

2.4. ZYE'nin Dikkate Alındığı ve Gömülme Etkisinin Olmadığı Analitik Modeller (2e/L=0)

2.4.1. AN-1

Şekil 12'de sunulan AN-1'de I_i, m_i ve k_i sırasıyla kat kütle atalet momenti, kütle ve rijitlik değerleridir. I_0 ve m_0 temel kütle atalet momenti ve kütle değerleridir. x_0 ve x_θ temel yer değiştirme ve dönme değerlerini temsil etmektedir. $z_1, z_2 ....., z_N$ ise N. kata kadar kat yüksekliğini ifade etmektedir.



Şekil 12. ZYE sistemi için önerilen eş değer analitik model (AN-1)

Hareket denklemi Eşitlik 16'da verilen ifadede M ve K değerleri sırasıyla kütle ve rijitlik matrisleridir (Eşitlik 17-18).

$$M\ddot{x}(t) + Kx(t) = f(t) \tag{Eşitlik 16}$$

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & & & & m_1 & m_1 z_1 \\ & m_2 & & & m_2 & m_2 z_2 \\ & & \ddots & & \vdots & \vdots \\ & & & m_N & m_N & m_N z_N \\ m_1 & m_2 & \cdots & m_N & m_0 + \sum_{i=1}^{N} m_i & \sum_{i=1}^{N} m_i z_i \\ m_1 z_1 & m_2 z_2 & \cdots & m_N z_N & \sum_{i=1}^{N} m_i z_i & I_0 + \sum_{i=1}^{N} (I_i + m_i z_i^2) \end{bmatrix} \tag{Eşitlik 17}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & & & & \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & & & \\ & -k_{N-1} & k_{N-1} + k_N & -k_N & & \\ & & -k_N & k_N & & \\ & & & & k_s & \\ & & & & & k_r \end{bmatrix} \tag{Eşitlik 18}$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_N & x_0 & x_\theta \end{bmatrix}^T \tag{Eşitlik 19}$$

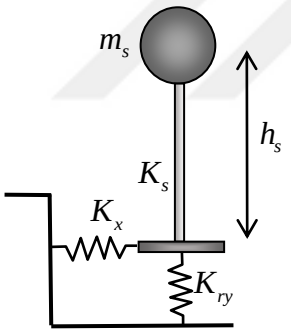
Kare yüzeysel temeller için rijitlik katsayıları Eşitlik 20-21'de sunulmaktadır. Burada *G*, zeminin kayma modülünü, *a* ve *b* sırasıyla temele ait yarı genişliği ve yarı uzunluğu, *v* zeminin Poisson oranını, A_0 temelin alanını, I_b temelin *b* kenarına göre atalet momentini, k_s temelin yanal ötelenme rijitliğini ve k_r dönme rijitliğini ifade etmektedir.

$$k_s = \frac{2Ga}{2-\nu}\left[2 + 2.5\left(\frac{A_0}{4a^2}\right)^{0.85}\right] \quad \text{(Eşitlik 20)}$$

$$k_r = \frac{2.9G}{1-\nu}\left[I_{0b}^{0.75}\left(\frac{a}{b}\right)^{0.15}\right] \quad \text{(Eşitlik 21)}$$

2.4.2. AN-2

Çok katlı yapılar eş değer kütle oluşturularak eş değer yükseklikle birlikte tek serbestlik dereceli bir model aracılığıyla sunulabilir (Şekil 13).



Şekil 13. ZYE sistemi için önerilen eş değer analitik model (AN-2)

Burada kütle-yay sisteminin rijitlik terimlerinde bazı düzenlemeler yapmak gerekmektedir. Kolon yatay rijitliği her kattaki bir kolon için $k_i = 12EI/h^3$ olmak üzere eş değer rijitlik değeri Eşitlik 22 yardımıyla belirlenebilmektedir. Burada *E* malzemenin elastisite modülü, *I* kolonun atalet momenti, *h* ise kat yüksekliğidir.

$$\frac{1}{K_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \ldots + \frac{1}{k_N} \quad \text{(Eşitlik 22)}$$

Yapı taban tabliyesinin dönme serbestliği için dikkate alınacak rijitlik ifadesi (dönme rijitliği) (K_{ry}) aşağıdaki gibi düzenlenebilir (Eşitlik 23).

$$K_{ry}^{'} = \frac{K_{ry}}{h_s^2} \qquad \text{(Eşitlik 23)}$$

Burada h_s ve $K_{ry}^{'}$ sırasıyla ZYE sisteminin eş değer yüksekliği ve temelin dönme rijitliğinin yapının ötelenme rijitliğine katkısı olarak tanımlanır. K_x, AN-2 modelin yatay yatay ötelenme rijitliğini temsil etmek üzere eş değer basitleştirilmiş tek serbestlik dereceli analitik modelin eş değer rijitliği aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Eşitlik 24).

$$K_{eqm} = \frac{K_x K_{ry}^{'} K_s}{K_x K_s + K_x K_{ry}^{'} + K_{ry}^{'} K_s} \qquad \text{(Eşitlik 24)}$$

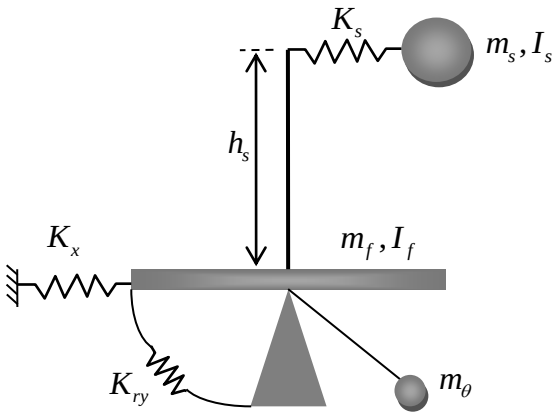
Bu bilgilerden hareketle, 4, 8 ve 12 katlı yapı sistemleri tek serbestlik dereceli (TSD) sistemlere dönüştürülerek analiz edilmektedir. Kat kütleleri kat sayısına bağlı olarak $m_1, m_2 ....., m_N$ ve kat yüksekliği her kat seviyesi için $z_1, z_2 ....., z_N$ olmak üzere eş değer kütle değeri aşağıda verilen eşitlik yardımıyla belirlenebilmektedir (Eşitlik 25). Eşitlik 26'da ise eş değer kütle ve eş değer rijitliğe bağlı periyot ve frekans değerleri elde edilmektedir.

$$m_s = \frac{z_1 \times m_1}{h_s} + \frac{z_2 \times m_2}{h_s} + ... + \frac{z_N \times m_N}{h_s} \qquad \text{(Eşitlik 25)}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m_s}{K_{eqm}}}; \qquad f = \frac{1}{T} \qquad \text{(Eşitlik 26)}$$

2.4.3. AN-3

Bu bölümde zemin ortam ve kare şekilli bir temele sahip üst yapı sistemi için üçüncü analitik model oluşturulmuştur (Şekil 14). Üst yapı etkin kütlesi m_s, kütle atalet momenti I_s, yapı etkin yüksekliği h_s, temel kütlesi m_f, temel kütle atalet momenti I_f, ötelenme rijitliği K_x ve dönme rijitliği K_{ry} olarak dikkate alınmıştır.



Şekil 14. ZYE sistemi için önerilen eş değer analitik model (AN-3)

Eşitlik 27'de verilen m_θ dinamik rijitliğin frekansa bağlılığını dikkate almak için dönme serbestlik derecesine atanan kütle atalet momentidir. $\nu > 1/3$ durumunda dönme serbestlik derecesine m_φ eklenir ve V_p yerine $2V_s$ değeri alınır (Song vd., 2021).

$$m_\theta = \frac{9}{128}(1-\nu)\pi^2\rho r^5\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2,\ m_\varphi = 0.3\left(\nu - \frac{1}{3}\right)\pi\rho r^5 \qquad \text{(Eşitlik 27)}$$

ZYE için geçerli hareket denklemi Eşitlik 28'de verilmiştir. M ve K sırasıyla sistemin kütle ve rijitlik matrislerini temsil etmektedir (Eşitlik 29-30).

$$M\ddot{x}(t) + Kx(t) = f(t) \qquad \text{(Eşitlik 28)}$$

$$M = \begin{bmatrix} m_s & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I_s + I_f + m_\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_\theta \end{bmatrix} \qquad \text{(Eşitlik 29)}$$

$$K = \begin{bmatrix} K_s & -K_s & -K_s h_s & 0 \\ -K_s & K_x + h_s & K_s h_s & 0 \\ -K_s h_s & K_s h_s & K_s h_s^2 + K_{ry} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \text{(Eşitlik 30)}$$

Tablo 12'de etkileşimin dikkate alındığı koşullar altında, önerilen sayısal ve analitik modellerin çözümünden elde edilen periyot değerleri verilmektedir. Periyot değerleri karşılaştırıldığında, AN-1 için elde edilen periyot değerlerinin sayısal modeller için elde edilen periyot değerleriyle daha uyumlu olduğu görülmektedir. AN-1 için elde

edilen ortalama fark değeri %29.31 iken, AN-2 ve AN-3 için elde edilen ortalama farklar sırasıyla %43.30 ve %43.44'tür. AN-1 dikkate alındığında, fark değerlerinin %13.33 ile %51.96 arasında değiştiği görülmektedir. Sayısal modellerin analitik modellerle uyumluluk derecesinin; modelleme varsayımları, farklı matematiksel modelleme altyapıları ve zemin koşulları nedeniyle bir modelden diğerine önemli ölçüde değiştiği açıktır. Tablo 12'de ayrıca, zemin rijitliğindeki azalmanın ve en-boy oranındaki artışın periyot değerlerini artırdığı görülmektedir.

Tablo 12. ZYE sistemlerine ait birinci mod periyotlarının karşılaştırılması (s)

Zemin	AN-1	SSI4	Fark %	AN-2	SSI4	Fark %	AN-3	SSI4	Fark %
S1	0.30	0.26	13.33	0.37	0.26	29.73	0.37	0.26	29.73
S2	0.33	0.27	18.18	0.41	0.27	34.15	0.41	0.27	34.15
S3	0.38	0.28	26.32	0.45	0.28	37.78	0.45	0.28	37.78
Zemin	AN-1	SSI8	Fark %	AN-2	SSI8	Fark %	AN-3	SSI8	Fark %
S1	0.46	0.37	19.57	0.58	0.37	36.21	0.58	0.37	36.21
S2	0.56	0.39	30.36	0.70	0.39	44.29	0.70	0.39	44.29
S3	0.67	0.41	38.80	0.83	0.41	50.60	0.84	0.41	51.19
Zemin	AN-1	SSI12	Fark %	AN-2	SSI12	Fark %	AN-3	SSI12	Fark %
S1	0.60	0.46	23.33	0.77	0.46	40.26	0.77	0.46	40.26
S2	0.81	0.47	41.98	1.03	0.47	54.37	1.04	0.47	54.81
S3	1.02	0.49	51.96	1.30	0.49	62.31	1.31	0.49	62.60

$$Fark\,\% = 100 \times \left| (Analitik - Sayısal) / Analitik \right|$$

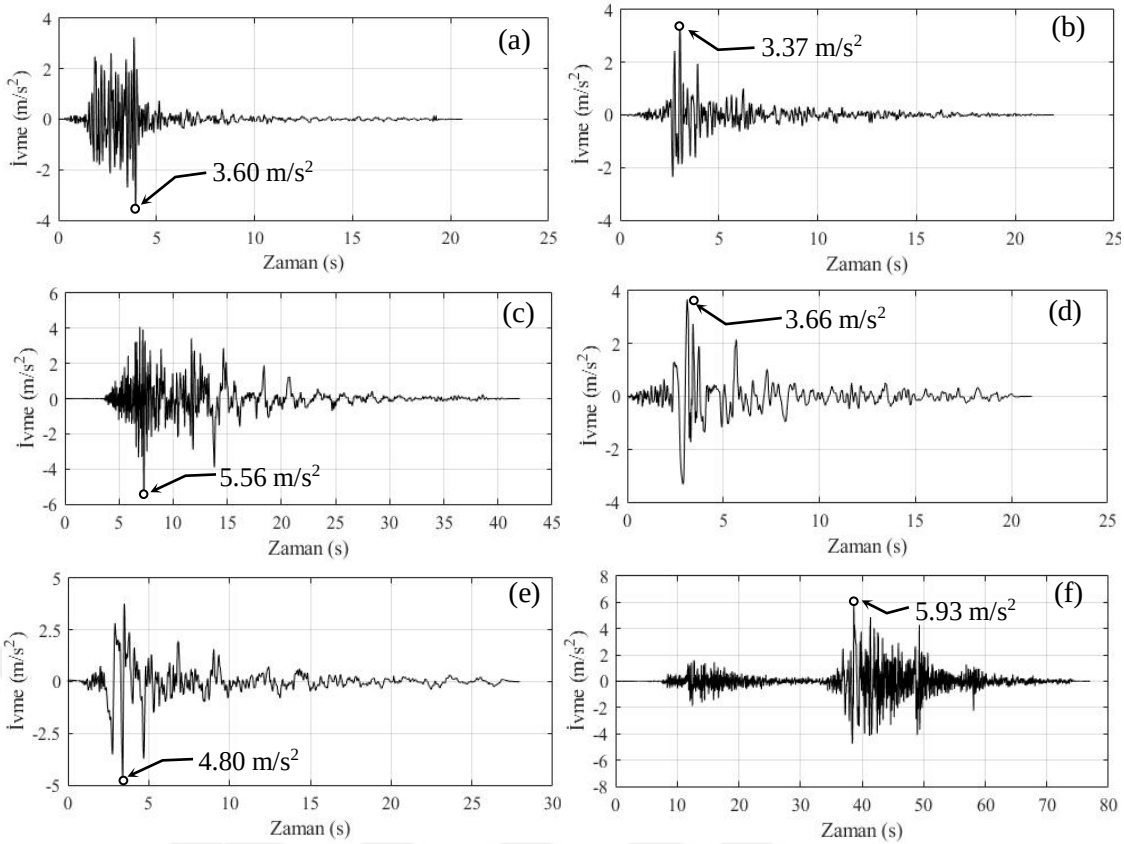
2.5. Gömülmenin Olmadığı Durumda (2e/L=0) Yapıların Dinamik Analizi

Tablo 13 ve Şekil 15'te görüleceği üzere, altı adet deprem dikkate alınarak dinamik analizler gerçekleştirilmektedir. Deprem kayıtları en büyük yer ivmesi (PGA) ve hızı (PGV) kullanılarak frekans içeriği açısından sınıflandırılabilmektedir. Göz önüne alınan depremler frekans içeriği bağlamında; yüksek (PGA/PGV>1.2), orta (1.2≥PGA/PGV≥0.8) ve düşük (0.8>PGA/PGV) olarak nitelendirilmektedir. Bu depremler yapısal sistemlere x doğrultusunda etkittirilmektedir.

Tablo 13. Dikkate alınan deprem yer hareketleri ve özellikleri

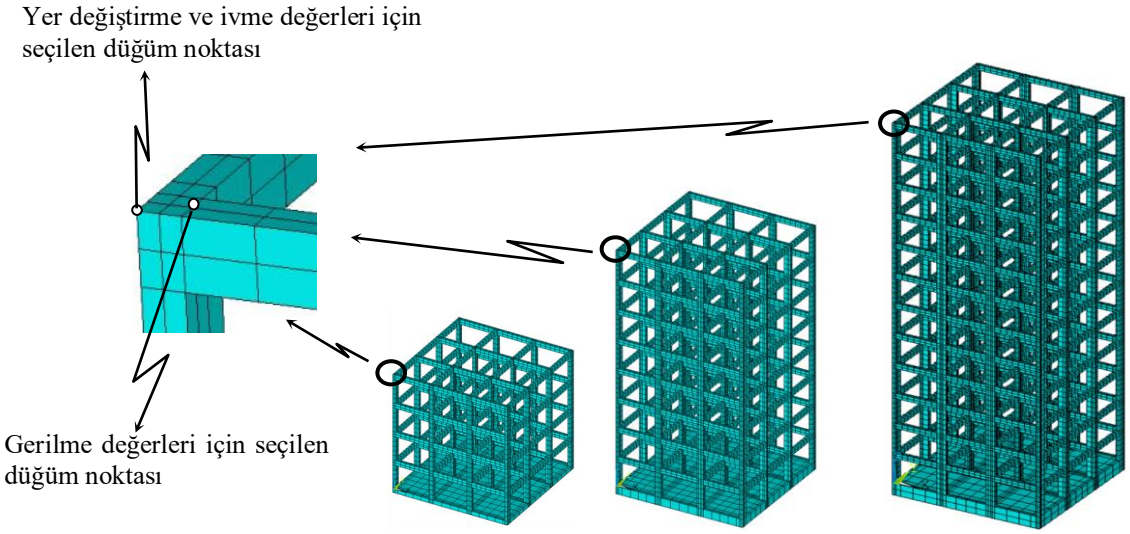
Deprem kaydı	İstasyon	Bileşen	PGA (g)	PGV (m/sn)	PGA/PGV (g/m/sn)
1983 Coalinga	Oil City	C-OLC360	0.367	0.102	3.667
1987 Whittier Narrows	LA-Obregon Park	B-OBR270	0.344	0.142	2.406
1995 Kobe	Port Island	PRI-UP	0.567	0.621	0.913
2004 Parkfield	Parkfield-Cholame 2WA	C02360	0.373	0.448	0.833
1992 Erzincan	2402	E-W	0.489	0.773	0.633
2023 Pazarcık	2712	E-W	0.604	1.102	0.548

PGA: En büyük yer ivmesi, PGV: En büyük yer hızı



Şekil 15. a) 1983 Coalinga, b) 1987 Whittier Narrows, c) 1995 Kobe, d) 2004 Parkfield, e) 1992 Erzincan ve f) 2023 Pazarcık depremlerinin ivme kayıtları

Şekil 16'da tepkilerin alındığı düğüm noktaları gösterilmektedir. Yer değiştirme değerleri için her kat seviyesinde kolon dış yüzeyinde belirlenen düğüm noktalarından, gerilme değerleri ise kolon-kiriş birleşim bölgelerinden alınmaktadır.



Şekil 16. Dinamik tepkilerin alındığı düğüm noktaları

2.5.1. 4 Katlı Yapının Analizi

İkisi yüksek, ikisi orta ve ikisi düşük frekans içeriğine sahip altı deprem etkisi altında, 4 katlı yapının dinamik analizi sonucu elde edilen rölatif yatay yer değiştirme değerleri Tablo 14-19'da, göreli kat öteleme değerleri Tablo 20-25'te, gerilme değerleri Tablo 26-31'de ve ivme değerleri Tablo 32-37'de verilmektedir. Söz konusu tepkiler deprem hareketlerinin uygulandığı doğrultuda alınmaktadır. Bu tablolar genel olarak incelendiğinde; deprem frekans içeriği ve zemin türü değişimine bağlı olarak tepkilerde ve tepkilerin oluş zamanlarında önemli farklılıklar olduğu açıkça görülmektedir. Aşağıda alt başlıklarda bu tepkiler ve değişimleri detaylı olarak karşılaştırmalı bir şekilde değerlendirilmektedir.

Tablo 14. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.93	-0.0190	2.82	-0.0165	2.84	-0.0179	2.86	-0.0163
3	3.92	-0.0163	3.02	0.0138	2.84	-0.0150	2.86	-0.0138
2	3.91	-0.0119	3.02	0.0100	2.84	-0.0105	2.86	-0.0099
1	3.91	-0.0054	3.03	0.0048	3.04	0.0051	3.92	-0.0048

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), u: En büyük yatay yer değiştirme (m)

Tablo 15. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.03	0.0117	2.75	0.0106	2.75	0.0117	2.76	0.0128
3	3.02	0.0095	2.74	0.0088	2.75	0.0096	2.75	0.0104
2	3.01	0.0063	2.73	0.0060	2.74	0.0065	2.74	0.0070
1	3.20	-0.0027	2.72	0.0027	2.73	0.0031	2.73	0.0033

Tablo 16. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
4	13.91	0.0280	14.56	-0.0251	12.61	-0.0289	13.90	0.0364
3	13.90	0.0240	14.56	-0.0215	12.61	-0.0243	13.90	0.0306
2	13.90	0.0168	14.56	-0.0152	12.61	-0.0171	13.90	0.0217
1	13.90	0.0074	12.56	-0.0074	12.60	-0.0083	13.89	0.0108

Tablo 17. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.57	-0.0421	3.4	0.0462	3.42	0.0542	3.22	-0.0650
3	3.57	-0.0358	3.4	0.0396	3.42	0.0460	3.22	-0.0548
2	3.58	-0.0246	3.4	0.0281	3.42	0.0327	3.22	-0.0391
1	3.58	-0.0106	3.4	0.0133	3.20	-0.0160	3.21	-0.0195

Tablo 18. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.04	-0.0324	3.05	-0.0362	3.06	-0.0407	3.66	-0.0508
3	3.04	-0.0277	3.05	-0.0311	3.06	-0.0347	3.66	-0.0434
2	3.03	-0.0193	3.04	-0.0223	3.06	-0.0249	3.66	-0.0316
1	3.03	-0.0085	3.04	-0.0107	3.06	-0.0123	3.66	-0.0160

Tablo 19. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
4	41.66	0.0822	41.68	0.0823	41.71	0.0955	38.81	-0.1052
3	41.66	0.0705	41.68	0.0708	41.71	0.0812	38.82	-0.0887
2	41.66	0.0493	41.68	0.0506	41.70	0.0580	38.82	-0.0633
1	41.66	0.0216	41.68	0.0242	41.70	0.0284	38.82	-0.0316

Tablo 20. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
4	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008
3	0.0015	0.0013	0.0015	0.0013
2	0.0022	0.0017	0.0018	0.0016
1	0.0018	0.0016	0.0016	0.0014

δ: Göreli kat ötelemesi

Tablo 21. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
4	0.0007	0.0006	0.0007	0.0008
3	0.0011	0.0009	0.0010	0.0011
2	0.0012	0.0011	0.0011	0.0012
1	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009

Tablo 22. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
4	0.0013	0.0012	0.0015	0.0019
3	0.0024	0.0021	0.0024	0.0029
2	0.0031	0.0026	0.0030	0.0036
1	0.0025	0.0024	0.0026	0.0034

Tablo 23. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
4	0.0021	0.0022	0.0027	0.0034
3	0.0037	0.0038	0.0044	0.0052
2	0.0047	0.0049	0.0055	0.0065
1	0.0035	0.0043	0.0051	0.0061

Tablo 24. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
4	0.0016	0.0017	0.0020	0.0025
3	0.0028	0.0029	0.0033	0.0039
2	0.0036	0.0038	0.0042	0.0052
1	0.0028	0.0035	0.0039	0.0050

Tablo 25. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
4	0.0039	0.0038	0.0048	0.0055
3	0.0071	0.0067	0.0077	0.0084
2	0.0092	0.0088	0.0099	0.0106
1	0.0072	0.0079	0.0091	0.0099

Tablo 26. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.96	2.8165	3.97	2.2720	2.2	-1.8304	2.44	2.0145
3	3.95	5.6656	3.96	3.6835	2.2	-3.2200	2.44	3.3509
2	3.93	7.0283	2.82	4.5417	2.85	4.3862	2.20	-3.7793
1	3.91	8.3608	3.02	-5.2423	2.85	4.9512	3.92	4.2483

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), S: En büyük gerilme (MPa)

Tablo 27. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.05	-1.8367	3.05	-1.6076	3.14	1.5689	3.15	1.6697
3	3.04	-3.7619	3.05	-2.7379	3.14	2.4911	3.15	2.6673
2	3.03	-4.5523	2.75	-3.1548	2.75	-3.1082	2.76	-3.0575
1	3.01	-4.3355	2.73	-3.1579	2.73	-3.0686	2.74	-2.9484

Tablo 28. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
4	13.91	-2.6002	7.39	-2.4623	7.40	-2.8607	7.40	-3.2747
3	13.91	-6.3113	12.31	-4.3108	7.40	-4.8095	7.40	-5.5470
2	13.91	-9.9562	14.56	6.7814	12.61	6.9831	13.90	-7.7054
1	13.90	-11.5513	12.56	7.9775	12.60	8.0322	13.89	-9.1502

Tablo 29. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.56	4.0990	3.41	-3.8678	3.42	-3.9453	3.45	-4.0524
3	3.57	9.9002	3.40	-7.81819	3.42	-8.0442	3.23	8.3591
2	3.57	15.2465	3.40	-12.4873	3.42	-13.0284	3.22	13.7396
1	3.58	16.8615	3.40	-14.7282	3.42	-15.3994	3.22	16.5754

Tablo 30. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.04	3.0332	3.05	2.9361	3.07	2.8507	3.62	3.0379
3	3.04	6.1151	3.05	5.9922	3.06	5.8866	3.63	6.1730
2	3.04	9.6869	3.05	9.6819	3.06	9.6656	3.66	10.5440
1	3.03	11.2683	3.04	11.6621	3.06	11.7013	3.66	13.5350

Tablo 31. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
4	41.66	-7.5492	41.68	-6.5979	38.79	6.9124	38.80	6.7683
3	41.66	-15.3768	41.68	-13.6020	41.71	-14.0737	38.80	13.7012
2	41.66	-24.6676	41.68	-22.1306	41.71	-22.8647	38.81	22.2270
1	41.66	-28.7789	41.68	-26.5368	41.70	-27.2755	38.82	26.7700

Tablo 32. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.95	10.2207	3.95	8.4262	3.95	6.9029	3.95	7.5979
3	3.93	8.0060	3.94	6.6862	3.94	5.6675	3.94	6.5991
2	3.91	7.3170	3.92	6.1442	3.85	-6.0647	3.92	6.9269
1	3.91	3.9231	3.84	-4.4049	3.84	-4.8499	4.13	-5.6307

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), a: En büyük ivme (m/s^2)

Tablo 33. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.04	-7.8523	3.04	-7.0815	3.05	-6.5411	3.15	5.8101
3	3.03	-6.2271	3.03	-5.8092	3.03	-5.3452	3.03	-4.8098
2	3.01	-4.7504	3.02	-4.8207	3.02	-4.9054	3.02	-5.0720
1	3.01	-2.4503	3.01	-2.8768	3.23	3.6426	3.23	4.5180

Tablo 34. Kobe depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
4	7.30	9.7848	7.30	9.7502	7.40	-10.2060	7.41	-11.6630
3	7.29	6.5115	7.29	6.4263	11.96	-6.8903	11.83	6.7393
2	7.17	-5.5828	7.17	-6.0160	7.18	-6.2908	7.18	-6.3969
1	7.16	-3.6790	7.16	-4.1320	7.47	-5.2041	7.48	-6.6376

Tablo 35. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.56	11.4670	3.42	-12.6700	3.42	-13.6780	3.43	-14.1510
3	3.42	-10.013	3.42	-11.1780	3.43	-12.1150	3.44	-12.5620
2	3.42	-7.7804	3.42	-8.8179	3.42	-9.6588	3.43	-10.2160
1	3.41	-3.7918	3.41	-4.6077	3.42	-5.4711	3.42	-6.0884

Tablo 36. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

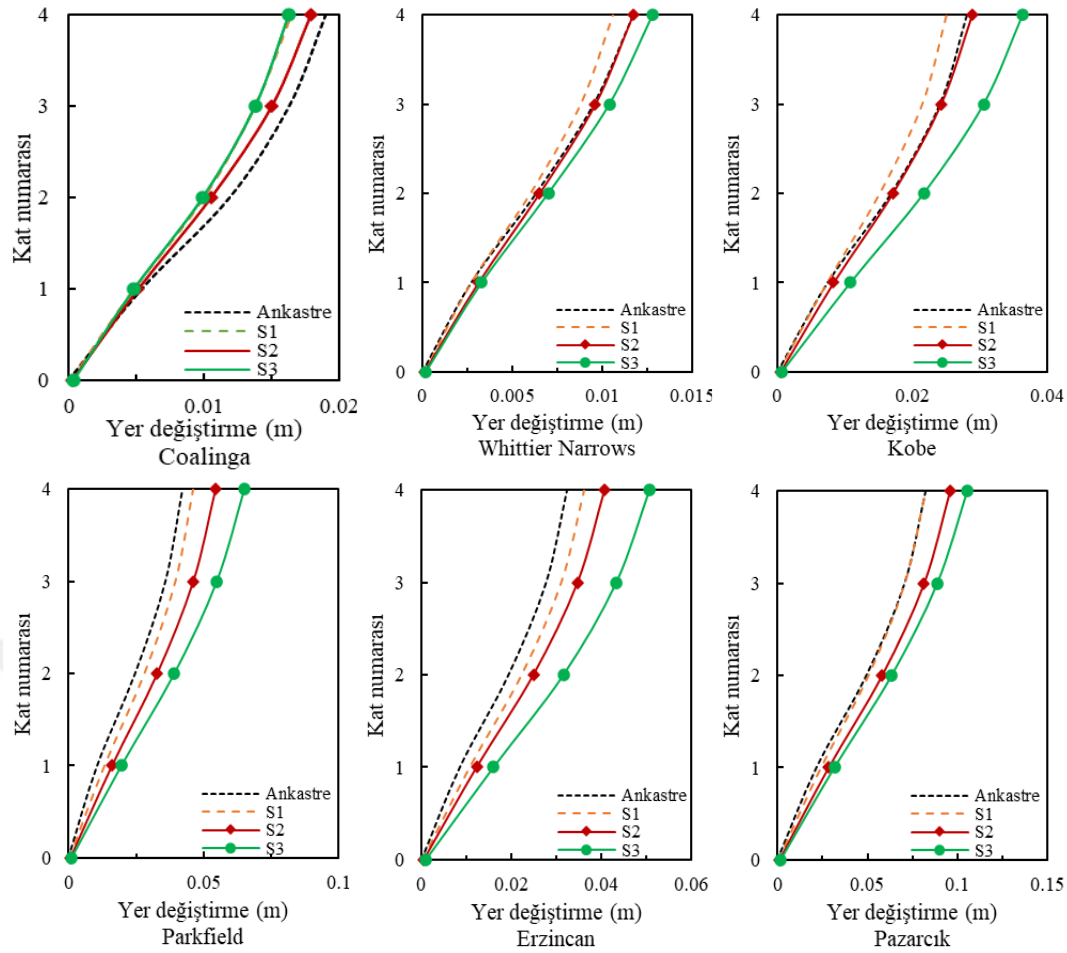
Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.49	-8.8386	3.49	-7.8141	3.49	-7.9180	3.49	-9.4508
3	3.48	-7.0897	3.48	-6.4243	3.48	-6.5751	3.48	-7.9014
2	3.66	4.9350	3.66	4.7904	3.66	5.3978	3.67	6.6278
1	3.65	2.4517	3.66	2.6183	3.66	3.1641	3.66	4.0919

Tablo 37. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
4	41.67	-17.6660	41.69	-16.4650	41.71	-18.5190	38.8	15.2870
3	41.67	-15.5510	41.68	-14.3740	41.71	-15.7090	38.83	12.7790
2	41.87	11.2100	41.68	-10.4690	42.65	-11.4730	42.66	-10.8340
1	41.86	5.3122	41.87	5.3004	42.86	7.7961	42.65	-7.3649

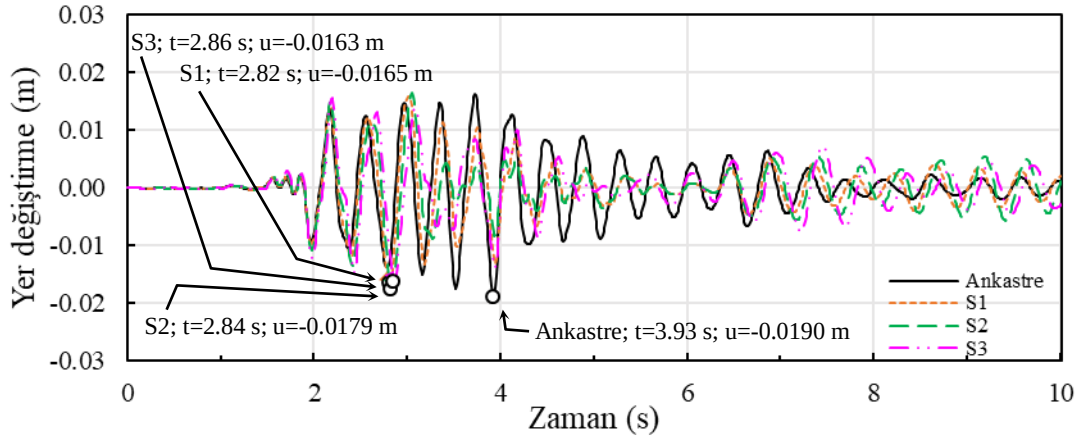
2.5.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 17'de verilmektedir. Yer değiştirmeler en üst kat düzeyinde maksimuma ulaşmakta ve deprem frekans içeriği ile zemin tipine bağlı olarak yer değiştirme değerlerinde dikkate değer farklılıklar gözlenmektedir. Yer değiştirme değeri, Coalinga depremi için ankastre taban koşulunda maksimum iken, Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremleri için S3 zemin tipinde maksimumdur. Ayrıca yer değiştirme büyüklüğü açısından en kritik yer hareketi, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.

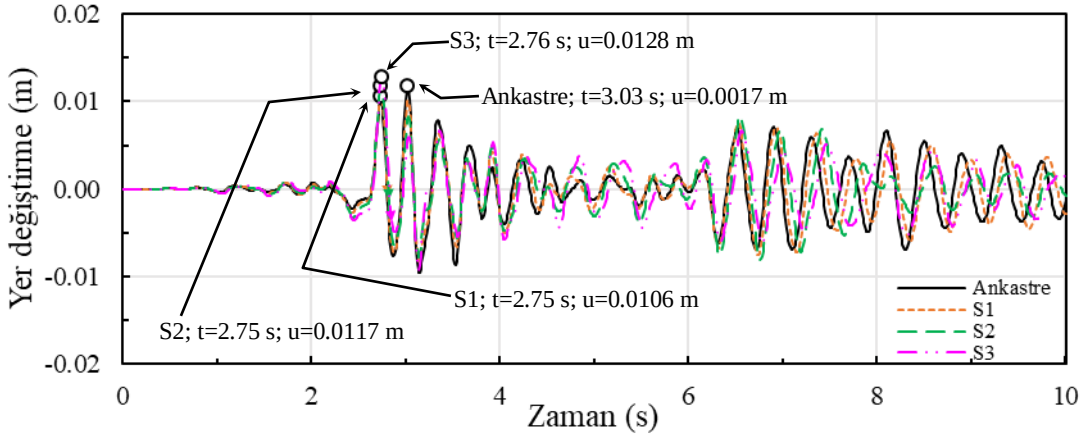


Şekil 17. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

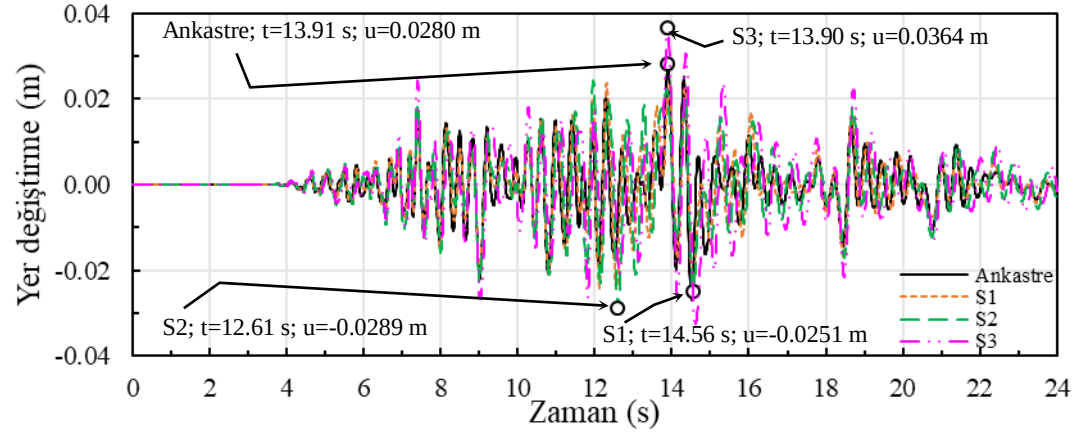
Şekil 18-23'te yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. En büyük tepe yer değiştirmesi yüksek frekans içerikli depremler olan Coalinga depreminde ankastre tabanda ve Whittier Narrows depreminde S3 zemininde meydana gelmektedir. Orta frekans içeriğine sahip Kobe ve Parkfield depremlerinde bu yer değiştirme S3 zemininde, düşük frekans içeriğine sahip Erzincan ve Pazarcık depremlerinde yine rijitliği en düşük olan S3 zemininde görülmektedir. Dikkate alınan altı deprem içerisinde en büyük tepe yer değiştirmesi 0.1052 m değeri ve S3 zemin türü ile düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depreminde görülmektedir. Coalinga depreminde maksimum yer değiştirme, ankastre tabanda S3 zemine nazaran 1.17 kat daha büyüktür. Whittier Narrows ve Kobe depremlerinde S3 zemininde S1 zeminine nazaran sırasıyla 1.21 ve 1.45 kat; Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde S3 zemininde ankastre tabana nazaran sırasıyla 1.54, 1.57 ve 1.28 kat daha büyük yer değiştirmelerin elde edildiği görülmektedir. Bu bulgular, hem depremlerin frekans özelliklerinin hem de yapı mesnetlenme koşullarının dikkate alınmasının gerekliliğine pratik bir örnek sunmaktadır.



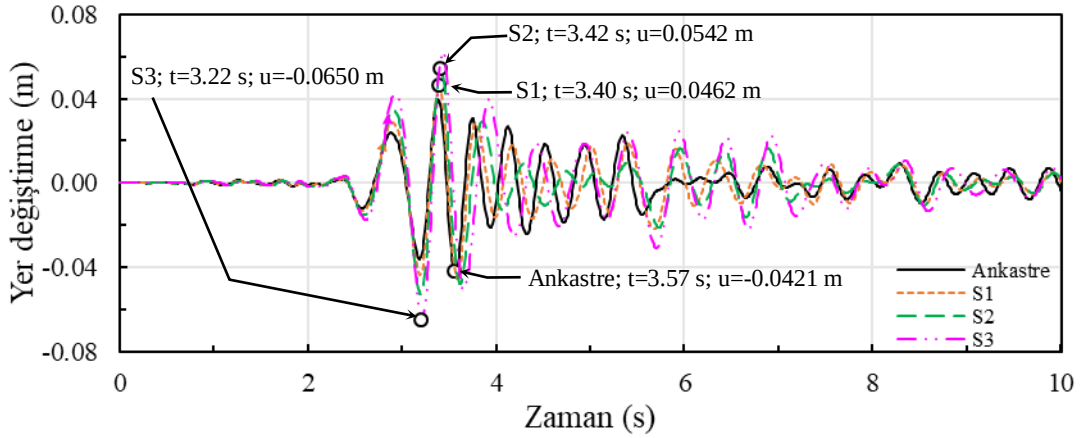
Şekil 18. 4 katlı yapıda Coalinga depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



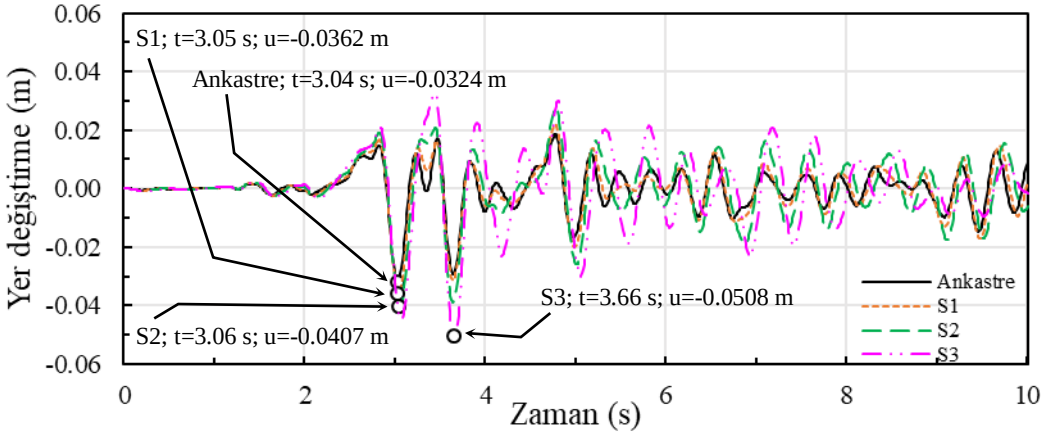
Şekil 19. 4 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



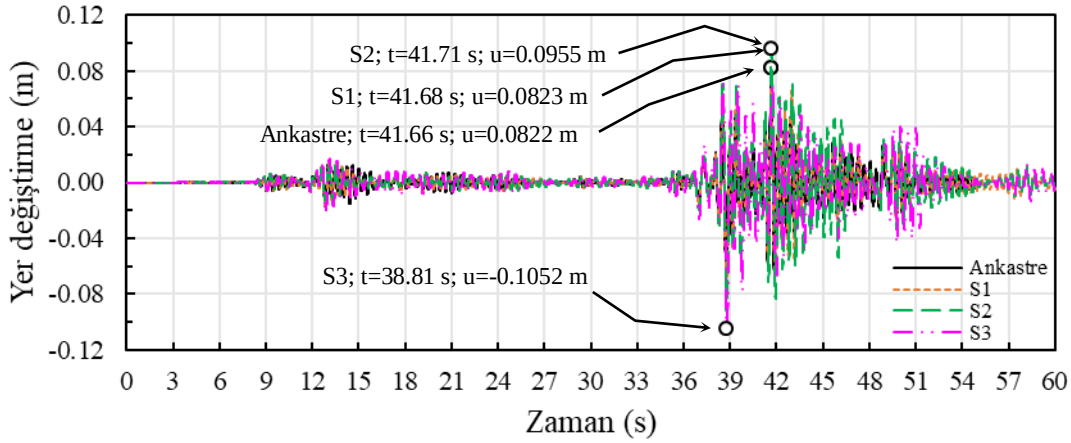
Şekil 20. 4 katlı yapıda Kobe depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 21. 4 katlı yapıda Parkfield depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 22. 4 katlı yapıda Erzincan depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi

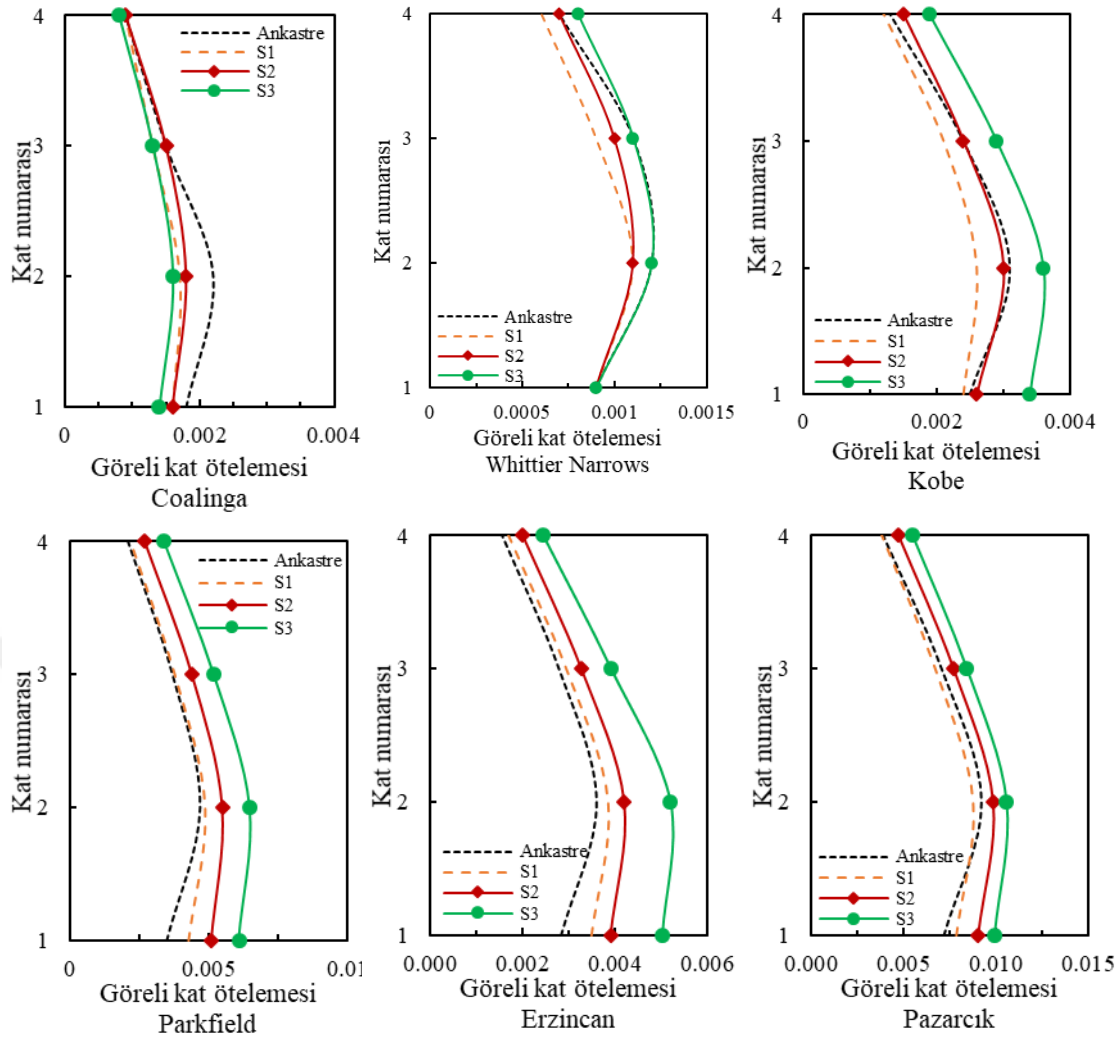


Şekil 23. 4 katlı yapıda Pazarcık depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi

2.5.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Kat yer değiştirmelerine ek olarak yapı davranışı bakımından kritik bir diğer parametre de göreli kat ötelemeleridir. Göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği

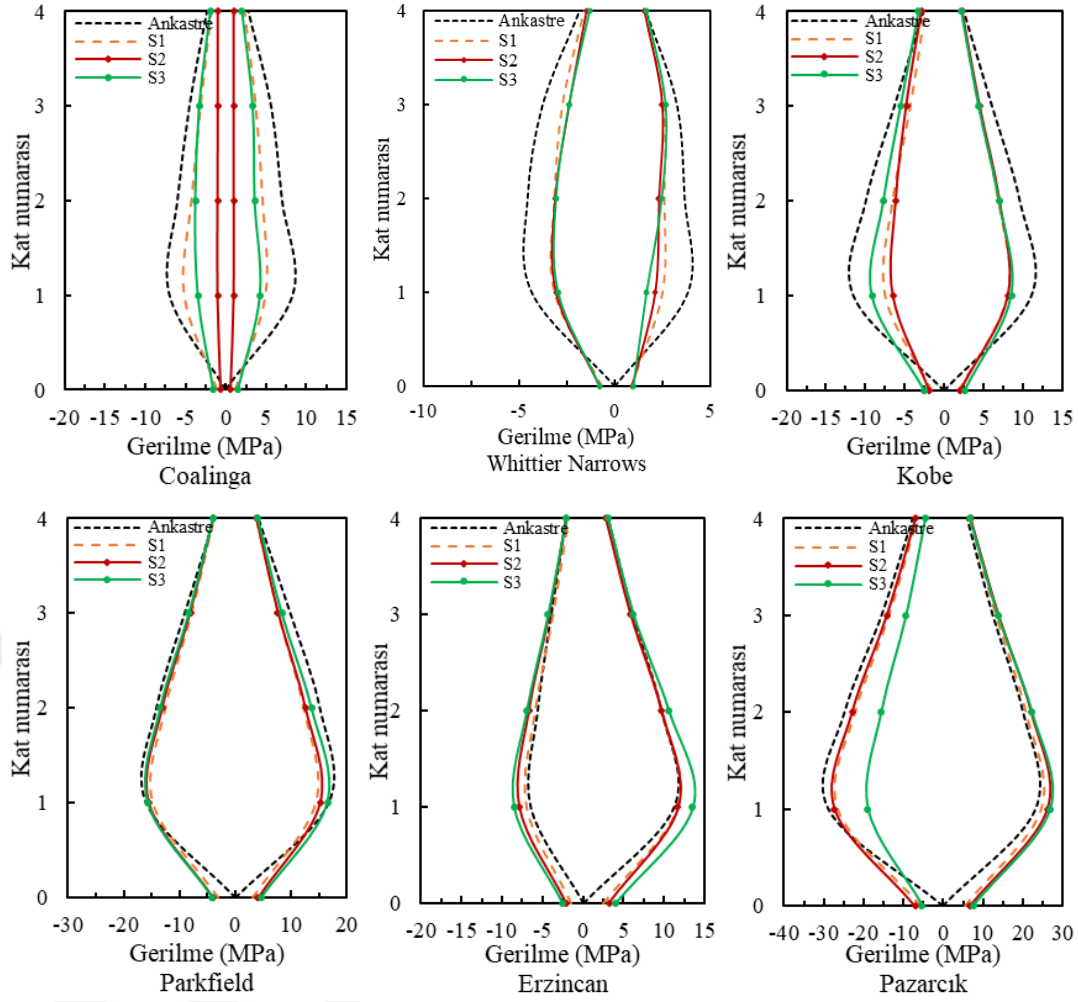
boyunca değişimleri Şekil 24'te verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde ötelemeler açısından en kritik değerlerin genellikle 2. kat seviyesinde meydana geldiği görülmektedir. Bu değerler yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde ankastre taban koşulunda 0.0022 iken Whittier Narrows depreminde ankastre ve S3 zemin koşullarında 0.0012'dir. Orta frekans içeriğine sahip Kobe ve Parkfield depremlerinde maksimum göreli kat öteleme oranları S3 zemininde ve sırasıyla 0.0036 ve 0.0065 olarak elde edilmektedir. Düşük frekans içeriğine sahip Erzincan ve Pazarcık depremlerinde de bu oranın maksimum değeri S3 zemininde ve sırasıyla 0.0052 ve 0.0106 olmaktadır. Öte yandan göreli kat ötelemelerinin zemin rijitliğine bağlı değişimi de irdelenebilir. Coalinga depreminde ankastre taban koşulunda en büyük göreli kat ötelemesi 0.0022 iken; S1'de %22.7 azalışla 0.0017, S2'de %18.2 azalışla 0.0018 ve S3'te %27.3 azalışla 0.0016 olmaktadır. Whittier Narrows depreminde ankastre taban koşulunda 0.0012 olan göreli kat ötelemesi, S1 ve S2'de %8.3 azalarak 0.0011 ve S3'te ise yine 0.0012 olmaktadır. Kobe depreminde ankastre taban koşulunda 0.0031 olan göreli kat öteleme değeri, %16.1 azalarak S1'de 0.0026, S2'de %3.2 azalışla 0.0030 ve S3'te %16.1 artışla 0.0036 olmaktadır. Parkfield depreminde ankastre taban koşulunda 0.0047 olan göreli kat ötelemesi değeri rijitlik azalışına bağlı olarak S1'de %4.3 artışla 0.0049, S2'de %17 artışla 0.0055 ve S3'te %38.3 artışla 0.0065 değerine ulaşmaktadır. Erzincan depreminde ankastre taban koşulunda 0.0036 olan göreli kat öteleme değeri S1'de %5.6 artışla 0.0038, S2'de %16.7 artışla 0.0042 ve S3'te %44.4 artışla 0.0052 olarak hesaplanmaktadır. Pazarcık depreminde göreli kat ötelemesi değeri ankastre taban koşulunda 0.0092 iken; S1'de %4.3 azalışla 0.0088, S2'de %7.6 artışla 0.0099 ve S3'te %15.2 artışla 0.0106 olarak elde edilmektedir. Bu değerlendirmelerden, yüksek frekans içerikli depremlerde ankastre taban koşullarında maksimum kat öteleme değerlerine ulaşıldığı, orta ve yüksek frekans içerikli depremlerde ise zemin rijitliğinin en düşük olduğu S3 zemininde en büyük değerlerin hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 24. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi

2.5.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

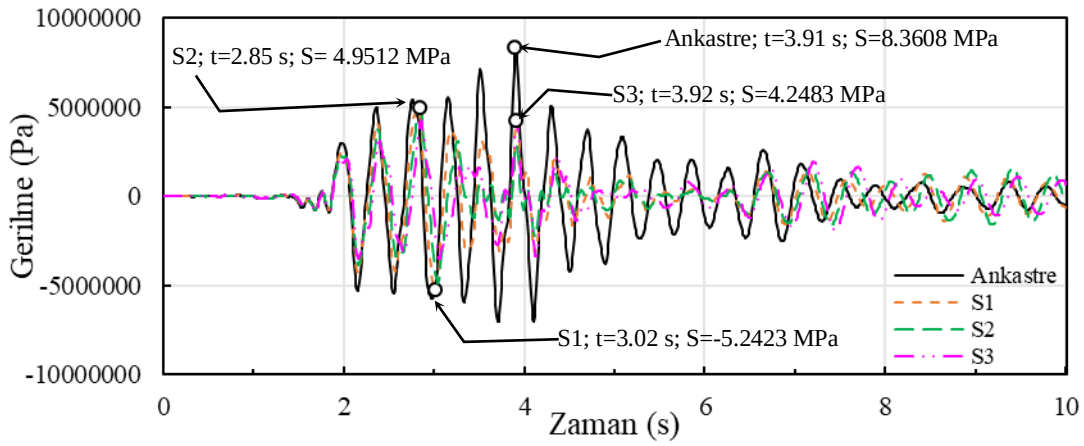
Maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 25'te verilmektedir. Maksimum gerilmelerin, depremin doğasına ve zemin türüne bağlı olarak genellikle birinci kat seviyelerinde oluştuğu görülmektedir. Erzincan depreminde maksimum gerilme S3'te oluşurken, diğer tüm depremlerde ankastre tabanda meydana gelmektedir. Ayrıca gerilme büyüklüğü açısından en kritik deprem, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir. Burada negatif büyüklükler basınç, pozitif büyüklükler çekme gerilmesini yansıtmaktadır.



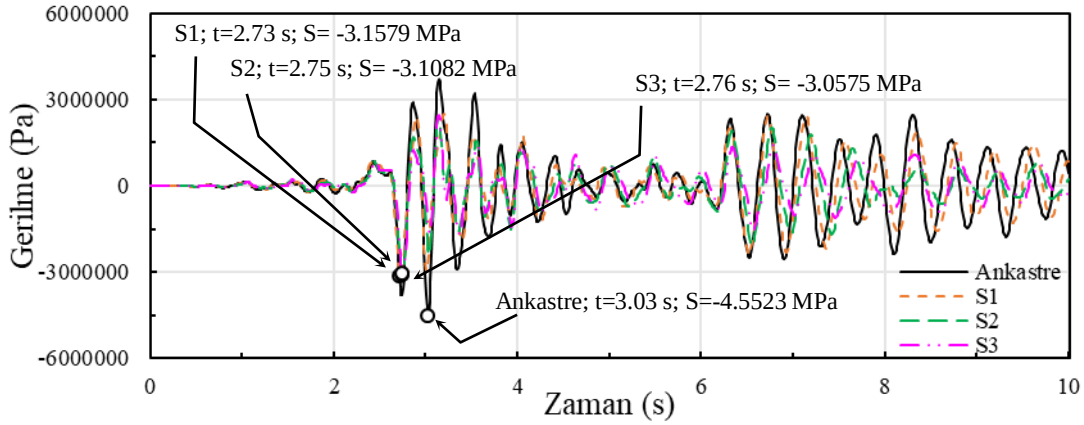
Şekil 25. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

Şekil 26-31'de gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 26'da en büyük gerilme çekme olarak ankastre tabanda 8.3608 MPa iken; S1'de %37.3 azalışla basınç olarak 5.2423 MPa, S2'de %40.8 azalışla çekme olarak 4.9512 MPa ve S3'te %49.2 azalışla çekme olarak 4.2483 MPa değeri elde edilmektedir. Şekil 27'de ankastre taban için elde edilen maksimum gerilme basınç olarak 4.5523 MPa iken; S1'de %30.6 azalışla basınç olarak 3.1579 MPa, S2'de %31.7 azalışla basınç olarak 3.1082 MPa ve S3'te %32.8 azalışla basınç olarak 3.0575 MPa olmaktadır. Şekil 28'de ankastre taban koşullarında oluşan en büyük gerilme basınç olarak 11.5513 MPa değerindedir. Ancak bu gerilme diğer zemin tipleri olan S1, S2 ve S3 zeminlerinde sırasıyla %30.9 azalışla çekme olarak 7.9775 MPa, %30.5 azalışla çekme olarak 8.0322 MPa ve %20.8 azalışla basınç olarak 9.1502 MPa olmaktadır. Şekil 29'da ankastre taban koşullarında en büyük gerilme çekme olarak 16.8615 MPa iken; S1'de %12.7 azalışla basınç olarak 14.7282 MPa, S2'de %8.7 azalışla basınç olarak 15.3994 MPa ve S3'te %1.7 azalışla çekme olarak 16.5754 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 30'da ankastre taban için en büyük gerilme çekme olarak 11.2683 MPa iken; S1'de %3.5 artışla çekme olarak 11.6621

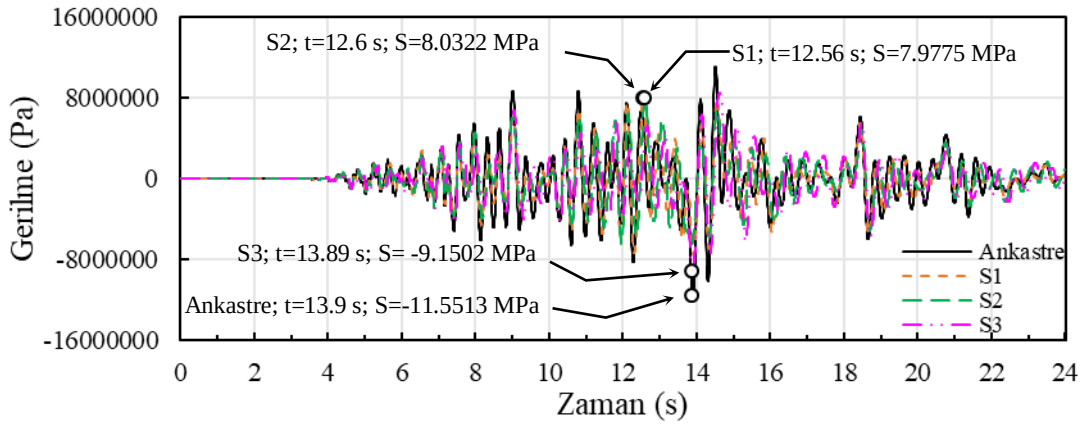
MPa, S2'de %3.8 artışla çekme olarak 11.7013 MPa ve S3'te %20.1 artışla çekme olarak 13.5350 MPa olmaktadır. Şekil 31'de ankastre taban için bu gerilme basınç olarak 28.7789 MPa iken; S1'de %7.8 azalışla basınç olarak 26.5368 MPa, S2'de %5.2 azalışla basınç olarak 27.2755 MPa ve S3'te %7 azalışla çekme olarak 26.7700 MPa mertebesinde elde edilmektedir. Bu karşılaştırmalardan, gerilme davranışının deprem yer hareketinin frekans karakteristiklerinden de önemli ölçüde etkilendiği açıkça görülmektedir.



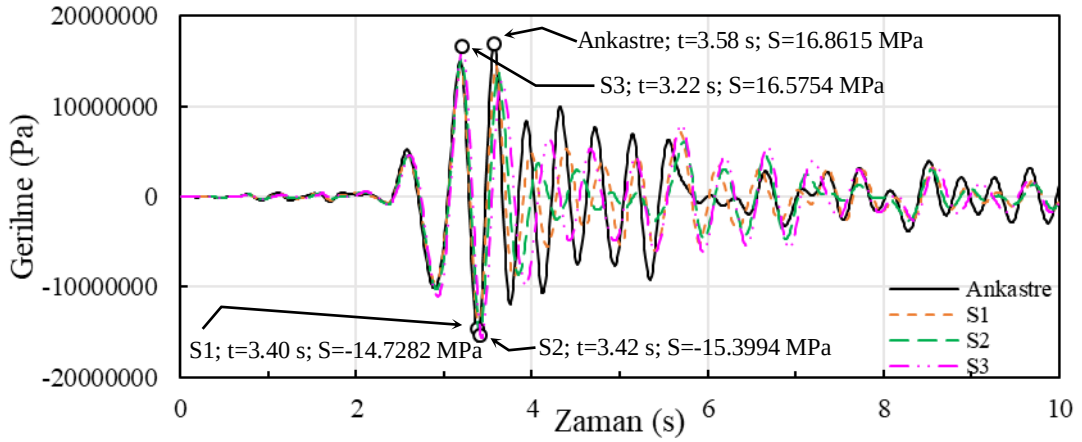
Şekil 26. 4 katlı yapıda Coalinga depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



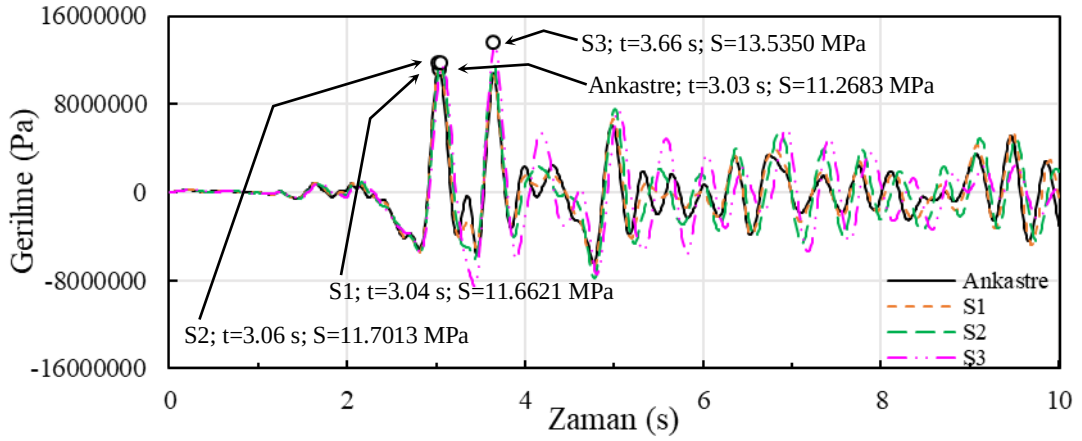
Şekil 27. 4 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



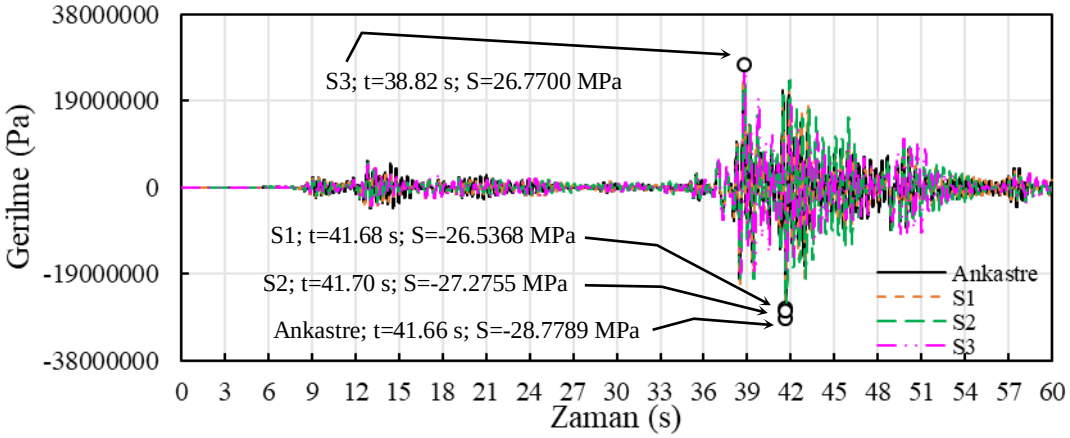
Şekil 28. 4 katlı yapıda Kobe depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 29. 4 katlı yapıda Parkfield depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



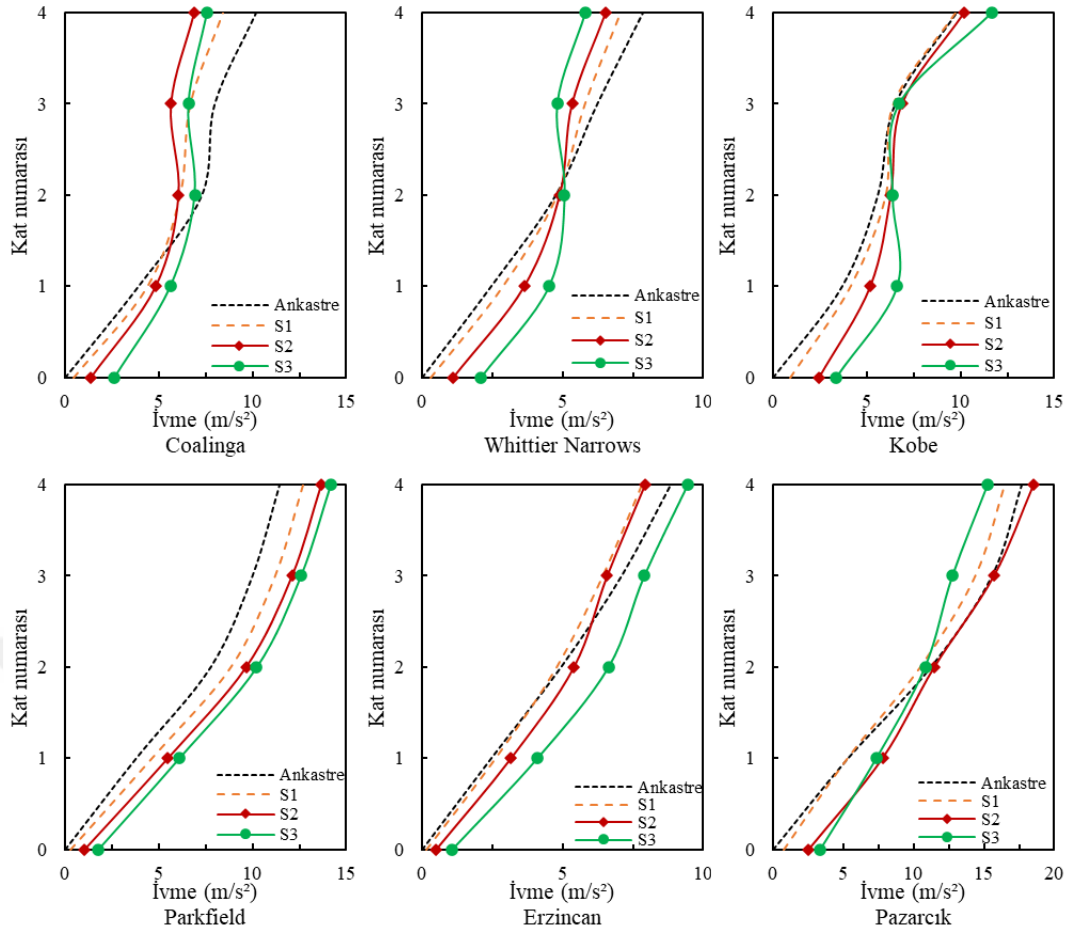
Şekil 30. 4 katlı yapıda Erzincan depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 31. 4 katlı yapıda Pazarcık depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi

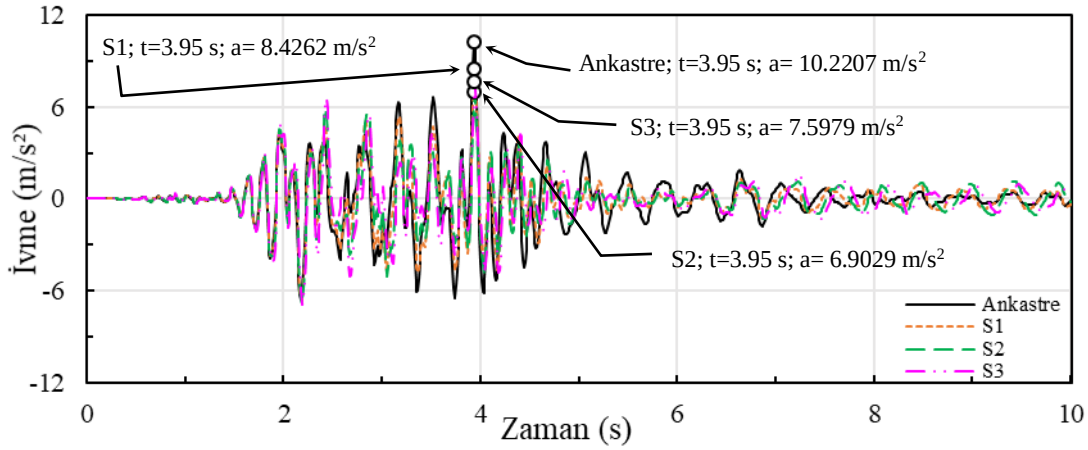
2.5.1.4. İvmelerin İrdelenmesi (2e/L=0)

Maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 32'de verilmektedir. İvmelerin zemin koşullarına ve deprem frekans içeriğine bağlı olarak değiştiği ve yapı yüksekliği boyunca genellikle artma eğiliminde olduğu görülmektedir. En üst katta en yüksek ivmeler; yüksek frekans içerikli Coalinga ve Whittier Narrows depremleri için ankastre taban koşulunda, orta frekans içerikli Kobe ve Parkfield ile düşük frekans içerikli Erzincan depremleri için S3 taban koşulunda ve düşük frekans içerikli Pazarcık depremi için S2 taban koşulunda meydana gelmektedir. İvme büyüklüğü açısından en kritik yer hareketi, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.

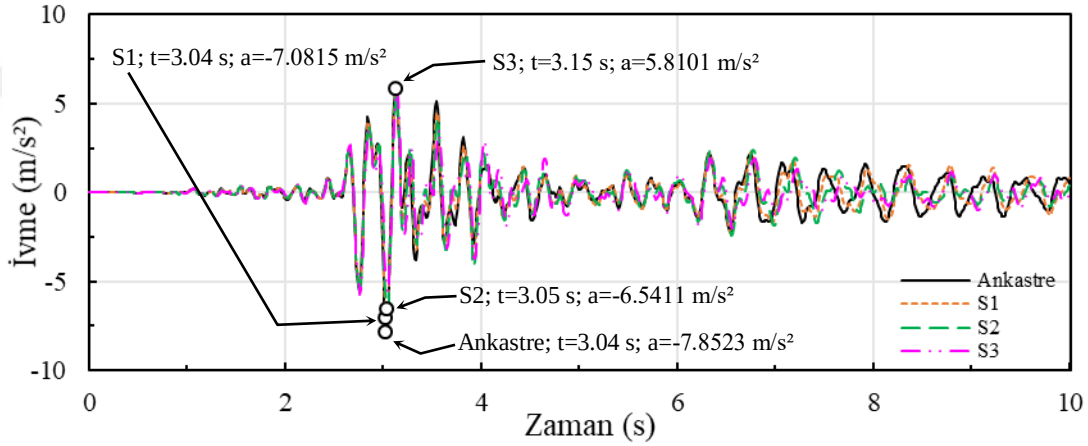


Şekil 32. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

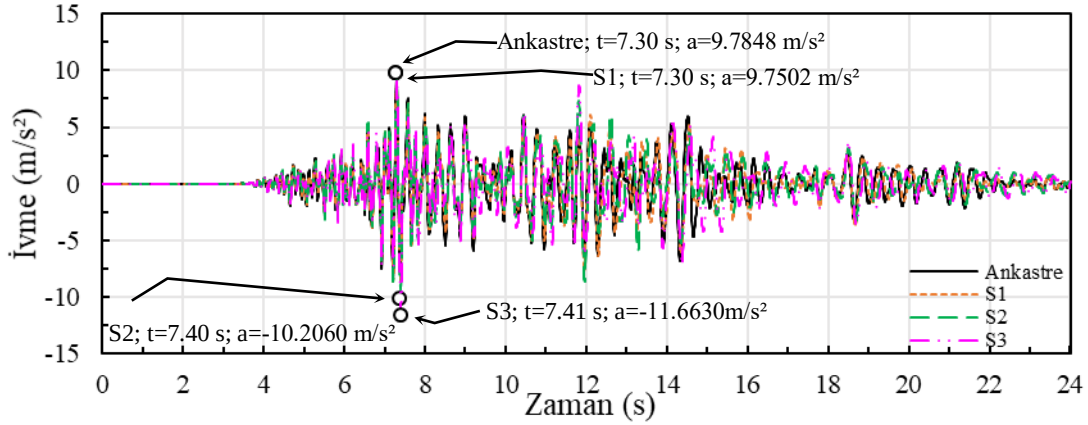
İvmelerin zamana bağlı değişimleri Şekil 33-38'de verilmektedir. Şekil 33'te ivme ankastre taban koşullarında 10.2207 m/s^2 iken; ankastre tabana kıyasla S1'de %17.6 azalışla 8.4262 m/s^2, S2'de %32.5 azalışla 6.9029 m/s^2 ve S3'te %25.7 azalışla 7.5979 m/s^2 olarak elde edilmektedir. Şekil 36 ele alındığında, ankastre taban koşullarında 11.4670 m/s^2 olan ivmenin, S1'de %10.5 artışla 12.6700 m/s^2, S2'de %19.3 artışla 13.6780 m/s^2 ve S3'te %23.4 artışla 14.1510 m/s^2 olduğu görülmektedir. Bu karşılaştırmalar, deprem frekans içeriğine bağlı olarak ZYE'nin bazı deprem kayıtlarında ivme tepkisini artırabileceğini, bazılarında ise azaltabileceğini ortaya koymaktadır.



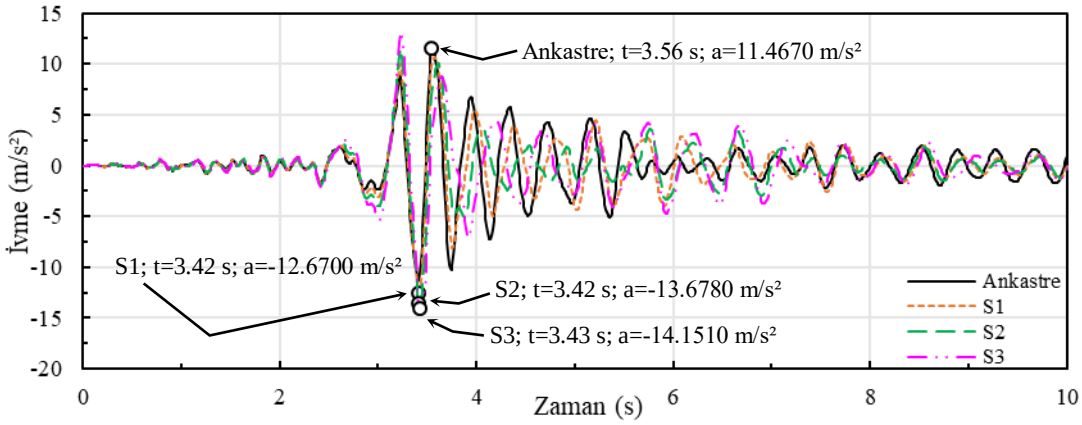
Şekil 33. 4 katlı yapıda Coalinga depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



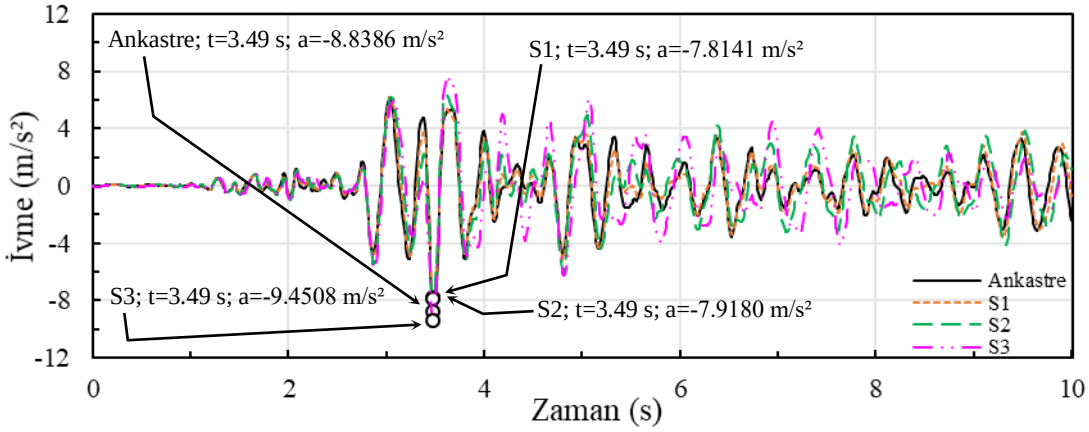
Şekil 34. 4 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



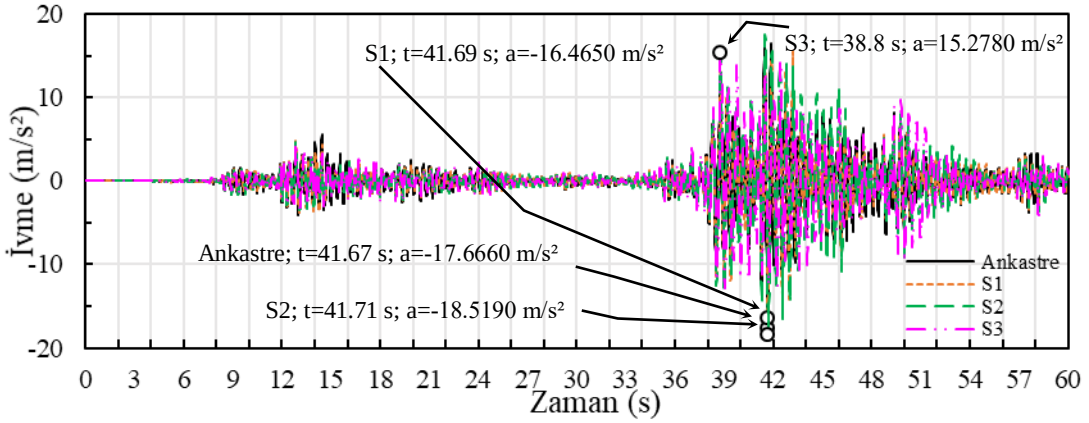
Şekil 35. 4 katlı yapıda Kobe depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 36. 4 katlı yapıda Parkfield depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 37. 4 katlı yapıda Erzincan depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 38. 4 katlı yapıda Pazarcık depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi

2.5.2. 8 Katlı Yapının Analizi

8 katlı yapının dinamik analizi sonucu elde edilen rölatif yatay yer değiştirme değerleri Tablo 38-43'te, göreli kat öteleme değerleri Tablo 44-49'da, gerilme değerleri Tablo 50-55'te ve ivme değerleri Tablo 56-61'de verilmektedir.

Tablo 38.Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
8	3.55	-0.0201	3.58	-0.0213	3.64	-0.0216	3.36	0.0234
7	3.55	-0.0189	3.58	-0.0198	3.65	-0.0200	3.37	0.0214
6	3.55	-0.0170	3.56	-0.0173	3.66	-0.0183	3.37	0.0191
5	3.53	-0.0146	3.64	-0.0149	3.66	-0.0165	3.38	0.0167
4	3.52	-0.0119	3.65	-0.0127	3.66	-0.0142	3.37	0.0137
3	3.52	-0.0089	3.64	-0.0100	3.66	-0.0111	3.36	0.0103
2	3.51	-0.0055	3.99	0.0067	3.65	-0.0073	3.35	0.0068
1	3.98	0.0023	3.98	0.0031	3.65	-0.0032	3.34	0.0032

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), u: En büyük yatay yer değiştirme (m)

Tablo 39. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
8	3.21	-0.0214	3.22	-0.0209	3.04	0.0244	3.05	0.0288
7	3.22	-0.0186	3.03	0.0183	3.04	0.0222	3.05	0.0259
6	3.25	-0.0153	3.67	0.0161	3.03	0.0193	3.04	0.0222
5	3.28	-0.0146	3.30	-0.0155	3.02	0.0163	3.03	0.0183
4	3.30	-0.0137	3.31	-0.0147	3.32	-0.0151	3.01	0.0152
3	3.30	-0.0114	3.31	-0.0125	3.33	-0.0131	3.00	0.0126
2	3.31	-0.0079	3.32	-0.0088	3.33	-0.0094	3.34	-0.0092
1	3.31	-0.0033	3.32	-0.0040	3.33	-0.0044	2.99	0.0044

Tablo 40. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
8	13.93	0.0804	13.95	0.0848	13.97	0.0979	14.02	0.1144
7	13.93	0.0762	13.95	0.0799	13.97	0.0912	14.02	0.1057
6	13.93	0.0693	13.95	0.0723	13.97	0.0818	14.02	0.0945
5	13.92	0.0602	13.95	0.0624	16.28	0.0714	14.02	0.0810
4	13.91	0.0491	13.94	0.0507	16.27	0.0589	14.03	0.0659
3	13.91	0.0366	13.93	0.0379	16.27	0.0447	14.03	0.0495
2	13.90	0.0230	16.21	0.0245	16.27	0.0291	14.03	0.0323
1	13.89	0.0092	16.21	0.0106	16.27	0.0131	14.03	0.0150

Tablo 41. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
8	3.34	-0.1255	3.36	-0.1247	3.07	0.1214	3.08	0.1303
7	3.34	-0.1184	3.36	-0.1174	3.40	-0.1136	3.08	0.1205
6	3.35	-0.1070	3.37	-0.1065	3.41	-0.1035	3.08	0.1078
5	3.35	-0.0922	3.37	-0.0924	3.41	-0.0908	3.08	0.0923
4	3.36	-0.0745	3.38	-0.0757	3.42	-0.0756	3.49	-0.0772
3	3.36	-0.0548	3.39	-0.0568	3.43	-0.0579	3.48	-0.0599
2	3.37	-0.0340	3.39	-0.0364	3.45	-0.0383	3.48	-0.0402
1	3.37	-0.0134	3.39	-0.0157	3.45	-0.0175	3.48	-0.0189

Tablo 42. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
8	3.90	-0.1607	3.93	-0.1697	3.97	-0.1719	3.29	-0.1613
7	3.89	-0.1520	3.93	-0.1593	3.97	-0.1602	3.28	-0.1494
6	3.89	-0.1379	3.92	-0.1437	3.97	-0.1439	3.28	-0.1342
5	3.89	-0.1189	3.92	-0.1233	3.98	-0.1240	3.28	-0.1159
4	3.88	-0.0961	3.92	-0.0995	3.98	-0.1010	4.04	-0.0953
3	3.88	-0.0706	3.93	-0.0735	3.99	-0.0756	4.04	-0.0724
2	3.87	-0.0438	3.93	-0.0464	3.99	-0.0487	3.26	-0.0476
1	3.86	-0.0172	3.93	-0.0198	3.99	-0.0217	3.26	-0.0222

Tablo 43. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
8	39.85	-0.1815	39.89	-0.1945	39.92	-0.2197	39.97	-0.3140
7	39.45	0.1717	39.89	-0.1839	39.92	-0.2065	39.97	-0.2922
6	39.45	0.1569	39.9	-0.1681	39.93	-0.1884	39.97	-0.2640
5	39.44	0.1367	39.9	-0.1473	39.93	-0.1650	39.96	-0.2291
4	39.44	0.1120	39.9	-0.1218	39.93	-0.1365	39.96	-0.1883
3	39.44	0.0835	39.9	-0.0923	39.92	-0.1035	39.96	-0.1423
2	39.44	0.0524	39.9	-0.0596	39.92	-0.0674	39.97	-0.0929
1	39.44	0.0209	39.9	-0.0258	39.92	-0.0301	39.98	-0.0432

Tablo 44. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
8	0.0004	0.0005	0.0005	0.0007
7	0.0006	0.0008	0.0006	0.0007
6	0.0008	0.0008	0.0006	0.0008
5	0.0009	0.0007	0.0008	0.0010
4	0.0010	0.0009	0.0010	0.0011
3	0.0011	0.0011	0.0013	0.0011
2	0.0011	0.0012	0.0013	0.0011
1	0.0008	0.0010	0.0009	0.0008

δ: Göreli kat ötelemesi

Tablo 45. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
8	0.0010	0.0009	0.0007	0.0009
7	0.0011	0.0007	0.0010	0.0012
6	0.0002	0.0002	0.0009	0.0010
5	0.0003	0.0003	0.0002	0.0007
4	0.0008	0.0007	0.0007	0.0007
3	0.0012	0.0012	0.0012	0.0011
2	0.0015	0.0016	0.0017	0.0016
1	0.0011	0.0013	0.0014	0.0014

Tablo 46. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
8	0.0014	0.0017	0.0022	0.0029
7	0.0023	0.0025	0.0031	0.0037
6	0.0030	0.0033	0.0035	0.0045
5	0.0037	0.0039	0.0042	0.0050
4	0.0042	0.0043	0.0047	0.0055
3	0.0045	0.0044	0.0052	0.0057
2	0.0046	0.0046	0.0053	0.0058
1	0.0031	0.0034	0.0041	0.0045

Tablo 47. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
8	0.0024	0.0024	0.0024	0.0033
7	0.0038	0.0036	0.0033	0.0042
6	0.0049	0.0047	0.0042	0.0046
5	0.0059	0.0056	0.0050	0.0049
4	0.0066	0.0063	0.0059	0.0057
3	0.0069	0.0068	0.0065	0.0065
2	0.0069	0.0069	0.0069	0.0071
1	0.0045	0.0050	0.0055	0.0057

Tablo 48. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
8	0.0029	0.0035	0.0039	0.0039
7	0.0047	0.0052	0.0054	0.0051
6	0.0063	0.0068	0.0066	0.0061
5	0.0076	0.0079	0.0077	0.0069
4	0.0085	0.0087	0.0084	0.0076
3	0.0090	0.0090	0.0090	0.0082
2	0.0088	0.0089	0.0090	0.0084
1	0.0057	0.0064	0.0067	0.0067

Tablo 49. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
8	0.0033	0.0036	0.0044	0.0073
7	0.0049	0.0053	0.0061	0.0094
6	0.0067	0.0069	0.0078	0.0116
5	0.0082	0.0085	0.0095	0.0137
4	0.0095	0.0098	0.0110	0.0153
3	0.0104	0.0109	0.0121	0.0164
2	0.0105	0.0113	0.0124	0.0165
1	0.0070	0.0083	0.0093	0.0131

Tablo 50. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
8	4.11	-1.1051	4.11	-1.2355	4.12	-1.4425	4.13	-1.3785

Tablo 50. (Devamı)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
7	2.06	2.3765	4.11	-2.0213	4.12	-2.4080	4.13	-2.6393
6	2.06	3.2886	2.06	2.7139	4.12	-2.7314	2.07	3.2174
5	3.57	4.0176	3.58	3.4147	3.58	3.0170	2.07	2.8693
4	3.56	4.3898	3.57	4.2823	4.05	-3.5551	3.40	-3.3790
3	3.54	4.4114	3.55	3.4090	4.04	-3.5840	3.39	-3.7392
2	3.52	4.6834	3.65	3.8110	3.67	3.8613	3.37	-3.6927
1	3.84	-4.2486	3.99	-4.0683	3.65	3.7106	3.92	3.4293

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), S: En büyük gerilme (MPa)

Tablo 51. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
8	3.20	1.9723	3.21	1.9658	3.21	1.9981	3.22	2.0580
7	3.20	4.2837	3.21	3.5554	3.21	3.5619	3.22	3.6044
6	3.20	5.6940	3.21	4.6905	3.21	4.5582	3.22	4.4275
5	3.20	5.5014	3.20	4.4644	3.07	-4.5906	3.08	-5.0223
4	3.05	-4.3149	3.06	-3.9965	3.06	-4.4439	3.07	-4.7372
3	3.28	4.2651	3.28	3.4906	3.05	-3.5068	3.06	-3.5242
2	3.30	5.5952	3.31	4.7815	3.32	4.6314	3.33	4.1964
1	3.31	6.0811	3.32	5.4415	3.33	5.4496	3.34	5.2114

Tablo 52. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
8	8.07	2.7473	8.08	2.7104	7.48	-2.7429	7.49	-2.9702
7	8.07	6.1547	8.08	5.0851	8.09	4.9475	7.49	-5.1946
6	13.95	-8.8143	13.96	-7.2953	13.98	-7.3849	14.00	-7.2518
5	13.94	-11.9731	13.96	-9.8014	13.97	-9.8083	14.01	-9.5635
4	13.93	-14.5207	13.95	-11.7449	13.97	-11.6542	14.02	-11.3705
3	13.92	-16.5224	13.95	-13.1643	16.28	-13.1518	14.03	-12.8577
2	13.91	-17.9730	13.93	-14.1282	16.27	-14.6917	14.04	-13.9021
1	13.90	-17.3114	16.21	-13.9866	16.27	-14.4143	14.04	-13.3174

Tablo 53. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
8	3.33	3.6522	3.33	3.2583	3.34	2.6813	3.12	-2.3875
7	3.32	8.9782	3.33	6.6934	3.34	5.4642	3.11	-4.9751
6	3.32	14.7395	3.33	11.0294	3.34	8.8708	3.11	-8.3784
5	3.33	19.3491	3.34	14.4795	3.08	-12.0062	3.10	-11.2517
4	3.34	22.9331	3.35	17.3029	3.07	-14.6786	3.09	-13.5143
3	3.35	25.6214	3.37	19.5271	3.41	16.7376	3.08	-15.0908
2	3.36	27.1432	3.39	21.2838	3.42	19.0213	3.48	17.0997
1	3.37	25.5511	3.39	20.6935	3.45	19.3358	3.47	17.7757

Tablo 54. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
8	3.92	4.4540	3.93	4.3465	3.95	3.8462	3.57	-3.1669
7	3.91	9.2163	3.93	9.0140	3.95	7.9520	3.57	-6.3568
6	3.91	15.4577	3.93	15.0874	3.95	13.2022	3.57	-10.0351
5	3.90	20.7068	3.92	20.0253	3.95	17.3204	3.31	13.3625
4	3.90	24.8107	3.92	23.7153	3.97	20.4119	3.30	16.0944
3	3.89	27.7815	3.92	26.1731	3.98	23.0248	4.04	18.7294
2	3.88	29.4508	3.92	27.4970	3.99	24.8439	4.04	20.8855
1	3.87	27.6998	3.93	25.9718	4.00	23.6781	3.25	20.2558

Tablo 55. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
8	39.84	4.9097	39.86	4.5036	39.87	4.1053	41.35	-5.8087
7	39.84	12.1758	39.86	9.3539	39.87	8.5400	41.35	-11.9361
6	39.84	20.3447	39.86	15.7380	39.88	14.3646	41.35	-19.5571
5	39.84	27.2526	39.87	21.1114	39.91	19.6132	41.35	-25.0867
4	39.84	32.6301	39.89	25.9041	39.94	25.6434	39.97	31.6152
3	39.44	-37.3514	39.91	30.7823	39.94	30.8355	39.96	37.2435
2	39.44	-41.0152	39.91	34.5753	39.93	34.4017	39.95	40.8191
1	39.44	-39.4453	39.9	33.9452	39.92	33.3718	39.96	39.2032

Tablo 56. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
8	3.86	-5.0886	3.86	-4.8050	2.08	4.6942	2.08	5.1194
7	3.86	-4.4626	3.86	-4.1045	2.09	3.7867	2.09	3.8850
6	3.87	-4.0150	3.87	-3.5981	4.04	-3.4572	3.95	3.3703
5	3.87	-4.1259	2.35	-4.0650	3.95	4.2911	3.95	4.5586
4	3.86	-4.5451	3.52	4.5150	3.94	5.1504	3.94	5.7875
3	3.85	-5.2252	3.85	-5.2101	3.92	5.4178	3.93	6.5232
2	3.84	-4.7757	3.85	-5.0839	3.85	-5.4885	3.91	6.3219
1	3.84	-2.5217	3.84	-3.1502	3.84	-4.0445	3.84	-5.0028

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), a: En büyük ivme (m/s^2)

Tablo 57. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
8	3.04	-5.9895	3.04	-6.1660	3.04	-6.4741	3.05	-6.6542
7	3.04	-5.6156	3.04	-5.7001	3.05	-5.8688	3.05	-5.7963
6	3.04	-4.9479	3.04	-4.9836	3.05	-5.0373	3.05	-4.8125
5	3.03	-4.0015	3.03	-4.0705	3.04	-4.0690	3.04	-3.9399
4	3.20	-3.9930	3.20	-4.2227	3.20	-4.6275	3.21	-5.0502
3	3.42	-4.0498	3.20	-4.3247	3.20	-4.8450	3.10	5.3236
2	3.08	3.3736	3.08	3.6779	3.08	4.2370	3.09	5.3134
1	3.08	1.6959	3.08	2.0864	3.00	-2.6209	3.08	3.5614

Tablo 58. Kobe depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
8	7.48	-9.1418	7.48	-8.9800	7.48	-9.1702	7.48	-9.3633
7	7.32	7.6670	7.32	7.2034	7.32	6.6639	11.86	7.2348
6	7.31	8.4101	7.31	8.1686	7.31	7.7572	7.32	7.5351
5	7.30	8.6733	7.30	8.6330	7.30	8.3334	7.30	8.3212
4	7.29	8.2060	7.29	8.3827	7.29	8.2243	7.40	-9.1697
3	7.62	-8.2943	7.62	-8.6052	7.62	-8.5311	7.62	-9.1799
2	7.61	-7.8236	7.61	-8.2466	7.62	-9.0248	7.62	-9.1980
1	7.61	-4.1503	7.61	-5.0957	7.61	-6.3983	7.62	-6.6257

Tablo 59. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
8	3.31	13.1550	3.32	12.0730	3.11	-11.3610	3.12	-11.4220
7	3.31	11.9620	3.32	10.7900	3.11	-10.5570	3.12	-10.4500
6	3.31	9.9558	3.09	-9.4424	3.10	-9.4631	3.11	-9.2709
5	3.08	-8.2710	3.08	-8.3257	3.10	-8.2153	3.11	-7.9108
4	3.07	-6.9259	3.08	-6.9575	3.09	-6.8110	3.10	-6.4565
3	3.07	-5.2494	3.08	-5.3033	3.08	-5.2124	3.49	5.0355
2	3.07	-3.3085	3.46	3.6462	3.47	4.4485	3.48	4.5237
1	3.45	1.4340	3.45	1.9005	3.45	2.7779	3.47	3.1164

Tablo 60. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
8	3.53	-15.5340	3.53	-14.9880	3.54	-13.4130	3.35	11.9960
7	3.52	-14.6640	3.53	-13.9250	3.53	-12.3060	3.36	11.0310
6	3.51	-13.2520	3.52	-12.4170	3.52	-10.6800	3.36	9.7375
5	3.50	-11.5310	3.50	-10.6190	4.01	9.0605	3.67	-8.3537
4	3.48	-9.5987	3.49	-8.7750	4.02	7.9309	3.67	-8.0290
3	3.48	-7.3429	3.48	-6.7538	4.02	6.2466	3.67	-6.4877
2	3.47	-4.7289	3.47	-4.4199	3.68	-4.2548	3.70	-4.8233
1	3.46	-1.8594	3.47	-1.9177	3.68	-2.1768	3.69	-2.7131

Tablo 61. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

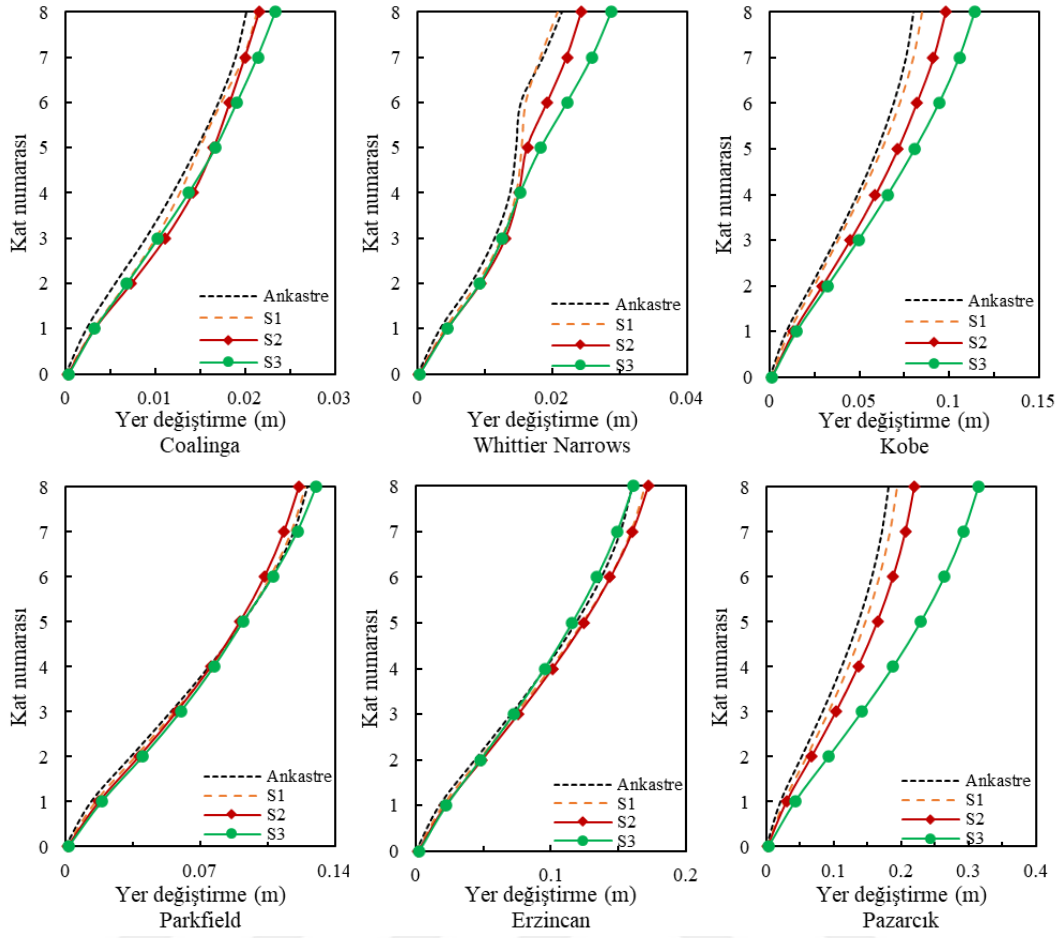
Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
8	42.15	13.6700	42.57	-15.4890	41.33	-14.6810	41.34	-22.6820
7	38.17	-12.0440	42.57	-14.9740	41.33	-12.9070	41.34	-19.9550
6	42.57	-11.3650	42.57	-14.1000	39.92	12.4000	41.33	-16.5600
5	38.69	-10.7980	42.57	-12.3270	39.92	11.8510	39.93	13.4240
4	39.92	10.0970	39.92	10.9440	39.92	10.8200	39.92	12.1660
3	39.91	8.7451	39.91	9.2969	42.67	-9.3967	39.92	10.5250
2	39.90	6.3824	39.91	6.9101	42.66	-8.1301	39.91	8.0154
1	42.85	3.2350	42.85	4.1668	42.65	-4.6908	41.25	-5.7983

2.5.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

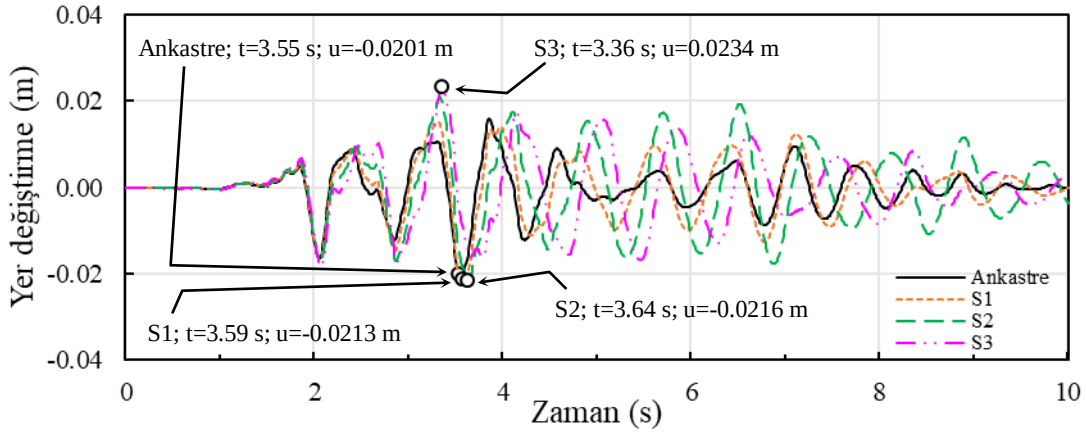
Maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 39'da verilmektedir. Yer değiştirmeler en üst kat düzeyinde maksimum değere ulaşmakta ve

deprem frekans içeriği ile ve ZYE'ye bağlı olarak yer değiştirme büyüklüklerinde belirgin farklılıklar ortaya çıkmaktadır. Erzincan depremi hariç, en yüksek yer değiştirmeler S3'te hesaplanmaktadır. Bu durum, yerel zemin özelliklerinin yer hareketi frekans içeriğini önemli ölçüde etkileyebileceği ve farklı davranışların ortaya çıkabileceği anlamına gelmektedir. Ayrıca bu şekil, etkileşim etkilerinin üst katlarda daha belirgin olduğunu ve yer değiştirme büyüklüğü açısından en kritik yer hareketinin düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremi olduğunu göstermektedir.

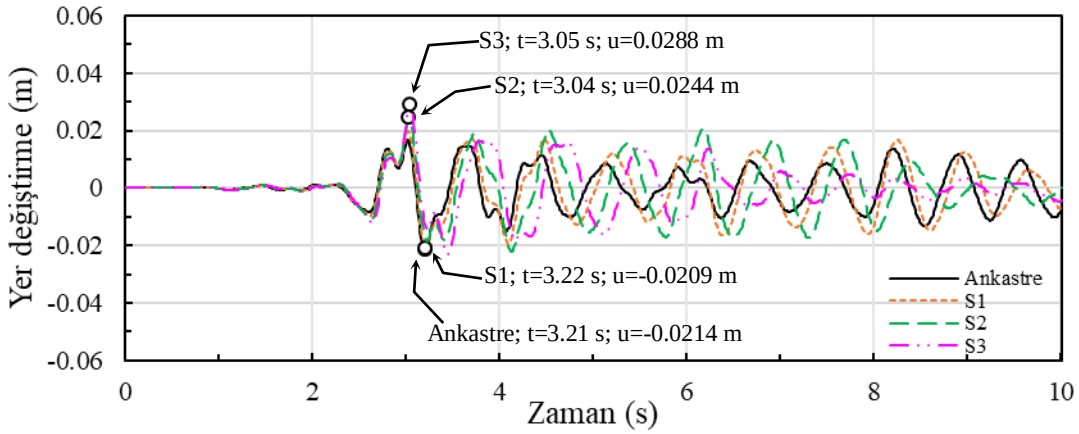
Şekil 40-45'te yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 40'ta Coalinga depreminde ankastre taban için maksimum yer değiştirme 0.0201 m iken; S1'de %6 artışla 0.0213 m, S2'de %7.5 artışla 0.0216 m ve S3'te %16.4 artışla 0.0234 m olarak elde edilmektedir. Şekil 42 incelendiğinde, Kobe depreminde ankastre koşullar altında 0.0804 m olan yer değiştirme değerinin S1'de %5.5 artışla 0.0848 m, S2'de %21.8 artışla 0.0979 m ve S3'te %42.3 artışla 0.1144 m olduğu görülmektedir. Şekil 44'te Erzincan depreminde ankastre taban için 0.1607 m olarak hesaplanan en büyük yer değiştirme değerinin S1'de %5.6 artışla 0.1697 m, S2'de %7 artışla 0.1719 m ve S3'te %0.4 artışla 0.1613 m olarak elde edildiği görülmektedir. Benzer şekilde, Şekil 45'te görüldüğü üzere, Pazarcık depreminde ankastre taban koşullarında maksimum yer değiştirme 0,1815 m iken, bu tepki S3 koşullarında %73 oranında artmaktadır.



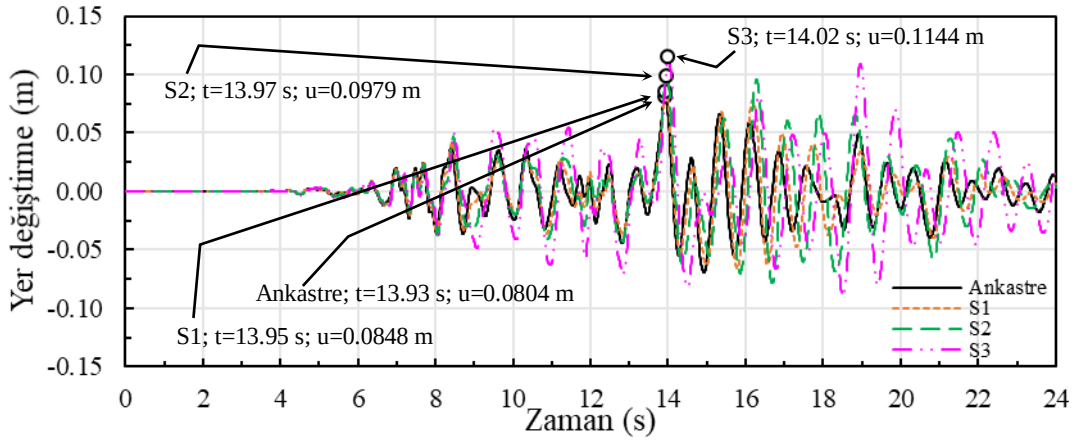
Şekil 39. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi



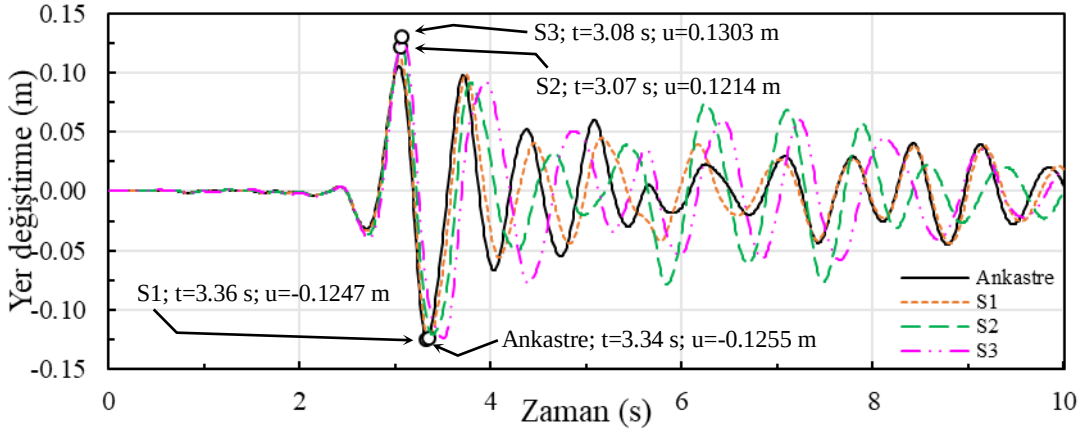
Şekil 40. 8 katlı yapıda Coalinga depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



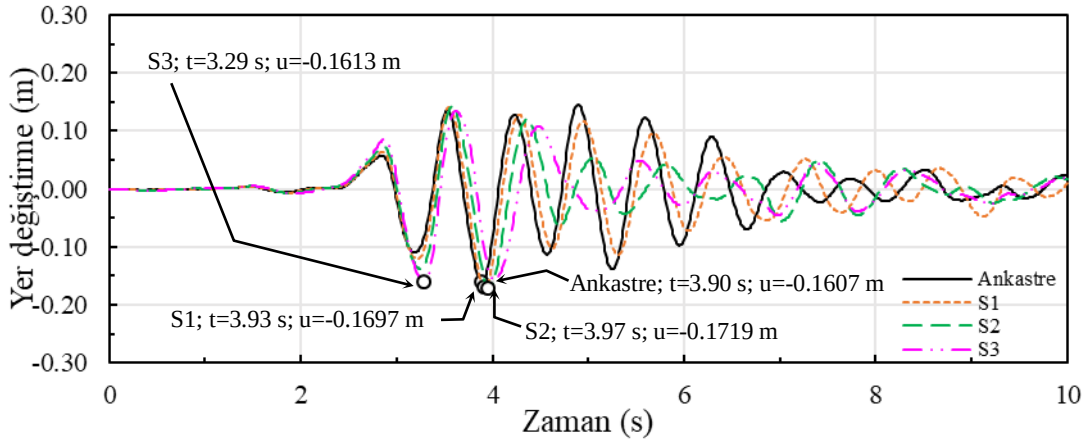
Şekil 41. 8 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



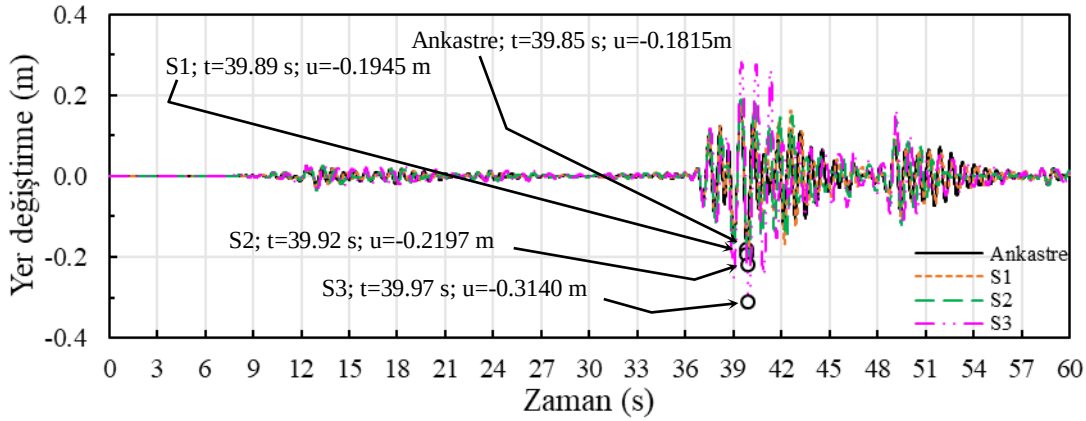
Şekil 42. 8 katlı yapıda Kobe depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 43. 8 katlı yapıda Parkfield depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 44. 8 katlı yapıda Erzincan depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi

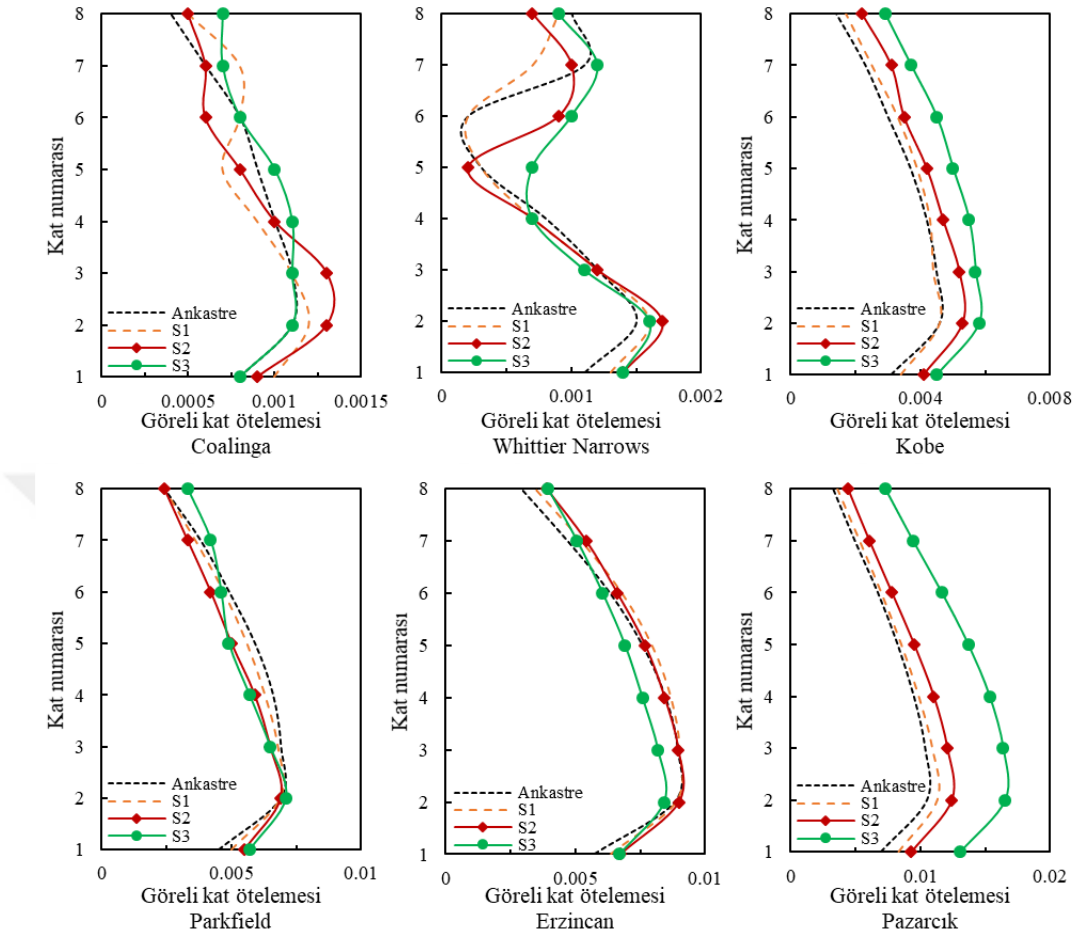


Şekil 45. 8 katlı yapıda Pazarcık depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi

2.5.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 46'da verilmektedir. Ötelemeler açısından en kritik değerlerin genellikle 2. kat seviyesinde meydana geldiği görülmektedir. Coalinga depreminde ankastre taban koşullarında 0.0011 olan en büyük göreli kat ötelemesi, S1'de %9.1 artışla 0.0012, S2'de %18.2 artışla 0.0013 ve S3'te yine 0.0011 olarak elde edilmektedir. Whittier Narrows depreminde ankastre koşullarda en büyük göreli kat ötelemesi 0.0015 iken; S1'de %6.7 artışla 0.0016, S2'de %13.3 artışla 0.0017 ve S3'te yine %6.7 artışla 0.0016 olmaktadır. Kobe depreminde ankastre taban şartlarında 0.0046 olan en büyük göreli kat ötelemesi, S1'de aynı değer olarak elde edilmekte fakat S2'de %15.2 artışla 0.0053 ve S3'te %26.1 artışla 0.0058 değerine ulaşmaktadır. Parkfield depreminde ankastre, S1 ve S2 şartlarında 0.0069 olan en büyük göreli kat ötelemesi, S3'te %2.9 artışla 0.0071 olmaktadır. Erzincan depreminde ankastre, S1 ve S2 şartlarında en büyük göreli kat ötelemesi 0.0090 iken, S3'te %6.7 azalışla 0.0084 olarak elde edilmektedir. Pazarcık

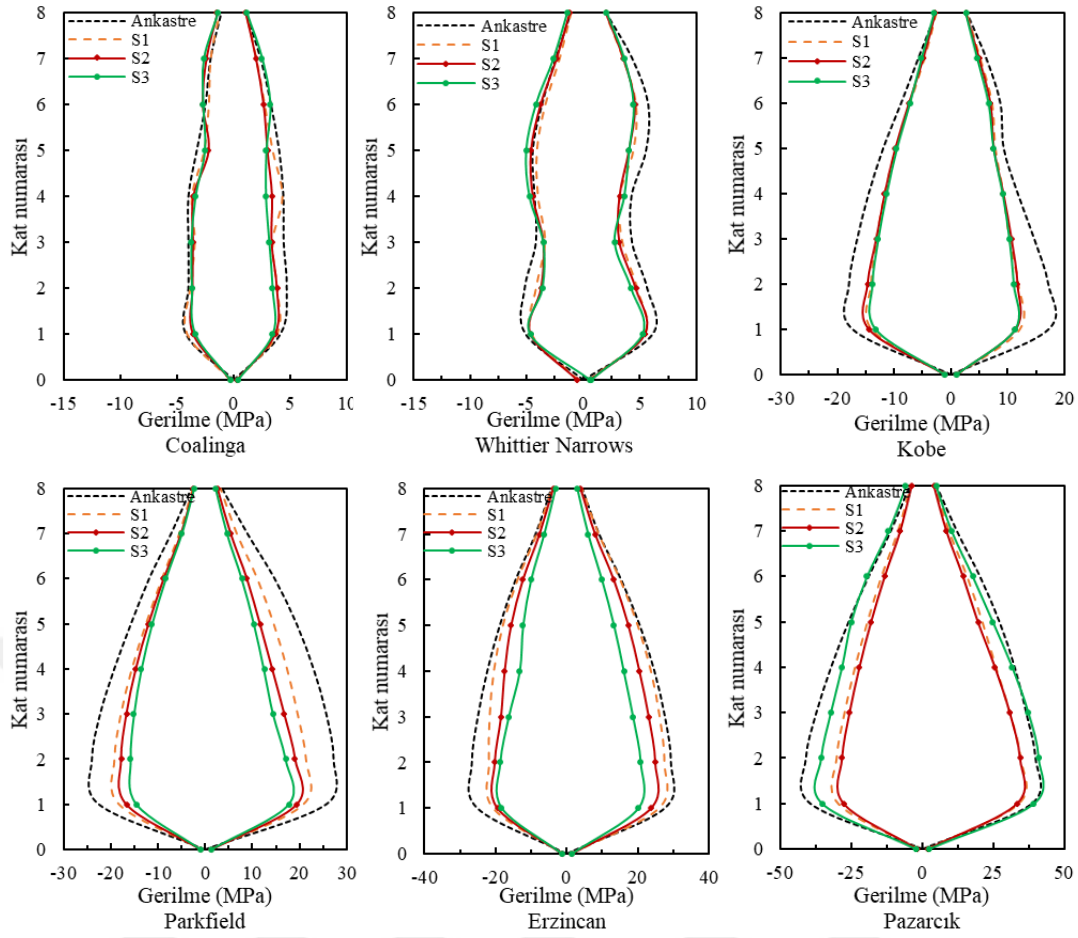
depreminde ankastre koşullarda 0.0105 olan en büyük göreli kat ötelemesi; S1'de %7.6 artışla 0.0113, S2'de %18.1 artışla 0.0124 ve S3'te %57.1 artışla 0.0165 olmaktadır.



Şekil 46. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi

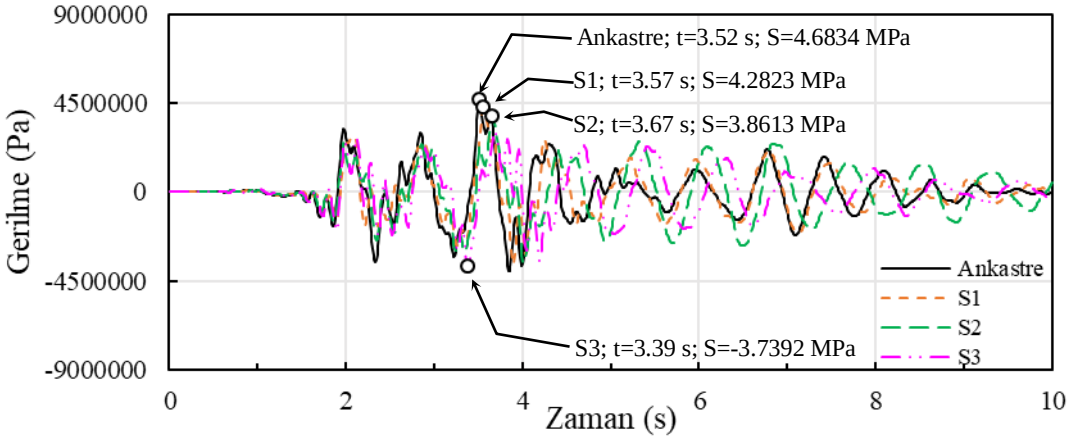
2.5.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 47'de verilmektedir. En yüksek gerilmeler genellikle birinci kat seviyelerinde gözlenmekte ve ankastre taban koşullarında meydana gelmektedir. Ayrıca gerilme büyüklüğü açısından en kritik deprem, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.

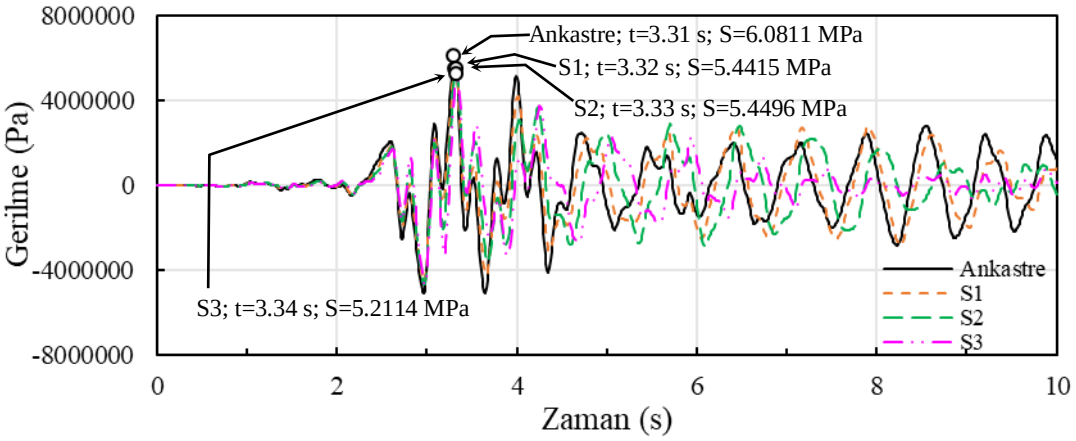


Şekil 47. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

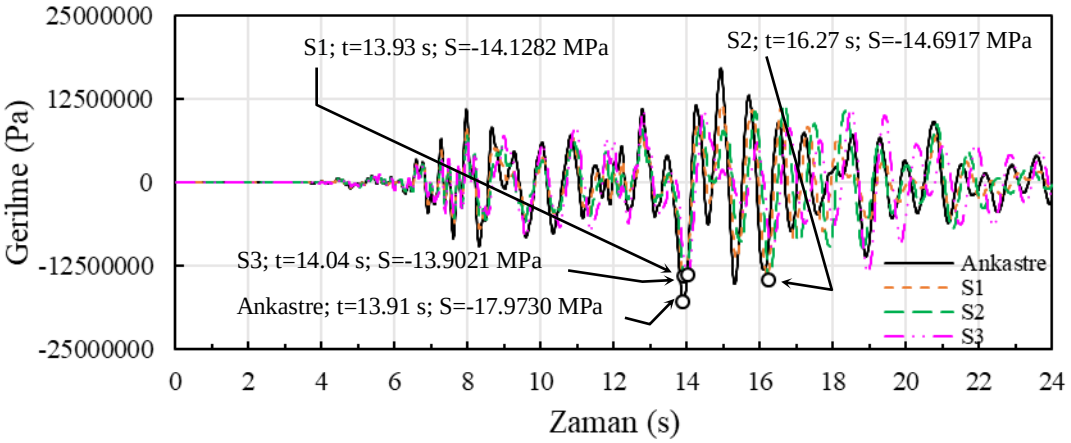
Şekil 48-53'te gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 48'de ankastre koşullarda en büyük gerilme çekme olarak 4.6834 MPa iken; S1'de %8.6 azalışla çekme olarak 4.2823 MPa, S2'de %17.6 azalışla çekme olarak 3.8613 MPa ve S3'te %20.2 azalışla basınç olarak 3.7392 MPa olmaktadır. Şekil 50'de ankastre taban için en büyük gerilme değeri basınç olarak 17.9730 MPa iken; S1'de %21.4 azalışla basınç olarak 14.1282 MPa, S2'de %18.3 azalışla basınç olarak 14.6917 MPa ve S3'te %22.7 azalışla basınç olarak 13.9021 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 52'de ankastre durumda çekme olarak 29.4508 MPa hesaplanan gerilme; S1'de %6.6 azalışla çekme olarak 27.4970 MPa, S2'de %15.6 azalışla çekme olarak 24.8439 MPa ve S3'te %29.1 azalışla çekme olarak 20.8855 MPa olmaktadır. Benzer şekilde, Şekil 53'te ankastre taban koşulu altında maksimum gerilmenin 41.0152 MPa olduğu ve bu tepkinin S2'de yaklaşık %16 oranında azaldığı görülmektedir.



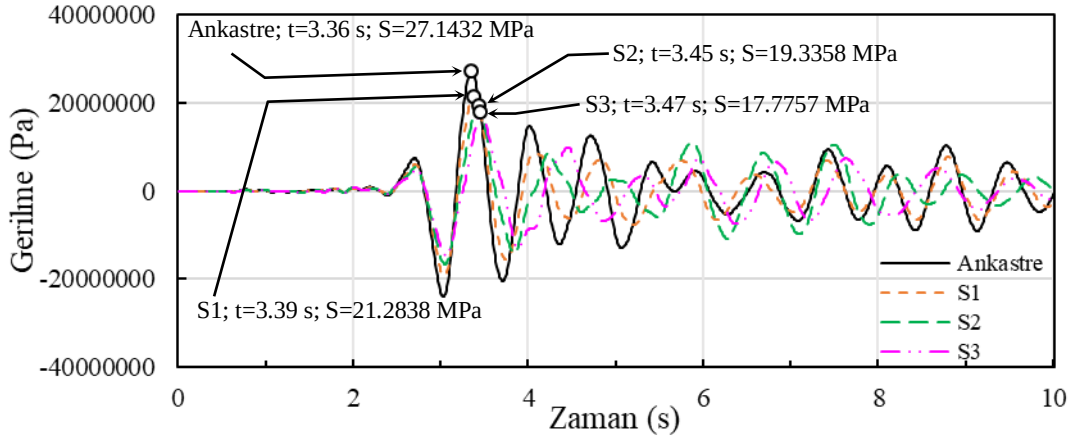
Şekil 48. 8 katlı yapıda Coalinga depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



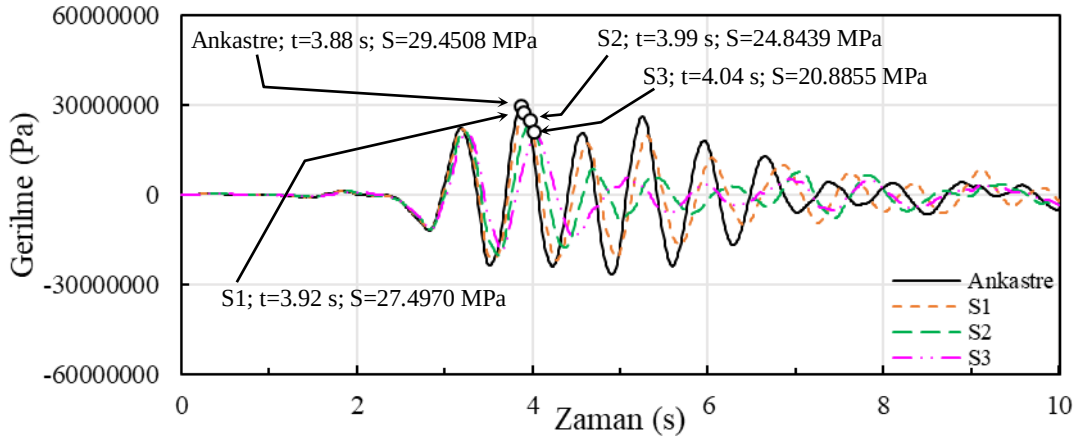
Şekil 49. 8 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



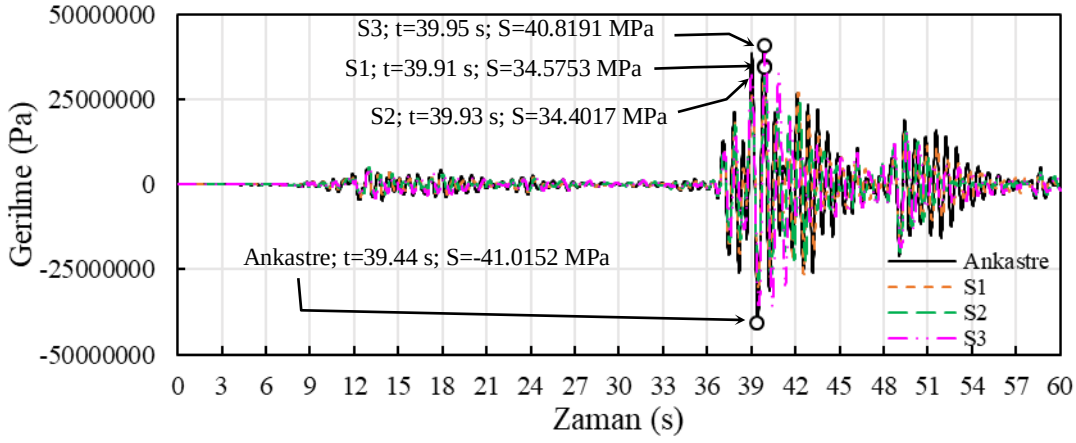
Şekil 50. 8 katlı yapıda Kobe depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 51. 8 katlı yapıda Parkfield depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 52. 8 katlı yapıda Erzincan depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi

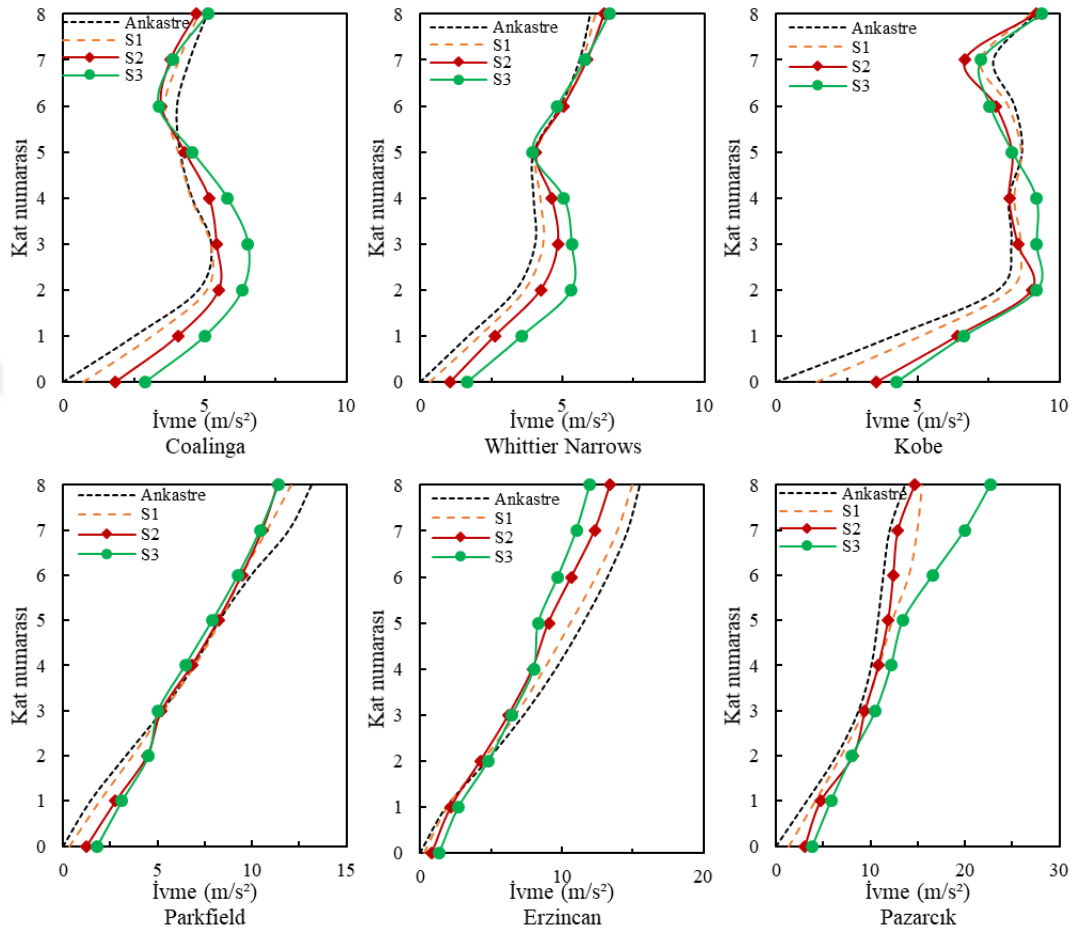


Şekil 53. 8 katlı yapıda Pazarcık depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi

2.5.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 54'te verilmektedir. İvmelerin farklı kat seviyelerinde maksimum değerlere ulaşabileceği görülmektedir. Coalinga depreminde maksimum ivmeler zemin koşullarına bağlı olarak

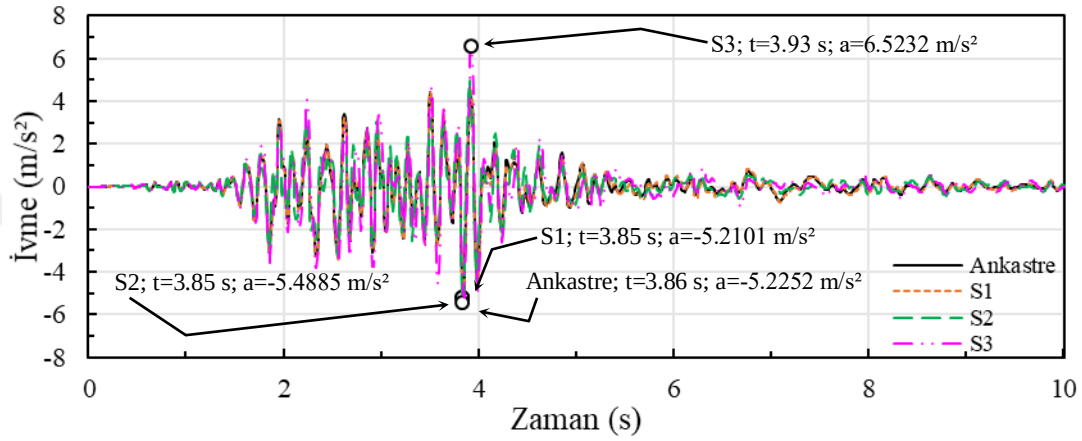
ikinci ve üçüncü kat seviyelerinde, diğer depremlerde ise son kat seviyesinde meydana gelmektedir. Coalinga, Whittier Narrows, Kobe ve Pazarcık depremlerinde maksimum ivmeler S3 zemininde meydana gelirken, Parkfield ve Erzincan depremlerinde ankastre taban koşulları altında gözlenmektedir.



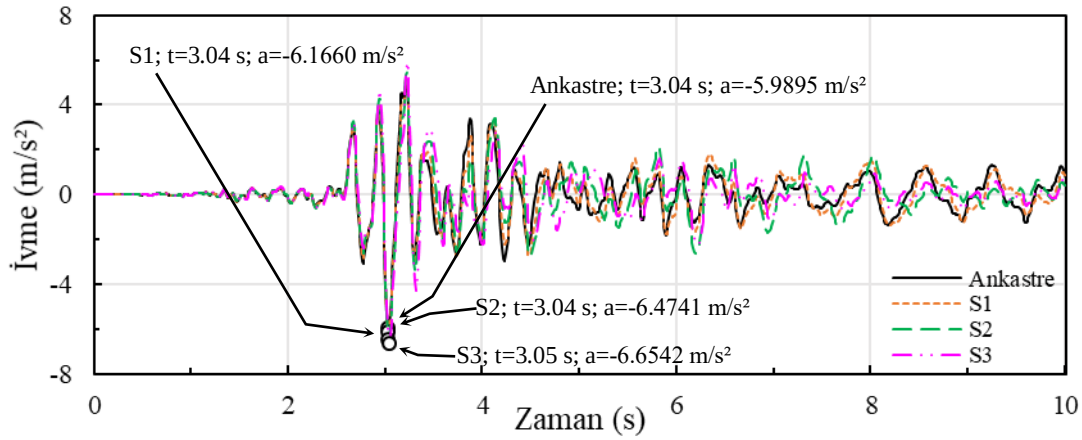
Şekil 54. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

İvmelerin zamana bağlı değişimleri Şekil 55-60'da verilmektedir. Şekil 55'te ankastre koşullarda ivme 5.2252 m/s^2 iken; S1'de %0.3 azalışla 5.2101 m/s^2, S2'de %5 artışla 5.4885 m/s^2 ve S3'te %24.8 artışla 6.5232 m/s^2 olmaktadır. Şekil 56'da ankastre koşullarda ivme 5.9895 m/s^2 iken; S1'de %3 artışla 6.1660 m/s^2, S2'de %8.1 artışla 6.4741 m/s^2 ve S3'te %11.1 artışla 6.6542 m/s^2 değerleri elde edilmektedir. Şekil 57'de ankastre koşullarda ivme 9.1418 m/s^2 iken; S1'de %1.8 azalışla 8.9800 m/s^2, S2'de %0.3 artışla 9.1702 m/s^2 ve S3'te %2.4 artışla 9.3633 m/s^2 olmaktadır. Şekil 58'de ankastre taban için ivme 13.1550 m/s^2 iken; S1 için %8.2 azalışla 12.0730 m/s^2, S2 için %13.6 azalışla 11.3610 m/s^2 ve S3 için %13.2 azalışla 11.4220 m/s^2 olarak elde edilmektedir. Şekil 59'da ankastre taban için ivme 15.5340 m/s^2 iken; S1 için %3.5 azalışla 14.9880 m/s^2, S2 için %13.7 azalışla 13.4130 m/s^2 ve S3 için %22.8 azalışla

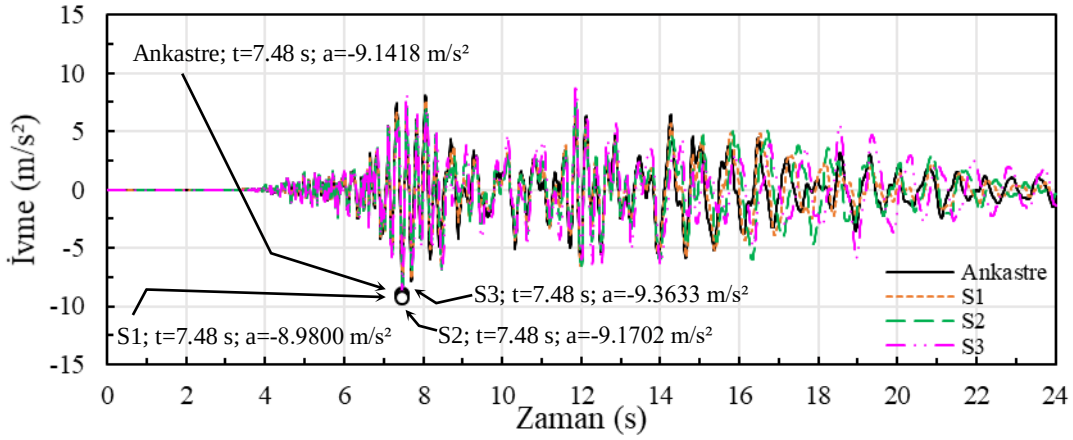
11.9960 m/s^2 seviyesinde gerçekleşmektedir. Şekil 60'ta ankastre taban için ivme 13.6700 m/s^2 iken; S1 için %13.3 artışla 15.4890 m/s^2, S2 için %7.4 artışla 14.6810 m/s^2 ve S3 için %65.9 artışla 22.6820 m/s^2 değeri elde edilmektedir. Bu karşılaştırmalar, frekans içeriğine bağlı olarak etkileşimin bazı deprem kayıtlarında ivme tepkisini artırabileceğini, bazılarında ise azaltabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca ivme tepkisinin büyüklüğü, frekans içeriği parametresinden önemli ölçüde etkilenmektedir.



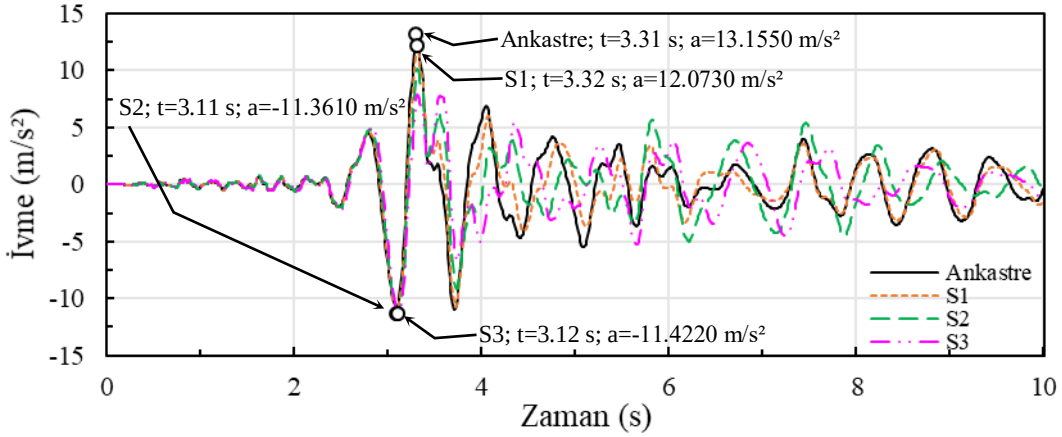
Şekil 55. 8 katlı yapıda Coalinga depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



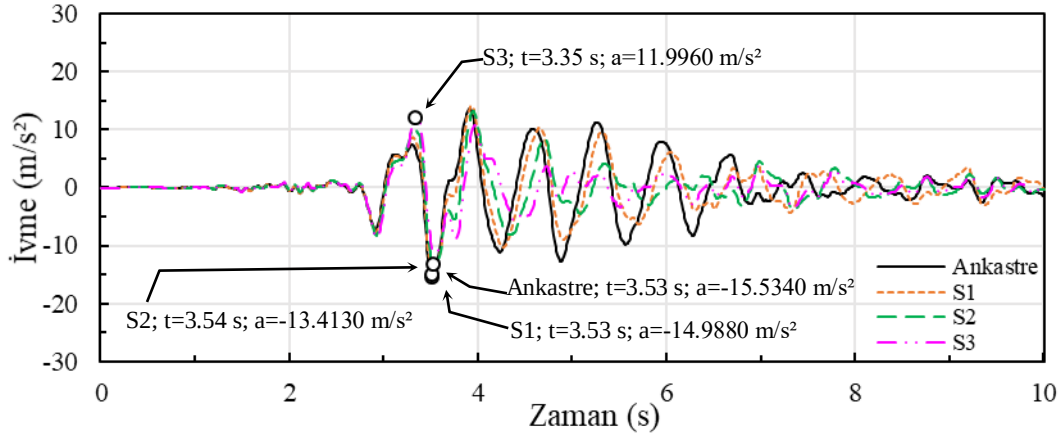
Şekil 56. 8 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



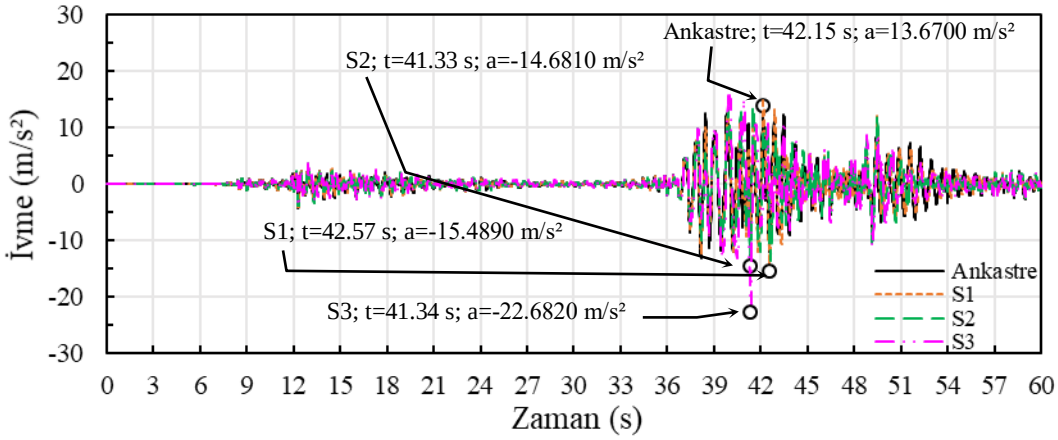
Şekil 57. 8 katlı yapıda Kobe depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 58. 8 katlı yapıda Parkfield depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 59. 8 katlı yapıda Erzincan depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 60. 8 katlı yapıda Pazarcık depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi

2.5.3. 12 Katlı Yapının Analizi

12 katlı yapının dinamik analizi sonucu elde edilen rölatif yatay yer değiştirme değerleri Tablo 62-67'de, göreli kat öteleme değerleri Tablo 68-73'te, gerilme değerleri Tablo 74-79'da ve ivme değerleri Tablo 80-85'te verilmektedir.

Tablo 62. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
12	2.11	-0.0184	2.69	0.0188	2.12	-0.0187	2.13	-0.0185
11	2.11	-0.0169	2.69	0.0175	2.70	0.0170	2.13	-0.0164
10	2.68	0.0151	2.69	0.0157	2.70	0.0151	2.12	-0.0137
9	2.69	0.0130	2.69	0.0135	2.70	0.0129	2.11	-0.0111
8	2.07	-0.0112	2.71	0.0115	2.74	0.0111	2.28	-0.0112
7	2.72	0.0097	2.73	0.0102	2.27	-0.0107	2.28	-0.0121
6	2.27	-0.0086	2.73	-0.0095	2.27	-0.0110	2.28	-0.0125
5	2.27	-0.0084	2.27	-0.0092	2.27	-0.0105	2.28	-0.0120
4	2.27	-0.0073	2.27	-0.0079	2.27	-0.0090	2.28	-0.0103
3	2.27	-0.0054	2.27	-0.0059	2.27	-0.0068	2.27	-0.0077
2	3.58	0.0033	2.26	-0.0036	2.26	-0.0041	2.27	-0.0048
1	3.58	0.0013	2.25	-0.0014	3.98	0.0018	3.8	-0.0020

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), u: En büyük yatay yer değiştirme (m)

Tablo 63. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
12	3.07	0.2450	3.07	0.0254	3.09	0.0263	3.17	0.0262
11	3.06	0.0239	3.07	0.0245	3.08	0.0249	3.08	0.0242
10	3.05	0.0234	3.05	0.0238	3.06	0.0238	3.07	0.0229
9	3.04	0.0233	3.04	0.0237	3.04	0.0235	3.05	0.0225
8	3.03	0.0233	3.03	0.0235	3.04	0.0234	3.05	0.0225
7	3.03	0.0226	3.03	0.0229	3.04	0.0228	3.04	0.0221
6	3.03	0.0210	3.03	0.0214	3.03	0.0214	3.04	0.0208
5	3.02	0.0185	3.03	0.0188	3.03	0.0190	3.04	0.0186

Tablo 63. (Devamı)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.02	0.0151	3.02	0.0155	3.03	0.0156	3.04	0.0154
3	3.02	0.0110	3.02	0.0114	3.02	0.0116	3.03	0.0116
2	3.48	-0.0069	3.01	0.0070	3.02	0.0072	3.02	0.0073
1	3.48	-0.0027	3.48	-0.0029	3.01	0.0030	3.02	0.0031

Tablo 64. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
12	13.96	0.1168	14.01	0.1723	20.92	-0.2175	19.3	0.2597
11	13.95	0.1134	14.01	0.1650	20.92	-0.2075	19.3	0.2462
10	13.93	0.1097	14.00	0.1553	20.92	-0.1953	19.3	0.2307
9	13.91	0.1053	13.99	0.1439	20.92	-0.1810	19.3	0.2131
8	13.91	0.0997	13.98	0.1314	20.92	-0.1646	14.82	-0.1951
7	13.90	0.0923	13.96	0.1182	20.92	-0.1464	14.82	-0.1757
6	13.90	0.0830	13.95	0.1038	20.92	-0.1267	14.81	-0.1545
5	13.89	0.0716	13.94	0.0880	20.92	-0.1057	14.81	-0.1313
4	13.89	0.0583	13.93	0.0707	20.92	-0.0839	14.80	-0.1063
3	13.88	0.0431	13.92	0.0521	20.91	-0.0614	14.80	-0.0797
2	13.88	0.0267	13.92	0.0327	20.91	-0.0389	14.80	-0.0519
1	13.88	0.0103	13.92	0.0136	20.91	-0.0173	14.80	-0.0244

Tablo 65. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
12	4.17	0.1519	5.90	-0.1905	6.03	-0.2212	5.62	0.1837
11	4.17	0.1451	5.90	-0.1828	6.03	-0.2110	5.62	0.1737
10	4.17	0.1355	5.90	-0.1728	6.03	-0.1987	5.62	0.1620
9	4.16	0.1236	5.89	-0.1604	6.03	-0.1841	5.62	0.1486
8	5.82	-0.1128	5.89	-0.1461	6.04	-0.1675	5.62	0.1338
7	3.57	-0.1021	5.89	-0.1299	6.04	-0.1490	4.40	0.1187
6	3.56	-0.0911	5.88	-0.1122	6.04	-0.1289	4.40	0.1058
5	3.55	-0.0781	5.88	-0.0933	6.04	-0.1075	4.40	0.0908
4	3.55	-0.0631	5.88	-0.0736	6.05	-0.0851	4.40	0.0740
3	3.54	-0.0463	5.88	-0.0533	6.04	-0.0622	4.40	0.0557
2	3.54	-0.0283	5.88	-0.0330	6.04	-0.0393	4.40	0.0362
1	3.53	-0.0107	5.88	-0.0137	6.04	-0.0175	4.40	0.0168

Tablo 66. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
12	3.34	-0.2058	3.36	-0.2200	3.39	-0.2407	3.43	-0.2514
11	3.34	-0.1993	3.36	-0.2120	3.39	-0.2298	3.43	-0.2376
10	3.34	-0.1903	3.35	-0.2016	3.39	-0.2166	3.42	-0.2217
9	3.34	-0.1789	3.35	-0.1889	3.38	-0.2012	3.42	-0.2035
8	3.33	-0.1651	3.35	-0.1739	3.38	-0.1836	3.41	-0.1837
7	3.33	-0.1488	3.35	-0.1563	3.37	-0.1639	3.40	-0.1624
6	3.33	-0.1301	3.34	-0.1365	3.37	-0.1424	3.39	-0.1398
5	3.33	-0.1091	3.34	-0.1148	3.36	-0.1193	3.39	-0.1163
4	3.32	-0.0862	3.34	-0.0911	3.36	-0.0947	3.38	-0.0922
3	3.32	-0.0621	3.33	-0.0663	3.35	-0.0693	3.37	-0.0677

Tablo 66. (Devamı)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
2	3.32	-0.0373	3.33	-0.0410	3.35	-0.0436	3.37	-0.0433
1	3.32	-0.0140	3.33	-0.0168	3.35	-0.0192	3.37	-0.0201

Tablo 67. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u
12	40.15	-0.4851	40.22	-0.4858	39.76	0.4571	39.81	0.4142
11	40.15	-0.4686	40.22	-0.4663	39.76	0.4347	39.81	0.3912
10	40.15	-0.4460	40.21	-0.4410	39.76	0.4070	39.81	0.3643
9	40.15	-0.4168	40.21	-0.4100	39.75	0.3745	39.82	0.3337
8	40.15	-0.3812	40.21	-0.3735	39.75	0.3379	39.82	0.3003
7	40.15	-0.3400	40.21	-0.3323	39.75	0.2979	39.83	0.2646
6	40.15	-0.2938	40.21	-0.2870	40.32	-0.2565	39.83	0.2275
5	40.15	-0.2438	40.21	-0.2383	40.32	-0.2139	39.83	0.1892
4	40.15	-0.1909	40.21	-0.1873	40.32	-0.1695	39.83	0.1501
3	40.14	-0.1365	40.20	-0.1352	40.32	-0.1241	39.83	0.1107
2	40.14	-0.0820	40.21	-0.0833	40.31	-0.0786	39.83	0.0714
1	40.14	-0.0308	40.21	-0.0344	40.31	-0.0350	39.82	0.0338

Tablo 68. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
12	0.0005	0.0004	0.0006	0.0007
11	0.0006	0.0006	0.0007	0.0009
10	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007
9	0.0006	0.0006	0.0004	0.0000
8	0.0005	0.0004	0.0002	0.0003
7	0.0004	0.0002	0.0001	0.0002
6	0.0001	0.0001	0.0002	0.0002
5	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006
4	0.0006	0.0007	0.0008	0.0009
3	0.0007	0.0008	0.0008	0.0007
2	0.0007	0.0007	0.0006	0.0006
1	0.0004	0.0004	0.0005	0.0004

δ: Göreli kat ötelemesi

Tablo 69. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
12	0.0002	0.0003	0.0005	0.0008
11	0.0002	0.0002	0.0004	0.0009
10	0.0000	0.0001	0.0001	0.0001
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
8	0.0002	0.0002	0.0002	0.0001
7	0.0005	0.0005	0.0005	0.0004
6	0.0008	0.0008	0.0008	0.0007
5	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010
4	0.0014	0.0014	0.0013	0.0012
3	0.0014	0.0014	0.0014	0.0013

Tablo 69. (Devamı)

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
2	0.0014	0.0013	0.0013	0.0012
1	0.0009	0.0009	0.0009	0.0008

Tablo 70. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
12	0.0011	0.0025	0.0033	0.0045
11	0.0013	0.0032	0.0041	0.0052
10	0.0015	0.0038	0.0048	0.0058
9	0.0019	0.0042	0.0055	0.0058
8	0.0024	0.0044	0.0061	0.0064
7	0.0031	0.0048	0.0066	0.0071
6	0.0038	0.0053	0.0070	0.0077
5	0.0045	0.0058	0.0073	0.0083
4	0.0051	0.0062	0.0075	0.0089
3	0.0055	0.0065	0.0075	0.0092
2	0.0055	0.0064	0.0072	0.0092
1	0.0034	0.0043	0.0052	0.0070

Tablo 71. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
12	0.0023	0.0026	0.0034	0.0033
11	0.0032	0.0033	0.0041	0.0039
10	0.0040	0.0041	0.0049	0.0045
9	0.0036	0.0048	0.0055	0.0050
8	0.0036	0.0054	0.0062	0.0044
7	0.0037	0.0059	0.0067	0.0043
6	0.0043	0.0063	0.0071	0.0050
5	0.0050	0.0066	0.0075	0.0056
4	0.0056	0.0068	0.0076	0.0061
3	0.0060	0.0068	0.0076	0.0065
2	0.0059	0.0064	0.0073	0.0065
1	0.0036	0.0043	0.0052	0.0049

Tablo 72. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
12	0.0022	0.0027	0.0036	0.0046
11	0.0030	0.0034	0.0044	0.0053
10	0.0038	0.0042	0.0051	0.0060
9	0.0046	0.0050	0.0059	0.0066
8	0.0054	0.0058	0.0065	0.0070
7	0.0062	0.0066	0.0072	0.0074
6	0.0070	0.0073	0.0077	0.0078
5	0.0076	0.0079	0.0082	0.0080
4	0.0080	0.0083	0.0084	0.0081
3	0.0082	0.0084	0.0086	0.0081
2	0.0078	0.0080	0.0081	0.0074
1	0.0047	0.0053	0.0057	0.0053

Tablo 73. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ
12	0.0055	0.0065	0.0075	0.0077
11	0.0075	0.0084	0.0092	0.0090
10	0.0097	0.0103	0.0109	0.0102
9	0.0118	0.0121	0.0122	0.0112
8	0.0138	0.0137	0.0133	0.0119
7	0.0154	0.0151	0.0137	0.0125
6	0.0167	0.0162	0.0142	0.0128
5	0.0176	0.0170	0.0148	0.0130
4	0.0181	0.0174	0.0151	0.0132
3	0.0182	0.0173	0.0151	0.0130
2	0.0171	0.0163	0.0145	0.0124
1	0.0103	0.0109	0.0104	0.0094

Tablo 74. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
12	4.17	-0.9839	4.17	-1.0303	4.18	-1.2055	4.19	-1.4373
11	2.13	2.0161	4.17	-2.0730	4.18	-2.0296	4.19	-2.3871
10	2.13	2.8303	2.13	2.8067	4.18	-2.4213	4.19	-3.2672
9	2.13	3.0453	2.13	2.9872	2.14	2.4769	3.64	2.6687
8	3.45	-2.7611	2.14	2.6529	3.63	2.3715	3.64	3.3248
7	4.01	2.8113	4.02	2.6199	4.02	2.1777	4.03	2.7802
6	3.99	2.6916	4.00	2.3830	2.06	1.9166	4.01	2.7629
5	3.97	2.6999	2.75	-2.4969	2.76	-2.4713	3.99	2.1592
4	3.96	2.5320	2.73	-2.4163	2.29	2.1638	2.30	2.7549
3	2.27	2.9924	2.28	3.1239	2.28	2.9105	2.29	3.1309
2	2.27	3.1961	2.27	3.3221	2.27	3.0271	2.28	3.7871
1	3.58	-2.7653	2.26	2.7170	3.99	-2.9588	4.00	-3.4355

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), S: En büyük gerilme (MPa)

Tablo 75. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
12	3.65	0.9626	3.66	0.9902	3.67	1.0257	3.01	1.0515
11	3.65	2.1951	3.66	1.8846	3.67	1.9321	3.18	-1.8457
10	3.16	-3.3414	3.16	-2.8637	3.16	-2.9315	3.17	-2.8703
9	3.15	-4.1523	3.15	-3.5592	3.15	-3.6551	3.16	-3.7075
8	3.15	-4.4386	3.14	-3.7881	3.14	-3.8803	3.15	-4.0171
7	3.14	-4.0832	3.13	-3.4506	3.13	-3.4591	3.14	-3.5234
6	3.59	3.5152	3.60	2.8942	3.11	-2.6555	3.12	-2.4853
5	3.05	-4.1489	3.06	-3.3098	3.06	-3.0049	3.07	-2.5450
4	3.04	-5.4144	3.04	-4.3756	3.05	-4.0717	3.05	-3.6065
3	3.04	-6.2079	3.03	-5.0299	3.04	-4.7355	3.04	-4.3084
2	3.02	-6.3234	3.02	-5.1408	3.03	-4.8247	3.03	-4.5111
1	3.48	5.7191	3.48	4.5124	3.01	-4.2076	3.02	-4.0266

Tablo 76. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
12	12.23	1.9926	14.05	-2.3308	14.06	-2.0087	14.07	-2.2707
11	12.23	4.9079	14.05	-4.7901	14.06	-4.0760	14.07	-4.6296
10	12.23	8.1946	14.05	-7.9877	14.06	-6.6770	14.07	-7.6355
9	12.24	11.0027	14.05	-10.6657	20.92	9.0150	14.07	-10.0993
8	12.24	13.1068	14.04	-12.6868	20.92	11.5294	14.93	12.1699
7	12.24	14.3688	14.04	-14.1416	20.92	13.8238	14.92	13.7767
6	12.24	14.7585	14.03	-15.1668	20.92	15.8642	19.30	-15.2039
5	13.93	-15.8895	13.98	-16.4058	20.92	17.6213	19.30	-17.0868
4	13.91	-18.8490	13.95	-18.3279	20.92	19.0686	14.80	19.3356
3	13.90	-21.5399	13.93	-20.1617	20.92	20.1535	14.80	21.6522
2	13.89	-23.3868	13.92	-21.3670	20.91	20.6430	14.80	23.2693
1	13.88	-21.8242	13.91	-19.8980	20.91	18.7540	14.80	21.8782

Tablo 77. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
12	3.68	2.6833	3.69	2.7108	3.69	2.7087	3.70	2.5920
11	3.68	6.4406	3.69	5.4567	3.69	5.4119	3.70	5.1081
10	3.68	10.3788	3.69	8.8330	3.69	8.6697	3.70	8.0235
9	4.19	-13.8069	4.20	-11.7338	3.69	11.0790	3.71	10.0454
8	4.19	-16.4888	4.20	-13.9891	3.69	12.4640	3.71	11.0410
7	4.18	-18.2805	4.20	-15.4190	6.62	-14.2399	3.71	11.1180
6	4.18	-19.1792	5.90	16.7486	6.03	16.2506	5.63	-11.7019
5	4.17	-19.3687	5.89	18.4215	6.04	18.0716	5.63	-12.5345
4	3.57	21.1703	5.88	19.8258	6.04	19.5297	4.39	-13.6471
3	3.55	23.8373	5.88	20.9133	6.04	20.5629	3.85	15.6741
2	3.54	25.3693	5.87	21.4274	6.04	20.9525	3.85	17.0872
1	3.55	23.0530	5.87	19.4909	6.04	18.9113	4.40	-15.9092

Tablo 78. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
12	4.93	-3.0214	4.95	-3.1154	3.48	2.7657	3.49	2.7848
11	4.93	-6.1802	4.94	-6.3904	3.48	5.6453	3.49	5.6588
10	4.93	-10.2462	4.94	-10.623	3.47	9.3742	3.49	9.2899
9	4.92	-13.6418	4.94	-14.1159	3.46	12.5252	3.48	12.2671
8	4.91	-16.1947	4.94	-16.6407	3.45	15.0759	3.47	14.4330
7	4.90	-18.1045	4.93	-18.3413	3.44	17.1544	3.46	15.9435
6	3.37	20.1683	3.39	19.8323	3.42	18.9635	3.44	16.9811
5	3.35	23.0438	3.37	22.2956	3.40	20.6068	3.42	17.7459
4	3.34	25.6351	3.35	24.5584	3.38	22.1818	3.40	18.4837
3	3.33	27.6424	3.34	26.3498	3.36	23.5051	3.38	19.1956
2	3.32	28.4377	3.33	27.0939	3.35	23.9865	3.36	19.3748
1	3.32	25.4326	3.33	24.4525	3.34	21.4708	3.59	17.2631

Tablo 79. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
12	40.65	-5.6047	41.80	-5.1979	39.77	-4.4424	41.62	3.6761
11	40.65	-14.0711	41.80	-10.9220	39.77	-9.2706	39.78	-7.4541

Tablo 79. (Devamı)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S
10	40.65	-24.1455	41.80	-18.7494	39.77	-15.8013	39.78	-12.4891
9	40.66	-33.4570	41.81	-25.8053	39.77	-21.6380	39.79	-16.8378
8	40.65	-41.6525	39.72	-31.9088	39.76	-26.6275	39.79	-20.3841
7	40.16	49.4068	39.71	-37.8056	39.76	-30.8149	39.79	-23.1685
6	40.16	57.0405	39.70	-42.9776	39.75	-34.2143	39.79	-25.2156
5	40.16	63.4805	40.21	47.5706	39.74	-36.8772	39.80	-26.5782
4	40.15	68.7181	40.20	51.2028	39.74	-38.8100	39.86	-28.5734
3	40.15	72.6403	40.20	53.6627	40.33	40.7576	39.86	-29.8575
2	40.14	74.1364	40.20	54.3887	40.32	41.5679	39.85	-30.0324
1	40.14	66.3230	40.20	48.9961	40.31	37.6754	39.83	-26.7373

Tablo 80. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
12	3.95	4.5173	3.95	4.3665	2.69	-4.3789	2.69	-4.5645
11	3.94	4.2996	3.94	4.1420	2.69	-3.9190	2.69	-4.0003
10	3.94	4.1327	3.94	4.0192	3.85	-3.9042	3.85	-4.1666
9	3.94	3.8722	3.85	-3.8389	3.85	-4.1681	3.85	-4.5670
8	3.94	3.7231	3.94	3.5561	3.85	-3.6433	3.86	-3.9000
7	3.94	3.8922	3.94	3.7048	3.94	3.4407	3.94	3.3090
6	3.94	4.2628	3.94	4.1407	3.95	4.1281	4.04	-3.8762
5	3.94	4.3597	3.94	4.3614	3.94	4.6372	4.02	-4.6842
4	4.00	-4.5835	4.00	-4.8503	4.00	-5.5127	4.01	-5.9345
3	3.99	-4.4855	3.99	-4.8707	3.99	-4.7545	4.00	-6.9910
2	3.99	-3.4893	3.98	-3.9755	3.99	-4.7545	3.99	-6.8901
1	3.98	-1.6184	3.97	-2.1897	3.98	-3.0431	3.98	-5.3211

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), a: En büyük ivme (m/s^2)

Tablo 81. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
12	3.20	-3.5555	3.20	-3.7639	3.20	-4.1135	3.20	-4.1999
11	3.05	-3.0431	3.20	-2.9002	3.20	-3.1323	3.20	-3.1669
10	3.03	-3.4488	3.03	-3.3768	3.03	-3.2161	3.03	-3.1139
9	3.03	-4.2497	3.03	-4.2470	3.03	-4.2409	3.03	-4.4415
8	3.03	-5.0064	3.03	-5.0247	3.03	-5.0751	3.03	-5.2714
7	3.03	-5.6253	3.03	-5.6272	3.03	-5.6668	3.03	-5.6307
6	3.03	-5.9938	3.03	-5.9736	3.04	-6.0090	3.04	-5.9129
5	3.03	-5.9540	3.03	-5.9438	3.04	-5.9901	3.04	-6.0187
4	3.03	-5.3146	3.03	-5.3738	3.03	-5.4835	3.03	-5.6525
3	3.02	-4.1996	3.02	-4.3212	3.02	-4.5082	3.02	-4.9659
2	3.01	-2.7324	3.01	-2.9450	3.01	-3.2598	3.02	-4.0098
1	3.01	-1.1035	3.00	-1.3761	3.23	2.1481	3.01	-2.7854

Tablo 82. Kobe depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
12	12.21	7.7395	14.06	-7.9236	14.07	-6.9764	14.07	-8.0239
11	11.69	-7.3038	14.06	-7.0554	9.96	-6.0844	14.07	-6.9998
10	11.69	-6.8566	11.70	-5.8538	20.93	5.4324	14.07	-5.6707

Tablo 82. (Devamı)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
9	11.70	-6.4778	11.73	-5.7570	20.93	5.0711	16.17	5.2048
8	11.73	-6.2962	11.96	-6.3698	11.97	-6.1346	7.30	5.4623
7	7.31	6.4107	7.31	-7.2326	11.96	-7.1367	7.31	7.1303
6	7.31	7.2953	7.30	7.3729	7.31	7.6514	7.31	8.5279
5	7.30	7.5871	7.30	7.6707	7.30	7.8504	7.30	8.7254
4	7.30	6.7991	7.30	6.8860	7.30	7.0630	7.30	7.7596
3	7.29	5.2330	7.29	5.2818	7.29	5.4423	7.29	5.9927
2	6.63	-4.1953	6.63	-4.6515	6.63	-4.9569	6.63	-5.6603
1	6.95	2.1020	6.95	3.1612	6.63	-3.8242	6.63	-5.0378

Tablo 83. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
12	3.14	-10.5400	3.15	-10.3290	3.17	-10.0620	3.17	-9.7005
11	3.13	-10.0500	3.14	-9.7826	3.15	-9.3564	3.17	-8.9017
10	3.13	-9.4470	3.13	-9.1692	3.13	-8.6792	3.14	-8.1095
9	3.12	-8.7310	3.12	-8.4532	3.12	-7.9618	3.13	-7.4462
8	3.11	-7.8453	3.12	-7.5870	3.12	-7.1443	3.12	-6.6683
7	3.55	7.0178	3.55	6.6269	3.11	-6.1657	3.86	6.1096
6	3.54	7.5822	3.54	7.2852	3.54	6.9118	3.86	6.9473
5	3.54	7.4805	3.54	7.2935	3.54	7.0191	3.86	7.0063
4	3.54	6.6964	3.54	6.6337	3.54	6.2617	3.54	6.4167
3	3.54	5.2958	3.54	5.3877	3.54	5.0996	3.54	5.1306
2	3.53	3.4409	3.53	3.6120	3.54	3.7033	3.54	3.4649
1	3.53	1.3519	3.52	1.5834	3.41	-2.0696	3.27	-2.2851

Tablo 84. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
12	3.40	11.279	3.40	11.4290	3.40	11.2200	3.40	10.2220
11	3.40	11.253	3.40	11.3750	3.40	11.1170	3.40	10.0880
10	3.40	11.228	3.40	11.3500	3.40	11.0920	3.40	10.0720
9	3.39	11.161	3.39	11.2130	3.40	10.9740	3.40	10.0510
8	3.39	10.827	3.39	10.9290	3.39	10.6660	3.40	9.8514
7	3.38	10.148	3.39	10.2880	3.39	10.1380	3.39	9.5226
6	3.36	9.4839	3.36	9.4943	3.38	9.2759	3.39	8.8599
5	3.35	8.5819	3.35	8.6223	3.36	8.4633	3.36	8.1378
4	3.34	7.2982	3.34	7.3714	3.35	7.3131	3.35	7.1414
3	3.80	-5.7920	3.33	5.7219	3.34	5.7385	3.34	5.6809
2	3.80	-3.7524	3.80	-3.7808	3.33	3.8364	3.47	-4.2750
1	3.80	-1.4682	3.81	-1.6165	5.64	1.8561	3.46	-2.5990

Tablo 85. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda oluşan ivmeler (m/s^2)

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
12	41.21	20.4880	39.70	-19.3220	41.56	16.6670	41.62	16.1130
11	41.17	19.7720	39.70	-18.8150	39.74	-15.4770	41.62	14.5780
10	41.16	19.0310	39.70	-18.1500	39.70	-14.7480	41.62	12.4400
9	41.16	17.9290	39.69	-17.3510	39.70	-14.0300	40.42	11.9220
8	39.68	-16.7810	39.69	-16.1100	39.69	-13.0830	40.42	11.4920

Tablo 85. (Devamı)

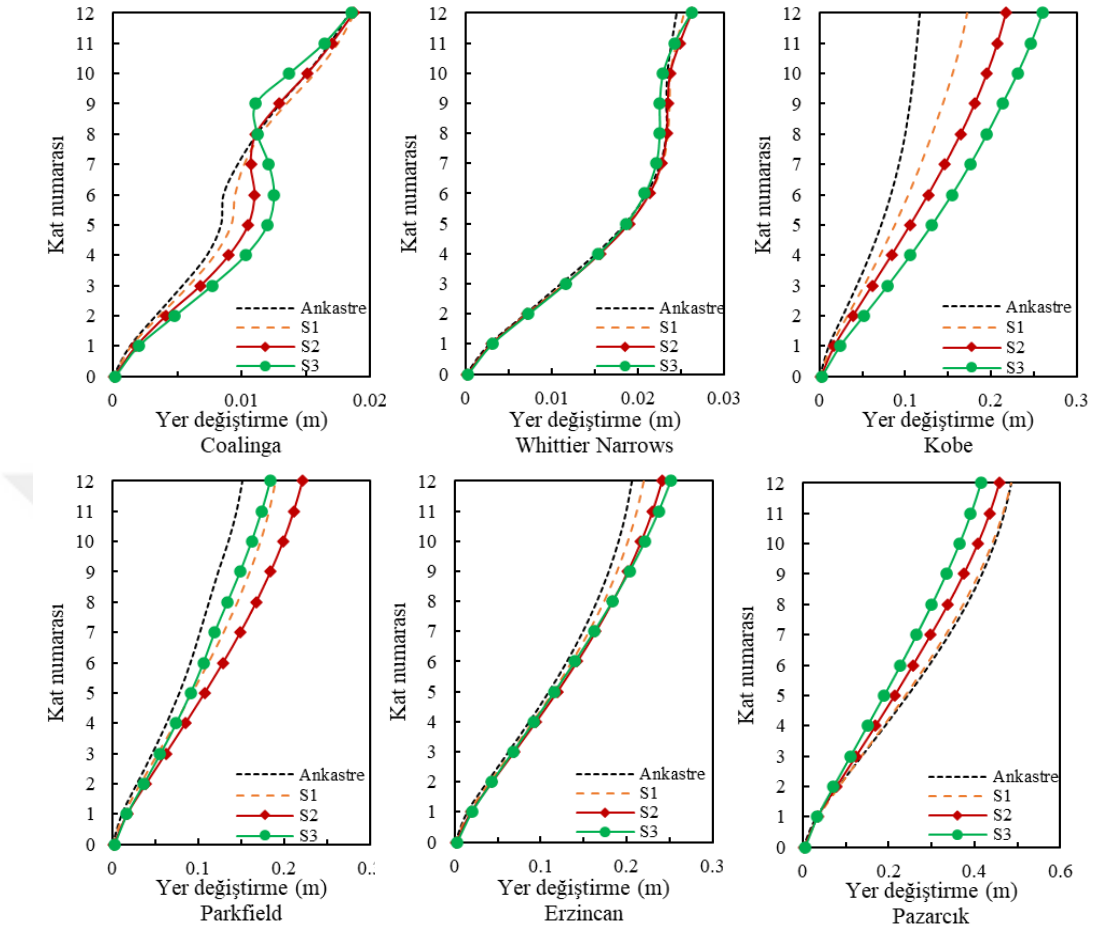
Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a
7	39.68	-15.0670	39.68	-14.4040	41.97	-13.2520	40.41	10.5930
6	39.65	-13.0270	42.46	13.4690	41.97	-13.3330	40.41	9.3350
5	41.15	10.7790	42.42	12.6330	41.97	-12.6750	41.97	-8.9661
4	39.59	-9.1359	42.41	11.3450	41.96	-11.2410	41.97	-8.6376
3	39.59	-7.4498	42.41	9.2549	41.96	-9.0014	41.96	-7.4106
2	43.38	5.2081	42.41	6.2909	41.96	-6.2197	49.42	-6.3050
1	49.33	2.3593	49.74	3.1311	42.69	4.7096	49.42	-5.2237

2.5.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

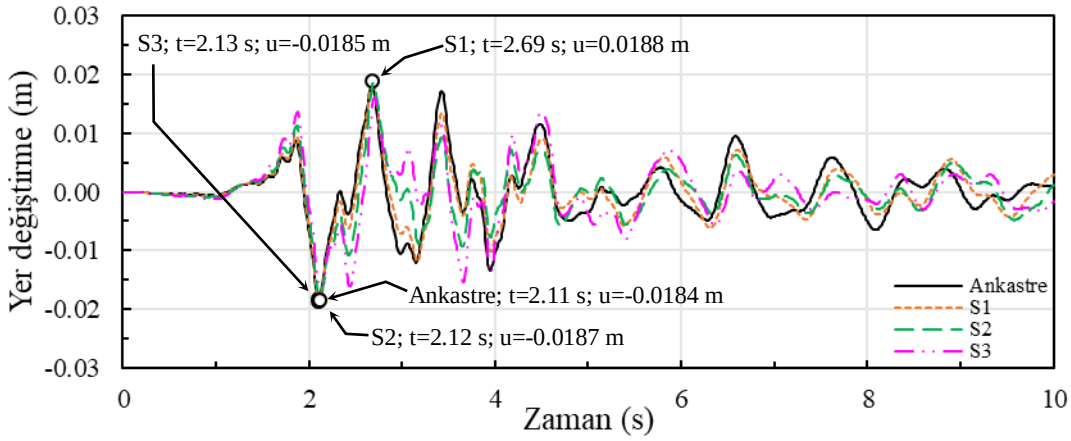
Maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 61'de verilmektedir. Yer değiştirmeler genellikle yapı yüksekliği boyunca artma eğiliminde olup tüm zemin koşullarında en üst katta maksimum değere ulaşmaktadır. Ayrıca deprem karakteristiklerine bağlı olarak maksimum yer değiştirmeler farklı zemin koşullarında ortaya çıkabilmektedir. Örneğin, Coalinga depreminde S1, Parkfield depreminde S2 ve Kobe depreminde S3 zemininde en üst katta maksimum değere ulaşılmaktadır. Bu durum, zemin özellikleri ile yer hareketi frekans karakteristikleri arasındaki karşılıklı etkileşime atfedilebilir. Ayrıca etkileşim etkileri, deprem yer hareketine bağlı olarak farklı kat seviyelerinde daha belirgin hale gelmektedir. Coalinga depreminde dördüncü ve yedinci katlar arasında hesaplanan yer değiştirmeler üzerinde etkileşim daha belirginken, diğer deprem kayıtlarında etkileşim üst katlarda daha belirgin bir hal almakta ve Whittier Narrows depreminde sapmalar küçük seyretmektedir. Yer değiştirmelerin büyüklüğü açısından da en kritik kayıt, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.

Şekil 62-67'de yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 62'de ankastre koşullarda 0.0184 m olan yer değiştirme değeri; S1'de %2.2 artışla 0.0188 m, S2'de %1.6 artışla 0.0187 m ve S3'te %0.5 artışla 0.0185 m olmaktadır. Şekil 63'te ankastre koşullarda 0.0245 m olan yer değiştirme değeri; S1'de %3.7 artışla 0.0254 m, S2'de %7.4 artışla 0.0263 m ve S3'te %6.9 artışla 0.0262 m olmaktadır. Şekil 64'te ankastre koşullarda 0.1168 m olan yer değiştirme değeri; S1'de %47.5 artışla 0.1723 m, S2'de %86.2 artışla 0.2175 m ve S3'te %122.4 artışla 0.2597 m olarak elde edilmektedir. Şekil 65'te ankastre koşullarda 0.1519 m olan yer değiştirme değeri; S1'de %25.4 artışla 0.1905 m, S2'de %45.6 artışla 0.2212 m ve S3'te %20.9 artışla 0.1837 m olarak gözlenmektedir. Şekil 66'da ankastre koşullarda 0.2058 m olan yer değiştirme değerinin; S1'de %6.9 artışla 0.2200 m, S2'de %17 artışla 0.2407 m ve S3'te %22.2 artışla 0.2514 m olduğu görülmektedir. Şekil 67'de ankastre

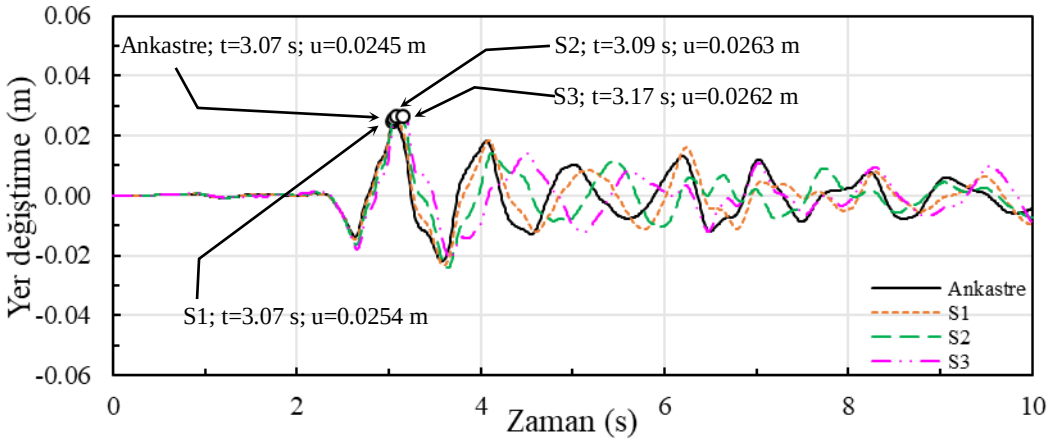
koşullarda 0.4851 m olan yer değiştirme değerinin; S1'de %0.1 artışla 0.4858 m, S2'de %5.8 azalışla 0.4571 m ve S3'te %14.6 azalışla 0.4142 m olduğu gözlenmektedir.



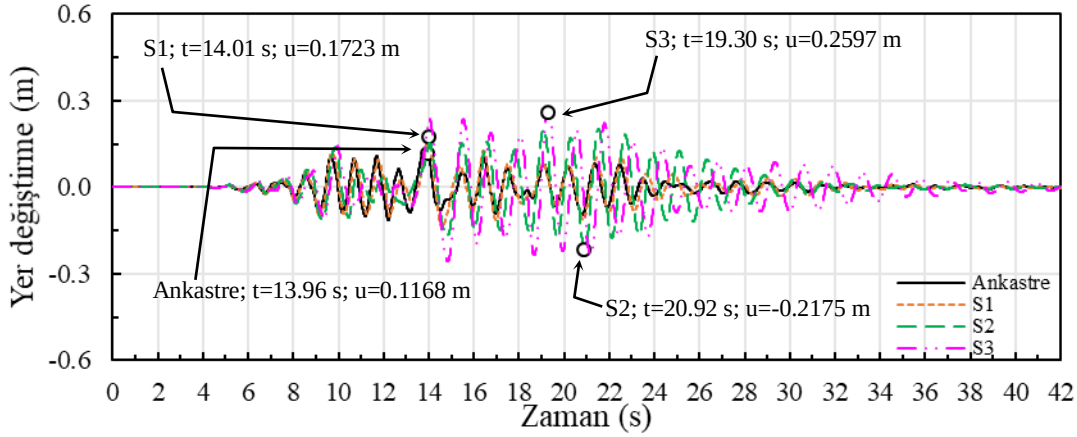
Şekil 61. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi



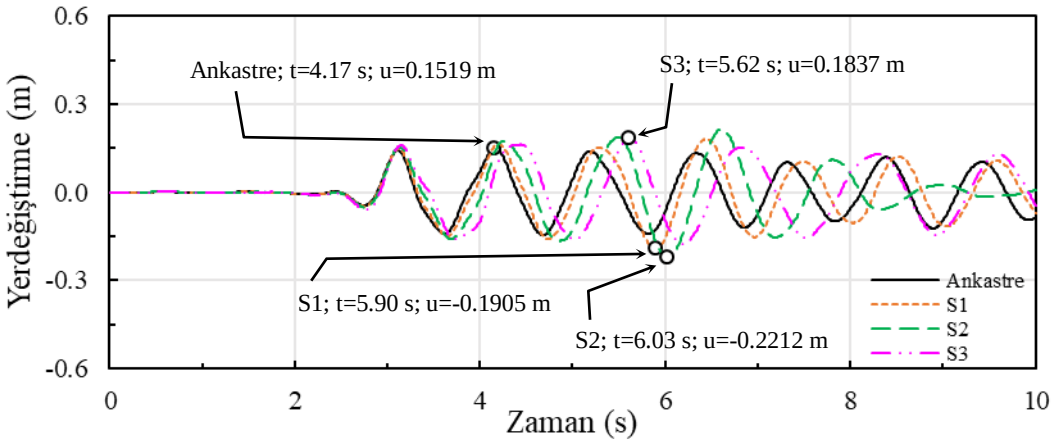
Şekil 62. 12 katlı yapıda Coalinga depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



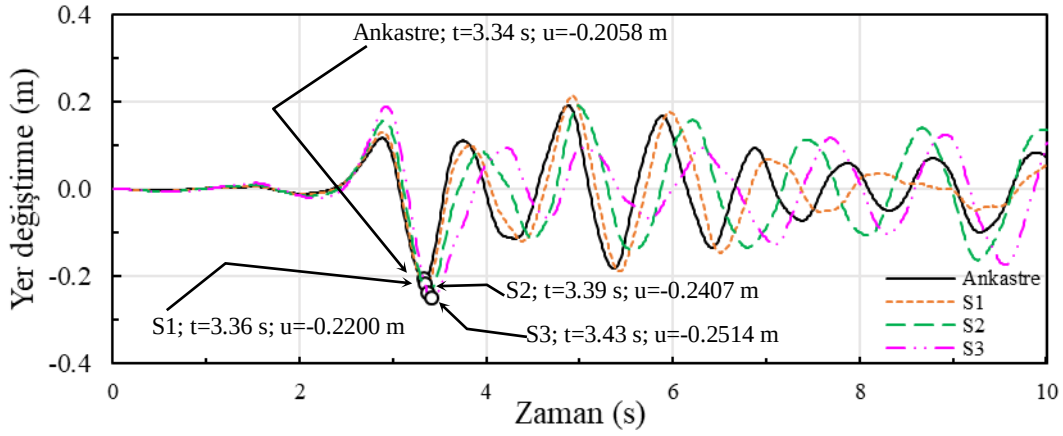
Şekil 63. 12 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



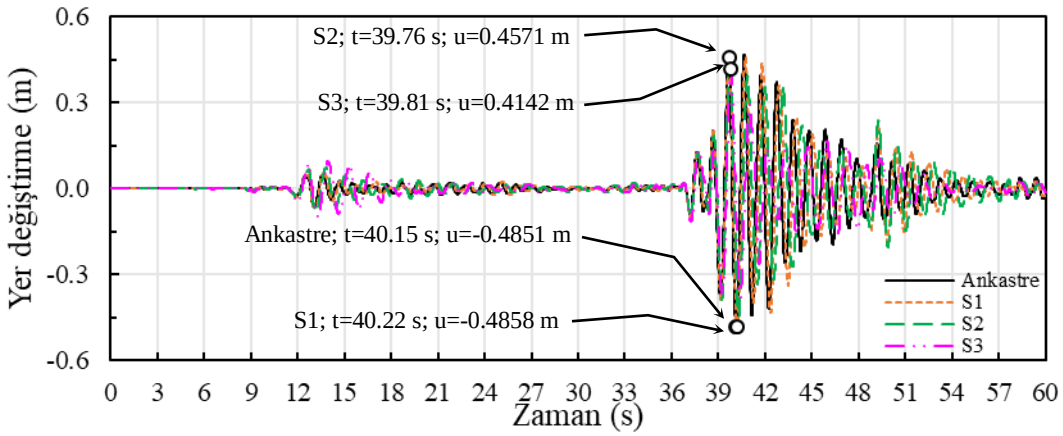
Şekil 64. 12 katlı yapıda Kobe depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 65. 12 katlı yapıda Parkfield depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi



Şekil 66. 12 katlı yapıda Erzincan depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi

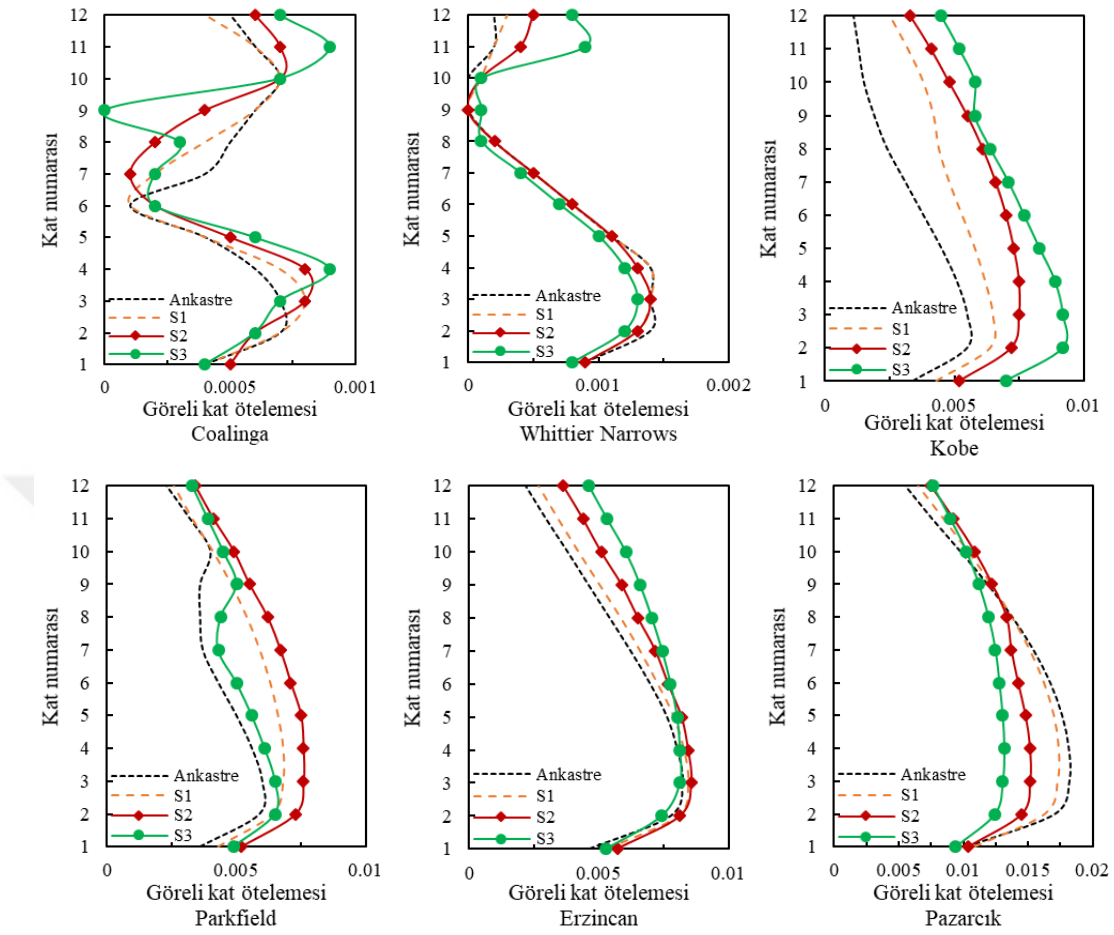


Şekil 67. 12 katlı yapıda Pazarcık depreminde tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi

2.5.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 68'de verilmektedir. Coalinga depreminde en büyük göreli kat ötelemeleri dördüncü ve on birinci kat seviyelerinde S3 zemininde maksimum olmaktadır. Her iki katta da ankastre durumda 0.0006 olan göreli kat ötelemesi, S3'te %50 artışla 0.0009 değerine ulaşmaktadır. En büyük göreli kat ötelemeleri; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield ve Erzincan depremlerinde tüm zemin koşullarında genel olarak üçüncü kat civarında ve Pazarcık depreminde tüm zemin koşullarında genel olarak üçüncü ve dördüncü kat civarlarında meydana gelmektedir. Örneğin; Kobe depreminde ankastre koşullarda 0.0055 olan en büyük göreli kat ötelemesi, S1'de %18 artışla 0.0065, S2'de %36 artışla 0.0075 ve S3'te %67 artışla 0.0092 değerine ulaşmaktadır. Öte yandan Pazarcık depreminde üçüncü kat seviyesinde ankastre koşullarda 0.0182 olan en büyük göreli kat

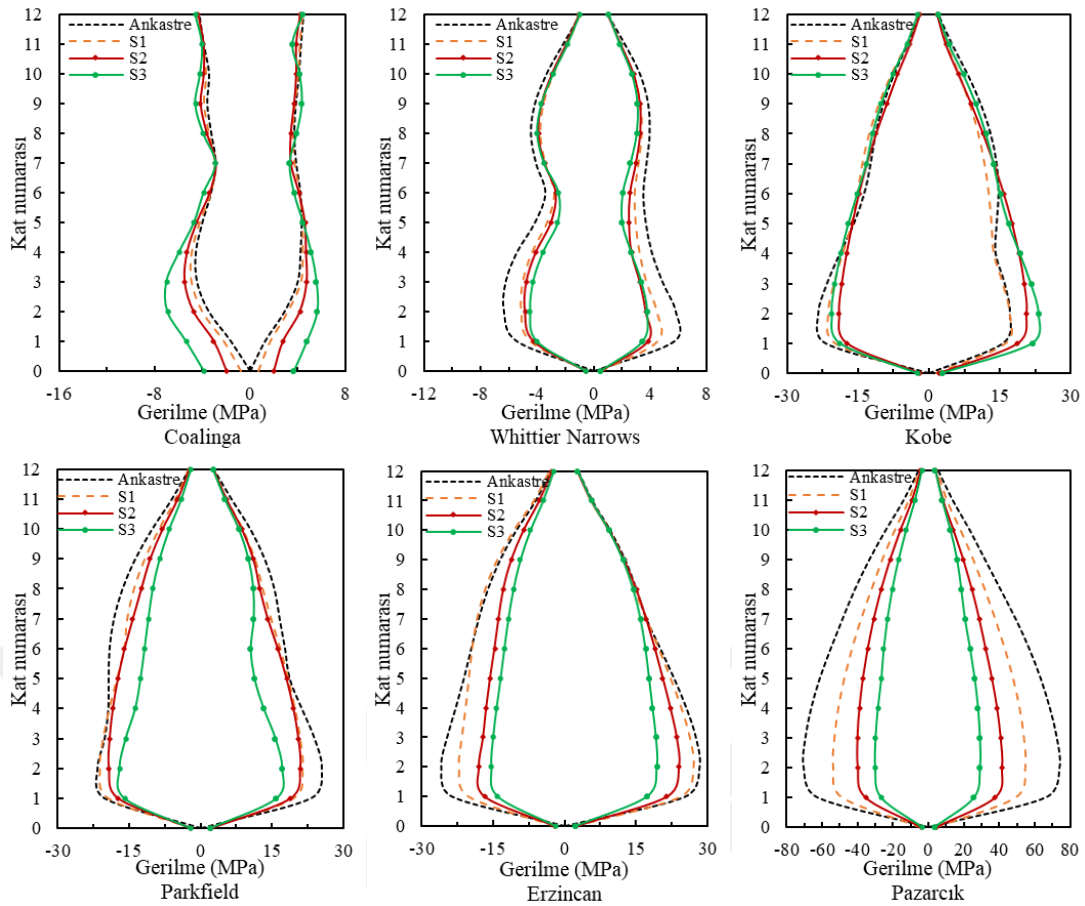
ötelemesi, S1'de %5 azalışla 0.0173, S2'de %17 azalışla 0.0151 ve S3'te %29 azalışla 0.0130 olmaktadır.



Şekil 68. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi

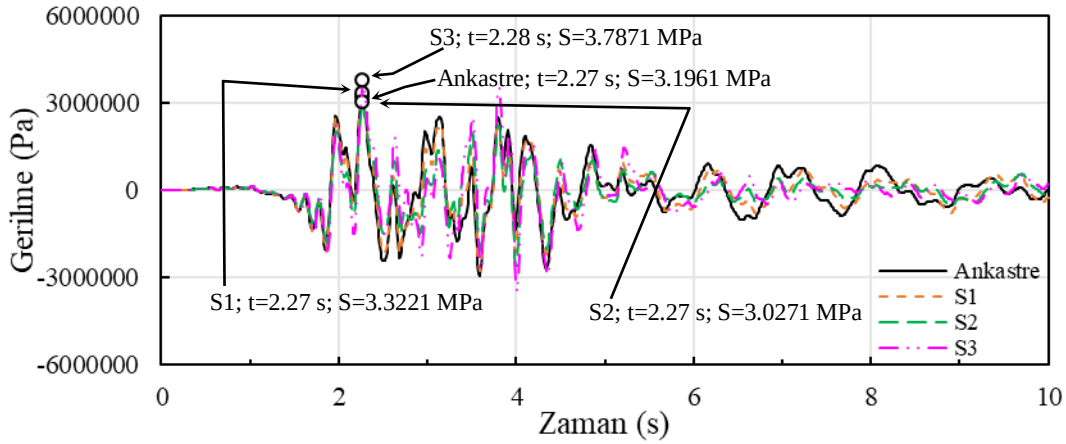
2.5.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 69'da verilmektedir. En yüksek gerilmeler ikinci kat seviyesinde gözlenmektedir. Maksimum gerilmeler; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde ankastre taban durumunda, Coalinga depreminde ise S3 zemininde elde edilmektedir. Ayrıca gerilme büyüklüğü açısından en kritik deprem, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.

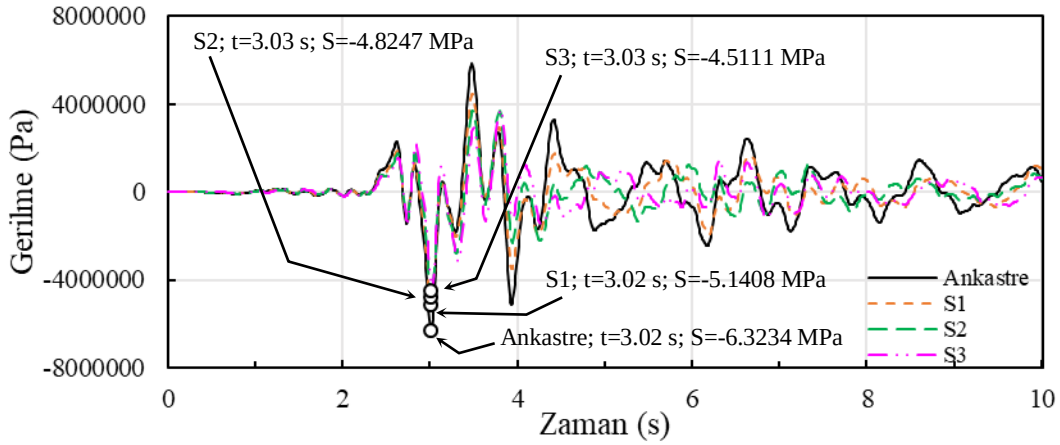


Şekil 69. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

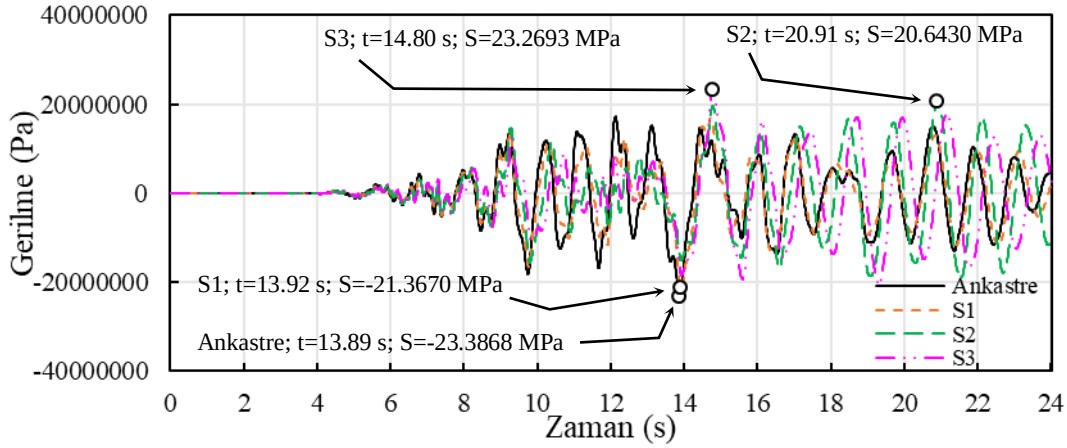
Şekil 70-75'te gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 70'te ankastre koşullarda en büyük gerilme çekme olarak 3.1961 MPa iken; S1'de %3.9 artışla çekme olarak 3.3221 MPa, S2'de %5.3 azalışla çekme olarak 3.0271 MPa ve S3'te %18.5 artışla çekme olarak 3.7871 MPa olmaktadır. Şekil 72'de ankastre taban için en büyük gerilme basınç olarak 23.3868 MPa iken; S1'de ankastre duruma göre %8.6 azalışla basınç olarak 21.3670 MPa, S2'de %11.7 azalışla çekme olarak 20.6430 MPa ve S3'te %0.5 azalışla çekme olarak 23.2693 MPa olmaktadır. Şekil 74'te ankastre durumda çekme olarak 28.4377 MPa hesaplanan gerilme; S1'de %4.7 azalışla çekme olarak 27.0939 MPa, S2'de %15.7 azalışla çekme olarak 23.9865 MPa ve S3'te %31.9 azalışla çekme olarak 19.3748 MPa değerine ulaşmaktadır. Benzer şekilde, Şekil 75'te ankastre taban koşulu altında maksimum gerilmenin 74.1364 MPa olduğu ve bu tepkinin zemin rijitliğinin azalmasına bağlı olarak S3'te yaklaşık %59.5 oranında azaldığı görülmektedir.



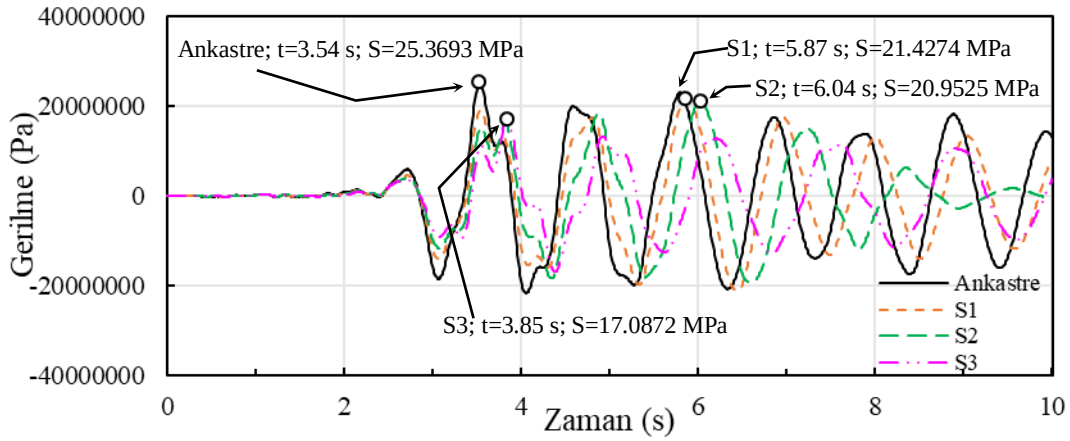
Şekil 70. 12 katlı yapıda Coalinga depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



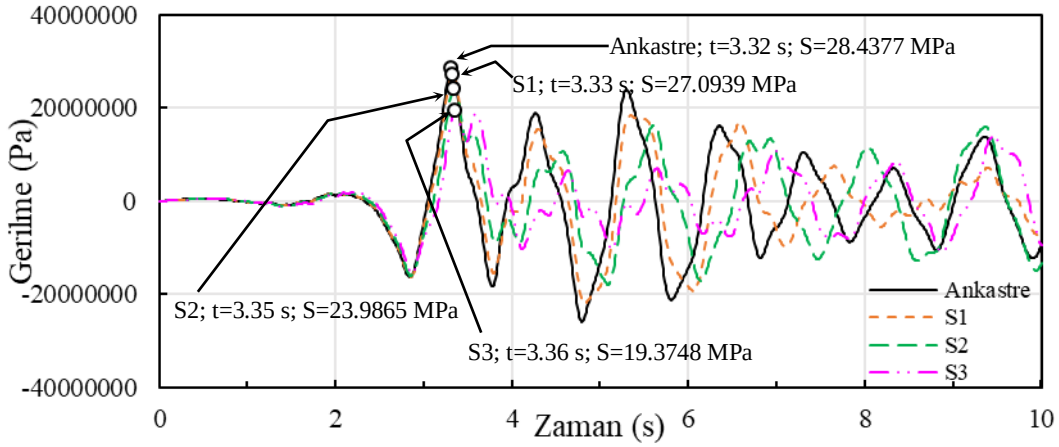
Şekil 71. 12 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



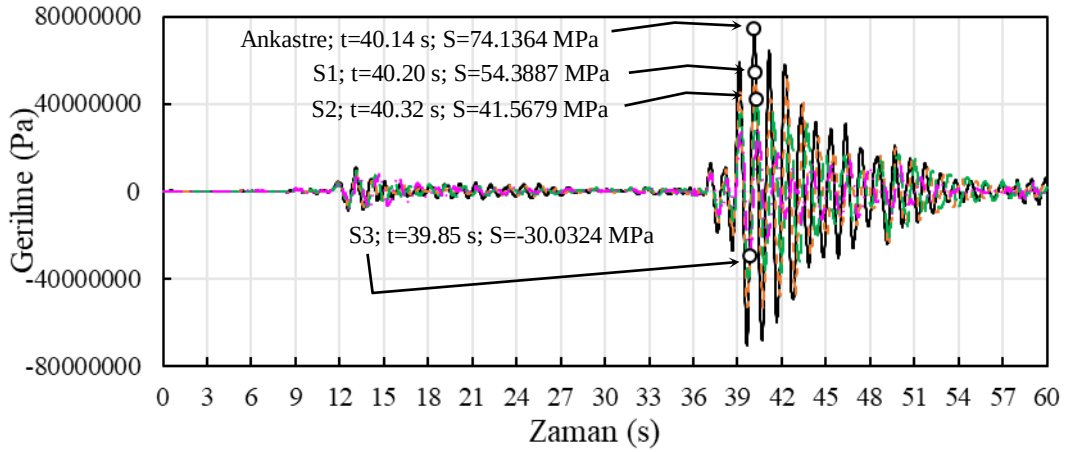
Şekil 72. 12 katlı yapıda Kobe depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 73. 12 katlı yapıda Parkfield depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 74. 12 katlı yapıda Erzincan depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi

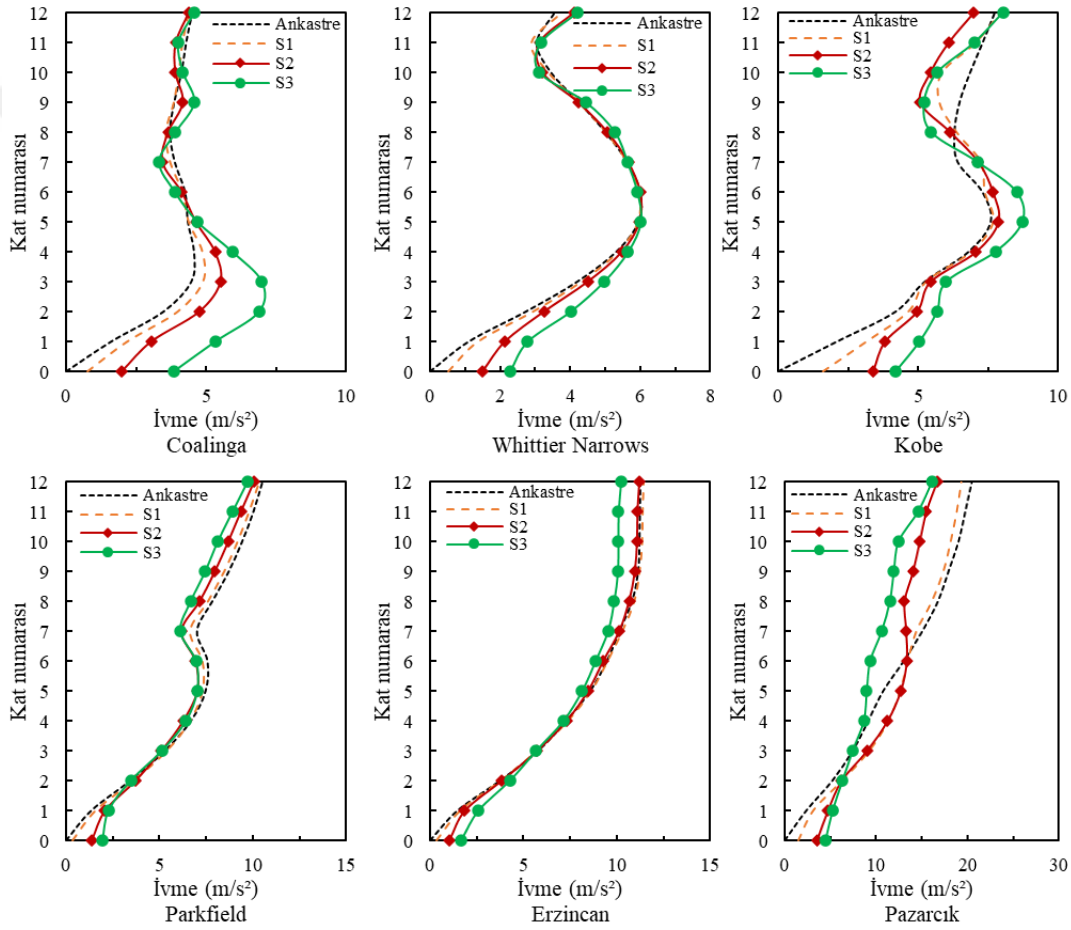


Şekil 75. 12 katlı yapıda Pazarcık depreminde gerilmelerin zamana bağlı değişimi

2.5.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0)

Maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 76'da verilmektedir. İvmelerin, yer hareketi özelliklerine bağlı olarak farklı kat seviyelerinde maksimum değerlere ulaşabildiği görülmektedir. Yüksek frekans içeriğine sahip

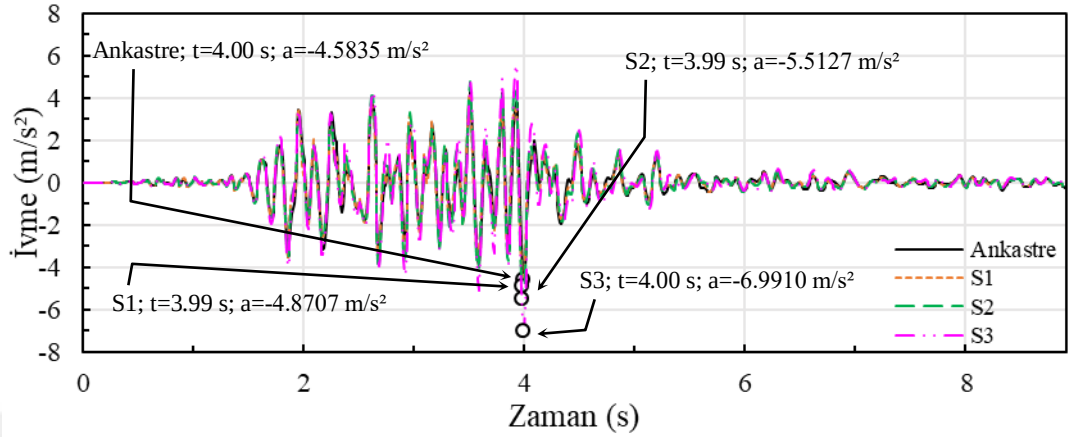
depremlerden Coalinga depreminde en yüksek ivme; üçüncü kat seviyesinde ve S3 zemininde, Whittier Narrows depreminde ise beşinci kat seviyesinde ve yine S3 zemininde gerçekleşmektedir. Orta frekans içeriğine sahip depremlerden Kobe depreminde en yüksek ivme; beşinci kat seviyesinde ve S3 zemininde, Parkfield depreminde ise son kat seviyesinde ve ankastre tabanda gerçekleşmektedir. Düşük frekans içeriğine sahip Erzincan ve Pazarcık depremlerinde ise en büyük ivme değerlerine son kat seviyelerinde ve sırasıyla S1 ve ankastre taban koşullarında ulaşıldığı görülmektedir. Ayrıca ivme büyüklüğü açısından en kritik yer hareketi, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.



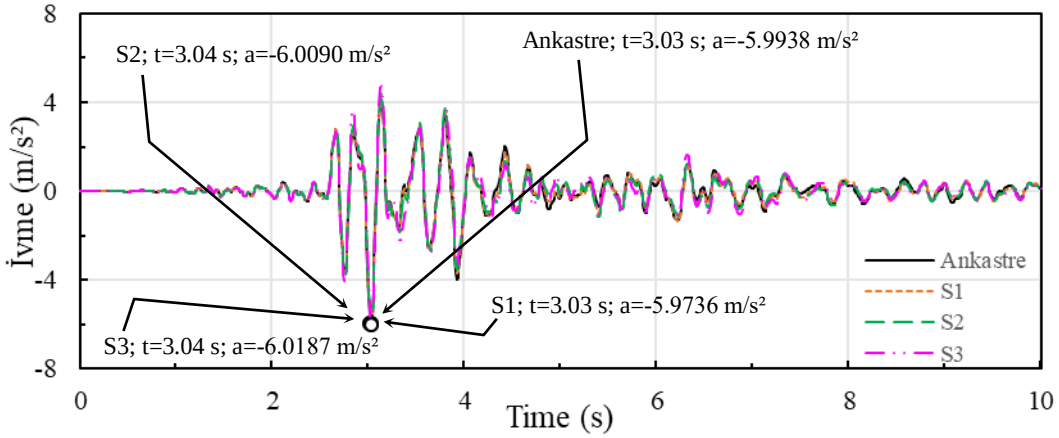
Şekil 76. 12 katlı yapıda deprem yüklemesi altında ivme değerinin yüksekliğe bağlı değişimi

İvmelerin zamana bağlı değişimleri Şekil 77-82'de verilmektedir. Şekil 77'de ankastre koşullarda en büyük ivme 4.5835 m/s^2 iken; S1'de %6.3 artışla 4.8707 m/s^2, S2'de %20.3 artışla 5.5127 m/s^2 ve S3'te %52.5 artışla 6.9910 m/s^2 olmaktadır. Şekil 79'da ankastre koşullarda en büyük ivme 7.7395 m/s^2 iken: S1'de %2.4 artışla 7.9236 m/s^2, S2'de %1.4 artışla 7.8504 m/s^2 ve S3'te %12.7 artışla 8.7254 m/s^2 olarak

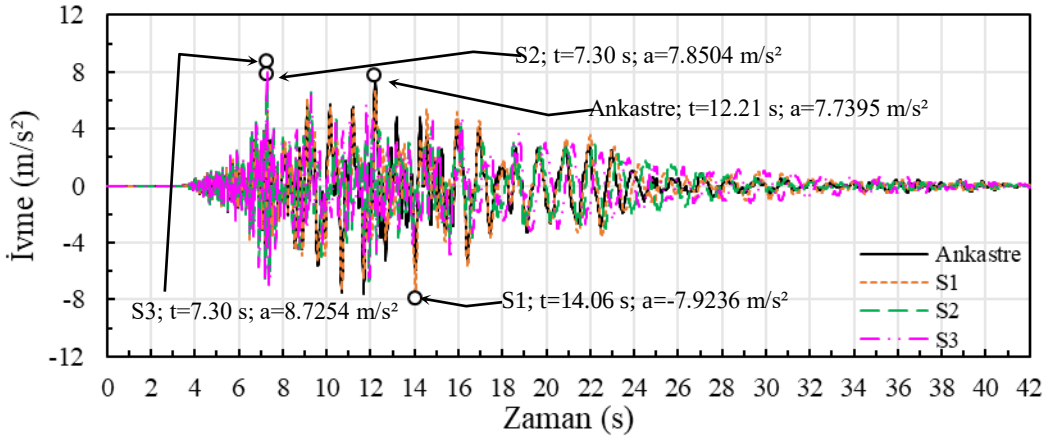
hesaplanmaktadır. Şekil 82'de ankastre durumda 20.4880 m/s^2 büyüklüğünde olan en büyük ivmenin; S1'de %5.7 azalışla 19.3220 m/s^2, S2'de %18.7 azalışla 16.6670 m/s^2 ve S3'te %21.4 azalışla 16.1130 m/s^2 olduğu görülmektedir.



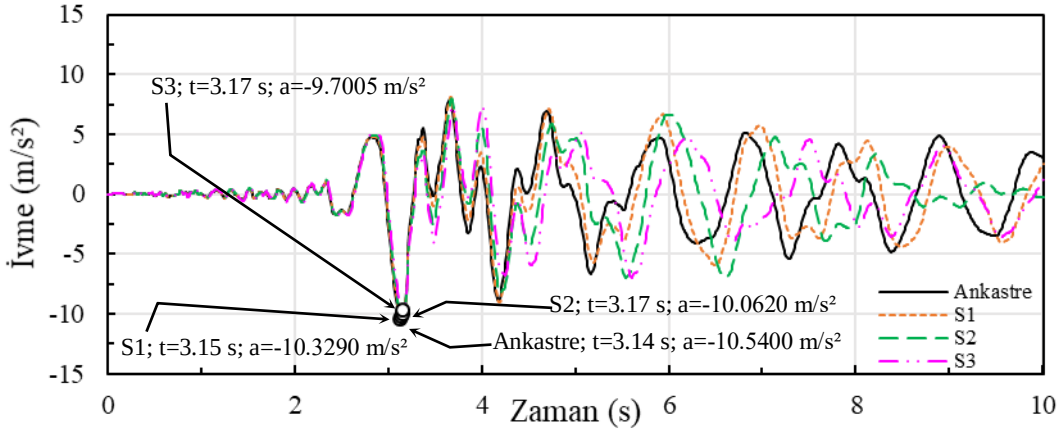
Şekil 77. 12 katlı yapıda Coalinga depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



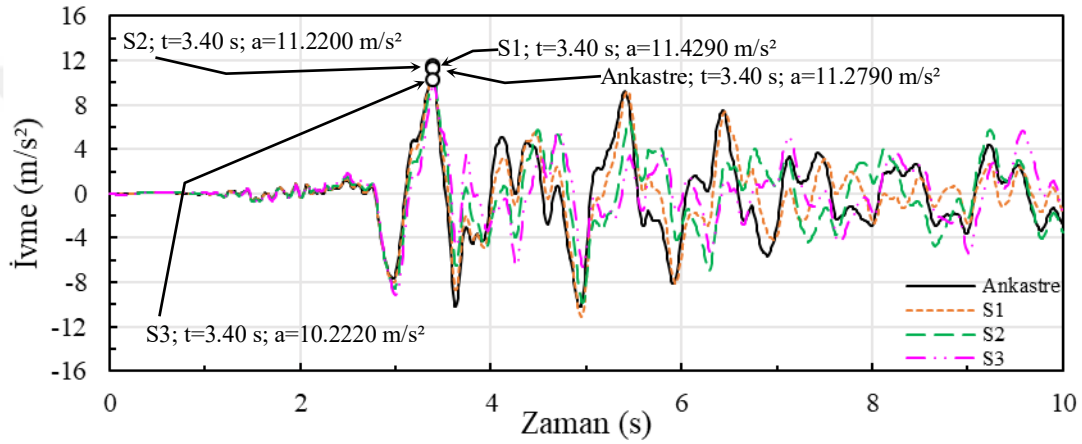
Şekil 78. 12 katlı yapıda Whittier Narrows depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



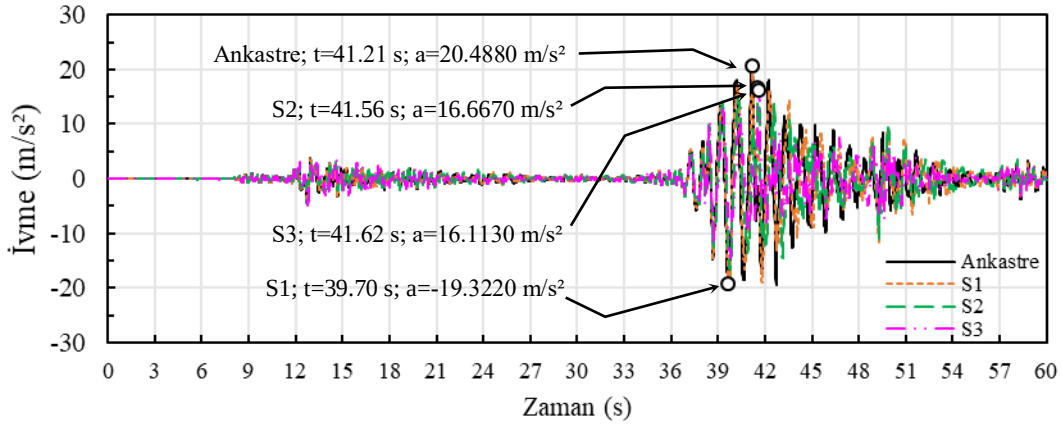
Şekil 79. 12 katlı yapıda Kobe depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 80. 12 katlı yapıda Parkfield depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 81. 12 katlı yapıda Erzincan depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 82. 12 katlı yapıda Pazarcık depreminde ivmelerin zamana bağlı değişimi

2.6. Gömülme Etkisinin Dikkate Alındığı Sayısal Modeller (2e/L=0.5-1-1.5)

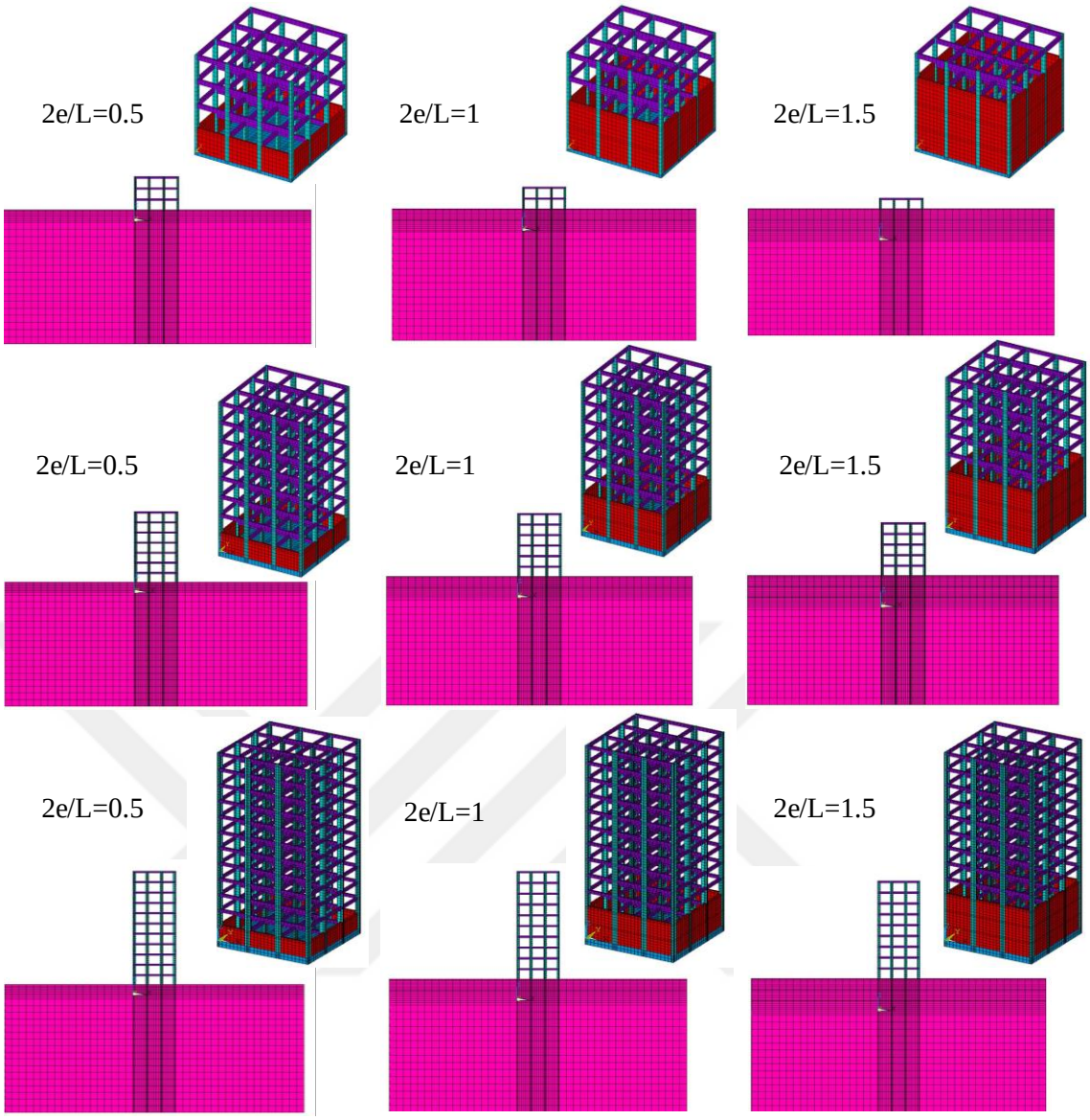
Bu bölümde 3 farklı gömülme oranı (0.5, 1 ve 1.5) dikkate alınarak söz konusu yapı sistemlerinin sayısal modelleri (Şekil 83) oluşturulmaktadır. Daha önce ifade edildiği üzere, gömülme oranı; e gömülme derinliği ve L yapı genişliği olmak üzere

2e/L ile tanımlanmaktadır. 4, 8 ve 12 katlı yapılar için bu oranlar sırasıyla 1 kat, 2 kat ve 3 kat gömülme derinliğine karşılık gelmektedir. Gömülü katlar kat yüksekliği boyunca 30 cm genişliğinde perde duvarlar ile çevrelenmiştir. Perde duvarlar için beton sınıfı C25, elastisite modülü (E) $3x10^{10}$ N/m^2, Poisson oranı (ν) 0.2 ve kütle yoğunluğu 2500 kg/m^3 olarak dikkate alınmıştır.

Gömülmenin ve etkileşimin dikkate alındığı sayısal modeller sırasıyla GSSI4, GSSI8 ve GSSI12 olarak adlandırılmıştır. Tablo 86'da ilgili modellerin modal analizi sonucu elde edilen periyot değerleri sunulmaktadır. Bu tabloda etkin kütlelere bağlı olarak seçilen ve yapı davranışını temsil edebilen modlar verilmiştir. Yapı davranışına hakim olan 1. mod değerleri irdelendiğinde; gömülme oranının artmasıyla periyotların azaldığı ve narinlik oranının artmasıyla periyotların arttığı görülmektedir. Tüm modellerde en büyük periyot değeri S3 zemininde elde edilmektedir.

Tablo 86. Gömülü durumda zemin-yapı sistemlerinin periyotları (s)

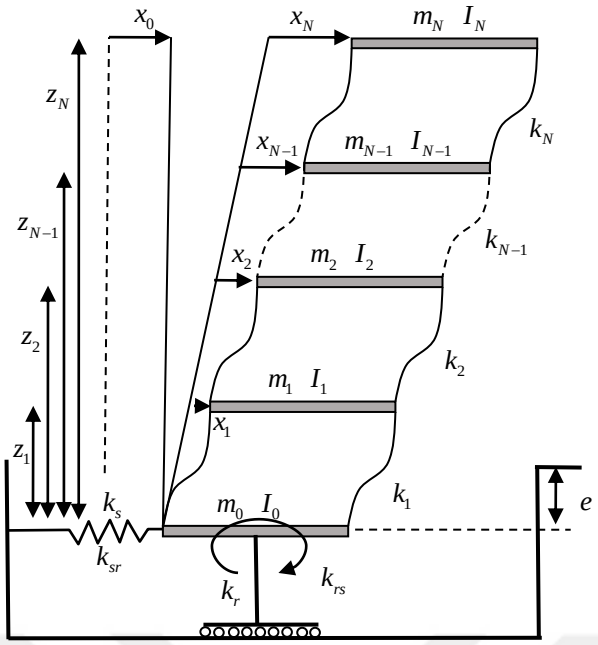
2e/L		0.5		1		1.5	
Mod değerleri	Zemin sınıfı	1	2	1	2	1	2
Modeller							
GSSI4	S1	0.32	0.11	0.22	0.08	0.13	0.04
	S2	0.34	0.05	0.24	0.06	0.14	0.07
	S3	0.35	0.08	0.25	0.10	0.16	0.09
GSSI8	S1	0.65	0.21	0.55	0.18	0.46	0.15
	S2	0.68	0.22	0.57	0.07	0.48	0.07
	S3	0.72	0.22	0.60	0.10	0.50	0.10
GSSI12	S1	0.98	0.31	0.87	0.28	0.78	0.25
	S2	1.04	0.32	0.92	0.29	0.81	0.08
	S3	1.12	0.32	0.97	0.10	0.85	0.11



Şekil 83. Gömülmenin dikkate alındığı durumda zemin-yapı sistemlerinin sayısal modelleri

2.7. Gömülme Etkisinin Dikkate Alındığı Analitik Modeller (2e/L=0.5-1-1.5)

Bu bölümde ilk olarak etkileşimin ve gömülmenin dikkate alındığı durumda, N katlı çerçeve sistem için analitik modeller (EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3) sunulmaktadır. Bu modellerde ortak hareket denklemi göz önüne alınmakta ve her bir modelde rijitlik değerleri için farklı araştırmacılar tarafından önerilen bağıntılar kullanılmaktadır. İkinci olarak tek kütleli sistem olarak tasarlanan ve EMBD-4, EMBD-5 ve EMBD-6 olarak adlandırılan analitik modeller aracılığıyla da farklı çözümler sunulmaktadır. Önerilen analitik modeller yapının yalnızca ötelenme hareketini dikkate aldığından, sayısal modellerin de benzer davranışı sergileyebilmesi açısından modellerde gerekli ayarlamalar yapılmıştır.



Şekil 84. Gömülme etkisinin dikkate alındığı durumda zemin-yapı sistemi için önerilen analitik model (EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3)

Şekil 84'te gömülme etkisinin dikkate alındığı durumda, çok serbestlik dereceli sisteme ait analitik model sunulmaktadır. Burada Liu vd. (2008) tarafından önerilen yöntem, analitik çözümler için kullanılmaktadır. Eşitlik 31-34'te I_i, m_i ve k_i sırasıyla kat kütle atalet momenti, kütle ve rijitlik değerleridir. I_0 ve m_0 temelin kütle atalet momenti ve kütle değerleridir. k_s, k_r ve k_{sr}=k_{rs} gömülü temel için sırasıyla ötelenme, dönme ve ötelenme-dönme rijitlik katsayılarını ifade etmektedir. x_0 ve x_θ temel yer değiştirme ve dönme değerlerini temsil etmektedir.

$$M\ddot{x}(t) + Kx(t) = f(t) \qquad \text{(Eşitlik 31)}$$

M ve K sırasıyla kütle ve rijitlik matrislerini, $f(t)$ ve $x(t)$ sırasıyla kuvvet ve yer değiştirme vektörlerini ifade etmektedir.

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & & & & m_1 & m_1 z_1 \\ & m_2 & & & m_2 & m_2 z_2 \\ & & \ddots & & \vdots & \vdots \\ & & & m_N & m_N & m_N z_N \\ m_1 & m_2 & \cdots & m_N & m_0 + \sum_{i=1}^{N} m_i & \sum_{i=1}^{N} m_i z_i \\ m_1 z_1 & m_2 z_2 & \cdots & m_N z_N & \sum_{i=1}^{N} m_i z_i & \sum_{i=1}^{N} (m_i z_i^{\,2} + I_i) + I_0 \end{bmatrix} \qquad \text{(Eşitlik 32)}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \cdots & 0 & 0 \\ & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ sym & & -k_N & k_N & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & k_s & k_{sr} \\ 0 & 0 & \cdots & 0 & k_{rs} & k_r \end{bmatrix} \quad \text{(Eşitlik 33)}$$

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \cdots & x_N & x_0 & x_\theta \end{bmatrix}^T \quad \text{(Eşitlik 34)}$$

EMBD-1 olarak önerilen analitik çözümde, dairesel gömülü temele ait rijitlik katsayıları Eşitlik 35-36'da verilmektedir. Burada *G*, *v*, r_0 ve *e* sırasıyla zeminin kayma modülü, Poisson oranı, temel eş değer yarıçapı ve temel gömülme derinliğini ifade etmektedir (Wolf, 1986).

$$k_s = \frac{8Gr_0}{2-v}\left(1+\frac{e}{r_0}\right) \quad \text{(Eşitlik 35)}$$

$$k_r = \frac{8Gr_0^3}{3(1-v)}\left[1+2.3\frac{e}{r_0}+0.58\left(\frac{e}{r_0}\right)^3\right],\ k_{sr} = k_{rs} = \frac{e}{3}k_s \quad \text{(Eşitlik 36)}$$

EMBD-2 olarak önerilen analitik çözümde, dairesel gömülü temele ait rijitlik katsayıları Eşitlik 37-38'de verilmektedir. Burada *d* zemin tabakası kalınlığını ifade etmektedir (Wolf, 1994).

$$k_s = \frac{8Gr_0}{2-v}\left(1+0.5\frac{e}{r_0}\right)\left(1+\frac{e}{r_0}\right)\left(1+\frac{e}{d}\right) \quad \text{(Eşitlik 37)}$$

$$k_r = \frac{8Gr_0^3}{3(1-v)}\left(1+\frac{1}{6}\frac{r_0}{d}\right)\left[1+2.3\frac{e}{r_0}+0.58\left(\frac{e}{r_0}\right)^3\right]\left(1+0.7\frac{e}{d}\right) \quad \text{(Eşitlik 38)}$$

EMBD-3 olarak önerilen analitik çözümde, dairesel gömülü temele ait rijitlik katsayıları Eşitlik 39-43'te verilmektedir. K_x, K_y ve K_{ry} yüzeysel temellere ait ötelenme (x, y doğrultusunda) ve dönme rijitlik katsayılarını; k_s ve k_r gömülü temele ait sırasıyla ötelenme ve dönme rijitlik katsayılarını temsil etmektedir. *B*, *L*, A_b, A_w ve I_{by} sırasıyla

temelin genişliği, boyu, alanı, toplam gömülü yan yüzey temas alanı ve atalet momentini ifade etmektedir (Gazetas, 1991).

$$K_x = K_y - \left[\frac{0.2}{(0.75-\nu)}\right] Ga\left[1-\frac{a}{b}\right],$$

$$B = 2a,\ L = 2b,\ B = L \text{ için } K_x = K_y \qquad \text{(Eşitlik 39)}$$

$$K_y = \left[\frac{2Gb}{(2-\nu)}\right]\left[2 + 2.5x^{0.85}\right],\ x = \frac{A_b}{4b^2},\ A_b = B \times L \qquad \text{(Eşitlik 40)}$$

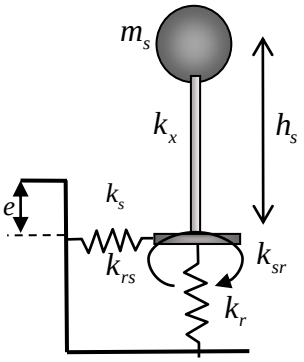
$$K_{ry} = \left[\frac{3G}{(1-\nu)}\right] I_{by}^{0.75}\left(\frac{b}{a}\right)^{0.15} \qquad \text{(Eşitlik 41)}$$

$$k_s = K_x\left[1 + 0.15\left(\frac{e}{a}\right)^{0.5}\right]\left[1 + 0.52\left(\frac{h}{a}\right)\left(\frac{A_w}{a^2}\right)\right]^{0.4},$$

$$h = e/2,\ A_w = e \times 2(B+L) \qquad \text{(Eşitlik 42)}$$

$$k_r = K_{ry}\left[1 + 0.92\left(\frac{e}{b}\right)^{0.6}\right]\left[1.5 + \left(\frac{e}{b}\right)^{1.9}\left(\frac{e}{b}\right)^{-0.6}\right] \qquad \text{(Eşitlik 43)}$$

Şekil 85'te gömülme etkisinin dikkate alındığı durumda, tek kütleli sisteme ait analitik model sunulmaktadır.



Şekil 85. Gömülme etkisinin dikkate alındığı durumda zemin-yapı sistemi için önerilen analitik model (EMBD-4, EMBD-5, EMBD-6)

M ve K sırasıyla kütle ve rijitlik matrislerini; k_x, m_s, m_0, h_s, I ve I_0 sırasıyla yapı eş değer rijitliğini, yapı eş değer kütlesini, temel kütlesini, yapı eş değer yüksekliğini, yapının kütle atalet momentini ve temelin kütle atalet momentini; k_s, k_r ve $k_{sr}=k_{rs}$ sırasıyla gömülü temele ait rijitlik katsayılarını temsil etmektedir (Eşitlik 44-45).

$$M=\begin{bmatrix} m_s & m_s & m_s h_s \\ m_s & m_s+m_0 & m_s h_s \\ m_s h_s & m_s h_s & I+I_0+m_s h_s^2 \end{bmatrix} \quad \text{(Eşitlik 44)}$$

$$K=\begin{bmatrix} k_x & 0 & 0 \\ 0 & k_s & k_{sr} \\ 0 & k_{rs} & k_r \end{bmatrix} \quad \text{(Eşitlik 45)}$$

EMBD-4, EMBD-5 ve EMBD-6 sistemlerinin çözümleri, sırasıyla EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3 sistemlerinin çözümünde kullanılan gömülü temel rijitlik katsayıları ile yapılmaktadır. Tablo 87'de önerilen sayısal modeller ile EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3 analitik modelleri yapı davranışına hakim olan birinci mod periyotları açısından karşılaştırılmaktadır. Burada tüm yapı sistemlerinde ve zemin koşullarında gömülme oranının artmasıyla periyot değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Sayısal modeller ile analitik modeller arasındaki fark değerleri 4 katlı yapı sistemlerinde %9 ile %25, 8 katlı yapı sistemlerinde %9.38 ile %28.57 ve 12 katlı yapı sistemlerinde %10.26 ile %37.14 arasında değişmektedir. Ayrıca analitik modellerin kendi arasında oldukça uyumlu olduğu ve sayısal modellerin EMBD-2 ile daha uyumlu olduğu göze çarpmaktadır.

Tablo 87. GSSI4, GSSI8 ve GSSI12 sayısal modelleri ile EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3 analitik modellerinin ilk mod periyotlarının karşılaştırılması (s)

Modeller	2e/L		Sayısal model	EMBD-1	Fark (%)	EMBD-2	Fark (%)	EMBD-3	Fark (%)
GSSI4	0.5	S1	0.20	0.23	13.04	0.23	13.04	0.23	13.04
		S2	0.21	0.25	16.00	0.24	12.50	0.25	16.00
		S3	0.22	0.27	18.52	0.27	18.52	0.27	18.52
	1	S1	0.14	0.16	12.50	0.16	12.50	0.16	12.50
		S2	0.15	0.18	16.67	0.17	11.76	0.18	16.67
		S3	0.16	0.20	20.00	0.19	15.79	0.20	20.00
	1.5	S1	0.09	0.10	10.00	0.10	10.00	0.10	10.00
		S2	0.10	0.12	16.67	0.11	9.00	0.12	16.67
		S3	0.12	0.16	25.00	0.14	14.29	0.15	20.00

Tablo 87. (Devamı)

Modeller	2e/L		Sayısal model	EMBD-1	Fark (%)	EMBD-2	Fark (%)	EMBD-3	Fark (%)
		S1	0.33	0.38	13.16	0.38	13.16	0.38	13.16
	0.5	S2	0.34	0.43	20.93	0.42	19.05	0.43	20.93
		S3	0.35	0.49	28.57	0.47	25.53	0.48	27.08
		S1	0.29	0.33	12.12	0.32	9.38	0.33	12.12
GSSI8	1	S2	0.29	0.36	19.44	0.35	17.14	0.36	19.44
		S3	0.30	0.40	25.00	0.39	23.08	0.40	25.00
		S1	0.24	0.27	11.11	0.27	11.11	0.28	14.29
	1.5	S2	0.25	0.30	16.67	0.29	13.79	0.30	16.67
		S3	0.26	0.33	21.21	0.32	18.75	0.34	23.53
		S1	0.42	0.49	14.29	0.49	14.29	0.49	14.29
	0.5	S2	0.43	0.59	27.12	0.57	24.56	0.59	27.12
		S3	0.44	0.69	36.23	0.67	34.33	0.70	37.14
		S1	0.38	0.44	13.64	0.43	11.63	0.44	23.64
GSSI12	1	S2	0.39	0.50	22.00	0.49	20.41	0.51	23.53
		S3	0.40	0.58	31.03	0.56	28.57	0.59	32.20
		S1	0.35	0.39	10.26	0.39	10.26	0.39	10.26
	1.5	S2	0.35	0.44	20.45	0.42	16.67	0.45	22.22
		S3	0.36	0.49	26.53	0.47	23.40	0.52	30.77

$$Fark\,\% = 100 \times \left| (Analitik - Sayısal) / Analitik \right|$$

Tablo 88'de önerilen sayısal modeller ile EMBD-4, EMBD-5 ve EMBD-6 analitik modelleri yapı davranışına hakim olan birinci mod periyotları açısından karşılaştırılmaktadır. Burada da tüm yapı sistemlerinde ve zemin koşullarında gömülme oranının artmasıyla periyot değerlerinin azaldığı açıkça görülmektedir. Sayısal modeller ile analitik modeller arasındaki fark değerleri 4 katlı yapı sistemlerinde %0 ile %21.43, 8 katlı yapı sistemlerinde %25.71 ile %38.60 ve 12 katlı yapı sistemlerinde %29.17 ile %47.62 arasında değişmektedir. Ayrıca analitik modellerin kendi arasında oldukça uyumlu olduğu ve sayısal modellerin EMBD-5 ile nispeten daha uyumlu olduğu göze çarpmaktadır. EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3 modelleri birinci grup, EMBD-4, EMBD-5 ve EMBD-6 modelleri ikinci grup analitik modeller olarak ele alınırsa, sayısal modellerin genel olarak birinci grup analitik modeller ile daha uyumlu olduğu söylenebilir.

Tablo 88. GSSI4, GSSI8 ve GSSI12 sayısal modelleri ile EMBD-4, EMBD-5 ve EMBD-6 analitik modellerinin ilk mod periyotlarının karşılaştırılması (s)

Modeller	2e/L		Sayısal model	EMBD-4	Fark (%)	EMBD-5	Fark (%)	EMBD-6	Fark (%)
		S1	0.20	0.25	20.00	0.25	20.00	0.25	20.00
	0.5	S2	0.21	0.26	19.23	0.26	19.23	0.26	19.23
		S3	0.22	0.28	21.43	0.27	18.52	0.27	18.52
GSSI4		S1	0.14	0.17	17.65	0.17	17.65	0.17	17.65
	1	S2	0.15	0.18	16.67	0.18	16.67	0.18	16.67
		S3	0.16	0.19	15.79	0.19	15.79	0.19	15.79
	1.5	S1	0.09	0.10	10.00	0.10	10.00	0.10	10.00
		S2	0.10	0.11	9.09	0.11	9.09	0.11	9.09

Tablo 88. (Devamı)

Modeller	2e/L		Sayısal model	EMBD-4	Fark (%)	EMBD-5	Fark (%)	EMBD-6	Fark (%)
GSSI4	1.5	S3	0.12	0.14	14.29	0.12	0.00	0.13	7.69
GSSI8	0.5	S1	0.33	0.47	29.79	0.47	29.79	0.47	29.79
		S2	0.34	0.52	34.62	0.51	33.33	0.52	34.62
		S3	0.35	0.57	38.60	0.56	37.50	0.57	38.60
	1	S1	0.29	0.40	27.50	0.40	27.50	0.40	27.50
		S2	0.29	0.42	30.95	0.42	30.95	0.42	30.95
		S3	0.30	0.45	33.33	0.44	31.82	0.45	33.33
	1.5	S1	0.24	0.34	29.41	0.34	29.41	0.34	29.41
		S2	0.25	0.35	28.57	0.34	26.47	0.35	28.57
		S3	0.26	0.36	27.78	0.35	25.71	0.36	27.78
GSSI12	0.5	S1	0.42	0.62	32.26	0.61	31.15	0.62	32.26
		S2	0.43	0.72	40.28	0.70	38.57	0.72	40.28
		S3	0.44	0.83	46.99	0.81	45.68	0.84	47.62
	1	S1	0.38	0.54	29.63	0.54	29.63	0.55	30.91
		S2	0.39	0.60	35.00	0.59	33.90	0.61	36.07
		S3	0.40	0.66	39.39	0.64	37.50	0.68	41.18
	1.5	S1	0.34	0.48	29.17	0.48	29.17	0.48	29.17
		S2	0.35	0.51	31.37	0.50	30.00	0.52	32.69
		S3	0.36	0.55	34.55	0.53	32.08	0.57	36.84

2.8. Gömülme Etkisinin Dikkate Alındığı Durumlarda Dinamik Analiz

2.8.1. 4 Katlı Yapının Analizi

İkisi yüksek, ikisi orta ve ikisi düşük frekans içeriğine sahip altı deprem etkisi altında, 4 katlı yapının 3 farklı gömülme oranına bağlı olarak yapılan dinamik analizleri sonucu elde edilen rölatif yatay yer değiştirme değerleri Tablo 89-94'te, göreli kat öteleme değerleri Tablo 95-100'de, gerilme değerleri Tablo 101-106'da ve ivme değerleri Tablo 107-112'de verilmektedir.

Tablo 89. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
4	0.0114	0.0120	0.0171	0.0062	0.0066	-0.0077	-0.0043	-0.0045	-0.0054
3	-0.0083	0.0086	0.0121	0.0035	0.0037	-0.0045	-0.0002	-0.0004	-0.0010
2	0.0041	0.0044	-0.0060	0.0001	0.0003	-0.0006	0.0001	-0.0003	-0.0006
1	-0.0001	0.0003	0.0008	0.0000	0.0001	-0.0003	0.0000	-0.0001	-0.0003

u: En büyük yatay yer değiştirme (m)

Tablo 90. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
4	0.0172	-0.0157	0.0144	0.0112	0.0142	0.0169	-0.0028	-0.0035	-0.0044
3	0.0133	-0.0120	-0.0108	0.0063	0.0081	0.0099	-0.0001	-0.0003	-0.0008

Tablo 90. (Devamı)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
2	0.0065	-0.0060	-0.0057	0.0002	0.0006	0.0014	-0.0001	-0.0002	-0.0005
1	0.0002	-0.0004	0.0007	0.0001	0.0003	0.0007	0.0000	0.0001	-0.0003

Tablo 91. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
4	0.0260	0.0265	-0.0280	0.0202	0.0235	0.0254	0.0041	0.0069	-0.0084
3	0.0204	0.0208	-0.0217	0.0113	0.0136	0.0148	0.0002	0.0007	-0.0015
2	0.0104	0.0108	-0.0114	0.0004	0.0011	0.0020	0.0001	0.0004	-0.0010
1	0.0003	0.0007	-0.0013	0.0001	0.0005	0.0010	0.0000	0.0002	-0.0005

Tablo 92. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
4	0.0303	0.0322	-0.0351	-0.0079	-0.0087	-0.0116	-0.0017	-0.0024	-0.0020
3	0.0235	0.0249	-0.0273	-0.0046	-0.0052	-0.0069	-0.0001	-0.0002	0.0003
2	0.0117	0.0127	-0.0144	-0.0002	0.0004	-0.0010	0.0000	-0.0001	0.0002
1	0.0003	0.0009	-0.0016	-0.0001	0.0002	-0.0005	0.0000	-0.0001	-0.0001

Tablo 93. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
4	-0.0370	-0.0362	-0.0331	-0.0124	-0.0129	-0.0165	-0.0021	-0.0026	-0.0035
3	-0.0287	-0.0283	-0.0261	-0.0070	-0.0075	-0.0097	-0.0001	-0.0003	-0.0006
2	-0.0144	-0.0147	-0.0140	-0.0002	-0.0006	-0.0013	0.0000	-0.0002	-0.0004
1	-0.0004	-0.0010	-0.0015	-0.0001	-0.0003	-0.0007	0.0000	-0.0001	-0.0002

Tablo 94. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
4	0.0396	0.0458	0.0539	0.0139	0.0183	-0.0256	-0.0031	0.0039	-0.0044
3	0.0308	0.0356	0.0419	0.0078	0.0106	-0.0151	-0.0001	0.0004	-0.0008
2	0.0154	0.0184	0.0221	0.0003	0.0008	-0.0021	-0.0001	0.0002	-0.0005
1	0.0004	0.0012	0.0024	0.0001	0.0004	-0.0010	0.0000	0.0001	-0.0003

Tablo 95. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
4	0.0010	0.0010	0.0017	0.0009	0.0009	0.0011	0.0014	0.0013	0.0014
3	0.0014	0.0014	0.0016	0.0011	0.0010	0.0012	0.0000	0.0000	0.0001

Tablo 95. (Devamı)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
2	0.0013	0.0014	0.0017	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
1	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

δ: Göreli kat ötelemesi

Tablo 96. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
4	0.0013	0.0012	0.0010	0.0016	0.0020	0.0023	0.0009	0.0010	0.0011
3	0.0022	0.0020	0.0017	0.0020	0.0024	0.0028	0.0000	0.0000	0.0001
2	0.0021	0.0019	0.0017	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001
1	0.0001	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001

Tablo 97. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
4	0.0019	0.0019	0.0021	0.0029	0.0033	0.0035	0.0013	0.0021	0.0022
3	0.0033	0.0033	0.0034	0.0037	0.0042	0.0042	0.0000	0.0001	0.0001
2	0.0034	0.0034	0.0034	0.0001	0.0002	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001
1	0.0001	0.0002	0.0004	0.0000	0.0001	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001

Tablo 98. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
4	0.0023	0.0024	0.0026	0.0011	0.0012	0.0016	0.0005	0.0006	0.0006
3	0.0039	0.0041	0.0043	0.0015	0.0016	0.0020	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0038	0.0040	0.0043	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0001	0.0003	0.0005	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Tablo 99. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
4	0.0028	0.0026	0.0023	0.0018	0.0018	0.0023	0.0007	0.0008	0.0010
3	0.0048	0.0045	0.0040	0.0022	0.0023	0.0028	0.0000	0.0000	0.0001
2	0.0047	0.0046	0.0042	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0001
1	0.0001	0.0003	0.0004	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001

Tablo 100. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
4	0.0029	0.0034	0.0040	0.0020	0.0026	0.0035	0.0010	0.0010	0.0011

Tablo 100. (Devamı)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
3	0.0051	0.0057	0.0066	0.0025	0.0032	0.0043	0.0000	0.0000	0.0001
2	0.0050	0.0057	0.0066	0.0001	0.0001	0.0003	0.0000	0.0000	0.0001
1	0.0001	0.0004	0.0007	0.0000	0.0001	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000

Tablo 101. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4	-2.4615	2.3786	-3.2571	-2.0601	2.0828	2.2056	4.2203	4.0181	4.0822
3	-4.0621	4.0289	-5.4109	-3.4942	-3.5007	3.7454	2.2658	2.4982	2.6937
2	4.5547	4.4018	-5.6572	-1.6742	-1.8807	2.0696	0.0272	0.0409	0.0706
1	1.8920	2.2107	2.7993	-0.0230	-0.0399	0.0439	0.0245	-0.0338	0.0524
S: En büyük gerilme (MPa)									

Tablo 102. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4	2.7226	-2.3643	-2.3670	-3.6795	-4.3697	-4.7102	2.6667	3.0691	3.2743
3	5.2128	4.4674	-4.1696	-6.3438	-7.5361	-8.2302	1.4838	1.9755	2.1643
2	-7.3128	6.2177	5.1659	-3.0070	-4.0623	-4.6187	-0.0227	0.0380	0.0597
1	2.9058	2.8401	2.5353	-0.0467	-0.0636	-0.0744	-0.0206	0.0297	0.0385

Tablo 103. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4	-3.7493	3.6995	3.8867	6.7618	7.1578	-7.1858	-3.8669	-5.9059	6.2486
3	-7.5253	7.3335	7.3970	11.3755	12.3381	-12.3690	-2.1879	-3.8634	4.1769
2	-11.1613	-10.7030	10.3400	-5.4311	-6.9536	-6.9445	0.0388	0.0707	0.1148
1	-4.7035	-5.1898	5.0475	0.0821	0.1217	-0.1283	0.0357	0.0559	0.0846

Tablo 104. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4	4.6394	-4.6564	4.6472	2.4110	-2.6845	3.1666	1.5566	2.0538	1.4679
3	9.0081	-8.8909	8.8781	4.4076	4.5420	5.5629	0.9018	1.3480	1.0098
2	12.8605	-12.8059	12.9382	2.2295	2.7430	3.2281	-0.0177	-0.0255	-0.0398
1	-5.2505	-6.0593	6.3885	-0.0404	-0.0514	-0.0656	-0.0183	-0.0254	-0.0325

Tablo 105. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4	5.5112	4.8286	3.8892	3.9531	3.8162	4.5444	2.0298	2.1472	2.6522
3	10.8683	9.7517	8.0324	6.9670	6.8042	8.0019	1.1485	1.4188	1.7833
2	15.7573	14.5560	12.4384	3.3543	3.8130	4.5746	-0.0215	-0.0362	-0.0594
1	6.4644	7.0574	6.3640	-0.0493	-0.0640	-0.0857	0.0224	0.0324	-0.0463

Tablo 106. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4	-5.8344	-6.2592	-6.7694	-4.4156	-5.4737	7.0903	2.9242	-3.2468	3.1872
3	-11.6093	-12.4962	-13.5535	-7.7642	-9.6247	12.4103	1.6558	-2.1933	2.2653
2	-16.8755	-18.3041	-19.9017	-3.7752	-5.3812	7.0716	0.0300	-0.0502	0.0756
1	-6.9362	-8.7771	-9.8119	0.0621	-0.0998	-0.1349	-0.0328	-0.0460	0.0618

Tablo 107. Coalinga depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4	-7.7044	-8.1023	-9.2974	-7.3416	7.8344	7.7703	9.0390	-9.1528	10.2010
3	-5.2146	-5.5820	6.4951	-4.7638	-4.1387	-5.3212	-1.1324	-2.8200	3.9645
2	3.4712	4.0652	-5.8663	-0.7338	-2.5955	-3.0105	-1.0325	-2.8136	3.7515
1	0.4699	-2.5351	2.9906	-0.7102	-2.5679	-3.1289	0.9625	-2.7819	3.5908
a: En büyük ivme (m/s^2)									

Tablo 108. Whittier Narrows depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4	-9.2532	-9.1934	-9.0162	-9.1174	-10.9420	-11.6830	-4.7406	8.5558	8.3475
3	-7.0402	-6.9828	-6.4092	-5.3588	-6.4690	-7.0497	0.5911	1.7684	2.8827
2	-3.6893	-3.6498	-3.5393	-0.4322	-1.3517	-1.8628	0.5242	1.5391	2.7174
1	0.3174	1.0908	-1.7758	-0.3284	-1.3252	-1.6963	0.4767	1.3682	2.5834

Tablo 109. Kobe depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4	-10.1820	-11.4530	-11.8390	16.1880	-18.0370	-18.2730	-7.1021	-13.0560	14.8600
3	8.0073	8.6375	-8.1386	8.4224	-12.5560	11.4130	-2.0424	4.7823	-4.6792
2	4.5311	5.4618	5.5867	1.6518	-4.2236	4.6053	2.0439	4.9964	-4.3489
1	-0.9720	-4.7329	4.2887	1.5696	-3.8565	4.2957	-1.9661	5.0803	-4.1409

Tablo 110. Parkfield depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4	-12.1120	-13.7030	-13.8750	-5.2984	-5.6027	6.5767	3.5368	5.2627	-3.6675
3	9.1793	9.8923	10.3570	-2.6375	3.5792	3.9729	-0.2493	-1.7179	-1.8954
2	4.6832	6.0883	7.0201	0.2917	-1.3058	-1.8856	0.2910	1.8268	-1.9092
1	-0.3116	-1.0963	-2.6072	0.2768	-1.2420	-1.8601	0.3038	1.9401	-1.9337

Tablo 111. Erzincan depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4	-14.3860	-14.2740	-13.0030	8.0173	7.6757	9.3456	2.9449	-3.7278	4.6190
3	-10.6180	-10.3410	-9.4116	4.7339	4.5487	5.4072	0.3736	-1.0118	1.6248
2	5.2949	5.9467	5.9535	0.3282	-0.8703	-1.6122	0.3547	-1.0052	1.5493
1	0.3658	1.1776	1.9408	-0.2882	-0.8403	-1.5466	0.3378	-0.9949	1.5155

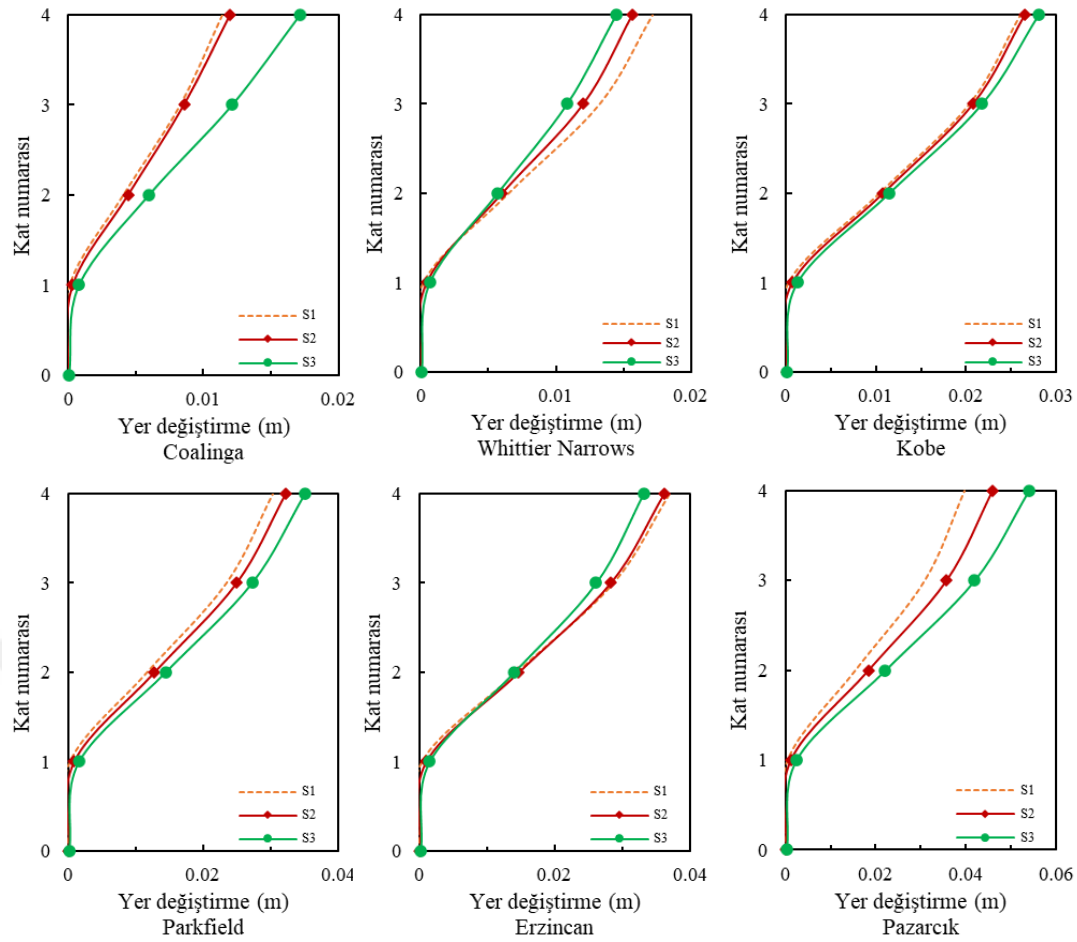
Tablo 112. Pazarcık depreminde 4 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
4	-15.8590	-13.3500	-13.7570	-10.7150	-10.8700	13.8770	7.6885	12.5940	13.9630
3	12.2000	-10.6720	-10.4930	-7.7841	-6.6021	-8.8615	-1.6151	4.3655	-6.5149
2	8.2188	7.9222	-6.7728	1.3449	-4.1934	4.7850	-1.6974	4.4781	-6.4629
1	-1.0258	-3.4568	4.7482	1.2533	-4.3804	5.1025	-1.6645	-4.5988	-6.4332

2.8.1.1. 2e/L=0.5 Durumu

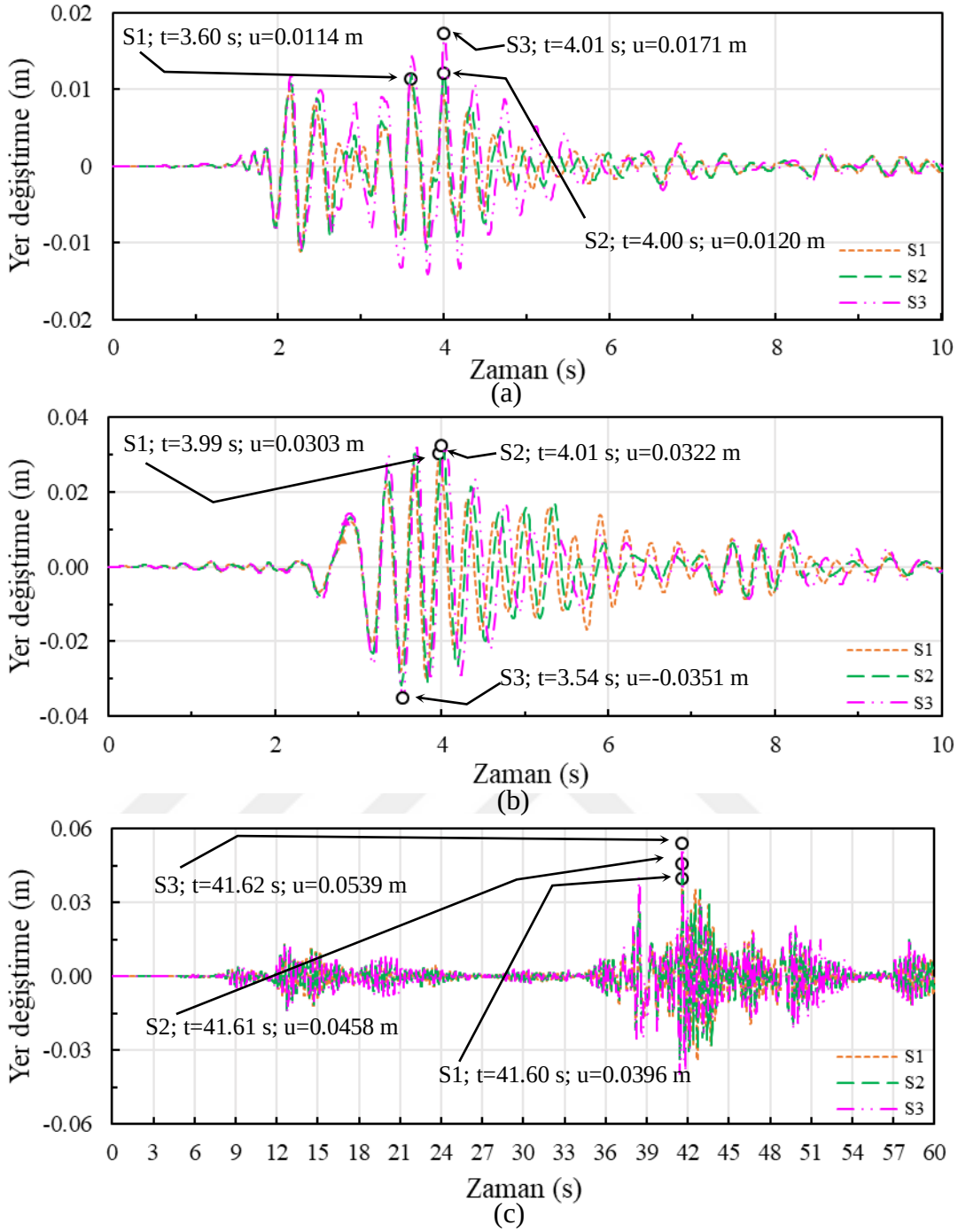
2.8.1.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 (1 kat gömülü sistem) olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 86'da verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, birinci kat seviyesine kadar yer değiştirmelerin genel olarak ihmal edilebilir düzeylerde kaldığı ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı gözlenmektedir. Maksimum yer değiştirmeler; yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga ve Whittier Narrows depremleri için sırasıyla S3 ve S1'de, orta frekans içeriğine sahip Kobe ve Parkfield depremleri için S3'te ve düşük frekans içeriğine sahip Erzincan ve Pazarcık depremleri için sırasıyla S1 ve S3'te ortaya çıkmaktadır. Ayrıca yer değiştirme büyüklüğü açısından en kritik yer hareketi, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.



Şekil 86. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 87'de yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi dikkate alınan depremler arasından 1 yüksek, 1 orta ve 1 düşük frekans içerikli deprem seçilerek verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, seçilen üç deprem etkisi altında da zemin rijitliğindeki azalışla yer değiştirmelerde artışlar görülmektedir. Şekil 87a'da S1 için 0.0114 m olan yer değiştirmenin, S2 ve S3 zeminlerinde sırasıyla %5.3 artışla 0.0120 m ve %50 artışla 0.0171 m olduğu görülmektedir. Şekil 87b'de S1 için 0.0303 m olan yer değiştirmenin, S2 ve S3 zemin tiplerinde sırasıyla %6.3 artışla 0.0322 m ve %15.8 artışla 0.0351 m'ye ulaştığı göze çarpmaktadır. Benzer şekilde, Şekil 87c'de S1 için 0.0396 m düzeyinde olan yer değiştirmenin, S2 ve S3 koşullarında sırasıyla %15.7 artışla 0.0458 m ve %36.1 artışla 0.0539 m mertebesine yükseldiği gözlenmektedir.

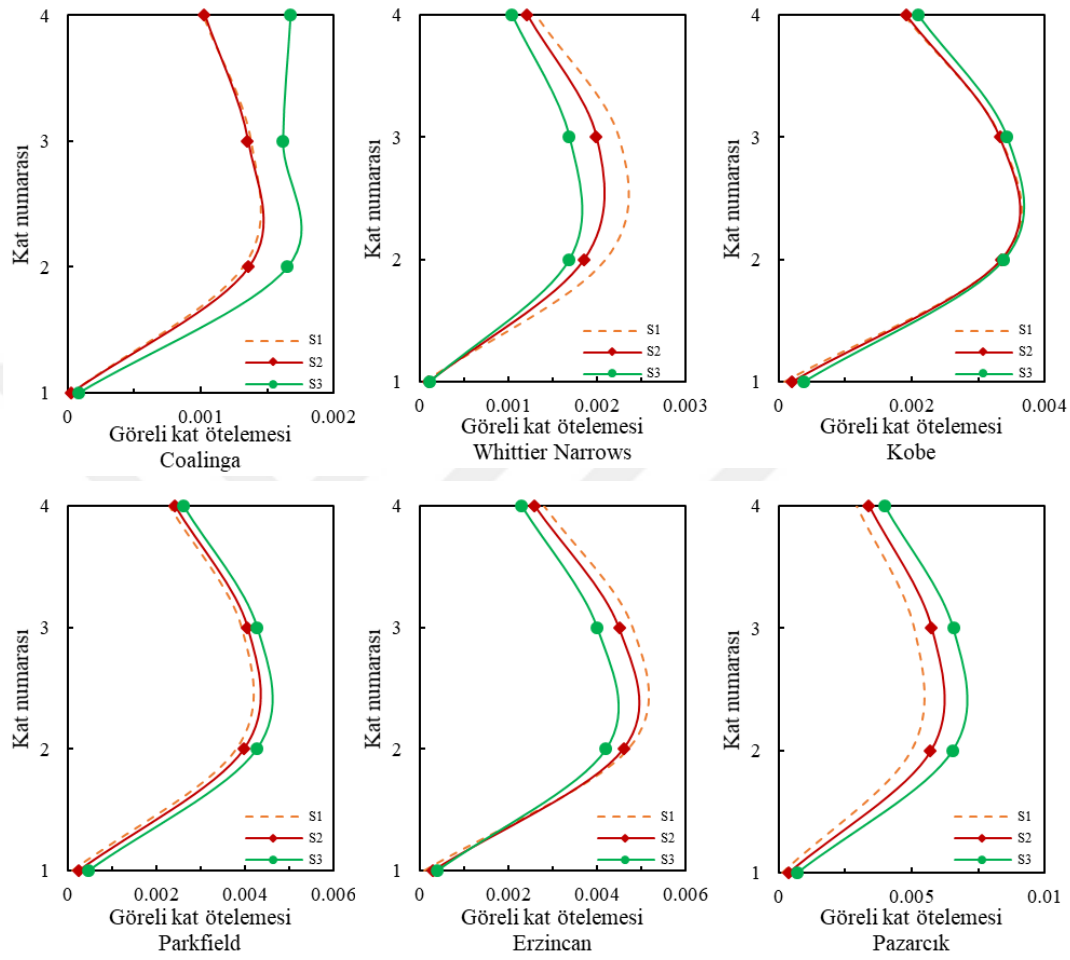


Şekil 87. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.1.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 88'de verilmektedir. Ötelemeler açısından en kritik değerlerin genellikle 2. ve 3. kat seviyelerinde meydana geldiği görülmektedir. Bu ötelemeler; yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga ve Whittier Narrows depremlerinde sırasıyla S3'te 0.0017 ve S1'de 0.0022, orta frekans içerikli Kobe ve Parkfield depremlerinde S3'te sırasıyla 0.0034 ve 0.0043 ve düşük frekans içerikli Erzincan ve

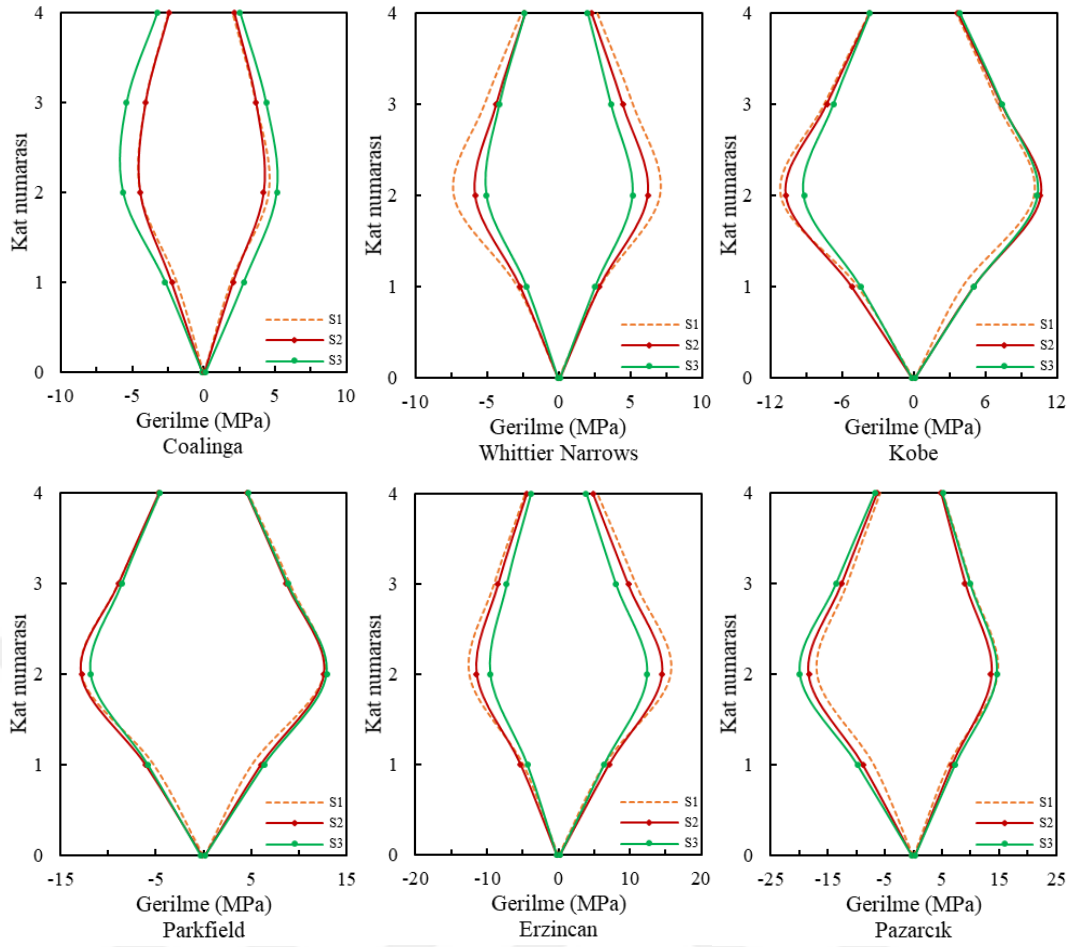
Pazarcık depremlerinde sırasıyla S1'de 0.0048 ve S3'te 0.0066 mertebelerinde olmaktadır. Burada zemin koşullarının ve deprem frekans içeriğinin maksimum göreli kat ötelemeleri üzerinde oldukça etkili olduğu ve yüksek frekans içeriğinden düşük frekans içeriğine doğru bu ötelemelerin arttığı görülmektedir.



Şekil 88. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

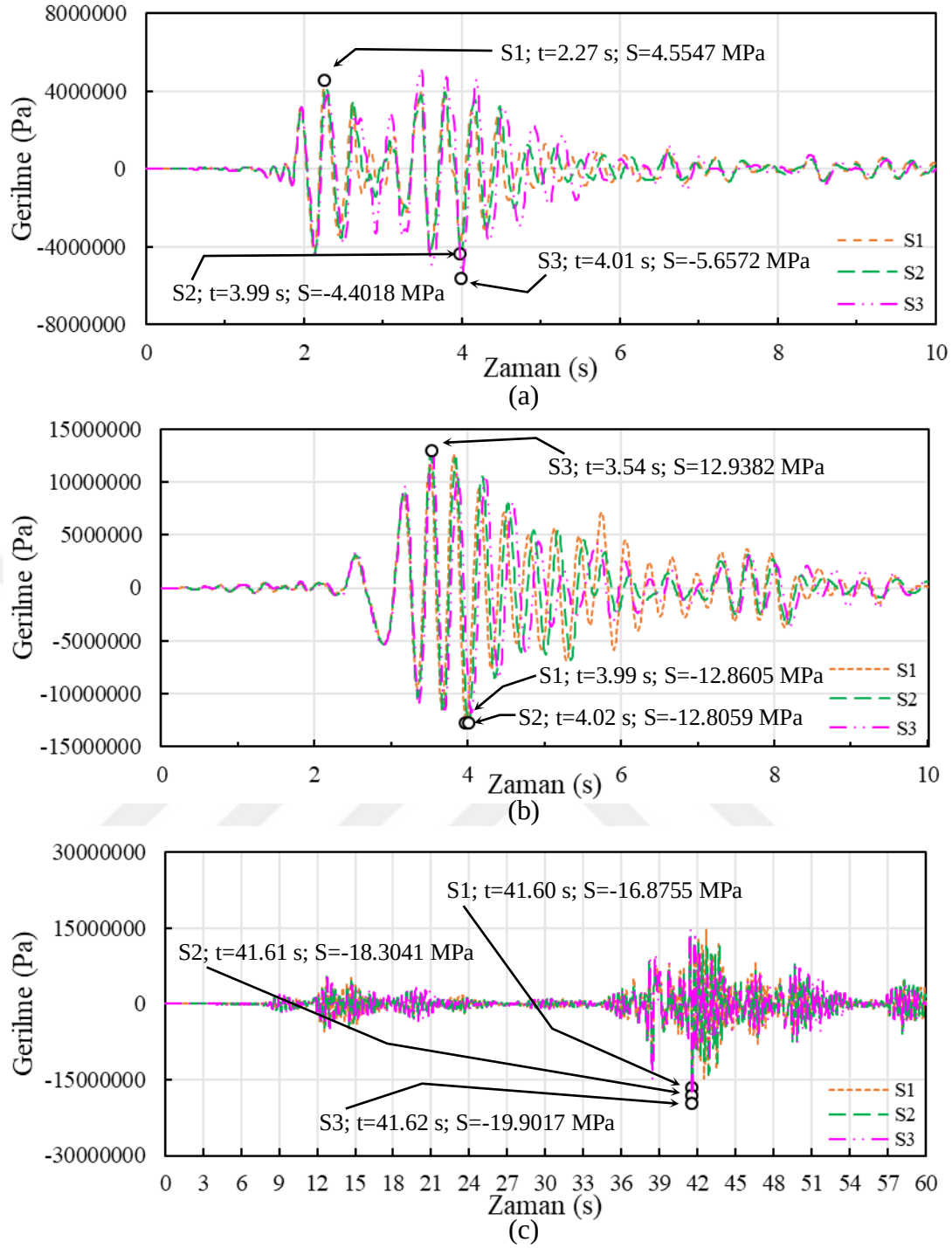
2.8.1.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 89'da verilmektedir. Tüm deprem yüklemelerinde ikinci kat seviyesinde maksimum değerlere ulaşılmaktadır. Bu kat seviyesinde Whittier Narrows, Kobe ve Erzincan depremlerinde zemin rijitliğindeki azalma ile gerilmelerin azaldığı, Coalinga, Parkfield ve Pazarcık depremlerinde ise genel olarak artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Bu çerçevede etkileşimin ve deprem karakteristiklerinin gerilmeler üzerinde değişik oranlarda ve yönlerde farklılığa yol açtığı belirtilebilir. İlaveten gerilme büyüklüğü açısından en kritik depremin, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremi olduğu aşikârdır.



Şekil 89. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 90'da seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 90a'da Coalinga depreminde S1 için gerilme 4.5547 MPa iken, S2 ve S3 için sırasıyla %3.4 azalışla 4.4018 MPa ve %24.2 artışla 5.6572 MPa olmaktadır. Şekil 90b'de Parkfield depreminde S1 koşullarında gerilme 12.8605 MPa iken, S2 ve S3 koşullarında sırasıyla %0.4 azalışla 12.8059 MPa ve %0.6 artışla 12.9382 MPa değerine ulaşmaktadır. Şekil 90c'de Pazarcık depreminde S1 için gerilme 16.8755 MPa iken, S2 ve S3 için sırasıyla %8.5 artışla 18.3041 MPa ve %17.9 artışla 19.9017 MPa mertebesinde elde edilmektedir.

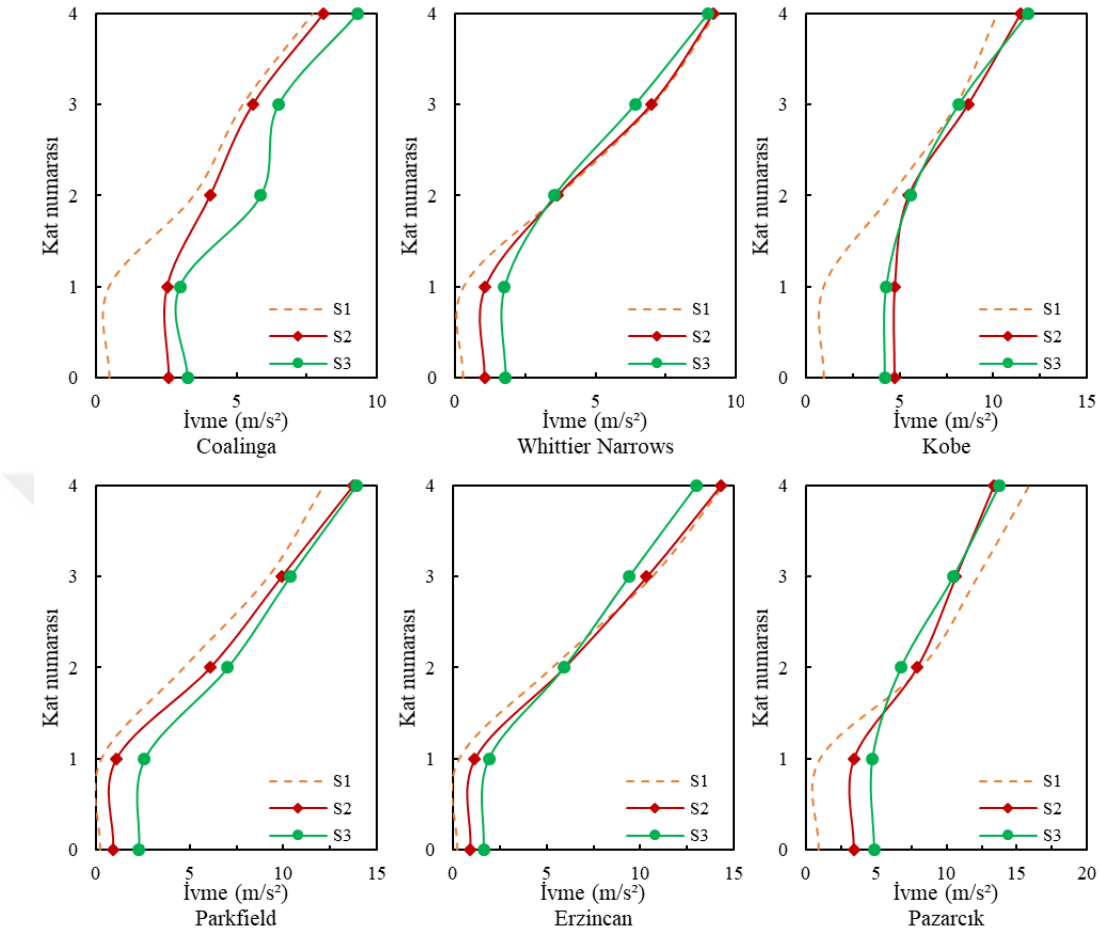


Şekil 90. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.1.1.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

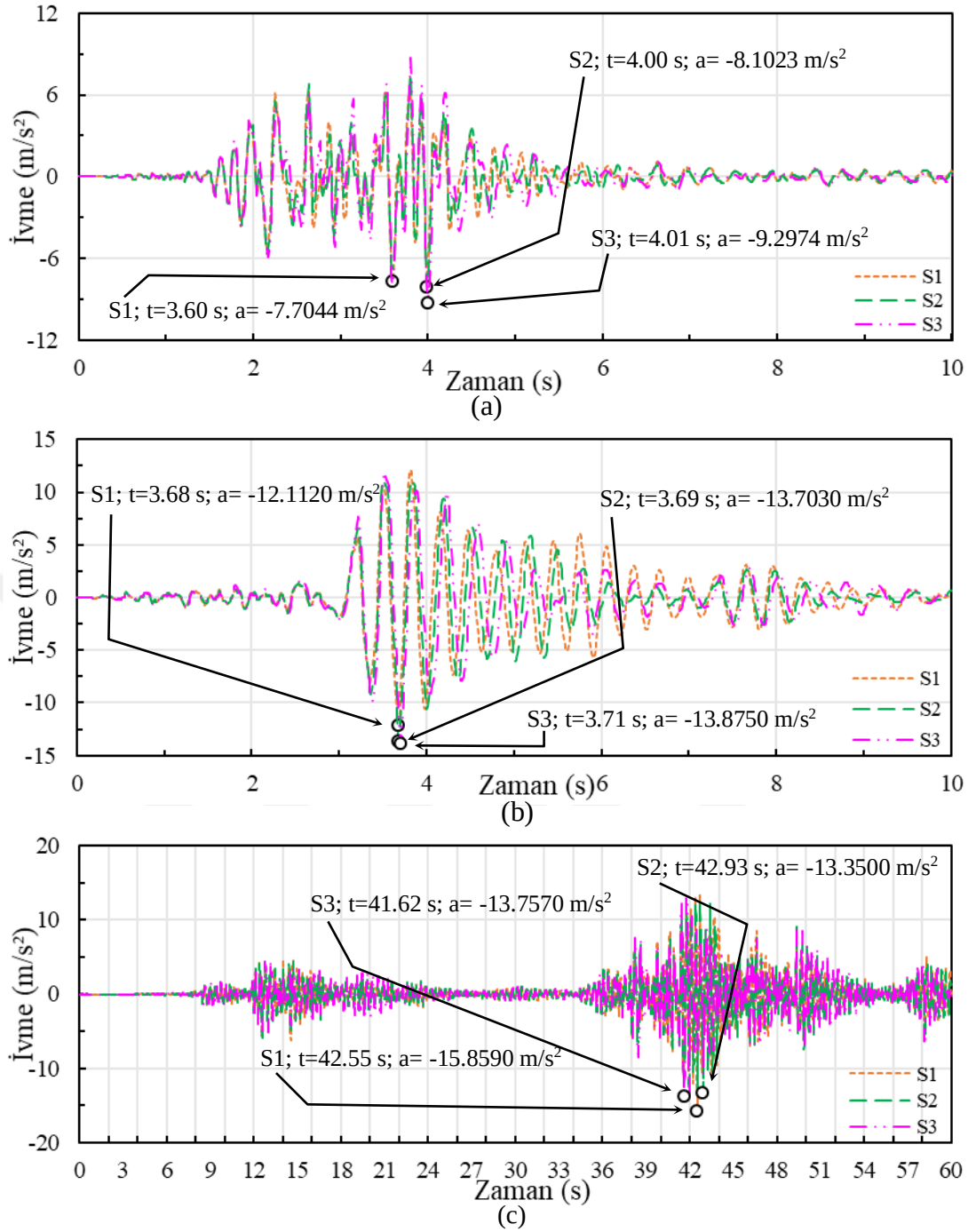
Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 91'de verilmektedir. İvmelerin gömülü kat yüksekliği boyunca sabit kaldığı ve bu kat seviyesinden sonra artarak son kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Son kat seviyesinde Coalinga, Kobe ve

Parkfield depremlerinde S3; Whittier Narrows, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde ise S1 koşullarında ivmeler maksimum olmaktadır.



Şekil 91. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 92'de seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 92a'da Coalinga depreminde S1 için ivme 7.7044 m/s^2 iken, S2'de %5.2 artışla 8.1023 m/s^2 ve S3'te %20.7 artışla 9.2974 m/s^2 olmaktadır. Şekil 92b'de Parkfield depreminde S1 için ivme 12.1120 m/s^2 iken, S2'de %13.1 artışla 13.7030 m/s^2 ve S3'te %14.6 artışla 13.8750 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 92c'de Pazarcık depreminde S1 koşullarında ivme 15.8590 m/s^2 iken, S2'de %15.8 azalışla 13.3500 m/s^2 ve S3'te %13.3 azalışla 13.7570 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



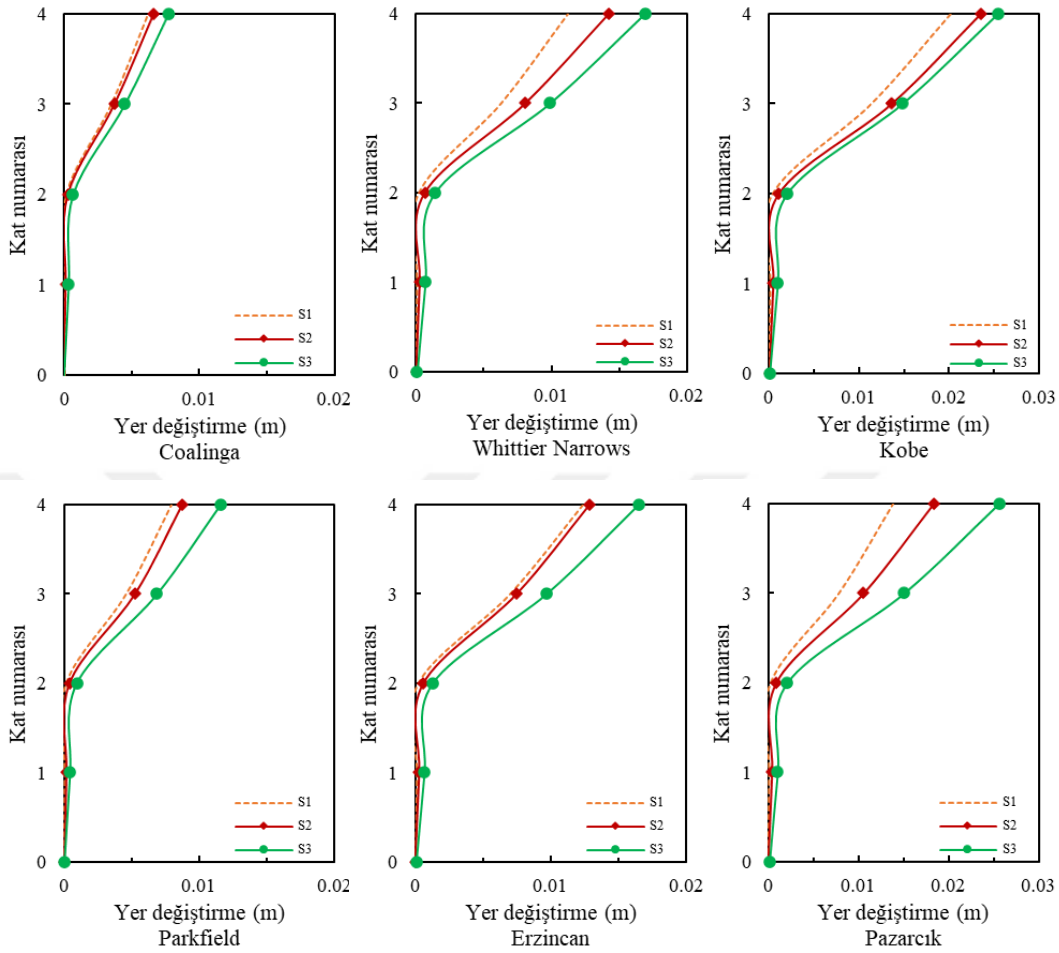
Şekil 92. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.1.2. 2e/L=1 Durumu

2.8.1.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

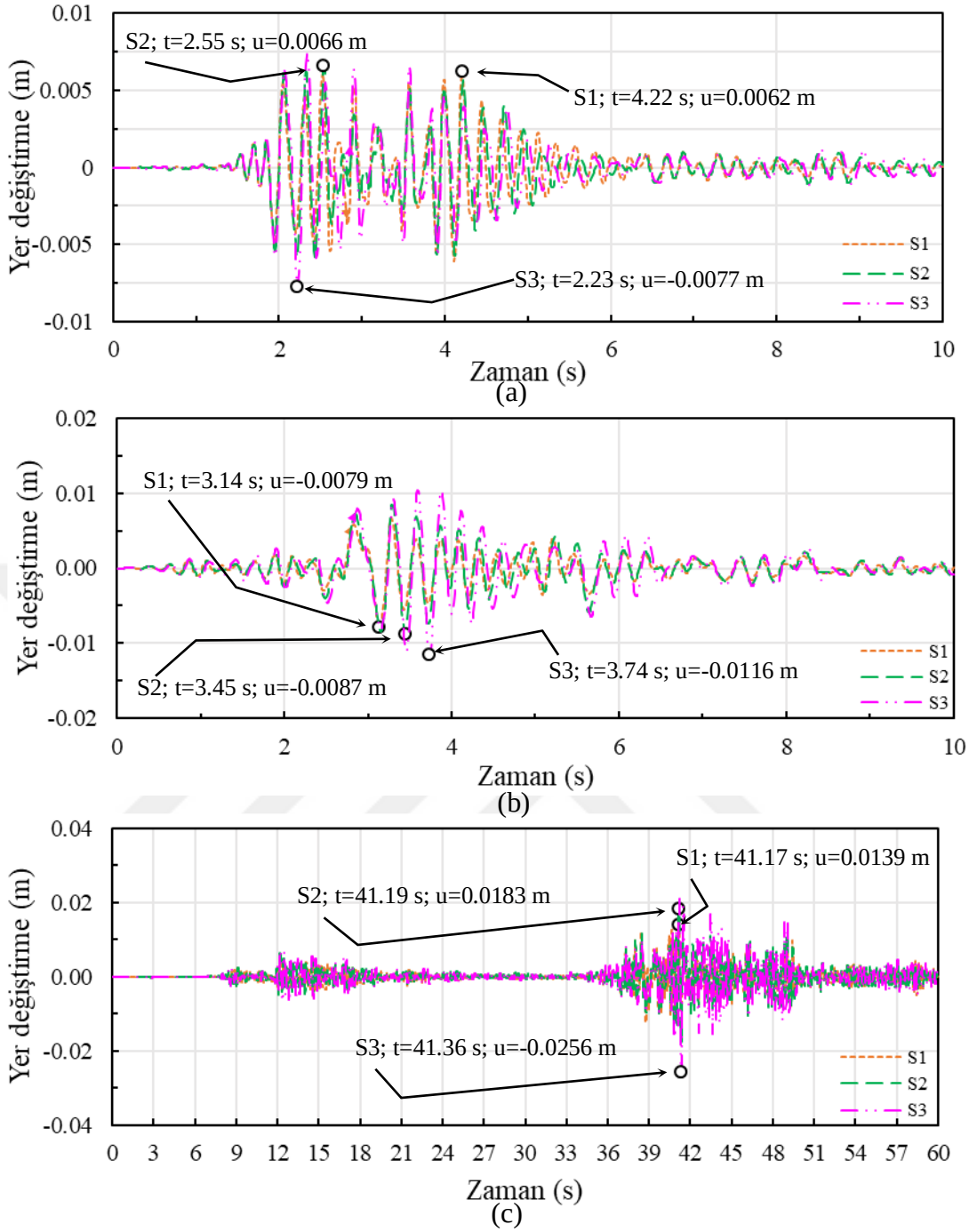
Gömülme oranının 1 (2 kat gömülü sistem) olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 93'te verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, gömülü kat seviyesine kadar yer değiştirmelerin genellikle ihmal edilebilir seviyelerde kaldığı ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat seviyesinde

maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Maksimum yer değiştirmeler tüm deprem koşullarında S3 zemininde ortaya çıkmaktadır.



Şekil 93. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

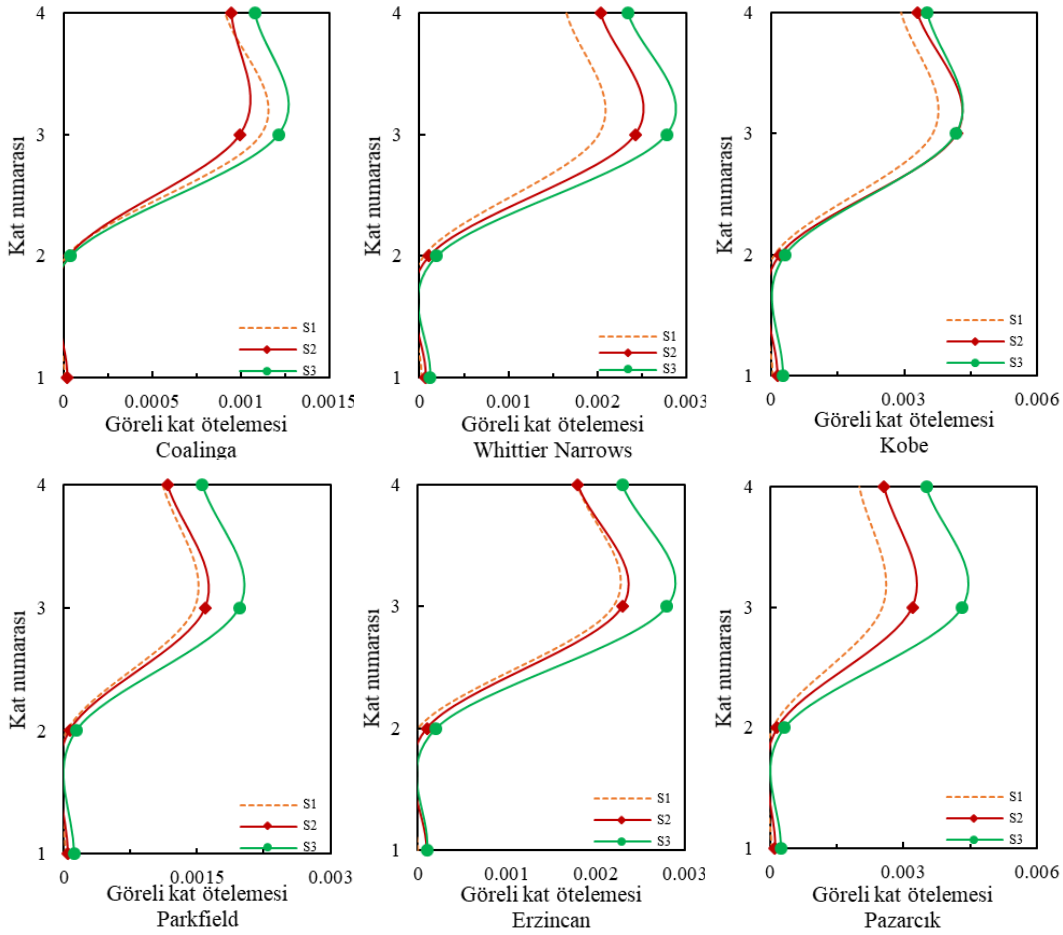
Şekil 94'te seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Bu şekilde, zemin rijitliğindeki azalmanın yer değiştirmelerde artışa sebep olduğu görülmektedir. Şekil 94a'da S1'de 0.0062 m olan yer değiştirmenin, S2 ve S3 zemin tiplerinde sırasıyla %6.5 artışla 0.0066 m ve %24.2 artışla 0.0077 m olduğu görülmektedir. Şekil 94b'de S1 için 0.0079 m olan yer değiştirme, S2 ve S3 zemin türlerinde sırasıyla %10.1 artışla 0.0087 m ve %46.8 artışla 0.0116 m olmaktadır. Şekil 94c'de S1 koşullarında 0.0139 m olan yer değiştirme, S2 ve S3 koşullarında sırasıyla %31.7 artışla 0.0183 m ve %84.2 artışla 0.0256 m olarak elde edilmektedir.



Şekil 94. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.1.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

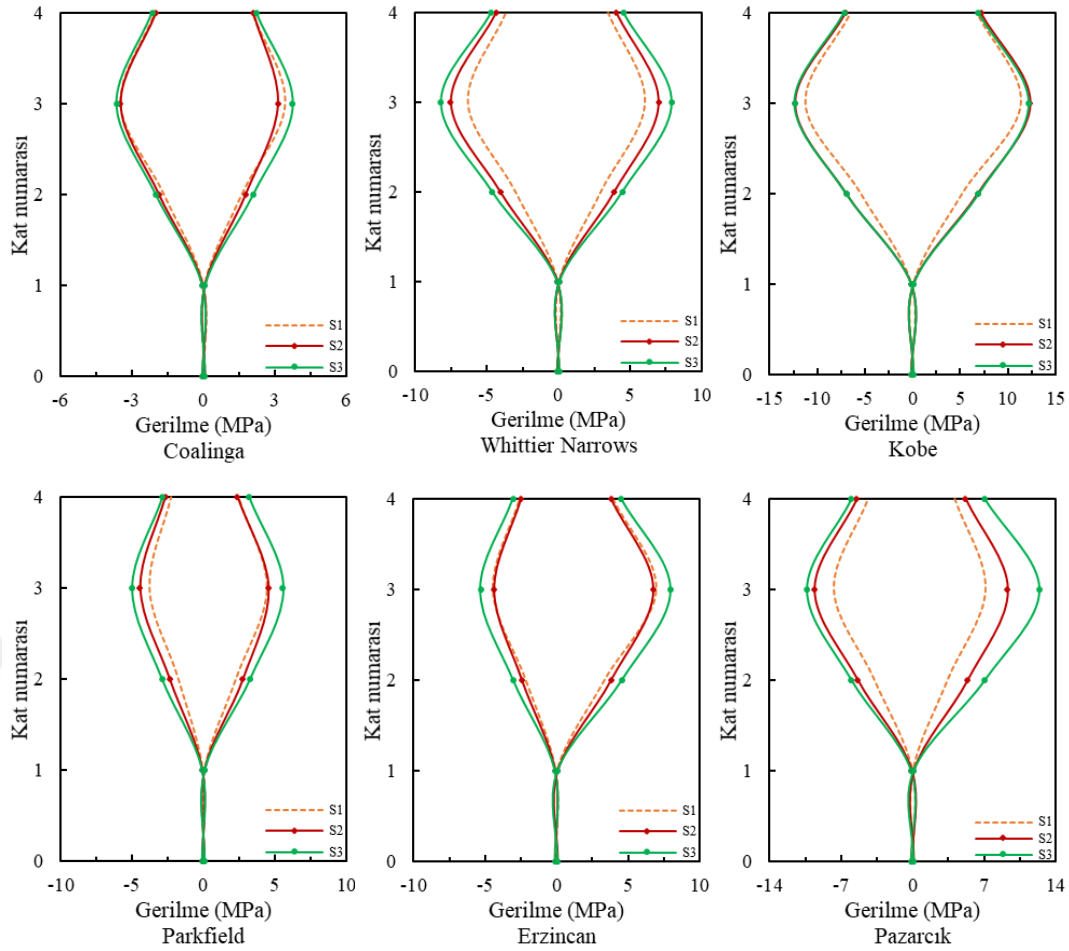
Gömülme oranının 1 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 95'de verilmektedir. Ötelemeler bakımından en kritik değerler üçüncü kat civarında meydana gelmektedir.



Şekil 95. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

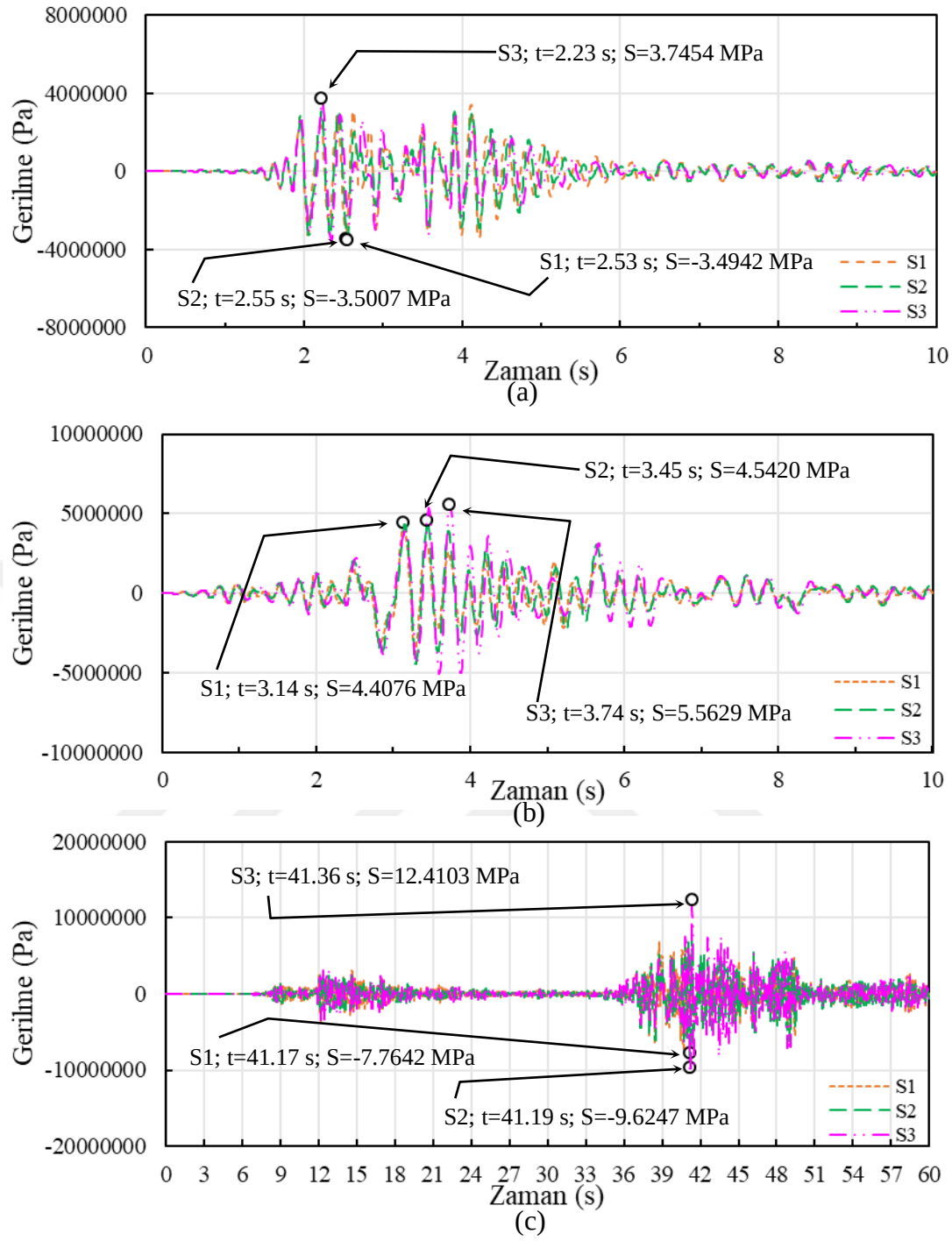
2.8.1.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 96'da verilmektedir. Tüm deprem yüklemelerinde üçüncü kat seviyesinde maksimum değerlere ulaşılmakta ve zemin rijitliğindeki azalma gerilmelerde artışa sebep olmaktadır.



Şekil 96. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

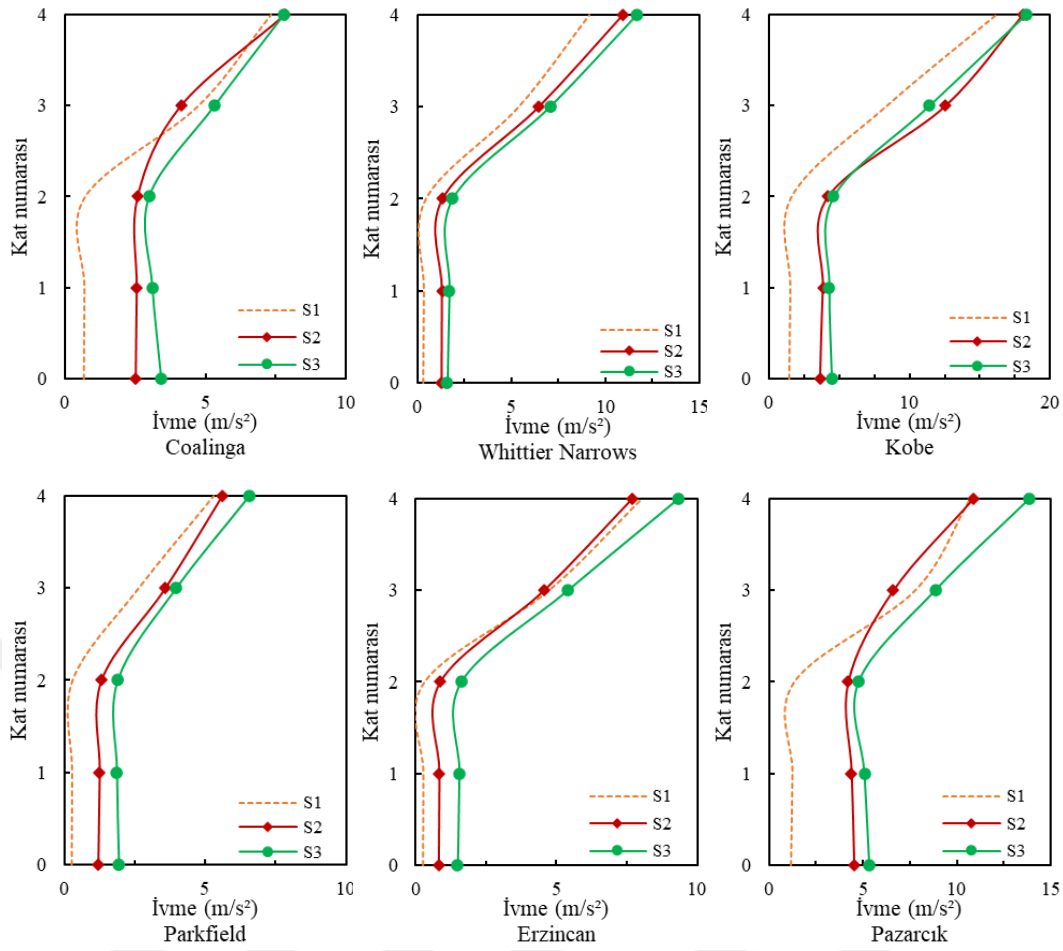
Şekil 97'de seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 97a'da S1 için gerilme 3.4942 MPa iken, S2 ve S3 için sırasıyla %0.2 artışla 3.5007 MPa ve %7.2 artışla 3.7454 MPa olmaktadır. Şekil 97b'de S1 şartlarında gerilme 4.4076 MPa iken, S2 ve S3 şartlarında sırasıyla %3.1 artışla 4.5420 MPa ve %26.2 artışla 5.5629 MPa değerlerine ulaşmaktadır. Şekil 97c'de S1 için gerilme 7.7642 MPa iken, S2 ve S3'te sırasıyla %23.1 artışla 9.6247 MPa ve %59.8 artışla 12.4103 MPa olarak elde edilmektedir. Bu karşılaştırmalarda, düşük frekans içerikli depremlerde gerilme mertebelerinde önemli artışlar olabileceği ve bu tür depremlerde zemin yumuşadıkça artış oranlarının oldukça büyüyebileceği dikkat çekmektedir.



Şekil 97. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

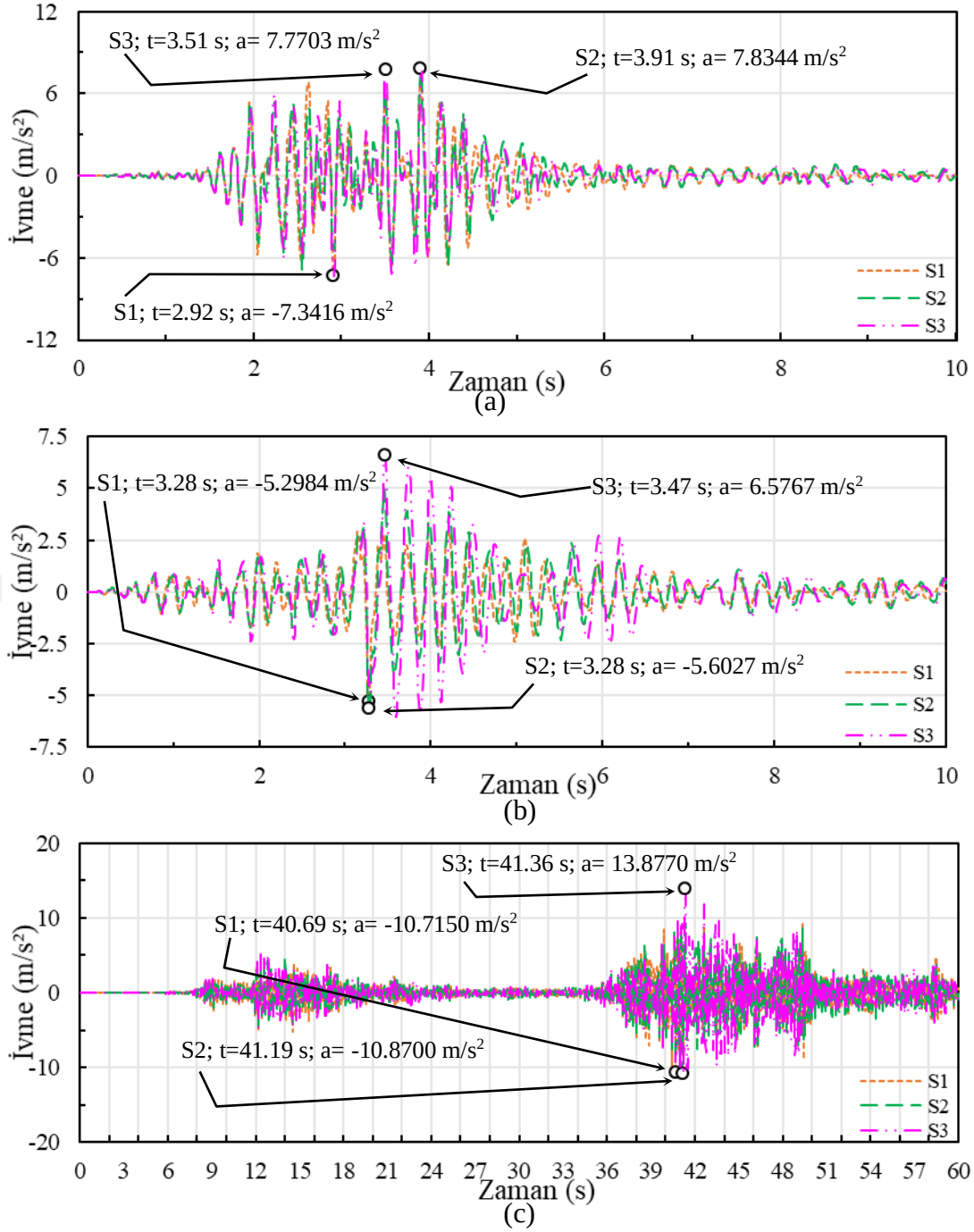
2.8.1.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 98'de verilmektedir. İvmelerin gömülü katlar boyunca sabit kaldığı ve bu kat seviyesinden sonra artarak son kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Son kat seviyesinde Coalinga depreminde S2, diğer depremlerde ise S3 koşullarında ivmeler maksimum olmaktadır.



Şekil 98. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

Şekil 99'da seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 99a'da S1 zemin tipi için ivme 7.3416 m/s^2 iken, bu değer S2'de %6.7 artışla 7.8344 m/s^2 ve S3'te %5.8 artışla 7.7703 m/s^2 olmaktadır. Şekil 99b'de S1 için ivme 5.2984 m/s^2 iken, S2'de %5.7 artışla 5.6027 m/s^2 ve S3'te %24.1 artışla 6.5767 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 99c'de S1 koşullarında ivme 10.7150 m/s^2 iken, S2'de %1.5 artışla 10.8700 m/s^2 ve S3'te %29.5 artışla 13.8770 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



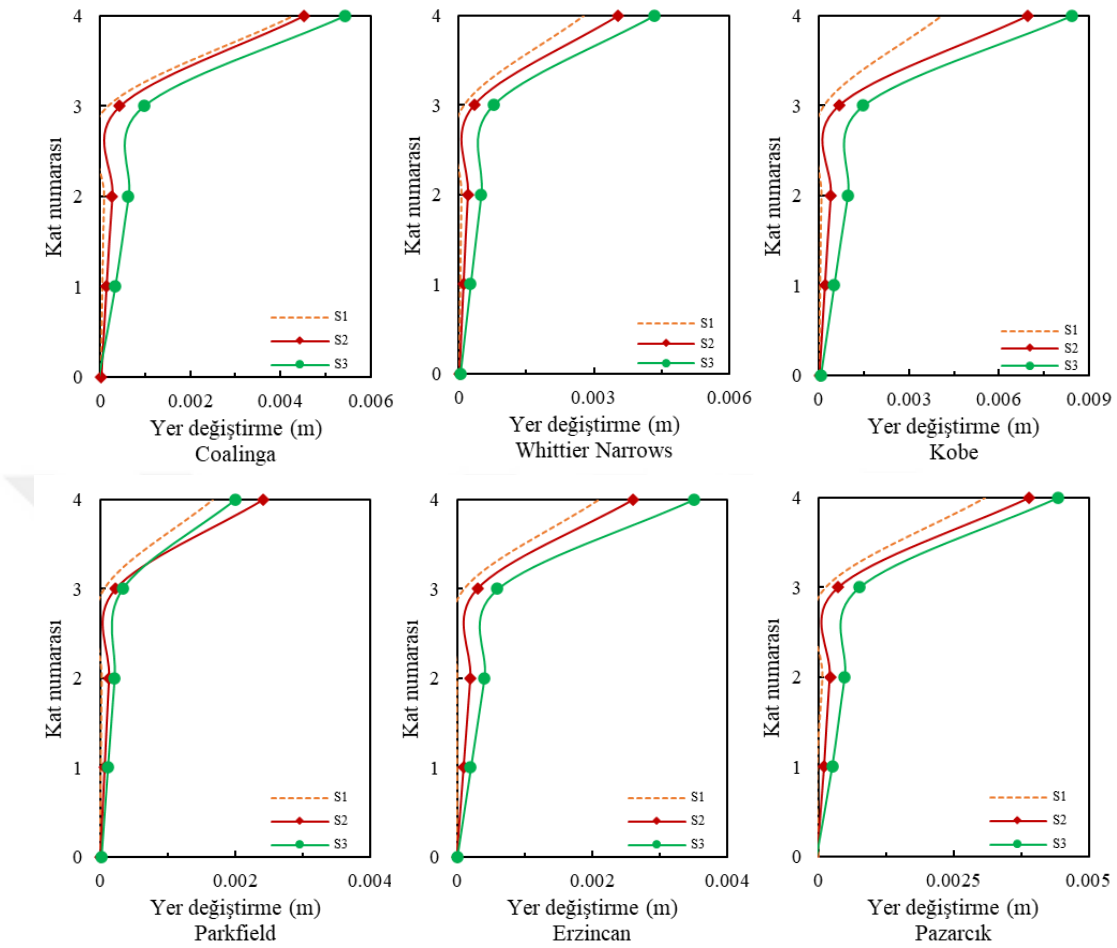
Şekil 99. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.1.3. 2e/L=1.5 Durumu

2.8.1.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

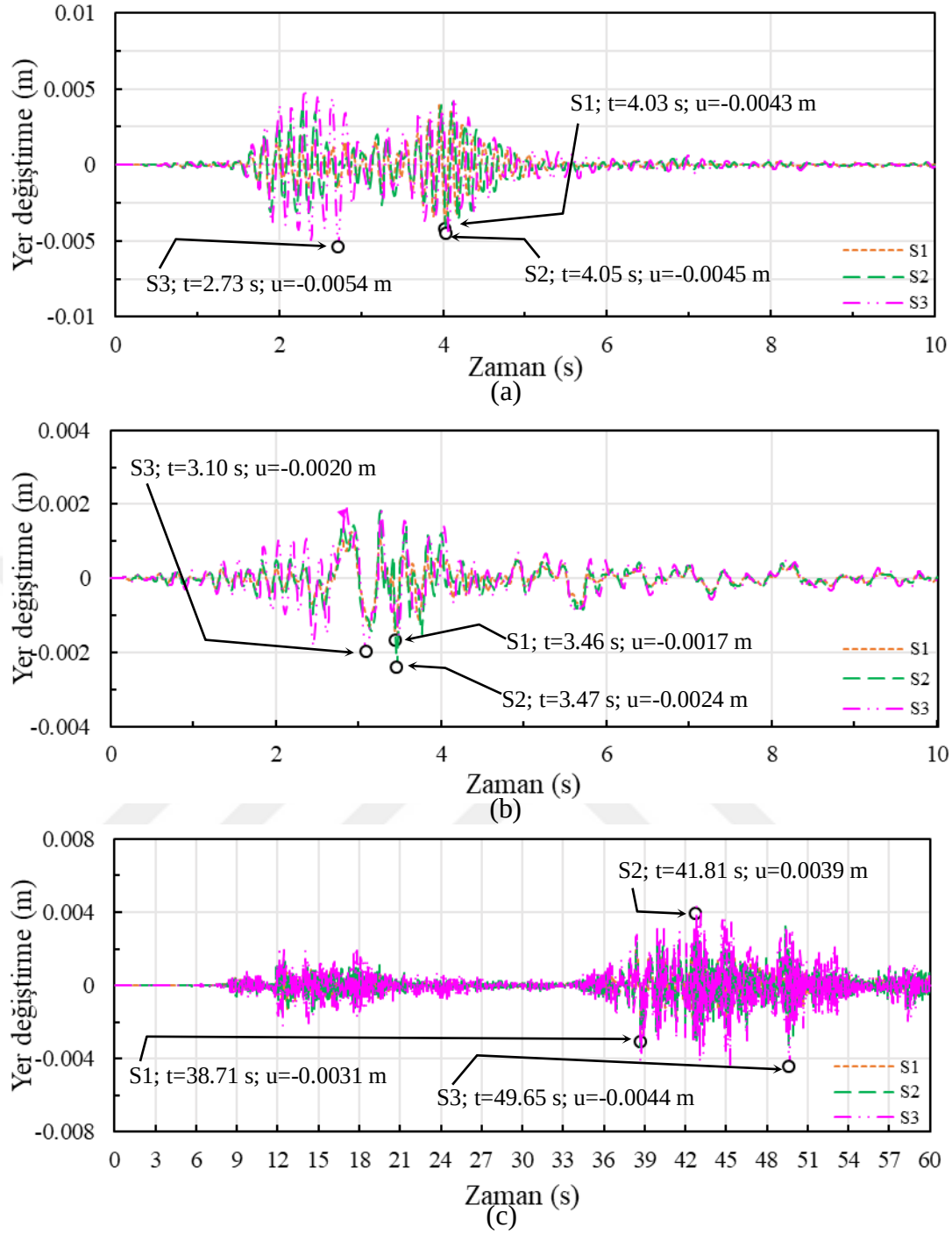
Gömülme oranının 1.5 (3 kat gömülü sistem) olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 100'de verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, gömülü kat seviyesine kadar yer değiştirmelerin genel olarak ihmal edilebilir düzeyde kaldığı ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat seviyesinde maksimum olduğu görülmektedir. Maksimum yer değiştirmeler, orta frekans içeriğine

sahip Parkfield depremi haricinde S3 koşullarında meydana gelmektedir. Parkfield depreminde ise maksimum yer değiştirme S2 koşullarında gerçekleşmektedir.



Şekil 100. 4 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

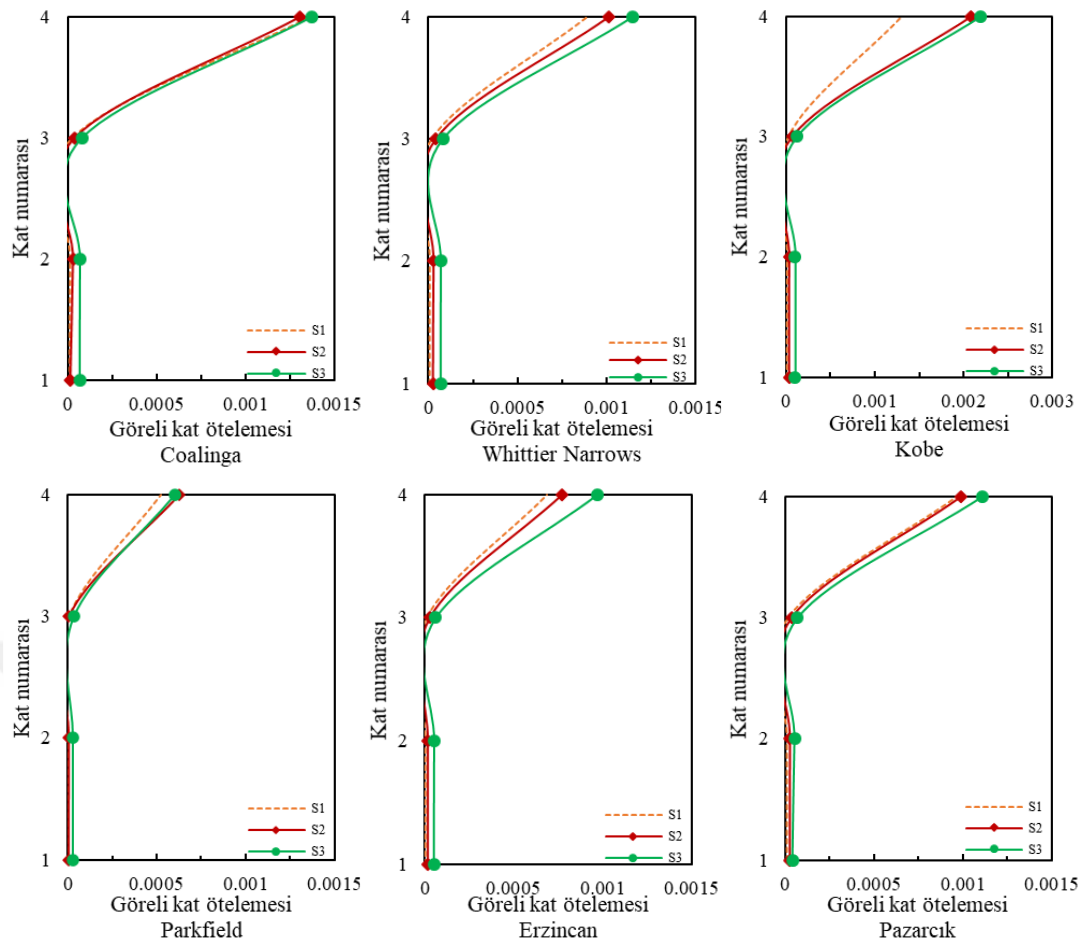
Şekil 101'de seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Bu şekilde, zemin rijitliğinin azalmasıyla genel olarak yer değiştirmelerin arttığı söylenebilir. Şekil 101a'da S1'de 0.0043 m olan yer değiştirmenin, S2 ve S3 zemin tiplerinde sırasıyla %4.7 artışla 0.0045 m ve %25.6 artışla 0.0054 m olduğu görülmektedir. Şekil 101b'de S1'de 0.0017 m olan yer değiştirme, S2 ve S3 şartlarında sırasıyla %41.2 artışla 0.0024 m ve %17.7 artışla 0.0020 m mertebesine ulaşmaktadır. Şekil 101c'de S1 için yer değiştirme değeri 0.0031 m iken, S2 ve S3 için sırasıyla %25.8 artışla 0.0039 m ve %41.9 artışla 0.0044 m olmaktadır.



Şekil 101. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

2.8.1.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

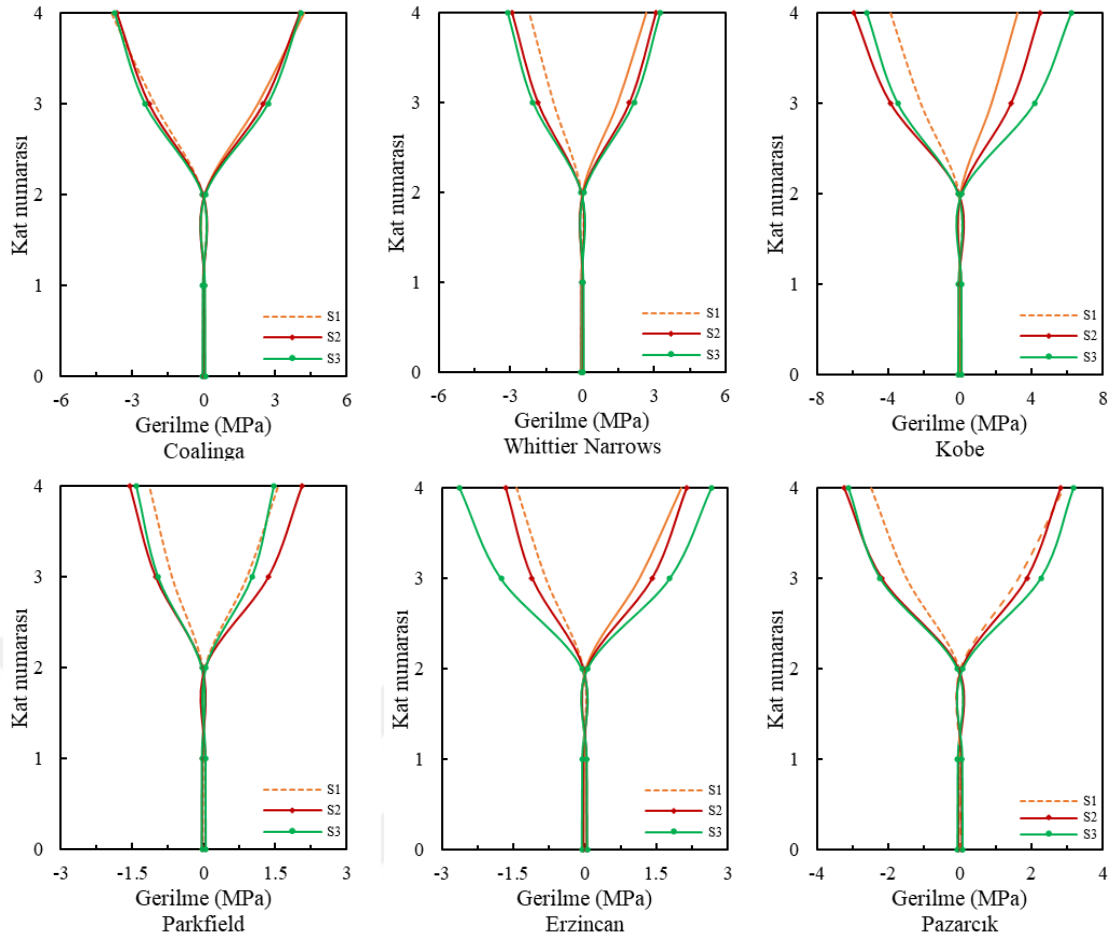
Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 102'de verilmiştir. Bu şekilde, gömülme yüksekliği boyunca göreli ötelemelerin hemen hemen sıfır düzeyinde kaldığı ve maksimum değerlerin dördüncü katta meydana geldiği açıktır.



Şekil 102. 4 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

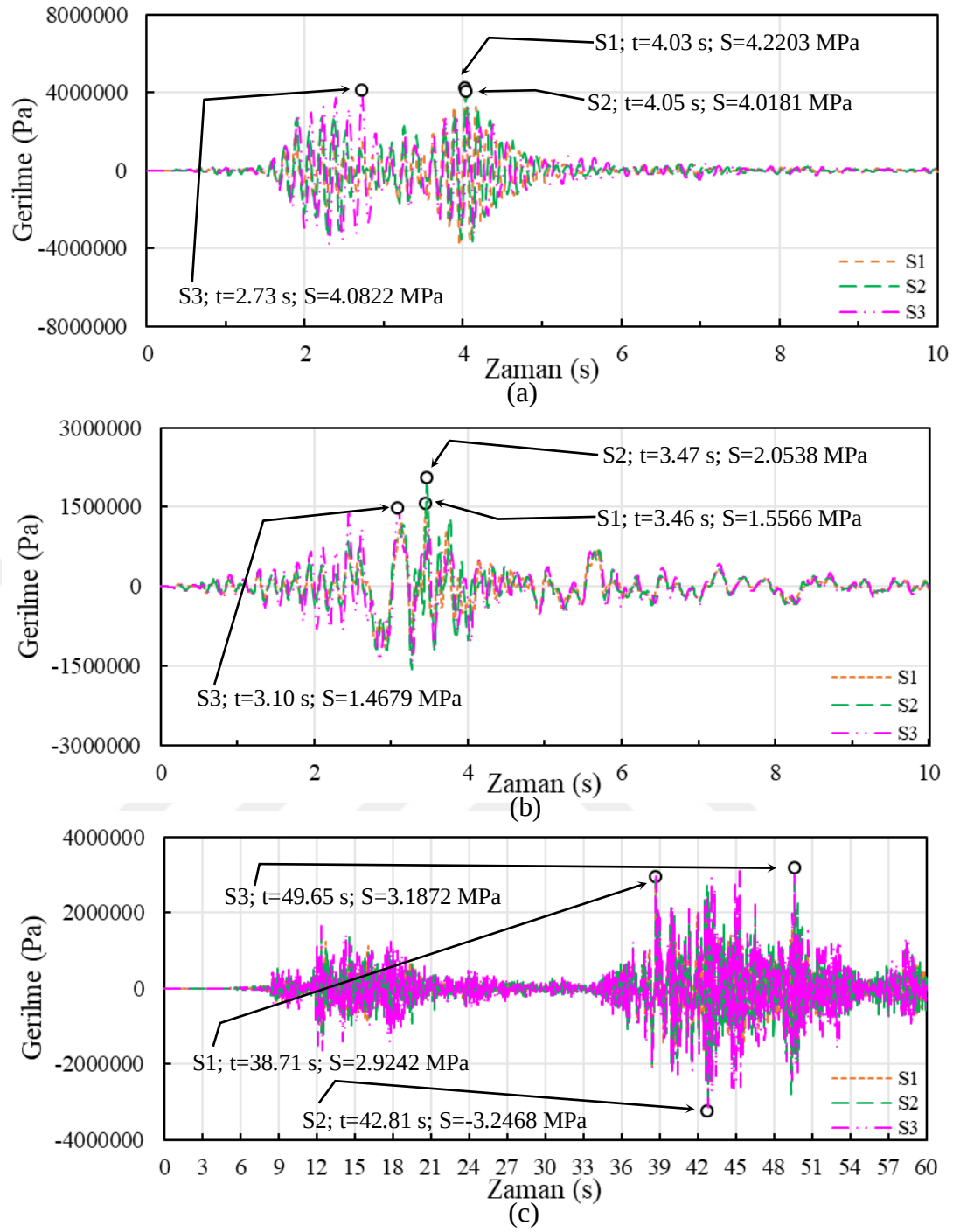
2.8.1.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 103'te sunulmuştur. İkinci kat seviyesine kadar gerilmelerin çok küçük düzeylerde kaldığı ve bu kattan sonra artarak tüm deprem yüklemelerinde dördüncü kat seviyesinde en büyük değerlere ulaştığı gözlenmektedir.



Şekil 103. 4 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

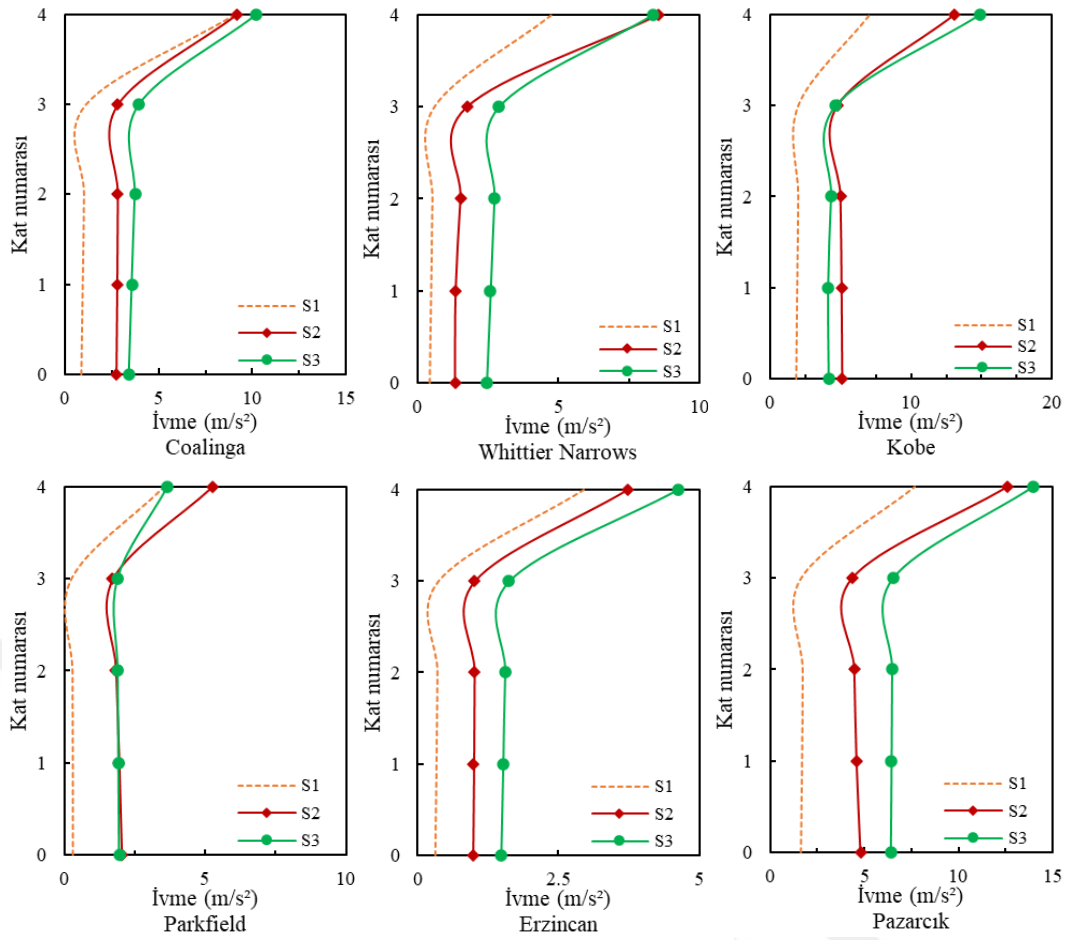
Şekil 104'te seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 104a'da S1 için gerilme 4.2203 MPa iken, S2 ve S3 için sırasıyla %4.8 azalışla 4.0181 MPa ve %3.3 azalışla 4.0822 MPa değerine düşmektedir. Şekil 104b'de S1 zemin tipinde gerilme 1.5566 MPa iken, S2 ve S3 zemin tiplerinde sırasıyla %31.9 artışla 2.0538 MPa ve %5.7 azalışla 1.4679 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 104c'de S1 için gerilme 2.9242 MPa iken, S2 ve S3 için sırasıyla %11 artışla 3.2468 MPa ve %9 artışla 3.1872 MPa değerlerine ulaşmaktadır.



Şekil 104. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 4 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

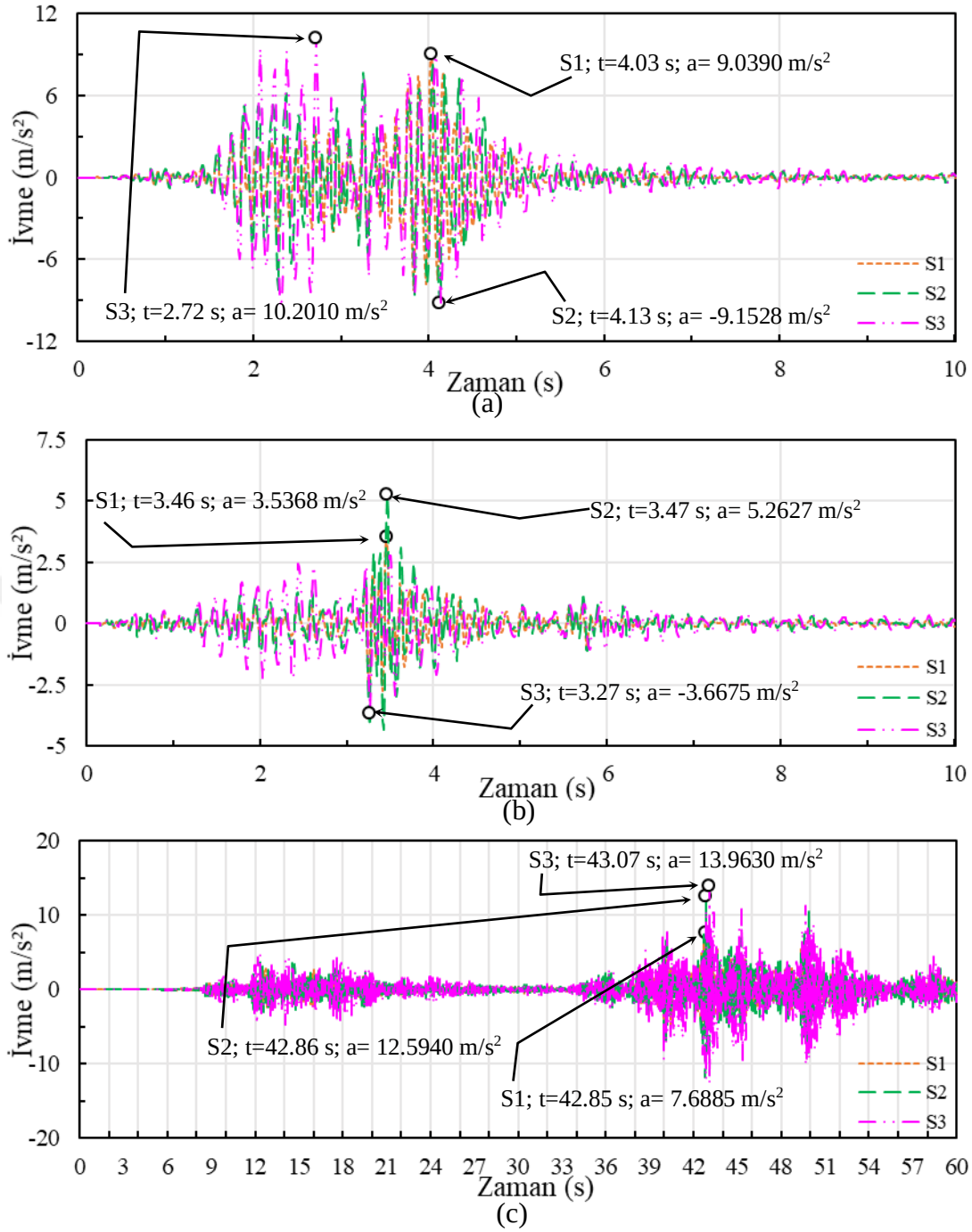
2.8.1.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 105'te verilmektedir. İvmelerin gömülü katlar boyunca genellikle sabit kaldığı ve üçüncü kat seviyesinden sonra artarak son kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Son kat seviyesinde Whittier Narrows ve Parkfield depremlerinde S2, diğer depremlerde ise S3 koşullarında ivmeler maksimum olmaktadır.



Şekil 105. 4 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

Şekil 106'da seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 106a'da S1 için ivme 9.0390 m/s^2 iken, S2 için %1.3 artışla 9.1528 m/s^2 ve S3 için %12.9 artışla 10.2010 m/s^2 olmaktadır. Şekil 106b'de S1 için ivme 3.5368 m/s^2 iken, S2 için %48.8 artışla 5.2627 m/s^2 ve S3 için %3.7 artışla 3.6675 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 106c'de S1 koşullarında ivme 7.6885 m/s^2 iken, S2'de %63.8 artışla 12.5940 m/s^2 ve S3'te %81.6 artışla 13.9630 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



Şekil 106. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık 4 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

2.8.2. 8 Katlı Yapının Analizi

8 katlı yapının 3 farklı gömülme oranına bağlı olarak yapılan dinamik analizleri sonucu elde edilen rölatif yatay yer değiştirme değerleri Tablo 113-118'de, göreli kat öteleme değerleri Tablo 119-124'te, gerilme değerleri Tablo 125-130'da ve ivme değerleri Tablo 131-136'da verilmektedir.

Tablo 113. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
8	-0.0157	-0.0186	-0.0219	-0.0169	-0.0159	-0.0169	-0.0175	-0.0166	-0.0172
7	-0.0140	-0.0173	-0.0202	-0.0156	-0.0139	-0.0142	-0.0160	-0.0154	-0.0169
6	-0.0123	-0.0152	-0.0175	-0.0136	-0.0125	-0.0113	-0.0134	-0.0134	-0.0154
5	-0.0101	-0.0127	-0.0147	-0.0109	-0.0102	-0.0095	-0.0092	-0.0100	-0.0119
4	-0.0079	-0.0102	-0.0118	-0.0075	-0.0074	-0.0074	-0.0041	-0.0050	-0.0063
3	-0.0054	-0.0071	-0.0084	-0.0035	-0.0039	-0.0042	-0.0002	-0.0006	-0.0014
2	-0.0025	-0.0035	-0.0042	-0.0002	0.0004	-0.0010	-0.0001	-0.0004	-0.0009
1	0.0001	-0.0004	-0.0009	-0.0001	0.0002	-0.0005	-0.0001	-0.0002	-0.0005

u: En büyük yatay yer değiştirme (m)

Tablo 114. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
8	-0.0189	-0.0200	0.0203	0.0142	0.0148	-0.0160	0.0124	0.0137	0.0153
7	-0.0164	-0.0171	0.0181	0.0125	0.0130	-0.0141	0.0109	0.0120	0.0133
6	-0.0128	-0.0142	-0.0152	0.0101	0.0106	0.0114	0.0084	0.0093	0.0104
5	-0.0114	-0.0133	-0.0150	0.0075	0.0080	0.0087	0.0055	0.0062	0.0069
4	-0.0098	-0.0115	-0.0133	0.0048	0.0053	-0.0060	0.0024	0.0029	0.0034
3	-0.0069	-0.0082	-0.0096	0.0021	0.0025	-0.0031	0.0001	0.0005	0.0010
2	-0.0032	-0.0039	-0.0047	0.0001	-0.0004	-0.0008	0.0001	0.0003	0.0006
1	-0.0001	-0.0004	-0.0007	0.0000	-0.0002	-0.0004	0.0000	0.0001	0.0003

Tablo 115. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
8	-0.0600	-0.0695	0.0826	-0.0520	-0.0521	-0.0505	0.0302	0.0379	0.0416
7	-0.0563	-0.0650	0.0765	-0.0480	-0.0480	-0.0460	0.0275	0.0343	0.0375
6	-0.0505	-0.0583	0.0679	-0.0414	-0.0417	-0.0393	0.0227	0.0282	-0.0311
5	-0.0425	-0.0492	0.0570	-0.0324	-0.0331	-0.0310	0.0158	0.0198	-0.0223
4	-0.0326	-0.0381	0.0441	-0.0217	-0.0228	-0.0216	0.0074	0.0098	-0.0117
3	-0.0213	-0.0254	0.0299	-0.0098	-0.0114	-0.0123	0.0004	0.0014	0.0027
2	-0.0095	-0.0121	0.0149	-0.0006	-0.0023	-0.0041	0.0002	0.0008	0.0017
1	-0.0005	-0.0015	0.0030	-0.0002	-0.0017	-0.0033	0.0001	0.0004	0.0009

Tablo 116. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
8	-0.1224	-0.1255	-0.1260	-0.1000	-0.1083	-0.1174	-0.0593	-0.0685	-0.0807
7	-0.1142	-0.1164	-0.1165	-0.0923	-0.0996	-0.1074	-0.0536	-0.0619	-0.0726
6	-0.1011	-0.1030	-0.1032	-0.0794	-0.0858	-0.0921	-0.0436	-0.0507	-0.0595
5	-0.0838	-0.0858	-0.0865	-0.0617	-0.0671	-0.0723	-0.0299	-0.0353	-0.0420
4	-0.0633	-0.0656	-0.0670	-0.0405	-0.0448	-0.0493	-0.0137	-0.0173	-0.0217
3	-0.0409	-0.0432	-0.0451	-0.0180	-0.0212	-0.0250	-0.0008	-0.0025	-0.0053

Tablo 116. (Devamı)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
2	-0.0179	-0.0201	-0.0225	-0.0011	-0.0032	-0.0062	-0.0004	-0.0015	-0.0034
1	-0.0010	-0.0027	-0.0046	-0.0004	-0.0016	-0.0032	-0.0002	-0.0008	-0.0018

Tablo 117. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
8	0.1465	0.1585	-0.1668	-0.0858	-0.0975	-0.1140	-0.0449	-0.0540	-0.0646
7	0.1372	0.1468	-0.1536	-0.0801	-0.0901	-0.1042	-0.0408	-0.0491	-0.0588
6	0.1222	0.1292	-0.1349	-0.0702	-0.0786	-0.0893	-0.0335	-0.0408	-0.0492
5	0.1020	0.1066	-0.1117	-0.0560	-0.0630	-0.0708	-0.0232	-0.0289	-0.0356
4	0.0778	0.0805	-0.0852	-0.0379	-0.0436	-0.0494	-0.0108	-0.0143	-0.0187
3	0.0507	0.0526	-0.0569	-0.0173	-0.0212	-0.0255	-0.0006	-0.0020	-0.0043
2	0.0225	0.0246	-0.0284	-0.0010	-0.0030	-0.0060	-0.0003	-0.0012	-0.0027
1	0.0012	0.0034	-0.0061	-0.0004	-0.0014	-0.0031	-0.0001	-0.0006	-0.0015

Tablo 118. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
8	-0.2056	-0.1915	-0.1855	-0.1672	-0.1851	-0.1988	-0.1022	-0.1122	-0.1248
7	-0.1937	-0.1791	-0.1719	-0.1548	-0.1712	-0.1831	-0.0919	-0.1009	-0.1122
6	-0.1743	-0.1604	-0.1532	-0.1338	-0.1488	-0.1595	-0.0742	-0.0822	-0.0920
5	-0.1476	-0.1355	-0.1298	-0.1050	-0.1184	-0.1282	-0.0504	-0.0571	-0.0652
4	-0.1142	-0.1052	-0.1022	-0.0702	-0.0809	-0.0898	-0.0231	-0.0279	-0.0339
3	-0.0755	-0.0705	-0.0702	-0.0318	-0.0391	-0.0463	-0.0013	-0.0041	-0.0081
2	-0.0339	-0.0334	-0.0354	-0.0018	-0.0056	-0.0106	-0.0006	-0.0024	-0.0052
1	-0.0017	-0.0041	-0.0068	-0.0007	-0.0027	-0.0055	-0.0003	-0.0013	-0.0028

Tablo 119. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
8	0.0006	0.0004	0.0006	0.0004	0.0007	0.0009	0.0005	0.0004	0.0001
7	0.0006	0.0007	0.0009	0.0007	0.0005	0.0012	0.0009	0.0007	0.0004
6	0.0007	0.0008	0.0010	0.0009	0.0008	0.0006	0.0014	0.0011	0.0011
5	0.0007	0.0008	0.0009	0.0011	0.0008	0.0006	0.0017	0.0017	0.0017
4	0.0008	0.0010	0.0011	0.0013	0.0011	0.0010	0.0013	0.0012	0.0012
3	0.0009	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0008	0.0000	0.0000	0.0001
2	0.0008	0.0009	0.0010	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001

δ: Göreli kat ötelemesi

Tablo 120. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
8	0.0008	0.0010	0.0010	0.0006	0.0006	0.0007	0.0005	0.0006	0.0007
7	0.0012	0.0009	0.0007	0.0008	0.0008	0.0009	0.0008	0.0009	0.0009
6	0.0004	0.0003	0.0000	0.0009	0.0008	0.0008	0.0010	0.0010	0.0011
5	0.0005	0.0006	0.0005	0.0009	0.0009	0.0007	0.0010	0.0011	0.0011
4	0.0010	0.0011	0.0012	0.0009	0.0009	0.0009	0.0007	0.0007	0.0006
3	0.0012	0.0014	0.0016	0.0007	0.0006	0.0008	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0010	0.0012	0.0013	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Tablo 121. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
8	0.0012	0.0015	0.0020	0.0013	0.0013	0.0015	0.0009	0.0012	0.0013
7	0.0020	0.0023	0.0029	0.0022	0.0021	0.0022	0.0016	0.0020	0.0021
6	0.0027	0.0030	0.0036	0.0030	0.0028	0.0028	0.0023	0.0028	0.0029
5	0.0033	0.0037	0.0043	0.0036	0.0035	0.0032	0.0028	0.0034	0.0035
4	0.0038	0.0042	0.0047	0.0039	0.0038	0.0033	0.0023	0.0028	0.0030
3	0.0039	0.0044	0.0050	0.0031	0.0030	0.0027	0.0001	0.0002	0.0003
2	0.0030	0.0035	0.0040	0.0001	0.0003	0.0004	0.0000	0.0001	0.0002
1	0.0001	0.0004	0.0007	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000

Tablo 122. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
8	0.0027	0.0030	0.0032	0.0026	0.0029	0.0033	0.0019	0.0022	0.0027
7	0.0044	0.0045	0.0044	0.0043	0.0047	0.0051	0.0033	0.0037	0.0043
6	0.0058	0.0057	0.0055	0.0059	0.0062	0.0066	0.0046	0.0051	0.0058
5	0.0068	0.0067	0.0065	0.0071	0.0074	0.0077	0.0054	0.0060	0.0067
4	0.0075	0.0075	0.0072	0.0075	0.0079	0.0080	0.0043	0.0049	0.0055
3	0.0076	0.0076	0.0075	0.0056	0.0059	0.0063	0.0001	0.0003	0.0006
2	0.0057	0.0058	0.0060	0.0002	0.0006	0.0010	0.0001	0.0002	0.0005
1	0.0003	0.0007	0.0011	0.0001	0.0004	0.0007	0.0000	0.0002	0.0004

Tablo 123. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
8	0.0031	0.0039	0.0044	0.0019	0.0025	0.0033	0.0014	0.0016	0.0019
7	0.0050	0.0059	0.0062	0.0033	0.0038	0.0049	0.0024	0.0028	0.0032
6	0.0067	0.0075	0.0077	0.0047	0.0052	0.0061	0.0034	0.0040	0.0045
5	0.0080	0.0087	0.0088	0.0060	0.0065	0.0071	0.0042	0.0049	0.0056
4	0.0090	0.0093	0.0094	0.0069	0.0075	0.0079	0.0034	0.0041	0.0048
3	0.0094	0.0093	0.0095	0.0054	0.0061	0.0066	0.0001	0.0003	0.0005
2	0.0071	0.0071	0.0074	0.0002	0.0005	0.0009	0.0000	0.0001	0.0003
1	0.0003	0.0008	0.0015	0.0001	0.0003	0.0008	0.0000	0.0001	0.0002

Tablo 124. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin Sistemi	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
8	0.0040	0.0041	0.0045	0.0041	0.0046	0.0052	0.0034	0.0038	0.0042
7	0.0065	0.0063	0.0062	0.0070	0.0075	0.0079	0.0059	0.0062	0.0068
6	0.0089	0.0083	0.0078	0.0096	0.0102	0.0105	0.0079	0.0084	0.0090
5	0.0111	0.0101	0.0092	0.0116	0.0125	0.0128	0.0091	0.0098	0.0104
4	0.0129	0.0116	0.0106	0.0128	0.0139	0.0145	0.0073	0.0079	0.0086
3	0.0139	0.0123	0.0116	0.0100	0.0112	0.0119	0.0002	0.0005	0.0010
2	0.0107	0.0098	0.0095	0.0004	0.0010	0.0017	0.0001	0.0004	0.0008
1	0.0005	0.0011	0.0019	0.0002	0.0007	0.0014	0.0001	0.0003	0.0007

Tablo 125. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
8	1.2839	1.3909	-1.8123	1.5420	1.6863	1.6925	-1.8228	2.2972	2.5858
7	2.1301	2.1991	-2.8061	2.6903	3.0805	3.0358	-3.1902	3.8422	-4.1311
6	2.9881	3.0081	3.3303	3.5891	3.9174	3.8915	-3.9580	4.4637	-4.8653
5	3.2857	3.7309	4.1286	4.0933	3.7654	3.4841	5.0968	4.5817	5.0031
4	3.3217	3.7974	3.9951	4.4180	4.1785	-3.3567	5.5293	5.7014	6.2358
3	3.1251	3.6227	-3.8176	4.5592	4.2381	3.6206	1.7209	2.2468	2.5946
2	3.2535	3.9544	4.1265	1.4968	1.8279	1.5811	-0.0399	0.0526	0.0685
1	1.0059	1.4535	-1.6937	0.0424	0.0462	0.0506	0.0238	0.0440	0.0577
S: En büyük gerilme (MPa)									

Tablo 126. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
8	1.6211	1.8011	2.0253	-1.3051	-1.5075	-1.6182	1.4524	1.7577	1.9342
7	2.9454	3.2301	3.5620	-2.3929	-2.6789	-2.8005	2.4585	2.8835	3.1931
6	3.9494	4.2282	4.4555	-3.2023	-3.4398	-3.5110	-3.1503	-3.3485	-3.5012
5	3.9477	4.0115	3.9385	-3.3025	-3.3165	-3.4120	-3.4654	-3.5667	-3.6913
4	3.2137	-3.0611	-3.5879	-3.1442	-3.1649	-3.1914	-3.2606	-3.3475	-3.3917
3	3.7160	4.1424	4.5180	-2.8996	-2.9491	3.2100	-0.9641	1.2356	-1.3438
2	4.2238	4.7296	5.3046	-0.9085	-1.2096	-1.4541	0.0223	0.0277	0.0328
1	1.3879	-1.8354	2.0708	-0.0280	-0.0381	-0.0402	0.0170	-0.0224	-0.0304

Tablo 127. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
8	-2.4122	-2.6119	-2.8997	-3.0364	-3.2203	2.8596	-3.0374	-3.7792	-3.6789
7	-4.4103	-4.6738	5.4042	-5.4942	-5.7458	5.1649	-5.2713	-6.2737	-6.5861
6	6.2896	6.7211	7.7626	7.5835	-7.4361	6.9261	-6.3655	-7.3582	-8.3045
5	8.6780	9.0846	-9.8318	10.1390	9.2174	8.1504	-8.3043	-9.6901	-9.8444
4	10.7674	11.3444	-11.9338	12.1463	11.2271	9.5430	-9.4054	-10.8847	11.1282
3	12.2960	13.0195	-13.4597	12.6830	11.7646	10.1728	-3.0506	-4.1859	4.5059
2	12.3456	13.2657	-13.6276	3.7419	4.2367	4.2429	0.0857	0.1140	-0.1321
1	3.3474	4.5349	-4.7155	-0.1209	-0.1272	-0.1088	0.0441	-0.0591	-0.0709

Tablo 128. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
8	4.1218	3.8509	3.4621	4.4111	4.4213	4.4164	-3.7726	-4.0102	4.2421
7	8.4877	7.9037	7.0625	9.0696	9.1098	9.0557	-7.6278	-7.8819	8.6749
6	14.0858	13.0355	11.5463	15.1212	15.1435	14.9488	-12.5084	13.1118	14.3441
5	18.6010	17.0992	15.0121	20.1701	20.2605	19.8005	-16.3493	17.5974	19.0116
4	21.8640	20.2709	18.0465	23.6484	23.7504	23.0450	17.7476	19.2933	20.6275
3	24.1007	22.6490	20.5136	23.6188	23.6699	22.9891	5.5418	7.3151	8.0747
2	23.5010	22.1728	20.4271	6.6739	8.1643	8.2480	-0.1534	-0.1988	-0.2154
1	6.0960	7.0834	6.9768	-0.2066	-0.2482	-0.2390	-0.0634	-0.0902	-0.0936

Tablo 129. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
8	-4.8154	-5.0549	-4.7729	3.5031	4.1407	4.6207	2.9253	3.2516	3.5527
7	-9.8812	-10.3062	9.6105	7.1449	8.3589	9.2843	5.7812	6.4339	6.9168
6	-16.4778	-16.9361	15.6750	11.9015	13.4725	14.9202	9.2057	10.2187	11.0289
5	-21.9929	-22.1771	20.4773	16.5643	17.6303	19.1473	12.3925	13.9162	15.4099
4	-26.3491	-25.7658	23.8851	20.8929	21.6386	22.1452	13.8410	15.9099	17.8026
3	-29.4356	-27.7532	25.9294	22.3471	23.4925	23.6885	4.3709	6.1346	7.1856
2	-29.2954	-26.7413	25.1961	6.7122	8.6878	9.1295	-0.1170	-0.1586	-0.1852
1	-7.9511	8.8910	8.3529	-0.1992	-0.2450	-0.2620	-0.0480	-0.0708	0.0822

Tablo 130. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
8	5.6264	5.1900	4.6620	7.0495	6.7950	6.4619	6.6520	6.7600	6.9505
7	11.8796	10.7091	9.6755	14.4875	14.2082	13.3384	13.3103	13.5190	13.8862
6	20.7300	18.1060	16.3448	24.3365	24.2661	22.6720	21.4580	21.7907	22.3426
5	29.1687	24.9543	21.9174	32.8940	33.3120	31.6246	27.7589	28.5281	29.2130
4	36.6811	31.0571	26.1835	39.4794	40.7922	39.7198	29.7913	31.0920	32.1132
3	42.7715	35.9360	30.7036	41.0929	43.2115	42.9981	9.2133	11.7327	12.7017
2	43.9361	36.8643	32.5374	12.1112	15.6585	16.3585	-0.2687	-0.3290	-0.3489
1	12.2196	12.4474	11.5000	-0.3832	-0.4653	-0.4715	-0.1080	-0.1478	-0.1565

Tablo 131. Coalinga depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
8	-5.1670	-5.3572	-5.6187	-5.7403	5.7164	6.3480	-5.7248	-6.9949	-8.8086
7	-5.0377	-5.1036	-4.8858	5.5766	-5.4027	-5.4551	5.3230	6.4019	6.4128
6	4.9887	-5.0521	-4.6290	5.3940	-5.7917	-6.2390	6.1213	7.6175	8.4301
5	4.8956	5.1330	5.2218	5.2790	-5.5397	6.7270	-5.6821	-6.3480	8.0378
4	-4.3950	4.9777	5.4848	-4.6856	7.2149	7.1172	3.5041	4.7862	-6.5196
3	-4.5438	4.6628	5.3815	2.7372	6.0504	6.7903	-0.8303	-2.6606	-4.8665
2	-2.9409	-3.2775	-5.1774	-0.7302	-2.6912	4.1056	-0.8461	-2.7494	-5.0252
1	-0.7582	1.8646	-3.5332	-0.7409	-2.5986	4.2798	-0.8521	-2.8263	-5.1591

a: En büyük ivme (m/s^2)

Tablo 132. Whittier Narrows depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
8	-6.0329	-6.3738	-6.8406	-5.4025	-5.3491	-5.9004	-5.6220	-5.8922	-6.0993
7	-5.5605	-5.8201	-6.1103	-4.6642	-4.9013	-5.2999	-4.7824	-4.7689	-4.9669
6	-4.6692	-4.9293	-5.1053	-4.4678	-4.7153	-4.7351	-5.1335	-5.4520	-5.6363
5	-3.7548	-3.8117	4.3317	-3.8526	-3.8182	-3.5879	-4.4980	5.3845	-5.2923
4	-3.8060	-4.3407	-4.8533	-2.6964	-3.1562	-3.2665	2.7521	3.7550	4.0101
3	-3.1566	-3.6600	-3.9895	-1.4649	-2.2791	-2.5189	0.5134	1.3621	1.9254
2	-1.7704	-2.4642	-2.9539	0.4321	1.3936	1.6831	0.5121	1.4088	2.0155
1	0.3956	1.1566	1.7568	0.4363	1.4293	1.7717	0.5077	1.4534	2.1067

Tablo 133. Kobe depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
8	9.3988	9.3394	9.6560	8.9402	-10.7890	-10.0340	-10.9730	-12.1430	-12.3240
7	8.9450	9.0540	8.8844	-7.3115	-7.9952	-7.3057	-7.1251	-7.4161	-8.0171
6	8.2348	8.2406	8.3714	7.6184	9.5115	8.3300	6.0182	6.3778	6.9303
5	6.6015	6.8916	7.5260	7.6616	9.4949	7.8635	6.5502	-7.3382	-7.2152
4	-5.7404	-6.3234	-7.2307	-6.0575	8.9143	7.6331	4.2271	6.5666	-6.0984
3	-4.8633	-5.7383	-6.8337	3.7991	7.1159	5.1053	-1.7620	4.6448	5.4429
2	3.3204	4.6976	-4.6685	-1.5867	-4.7319	4.1074	-1.7928	4.8299	5.5915
1	-1.5299	3.7616	4.3867	-1.6306	4.7338	4.4238	-1.7942	4.9854	5.7399

Tablo 134. Parkfield depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
8	14.4730	13.8490	12.7030	14.4440	14.5020	14.9290	-13.8560	-14.3900	-14.4790
7	13.1920	12.4940	11.3430	13.5970	13.3060	13.3780	-12.8090	-13.5110	-13.8820
6	11.0410	10.3320	-9.1876	12.2240	12.0220	11.2460	-11.2730	-11.9940	-11.8790
5	8.8919	8.2712	-7.7021	10.0320	10.0370	9.2193	-8.3308	-9.3418	8.5127
4	7.0421	6.7177	-6.1122	6.9241	7.1878	6.6465	-3.8279	-4.7265	4.9748
3	4.8299	4.8555	-4.3114	3.1442	-4.4609	4.5607	-0.4152	-2.0952	2.0446
2	2.2307	2.8494	2.9137	0.3987	2.0115	2.6237	-0.3477	-2.0399	1.9554
1	0.3310	1.3704	1.9208	0.3156	1.9483	2.3562	-0.3229	-2.0454	1.9004

Tablo 135. Erzincan depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
8	-16.4330	-16.7650	-16.4680	-13.8410	-15.6350	-17.1490	-8.3637	-9.5728	-10.7050
7	-15.0720	-15.3150	-14.8260	-12.5300	-13.9400	-15.1080	-7.3847	-8.4301	-9.7879
6	-13.3630	-13.4730	-12.8180	-10.4940	-11.6410	-12.3690	6.1670	7.2784	8.3195
5	-11.7030	-11.6790	-11.0270	-7.9970	-8.8113	-9.7908	4.8151	6.2297	6.9999
4	-9.6055	-9.7344	-9.3600	6.1113	7.4594	7.6662	2.3554	3.1024	3.8572
3	-6.6402	-6.8835	-7.0472	2.9994	4.5036	4.7822	-0.3597	-1.2060	-1.8285
2	-3.1530	-3.2345	-3.7446	-0.4011	-1.3246	-1.9795	-0.3625	-1.2037	-1.7754
1	-0.3542	-1.0298	-1.5178	-0.3781	-1.2683	-1.9001	-0.3636	-1.2078	1.7757

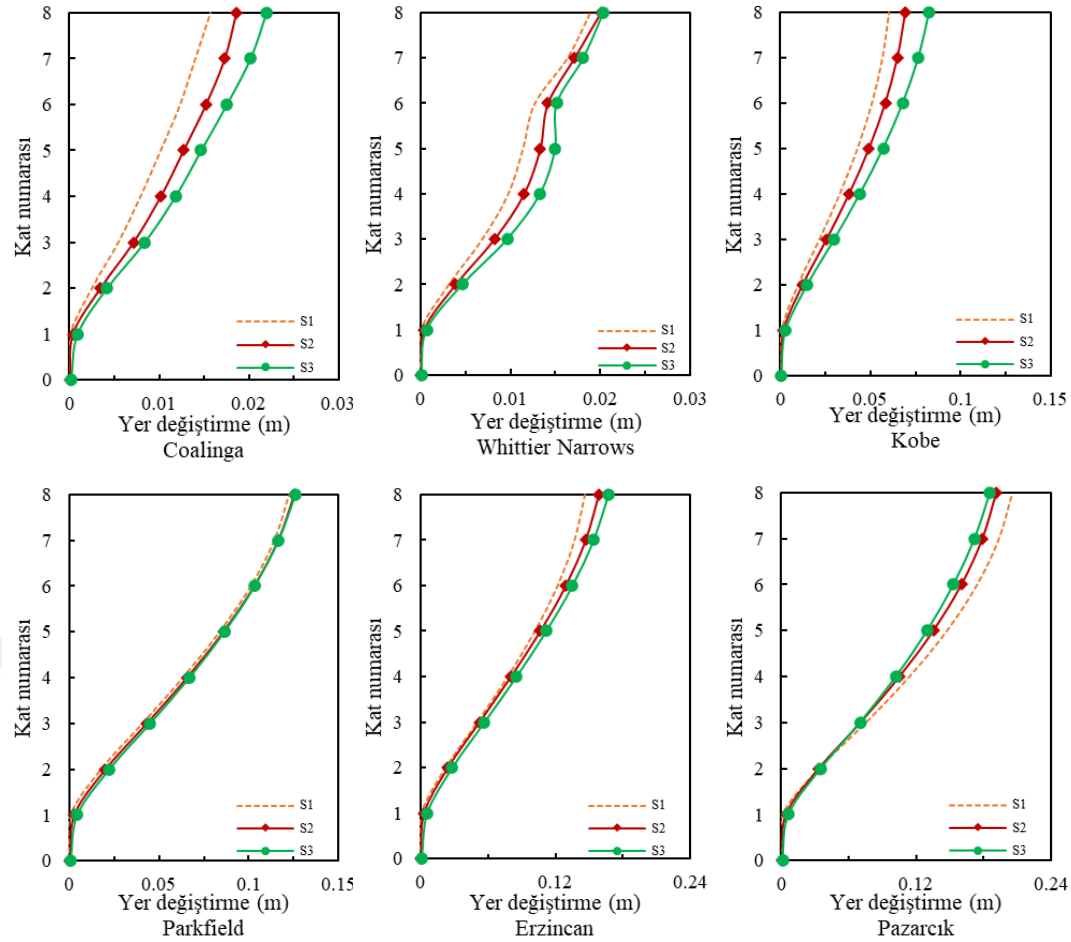
Tablo 136. Pazarcık depreminde 8 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
8	-17.9860	-15.2730	14.5170	18.3530	18.2140	-17.3750	16.7400	15.4650	16.6360
7	-17.6690	-15.0610	13.0070	16.4230	16.8610	-17.4970	-15.1190	13.5720	14.5190
6	-16.6590	-14.5040	-12.1230	14.0370	15.0960	-16.5940	-13.1030	-11.3050	11.7890
5	-14.6710	-13.0100	11.7300	11.8580	12.8880	-13.2610	-9.9302	10.4720	-9.2151
4	-11.5170	-10.6790	10.8750	9.3207	-9.8877	10.8370	5.2257	-6.9091	-7.3310
3	8.4158	8.1584	9.1552	5.7012	7.1845	7.7229	-1.5348	-5.2137	5.3767
2	4.9218	6.4538	6.1874	1.3599	4.8102	-5.4237	-1.6208	-5.3536	5.6981
1	1.4003	3.5643	4.2507	-1.4409	-4.8602	5.3481	-1.6616	-5.4963	5.9877

2.8.2.1. 2e/L=0.5 Durumu

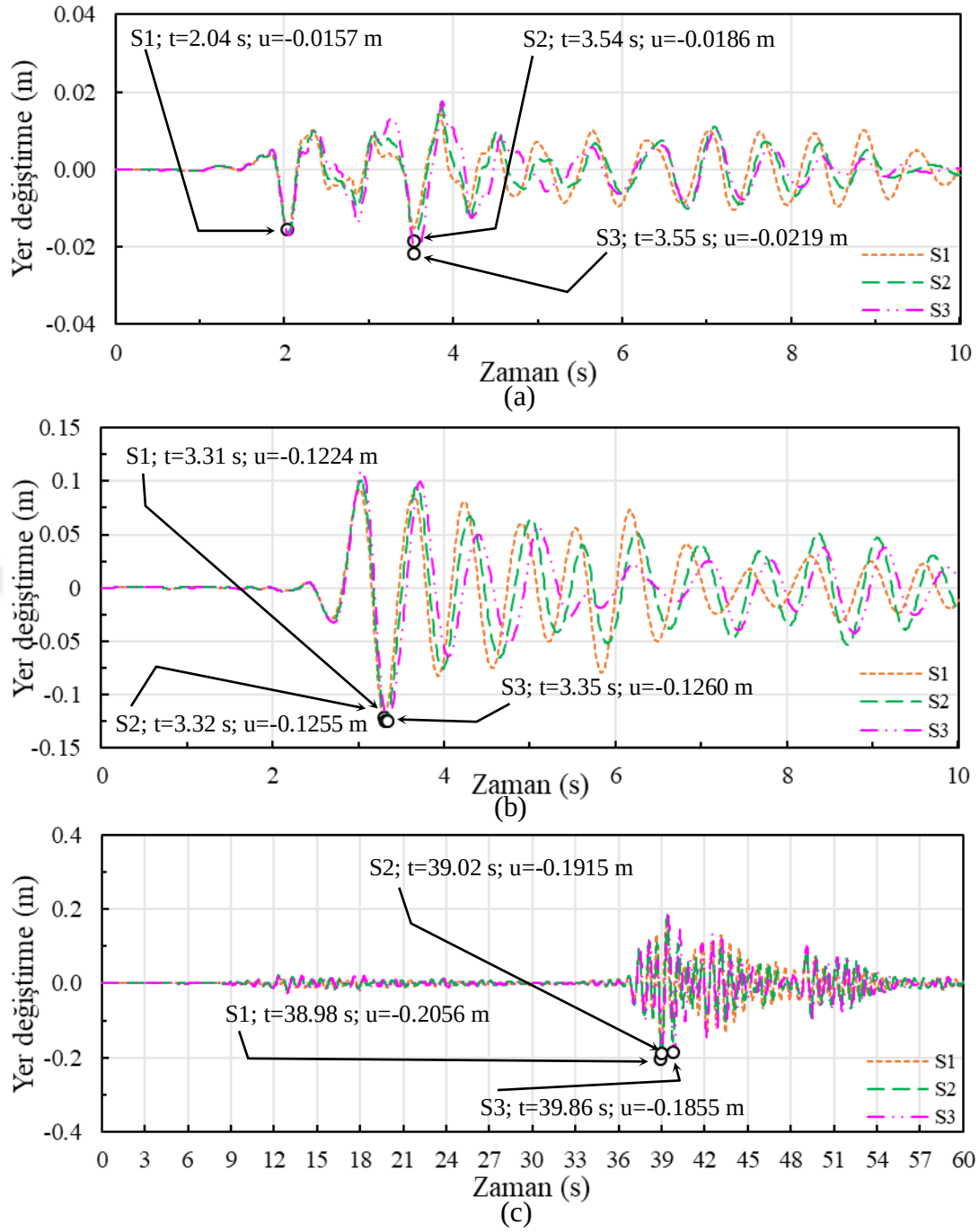
2.8.2.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 107'de verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, gömülü katta yer değiştirmelerin genel olarak ihmal edilebilir düzeylerde kaldığı ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı gözlenmektedir. Maksimum yer değiştirmeler; düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depreminde S1'de, diğer depremlerde ise S3'te meydana gelmektedir. Ayrıca burada orta frekans içeriğine sahip Parkfield depremi altında etkileşimin tepkilerde kayda değer bir değişime sebep olmadığı bir başka bulgu olarak göze çarpmaktadır. Bu tespitler etkileşimin, değişik faktörlere bağlı olarak maksimum tepkileri artırabileceği, azaltabileceği veya hiç etkilemeyebileceği gerçeğini bir kez daha gözler önüne sermektedir.



Şekil 107. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 108'de seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir.Bu şekil incelendiğinde, Coalinga ve Parkfield depremlerinde zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak yer değiştirmelerde artış görülürken, Pazarcık depreminde tam tersi bir durumun yaşandığı gözlenmektedir. Şekil 108a'da S1 için 0.0157 m olan yer değiştirme, S2 ve S3'te sırasıyla %18.5 artışla 0.0186 m ve %39.5 artışla 0.0219 m olmaktadır. Şekil 108b'de S1'de 0.1224 m olan yer değiştirmenin, S2 ve S3 koşullarında sırasıyla %2.5 artışla 0.1255 m ve %2.9 artışla 0.1260 m olduğu görülmektedir. Şekil 108c'de S1 için 0.2056 m olan yer değiştirme, S2 ve S3 zeminlerinde sırasıyla %6.9 azalışla 0.1915 m ve %9.8 azalışla 0.1855 m olarak elde edilmektedir.

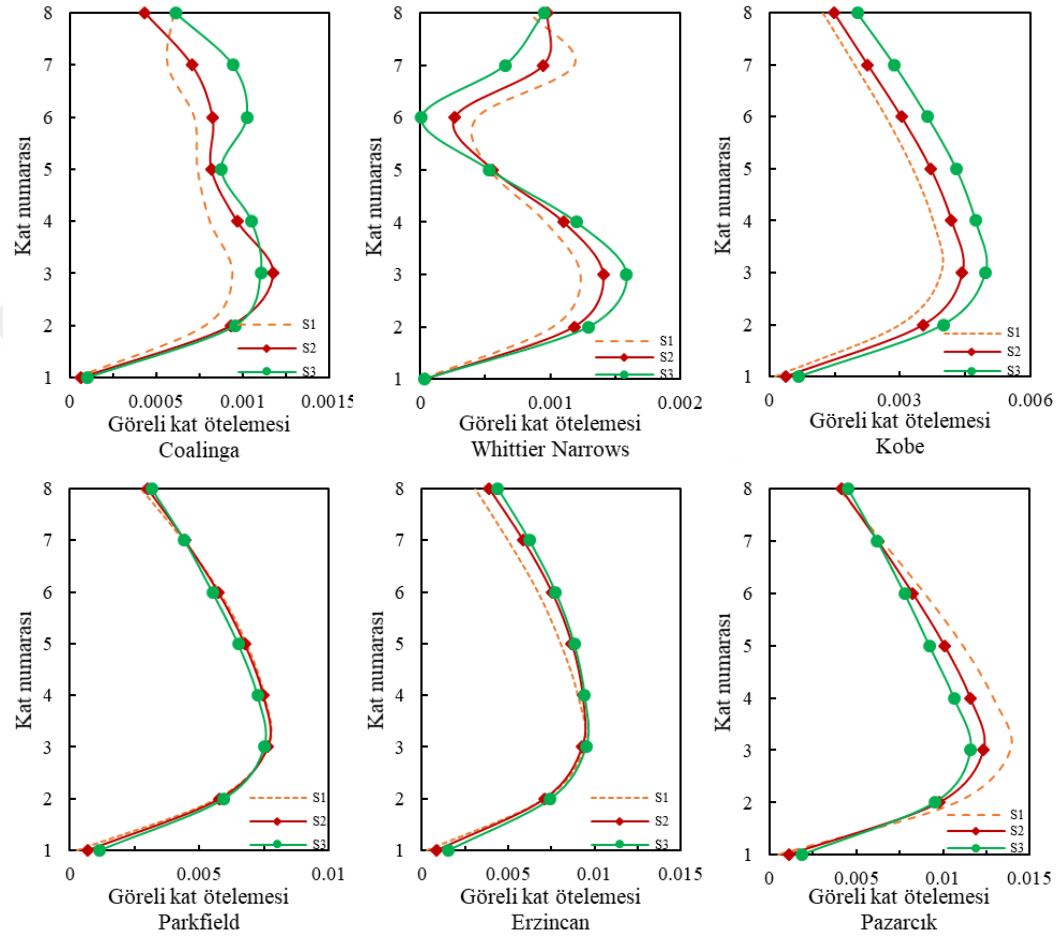


Şekil 108. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.2.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 109'da verilmiştir. Farklı karakteristiklere sahip depremlerin ve zeminlerin göreli kat ötelemeleri üzerinde önemli etkilere sahip olduğu açıktır. En kritik değerler özellikle üçüncü kat seviyelerinde meydana gelmektedir. Yüksek frekans içeriğine sahip Whittier Narrows depreminde en büyük göreli kat ötelemesi S1'de 0.0012 iken, zemini rijitliğindeki azalışa bağlı olarak S2'de %16.7 artışla 0.0014 ve

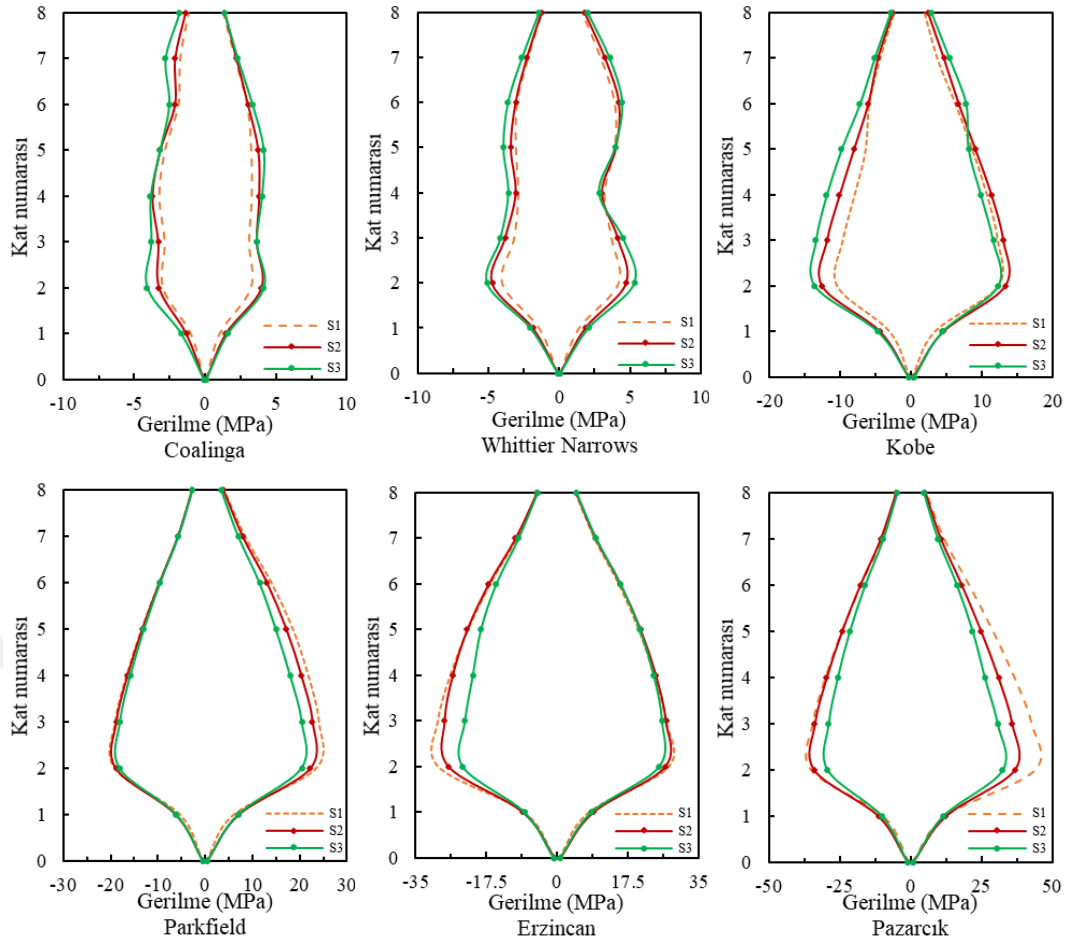
S3'de %33.3 artışla 0.0016 seviyesine erişmektedir. Orta frekans içeriğine sahip Kobe depreminde aynı değer S1'de 0.0039 iken, S2'de %12.8 artışla 0.0044 ve S3'te %28.2 artışla 0.0050 seviyesine ulaşmaktadır. Düşük frekans içeriğine sahip Erzincan depreminde ise söz konusu değer S1 için 0.0094 iken, S2 için %1.1 azalışla 0.0093 ve S3 için %1.1 artışla 0.0095 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 109. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

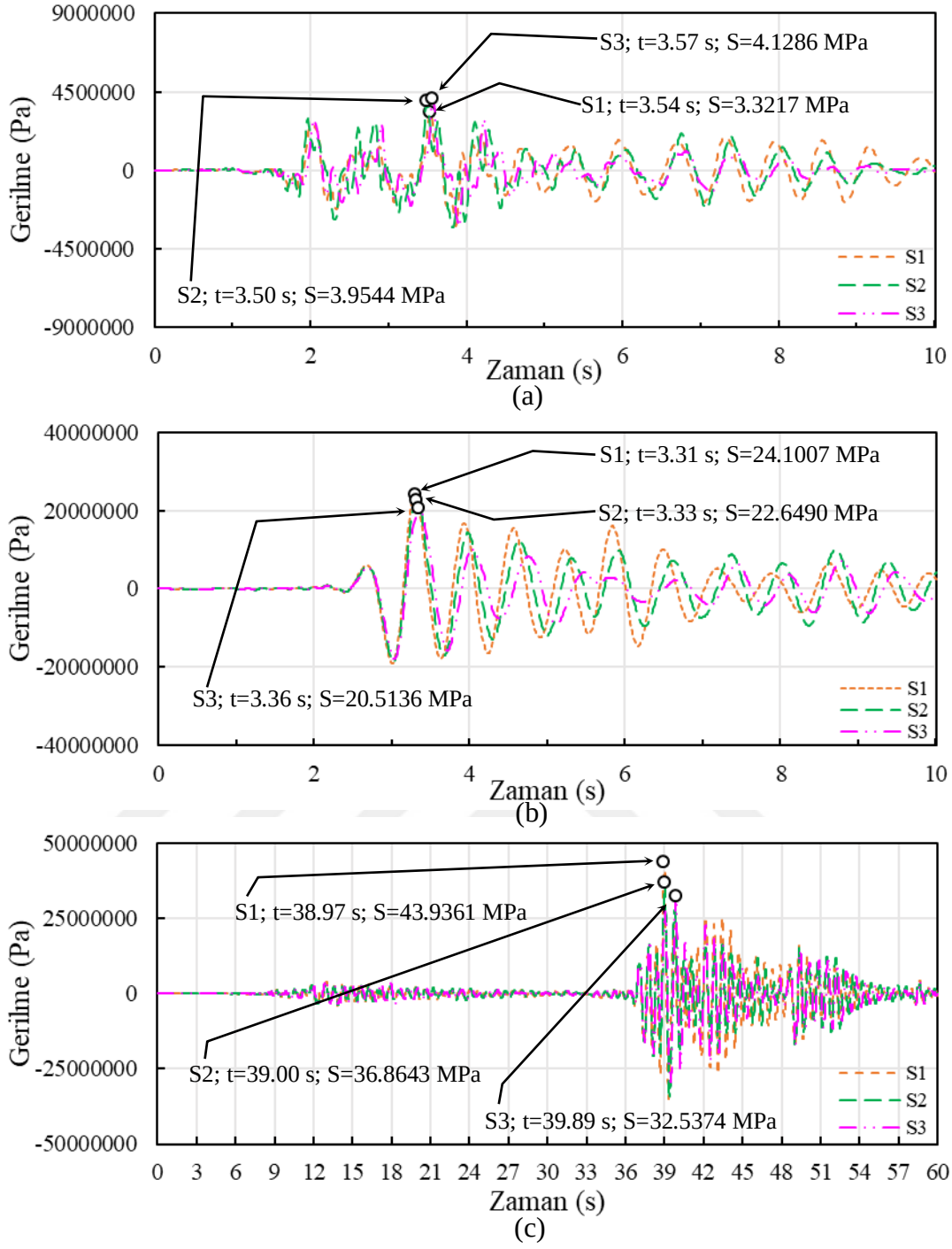
2.8.2.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 110'da verilmektedir. Genel olarak ikinci ve üçüncü kat seviyelerinde maksimum değerlere ulaşılmaktadır. Zemin rijitliğindeki azalma, Coalinga, Whittier Narrows ve Kobe depremlerinde maksimum gerilmelerde artışa sebep olurken; Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde azalışa sebep olmaktadır.



Şekil 110. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

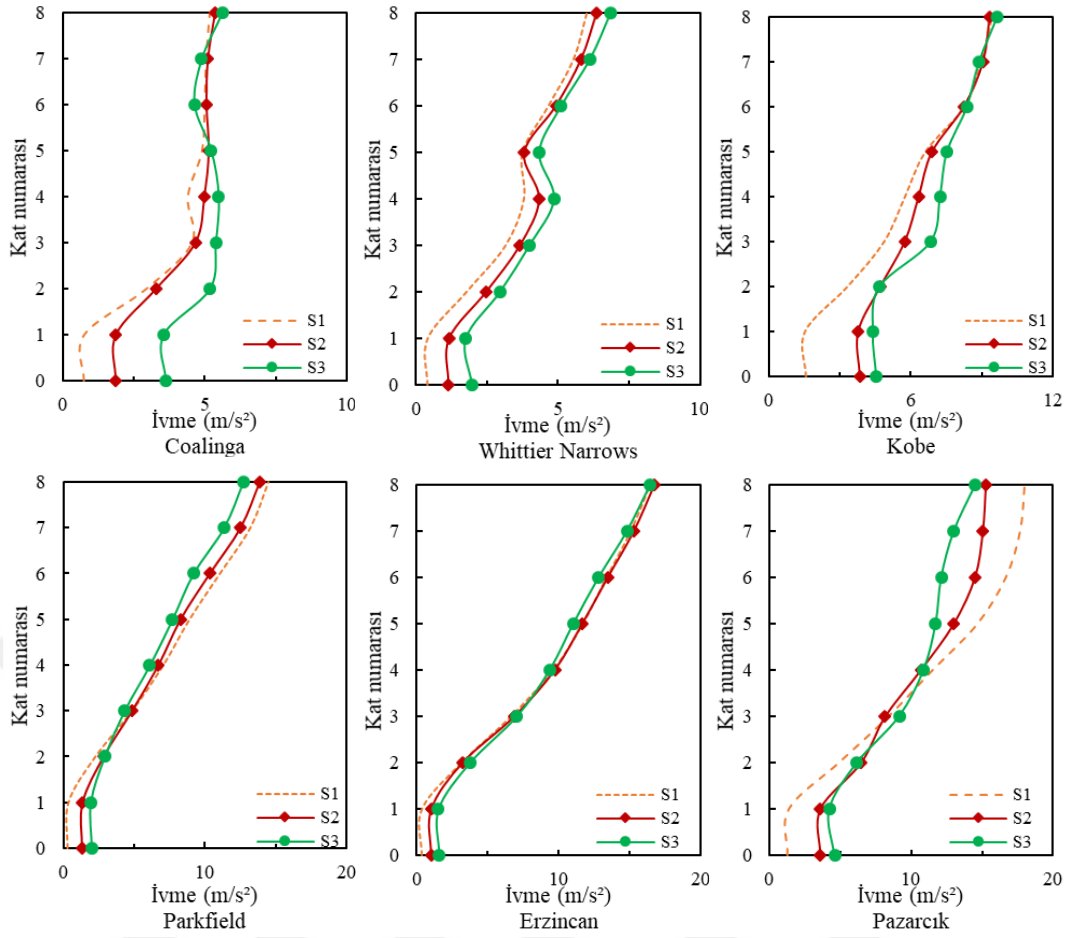
Şekil 111'de seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 111a'da S1 için gerilme 3.3217 MPa iken, S2 ve S3 için sırasıyla %19.1 artışla 3.9544 MPa ve %24.3 artışla 4.1286 MPa olmaktadır. Şekil 111b'de S1 koşullarında gerilme 24.1007 MPa iken, S2 ve S3 koşullarında sırasıyla %6 azalışla 22.6490 MPa ve %14.9 azalışla 20.5136 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 111c'de S1 için gerilme 43.9361 MPa iken, S2 ve S3 için sırasıyla %16.1 azalışla 36.8643 MPa ve %25.9 azalışla 32.5374 MPa değerine düşmektedir.



Şekil 111. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

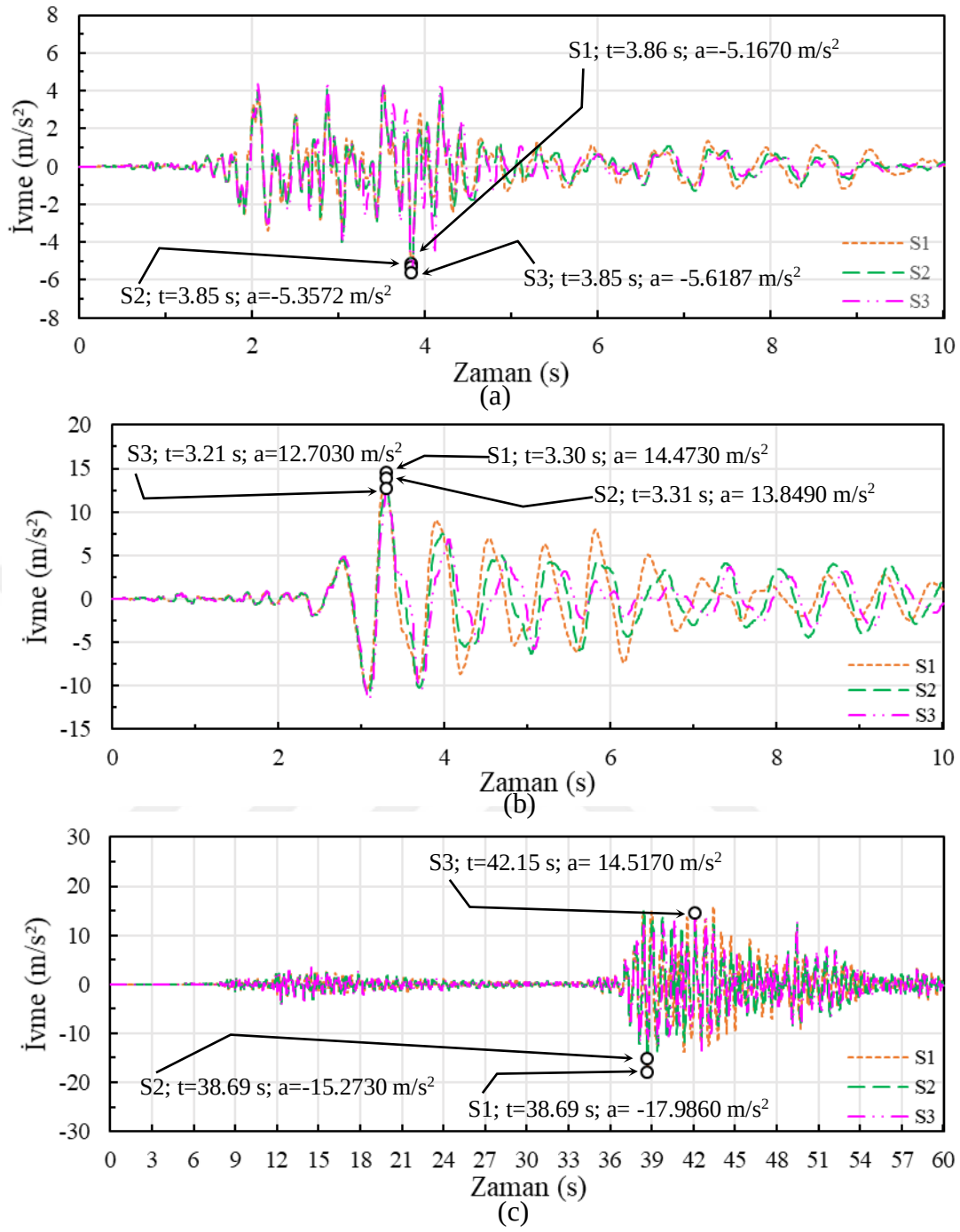
2.8.2.1.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 112'de verilmektedir. İvmelerin gömülü kat yüksekliği boyunca sabit kaldığı ve bu kat seviyesinden sonra artarak son kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Son kat seviyesinde Coalinga, Whittier Narrows ve Kobe depremlerinde S3; Parkfield ve Pazarcık depremlerinde S1 ve Erzincan depreminde S2 koşullarında ivmeler maksimum olmaktadır.



Şekil 112. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 113'te seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 113a'da S1 zemin tipi için ivme 5.1670 m/s^2 iken, S2'de %3.7 artışla 5.3572 m/s^2 ve S3'te %8.7 artışla 5.6187 m/s^2 olmaktadır. Şekil 113b'de S1 için ivme 14.4730 m/s^2 iken, S2'de %4.3 azalışla 13.8490 m/s^2 ve S3'te %12.2 azalışla 12.7030 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 113c'de S1 koşullarında ivme 17.9860 m/s^2 iken, S2'de %15.1 azalışla 15.2730 m/s^2 ve S3'te %19.3 azalışla 14.5170 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



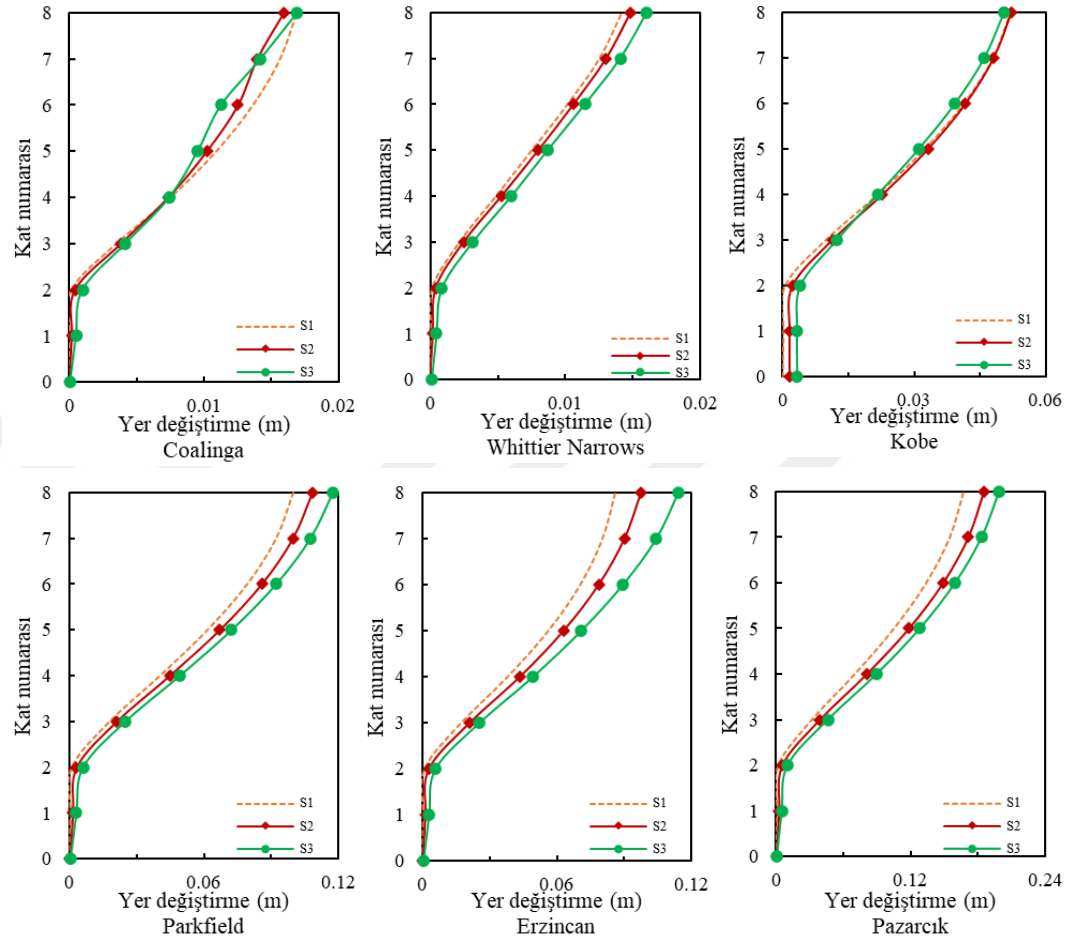
Şekil 113. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.2.2. 2e/L=1 Durumu

2.8.2.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

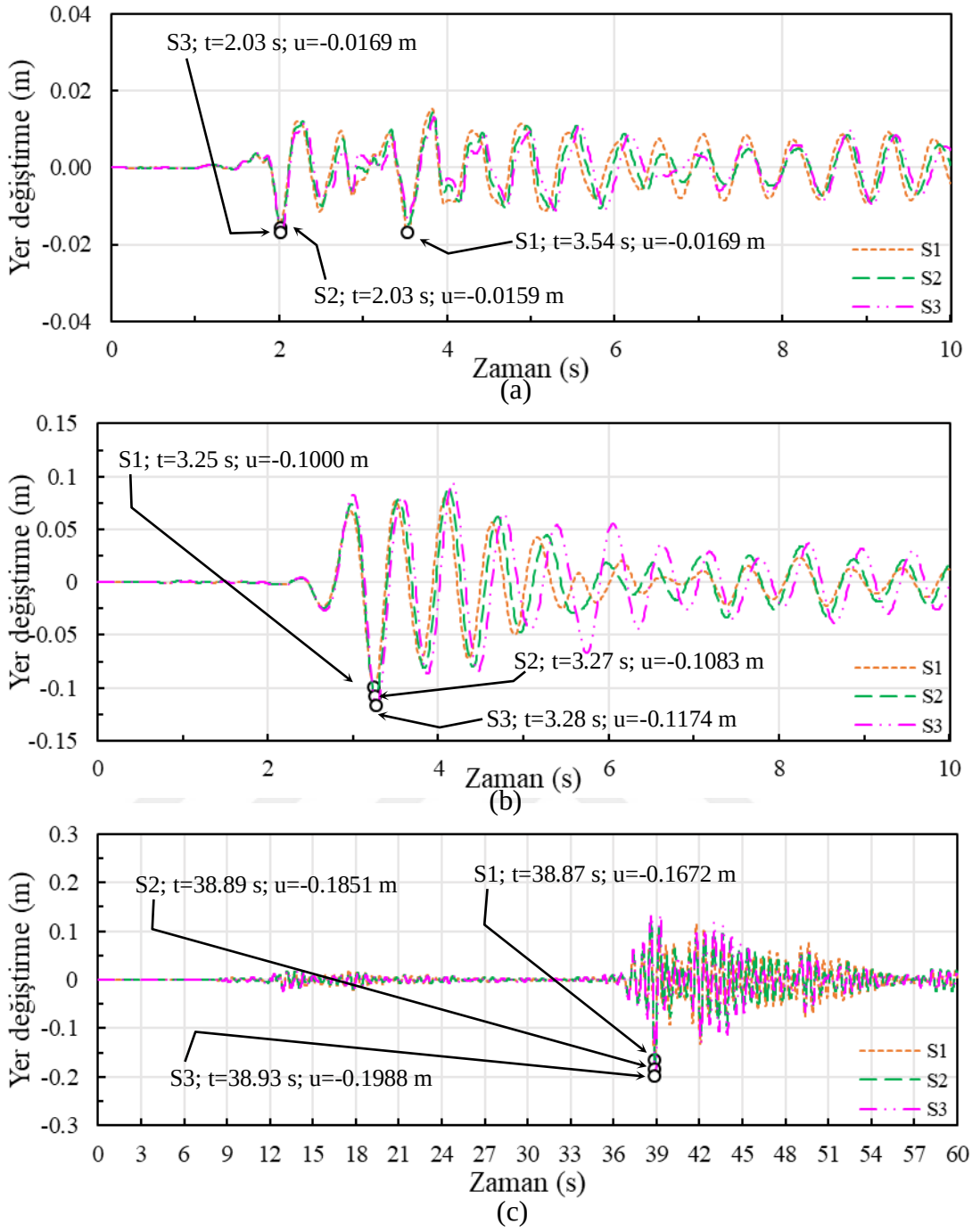
Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 114'te verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, gömülü katlar boyunca yer değiştirmelerin küçük mertebelerde kaldığı, özellikle yüksek frekans içeriğine sahip depremlerde ihmal edilebilir düzeylerde olduğu ve bu seviyeden

sonra artarak en üst kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Maksimum yer değiştirmeler; Coalinga depreminde S1 ve S3, Kobe depreminde S2 ve diğer depremlerde S3 koşullarında ortaya çıkmaktadır.



Şekil 114. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

Şekil 115'te seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 115a'da S1'de 0.0169 m olan yer değiştirme, S2'de %5.9 azalarak 0.0159 m olmakta ve S3'te tekrar 0.0169 m seviyesine yükselmektedir. Şekil 115b'de S1 için 0.1000 m olan yer değiştirme, S2 için %8.3 artışla 0.1083 m ve S3 için %17.4 artışla 0.1174 m seviyesine ulaşmaktadır. Şekil 115c'de en büyük yer değiştirme S1'de 0.1672 m iken, S2'de %10.7 artışla 0.1851 m ve S3'te zeminde %18.9 artışla 0.1988 m olarak hesaplanmaktadır.

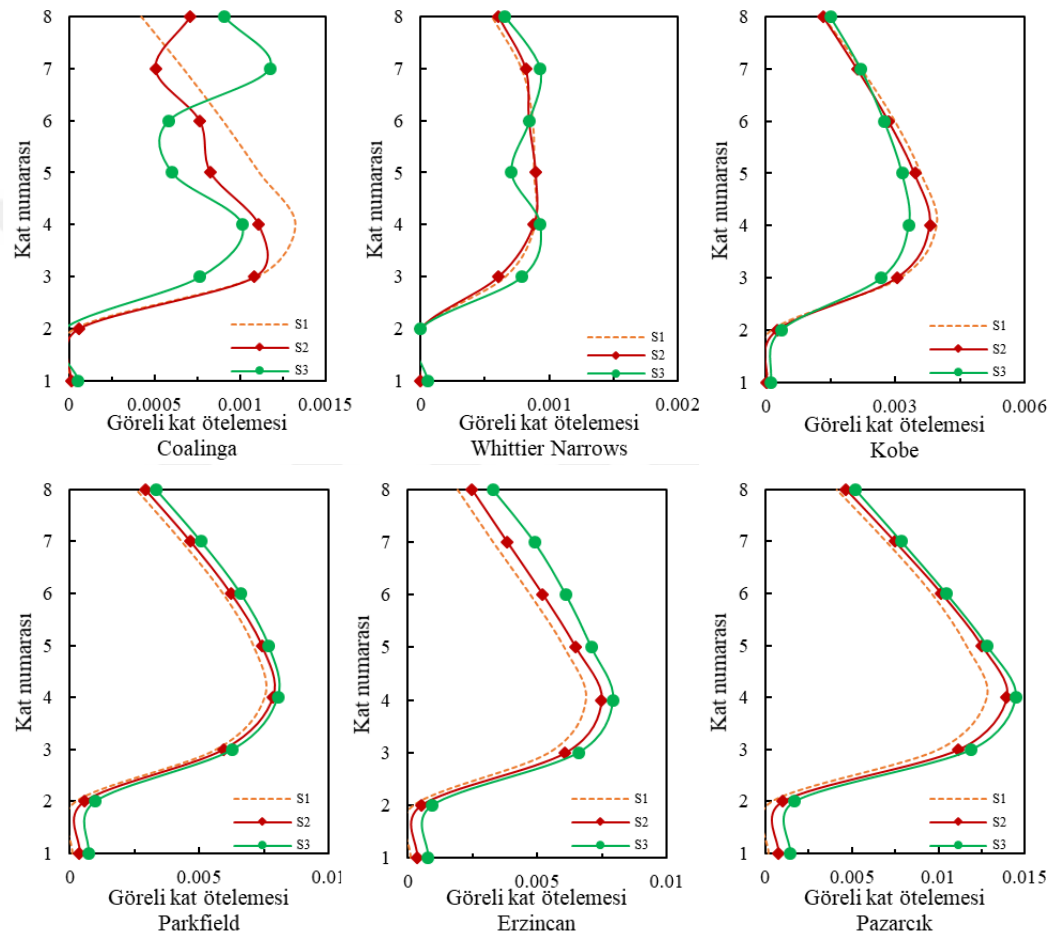


Şekil 115. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.2.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

Gömülme oranının 1 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 116'da verilmektedir. Gömülü katlar boyunca kat ötelemelerinin oldukça düşük seviyelerde kaldığı ve özellikle yüksek frekans içerikli depremlerde sıfır olduğu, bu seviyeden sonra öteleme değerlerinde artışlar olduğu ve deprem ile zemin koşullarına bağlı olarak davranışın oldukça farklılaştığı göze çarpmaktadır. Ayrıca ötelemelerin genellikle dördüncü kat seviyesinde maksimum

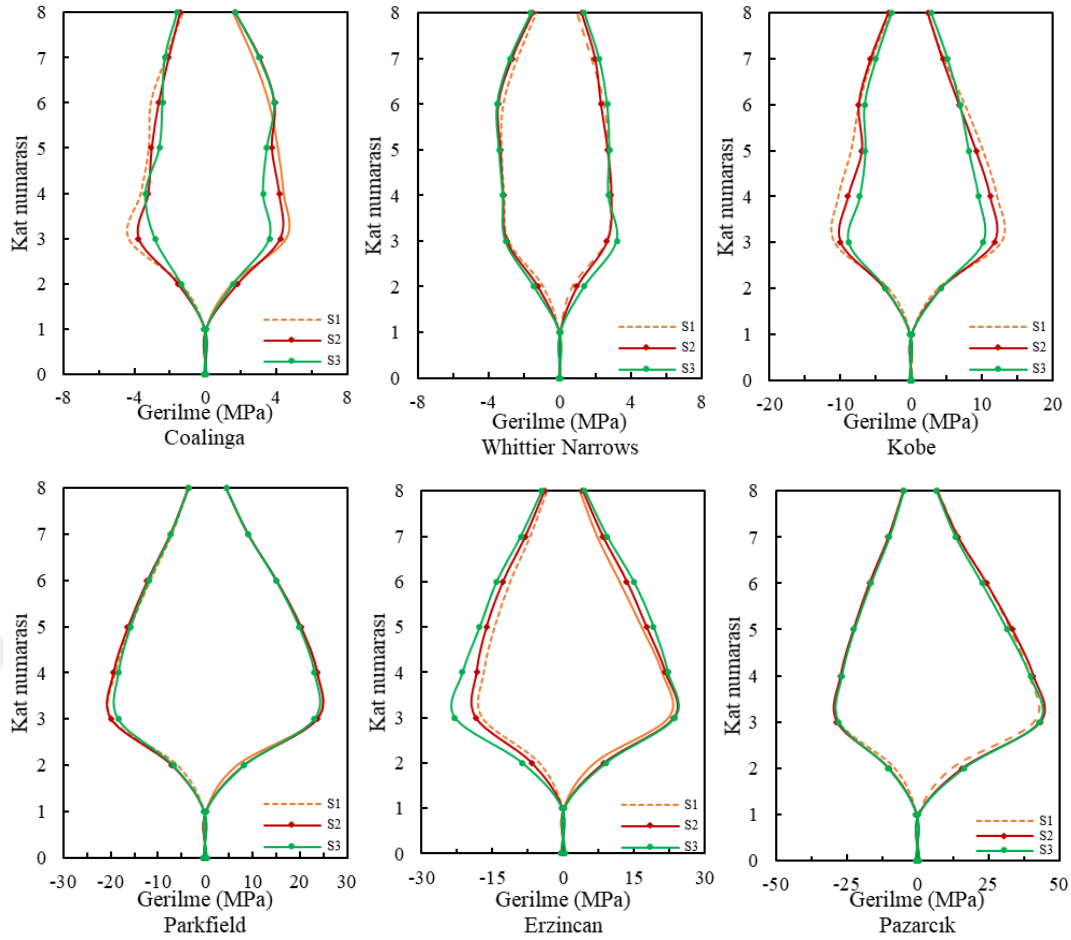
değerlere ulaştığı görülmektedir. Yüksek frekans içerikli Coalinga depreminde S1 için 0.0013 olan maksimum göreli kat ötelemesi, S2 için %15.4 azalışla 0.0011 ve S3 için %7.7 azalışla 0.0012 olarak hesaplanmaktadır. Orta frekans içerikli Parkfield depreminde S1 için 0.0075 olan bu öteleme, S2'de %5.3 artışla 0.0079 ve S3'te %6.7 artışla 0.0080 olarak elde edilmektedir. Düşük frekans içerikli Pazarcık depreminde ise bu değer S1 için 0.0128, S2 için %8.6 artışla 0.0139 ve S3 için %13.3 artışla 0.0145 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 116. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

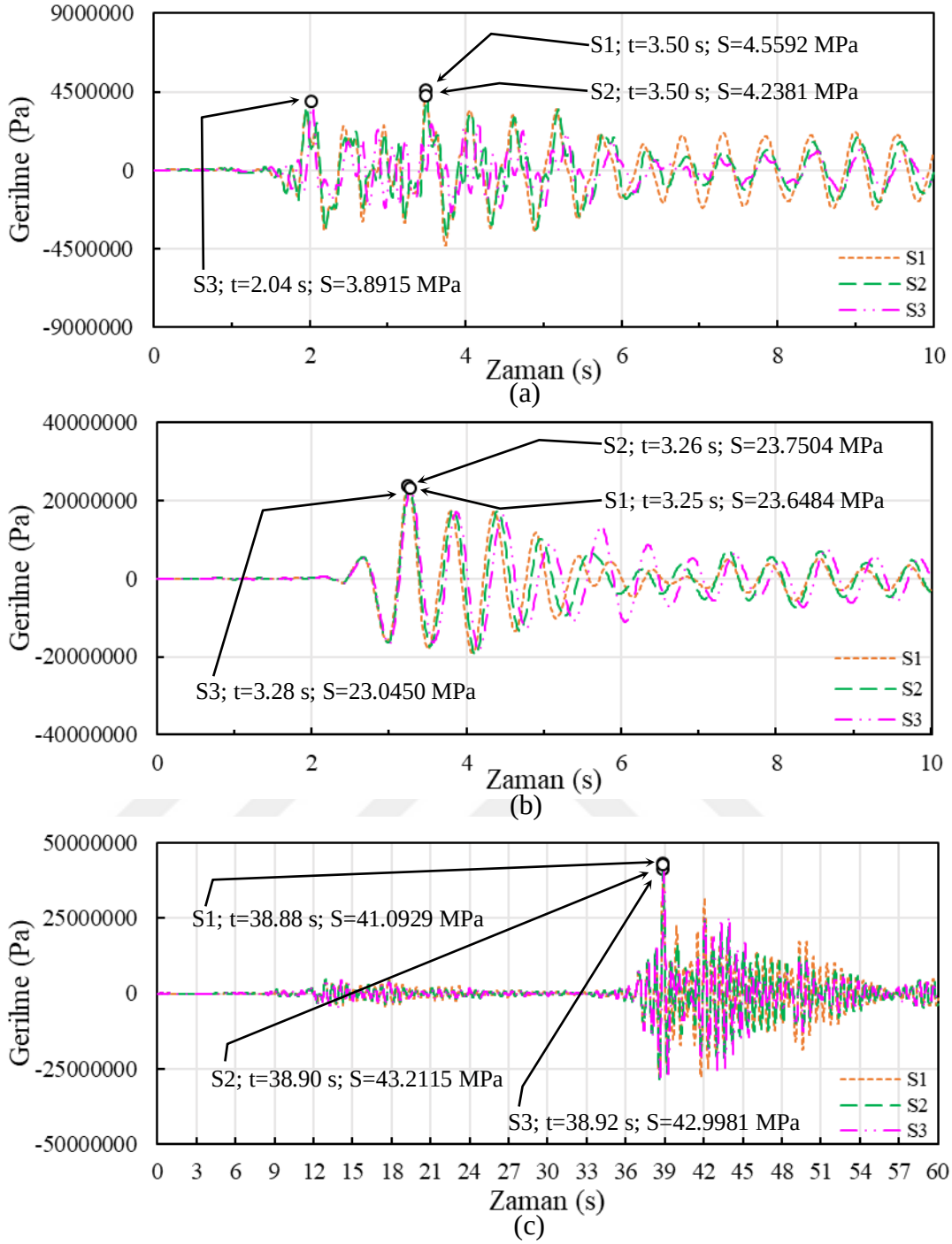
2.8.2.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 117'de verilmektedir. Bu şekilde, genellikle üçüncü kat seviyesinde maksimum değerlerin elde edildiği görülmektedir.



Şekil 117. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

Şekil 118'de seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 118a'da S1 için gerilme 4.5592 MPa iken, S2'de %7 azalışla 4.2381 MPa ve S3'te %14.6 azalışla çekme olarak 3.8915 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 118b'de S1 şartlarında gerilme 23.6484 MPa iken, S2'de %0.4 artışla 23.7504 MPa ve S3'te %2.6 azalışla 23.0450 MPa olmaktadır. Şekil 118c'de S1'de gerilme 41.0929 MPa iken, S2'de %5.2 artışla 43.2115 MPa ve S3'te %4.6 artışla 42.9981 MPa olarak elde edilmektedir.

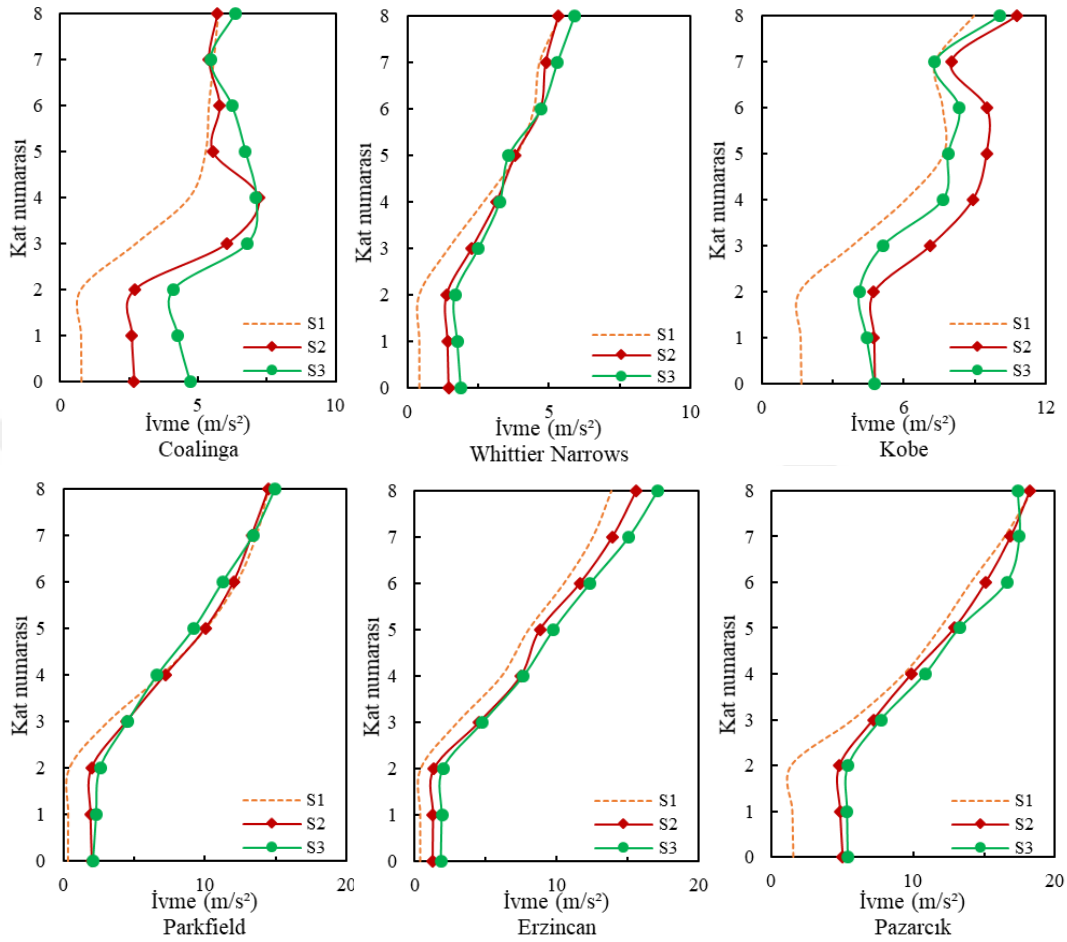


Şekil 118. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.2.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

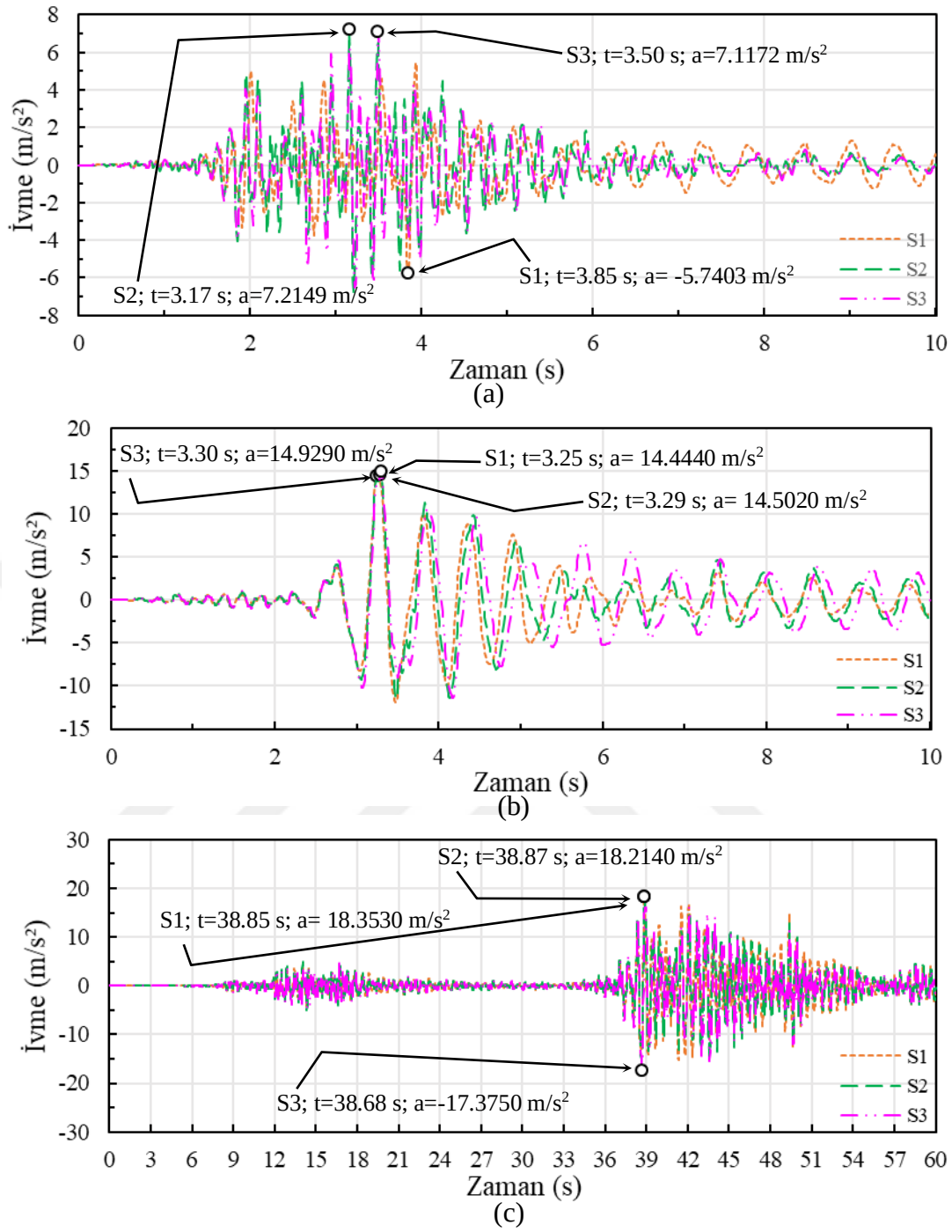
Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 119'da verilmektedir. İvmelerin gömülü katlar boyunca sabit kaldığı ve bu kat seviyesinden sonra artarak bazı durumlarda ara katlarda, bazı durumlarda ise son kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Örneğin; Coalinga depreminde S1 koşullarında en büyük ivme son kat seviyesinde elde edilirken, S2 ve S3 koşullarında dördüncü kat seviyesinde elde edilmektedir. Öte yandan, en

büyük ivmeler, Whittier Narrows, Parkfield ve Erzincan depremlerinde son kat seviyesinde S3 koşullarında; Kobe depreminde son kat seviyesinde S2 koşullarında ve Pazarcık depreminde son kat seviyesinde S1 koşullarında hesaplanmaktadır.



Şekil 119. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

Şekil 120'de seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 120a'da S1 için 5.7403 m/s^2 olan ivme, S2'de %25.7 artışla 7.2149 m/s^2 ve S3'te %24.0 artışla 7.1172 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 120b'de S1 şartlarında 14.4440 m/s^2 olan ivme, S2'de %0.4 artışla 14.5020 m/s^2 ve S3'te %3.4 artışla 14.9290 m/s^2 olmaktadır. Şekil 120c'de S1 zemin türünde 18.3530 m/s^2 olan ivme, S2'de %0.8 azalışla 18.2140 m/s^2 ve S3'te %5.3 azalışla 17.3750 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



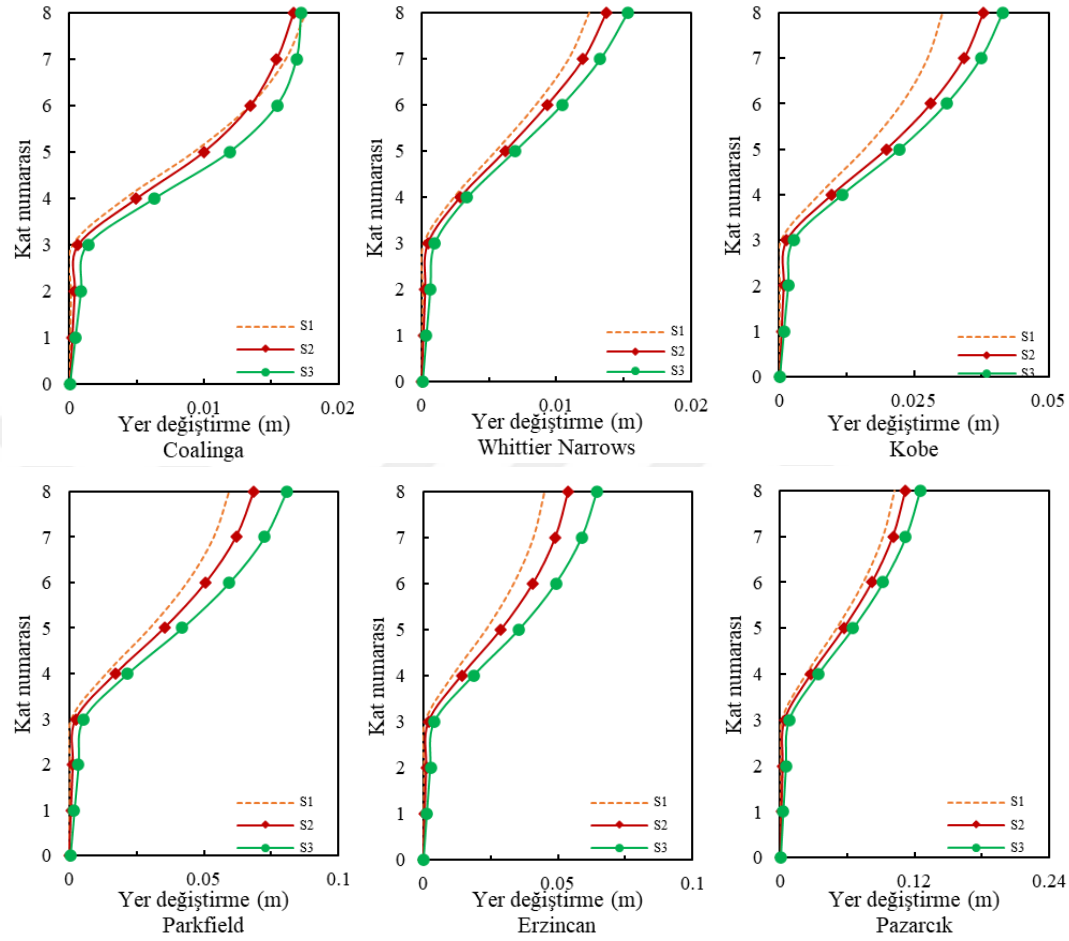
Şekil 120. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.2.3. 2e/L=1.5 Durumu

2.8.2.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

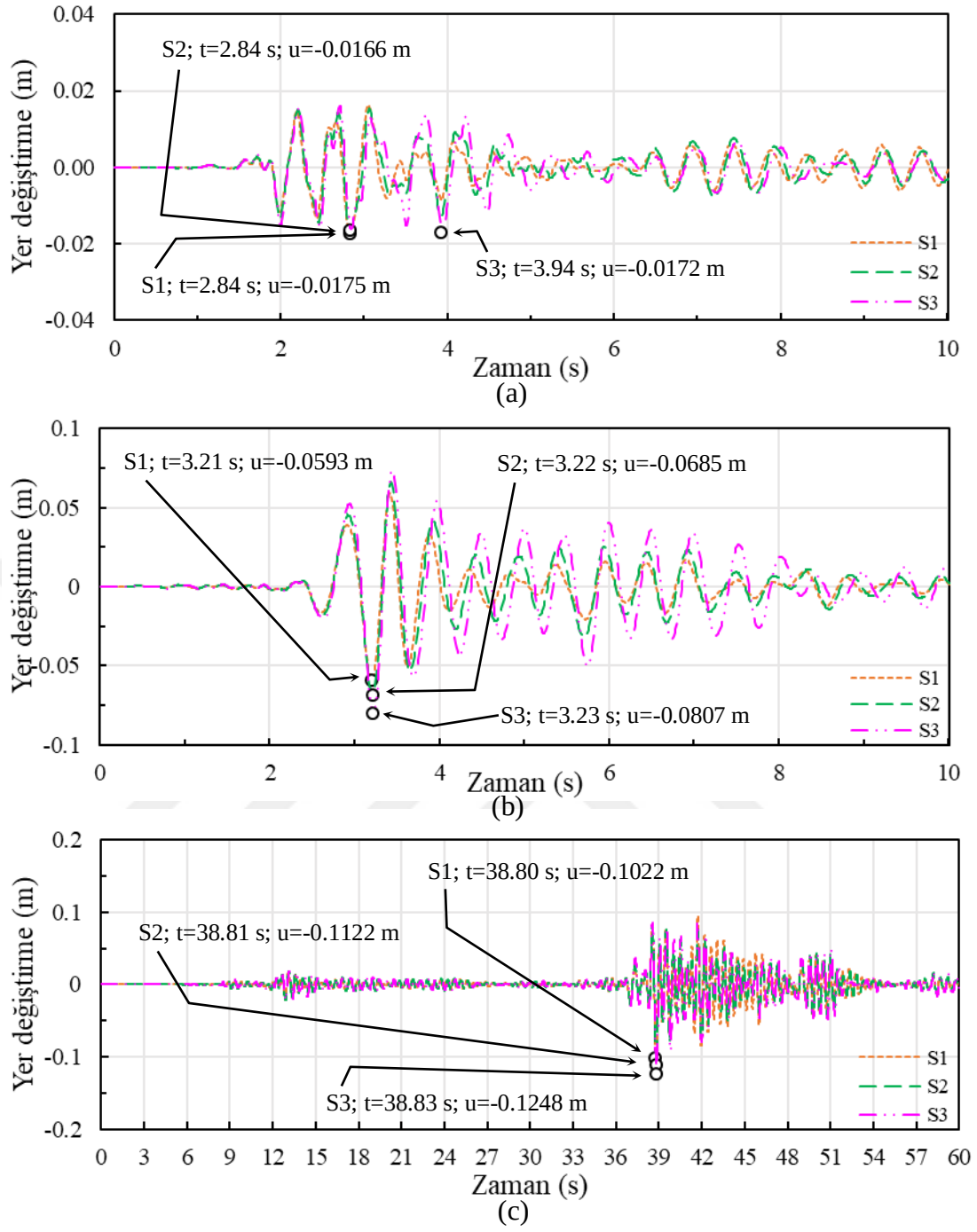
Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 121'de verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, gömülü katlar boyunca yer değiştirmelerin küçük mertebelerde kaldığı ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir.

Maksimum yer değiştirmeler, yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depremi haricinde S3 koşullarında meydana gelmektedir. Coalinga depreminde ise maksimum yer değiştirme S1 koşullarında gerçekleşmektedir.



Şekil 121. 8 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

Şekil 122'de seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 122a'da S1 zemininde 0.0175 m olan en büyük yer değiştirme, S2 zemininde %5.1 azalışla 0.0166 m ve S3 zemininde %1.7 azalışla 0.0172 m olarak hesaplanmaktadır. Şekil 122b'de S1 koşullarında 0.0593 m olan en büyük yer değiştirme, S2 koşullarında %15.5 artışla 0.0685 m ve S3 koşullarında %36.1 artışla 0.0807 m olmaktadır. Şekil 122c'de S1'de 0.1022 m olan en büyük yer değiştirme, S2'de %9.8 artışla 0.1122 m ve S3'te %22.1 artışla 0.1248 m olarak elde edilmektedir.

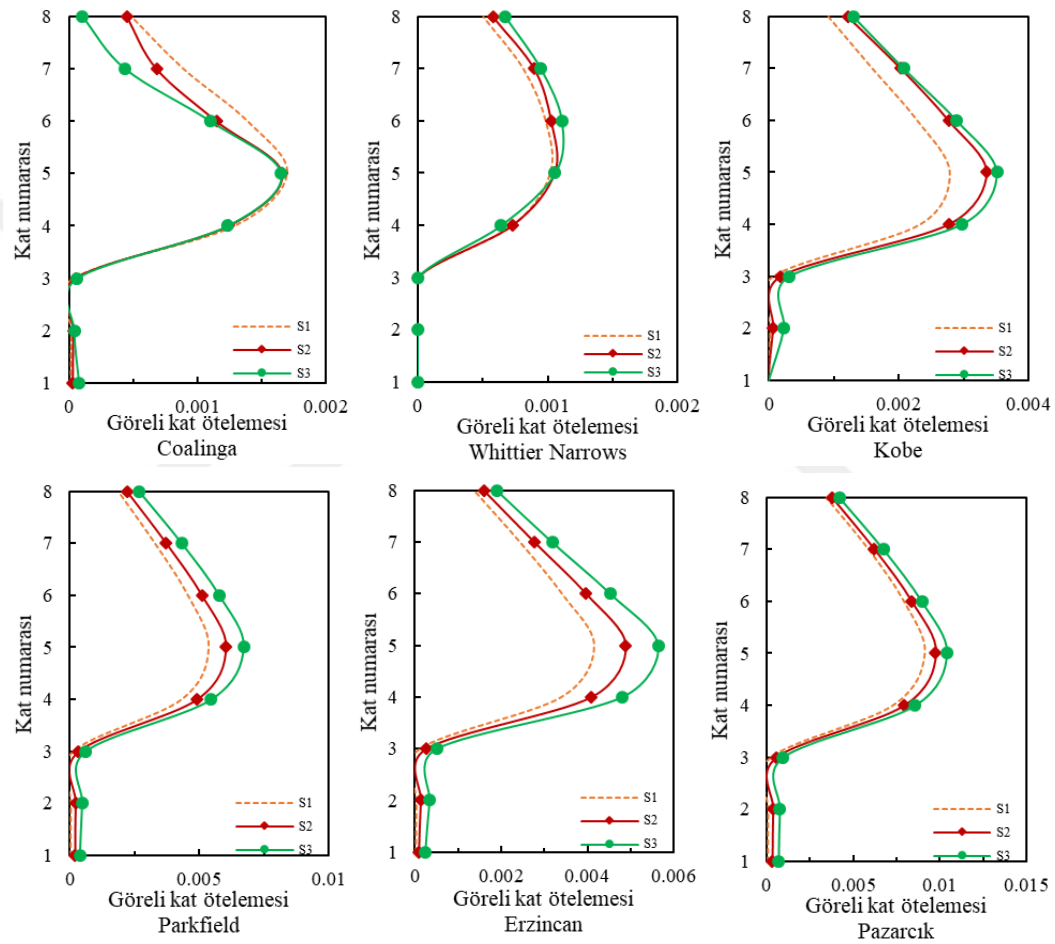


Şekil 122. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

2.8.2.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 123'te verilmektedir. Gömülü katlar boyunca kat ötelemelerinin oldukça düşük ve ihmal edilebilir seviyelerde kaldığı ve özellikle yüksek frekans içerikli depremlerde sıfır olduğu, bu seviyeden sonra öteleme değerlerinde artışlar olduğu ve deprem ile zemin koşullarına bağlı olarak davranışın farklılaşabileceği göze çarpmaktadır. Ayrıca ötelemelerin genellikle beşinci kat seviyesinde maksimum

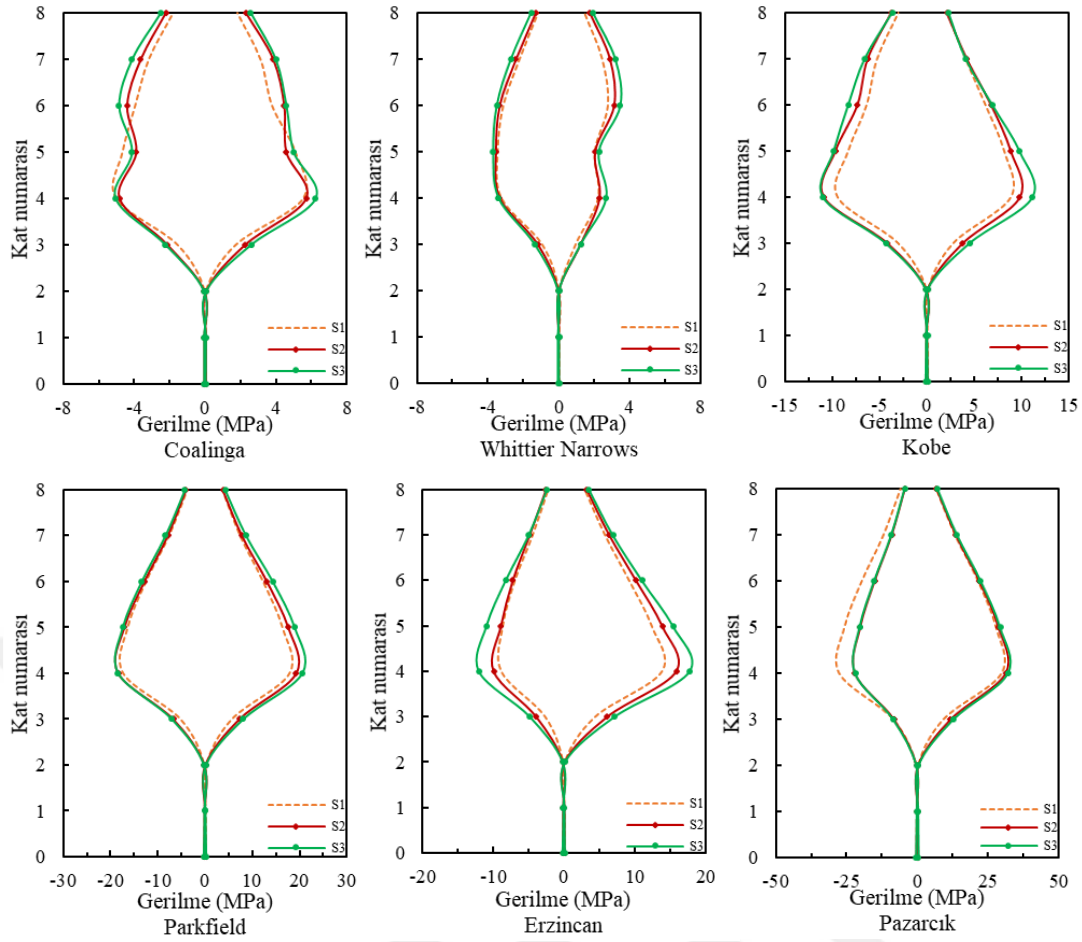
değerlere ulaştığı görülmektedir. Yüksek frekans içerikli Coalinga depreminde en büyük göreli kat ötelemesi tüm zemin koşullarında 0.0017 düzeyinde hesaplanmakta ve zemin farklılığından etkilenmemektedir. Orta frekans içerikli Parkfield depreminde aynı değer S1 için 0.0054, S2 için %11.1 artışla 0.0060 ve S3 için %24.1 artışla 0.0067 olmaktadır. Düşük frekans içerikli Pazarcık depreminde bu değer S1 koşullarında 0.0091, S2 koşullarında %7.7 artışla 0.0098 ve S3 koşullarında %14.3 artışla 0.0104 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 123. 8 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

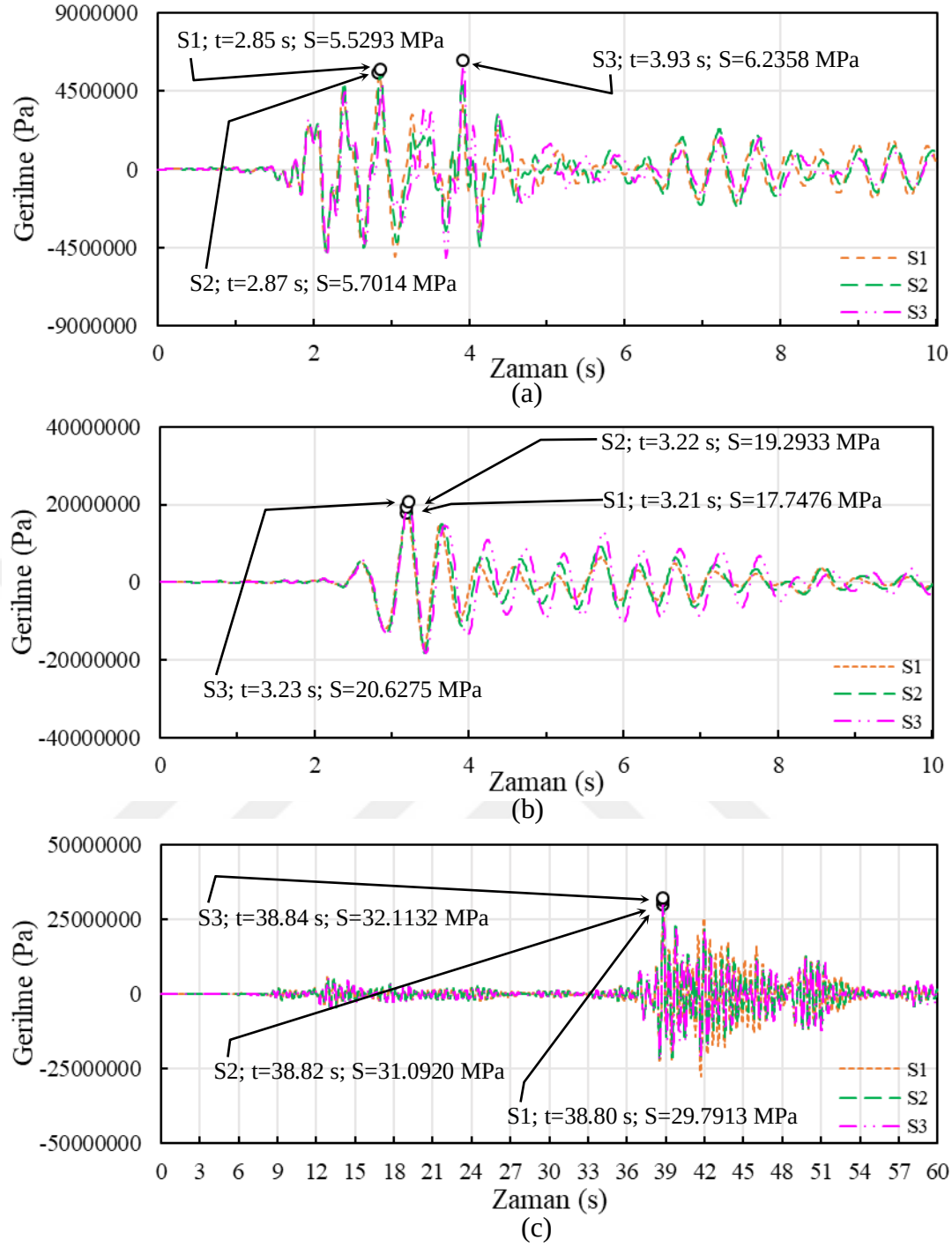
2.8.2.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 124'te verilmektedir. Tüm deprem koşullarında iki kat gömülü yükseklik boyunca gerilmelerin küçük mertebelerde kaldığı ve bu seviyeden sonra arttığı görülmektedir. Maksimum gerilmeler Whittier Narrows depreminde beşinci kat seviyesinde oluşurken, diğer deprem koşullarında dördüncü kat seviyesinde oluşmaktadır. Ayrıca tüm deprem koşullarında zemin rijitliğindeki azalmanın maksimum gerilme tepkilerini artırdığı bir başka bulgudur.



Şekil 124. 8 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

Şekil 125'te seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 125a'da S1 zemininde gerilme 5.5293 MPa iken, S2'de %3.1 artarak 5.7014 MPa ve S3'te %12.8 artarak 6.2358 MPa değerine ulaşmaktadır. Şekil 125b'de S1 için gerilme 17.7476 MPa iken, S2'de %8.7 artarak 19.2933 MPa ve S3'te %16.2 artarak 20.6275 MPa olmaktadır. Şekil 125c'de S1 koşullarında gerilme 29.7913 MPa iken, S2'de %4.4 artarak 31.0920 MPa ve S3'te %7.8 artarak 32.1132 MPa değerine yükselmektedir.

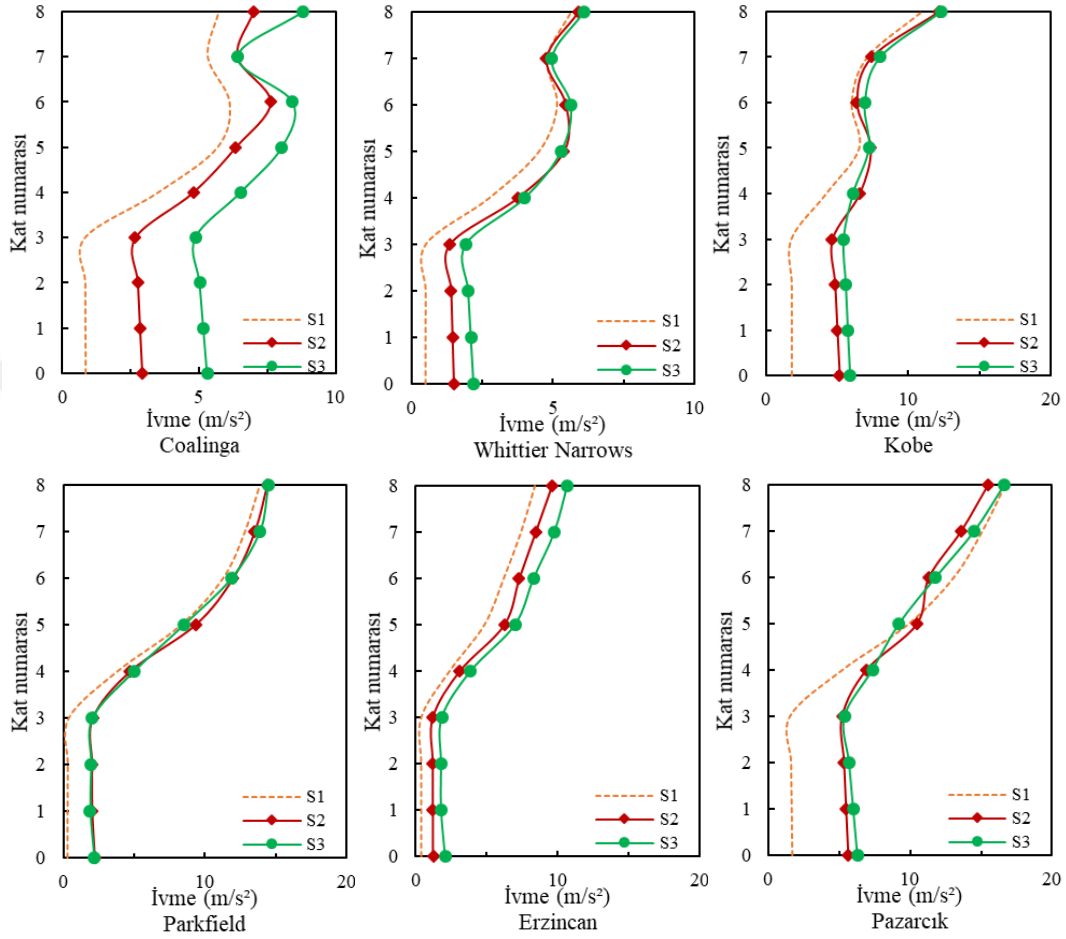


Şekil 125. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

2.8.2.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

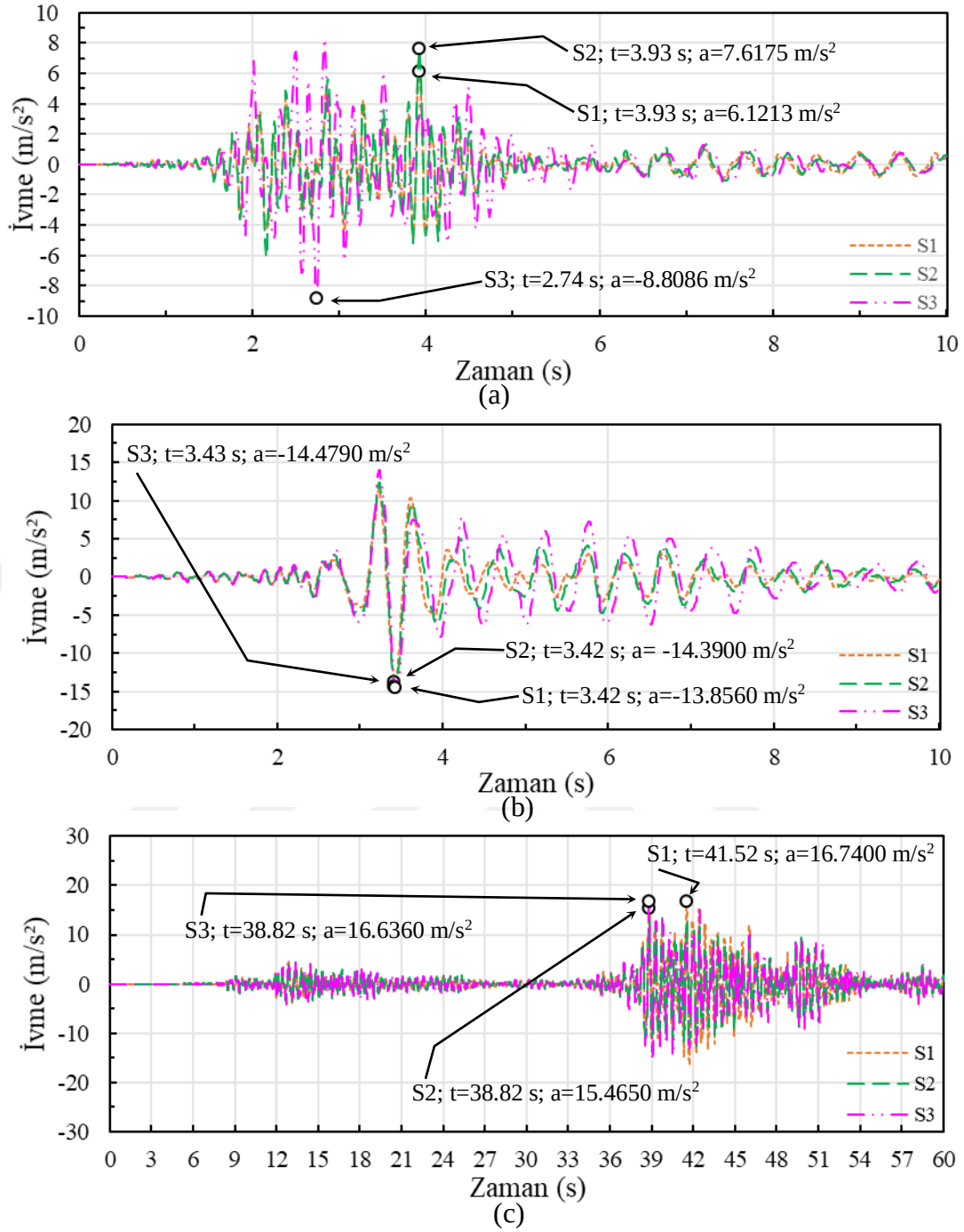
Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 126'da verilmektedir. İvmelerin gömülü katlar boyunca sabit kaldığı ve sonrasında artarak genellikle son katlarda olmakla birlikte, bazı durumlarda ara katlarda da maksimum değere ulaşabileceği gözlenmektedir. Örneğin; Coalinga depreminde S1 ve S2 koşullarında en büyük ivme altıncı kat seviyesinde, S3

koşullarında ise son kat seviyesinde oluşmaktadır. Öte yandan, en büyük ivmeler; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield ve Erzincan depremlerinde son kat seviyesinde S3 koşullarında ve Pazarcık depreminde son kat seviyesinde S1 koşullarında hesaplanmaktadır.



Şekil 126. 8 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

Şekil 127'de seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 127a'da S1 için 6.1213 m/s^2 olan ivme değeri, S2'de %24.4 artışla 7.6175 m/s^2 ve S3'te %43.9 artışla 8.8086 m/s^2 olmaktadır. Şekil 127b'de S1'de 13.8560 m/s^2 olan ivme değeri, S2'de %3.9 artışla 14.3900 m/s^2 ve S3'te %4.5 artışla 14.4790 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 127c'de S1 zemininde 16.7400 m/s^2 olan ivme değeri, S2'de %7.6 azalışla 15.4650 m/s^2 ve S3'te %0.7 azalışla 16.6310 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



Şekil 127. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 8 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

2.8.3. 12 Katlı Yapının Analizi

12 katlı yapının 3 farklı gömülme oranına bağlı olarak yapılan dinamik analizleri sonucu elde edilen rölatif yatay yer değiştirme değerleri Tablo 137-142'de, göreli kat öteleme değerleri Tablo 143-148'de, gerilme değerleri Tablo 149-154'te ve ivme değerleri Tablo 155-160'ta verilmektedir.

Tablo 137. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
12	0.0209	-0.0196	-0.0203	0.0259	0.0255	0.0246	-0.0228	-0.0234	0.0249
11	0.0195	-0.0176	-0.0180	0.0239	0.0234	0.0220	-0.0212	-0.0216	0.0235
10	0.0176	-0.0151	-0.0152	0.0212	0.0206	0.0187	-0.0192	-0.0195	0.0213
9	0.0152	0.0129	0.0139	0.0179	0.0175	0.0165	-0.0171	-0.0177	0.0183
8	0.0126	0.0118	0.0129	0.0146	0.0140	0.0135	-0.0149	-0.0153	0.0156
7	0.0106	0.0111	0.0121	-0.0123	0.0107	-0.0133	-0.0123	-0.0124	-0.0132
6	0.0093	0.0101	-0.0111	-0.0103	-0.0098	-0.0130	-0.0093	-0.0092	-0.0103
5	0.0078	-0.0090	-0.0106	-0.0076	-0.0079	-0.0112	-0.0059	0.0059	-0.0075
4	-0.0066	-0.0076	-0.0088	0.0048	0.0056	0.0083	0.0026	0.0030	-0.0041
3	-0.0044	-0.0051	-0.0060	-0.0022	0.0028	0.0044	-0.0002	0.0007	-0.0016
2	0.0019	-0.0023	-0.0028	0.0002	0.0006	-0.0015	-0.0001	0.0005	-0.0010
1	-0.0002	0.0004	-0.0007	0.0001	0.0003	-0.0008	-0.0001	0.0003	-0.0006

u: En büyük yatay yer değiştirme (m)

Tablo 138. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
12	0.0253	0.0269	0.0288	0.0240	0.0261	0.0292	-0.0217	0.0245	0.0278
11	0.0242	0.0256	0.0270	0.0229	0.0247	0.0272	0.0201	0.0227	0.0256
10	0.0232	0.0243	0.0252	0.0216	0.0231	0.0248	0.0183	0.0204	0.0230
9	0.0226	0.0235	0.0242	0.0205	0.0218	0.0229	0.0166	0.0182	0.0203
8	0.0221	0.0230	0.0236	0.0196	0.0207	0.0219	-0.0159	-0.0175	0.0185
7	0.0212	0.0220	0.0228	0.0185	0.0194	0.0210	-0.0150	-0.0172	0.0171
6	0.0195	0.0203	0.0211	0.0164	0.0174	0.0193	-0.0127	-0.0151	-0.0152
5	0.0167	0.0175	0.0183	0.0132	0.0141	0.0161	-0.0089	-0.0110	-0.0115
4	0.0129	0.0137	0.0144	0.0089	0.0097	0.0114	-0.0041	-0.0053	-0.0060
3	0.0085	0.0089	0.0096	0.0039	0.0046	0.0058	0.0002	0.0008	0.0017
2	0.0037	0.0040	0.0046	0.0002	0.0007	0.0016	0.0001	0.0005	0.0011
1	0.0002	0.0005	0.0010	0.0001	0.0004	0.0009	0.0001	0.0003	0.0006

Tablo 139. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
12	0.1244	0.1368	0.1813	0.1170	0.1237	0.1265	0.0924	0.0983	0.1100
11	0.1191	0.1301	0.1709	0.1112	0.1176	0.1198	0.0882	0.0936	0.1047
10	0.1117	0.1220	0.1576	0.1030	0.1092	0.1112	0.0821	0.0871	0.0976
9	0.1025	0.1128	0.1420	0.0927	0.0988	0.1007	0.0740	0.0793	0.0887
8	0.0916	0.1033	0.1247	0.0808	0.0865	0.0887	0.0639	0.0695	0.0779
7	0.0793	0.0929	-0.1071	0.0678	0.0729	0.0755	0.0521	0.0579	0.0655
6	0.0661	0.0810	-0.0932	0.0541	0.0584	0.0613	0.0390	0.0446	0.0513
5	0.0522	0.0673	-0.0774	0.0400	0.0434	-0.0467	0.0249	0.0298	0.0354
4	0.0380	0.0517	-0.0596	0.0254	0.0282	-0.0325	0.0109	0.0144	0.0187
3	-0.0239	0.0344	-0.0404	0.0111	0.0136	0.0166	0.0010	0.0030	0.0060
2	-0.0103	0.0163	-0.0206	0.0010	0.0032	0.0057	0.0005	0.0018	0.0040
1	0.0009	0.0027	0.0058	0.0004	0.0016	0.0031	0.0002	0.0010	0.0023

Tablo 140. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
12	0.1404	-0.1560	-0.2163	0.1318	0.1373	0.1437	-0.1242	0.1255	0.1325
11	0.1340	-0.1485	-0.2045	0.1257	0.1303	0.1357	-0.1182	0.1190	0.1252
10	0.1251	-0.1390	-0.1897	0.1170	0.1209	-0.1256	-0.1095	0.1096	0.1152
9	-0.1159	-0.1276	-0.1723	0.1058	-0.1097	-0.1143	-0.0981	-0.0990	0.1025
8	-0.1066	-0.1149	-0.1530	-0.0961	-0.0993	-0.1017	-0.0846	-0.0866	-0.0899
7	-0.0958	-0.1010	0.1337	-0.0844	-0.0871	-0.0886	-0.0691	-0.0719	-0.0762
6	-0.0832	-0.0861	0.1139	-0.0701	-0.0727	-0.0744	-0.0519	-0.0556	-0.0602
5	-0.0685	-0.0701	0.0926	-0.0534	-0.0560	-0.0580	-0.0336	-0.0375	-0.0417
4	-0.0516	-0.0528	0.0701	-0.0346	-0.0373	-0.0397	-0.0149	-0.0183	-0.0220
3	-0.0332	-0.0345	0.0468	-0.0152	-0.0178	-0.0206	-0.0013	-0.0037	-0.0069
2	-0.0145	-0.0163	0.0240	-0.0012	-0.0035	-0.0064	-0.0006	-0.0023	-0.0045
1	-0.0010	-0.0030	-0.0070	-0.0005	-0.0018	-0.0035	-0.0003	-0.0013	-0.0026

Tablo 141. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
12	-0.1924	-0.2118	-0.2334	-0.1654	-0.1763	-0.1966	-0.1754	-0.1773	-0.1712
11	-0.1854	-0.2028	-0.2219	-0.1567	-0.1689	-0.1871	-0.1660	-0.1670	-0.1612
10	-0.1761	-0.1916	-0.2080	-0.1457	-0.1589	-0.1751	-0.1520	-0.1525	-0.1481
9	-0.1642	-0.1778	-0.1916	-0.1346	-0.1463	-0.1608	-0.1340	-0.1346	-0.1325
8	-0.1497	-0.1615	-0.1732	-0.1207	-0.1311	-0.1440	-0.1131	-0.1146	-0.1151
7	-0.1327	-0.1429	-0.1525	-0.1043	-0.1135	-0.1249	-0.0901	-0.0929	-0.0953
6	-0.1134	-0.1220	-0.1300	-0.0854	-0.0933	-0.1035	-0.0660	-0.0698	-0.0733
5	-0.0916	-0.0989	-0.1057	-0.0642	-0.0710	-0.0799	-0.0415	-0.0457	-0.0497
4	-0.0680	-0.0742	-0.0800	-0.0413	-0.0470	-0.0545	-0.0180	-0.0219	-0.0260
3	-0.0432	-0.0483	-0.0534	-0.0181	-0.0226	-0.0285	-0.0017	-0.0051	-0.0090
2	-0.0187	-0.0228	-0.0272	-0.0015	-0.0047	-0.0091	-0.0008	-0.0032	-0.0059
1	-0.0014	-0.0042	-0.0077	-0.0006	-0.0024	-0.0049	-0.0004	-0.0018	-0.0034

Tablo 142. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük yer değiştirmeler (m)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	u	u	u	u	u	u	u	u	u
12	-0.4596	-0.4944	0.4829	-0.3276	-0.3992	-0.4665	-0.2064	-0.2323	-0.2894
11	-0.4415	-0.4721	0.4578	-0.3144	-0.3811	-0.4425	-0.1971	-0.2213	-0.2750
10	-0.4169	-0.4436	0.4269	-0.2955	-0.3566	-0.4118	-0.1833	-0.2060	-0.2560
9	-0.3858	-0.4088	0.3902	-0.2706	-0.3257	-0.3746	-0.1652	-0.1859	-0.2314
8	-0.3487	-0.3679	0.3491	-0.2399	-0.2890	-0.3316	-0.1429	-0.1612	-0.2013
7	-0.3059	-0.3216	0.3040	-0.2042	-0.2473	-0.2839	-0.1167	-0.1324	-0.1663
6	-0.2583	-0.2709	0.2558	-0.1645	-0.2013	-0.2320	-0.0873	-0.1002	-0.1278
5	-0.2066	-0.2170	-0.2058	-0.1219	-0.1517	-0.1768	-0.0557	-0.0660	-0.0866
4	-0.1521	-0.1610	-0.1549	-0.0776	-0.0996	-0.1194	-0.0243	-0.0317	-0.0455
3	-0.0961	-0.1043	-0.1036	-0.0339	-0.0479	-0.0631	-0.0021	-0.0070	-0.0155
2	-0.0416	-0.0495	-0.0538	-0.0030	-0.0106	-0.0214	-0.0010	-0.0043	-0.0102
1	-0.0033	-0.0097	-0.0158	-0.0012	-0.0054	-0.0117	-0.0005	-0.0024	-0.0058

Tablo 143. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
12	0.0005	0.0007	0.0007	0.0007	0.0007	0.0008	0.0005	0.0006	0.0005
11	0.0006	0.0008	0.0009	0.0009	0.0009	0.0010	0.0007	0.0006	0.0008
10	0.0008	0.0007	0.0005	0.0011	0.0011	0.0010	0.0007	0.0006	0.0010
9	0.0009	0.0003	0.0002	0.0011	0.0012	0.0011	0.0007	0.0008	0.0010
8	0.0006	0.0002	0.0002	0.0007	0.0011	0.0005	0.0009	0.0010	0.0008
7	0.0005	0.0003	0.0002	0.0007	0.0004	0.0000	0.0010	0.0011	0.0010
6	0.0005	0.0003	0.0002	0.0009	0.0006	0.0002	0.0011	0.0010	0.0007
5	0.0004	0.0005	0.0006	0.0009	0.0006	0.0006	0.0011	0.0008	0.0009
4	0.0007	0.0008	0.0009	0.0008	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008	0.0008
3	0.0008	0.0009	0.0009	0.0007	0.0007	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0006	0.0005	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001

δ: Göreli kat ötelemesi

Tablo 144. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
12	0.0004	0.0005	0.0007	0.0004	0.0005	0.0008	0.0006	0.0006	0.0007
11	0.0003	0.0005	0.0007	0.0004	0.0005	0.0008	0.0006	0.0008	0.0009
10	0.0002	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0006	0.0005	0.0007	0.0007
9	0.0002	0.0001	0.0001	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002	0.0000	0.0003
8	0.0003	0.0003	0.0003	0.0004	0.0004	0.0002	0.0003	0.0001	0.0001
7	0.0006	0.0006	0.0005	0.0007	0.0007	0.0005	0.0008	0.0007	0.0006
6	0.0009	0.0009	0.0009	0.0011	0.0011	0.0010	0.0013	0.0014	0.0013
5	0.0013	0.0013	0.0012	0.0014	0.0014	0.0015	0.0016	0.0019	0.0018
4	0.0014	0.0015	0.0015	0.0016	0.0017	0.0016	0.0013	0.0016	0.0015
3	0.0016	0.0015	0.0016	0.0012	0.0012	0.0014	0.0000	0.0001	0.0001
2	0.0012	0.0012	0.0011	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001
1	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0001

Tablo 145. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
12	0.0018	0.0022	0.0035	0.0019	0.0020	0.0022	0.0014	0.0016	0.0018
11	0.0024	0.0027	0.0044	0.0027	0.0028	0.0029	0.0020	0.0021	0.0024
10	0.0031	0.0030	0.0052	0.0034	0.0035	0.0035	0.0027	0.0026	0.0030
9	0.0036	0.0031	0.0058	0.0040	0.0041	0.0040	0.0034	0.0032	0.0036
8	0.0041	0.0034	0.0054	0.0043	0.0045	0.0044	0.0039	0.0039	0.0042
7	0.0044	0.0039	0.0046	0.0046	0.0048	0.0047	0.0044	0.0044	0.0047
6	0.0046	0.0046	0.0053	0.0047	0.0050	0.0046	0.0047	0.0049	0.0053
5	0.0047	0.0052	0.0059	0.0048	0.0051	0.0047	0.0047	0.0051	0.0056
4	0.0047	0.0057	0.0064	0.0048	0.0049	0.0053	0.0033	0.0038	0.0042
3	0.0045	0.0060	0.0066	0.0034	0.0035	0.0039	0.0002	0.0004	0.0007
2	0.0032	0.0046	0.0051	0.0002	0.0005	0.0007	0.0001	0.0003	0.0006
1	0.0002	0.0006	0.0013	0.0001	0.0003	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000

Tablo 146. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
12	0.0021	0.0025	0.0040	0.0020	0.0023	0.0026	0.0020	0.0022	0.0024
11	0.0029	0.0032	0.0049	0.0029	0.0031	0.0031	0.0029	0.0031	0.0033
10	0.0030	0.0038	0.0058	0.0037	0.0035	0.0037	0.0038	0.0033	0.0040
9	0.0031	0.0042	0.0064	0.0031	0.0034	0.0041	0.0045	0.0041	0.0038
8	0.0036	0.0046	0.0063	0.0039	0.0041	0.0042	0.0052	0.0048	0.0046
7	0.0042	0.0049	0.0066	0.0048	0.0048	0.0047	0.0057	0.0055	0.0054
6	0.0049	0.0053	0.0071	0.0056	0.0056	0.0054	0.0061	0.0061	0.0061
5	0.0056	0.0058	0.0075	0.0063	0.0062	0.0061	0.0062	0.0064	0.0066
4	0.0061	0.0061	0.0077	0.0065	0.0065	0.0064	0.0046	0.0048	0.0050
3	0.0063	0.0061	0.0076	0.0047	0.0048	0.0048	0.0002	0.0005	0.0007
2	0.0045	0.0045	0.0058	0.0002	0.0005	0.0008	0.0001	0.0003	0.0006
1	0.0002	0.0007	0.0016	0.0001	0.0004	0.0006	0.0001	0.0003	0.0006

Tablo 147. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
12	0.0023	0.0030	0.0038	0.0029	0.0025	0.0032	0.0031	0.0034	0.0033
11	0.0031	0.0037	0.0046	0.0036	0.0033	0.0039	0.0047	0.0048	0.0044
10	0.0040	0.0046	0.0054	0.0037	0.0042	0.0048	0.0060	0.0060	0.0052
9	0.0048	0.0054	0.0062	0.0046	0.0050	0.0055	0.0070	0.0067	0.0058
8	0.0056	0.0062	0.0068	0.0055	0.0059	0.0063	0.0077	0.0072	0.0066
7	0.0065	0.0070	0.0075	0.0063	0.0067	0.0070	0.0080	0.0077	0.0073
6	0.0072	0.0076	0.0080	0.0071	0.0074	0.0078	0.0082	0.0080	0.0078
5	0.0079	0.0082	0.0085	0.0076	0.0080	0.0084	0.0078	0.0079	0.0077
4	0.0083	0.0086	0.0088	0.0077	0.0081	0.0086	0.0054	0.0056	0.0058
3	0.0082	0.0085	0.0087	0.0055	0.0060	0.0065	0.0003	0.0006	0.0009
2	0.0058	0.0062	0.0065	0.0003	0.0007	0.0013	0.0001	0.0004	0.0008
1	0.0003	0.0010	0.0017	0.0002	0.0006	0.0010	0.0001	0.0003	0.0004

Tablo 148. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük göreli kat ötelemeleri

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ	δ
12	0.0060	0.0074	0.0083	0.0044	0.0060	0.0080	0.0031	0.0037	0.0047
11	0.0082	0.0095	0.0103	0.0063	0.0082	0.0102	0.0046	0.0051	0.0063
10	0.0104	0.0116	0.0121	0.0083	0.0103	0.0124	0.0060	0.0067	0.0082
9	0.0124	0.0136	0.0137	0.0102	0.0122	0.0144	0.0074	0.0083	0.0100
8	0.0143	0.0154	0.0149	0.0119	0.0139	0.0159	0.0087	0.0096	0.0117
7	0.0159	0.0169	0.0159	0.0132	0.0153	0.0174	0.0098	0.0107	0.0130
6	0.0172	0.0180	0.0166	0.0142	0.0165	0.0185	0.0105	0.0114	0.0137
5	0.0182	0.0186	0.0169	0.0148	0.0174	0.0191	0.0105	0.0114	0.0134
4	0.0187	0.0189	0.0171	0.0146	0.0172	0.0187	0.0074	0.0081	0.0098
3	0.0182	0.0183	0.0166	0.0103	0.0124	0.0138	0.0004	0.0008	0.0017
2	0.0128	0.0133	0.0127	0.0006	0.0016	0.0032	0.0002	0.0006	0.0014
1	0.0009	0.0024	0.0039	0.0003	0.0012	0.0023	0.0001	0.0005	0.0013

Tablo 149. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12	0.9907	1.0254	-1.3420	1.0497	1.1038	-2.4265	-1.2175	-1.9776	-2.5824
11	1.8123	1.8752	-2.1320	-1.9282	2.0102	-3.7854	-2.0349	-3.2402	-4.0952
10	2.5389	2.5848	2.6362	-2.7681	-2.7598	3.9906	2.7254	-3.6525	-4.2898
9	2.6855	2.6697	2.5975	-3.1769	-3.0809	3.8944	3.0825	3.3184	-3.4425
8	-2.8124	-2.3960	2.3334	-3.4812	-3.4399	4.3773	3.3001	3.6923	4.1048
7	-2.8570	-2.3129	2.1579	-3.5801	-3.5085	4.9407	-3.3992	-4.2554	-4.1572
6	-2.5764	2.2356	2.2514	-3.2763	-3.0756	3.5221	3.7247	3.7876	3.7886
5	2.3542	-2.3662	-2.5182	3.2850	2.6502	-3.4613	3.9926	3.6781	3.7360
4	-2.4875	-2.6054	-2.6118	3.4060	3.2313	3.9256	-3.7929	-3.3829	3.7254
3	2.9711	3.2205	3.4812	-3.1978	-3.4320	-4.9329	-0.9710	-1.2916	1.4581
2	2.9721	3.2389	3.4327	0.9556	1.2184	-2.1182	-0.0504	0.0572	-0.0612
1	-0.8607	-1.0101	-1.1999	-0.0453	-0.0556	0.0960	0.0297	0.0435	-0.0631

S: En büyük gerilme (MPa)

Tablo 150. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12	-1.2023	-1.1934	1.2592	0.0135	1.6750	2.2910	2.0547	2.7921	2.9848
11	-2.2979	-2.2854	2.1882	3.0244	3.0059	3.9789	3.6973	4.8750	5.1575
10	-3.4158	-3.4043	-3.2170	4.1307	4.0507	-5.3453	4.9851	6.2515	6.4603
9	-3.9399	-3.9704	-4.2434	4.2077	-4.2564	-5.7863	4.9971	5.8300	5.7819
8	-4.0940	-4.2986	-4.6467	-4.3366	-4.5822	-5.6227	-4.3889	-5.3414	-5.8514
7	-3.7892	-3.9266	-4.1746	-3.9925	-4.1958	-5.1283	-3.8610	-4.5256	-4.9998
6	3.1999	3.1957	-3.0650	-3.5381	-3.5063	4.0239	3.8496	4.1825	4.2654
5	-3.7494	-3.5191	-3.1624	-4.3632	-4.1868	-3.8617	5.2659	5.9761	5.6148
4	-4.9021	-4.7388	-4.4432	-5.5600	-5.4828	-5.6224	5.8941	6.9583	6.8424
3	-5.6244	-5.4949	-5.2917	-5.7636	-5.7386	-6.2986	1.7100	2.4342	2.5514
2	-5.6142	-5.2663	-5.1726	-1.5282	-1.8529	-2.3228	0.0490	-0.0599	0.0693
1	-1.5156	1.6861	-1.6609	-0.0511	-0.0620	-0.0796	0.0281	0.0373	0.0513

Tablo 151. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12	1.8551	-2.1310	-2.5599	-2.3104	2.4559	3.1545	-2.5621	-3.7500	-3.7830
11	3.7857	-4.3372	-5.1984	-4.6966	4.7476	5.3854	-4.5316	-6.3045	-6.6169
10	6.2549	-7.1543	-8.5474	-7.7634	7.2717	8.1105	-6.3799	-8.0842	-8.4188
9	-8.4002	-9.5022	-11.2993	-10.3584	-9.3988	10.2573	-8.7769	-8.6721	-9.2190
8	-10.3886	-11.1519	-13.1957	-12.3305	-11.5289	11.0178	-11.0240	-11.0025	-11.1825
7	-12.0235	-12.1606	-14.2559	-13.7273	-13.1965	-11.7111	-13.1638	-12.9814	-12.9893
6	-13.3484	-12.8304	-14.7023	-14.7264	-14.4206	-13.0279	-14.9351	-14.8075	-14.8794
5	-14.3535	-14.3657	-14.8994	-15.6319	-15.2512	-14.0155	-16.1099	-16.6792	-17.0309
4	-15.0611	-16.6832	16.6906	-16.3494	-15.6453	15.9580	-15.3398	-16.4786	-17.0070
3	15.4802	-18.8583	18.6700	-15.4697	-14.4777	16.7269	-3.5278	-5.0945	-5.5233
2	14.8397	-18.8234	18.3671	-3.3542	4.2939	5.5202	0.1945	0.2413	0.2491
1	3.2719	-5.3544	5.1762	0.2175	0.2469	0.2134	0.0608	0.0956	0.0983

Tablo 152. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12	2.6925	2.8847	2.9796	-2.3810	2.5867	3.1506	2.9459	-2.7813	-2.6150
11	5.3875	5.7274	5.8770	-4.9115	5.1178	6.1329	5.9131	5.4121	-5.2827
10	8.6816	9.1333	9.2696	-8.3035	8.2166	9.5114	9.6407	-8.9484	-8.7550
9	11.2190	11.6926	12.2742	-11.4001	-11.0505	12.0008	12.7993	-12.1871	-11.8745
8	-13.0011	-13.5010	14.7022	-14.0069	-13.4647	13.6578	15.4238	-14.8954	-14.4613
7	-14.5718	-14.7625	16.4297	-16.0202	-15.2658	14.8404	17.6693	-16.9817	-16.4091
6	-15.7587	-15.3051	17.5727	-17.4228	-16.4489	15.4086	19.7988	18.7404	-17.5857
5	16.8774	16.0251	-18.4099	19.4997	18.4585	16.8060	21.4085	20.7261	20.0808
4	19.3495	17.6503	-20.2021	21.9566	20.8588	19.1409	20.9257	20.9610	20.4072
3	21.3016	19.0361	-21.3050	21.4787	20.4688	18.9945	5.0881	6.6737	6.7509
2	20.5602	18.3814	-19.9662	4.9867	6.0725	5.9418	-0.2657	-0.3182	-0.2973
1	4.5243	5.1021	-5.2008	-0.2631	-0.2877	-0.2493	-0.0943	-0.1449	-0.1327

Tablo 153. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12	-3.2072	-3.1721	-3.1989	3.8978	-3.5520	3.5549	4.3290	4.5197	4.0855
11	-6.2224	-6.4683	-6.4498	7.7798	-6.9380	6.8216	8.7400	8.9411	8.1123
10	-9.5554	-10.7007	-10.4941	12.5219	10.9034	10.5753	14.3304	14.2559	12.9467
9	11.8905	-14.2961	-13.7049	16.2102	13.8264	14.0040	19.0143	18.3824	16.5355
8	14.8570	-16.9870	16.0627	18.6128	15.5493	16.6944	22.5049	21.1482	18.5969
7	17.7459	-18.8401	18.1146	20.0108	18.2515	18.9330	24.9282	22.9485	20.0227
6	20.6709	20.4734	19.8946	21.0954	21.0525	21.1293	26.5107	24.7764	22.7969
5	23.5762	22.8998	21.6548	24.0935	23.8718	23.5283	27.2420	26.1816	24.7666
4	26.1396	25.1737	23.4285	26.3384	26.1206	25.8476	25.1177	24.5809	23.5530
3	27.8280	26.6985	24.6791	25.3519	25.2206	25.1808	5.5213	7.2972	7.5674
2	26.2143	25.0884	23.1273	5.6718	7.3021	7.6721	-0.3425	-0.3856	-0.3473
1	5.2610	6.4658	6.1471	-0.3237	-0.3711	-0.3552	-0.0951	-0.1397	-0.1395

Tablo 154. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük gerilmeler (MPa)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	S	S	S	S	S	S	S	S	S
12	-6.0794	-5.9950	-5.3397	-5.4222	-6.4776	-7.0741	-4.4368	4.6786	-5.9156
11	-12.5818	-12.3535	-10.9608	-10.9546	-13.0702	-14.0539	-8.8847	9.2991	-11.6339
10	-21.3855	-20.7976	-18.4002	-18.0677	-21.4169	-22.9450	-14.4163	15.0843	-18.3059
9	-29.4621	-28.3449	-25.0083	24.3370	-28.4399	-31.1995	19.5549	20.1442	-23.1660
8	-36.6063	-34.6809	-30.6108	31.5687	34.2169	-38.3631	24.4256	25.5679	29.3283
7	-42.8087	41.1886	-35.2495	38.0108	40.7467	-43.7260	29.4358	30.9565	35.3831
6	48.9203	46.9305	-39.1177	43.2503	46.5260	48.5430	33.6308	35.1370	39.9046
5	54.4524	51.5412	-42.3103	47.1875	51.7554	52.8634	36.2864	37.7544	42.8424
4	59.0011	54.9371	-44.6947	49.8249	55.3888	55.9438	34.3156	35.8529	40.4701
3	61.7161	56.7756	-46.7825	47.1721	52.3728	52.3075	7.8219	10.7326	12.6264
2	57.7280	52.6749	44.1625	10.1111	14.7339	15.0780	-0.4263	-0.5393	-0.6228
1	11.0869	13.0505	11.9822	-0.6422	-0.8127	-0.8185	-0.1366	-0.2184	-0.2541

Tablo 155. Coalinga depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L	0.5			1			1.5		
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	5.3060	5.1899	4.9110	5.0949	5.5159	11.2590	4.7037	-7.4077	-10.1850
11	4.7247	4.5121	3.9802	4.1821	4.1838	5.7460	3.9981	4.5566	-5.1623

Tablo 155. (Devamı)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
10	4.0829	3.9635	-3.9011	-3.6106	-4.0267	4.5938	-3.1015	-4.6466	-4.6904
9	3.6636	-3.5351	-4.4773	-3.6179	-4.0535	6.5755	-3.6237	-5.4916	5.8822
8	3.7335	3.5064	-4.0155	3.8888	3.6976	-6.1385	4.3425	5.9180	5.3773
7	4.1825	4.0172	3.5771	4.9968	5.1143	-6.6182	4.6428	6.4692	4.6086
6	4.4361	4.5462	4.3281	5.4946	5.8437	7.6766	-5.2383	-5.4000	6.6119
5	4.6376	4.7894	-4.8724	-5.4575	-5.9926	-9.0399	-4.7364	-5.8459	-6.8274
4	-4.3745	4.8521	-5.2518	-4.5692	-5.1753	-8.0530	-2.7729	-4.1306	-4.9820
3	-3.9238	4.3107	-5.3316	-2.6165	-3.2318	-6.5602	-0.8102	-2.8277	4.7464
2	-2.3172	2.9146	-4.5382	-0.7572	-2.2625	-5.0989	-0.8266	-3.0506	5.0510
1	-0.7337	-2.0194	3.5907	-0.7885	-2.3393	5.5074	-0.8470	-3.2476	5.3518

a: En büyük ivme (m/s^2)

Tablo 156. Whittier Narrows depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	-4.0287	-3.9855	4.2609	5.5846	5.6287	7.9216	6.4994	9.2581	10.1700
11	-3.6463	-3.4890	-3.1357	-4.3418	-4.2942	5.0208	-5.3029	5.8537	6.2119
10	-3.4596	-3.3541	-3.2223	-3.9419	-3.6694	3.8365	-4.8367	-4.4730	-4.3015
9	-3.9347	-3.9810	-4.2542	-3.9094	-3.6819	3.2654	-4.2769	4.4205	4.6481
8	-4.6715	-4.7833	-5.0622	-4.5420	-4.3946	-4.3430	4.2051	-4.7947	-5.1888
7	-5.4916	-5.5462	-5.6268	-5.3826	-5.4007	-5.5473	-4.6076	-5.3869	-5.3020
6	-6.0751	-6.1434	-6.1962	-5.9804	-6.1068	-6.8768	-4.7761	5.8016	6.4011
5	-6.0157	-6.1250	-6.2908	-5.6940	-5.9446	-7.0428	-3.9999	-5.0173	-5.9279
4	-5.1693	-5.2563	-5.5368	-4.2938	-4.5760	-5.5184	-2.1581	3.1716	-3.6712
3	-3.6484	-3.8822	-4.2500	-2.0568	-2.5109	3.5201	0.4870	1.6965	1.8904
2	-1.8049	-2.4594	-2.6049	0.4530	1.2893	2.1954	0.4932	1.7653	1.9198
1	0.4614	1.3179	1.7576	0.4710	1.3303	2.2542	0.5040	1.8303	2.1776

Tablo 157. Kobe depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	7.0823	7.9965	-8.1767	-7.1862	-7.3997	-9.2284	-8.5493	-12.0050	-11.5630
11	6.4658	7.3337	-7.1833	-6.3775	-6.2740	-7.8311	-6.2530	-8.2351	-7.5411
10	-6.3433	-6.7512	-5.8130	5.2844	5.1294	6.5719	7.3753	7.5839	6.6062
9	-6.3023	-6.7057	-5.6728	7.1039	6.7151	-7.6822	8.3848	-8.2381	-9.2929
8	-6.6699	-6.7602	-7.1063	8.4605	8.2422	-10.0250	8.7590	-10.7540	-11.2960
7	7.2851	6.8560	-7.6706	9.2857	9.1501	-9.7152	8.5301	10.2300	-10.1060
6	7.9008	7.7373	8.1172	9.3159	9.4082	10.1410	-8.8442	-10.4080	-10.3390
5	7.8177	7.9871	8.3925	8.2443	8.7434	9.6959	-7.7777	-10.4160	-9.3800
4	6.7135	7.0158	7.0755	5.7852	6.7072	-7.7256	-4.2809	-6.8081	5.5553
3	-4.7972	-5.3673	-5.7464	-2.9651	-4.7602	-5.4549	-1.6600	4.5213	5.0768
2	-2.6470	-3.9060	-4.8490	-1.6338	3.4862	5.4094	-1.7395	4.6027	5.3552
1	-1.6374	3.5074	4.5565	-1.7033	3.6289	5.7975	-1.8150	4.7213	5.6512

Tablo 158. Parkfield depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	-11.1120	-10.8710	-10.5850	-11.4460	-11.3690	-11.3500	-11.3960	-11.9230	-11.9600
11	-10.5030	-10.2040	-9.8159	-10.8650	-10.7630	-10.6730	-10.7620	-11.0980	-11.1460
10	-9.6883	-9.3449	-8.9526	-10.0480	-9.9044	-9.7083	-9.8688	-9.9773	-10.0920
9	-8.7031	-8.3934	-8.0257	-9.0080	-8.8279	-8.4634	-8.7317	-8.6941	-8.8004
8	-7.6201	-7.3352	-7.0184	-7.7251	-7.5576	-7.0357	-7.4106	-7.2492	-7.3049
7	6.9158	6.7415	6.4215	-6.3081	6.2657	6.5260	-5.9188	-5.7427	-5.6479
6	7.0796	7.0936	7.0891	5.7029	6.1749	6.9451	4.7529	5.9956	5.4909
5	6.6198	6.5525	6.8849	4.7893	5.2695	5.9061	3.5737	4.9521	-4.3706
4	5.5358	5.4616	5.9153	3.4854	4.0760	-4.5882	1.7230	3.6263	2.7593
3	3.8680	4.0813	4.1612	1.6860	2.6119	-2.7743	0.4338	2.4580	-2.0231
2	1.7847	2.3280	-2.2689	0.3987	1.4784	-2.3396	0.4208	2.4800	-2.1705
1	0.3631	1.3154	-1.9919	0.3913	1.4825	-2.4514	0.4189	2.5163	-2.3128

Tablo 159. Erzincan depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	12.2220	12.5730	12.5090	14.0480	13.0910	14.1870	14.6400	15.7120	14.4850
11	11.8800	12.2500	12.2140	12.3130	12.3590	13.3670	-13.4570	13.3850	12.6450
10	11.4800	11.8180	11.8730	10.3950	11.2660	12.2540	-11.9550	-11.2540	9.9256
9	10.8950	11.2920	11.3100	9.3020	9.8932	10.7430	-10.1710	-9.2642	-9.3053
8	10.0540	10.4390	10.6070	-8.6291	8.8556	-9.9339	-8.4852	-8.8904	-9.7489
7	9.4365	9.6225	9.6069	-8.8924	-9.2889	-10.5200	-6.9858	-7.8334	-8.6449
6	-8.8172	8.8385	8.9314	-8.3549	-8.9611	-10.5470	-5.4696	-6.4639	-6.8650
5	-8.4315	-8.3567	-8.0105	-6.9787	-7.5960	-9.4526	-3.7290	-4.6349	-5.1413
4	-7.1139	-7.1997	-7.0189	-4.8385	-5.2958	7.2681	1.8559	-2.5152	-2.9250
3	-4.9192	-5.1320	-5.0710	-2.2124	-2.5679	3.7760	-0.3351	-1.0760	1.6719
2	-2.2215	-2.4524	-2.6272	-0.3204	-0.9255	1.8220	-0.3628	-1.1597	1.9938
1	-0.3120	-0.9360	1.6442	-0.3631	-1.0516	2.0482	-0.3800	-1.2309	2.2803

Tablo 160. Pazarcık depreminde 12 katlı yapıda gömülme oranına bağlı olarak oluşan en büyük ivmeler (m/s^2)

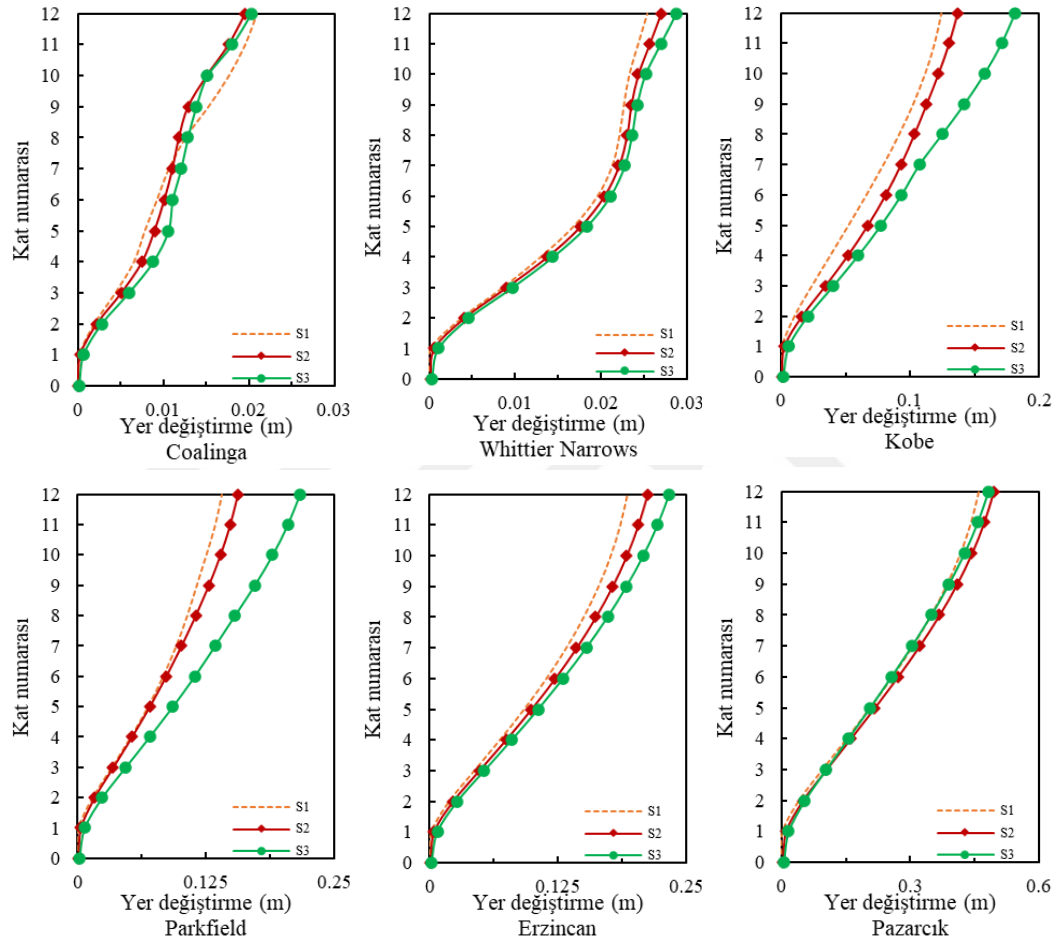
2e/L		0.5			1			1.5	
Zemin	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Kat No	a	a	a	a	a	a	a	a	a
12	-20.6890	-20.5900	-19.1040	-21.6870	-24.0540	22.9340	-16.6460	17.4760	-23.1360
11	-20.1930	-19.7650	-18.0990	-20.2970	-22.5030	-21.8460	-14.7590	15.2200	-19.8230
10	-19.4180	-18.8690	-17.1280	-18.0920	-20.2770	-21.1220	12.5980	13.5770	-15.8390
9	-18.2460	-17.5920	-15.9730	-15.9620	-17.3490	-18.8550	11.5890	12.1650	-14.4840
8	-16.6130	-16.1330	-14.6000	-15.4680	-15.1030	-15.7690	10.7160	11.1140	-12.7030
7	-15.0950	-14.6360	-13.8470	-14.4680	-14.1370	15.2390	9.6084	10.9880	-11.6610
6	-13.7330	-12.3380	-13.3000	-12.8710	-12.3310	14.2770	7.9776	-9.9958	-11.1970
5	-11.9930	10.8660	12.7590	-10.1470	-10.8660	12.4420	-6.1416	-8.3185	-9.5247
4	-10.5840	-9.9644	11.4150	-7.6218	-8.7691	-9.5533	-3.4864	-5.7907	-6.6732
3	-8.0163	-8.4032	8.9439	4.0371	-5.2875	-7.1364	-1.5673	4.7578	5.4498
2	-4.2361	-5.2073	5.3837	-1.5505	3.6377	5.3308	-1.6521	5.0210	5.9851
1	-1.5176	3.4295	5.0263	-1.6003	3.7854	5.9045	-1.7245	5.2485	6.4985

2.8.3.1. 2e/L=0.5 Durumu

2.8.3.1.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

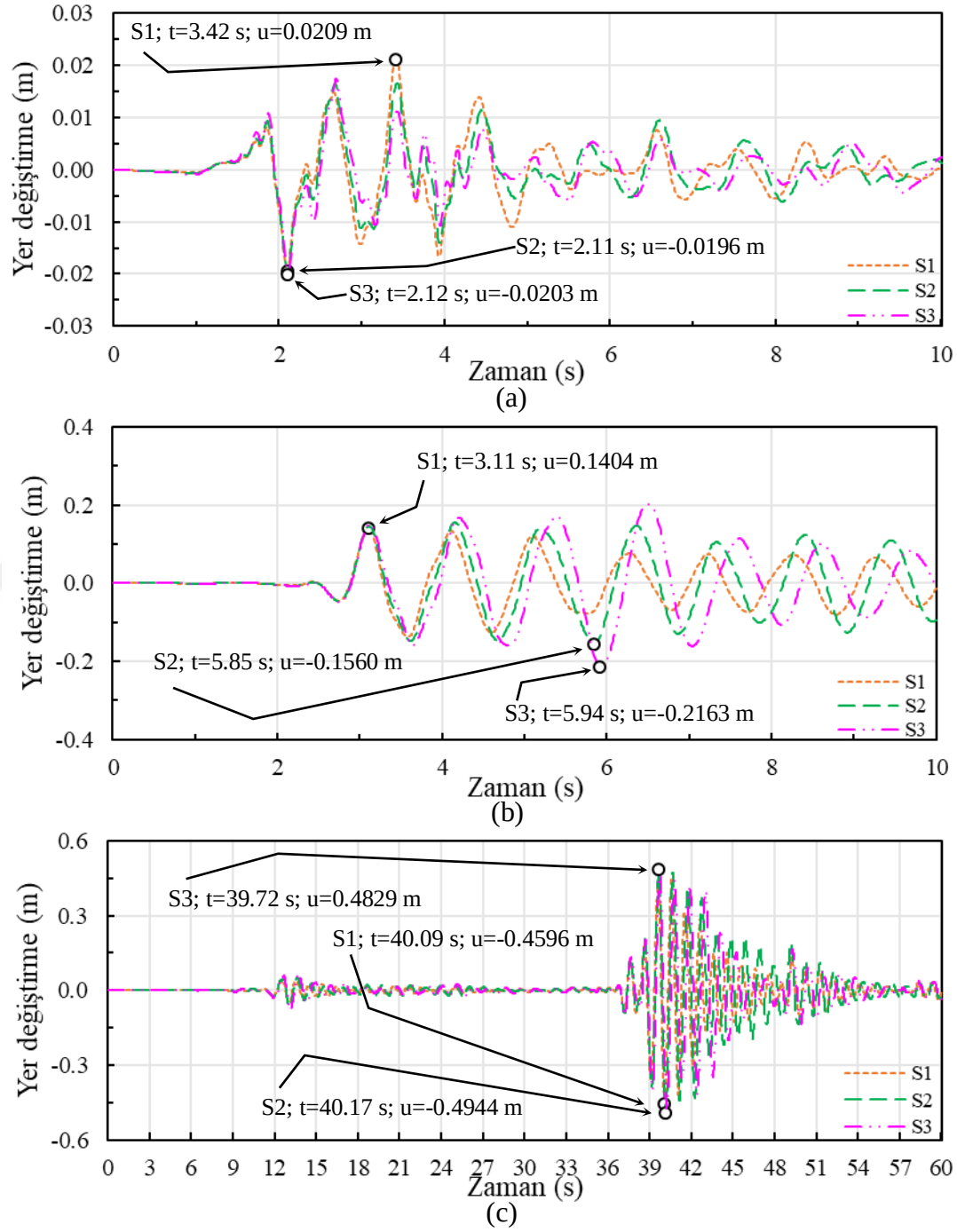
Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 128'de verilmektedir. Gömülü katta yer

değiştirmelerin genel olarak küçük mertebelerde kaldığı, özellikle yüksek frekans içeriğine sahip depremlerde ihmal edilebilir düzeylerde olduğu ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı gözlenmektedir. Maksimum yer değiştirmeler; yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde S1'de, düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depreminde S2'de ve diğer depremlerde ise S3'te meydana gelmektedir. Bu tespitlerden, etkileşim nedeniyle maksimum tepkilerin zaman zaman artabileceği, zaman zaman ise azalabileceği görülmektedir.



Şekil 128. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 129'da seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 129a'da S1'de 0.0209 m olan yer değiştirme, S2'de %6.2 azalışla 0.0196 m ve S3'te %2.9 azalışla 0.0203 m olmaktadır. Şekil 129b'de S1 için 0.1404 m olan yer değiştirme, S2'de %11.1 artışla 0.1560 m ve S3'te %54.1 artışla 0.2163 m seviyesine yükselmektedir. Şekil 129c'de S1 koşullarında 0.4596 m olan yer değiştirme, S2'de %7.6 artışla 0.4944 m ve S3'te %5.1 artışla 0.4829 m olarak hesaplanmaktadır.

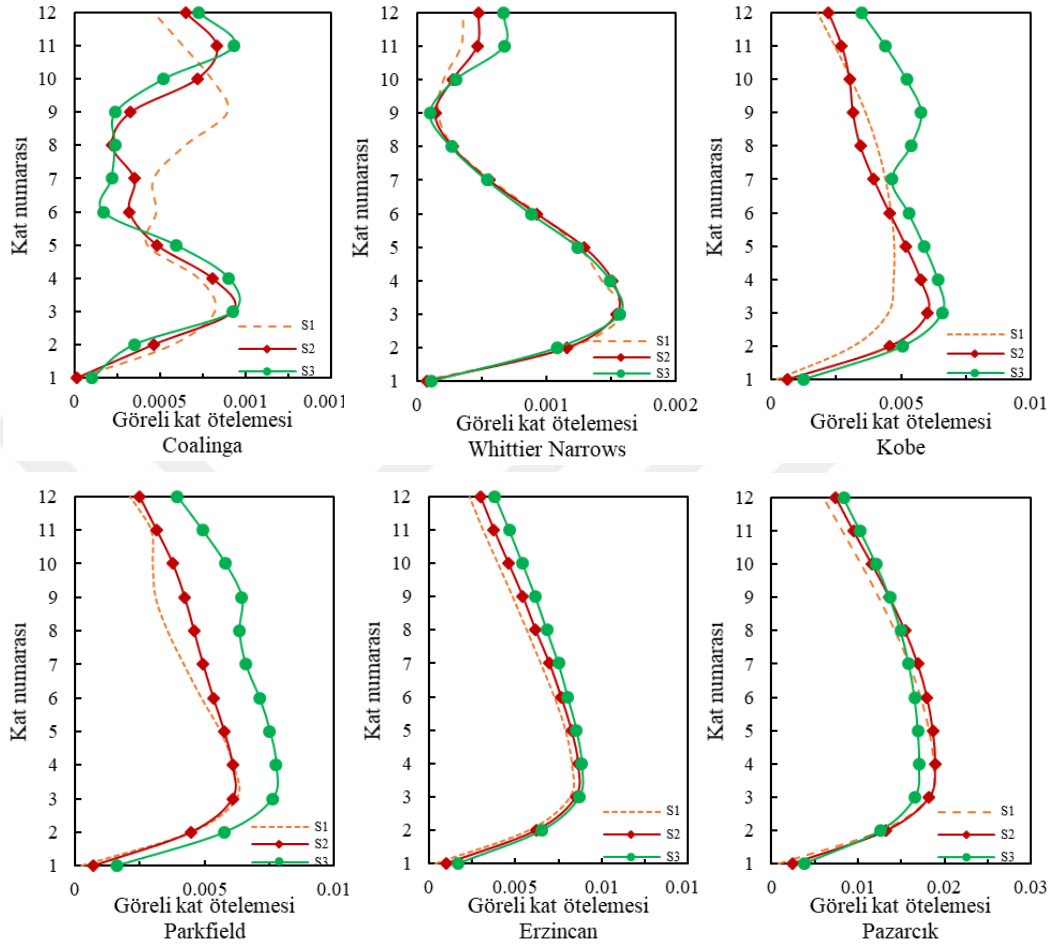


Şekil 129. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.3.1.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 130'da verilmektedir. Bu ötelemeler genellikle üçüncü ve dördüncü kat seviyelerinde maksimum olmaktadır. Yüksek frekans içerikli Coalinga depreminde S1 için 0.0008 olan göreli kat ötelemesi, S2 ve S3 zeminleri için %12.5 artışla 0.0009 olmaktadır. Orta frekans içerikli Parkfield depreminde S1 için 0.0063 olan aynı değer, S2'de %3.2 azalışla 0.0061 ve S3'te %22.2 artışla 0.0077 olarak

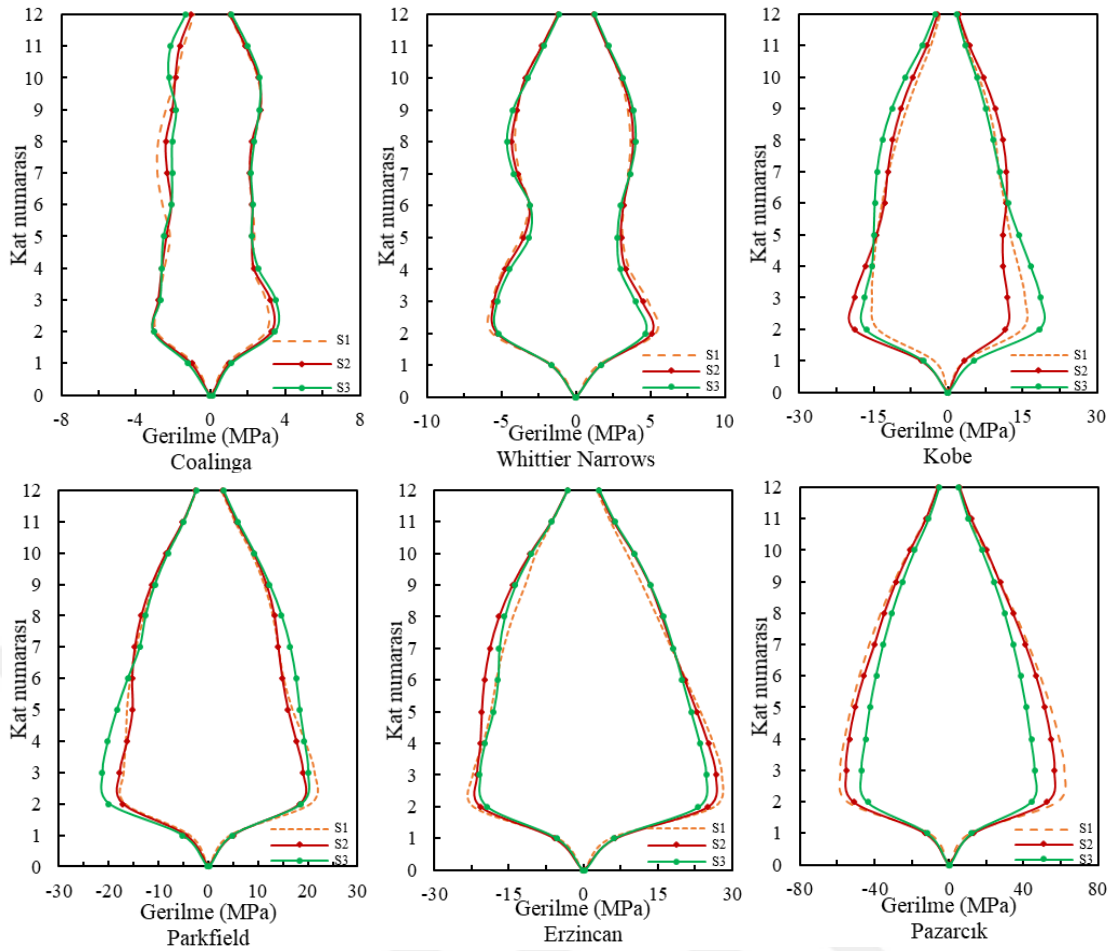
hesaplanmaktadır. Düşük frekans içerikli Pazarcık depreminde S1'de söz konusu değer 0.0187 iken, S2'de %1.1 artışla 0.0189 ve S3'te %8.6 azalışla 0.0171 olarak elde edilmektedir.



Şekil 130. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

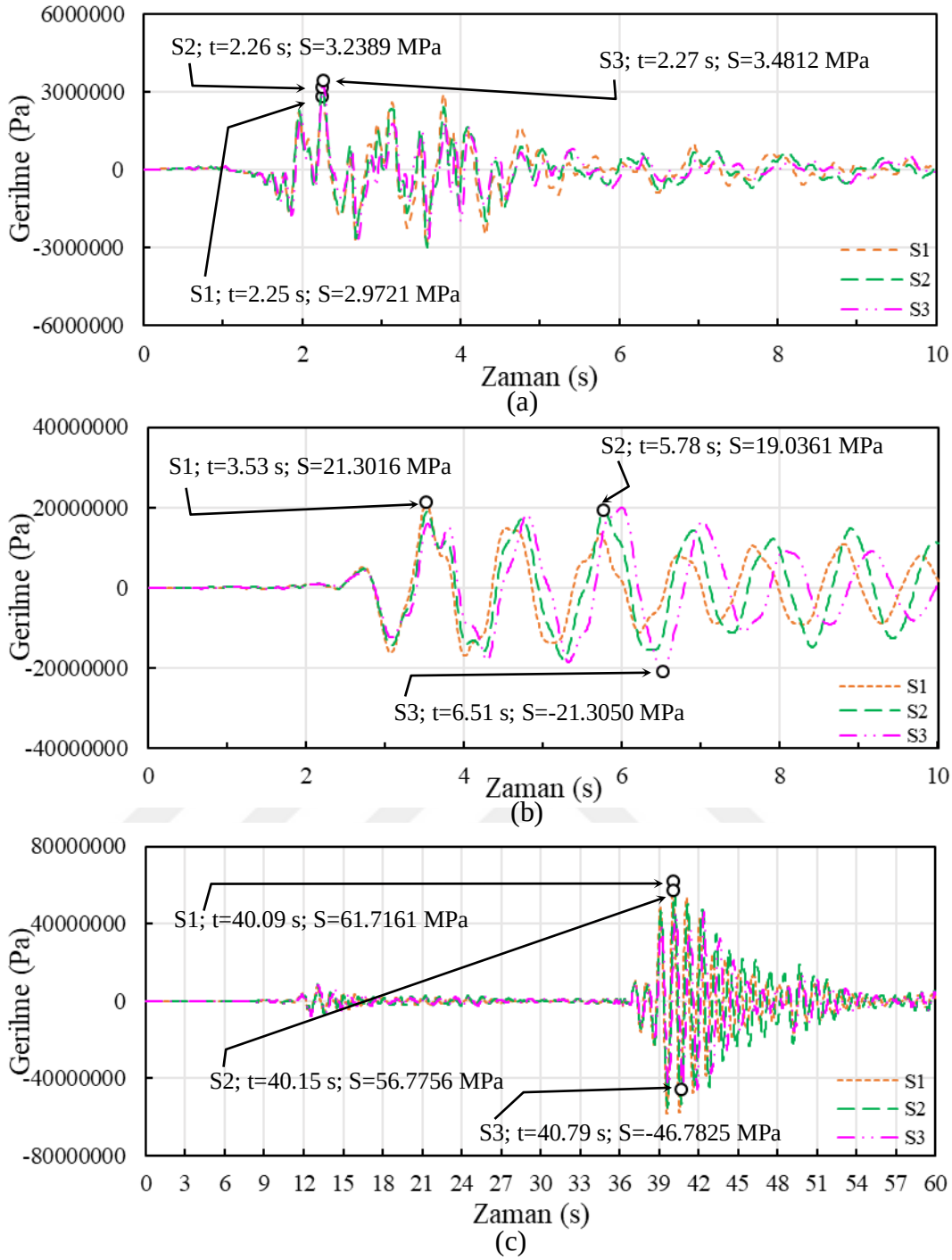
2.8.3.1.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 131'de verilmektedir. Genel olarak ikinci ve üçüncü kat seviyelerinde maksimum değerlere ulaşılmaktadır. Yüksek frekans içerikli Coalinga depreminde zemin rijitliği azaldıkça gerilmeler artarken, Whittier Narrows depreminde tam tersi bir durum olduğu görülmektedir. Orta frekans içerikli Kobe depreminde S2 zemininde gerilme tepkisi maksimum iken, Parkfield depreminde S3 koşullarında maksimum olmaktadır. Düşük frekans içerikli Erzincan ve Pazarcık depremlerinde ise zemin rijitliğinin azalmasıyla gerilme tepkileri de azalmaktadır.



Şekil 131. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 132'de seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 132a'da S1 zemininde gerilme 2.9721 MPa iken, S2'de %9 artışla 3.2389 MPa ve S3 zemininde %17.1 artışla 3.4812 MPa olmaktadır. Şekil 132b'de S1'de 21.3016 MPa olan gerilme, S2'de %10.6 azalışla 19.0361 MPa ve S3'te yine 21.3050 MPa düzeyinde hesaplanmaktadır. Şekil 132c'de S1 koşullarında 61.7161 MPa olan gerilme, S2'de %8 azalışla 56.7756 MPa ve S3'te %24.2 azalışla 46.7825 MPa seviyesine düşmektedir.

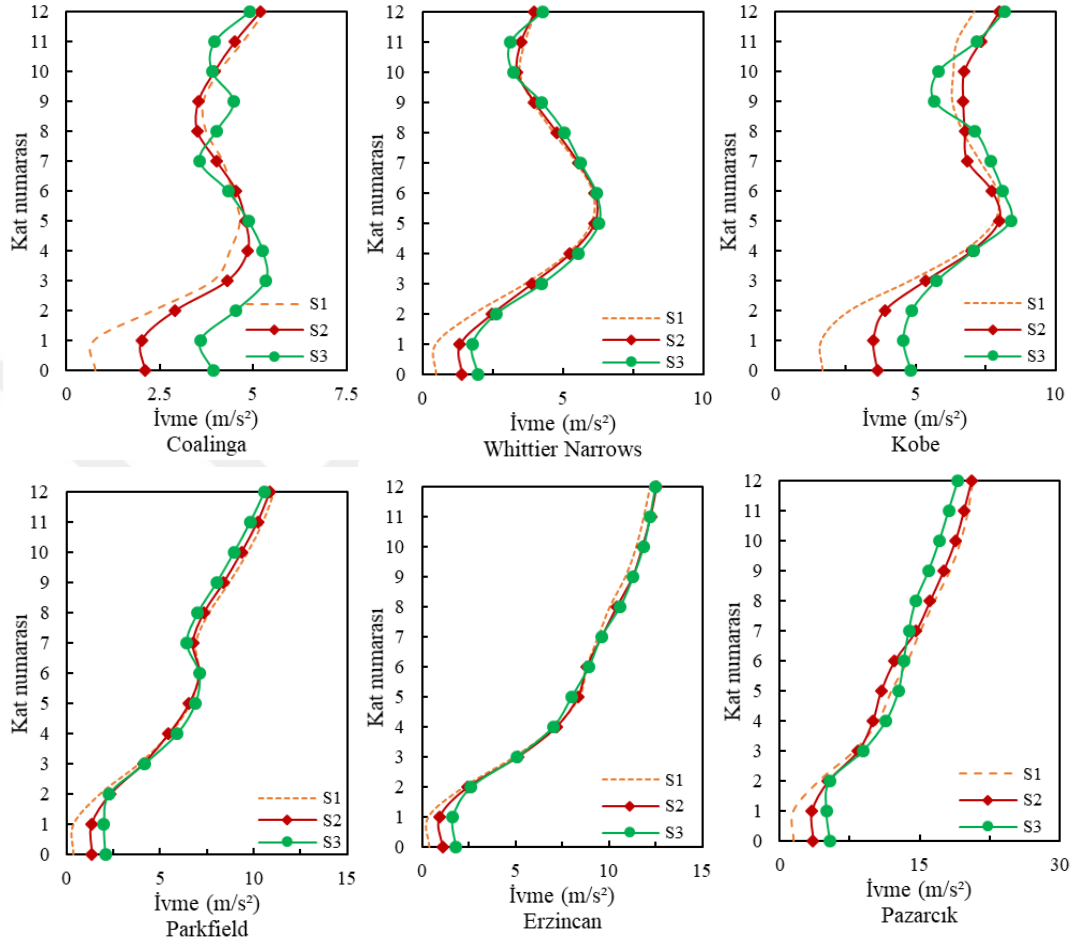


Şekil 132. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.3.1.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=0.5)

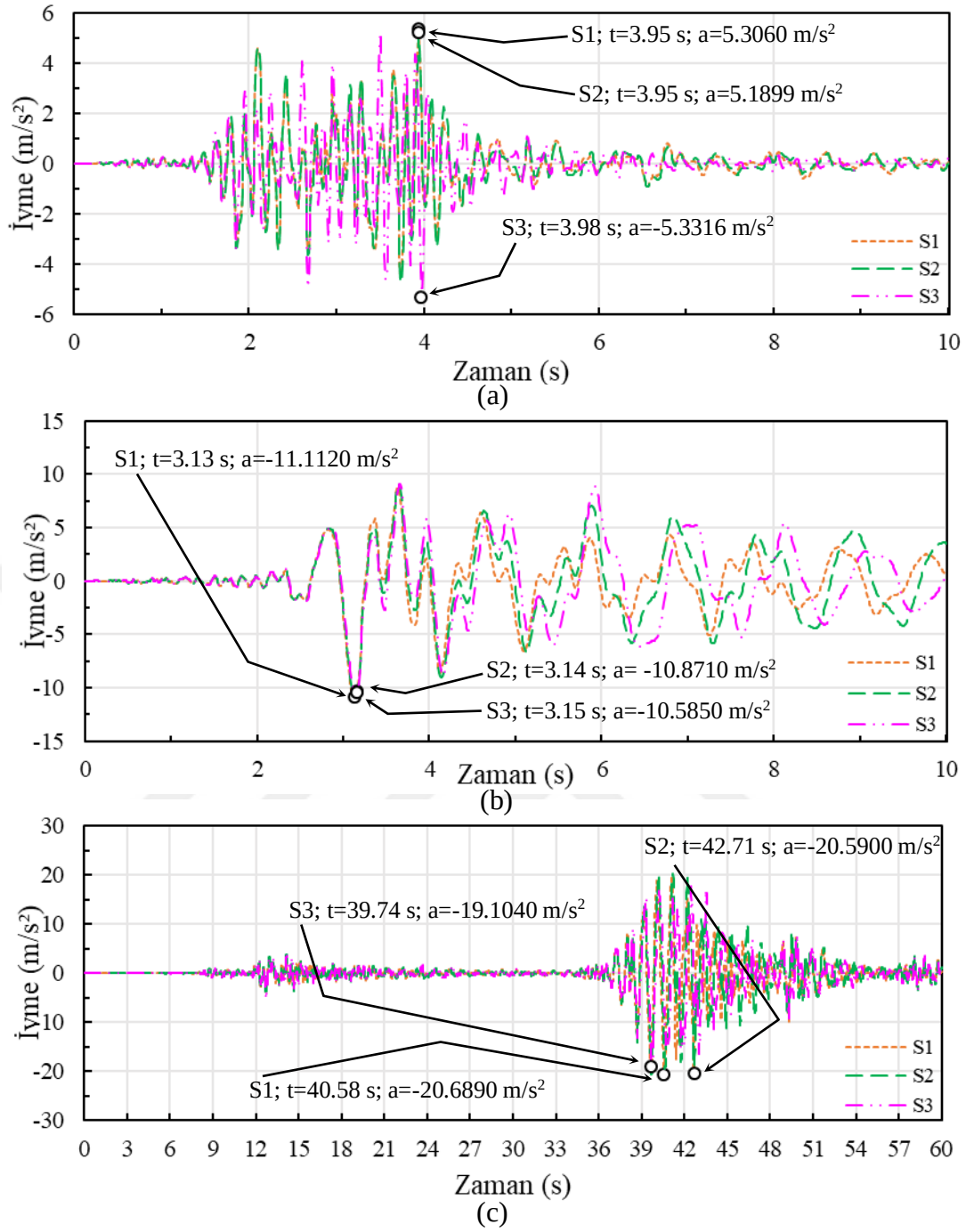
Gömülme oranının 0.5 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 133'te verilmektedir. İvmelerin gömülü kat yüksekliği boyunca sabit kaldığı ve bu kat seviyesinden sonra artarak bazen son kat seviyesinde bazen de ara kat seviyelerinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Örneğin; Coalinga depreminde S1 ve S2 koşullarında en büyük ivme son kat seviyesinde elde

edilirken, S3 koşullarında üçüncü kat seviyesinde elde edilmektedir. Öte yandan, en büyük ivmeler, Whittier Narrows ve Kobe depremlerinde beşinci kat seviyesinde S3 koşullarında; Parkfield ve Pazarcık depremlerinde son kat seviyesinde S1 koşullarında ve Erzincan depreminde son kat seviyesinde S2 koşullarında hesaplanmaktadır.



Şekil 133. 12 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=0.5)

Şekil 134'te seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 134a'da S1 için 5.3060 m/s^2 olan ivme, S2'de %2.2 azalışla 5.1899 m/s^2 ve S3'te %0.5 artışla 5.3316 m/s^2 olmaktadır. Şekil 134b'de S1 için 11.1120 m/s^2 olan ivme, S2'de %2.2 azalışla 10.8710 m/s^2 ve S3'te %4.7 azalışla 10.5850 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 134c'de S1 koşullarında 20.6890 m/s^2 olan ivme, S2'de %0.5 azalışla 20.5900 m/s^2 ve S3'te %7.7 azalışla 19.1040 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



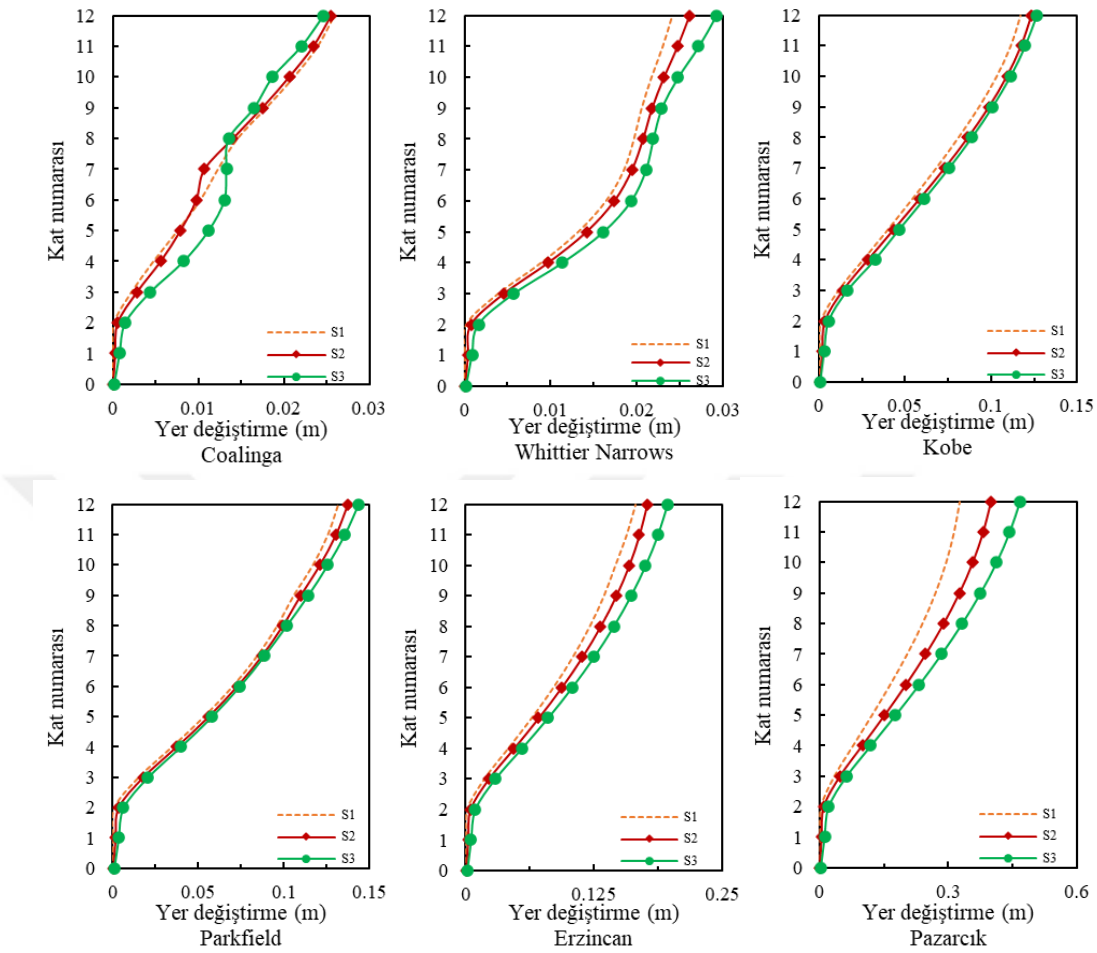
Şekil 134. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=0.5)

2.8.3.2. 2e/L=1 Durumu

2.8.3.2.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

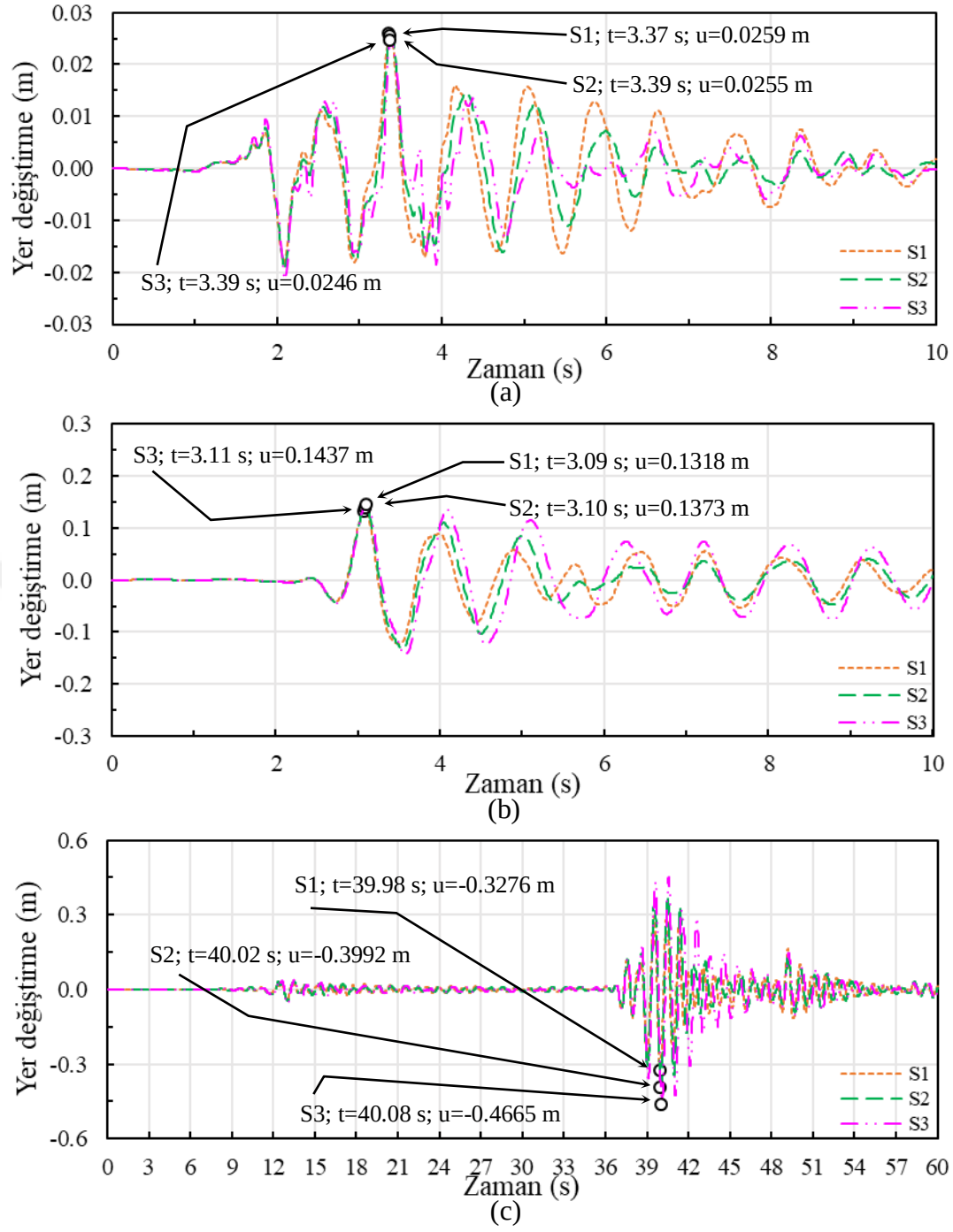
Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 135'te verilmektedir. Gömülü katlar boyunca yer değiştirmelerin küçük mertebelerde kaldığı ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat

seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Maksimum yer değiştirmeler, Coalinga depreminde S1 ve diğer depremlerde S3 koşullarında ortaya çıkmaktadır.



Şekil 135. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

Şekil 136'da seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 136a'da S1 için 0.0259 m olan yer değiştirme, S2'de %1.5 azalarak 0.0255 m ve S3'te %5 azalarak 0.0246 m seviyesine inmektedir. Şekil 136b'de S1 koşullarında 0.1318 m olan aynı değer S2'de %4.2 artışla 0.1373 m ve S3'te %9 artışla 0.1437 m seviyesine yükselmektedir. Şekil 136c'de bu yer değiştirme S1 için 0.3276 m iken, S2'de %21.9 artışla 0 3992 m ve S3'te %42.4 artışla 0.4665 m mertebesine ulaşmaktadır. Bu karşılaştırmalar; bir kez daha farklı zemin ve deprem özelliklerinin farklı tepki yönelimlerine sebep olabileceğini, yer değiştirme büyüklüklerinin önemli derecede farklılaşabileceğini ve her problemin ilgili sahaya ve deprem karakteristiklerine özgü bir şekilde değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

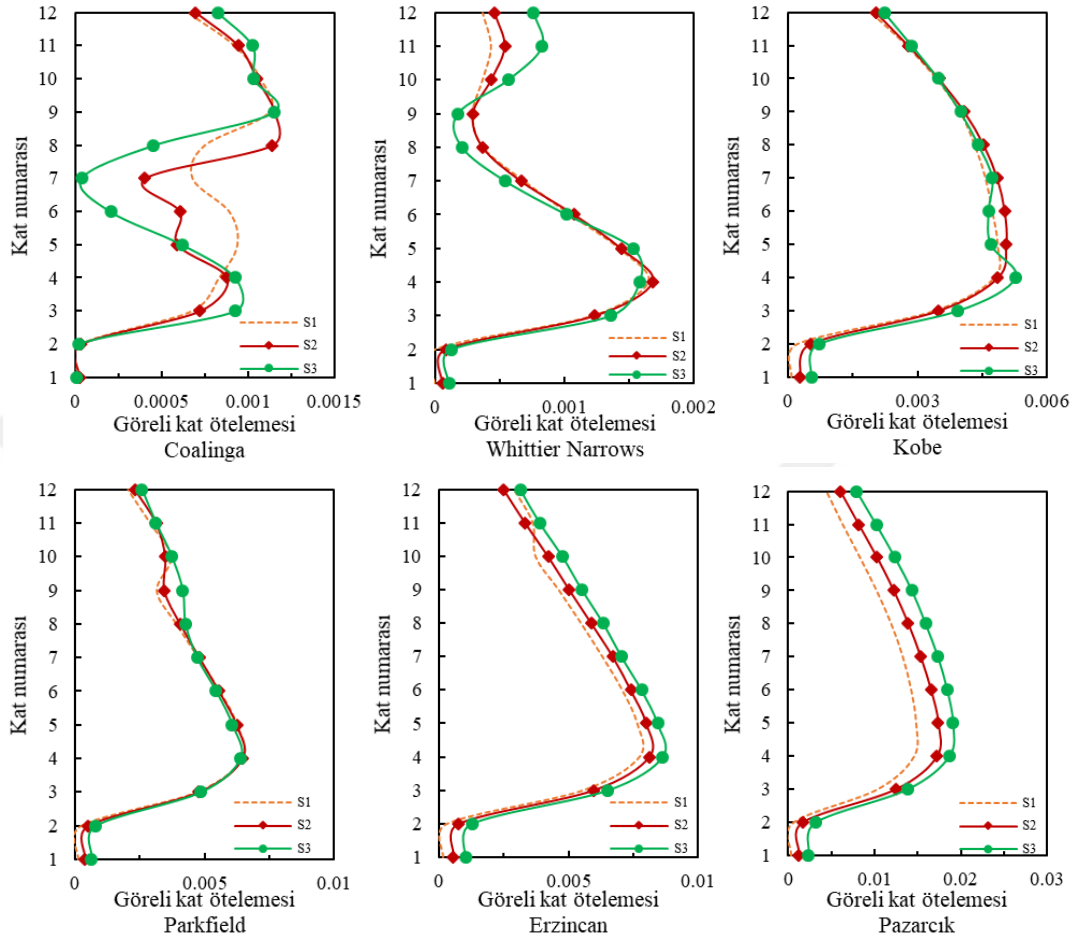


Şekil 136. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.3.2.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

Gömülme oranının 1 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 137'de verilmektedir. En büyük göreli kat ötelemeleri; Coalinga depreminde dokuzuncu katta S2 koşullarında, Whittier Narrows depreminde dördüncü katta S2 koşullarında, Kobe ve Erzincan depremlerinde dördüncü katta S3 koşullarında, Parkfield depreminde dördüncü katta S1 ve S2 koşullarında ve Pazarcık depreminde beşinci katta S3 koşullarında meydana gelmektedir. En büyük ötelemelerin

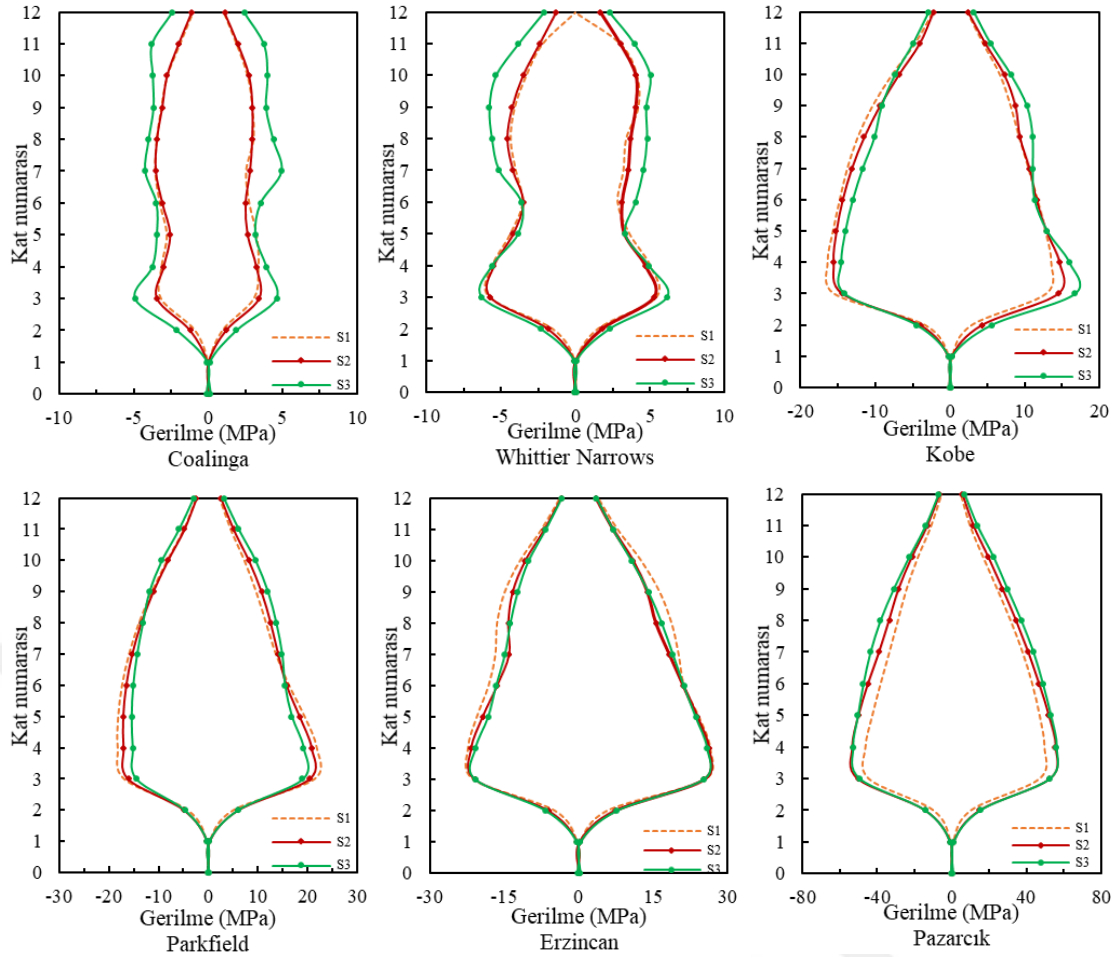
meydana geldiği düşük frekans içerikli Pazarcık depreminde, S1 için 0.0148 olan bu değer, S2'de %17.6 artışla 0.0174 ve S3'te %29.1 artışla 0.0191 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 137. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

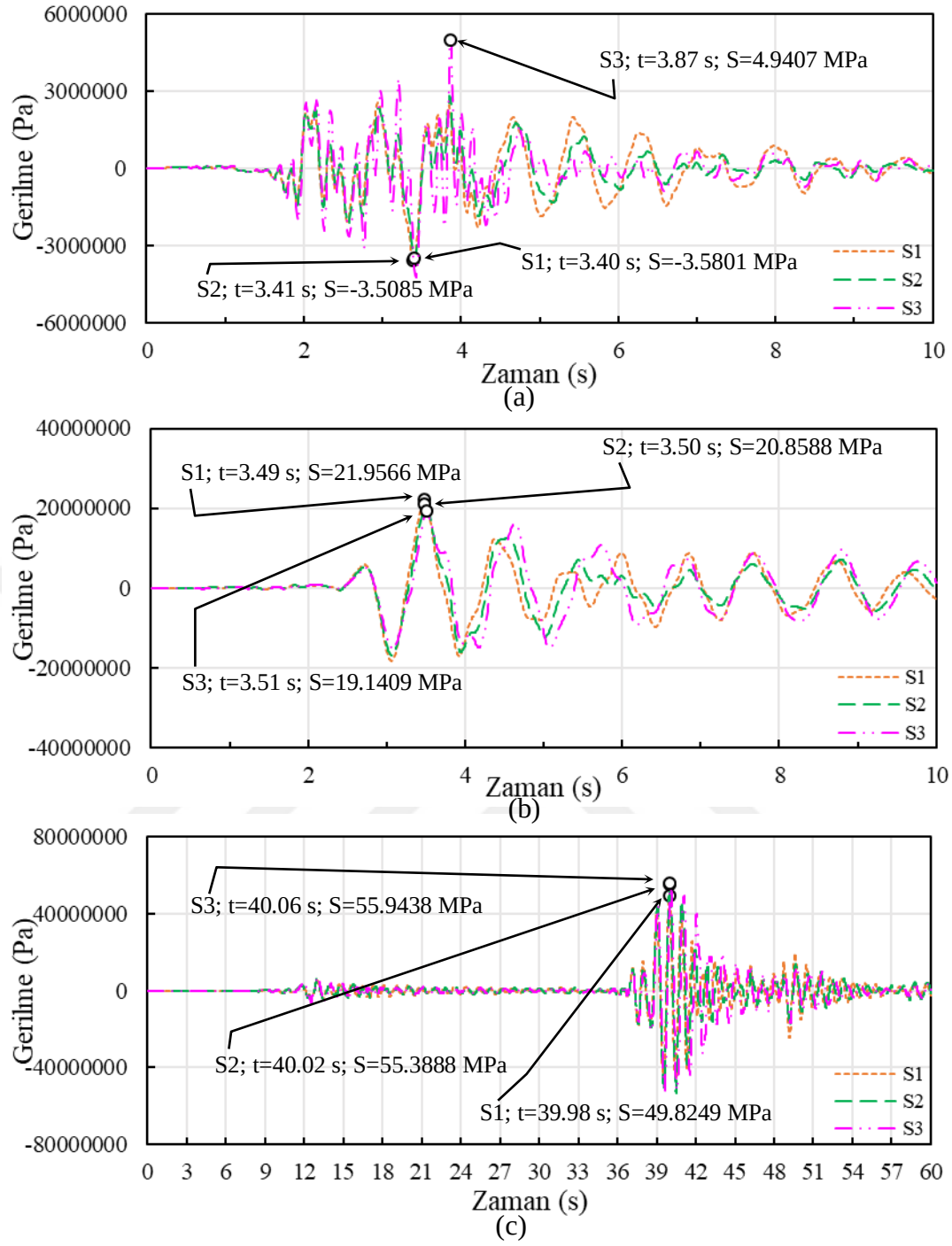
2.8.3.2.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 138'de verilmektedir. Maksimum gerilmeler; Coalinga depreminde yedinci kat seviyesinde S3'te, Whittier Narrows ve Kobe depremlerinde üçüncü kat seviyesinde S3'te, Parkfield ve Erzincan depremlerinde dördüncü kat seviyesinde S1'de ve Pazarcık depreminde dördüncü kat seviyesinde S3'te meydana gelmektedir. Ayrıca gerilme tepkilerinin zemin rijitliğinin azalmasıyla kimi zaman arttığı, kimi zaman ise azaldığı buradaki karşılaştırmalarda açıkça görülmektedir.



Şekil 138. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

Şekil 139'da seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 139a'da S1 için gerilme 3.5801 MPa iken, S2'de %2 azalışla 3.5085 MPa ve S3'te %38 artışla 4.9407 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 139b'de S1 zemininde gerilme 21.9566 MPa iken, S2'de %5 azalmayla 20.8588 MPa ve S3'te %12.8 azalmayla 19.1409 MPa olmaktadır. Şekil 139c'de S1 koşullarında gerilme 49.8249 MPa iken, S2'de %11.2 artışla 55.3888 MPa ve S3'te %12.3 artışla 55.9438 MPa mertebesine yükselmektedir.

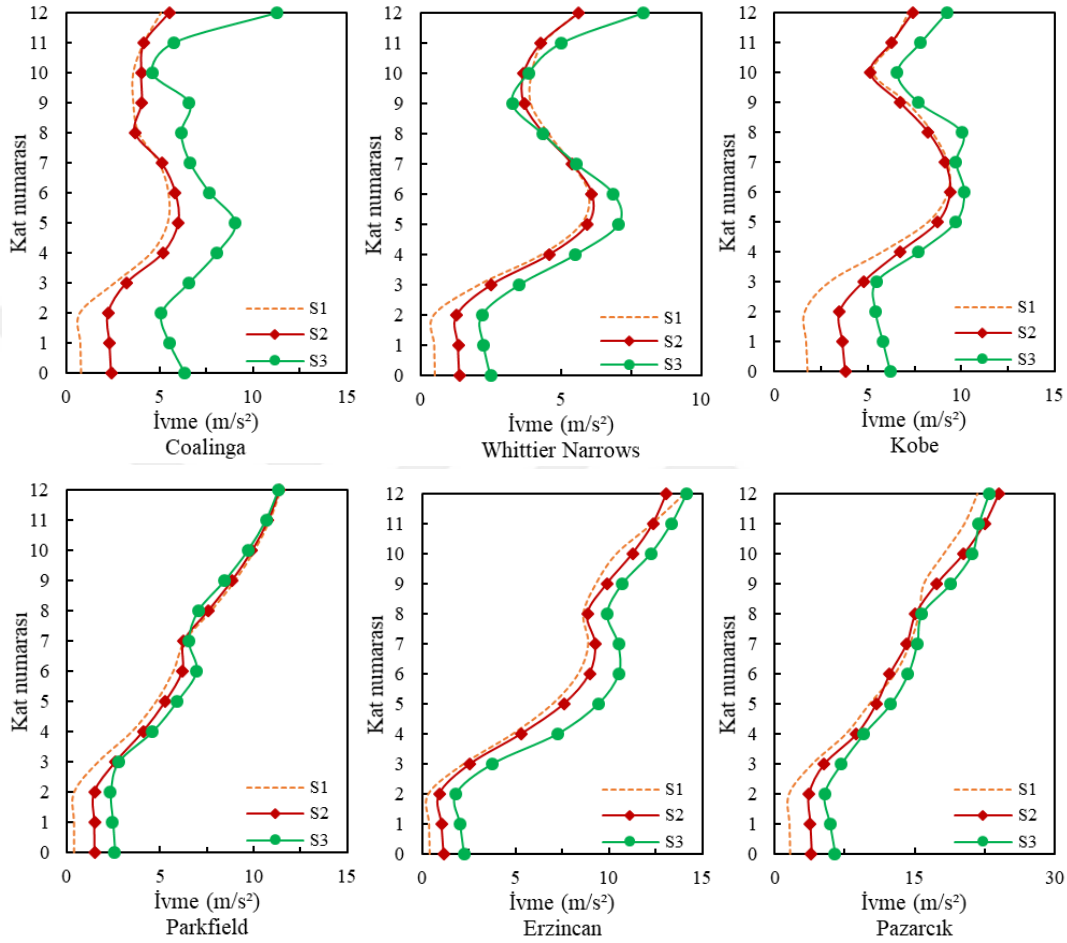


Şekil 139. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.3.2.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1)

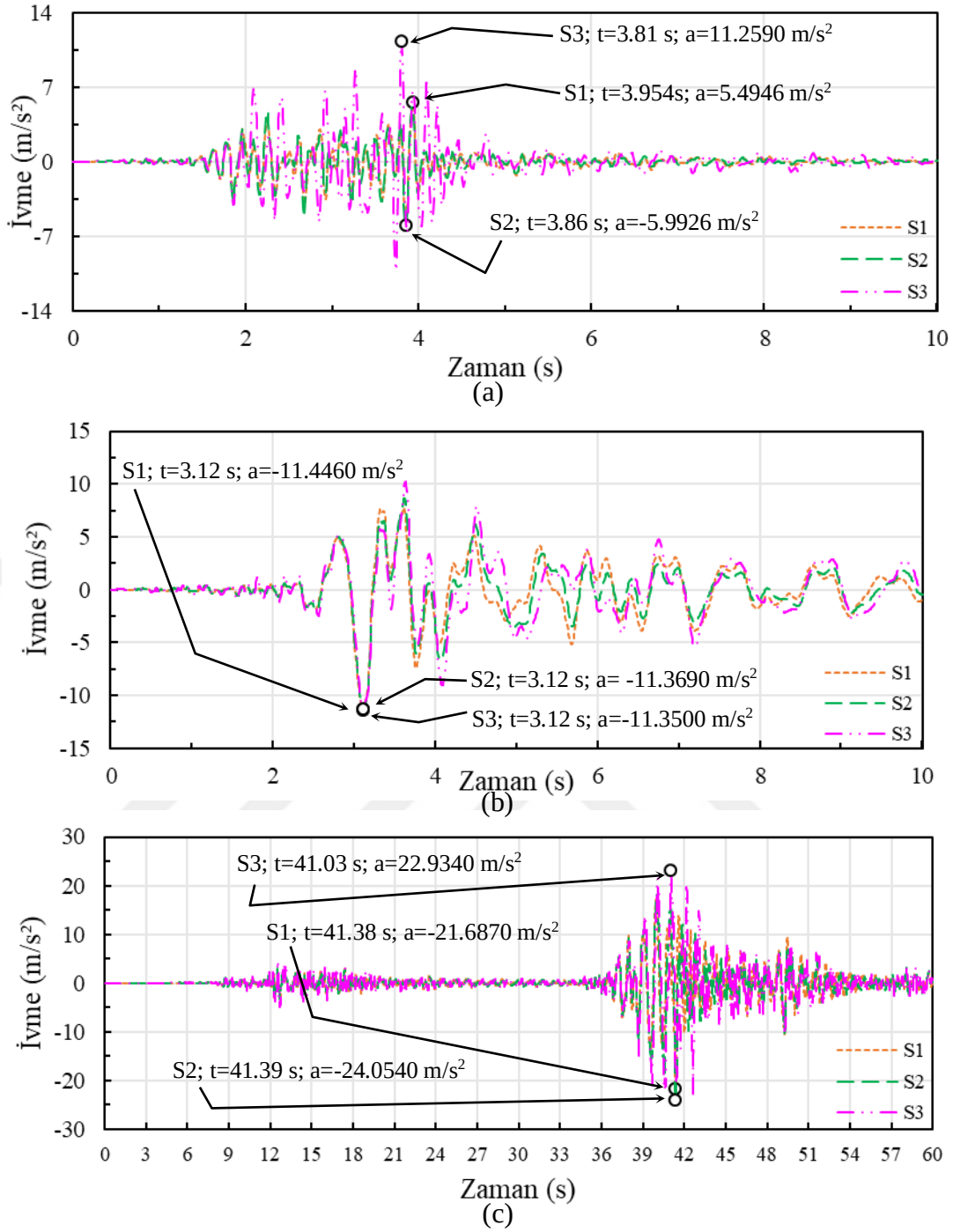
Gömülme oranının 1 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 140'ta verilmektedir. İvmelerin gömülü kat yüksekliği boyunca genellikle sabit kaldığı ve bu kat seviyesinden sonra artarak bazen son kat seviyesinde bazen de ara kat seviyelerinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Örneğin; Coalinga depreminde S1 ve S2 koşullarında en büyük ivme sırasıyla altıncı ve

beşinci kat seviyelerinde elde edilirken, S3 koşullarında son kat seviyesinde elde edilmektedir. Öte yandan, en büyük ivmeler, Whittier Narrows ve Erzincan depremlerinde son kat seviyesinde S3 koşullarında; Kobe depreminde altıncı kat seviyesinde S3 koşullarında; Parkfield depreminde son kat seviyesinde S1 koşullarında ve Pazarcık depreminde son kat seviyesinde S2 koşullarında hesaplanmaktadır.



Şekil 140. 12 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1)

Şekil 141'de seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 141a'da S1 için 5.4946 m/s^2 olan ivme, S2'de %9.1 artışla 5.9926 m/s^2 ve S3'te %104.9 artışla 11.2590 m/s^2 olmaktadır. Şekil 141b'de S1 zemininde 11.4460 m/s^2 olan ivme, S2'de %0.7 azalışla 11.3690 m/s^2 ve S3'te %0.8 azalışla 11.3500 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 141c'de S1 koşullarında 21.6870 m/s^2 olan ivme, S2'de %10.9 artışla 24.0540 m/s^2 ve S3'te %5.7 artışla 22.9340 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



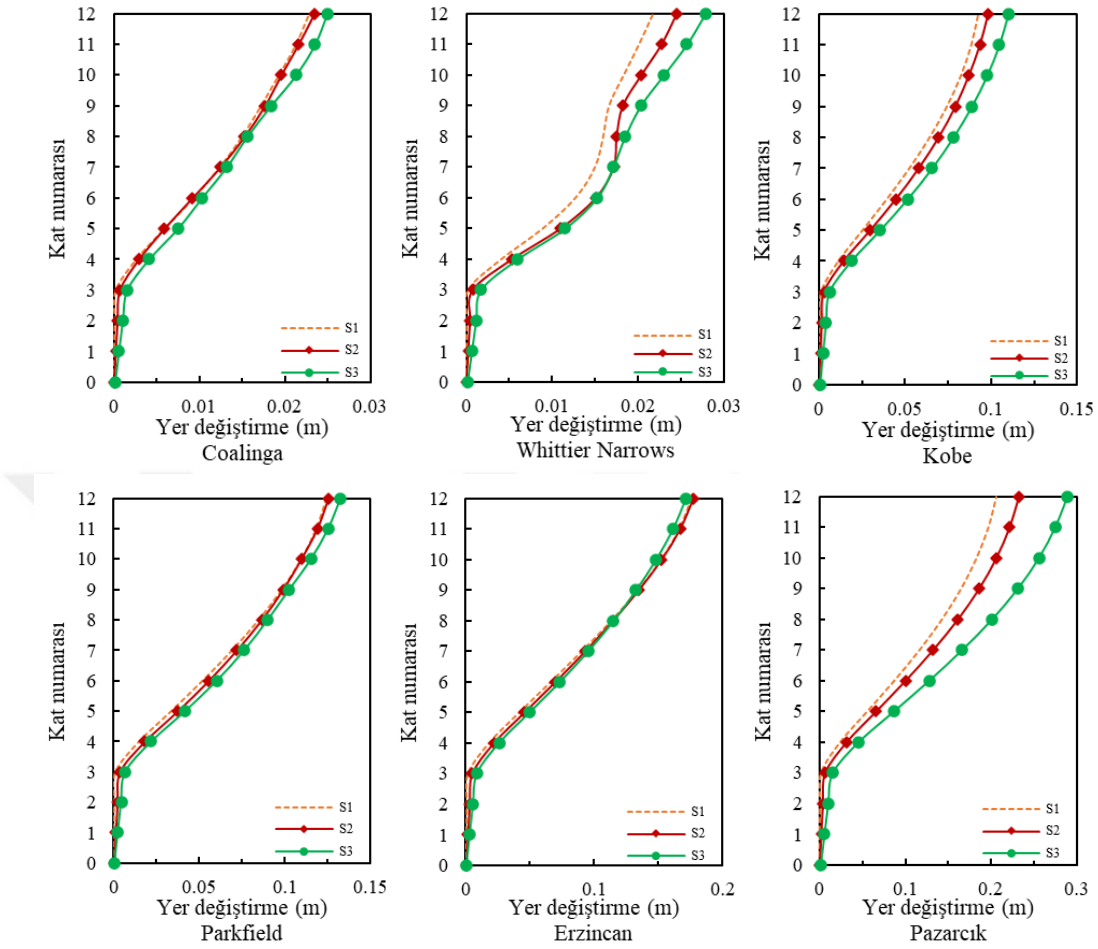
Şekil 141. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1)

2.8.3.3. 2e/L=1.5 Durumu

2.8.3.3.1. Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

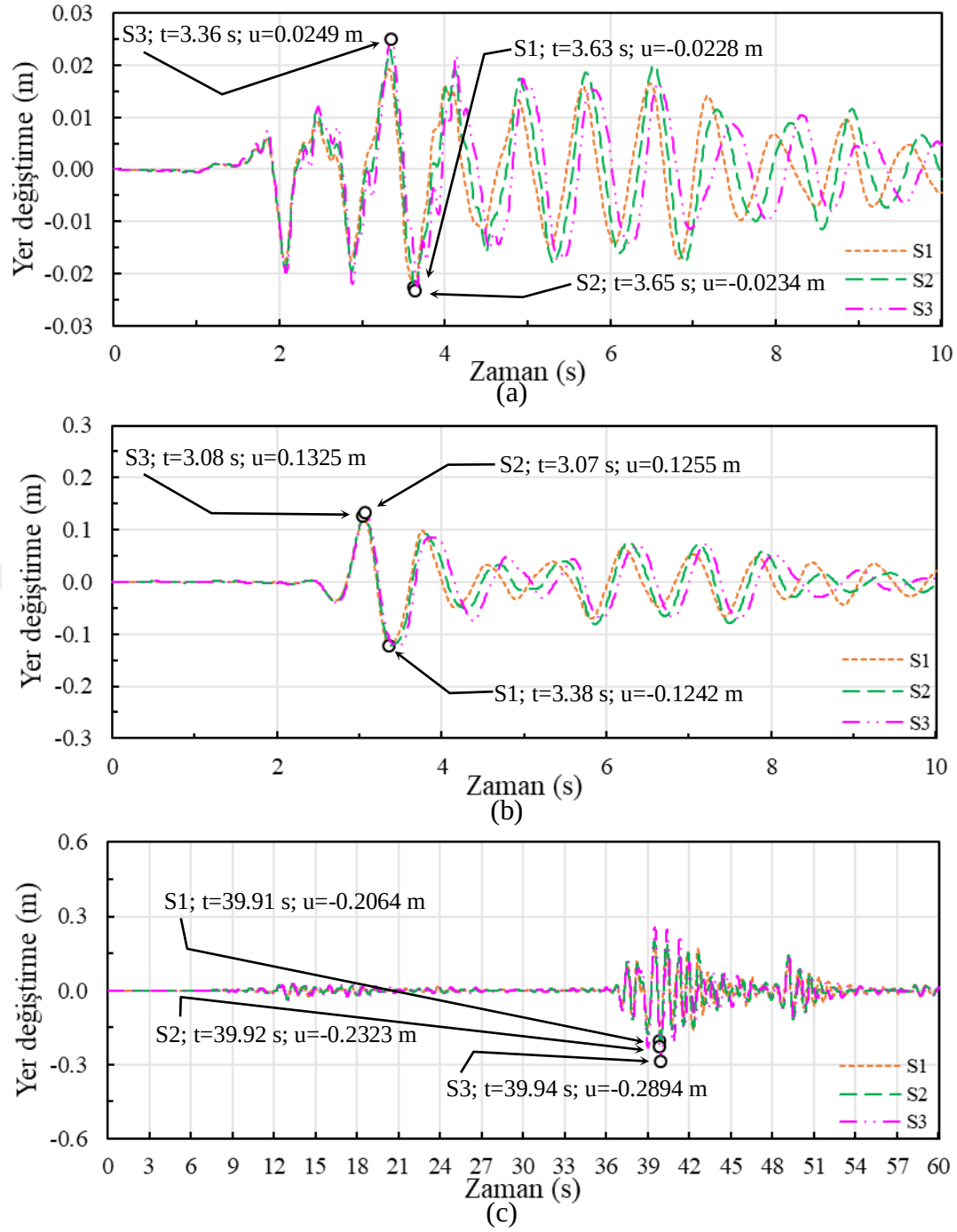
Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum yer değiştirmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 142'de verilmektedir. Gömülü katlar boyunca yer değiştirmelerin küçük mertebelerde kaldığı ve bu seviyeden sonra artarak en üst kat

seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Maksimum yer değiştirmeler, Erzincan depreminde S2 ve diğer depremlerde S3 koşullarında ortaya çıkmaktadır.



Şekil 142. 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

Şekil 143'te seçilen deprem etkileri altında yapı tepe noktası yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 143a'da S1 şartlarında 0.0228 m olan yer değiştirme, S2'de %2.6 artışla 0.0234 m ve S3'te %9.2 artışla 0.0249 m olmaktadır. Şekil 143b'de S1 için 0.1242 m olarak hesaplanan yer değiştirme, S2'de %1 artışla 0.1255 m ve S3'te %6.7 artışla 0.1325 m olmaktadır. Şekil 143c'de S1 için 0.2064 m olan yer değiştirme S2'de %12.5 artarak 0.2323 m ve S3'te %40.2 artarak 0.2894 m seviyesine yükselmektedir.

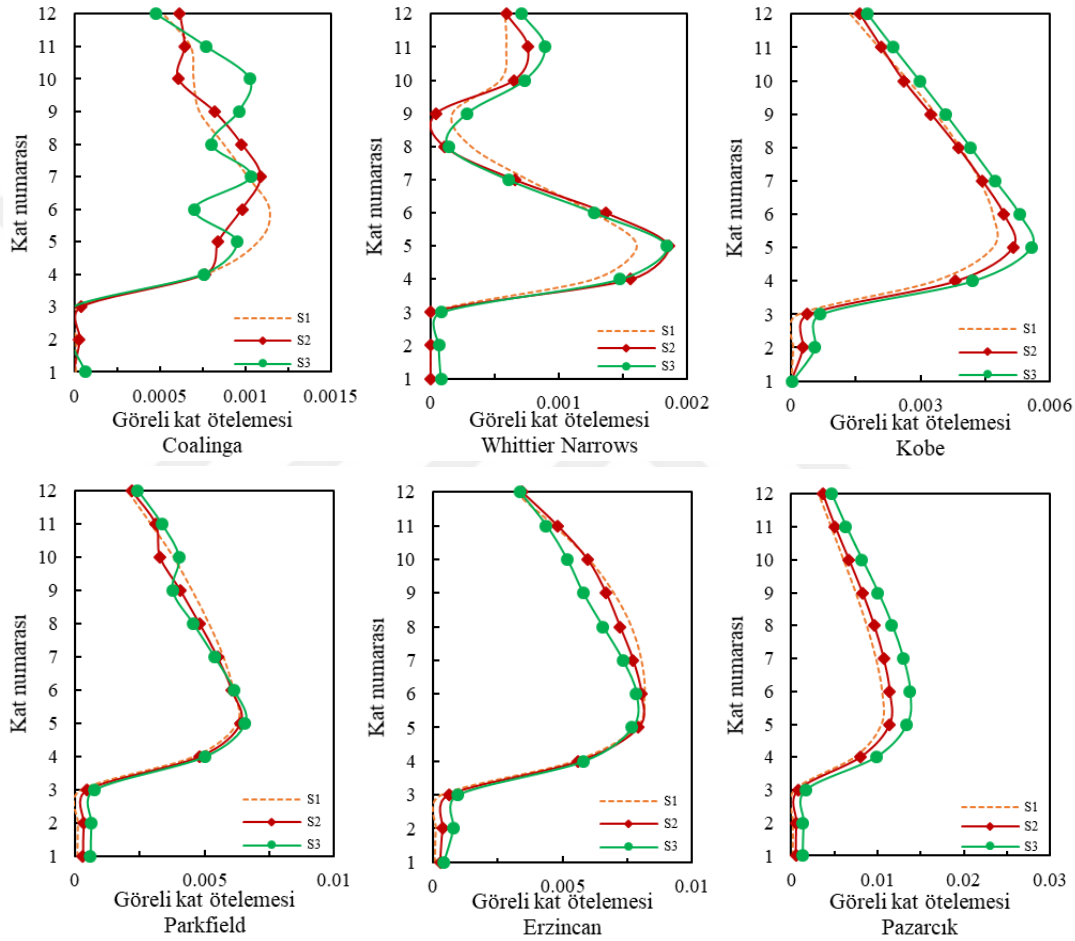


Şekil 143. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

2.8.3.3.2. Göreli Kat Ötelemelerinin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, göreli kat ötelemelerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 144'te verilmektedir. En büyük göreli kat ötelemeleri; Coalinga depreminde farklı kat seviyelerinde ve zemin koşullarında tekrarlı bir şekilde, Whittier Narrows depreminde beşinci katta S2 koşullarında, Kobe ve Parkfield depremlerinde beşinci katta S3 koşullarında, Erzincan depreminde altıncı katta S1 koşullarında ve Pazarcık depreminde altıncı katta S3 koşullarında meydana gelmektedir.

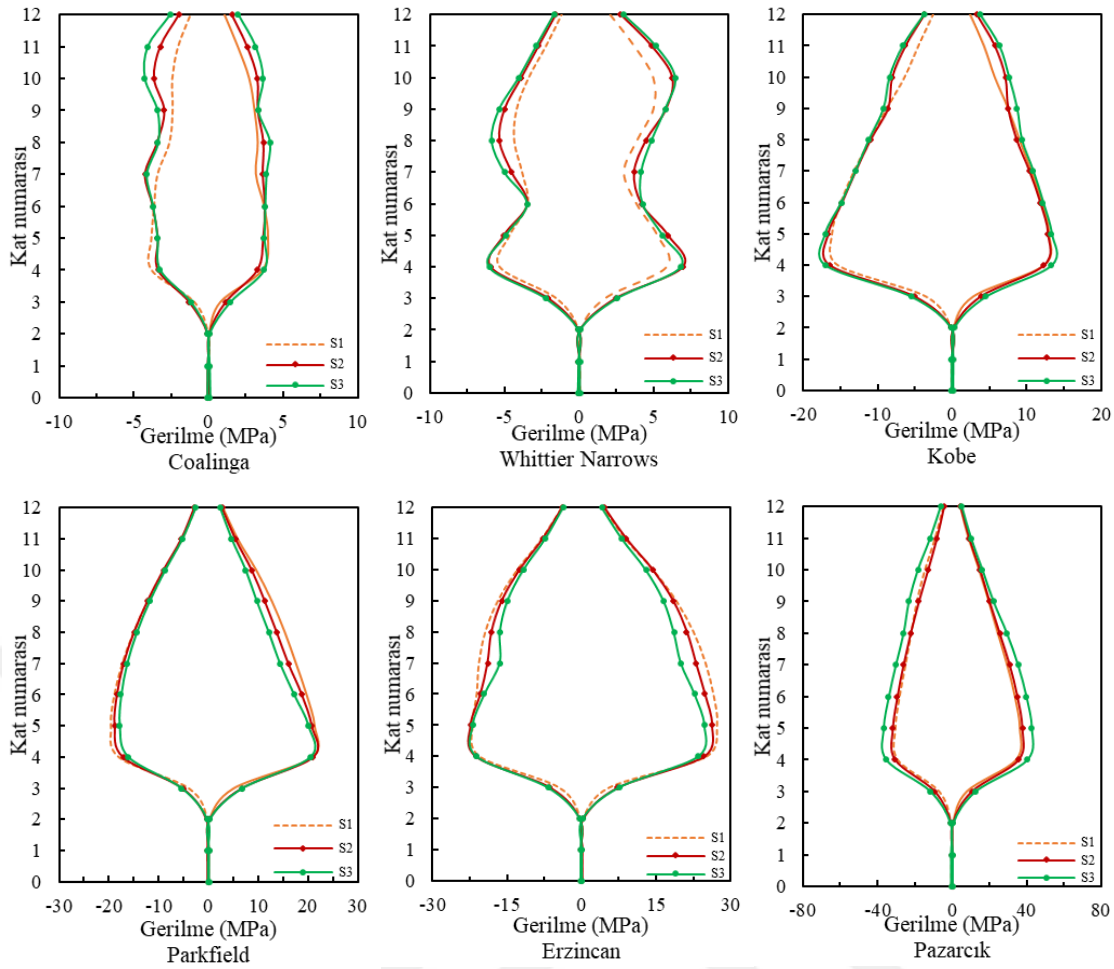
Yüksek frekans içerikli Whittier Narrows depreminde en büyük göreli kat ötelemesi S1 için 0.0016 iken, S2'de %18.8 artışla 0.0019 ve S3 için %12.5 artışla 0.0018 olarak hesaplanmaktadır. Orta frekans içerikli Kobe depreminde S1 için 0.0047 olan bu öteleme, S2'de %8.5 artışla 0.0051 ve S3'te %19.1 artışla 0.0056 değerine yükselmektedir. Benzer şekilde, düşük frekans içerikli Pazarcık depreminde S1 için 0.0105 olan bu öteleme, S2'de %8.6 artışla 0.0114 ve S3'te %30.5 artışla 0.0137 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 144. 12 katlı yapıda göreli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

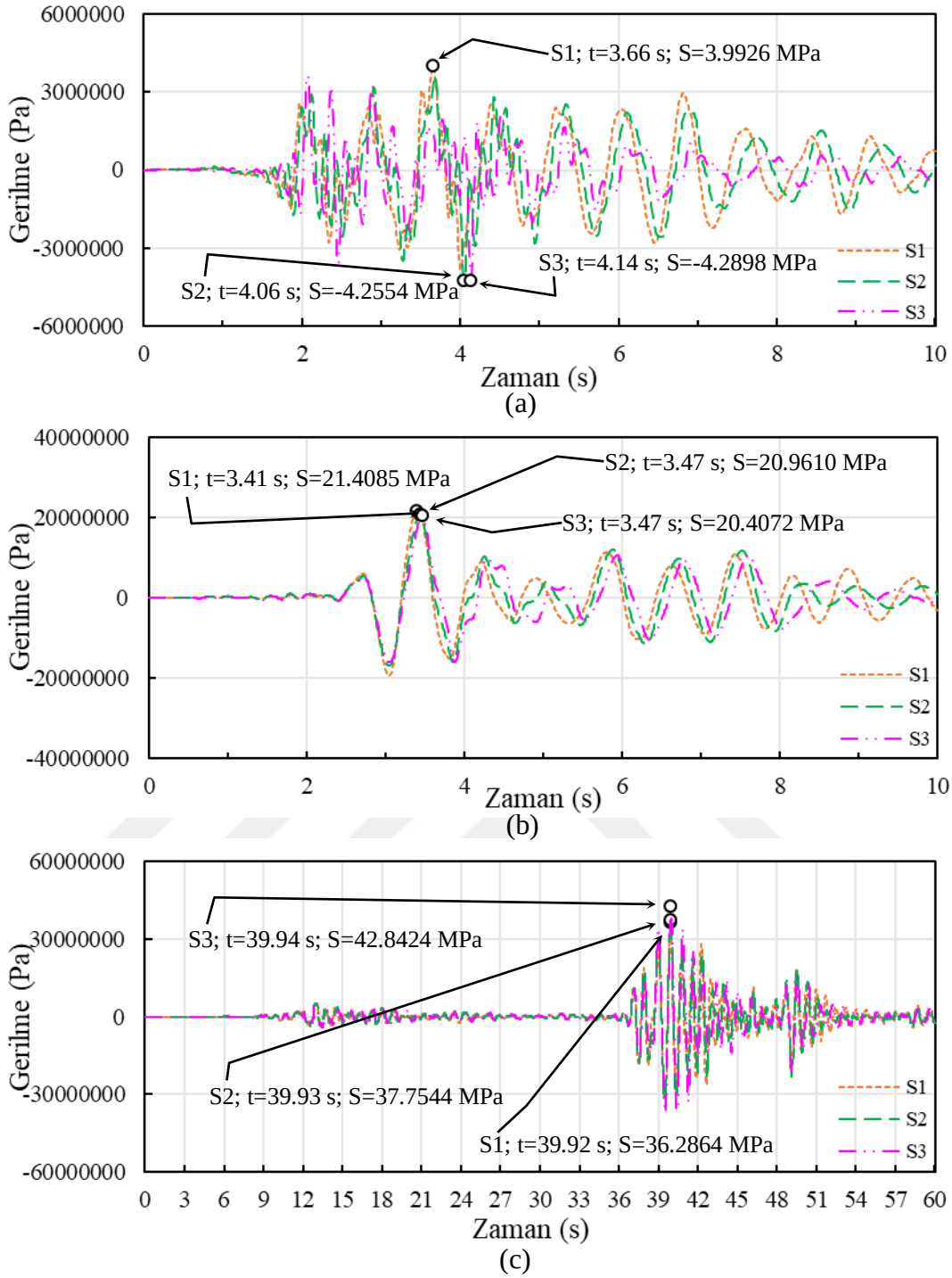
2.8.3.3.3. Gerilmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum gerilmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 145'te sunulmuştur. Maksimum gerilmeler; Coalinga depreminde onuncu kat seviyesinde S3'te, Whittier Narrows depreminde dördüncü kat seviyesinde S2'de, Kobe ve Pazarcık depremlerinde beşinci kat seviyesinde S3'te ve Parkfield ve Erzincan depremlerinde beşinci kat seviyesinde S1'de meydana gelmektedir. Ayrıca gerilme tepkilerinin zemin rijitliğinin azalmasıyla kimi zaman arttığı, kimi zaman ise azaldığı buradaki karşılaştırmalarda açıkça görülmektedir.



Şekil 145. 12 katlı yapıda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

Şekil 146'da seçilen deprem etkileri altında gerilmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 146a'da S1 zemininde gerilme 3.9926 MPa iken, S2'de %6.6 artışla 4.2554 MPa ve S3'te %7.4 artışla 4.2898 MPa olmaktadır. Şekil 146b'de S1 için gerilme 21.4085 MPa iken, S2'de %2.1 azalışla 20.9610 MPa ve S3'te %4.7 azalışla 20.4072 MPa seviyesine inmektedir. Şekil 146c'de S1 koşullarında gerilme 36.2864 MPa iken, S2'de %4 artışla 37.7544 MPa ve S3'te %18.1 artışla 42.8424 MPa mertebesine yükselmektedir.

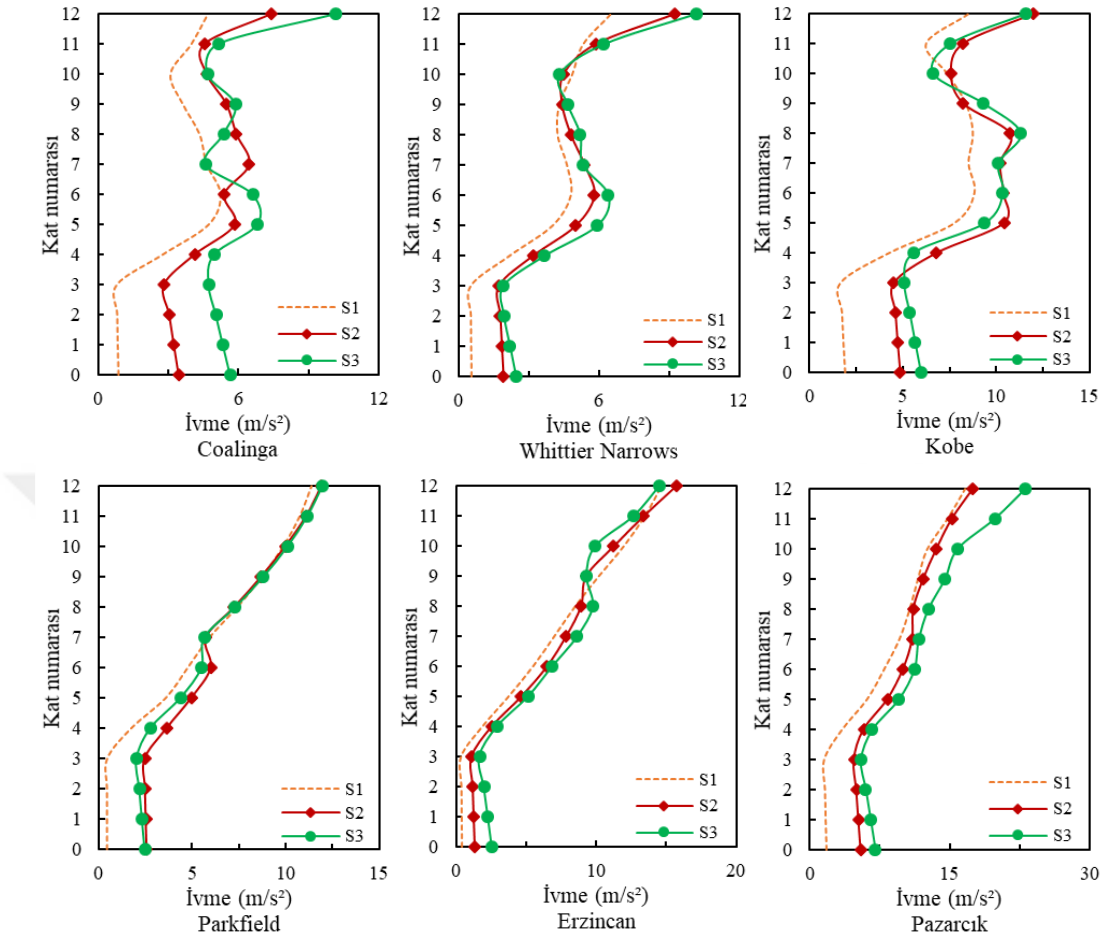


Şekil 146. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda gerilmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

2.8.3.3.4. İvmelerin Değerlendirilmesi (2e/L=1.5)

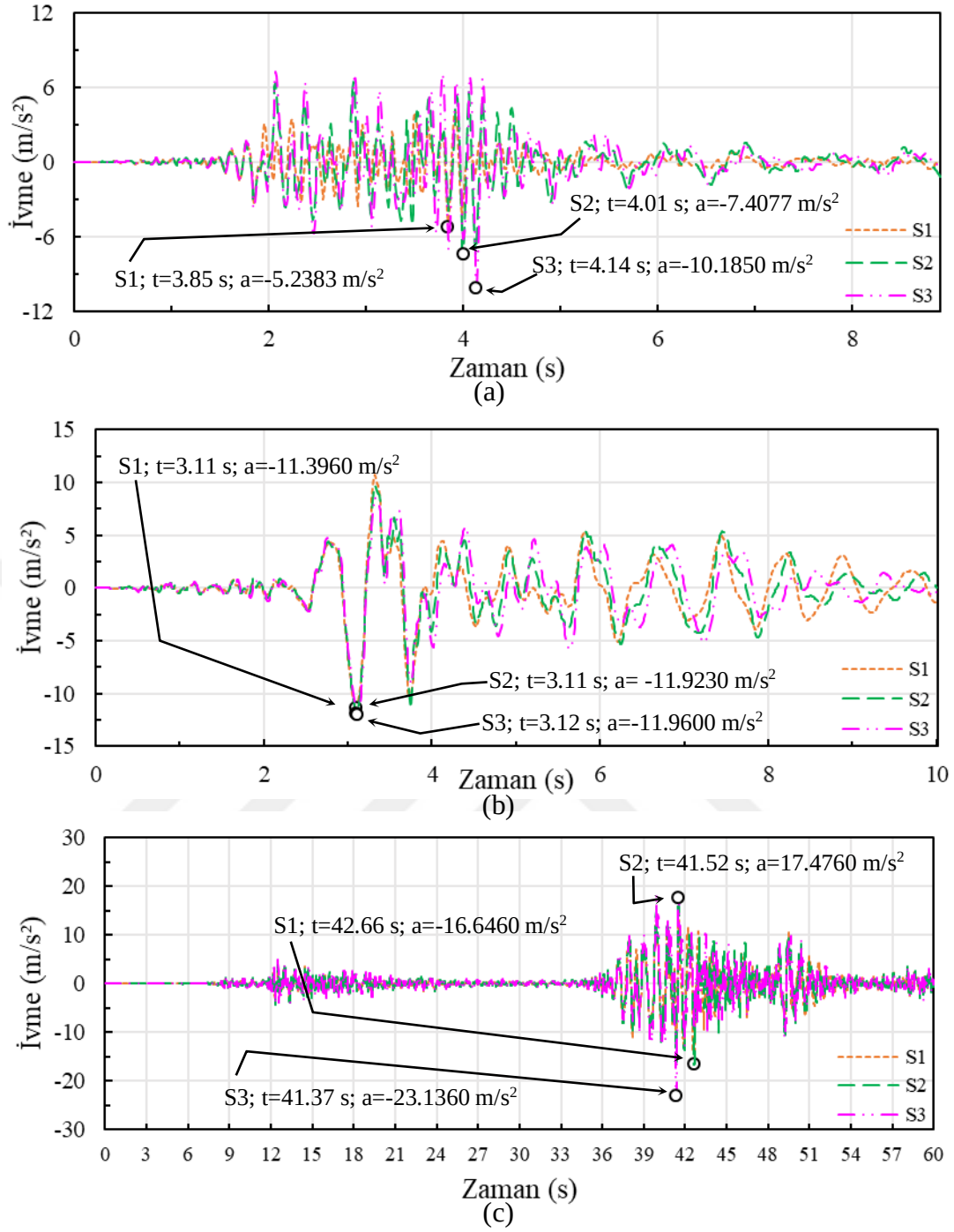
Gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, maksimum ivmelerin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 147'de verilmektedir. İvmelerin gömülme yüksekliği boyunca hemen hemen sabit kaldığı ve bu kat seviyesinden sonra artarak genellikle son kat seviyesinde maksimum değere ulaştığı görülmektedir. En büyük ivmeler; Coalinga,

Whittier Narrows, Parkfield ve Pazarcık depremlerinde S3 koşullarında, Kobe ve Erzincan depremlerinde ise S2 koşullarında meydana gelmektedir.



Şekil 147. 12 katlı yapıda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi (2e/L=1.5)

Şekil 148'de seçilen deprem etkileri altında ivmelerin zamana bağlı değişimi verilmektedir. Şekil 148a'da S1 için 5.2383 m/s^2 olan ivme, S2'de %41.4 artışla 7.4077 m/s^2 ve S3'te %94.4 artışla 10.1850 m/s^2 değerine yükselmektedir. Şekil 148b'de S1 zemininde 11.3960 m/s^2 olarak hesaplanan ivme, S2'de %4.6 artışla 11.9230 m/s^2 ve S3'te %4.9 artışla 11.9600 m/s^2 olarak elde edilmektedir. Şekil 148c'de S1 koşullarında 16.6460 m/s^2 olan ivme, S2'de %5 artışla 17.4760 m/s^2 ve S3'te %39 artışla 23.1360 m/s^2 olmaktadır.



Şekil 148. a) Coalinga, b) Parkfield ve c) Pazarcık depremlerinde 12 katlı yapıda ivmelerin zamana bağlı değişimi (2e/L=1.5)

3. İRDELEME VE TARTIŞMA

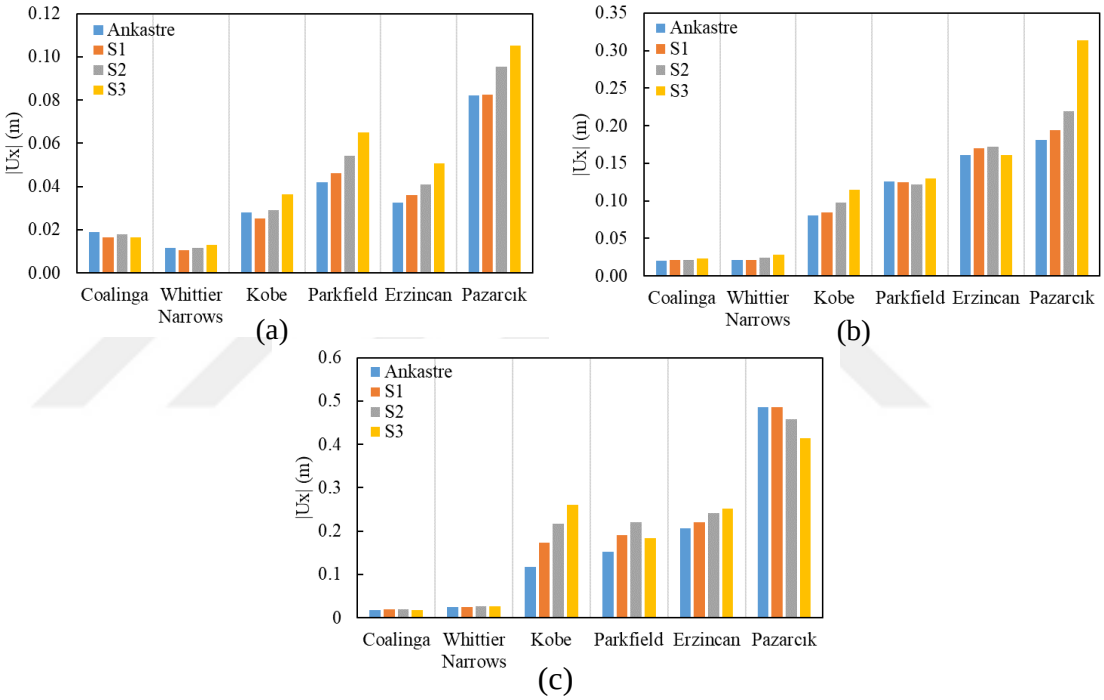
İncelemeye konu olan farklı narinlik oranlarına (s=2, 4 ve 6) sahip her bir yapısal sistemin sismik tepkileri üzerinde ZYE, deprem frekans içeriği ve gömülme oranı (2e/L=0, 0.5, 1, 1.5) etkileri önceki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde ortaya konulmuştur. Bu bölüm ise söz konusu etkilerden kaynaklanan maksimum tepkilerin, hem gömülü olmayan hem de gömülü yapı sistemleri için, "narinlik oranı-zemin türü-deprem frekans içeriği-gömülme oranı" parametreleri açısından karşılıklı irdelenmesini kapsamaktadır.

3.1. Gömülme Etkisinin Olmadığı Durum

3.1.1. Farklı Narinlik Oranları ve Depremler İçin ZYE Açısından İrdelemeler

Şekil 149'da maksimum yer değiştirme tepkileri karşılaştırılmaktadır. Burada esnek tabanlı sistemler (S1, S2 ve S3) için tepkilerde ankastre tabanlı sistemlere nazaran elde edilen yüzdesel farklar, "((ZYE-Ankastre) / Ankastre) x 100" ifadesiyle hesaplanmaktadır. Fark değerleri S1 zemini için s=2, 4 ve 6 koşullarında sırasıyla -%13.2 / %11.7, -%2.3 / %7.2 ve %47.5 olarak hesaplanmaktadır. Bu yüzdeler S2 zemini için sırasıyla -%5.8 / %28.7, -%3.3 / %21.8 ve -%5.8 / %86.2; S3 zemini için -%14.2 / %56.8, %73.0 ve -%14.6 / %122.4'tür. Bu karşılaştırmalar, esnek temel nedeniyle yer değiştirme tepkilerinde ortaya çıkan büyüme veya azalma eğiliminin, yapı narinlik oranına ve zemin türüne oldukça bağlı olduğunu göstermektedir. Genel olarak maksimum farklar, narinlik oranındaki artış ve zemin rijitliğindeki azalış ile birlikte artmaktadır. Ayrıca S1 koşullarında sabit tabanlı duruma kıyasla tepki artışı açısından en kritik depremler, s=2, 4 ve 6 için sırasıyla Erzincan, Pazarcık ve Kobe depremleridir. S2 koşullarında bu depremler Parkfield, Kobe ve Kobe ve S3 koşullarında Erzincan, Pazarcık ve Kobe depremleridir. Burada düşük ve orta frekans içeriğine sahip yer hareketlerinin, yüksek frekans içeriğine sahip olanlara kıyasla tepki büyütmesi üzerinde daha baskın bir etkiye sahip olduğu da dikkate değer bir diğer husustur. Ayrıca beklendiği üzere, narinlik oranındaki artış genellikle daha yüksek yer değiştirmelere sebep olmakta ve tüm modellerde en büyük yer değiştirmeler düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremi sırasında meydana gelmektedir. Bu çerçevede, narinlik oranının, deprem frekans içeriğinin ve zemin türünün yer değiştirme tepkileri üzerinde önemli etkilerinin olduğu açıktır.

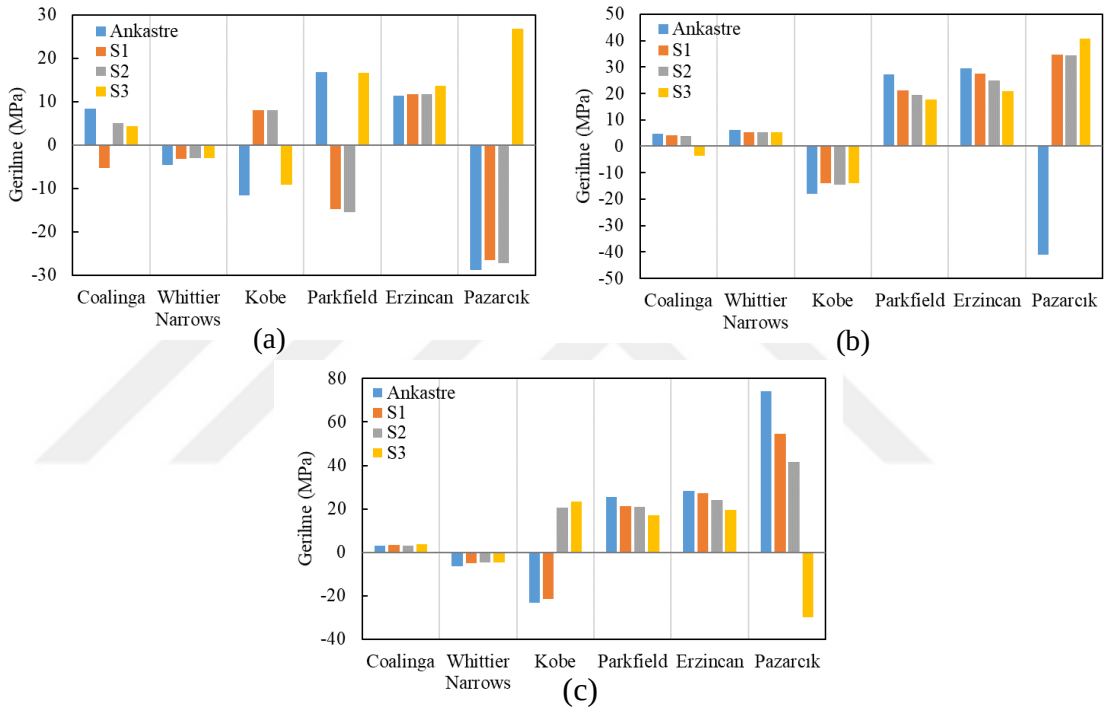
Öte yandan zemin rijitliğinin azalması, genel olarak yer değiştirmeleri büyütmekle birlikte, bu eğilimin belirli koşullar altında değişebildiği görülmektedir. Şekil 149a, s=2 durumunda Coalinga depremi etkisinde ankastre tabanlı yapıda, S3 üzerindeki yapıdan daha büyük yer değiştirme meydana geldiğini göstermektedir. Ankastre durumda yer değiştirme 0.0190 m iken, S3 zemininde bu değer %14.2 oranında azalmaktadır. Benzer şekilde Şekil 149c'de, s=6 durumunda Pazarcık depremi etkisinde ankastre tabanlı yapının yer değiştirmesi 0.4851 m iken, S3 zemininde bu değer %14.6 oranında azalmaktadır. Bu irdelemeler, dinamik davranışın yalnızca zemin koşulları tarafından kontrol edilmediğini ve davranışın; zemin koşulları, narinlik oranı ve frekans içeriği arasındaki karşılıklı etkileşime bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir.



Şekil 149. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük yer değiştirme tepkileri

Şekil 150'de maksimum gerilme tepkileri karşılaştırılmaktadır. Fark değerleri S1 için s=2, 4 ve 6 koşullarında sırasıyla -%37.3 / %3.5, -%21.6 ve -%26.6 / %3.9 olarak hesaplanırken; S2 için -%40.8 / %3.8, -%28.8 ve -%43.9; S3 için -%49.2 / %20.1, -%34.5 ve -%59.5 / %18.5 olarak elde edilmektedir. Bu karşılaştırmalar, gerilme tepkilerindeki artış veya azalış eğiliminin, narinlik oranına ve zemin türüne belirgin bir şekilde bağlı olduğunu ve ankastre tabanlı yapıların gerilme davranışının esnek tabanlı yapılarınkinden oldukça farklı olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak, maksimum farklar zemin rijitliğinin azalmasıyla artmakta ve maksimum gerilmeler, Erzincan depreminde s=2 durumu ve Coalinga depreminde s=6 durumu hariç, ankastre taban

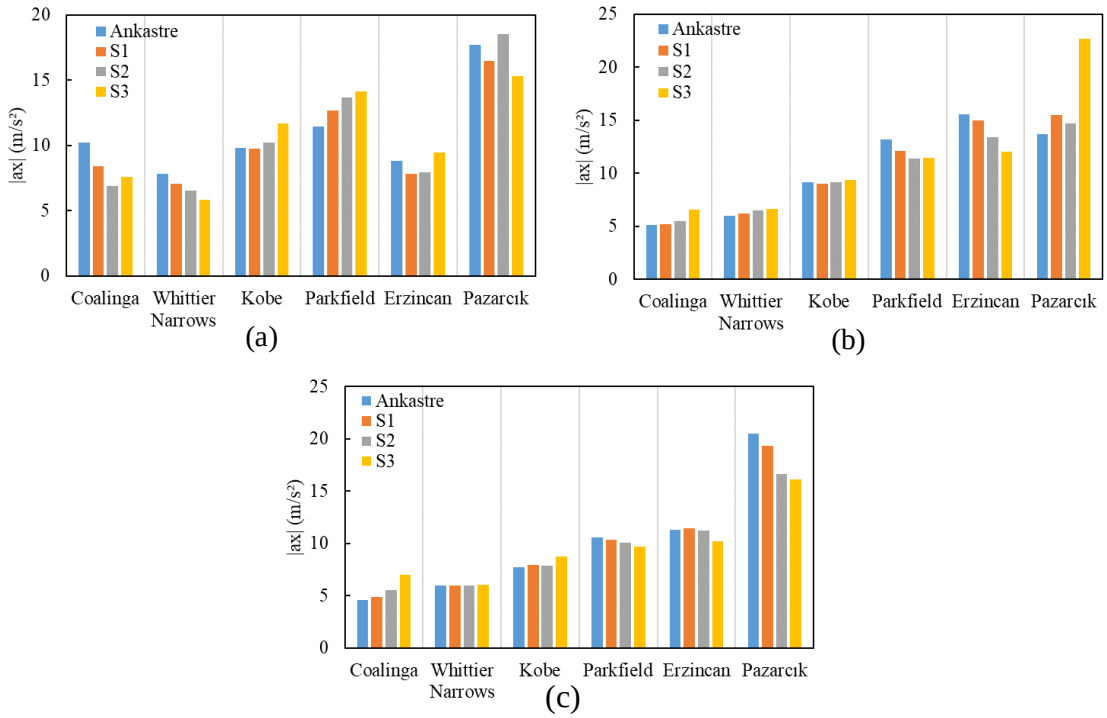
koşullarında gözlenmektedir. Ayrıca tüm zemin koşullarında, tepki artış/azalış oranı bakımından en kritik depremler, s=2, 4 ve 6 için sırasıyla Coalinga, Parkfield ve Pazarcık depremleridir. İlaveten, narinlik oranı arttıkça gerilme değerlerinde genellikle bir artış meydana gelmekte, gerilme tepkisi s=6 ve ankastre taban koşullarında en yüksek değere ulaşmakta ve maksimum gerilmeler düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremi esnasında hesaplanmaktadır. Buradaki irdelemelerden elde edilen bir diğer önemli sonuç ise; narinlik oranının, zemin türünün ve deprem frekans içeriğinin gerilmelerin karakterinde değişikliğe (çekmeden basınca veya tam tersi) yol açabilmesidir.



Şekil 150. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük gerilme tepkileri

Şekil 151'de maksimum ivme tepkileri karşılaştırılmaktadır. Fark değerleri S1 için s=2, 4 ve 6 koşullarında sırasıyla -%17.6 / %10.5, -%8.2 / %13.3 ve -%5.7 / %6.3 olarak hesaplanırken; S2 için -%32.5 / %19.3, -%13.7 / %8.1 ve -%18.7 / %20.3; S3 için -%26.0 / %23.4, -%22.8 / %65.9 ve -%21.4 / %52.5 olarak elde edilmektedir. Bu karşılaştırmalar, ivme tepkisinin sadece zemin türü ve deprem frekans içeriği tarafından değil, aynı zamanda narinlik oranı tarafından da kontrol edildiğini ve ankastre tabanlı yapıların ivme davranışının esnek tabanlı yapılarınkinden büyük ölçüde farklı olduğunu göstermektedir. Maksimum farklar genellikle zemin rijitliğinin azalmasıyla artmaktadır. S1 koşullarında tepki artış/azalış oranı açısından en kritik depremler, s=2, 4 ve 6 için sırasıyla Coalinga, Pazarcık ve Coalinga depremleridir. Bu depremler S2 için Coalinga,

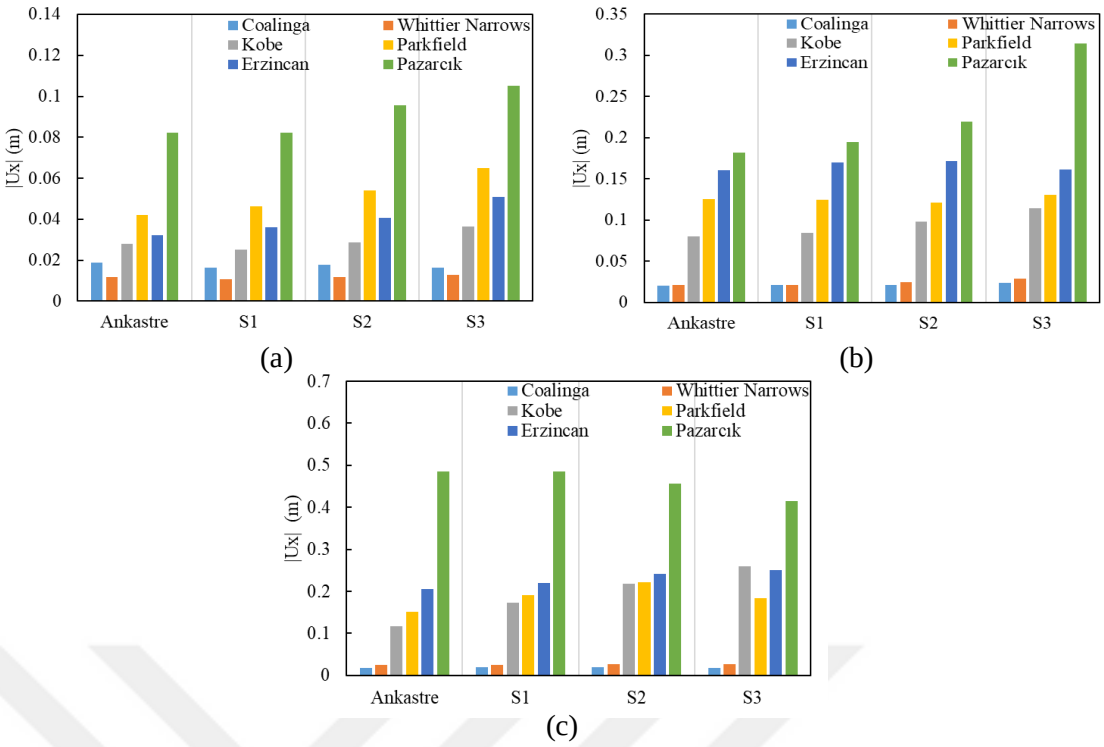
Erzincan ve Coalinga ve S3 için Whittier Narrows, Pazarcık ve Coalinga depremleridir. Düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremi genellikle yapılar üzerinde en etkili deprem olmakta ve tüm durumlar arasında en büyük ivme tepkisi; S3 zemini, Pazarcık depremi ve s=4 koşullarında gözlemlenmektedir. s=2 için ankastre taban durumunda yüksek frekans içeriğine sahip depremler ivme büyüklüğü açısından daha kritik öneme sahipken, orta frekans içeriğine sahip depremler S3 koşullarında daha baskındır. Düşük frekans içeriğine sahip depremler açısından ise, Erzincan depremi S3 zemini üzerinde daha önemli bir etki gösterirken, Pazarcık depremi S2 koşullarında daha etkin olmaktadır. s=4 ve s=6 için yüksek frekans içeriğine sahip depremler altında S3 zemini daha kritik öneme sahipken, orta frekans içeriğine sahip Kobe ve Parkfield depremleri sırasıyla S3 zemini ve ankastre taban durumunda daha kritik öneme sahiptir. Düşük frekans içeriğine sahip depremler açısından, Erzincan depremi altında s=4 için ankastre taban koşulu ve s=6 için S1 zemini daha kritiktir. Pazarcık depremi altında ise s=4 için S3 zemini ve s=6 için ankastre taban koşulu daha kritik olmaktadır. Bu irdelemeler, zemin türü ve yapı özellikleri ile deprem frekans içeriği arasındaki karşılıklı etkileşimin ivme tepkileri üzerinde tartışmasız bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 151. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük ivme tepkileri

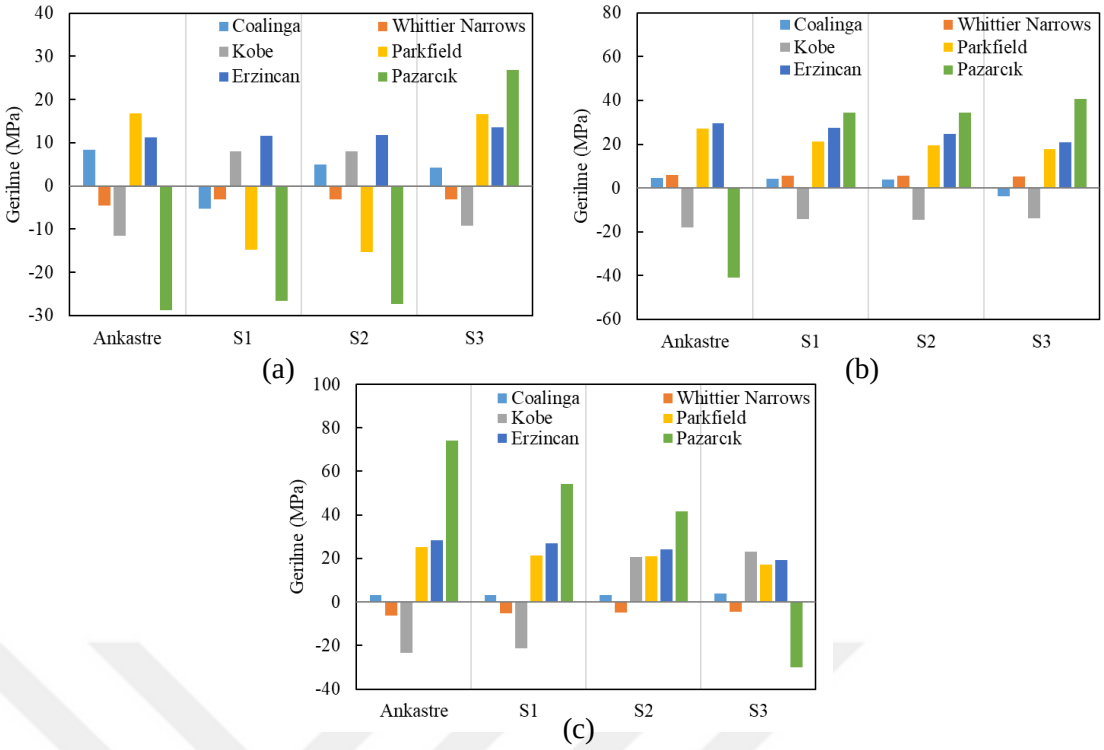
3.1.2. Farklı Narinlik Oranları ve Zemin Türleri İçin Deprem Frekans İçeriği Açısından İrdelemeler

Şekil 152'de deprem frekans içeriği değişimine (veya PGA/PGV değişimi) bağlı olarak üç farklı narinlik oranı ve dört farklı zemin koşulu için maksimum yer değiştirme tepkileri karşılaştırılmaktadır. En esnek zemin olan S3 için maksimum yer değiştirmeler karşılaştırıldığında, s=2 durumunda Coalinga depremine kıyasla; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde sırasıyla -%21.5, %123.3, %298.8, %211.7 ve %545.4 düzeyinde farklar elde edilmektedir. Benzer şekilde, s=4 durumunda %23.1, %388.9, %456.8, %589.3 ve %1241.9 seviyesinde farklar elde edilirken, s=6 durumunda bu farklar %41.6, %1303.8, %893.0, %1258.9 ve %2138.9 olmaktadır. Maksimum yer değiştirmeler genel olarak yüksek frekanslı depremlerden düşük frekanslı depremlere doğru gittikçe artan bir eğilim sergilemekle birlikte, bu eğilim bazen değişebilmektedir. Örneğin, s=2 için tüm zemin koşullarında orta frekans içerikli Parkfield depremi düşük frekans içerikli Erzincan depreminden; Whittier Narrows depremi ile karşılaştırıldığında daha büyük PGA/PGV oranına sahip olan Coalinga depremi Whittier Narrows depreminden tepkiler üzerinde daha etkilidir. Benzer şekilde, s=6 için Parkfield depremi ile karşılaştırıldığında daha büyük PGA/PGV oranına sahip olan Kobe depremi, S3 koşullarında Parkfield depreminden daha etkilidir. Bu irdelemeler, etkileşim etkilerinin deprem frekans içeriği ile yakından ilişkili olduğunu ve frekans içeriğinin yapılar için kritik bir tasarım parametresi olduğunu açığa çıkarmaktadır. Ayrıca düşük frekans içeriğine sahip depremlerin genel olarak daha dramatik sonuçlara yol açtığı belirgindir.



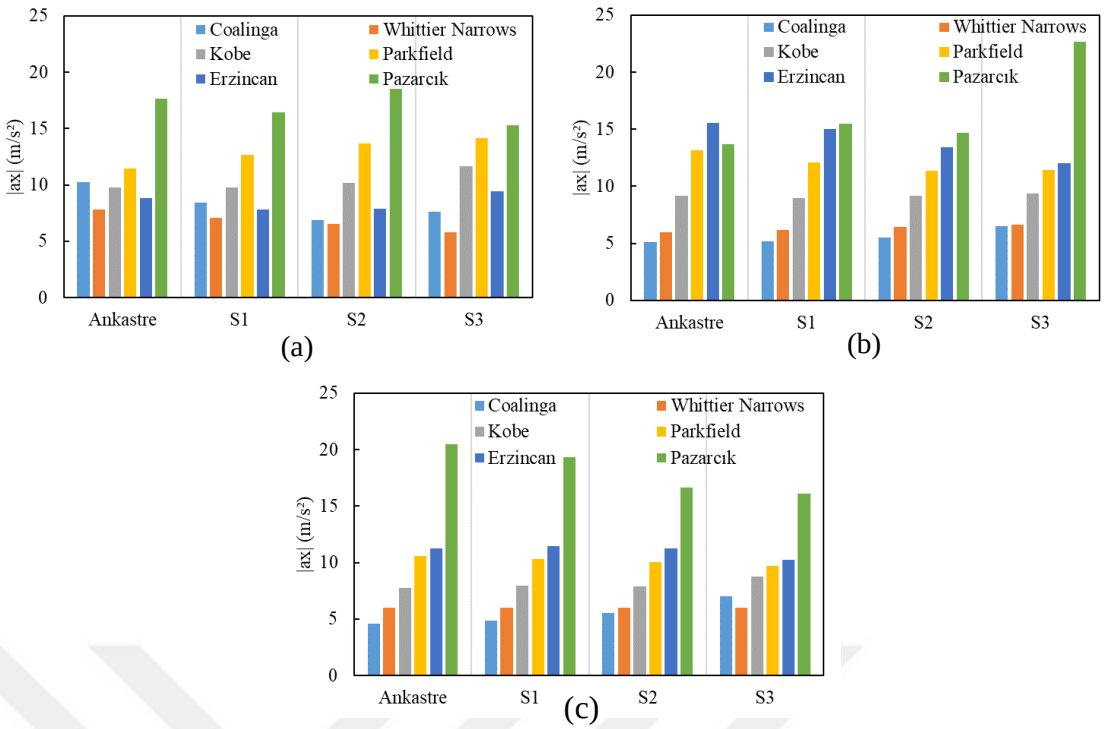
Şekil 152. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük yer değiştirme tepkileri

Şekil 153'te, deprem frekans içeriği değişimine (veya PGA/PGV değişimi) bağlı olarak üç farklı narinlik oranı ve dört farklı zemin koşulu için maksimum gerilme tepkileri karşılaştırılmaktadır. Ankastre taban koşulu için maksimum gerilmeler karşılaştırıldığında, s=2 durumunda Coalinga depremine kıyasla; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde sırasıyla -%45.6, %38.2, %101.7, %34.8 ve %244.2 mertebelerinde farklar görülmektedir. Benzer şekilde, s=4 durumunda %29.8, %283.8, %479.6, %528.8 ve %775.8; s=6 durumunda ise %97.8, %631.7, %693.8, %789.8 ve %2219.6 düzeyinde farklar ortaya çıkmaktadır. Ankastre ve esnek tabanlı tüm yapısal modellerde, gerilme değerlerindeki genel eğilim yüksek frekanslı depremlerden düşük frekanslı depremlere doğru artış olmakla birlikte, bunun bazı istisnaları da söz konusudur. Örneğin, s=2 durumunda Parkfield depreminin tepkiler üzerinde Erzincan depreminden daha etkili olduğu açıktır. Benzer şekilde, Coalinga depremi de Whittier Narrows depreminden daha baskındır (Şekil 153a). Öte yandan tüm durumlarda en baskı yer hareketi düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremidir.



Şekil 153. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük gerilme tepkileri

Şekil 154'te, deprem frekans içeriği değişimine (veya PGA/PGV değişimi) bağlı olarak üç farklı narinlik oranı ve dört farklı zemin koşulu için maksimum ivmeler karşılaştırılmaktadır. En yumuşak karaktere sahip olan S3 için maksimum ivmeler karşılaştırıldığında, s=2 durumunda Coalinga depremine nazaran; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde sırasıyla -%23.5, %53.5, %86.3, %24.4 ve %101.2 düzeyinde farklar hesaplanmaktadır. Benzer şekilde, s=4 durumunda bu farklar %2.0, %43.5, %75.1, %83.9 ve %247.7 olarak elde edilirken, s=6 durumunda -%13.9, %24.8, %38.8, %46.2 ve %130.5 olmaktadır. Maksimum ivmeler genel olarak yüksek frekanslı depremlerden düşük frekanslı depremlere doğru artan bir eğilim sergilemekte ve düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremi yapılar üzerinde genellikle en baskın deprem olmaktadır. Zemin koşulları açısından bakıldığında, Pazarcık depremi etkisinde, s=2 için S2 zemini, s=4 için S3 zemini ve s=6 için ankastre taban daha kritik olmaktadır. Bu irdelemeler, temel zemini, yapı özellikleri ve deprem karakteristikleri arasındaki etkileşim mekanizmasının yapı ivme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

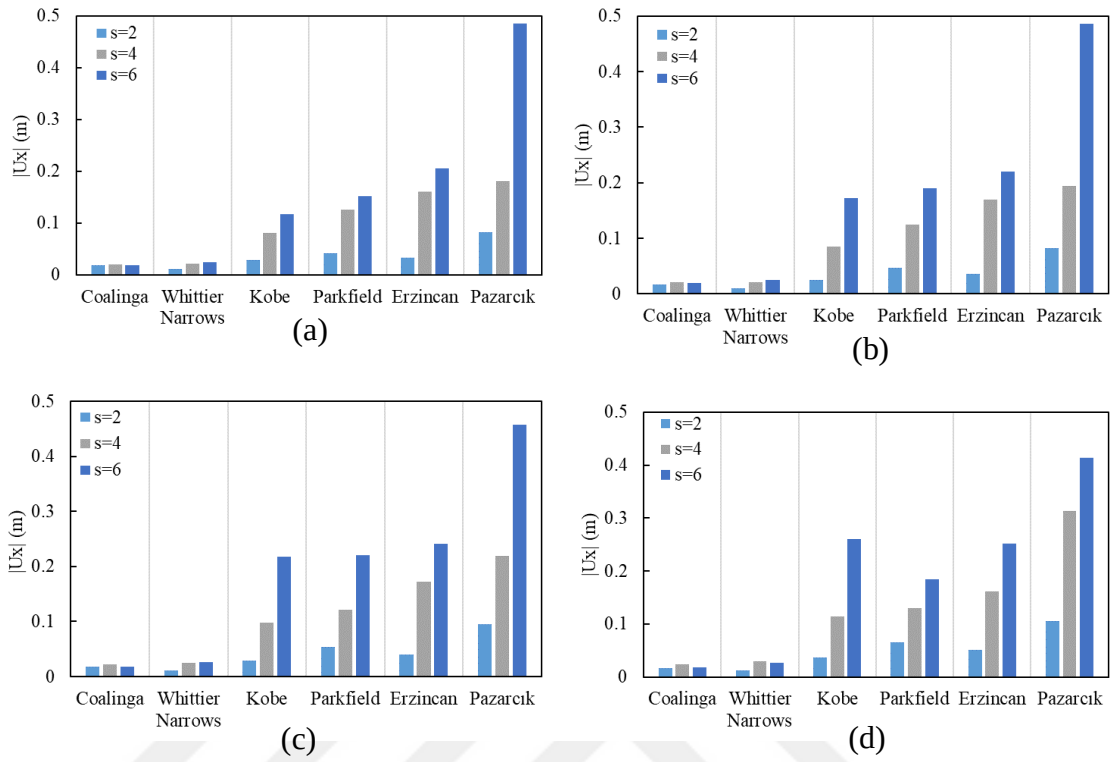


Şekil 154. a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 koşullarında en büyük ivme tepkileri

3.1.3. Farklı Zemin Türleri İçin Deprem Frekans İçeriği-Narinlik Oranı İlişkisi

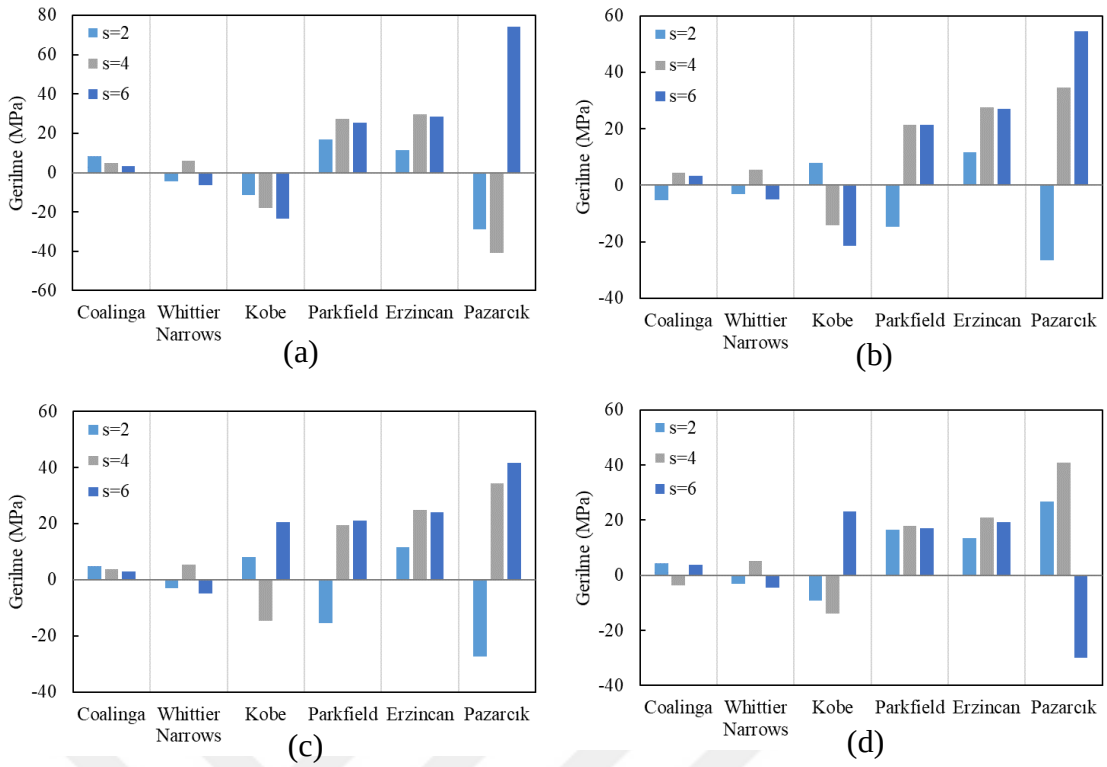
Şekil 155 deprem frekans içeriğine bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin maksimum yer değiştirme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Burada en yüksek tepkilerin elde edildiği düşük frekans içerikli Pazarcık depremi etkisinde, s=4 ve s=6 durumlarında elde edilen yer değiştirmeler, s=2 durumunda elde edilenlerle karşılaştırılmaktadır. Ankastre taban durumunda s=2 için 0.0822 m olan yer değiştirme, s=4 ve s=6 için sırasıyla %120.8 ve %490.2 artış göstermektedir. Artış oranları S1 koşullarında %136.3 ve %490.3, S2 koşullarında %130.1 ve %378.6 ve S3 koşullarında %198.5 ve %293.7 olarak hesaplanmaktadır. Narinlik oranındaki artış genel olarak yer değiştirmeleri artırmakta ancak bu eğilim belirli koşullar altında değişebilmektedir. Coalinga depremi altında tüm zemin koşullarında s=4 olan yapının, s=2 ve s=6 olan yapılara nazaran daha büyük yer değiştirmelere maruz kaldığı görülmektedir. Örneğin, ankastre taban durumunda (Şekil 155a) s=2 olan yapı için yer değiştirme 0.0190 m iken, s=4 ve s=6 olan yapılar için sırasıyla %5.8 artmakta ve %3.2 azalmaktadır. Benzer şekilde, Whittier Narrows depremi etkisinde s=4 için yer değiştirme 0.0288 m iken, s=6 durumunda %9 azalmaktadır (Şekil 155d). Bu irdelemeler, yapı dinamik davranışının sadece narinlik oranı tarafından kontrol edilmediğini ve davranışın; zemin türü, narinlik

oranı ve frekans içeriği arasındaki karşılıklı etkileşimle şekillenebileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 155. a) Ankastre taban, b) S1, c) S2 ve d) S3 koşullarında narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

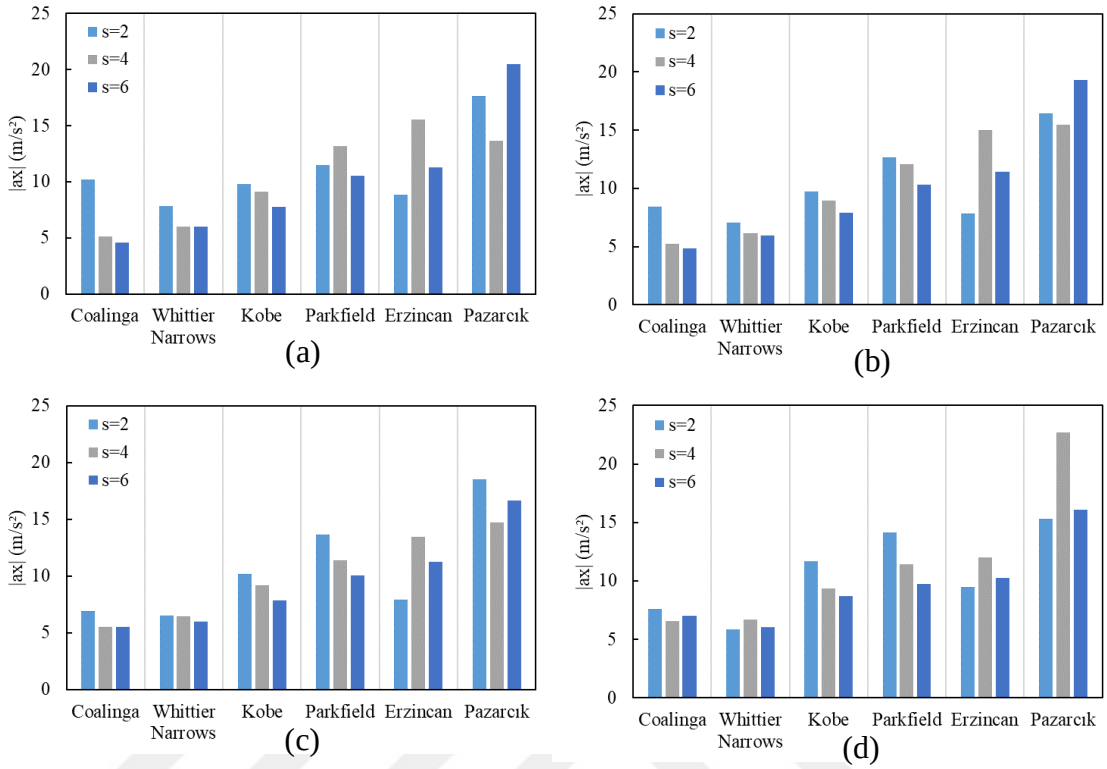
Şekil 156 deprem frekans içeriğine bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin maksimum gerilme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Burada en yüksek gerilme tepkilerinin gözlemlendiği düşük frekans içerikli Pazarcık depremi etkisinde, s=2 durumunda hesaplanan gerilmeler, s=4 ve s=6 durumlarında elde edilenlerle karşılaştırılmaktadır. Ankastre taban koşulunda s=2 için gerilme 28.7789 MPa iken, bu değer s=4 ve s=6 için sırasıyla %42.5 ve %157.6 artış göstermektedir. Artış oranları S1 için %30.3 ve %105, S2 için %26.1 ve %52.4 ve S3 için %52.5 ve %12.2 olmaktadır. Bu karşılaştırmalar, narinlik oranındaki artışın genel olarak gerilme tepkilerinde artışa neden olduğunu göstermekle birlikte, bu eğilim deprem frekans içeriğine bağlı olarak bazen değişebilmektedir. Zira Coalinga depreminde en kritik durumlar s=2 için elde edilmektedir.



Şekil 156. a) Ankastre taban, b) S1, c) S2 ve d) S3 koşullarında narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

Şekil 157 deprem frekans içeriğine bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin maksimum ivme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Genel olarak, orta ve düşük frekans içerikli depremlere kıyasla, yüksek frekans içerikli depremlerde ivme tepkileri daha düşük seviyelerde kalmaktadır. s=2 durumunda, s=4 ve s=6'ya kıyasla genellikle daha yüksek ivme değerleri elde edilmektedir. Orta frekans içerikli depremlerde, ivmeler s=2'den s=6'ya doğru genellikle azalmakta ve en yüksek ivme değerleri ise genellikle düşük frekans içerikli depremlerde ortaya çıkmaktadır. En yüksek ivme değerleri, ankastre taban ve S1 için s=6'da, S2 için s=2'de ve S3 için s=4'te hesaplanmaktadır. Burada genel olarak en büyük ivme tepkilerinin elde edildiği düşük frekans içerikli Pazarcık depremi etkisinde, s=2 durumundaki ivmeler, s=4 ve s=6 durumlarında elde edilen ivmelerle karşılaştırılabilir. Ankastre durumda s=2 için ivme 17.6660 m/s^2 iken, s=4 ve s=6 için sırasıyla %22.6 azalmakta ve %16 artmaktadır. S1 koşullarında s=2 için ivme 16.4650 m/s^2 iken, s=4 ve s=6 için sırasıyla %5.9 azalmakta ve %17.4 artmaktadır. S2 şartlarında s=2 için ivme 18.5190 m/s^2 iken, s=4 ve s=6 durumlarında sırasıyla %20.7 ve %10 azalmaktadır. S3 koşullarında s=2 için ivme 15.2870 m/s^2 iken, s=4 ve s=6 durumlarında sırasıyla %48.4 ve %5.4 artmaktadır. Burada narinlik oranındaki değişimin farklı ivme tepkilerine yol açabildiği ve deprem

frekans içeriği ile narinlik oranı arasındaki ilişkinin tepkilerin karakterini değiştirebildiği açıktır.

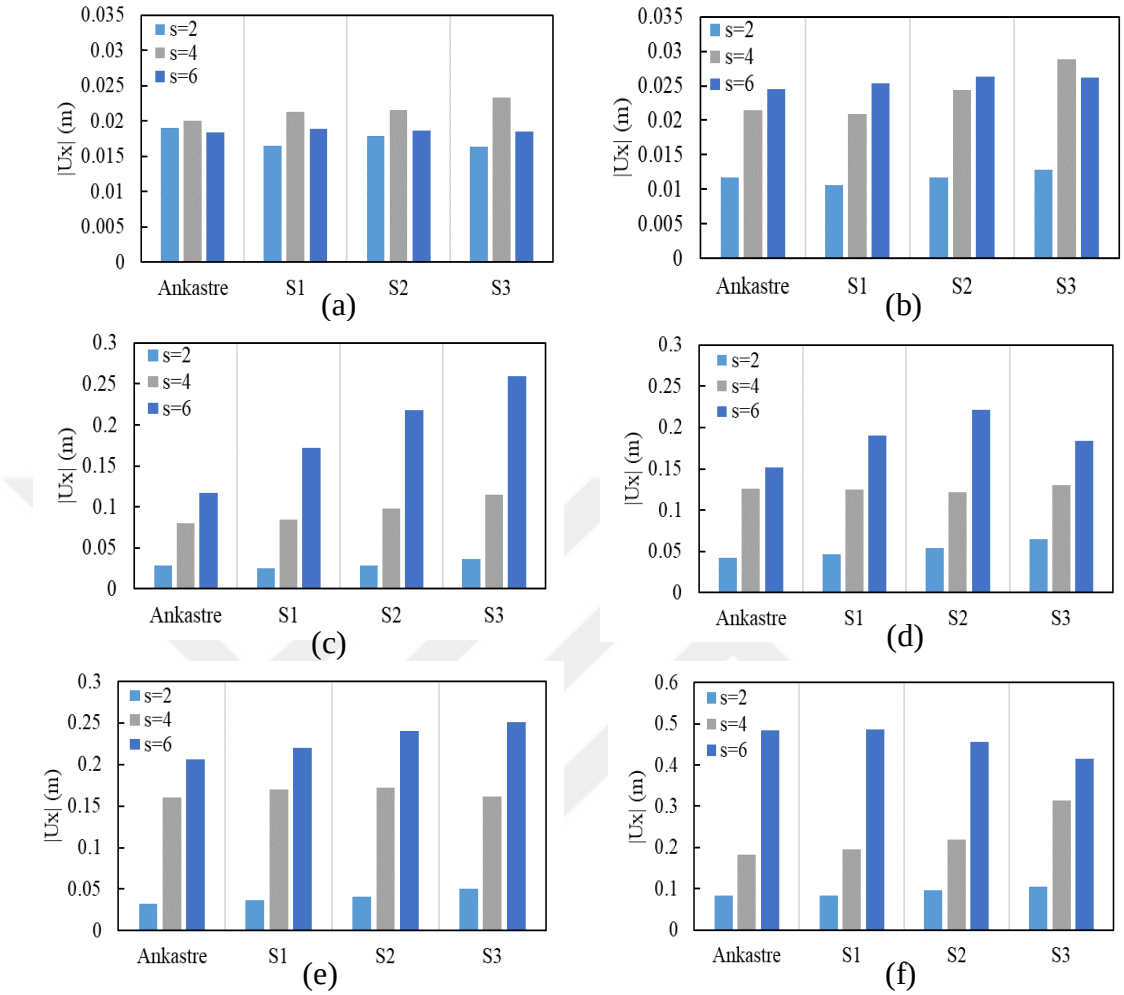


Şekil 157. a) Ankastre taban, b) S1, c) S2 ve d) S3 koşullarında narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

3.1.4. Farklı Depremler için Zemin Türü-Narinlik Oranı İlişkisi

Şekil 158 zemin özelliklerine bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin maksimum yer değiştirme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Burada en büyük yer değiştirmeler genellikle S3 koşullarında hesaplandığından, S3 dikkate alınarak s=4 ve s=6 durumlarındaki yer değiştirmeler, s=2 için hesaplananlarla karşılaştırılmaktadır. Coalinga depreminde s=2 için 0.0163 m olan yer değiştirme, s=4 için %43.6 artışla 0.0234 m'ye ve s=6 için %13.5 artışla 0.0185 m'ye yükselmektedir. Whittier Narrows depreminde bu artış oranları sırasıyla %125 ve %104.7'dir. Kobe depreminde s=2 durumunda 0.0364 m olan yer değiştirme, s=4'te %214.3 artışla 0.1144 m ve s=6'da %613.5 artışla 0.2597 m olmaktadır. Parkfield depreminde bu artışlar sırasıyla %100.5 ve %182.6'dır. Erzincan depreminde s=2 koşullarında 0.0508 m olan yer değiştirme, s=4'te %217.5 artışla 0.1613 m ve s=6'da %394.9 artışla 0.2514 m olarak hesaplanmaktadır. Pazarcık depreminde bu artışlar sırasıyla %198.5 ve %293.7'dir. Genel olarak s=2'den s=6'ya doğru yer değiştirme değerlerinde artışlar

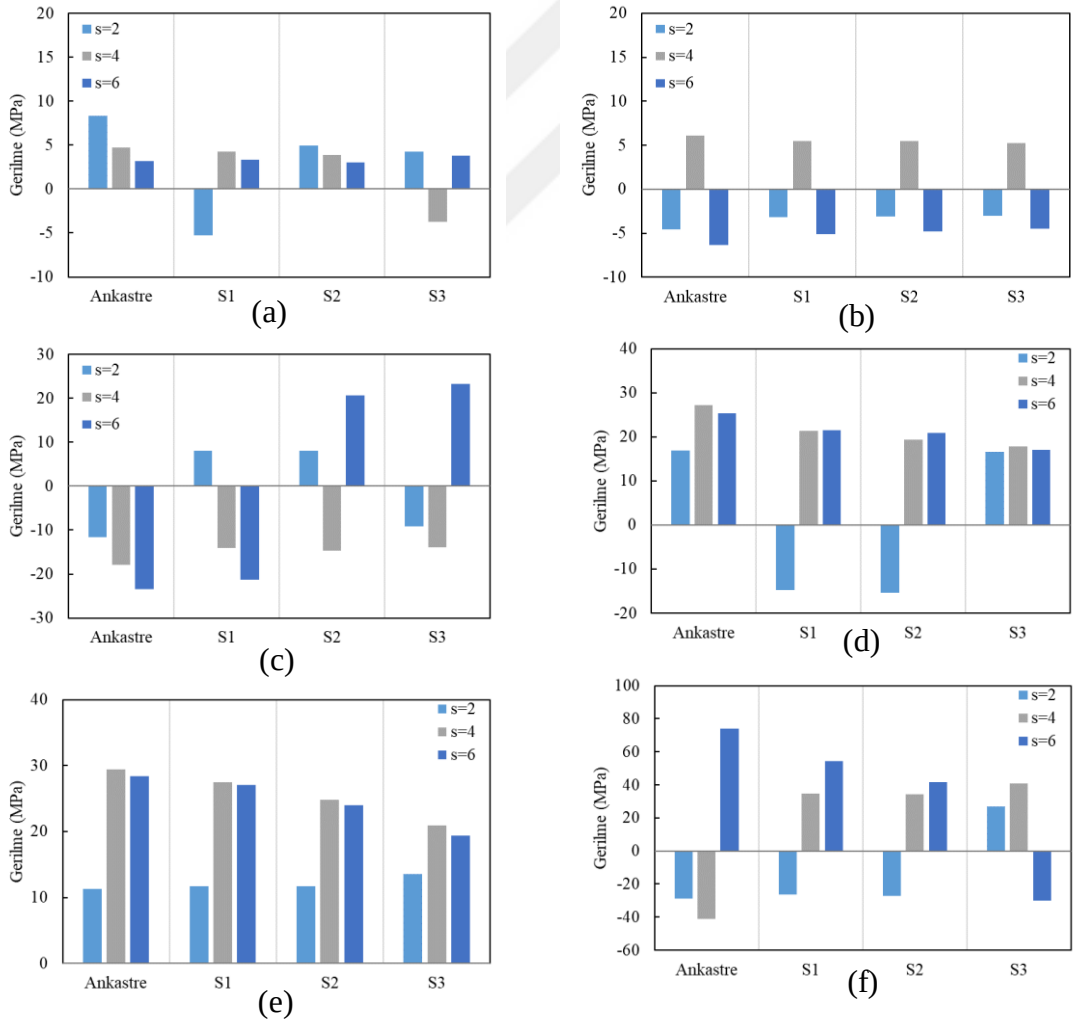
olduğu açıktır. Bu durum, daha narin yapıların (daha yüksek s değerleri) depremlerde daha fazla yer değiştirmeye maruz kalabileceğini göstermektedir.



Şekil 158. a) Coalinga, b) Whittier Narrows, c) Kobe, d) Parkfield, e) Erzincan ve f) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

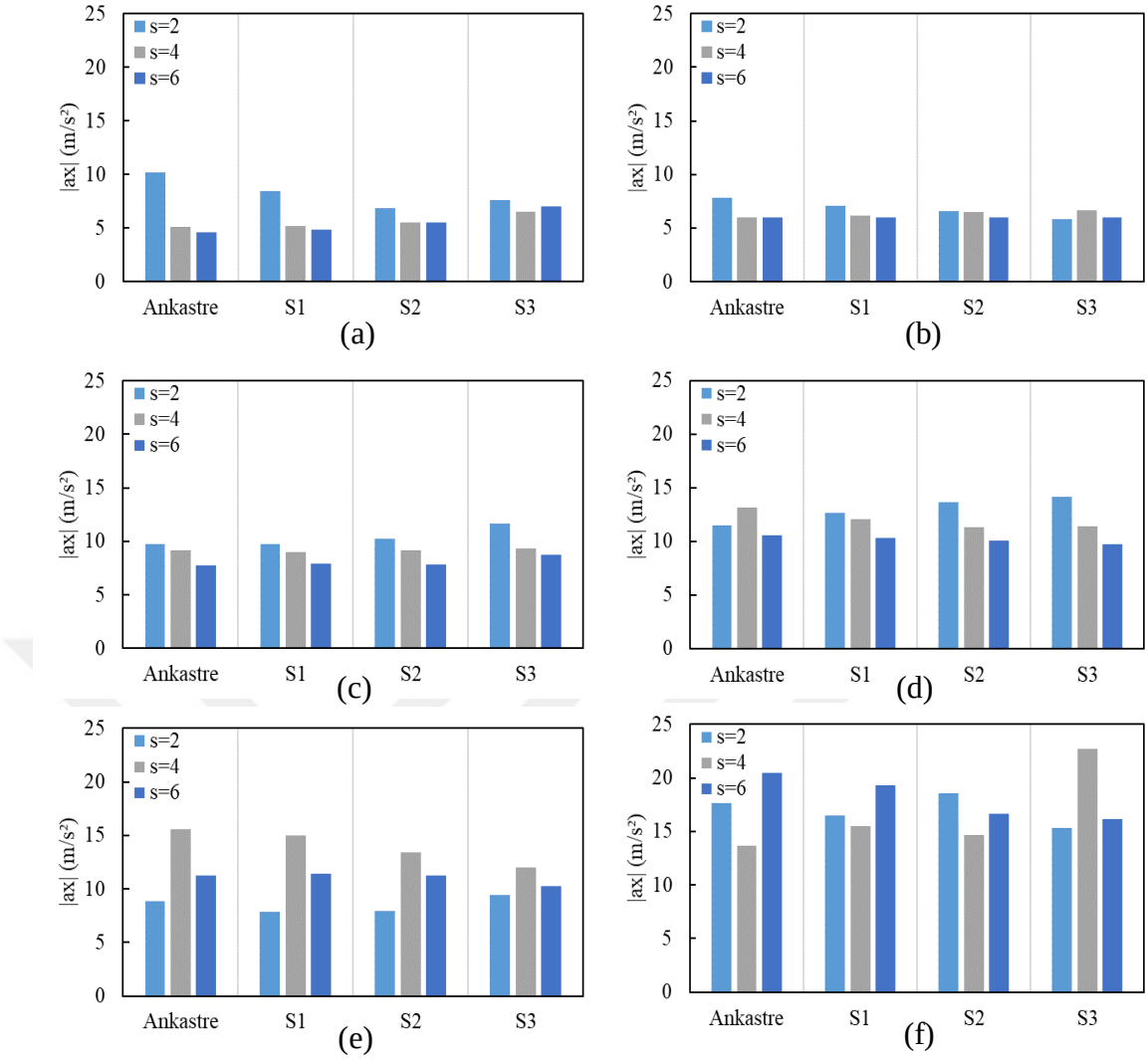
Şekil 159 zemin özelliklerine bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin maksimum gerilme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Ankastre tabandan yumuşak zemin koşullarına doğru maksimum gerilmelerde genel olarak bir azalma eğilimi olduğu görülmekte ve en yüksek gerilmeler genellikle ankastre taban durumunda hesaplanmaktadır. Bu nedenle ankastre taban koşullarında s=4 ve s=6 için hesaplanan gerilmeler, s=2 için elde edilenlerle karşılaştırılmaktadır. Coalinga depreminde s=2 için 8.3608 MPa olan gerilme, s=4 için %44 azalarak 4.6834 MPa ve s=6 için %61.78 azalarak 3.1961 MPa değerine düşmektedir. Whittier Narrows depreminde s=2 için 4.5523 MPa olan gerilme, s=4'te %33.6 artarak 6.0811 MPa ve s=6'da %38.9 artarak 6.3234 MPa değerine ulaşmaktadır. Kobe depreminde s=2 durumunda 11.5513 MPa olarak hesaplanan gerilme, s=4'te %55.6 artışla 17.9730 MPa

ve s=6'da %102.5 artışla 23.3868 MPa olarak elde edilmektedir. Parkfield depreminde s=2 koşullarında 16.8615 MPa olan gerilme, s=4'te %61 artışla 27.1432 MPa ve s=6'da %50.5 artışla 25.3693 MPa olmaktadır. Erzincan depreminde s=2 şartlarında 11.2683 MPa olan gerilme, s=4 için %161.4 artışla 29.4508 MPa ve s=6 için %152.4 artışla 28.4377 MPa mertebesine yükselmektedir. Pazarcık depreminde s=2 için 28.7789 MPa olarak hesaplanan gerilme, s=4 için %42.5 artışla 41.0152 MPa ve s=6 için %157.6 artışla 74.1364 MPa olmaktadır. Genel olarak s=2'den s=6'ya doğru gerilme tepkilerinin arttığı ve s=6 olan yapının genel olarak daha yüksek gerilmelere maruz kaldığı görülmektedir. Öte yandan bazı durumlarda (Şekil 159a), narinlik oranındaki artışın gerilmelerde azalmalara sebep olabileceği ve Şekil 159d ve e'de görüldüğü üzere, s=4 durumunun daha kritik bir hal alabileceği görülmektedir. Bu değerlendirmeler yine narinlik oranı, zemin türü ve deprem frekans içeriği arasındaki karşılıklı etkileşimin önemine işaret etmektedir.



Şekil 159. a) Coalinga, b) Whittier Narrows, c) Kobe, d) Parkfield, e) Erzincan ve f) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

Şekil 160 zemin özelliklerine bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin maksimum ivme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Burada en yumuşak zemin olan S3 dikkate alınarak s=4 ve s=6 için hesaplanan ivmeler, s=2 için hesaplananlarla karşılaştırılmaktadır. Coalinga depreminde s=2 için 7.5979 m/s^2 olan ivme, s=4'te %14.1 azalarak 6.5232 m/s^2 ve s=6'da %8 azalarak 6.9910 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Whittier Narrows depreminde s=2 için 5.8101 m/s^2 olan ivme, s=4'te %14.5 artarak 6.6542 m/s^2 ve s=6'da %3.6 artarak 6.0187 m/s^2 olmaktadır. Kobe depreminde s=2 durumunda 11.6630 m/s^2 olan ivme, s=4'te %19.7 azalarak 9.3633 m/s^2 ve s=6'da %25.2 azalarak 8.7254 m/s^2 değerine düşmektedir. Parkfield depreminde s=2 koşullarında 14.1510 m/s^2 olarak hesaplanan ivme, s=4'te %19.3 azalarak 11.4220 m/s^2 ve s=6'da %31.5 azalarak 9.7005 m/s^2 düzeyine düşmektedir. Erzincan depreminde s=2 şartlarında 9.4508 m/s^2 olan ivme, s=4'te %26.9 artarak 11.9960 m/s^2 ve s=6'da %8.2 artarak 10.2220 m/s^2 değerine yükselmektedir. Pazarcık depreminde s=2 için 15.2870 m/s^2 olan ivme, s=4'te %48.4 artarak 22.6820 m/s^2 ve s=6'da %5.4 artarak 16.1130 m/s^2 olmaktadır. Şekil 160a-d incelendiğinde, düşük narinlik oranına (s=2) sahip modellerin genellikle ivme büyüklüğü açısından daha kritik olduğu ve narinlik oranı arttıkça ivme değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir. Şekil 160e'de tüm zemin türleri için en yüksek ivme değerleri s=4 durumunda elde edilmektedir. Benzer şekilde Şekil 160f'de S3 zemin türü için de en büyük ivme değeri s=4 koşullarında elde edilmektedir. Ayrıca, Şekil 160a-b'de ankastre taban durumu, Şekil 160c-d'de s=2 şartlarında S3 durumu, Şekil 160e'de ankastre taban durumu ve Şekil 160f'de s=4 şartlarında S3 durumu en kritik durumlardır.



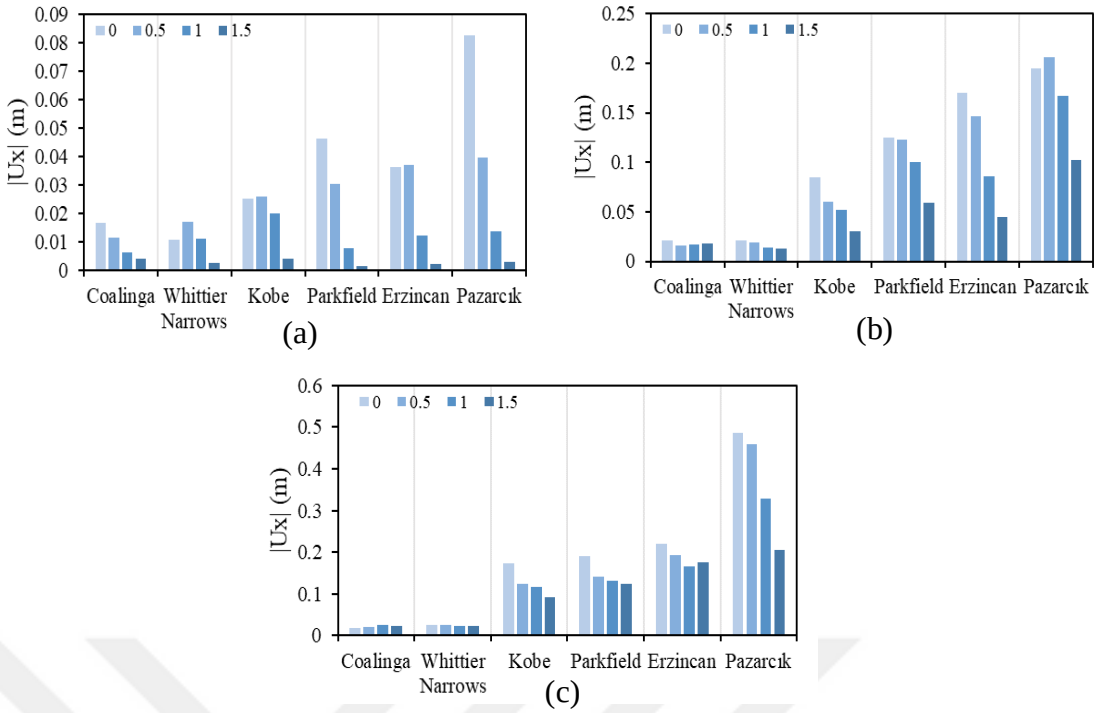
Şekil 160. a) Coalinga, b) Whittier Narrows, c) Kobe, d) Parkfield, e) Erzincan ve f) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

3.2. Gömülme Etkisinin Olduğu Durum

3.2.1. Farklı Narinlik Oranları ve Zemin Türleri İçin Deprem Frekans İçeriği-Gömülme Oranı İlişkisi

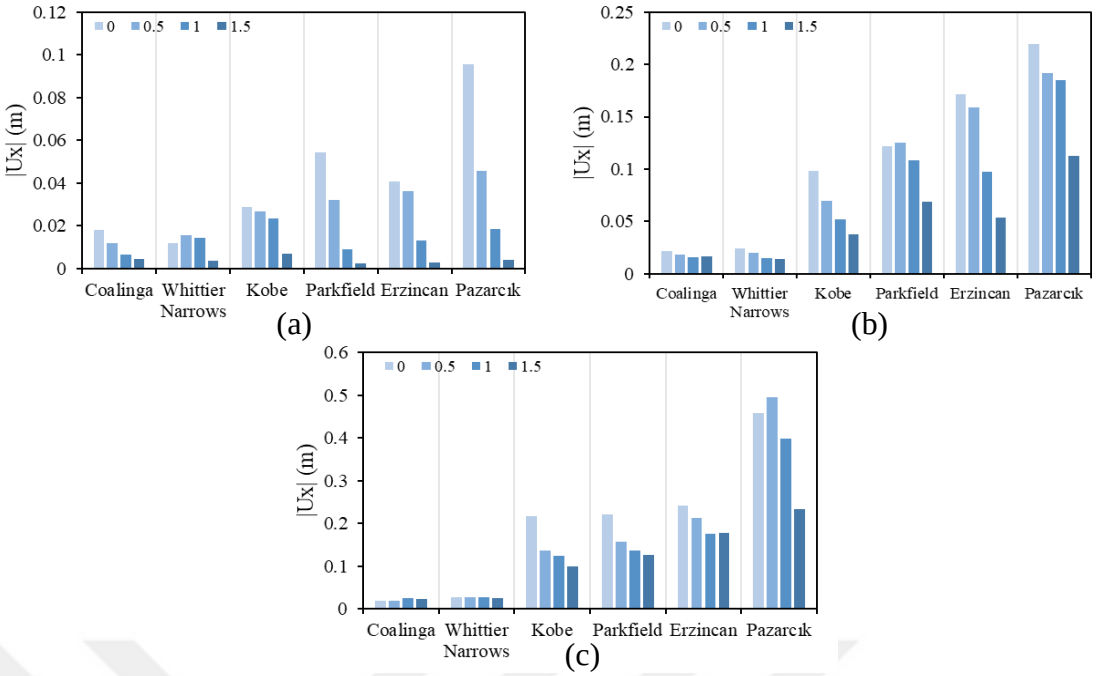
Şekil 161-163, deprem frekans içeriğine bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük yer değiştirme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Yüksek frekans içeriğine sahip depremlerden düşük frekans içerikli depremlere doğru yer değiştirmeler genellikle artış eğilimi sergilemektedir. Ayrıca gömülme derinliğinin, sistemin ötelenme ve dönme rijitliklerini artırarak yer değiştirmeleri kısıtlayıcı bir etki yaptığı ve gömülme oranındaki artışla birlikte yer değiştirme tepkilerinin genellikle azaldığı söylenebilir. Aşağıda örnek olarak en yüksek tepkilerin elde edildiği düşük frekans içerikli Pazarcık depremi için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

S1 koşullarında Şekil 161a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.0823 m iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak yer değiştirmelerde sırasıyla %51.9, %83.1 ve %96.2 azalmalar meydana gelmektedir. Şekil 161b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.1945 m iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak yer değiştirmelerde sırasıyla %5.7 oranında artma, %14 ve %47.5 oranında azalmalar olmaktadır. Şekil 161c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.4858 m olarak elde edilmekte ve gömülme oranındaki artışa bağlı olarak yer değiştirmelerde sırasıyla %5.4, %32.6 ve %57.5 oranında azalmalar kaydedilmektedir. Bilindiği üzere temel gömme derinliğinin artırılması yapı sistemlerinde hem taşıma gücü hem de oturmalar açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Statik yükler altında, özellikle izin verilebilir sınırlar ötesinde oturmaların gerçekleşmesi beklenen yumuşak zeminlerde, oturmaları kısıtlamak için radye temel derinliği artırılabilir ve bu sayede birçok bodrum katı da inşa edilebilir. Oturmalar problem teşkil etmese de mekân kazanmak açısından bodrum katlar düzenlenebilir. Derin radye ile net taban basıncı azaltılacağından radyenin oturması azaltılmış olur. Öte yandan temel derinliği de artırılmış olacağından taşıma gücü artar. Yukarıda yapılan karşılaştırmalardan, dinamik durumda da gömme derinliğinin artırılmasının yatay yer değiştirmeleri azaltıcı bir etki yaptığı düşünüldüğünde, depreme dayanıklı yapısal ve geoteknik tasarım ilkeleri açısından zemin iyileştirilmesi ve derin temel çözümlerine başvurmadan önce, yüzen radye seçeneğinin göz önüne alınması ve kısmen dengelenmiş radye uygulamasının gerçekleştirilmesi güvenli ve ekonomik bir çözüm stratejisi olarak değerlendirilebilir.



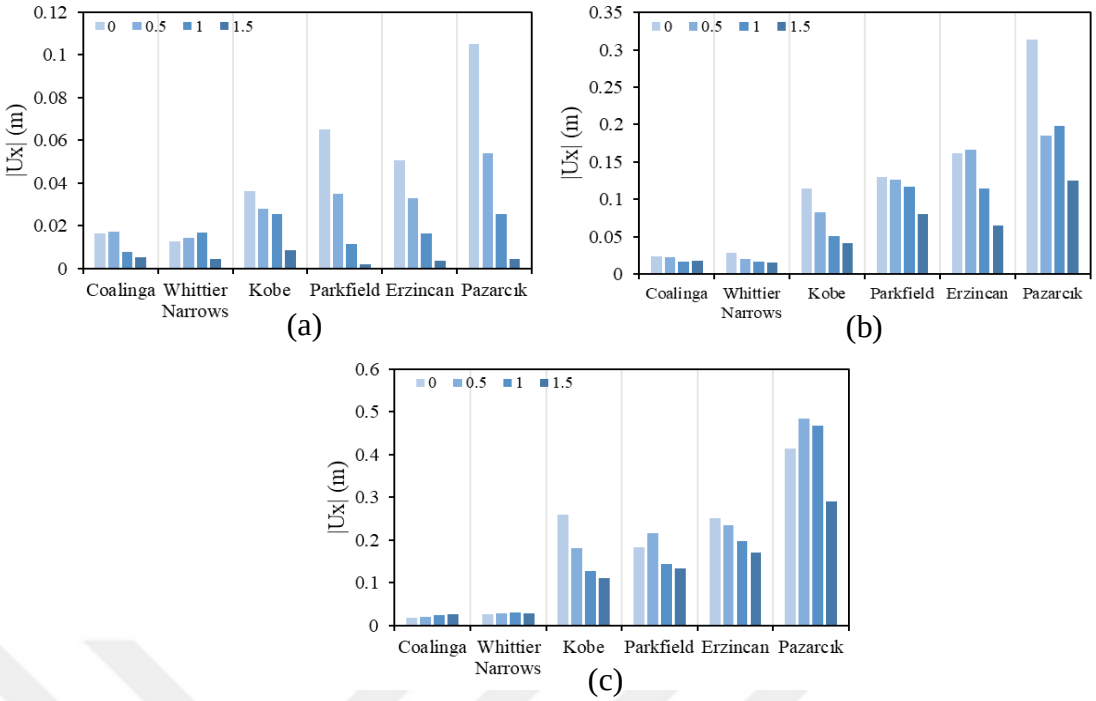
Şekil 161. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 162a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme değeri 0.0955 m iken, gömülme oranındaki artışla yer değiştirmelerde sırasıyla %52, %80.8 ve %95.9 oranında azalmalar gerçekleşmektedir. Şekil 162b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.2197 m iken, gömülme oranındaki artışla yer değiştirmelerde sırasıyla %12.8, %15.6 ve %48.9 oranında azalmalar meydana gelmektedir. Şekil 162c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.4571 m olarak hesaplanmakta ve gömülme oranındaki artışla yer değiştirmelerde sırasıyla %8.2 oranında artma, %12.7 ve %49.2 oranında azalmalar kaydedilmektedir.



Şekil 162. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

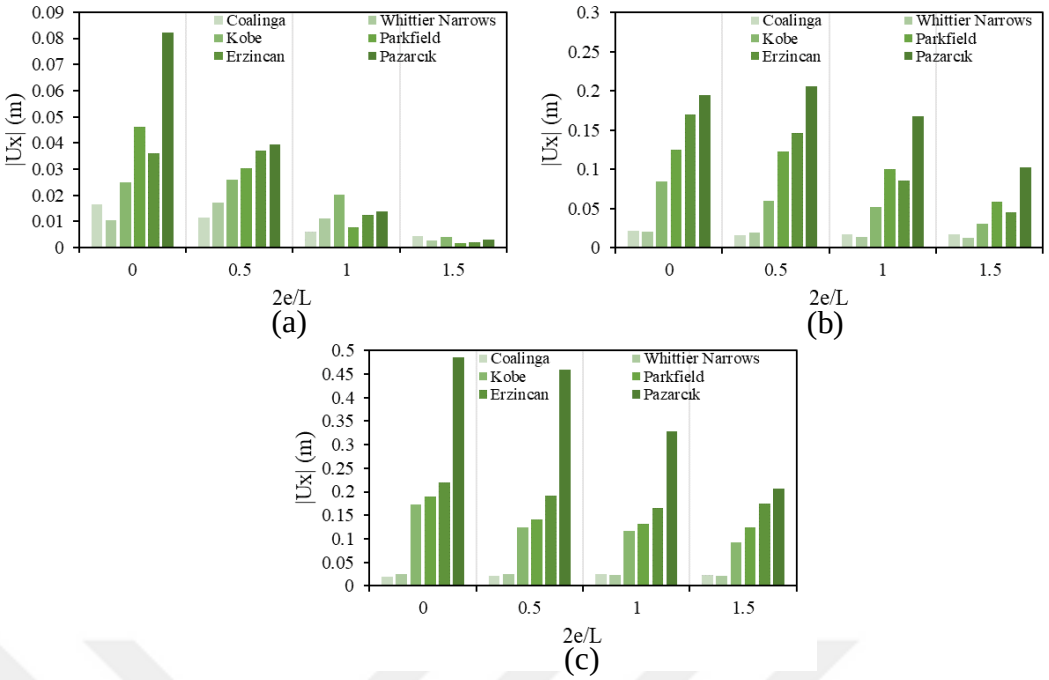
S3 koşullarında Şekil 163a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.1052 m iken, gömülme artışıyla birlikte sırasıyla %48.8, %75.7 ve %95.8 oranlarında azalmaktadır. Şekil 163b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.3140 m iken, gömülme artışıyla birlikte sırasıyla %40.9, %36.7 ve %60.3 oranında azalmalar kaydedilmektedir. Şekil 163c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.4142 m iken, gömülme artışıyla yer değiştirmelerde sırasıyla %16.6 ve %12.6 oranlarında artma ve %30.1 oranında azalma gerçekleşmektedir.



Şekil 163. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

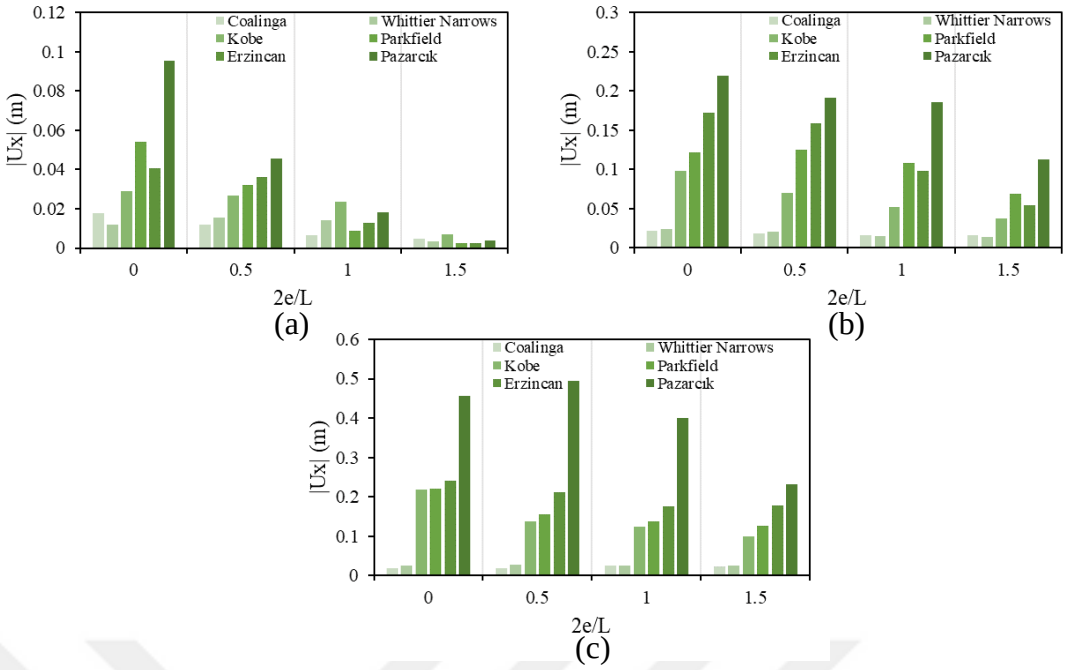
Şekil 164-166, gömülme oranına bağlı olarak deprem frekans içeriği değişiminin en büyük yer değiştirme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Deprem frekans içeriği ve gömülme oranı değişimlerinin yer değiştirme tepkileri üzerinde büyük etkileri olduğu açıktır. Aşağıda örnek olarak gömülme oranının 0.5 olduğu durum için deprem karakteristikleri kaynaklı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

S1 şartlarında Şekil 164a'da s=2 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0114 m iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremleri etkisinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %50.9, %128.1, %165.8, %224.6 ve %247.4 oranlarında artış olmaktadır. Şekil 164b'de s=4 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0157 m iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremleri etkisinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %20.4, %282.2, %679.6, %833.1 ve %1209.6 oranlarında artış meydana gelmektedir. Şekil 164c'de s=6 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0209 m iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremleri etkisinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %21.1, %495.2, %571.8, %820.6 ve %2099 oranlarında artış gerçekleşmektedir.



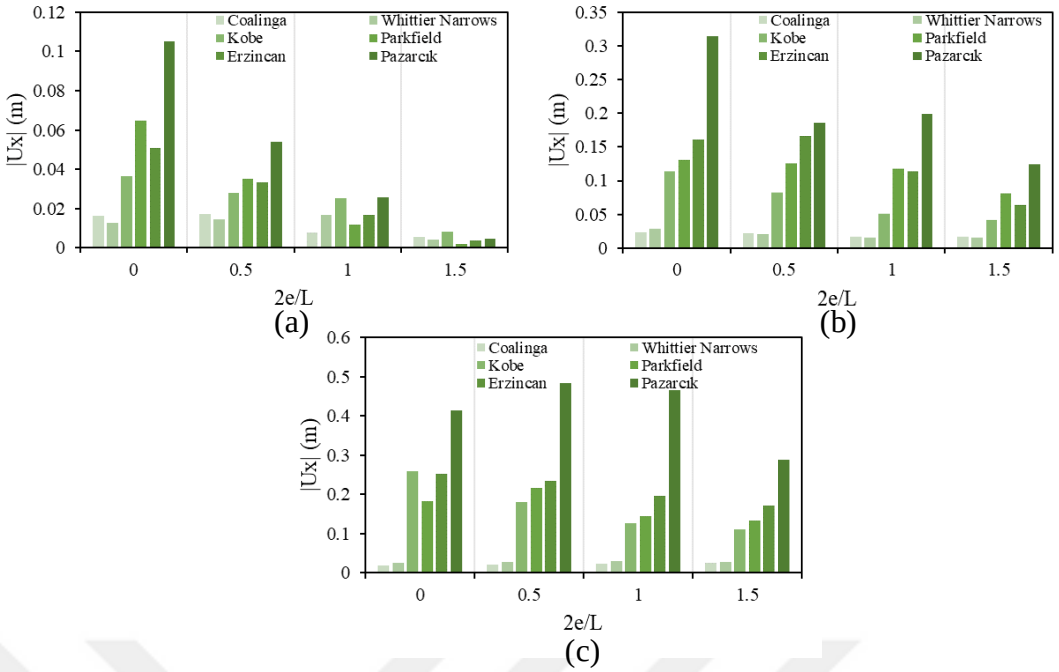
Şekil 164. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 165a'da s=2 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0120 m iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %30.8, %120.8, %168.3, %201.7 ve %281.7 oranlarında artış olmaktadır. Şekil 165b'de s=4 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0186 m iken; adı geçen diğer depremler esnasında Coalinga depremine nazaran sırasıyla %7.5, %273.7, %574.7, %752.2 ve %929.6 oranlarında tepki büyümesi gerçekleşmektedir. Şekil 165c'de s=6 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0196 m iken; söz konusu artışlar sırasıyla %37.2, %598, %695.9, %980.6 ve %2422.4 mertebelerinde meydana gelmektedir.



Şekil 165. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

S3 koşullarında Şekil 166a'da s=2 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0171 m iken; bu tepkide Whittier Narrows depremi esnasında Coalinga depremine kıyasla %15.8 azalma ve Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde sırasıyla %63.7, %105.3, %93.6 ve %215.2 oranlarında artma olmaktadır. Şekil 166b'de s=4 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0219 m iken; Whittier Narrows depreminde bu tepkide Coalinga depremine nazaran %7.3 azalma ve Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde sırasıyla %277.2, %475.3, %661.6 ve %747 oranlarında artma meydana gelmektedir. Şekil 166c'de s=6 için Coalinga depreminde yer değiştirme 0.0203 m iken; adı geçen diğer depremlerde sırasıyla %41.9, %793.1, %965.5, %1049.8 ve %2278.8 oranlarında tepki büyümesi gerçekleşmektedir.

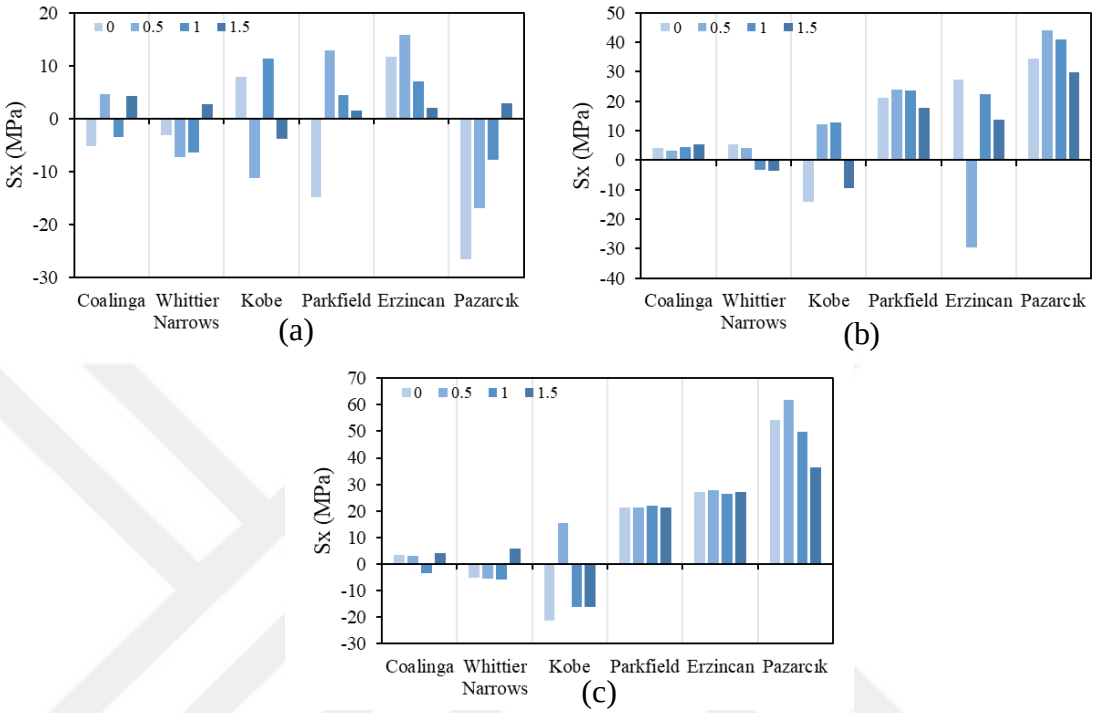


Şekil 166. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

Şekil 167-169, deprem frekans içeriğine bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük gerilme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Yüksek frekans içeriğine sahip depremlerden düşük frekans içerikli depremlere doğru gerilmeler genellikle artma eğilimi göstermektedir. Ayrıca gömülme oranındaki artış genel olarak gerilme tepkilerini azaltmakla birlikte, deprem frekans içeriğinin ve narinlik oranının değişimine bağlı olarak zaman zaman gerilmelerde artışlar zaman zaman ise ihmal edilebilir düzeylerde değişimler gözlenebilmektedir. Bu durum, yapıların dinamik gerilme davranışı açısından gömülme derinliğinin tek tasarım kriteri olarak dikkate alınamayacağını ve tasarımda deprem karakteristikleri ile gömülme ve narinlik oranlarının karşılıklı etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca gömülme oranı değişiminin gerilmelerin karakterini de değiştirebileceği ve maksimum gerilmelerin bazen çekme bazen de basınç şeklinde gelişebileceği görülmektedir. Aşağıda örnek olarak en yüksek tepkilerin elde edildiği düşük frekans içerikli Pazarcık depremi için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

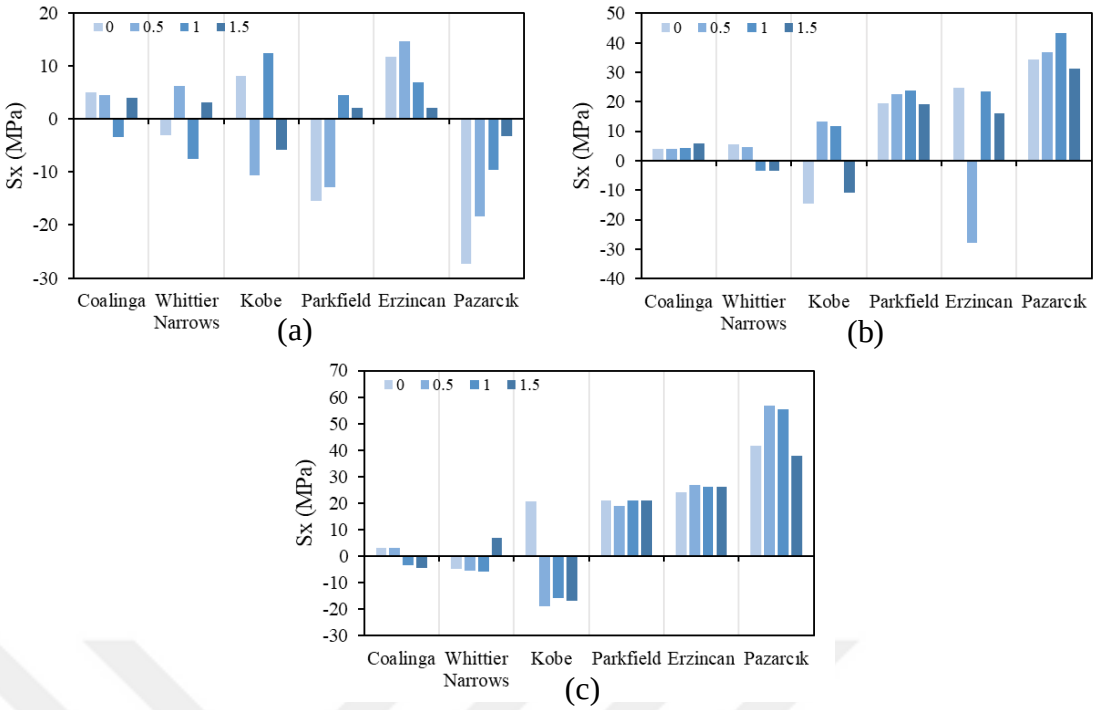
S1 şartlarında Şekil 167a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için gerilme 26.5368 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %36.4 azalma ile 16.8755 MPa, %70.7 azalma ile 7.7642 MPa ve %89 azalma ile 2.9242 MPa olmaktadır. Şekil 167b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için gerilme 34.5753 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %27.1 artışla 43.9361 MPa, %18.9 artışla 41.0929 MPa ve

%13.8 azalışla 29.7913 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 167c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için gerilme 54.3887 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %13.5 artışla 61.7161 MPa, %8.39 azalışla 49.8249 MPa ve %33.3 azalışla 36.2864 MPa olarak elde edilmektedir.



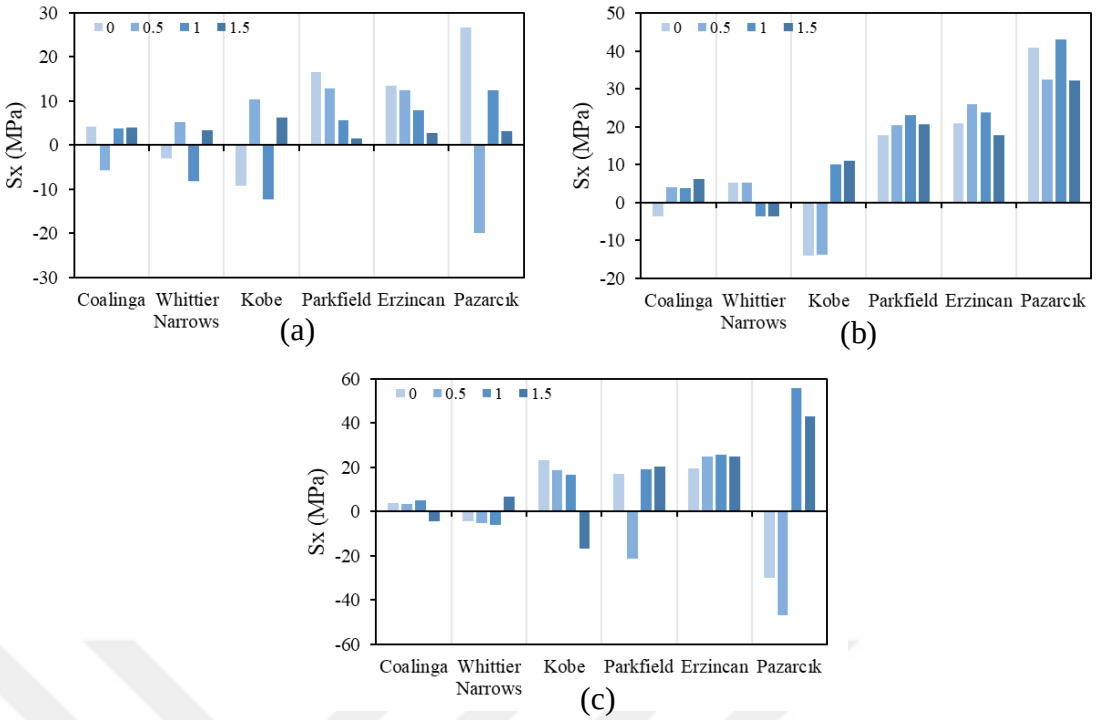
Şekil 167. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 168a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için gerilme 27.2755 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %32.9 azalma ile 18.3041 MPa, %64.7 azalma ile 9.6247 MPa ve %88.1 azalma ile 3.2468 MPa olmaktadır. Şekil 168b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için gerilme 34.4017 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %7.2 artışla 36.8643 MPa, %25.61 artışla 43.2115 MPa ve %9.6 azalışla 31.0920 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 168c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için gerilme 41.5679 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %36.6 artışla 56.7756 MPa, %33.3 artışla 55.3888 MPa ve %9.2 azalışla 37.7544 MPa olarak elde edilmektedir.



Şekil 168. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

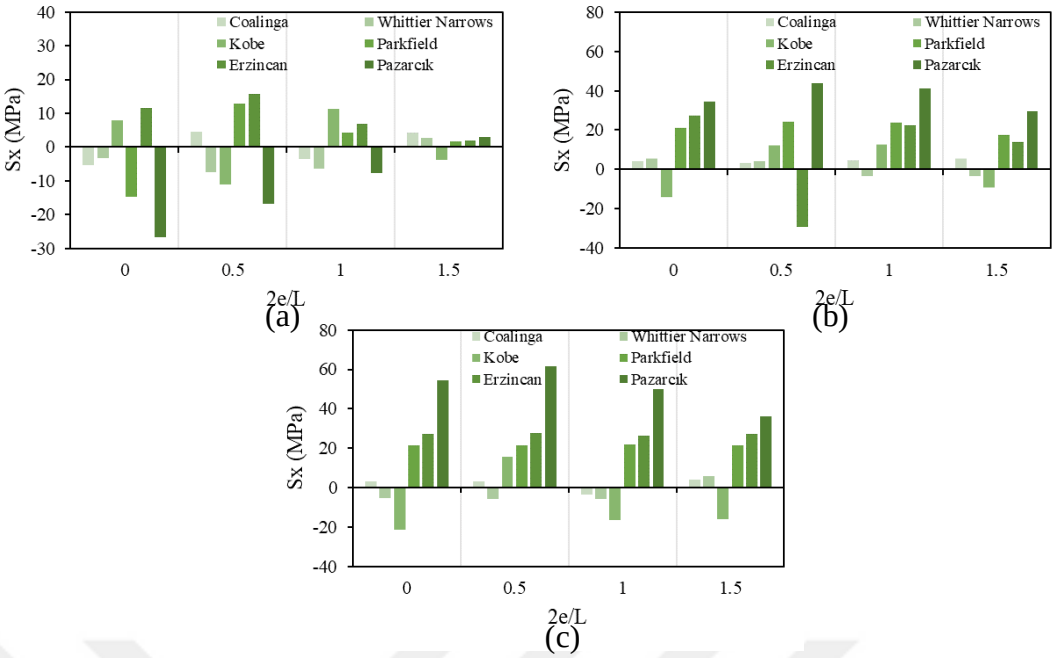
S3 şartlarında Şekil 169a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için gerilme 26.7700 MPa iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %25.7 azalma ile 19.9017 MPa, %53.6 azalma ile 12.4103 MPa ve %88.1 azalma ile 3.1872 MPa olmaktadır. Şekil 169b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için gerilme 40.8191 MPa iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %20.3 azalışla 32.5374 MPa, %5.3 artışla 42.9981 MPa ve %21.3 azalışla 32.1132 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 169c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için gerilme 30.0324 MPa iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %55.8 artışla 46.7825 MPa, %86.3 artışla 55.9438 MPa ve %42.7 artışla 42.8424 MPa olarak elde edilmektedir.



Şekil 169. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

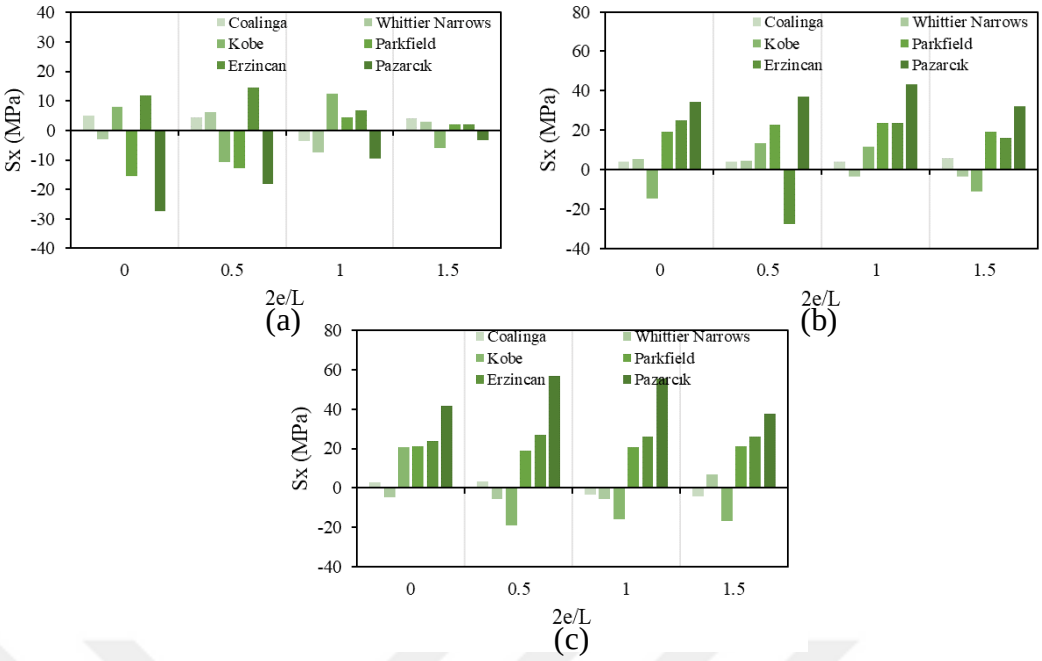
Şekil 170-172, gömülme oranına bağlı olarak deprem frekans içeriği değişiminin en büyük gerilme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Genel olarak en yüksek gerilmeler düşük frekans içerikli Pazarcık depreminde elde edilmektedir. Aşağıda örnek olarak gömülme oranının 0.5 olduğu durum için deprem karakteristikleri kaynaklı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

S1 koşullarında Şekil 170a'da s=2 için Coalinga depreminde gerilme 4.5547 MPa iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde Coalinga depremine nazaran sırasıyla %60.6 artışla 7.3128 MPa, %145.1 artışla 11.1613 MPa, %182.4 artışla 12.8605 MPa, %246 artışla 15.7573 MPa ve %270.5 artışla 16.8755 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 170b'de s=4 için Coalinga depreminde gerilme 3.3217 MPa düzeyinde hesaplanırken; söz konusu diğer depremler esnasında gerilmelerde sırasıyla %27.2, %271.7, %625.6, %786.2 ve %1222.7 artışlar meydana gelmektedir. Şekil 170c'de s=6 için Coalinga depreminde gerilme 2.9721 MPa iken; söz konusu diğer depremlerde gerilmelerde sırasıyla %89.2, %420.9, %616.7, %836.3 ve %1976.5 artışlar hesaplanmaktadır.



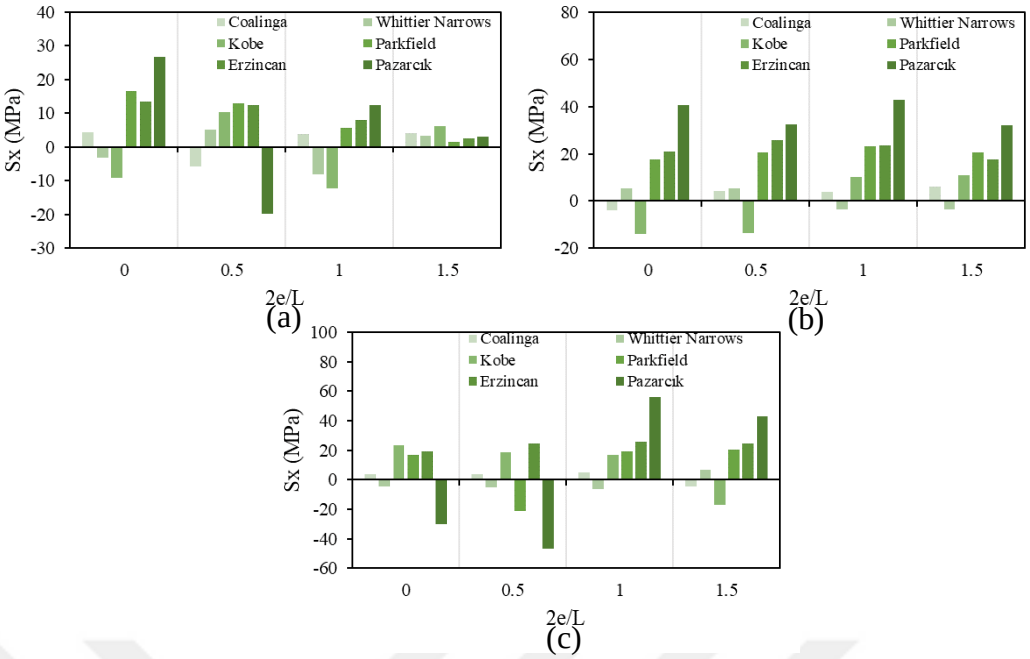
Şekil 170. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük gerilme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 171a'da s=2 için Coalinga depreminde gerilme 4.4018 MPa iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %41.3 artışla 6.2177 MPa, %143.2 artışla 10.7030 MPa, %190.9 artışla 12.8059 MPa, %230.7 artışla 14.5560 MPa ve %315.8 artışla 18.3041 MPa düzeyinde hesaplanmaktadır. Şekil 171b'de s=4 için Coalinga depreminde gerilme 3.9544 MPa iken; söz konusu diğer depremlerde Coalinga depremine nazaran sırasıyla %19.6 artışla 4.7296 MPa, %235.5 artışla 13.2657 MPa, %472.8 artışla 22.6490 MPa, %601.8 artışla 27.7532 MPa ve %832.2 artışla 36.8643 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 171c'de s=6 için Coalinga depreminde gerilme 3.2389 MPa iken; diğer depremlerde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %69.7, %482.2, %487.7, %724.3 ve %1652.9 artışlar elde edilmektedir.



Şekil 171. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük gerilme tepkileri

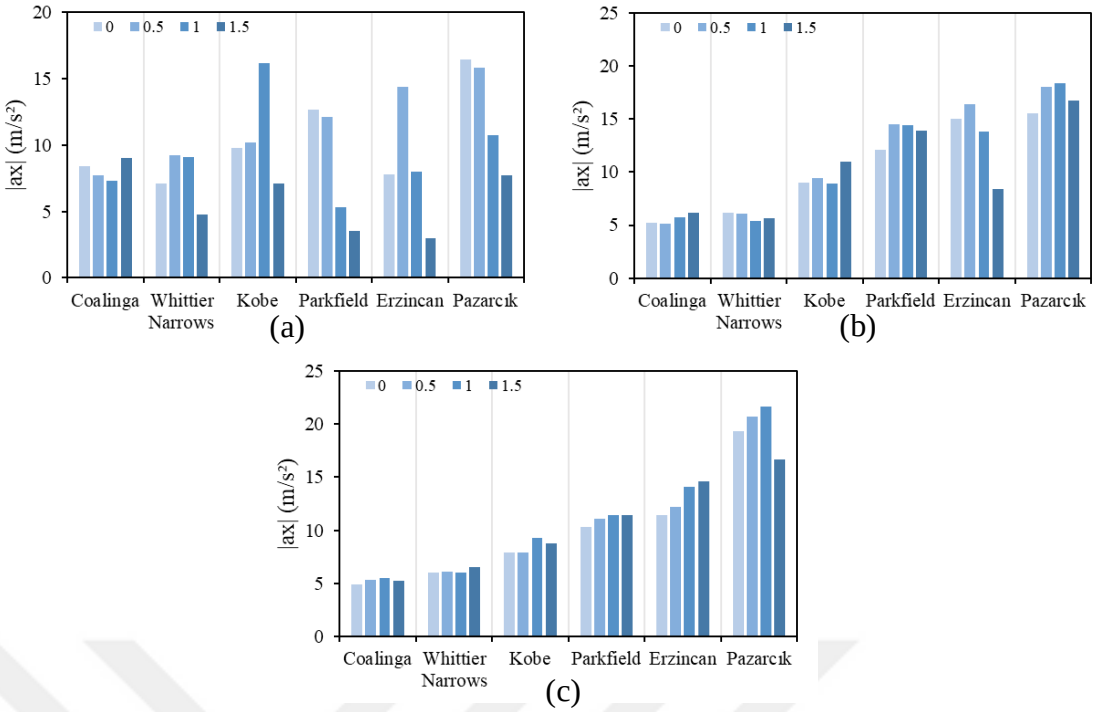
S3 koşullarında Şekil 172a'da s=2 için Coalinga depreminde gerilme 5.6572 MPa iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremlerinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %8.7 azalışla 5.1659 MPa, %82.8 artışla 10.3400 MPa, %128.7 artışla 12.9382 MPa, %119.9 artışla 12.4384 MPa ve %251.8 artışla 19.9017 MPa düzeyinde hesaplanmaktadır. Şekil 172b'de s=4 için Coalinga depreminde gerilme 4.1286 MPa mertebesinde hesaplanırken; dikkate alınan diğer depremlerde sırasıyla %28.5 artışla 5.3046 MPa, %230.1 artışla 13.6276 MPa, %396.9 artışla 20.5136 MPa, %528 artışla 25.9294 MPa ve %688.1 artışla 32.5374 MPa seviyesinde hesaplanmaktadır. Şekil 172c'de s=6 için Coalinga depreminde gerilme 3.4812 MPa iken; diğer depremlerde sırasıyla %52 artışla 5.2917 MPa, %436.3 artışla 18.6700 MPa, %512 artışla 21.3050 MPa, %608.9 artışla 24.6791 MPa ve %1243.9 artışla 46.7825 MPa mertebesinde hesaplanmaktadır.



Şekil 172. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük gerilme tepkileri

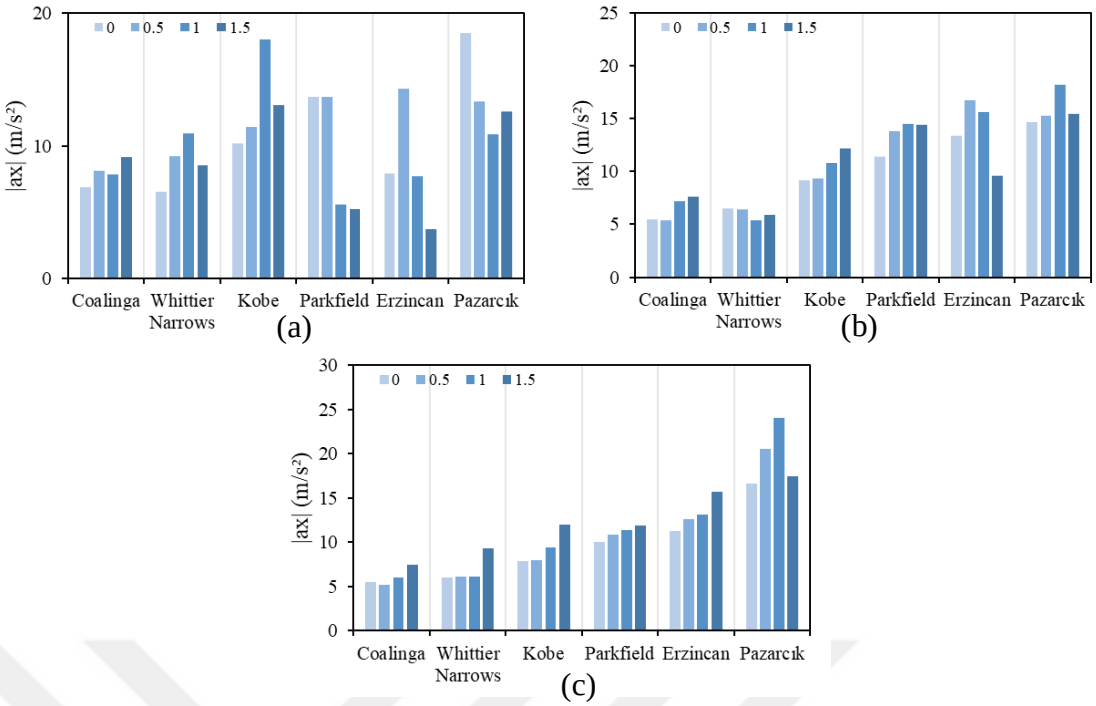
Şekil 173-175, deprem frekans içeriğine bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük ivme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Gömülme oranındaki artış, deprem frekans içeriğinin ve narinlik oranının değişimine bağlı olarak ivme tepkileri üzerinde kimi zaman azaltıcı, kimi zaman artırıcı ve kimi zaman da ihmal edilebilir düzeylerde etki yapmaktadır. Bu durum, yapıların dinamik ivme davranışı açısından gömülme derinliğinin tek tasarım kriteri olarak dikkate alınamayacağını ve tasarımda deprem karakteristikleri ile gömülme ve narinlik oranlarının karşılıklı etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini bir kez daha ortaya koymaktadır. En yüksek ivme değerleri, S1 ve S2 zeminleri için s=6 durumunda ve gömülme oranının 1 olduğu şartlarda ve S3 zemini için s=6 durumunda ve gömülme oranının 1.5 olduğu şartlarda elde edilmektedir. Aşağıda örnek olarak düşük frekans içerikli Pazarcık depremi için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

S1 koşullarında Şekil 173a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için ivme 16.4650 m/s^2 iken, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %3.7 azalışla 15.8590 m/s^2, %34.9 azalışla 10.7150 m/s^2 ve %53.3 azalışla 7.6885 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 173b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için ivme 15.4890 m/s^2 iken, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %16.1 artışla 17.9860 m/s^2, %18.5 artışla 18.3530 m/s^2 ve %8.1 artışla 16.7400 m/s^2 olmaktadır. Şekil 173c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için ivme 19.3220 m/s^2 olarak hesaplanırken, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %7.1 artışla 20.6890 m/s^2, %12.2 artışla 21.6870 m/s^2 ve %13.9. azalışla 16.6460 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır.



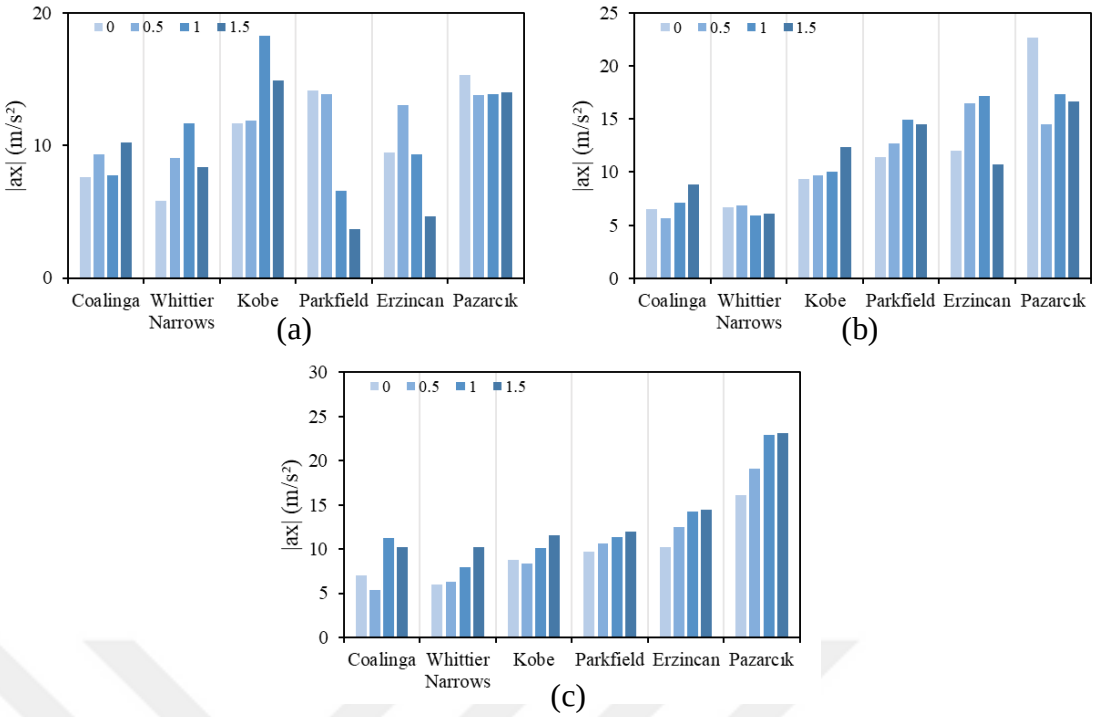
Şekil 173. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 174a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için ivme 18.5190 m/s^2 iken, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %27.9 azalışla 13.3500 m/s^2, %41.3 azalışla 10.8700 m/s^2 ve %32 azalışla 12.5940 m/s^2 olmaktadır. Şekil 174b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için ivme 14.6810 m/s^2 iken, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %4 artışla 15.2730 m/s^2, %24.1 artışla 18.2140 m/s^2 ve %5.3. artışla 15.4650 m/s^2 olarak elde edilmektedir. Şekil 174c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için 16.6670 m/s^2 olarak hesaplanan ivme, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %23.5 artışla 20.5900 m/s^2, %44.3 artışla 24.0540 m/s^2 ve %4.9.artışla 17.4760 m/s^2 düzeyinde hesaplanmaktadır.



Şekil 174. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

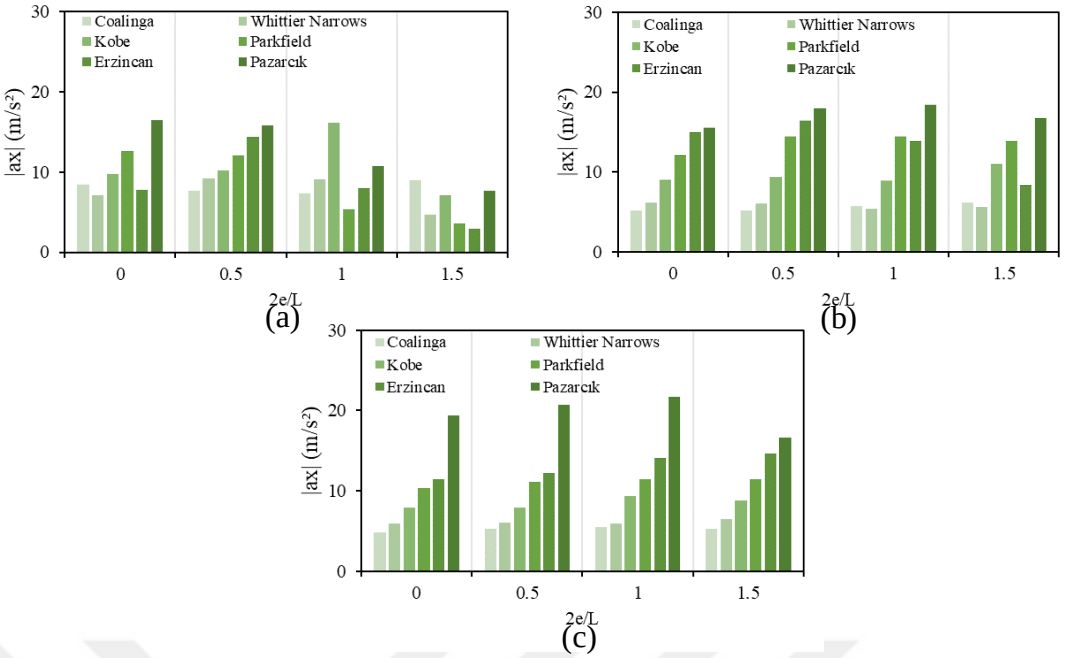
S3 şartlarında Şekil 175a'da s=2 ve gömülme oranı 0 için 15.2870 m/s^2 olarak elde edilen ivme, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %10 azalışla 13.7570 m/s^2, %9.2 azalışla 13.8770 m/s^2 ve %8.7 azalışla 13.9630 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 175b'de s=4 ve gömülme oranı 0 için ivme 22.6820 m/s^2 iken, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %36 azalışla 14.5170 m/s^2, %23.4 azalışla 17.3750 m/s^2 ve %26.7 azalışla 16.6360 m/s^2 olmaktadır. Şekil 175c'de s=6 ve gömülme oranı 0 için ivme 16.1130 m/s^2 iken, gömülme oranı arttıkça sırasıyla %18.6 artışla 19.1040 m/s^2, %42.3 artışla 22.9340 m/s^2 ve %43.6 artışla 23.1360 m/s^2 düzeyinde elde edilmektedir.



Şekil 175. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

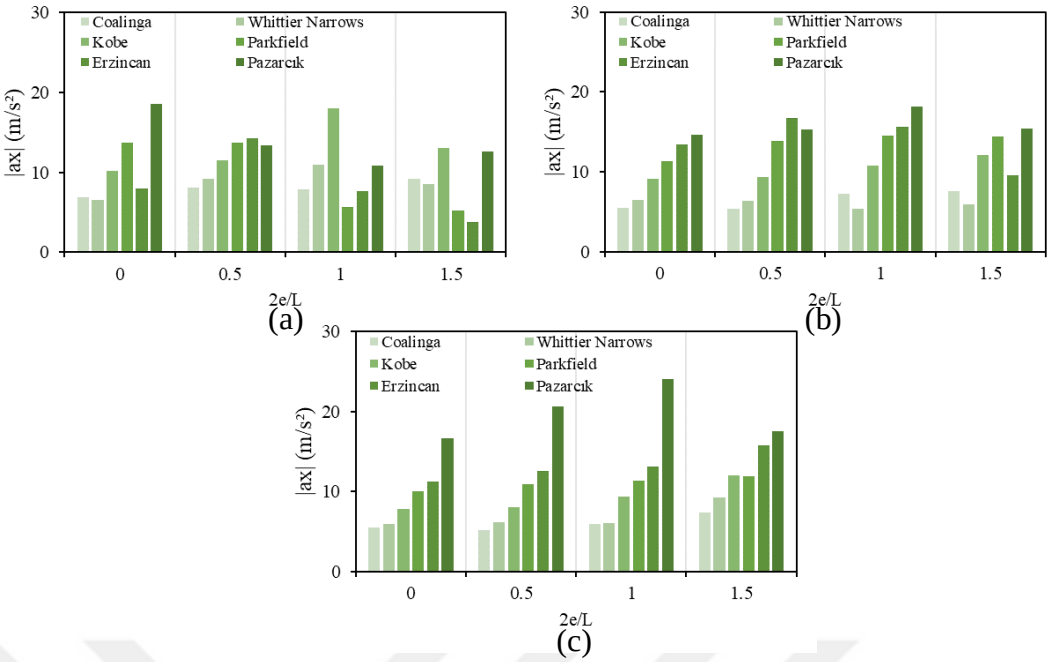
Şekil 176-178, gömülme oranına bağlı olarak deprem frekans içeriği değişiminin en büyük ivme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Genel olarak, orta ve düşük frekans içerikli depremlere kıyasla, yüksek frekans içerikli depremlerde ivme değerleri daha düşük seviyelerde kalmaktadır. Aşağıda örnek olarak gömülme oranının 1 olduğu durum için deprem karakteristikleri kaynaklı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

S1 koşullarında Şekil 176a'da s=2 için ivme Coalinga depreminde 7.3416 m/s^2 iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremleri etkisinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %24.2 artışla 9.1134 m/s^2, %120.5 artışla 16.1880 m/s^2, %27.8 azalışla 5.2984 m/s^2, %9.2 artışla 8.0173 m/s^2 ve %45.9 artışla 10.7150 m/s^2 olmaktadır. Şekil 176b'de s=4 için ivme Coalinga depreminde 5.7403 m/s^2 iken; göz önüne alınan diğer depremlerde sırasıyla %5.9 azalışla 5.4025 m/s^2, %55.7 artışla 8.9402 m/s^2, %151.6 artışla 14.4440 m/s^2, %141.1 artışla 13.8410 m/s^2 ve %219.7 artışla 18.3530 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 176c'de s=6 için ivme Coalinga depreminde 5.4946 m/s^2 iken; diğer depremlerde sırasıyla %8.8 artışla 5.9804 m/s^2, %69.5 artışla 9.3159 m/s^2, %108.3 artışla 11.4460 m/s^2, %155.7 artışla 14.0480 m/s^2 ve %294.7 artışla 21.6870 m/s^2 mertebesinde elde edilmektedir.



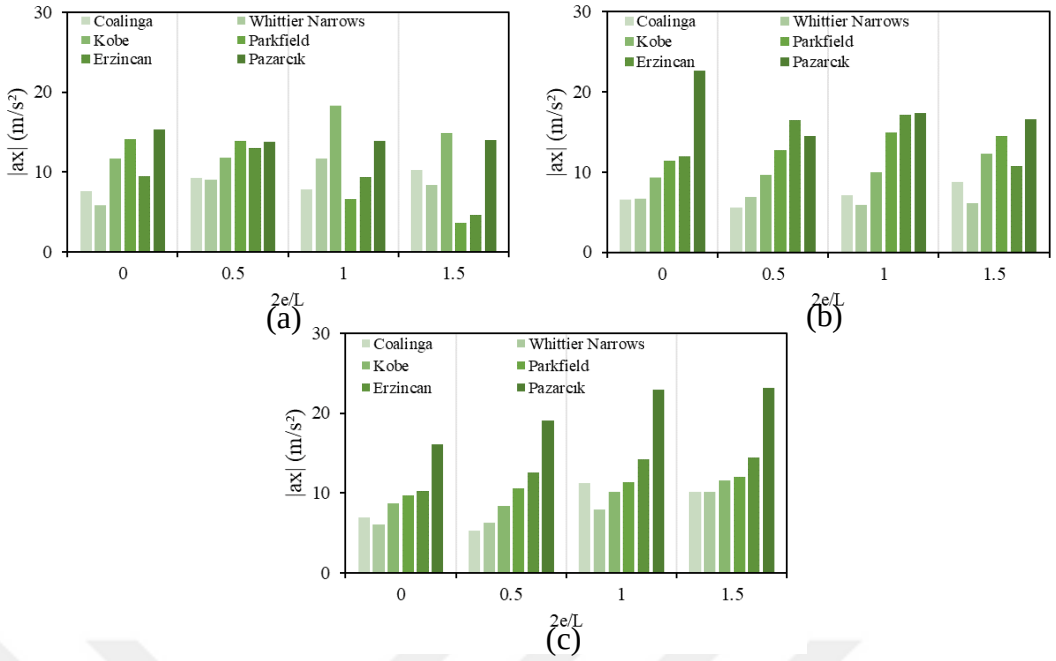
Şekil 176. S1 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük ivme tepkileri

S2 şartlarında Şekil 177a'da s=2 için ivme Coalinga depreminde 7.8344 m/s^2 olarak hesaplanırken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremleri etkisinde Coalinga depremine nazaran sırasıyla %39.7 artışla 10.9420 m/s^2, %130.2 artışla 18.0375 m/s^2, %28.5 azalışla 5.6027 m/s^2, %2 azalışla 7.6757 m/s^2 ve %38.7 artışla 10.8700 m/s^2 mertebesinde hesaplanmaktadır. Şekil 177b'de s=4 için ivme Coalinga depreminde 7.2149 m/s^2 iken; söz konusu diğer depremlerde sırasıyla %25.9 azalışla 5.3491 m/s^2, %49.5 artışla 8.9402 m/s^2, %101 artışla 14.5020 m/s^2, %116.7 artışla 15.6350 m/s^2 ve %152.4 artışla 18.2140 m/s^2 olmaktadır. Şekil 177c'de s=6 için ivme Coalinga depreminde 5.9926 m/s^2 iken; diğer depremlerde sırasıyla %1.9 artışla 6.1068 m/s^2, %57 artışla 9.4082 m/s^2, %89.7 artışla 11.3690 m/s^2, %118.5 artışla 13.0910 m/s^2 ve %301.4 artışla 24.0540 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



Şekil 177. S2 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük ivme tepkileri

S3 koşullarında Şekil 178a'da s=2 için ivme Coalinga depreminde 7.7703 m/s^2 iken; Whittier Narrows, Kobe, Parkfield, Erzincan ve Pazarcık depremleri etkisinde Coalinga depremine kıyasla sırasıyla %50.4 artışla 11.6830 m/s^2, %135.2 artışla 18.2730 m/s^2, %15.4 azalışla 6.5767 m/s^2, %20.3 artışla 79.3456 m/s^2 ve %78.6 artışla 13.8770 m/s^2 olmaktadır. Şekil 178b'de s=4 için ivme Coalinga depreminde 7.1172 m/s^2 düzeyinde elde edilirken; diğer depremlerde sırasıyla %17.1 azalışla 5.9004 m/s^2, %41 artışla 10.0340 m/s^2, %109.8 artışla 14.9290 m/s^2, %141.0 artışla 17.1490 m/s^2 ve %144.1 artışla 17.3750 m/s^2 seviyesinde elde edilmektedir. Şekil 178c'de ise s=6 için ivme Coalinga depreminde 11.2590 m/s^2 iken; diğer depremlerde sırasıyla %29.6 azalışla 7.9216 m/s^2, %9.9 azalışla 10.1410 m/s^2, %0.8 artışla 11.3500 m/s^2, %26.0 artışla 14.1870 m/s^2 ve %103.7 artışla 22.9340 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır.



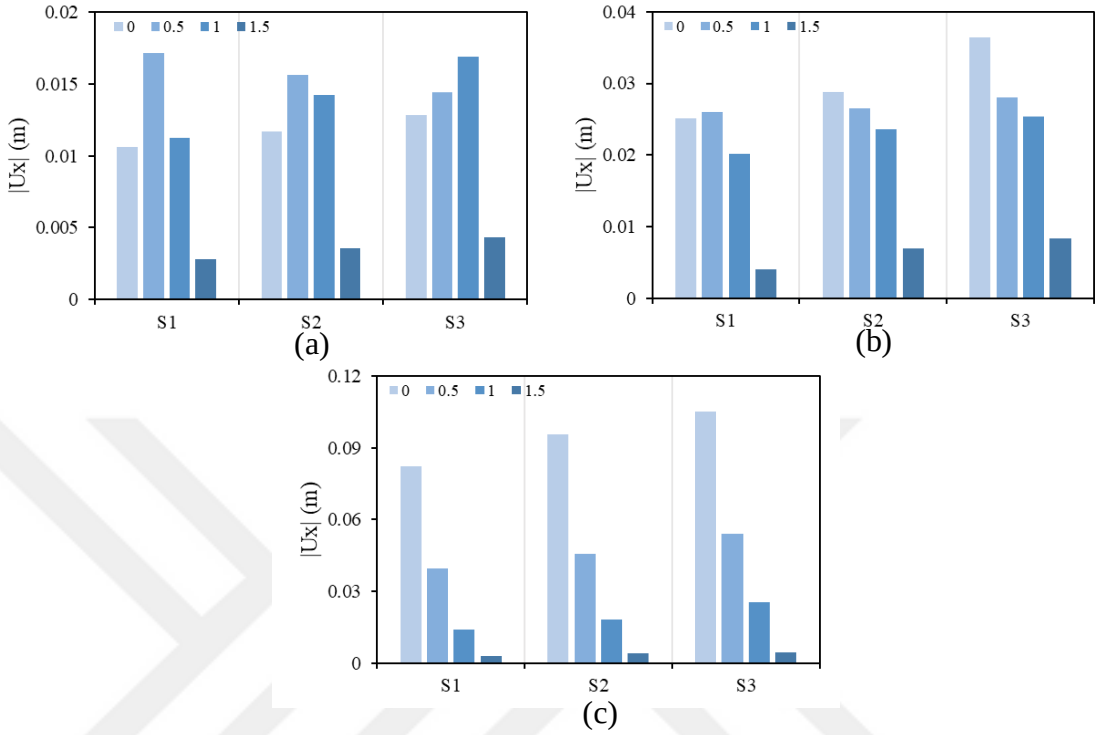
Şekil 178. S3 zemininde a) s=2, b) s=4 ve c) s=6 için deprem değişimine bağlı en büyük ivme tepkileri

3.2.2. Farklı Narinlik Oranları ve Depremler İçin Zemin Türü-Gömülme Oranı İlişkisi

Şekil 179-181, çözümlemelerde dikkate alınan altı deprem kaydı arasından seçilen yüksek frekans içeriğine sahip Whittier Narrows, orta frekans içeriğine sahip Kobe ve düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremleri etkisi altında, zemin türüne bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük yer değiştirme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Genel olarak, gömülme oranındaki artışa istinaden yer değiştirmelerin azaldığı ve zemin yumuşadıkça yer değiştirmelerin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Özellikle gömülme oranının 1.5 olduğu durumda, yer değiştirmelerin önemli mertebelerde azaltılabileceği göze çarpan bir diğer husustur. Ayrıca bu tür yapısal sistemlerde dinamik tepkilerin büyüklüğü açısından daha kritik olan düşük ve orta frekans içeriğine sahip depremlerde gömülme oranının katkısı daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Aşağıda örnek tartışma mahiyetinde S3 zemini için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

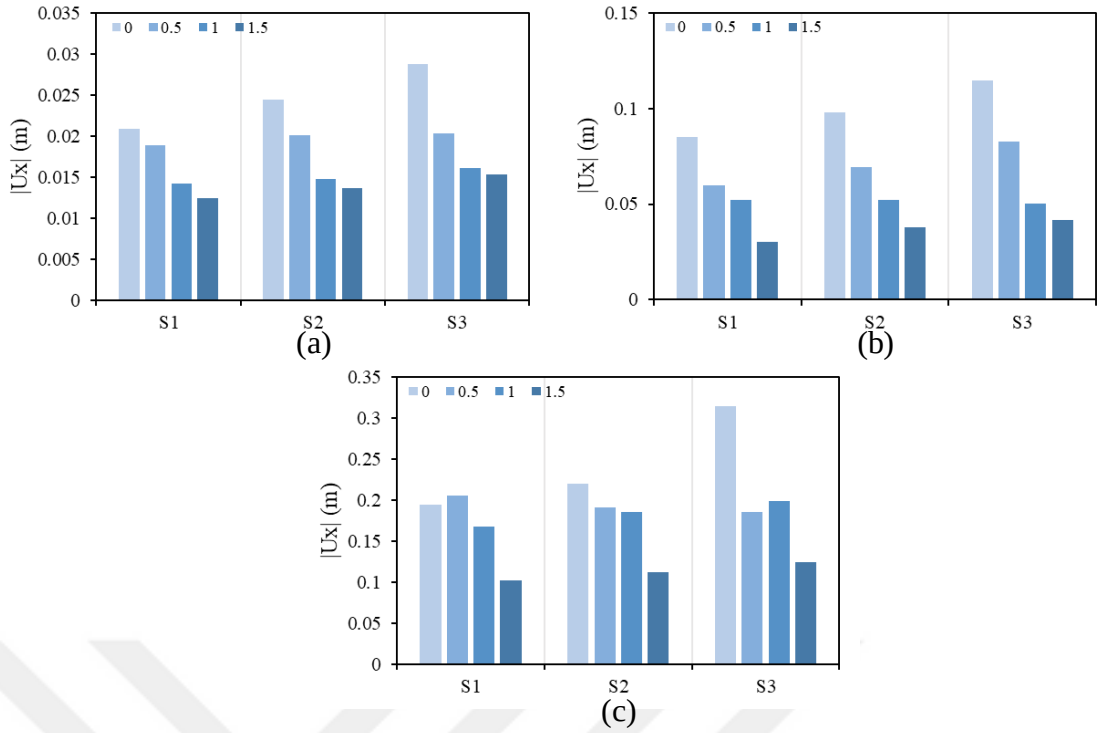
s=2 durumunda Şekil 179a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.0128 m iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %12.5 artışla 0.0144 m, %32 artışla 0.0169 m ve %65.6 azalışla 0.0044 m olmaktadır. Şekil 179b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.0364 m iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %23.1 azalışla 0.0280 m, %30.2 azalışla 0.0254 m ve %76.9 azalışla 0.0084 m olarak hesaplanmaktadır. Şekil 179c'de Pazarcık

depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.1052 m iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %48.8 azalarak 0.0539 m, %75.7 azalarak 0.0256 m ve %95.8 azalarak 0.0044 m olmaktadır.



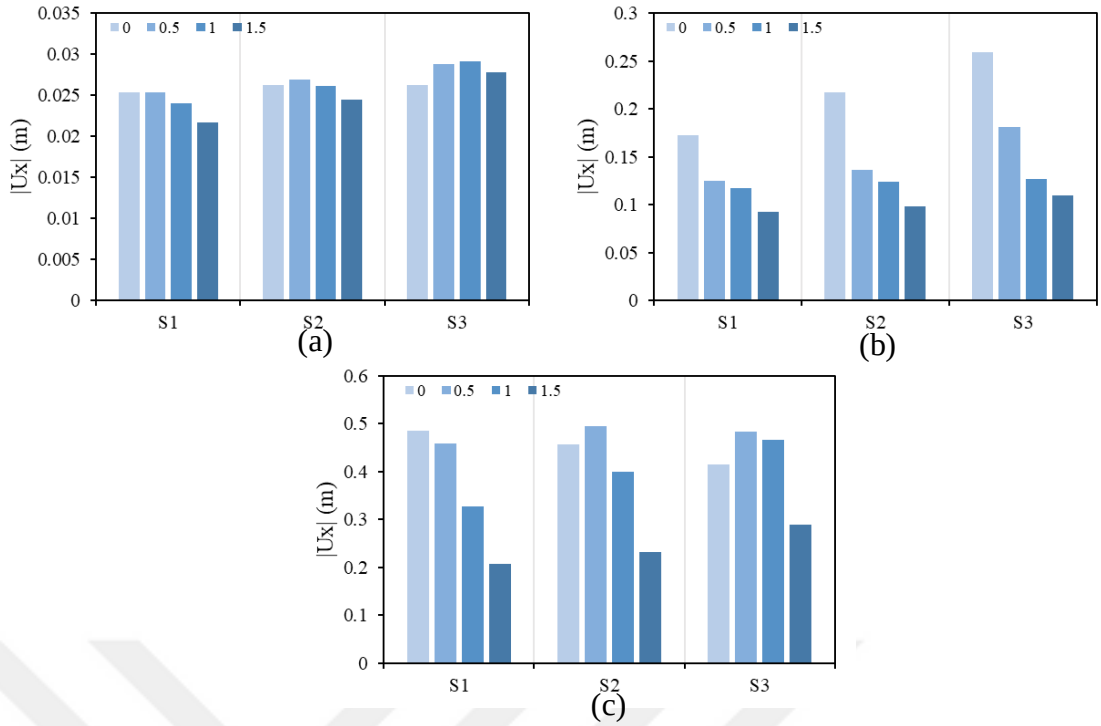
Şekil 179. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

s=4 durumunda Şekil 180a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.0288 m olarak hesaplanırken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %29.5 azalarak 0.0203 m, %44.4 azalarak 0.0160 m ve %46.9 azalarak 0.0153 m olmaktadır. Şekil 180b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.1144 m iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %27.8 azalışla 0.0826 m, %55.9 azalışla 0.0505 m ve %63.6 azalışla 0.0416 m olarak hesaplanmaktadır. Şekil 180c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.3140 m seviyesinde iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %40.9 azalarak 0.1855 m, %36.7 azalarak 0.1988 m ve %60.3 azalarak 0.1248 m olarak elde edilmektedir.



Şekil 180. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

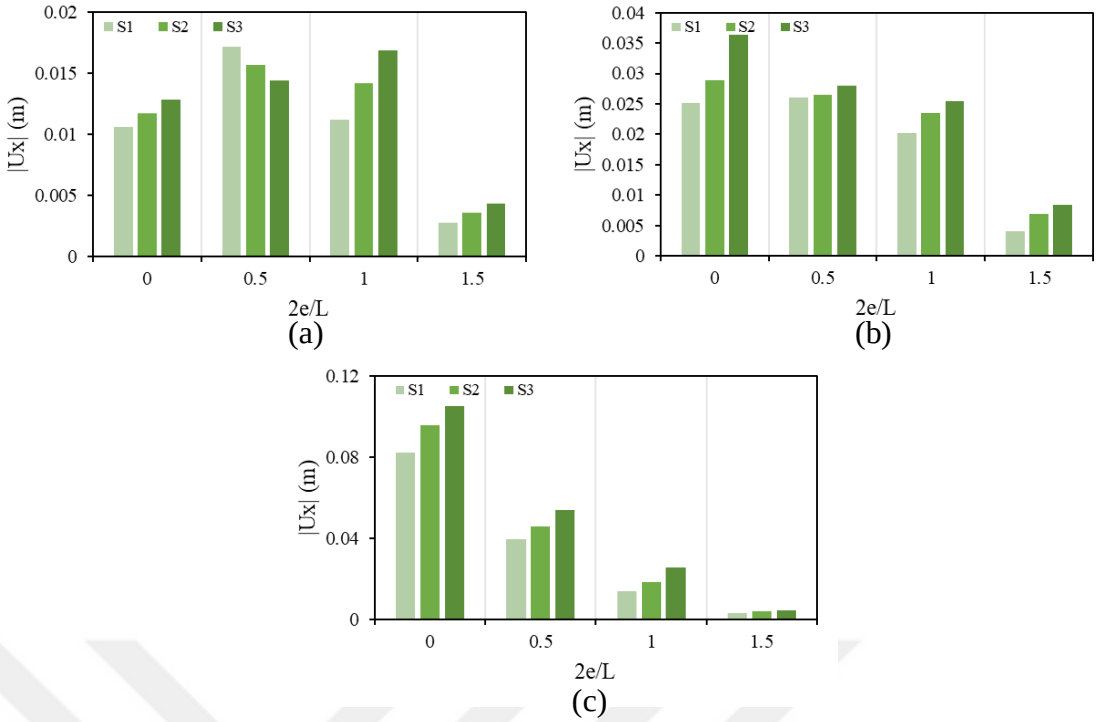
s=6 durumunda Şekil 181a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için 0.0262 m olarak hesaplanan yer değiştirme, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %9.9 artışla 0.0288 m, %11.5 artışla 0.0292 m ve %6.1 artışla 0.0278 m olmaktadır. Şekil 181b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için 0.2597 m seviyesinde olan yer değiştirme, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %30.2 azalışla 0.1813 m, %51.3 azalışla 0.1265 m ve %57.6 azalışla 0.1100 m olmaktadır. Şekil 181c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için 0.4142 m olarak elde edilen yer değiştirme, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %16.6 artarak 0.4829 m, %12.6 artarak 0.4665 m ve %30.1 azalarak 0.2894 m olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 181. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

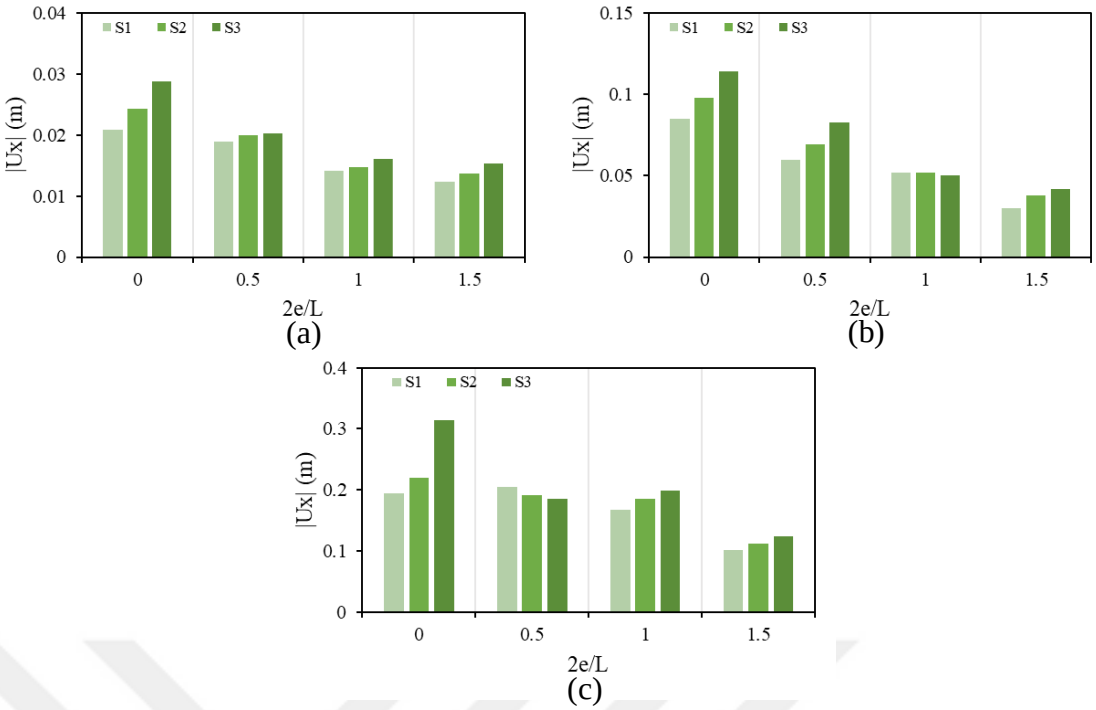
Şekil 182-184, sırasıyla s=2, 4 ve 6 için gömülme oranına bağlı olarak zemin türü değişiminin en büyük yer değiştirme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Aşağıda örnek tartışma mahiyetinde gömülme oranının 0 olduğu durum için zemin türüne bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

s=2 durumunda Şekil 182a'da Whittier Narrows depremi ve S1 için yer değiştirme 0.0106 m iken, S2 için %10.4 artışla 0.0117 m ve S3 için %20.8 artışla 0.0128 m olmaktadır. Şekil 182b'de Kobe depremi ve S1 için yer değiştirme 0.0251 m iken, S2 koşullarında %15.1 artışla 0.0289 m ve S3 koşullarında %45 artışla 0.0364 m olarak hesaplanmaktadır. Şekil 182c'de Pazarcık depremi ve S1 için 0.0823 m olan yer değiştirme, S2 durumunda %16 artarak 0.0955 m ve S3 durumunda %27.8 artarak 0.1052 m olarak elde edilmektedir.



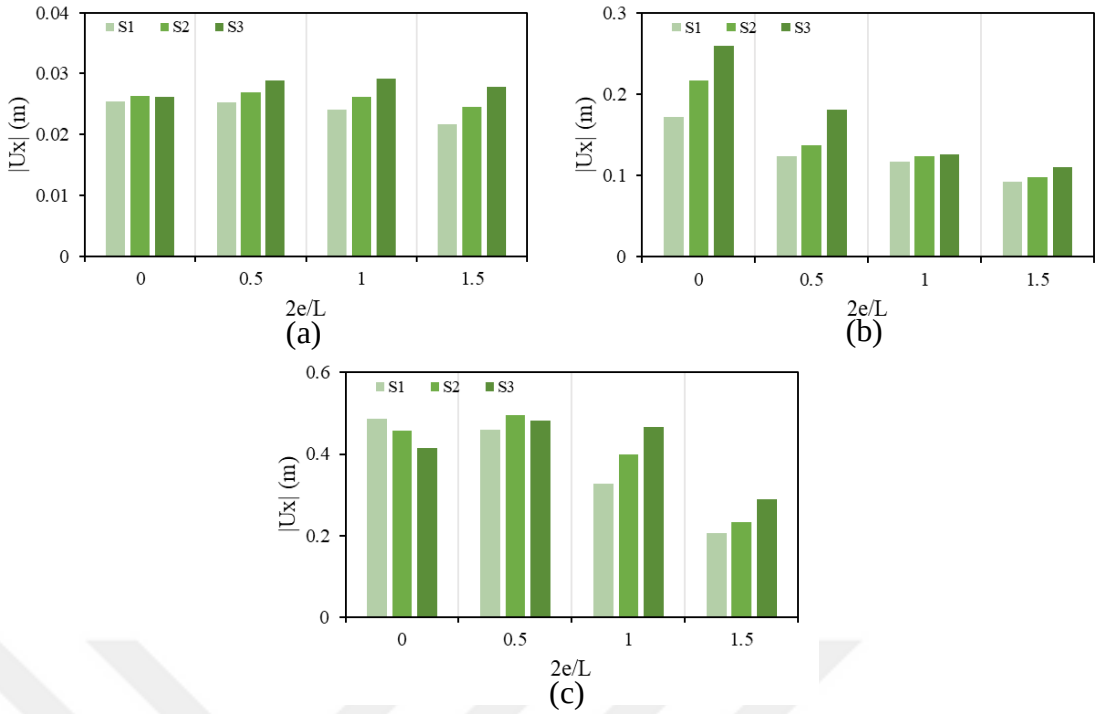
Şekil 182. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

s=4 durumunda Şekil 183a'da Whittier Narrows depremi ve S1 için yer değiştirme 0.0209 m iken, S2'de %16.8 artışla 0.0244 m ve S3'te %37.8 artışla 0.0288 m olmaktadır. Şekil 183b'de Kobe depremi ve S1 için yer değiştirme 0.0848 m iken, S2'de %15.5 artarak 0.0979 m ve S3'te %34.9 artarak 0.1144 m olarak hesaplanmaktadır. Şekil 183c'de Pazarcık depremi ve S1 için 0.1945 m olarak hesaplanan yer değiştirme, S2'de %13 artışla 0.2197 m ve S3'te %61.4 artışla 0.3140 m seviyesinde elde edilmektedir.



Şekil 183. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

s=6 durumunda Şekil 184a'da Whittier Narrows depremi ve S1 koşullarında yer değiştirme 0.0254 m iken, S2'de %3.5 artarak 0.0263 m ve S3'te %3.2 artarak 0.0262 m olmaktadır. Şekil 184b'de Kobe depremi ve S1 koşullarında 0.1723 m olan yer değiştirme, S2'de %26.2 artarak 0.2175 m ve S3'te %50.7 artarak 0.2597 m düzeyinde hesaplanmaktadır. Şekil 184c'de Pazarcık depremi ve S1 koşullarında yer değiştirme 0.4858 m iken, S2'de %5.9 azalarak 0.4571 m ve S3'te %14.7 azalarak 0.4142 m olarak elde edilmektedir.

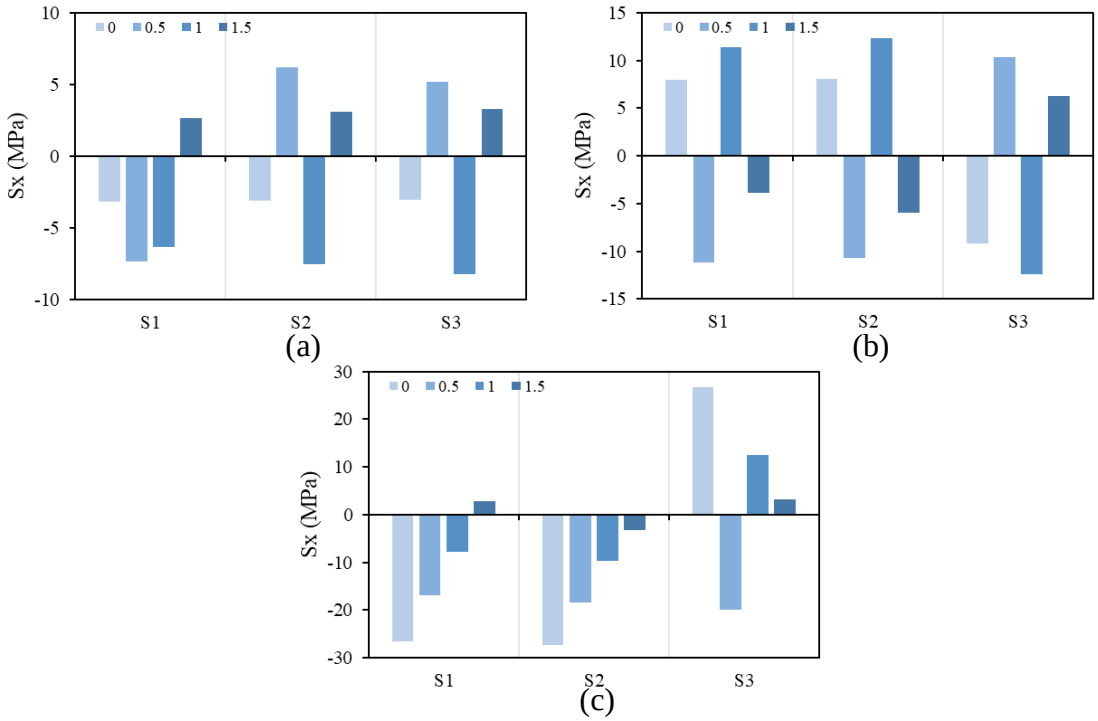


Şekil 184. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

Şekil 185-187, çözümlemelerde dikkate alınan altı deprem kaydı arasından seçilen yüksek frekans içeriğine sahip Whittier Narrows, orta frekans içeriğine sahip Kobe ve düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremleri etkisi altında, zemin türüne bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük gerilme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere; zemin türüne, gömülme oranına, narinlik oranına ve deprem karakteristiklerine bağlı olarak gerilmelerin karakteri değişmekte ve maksimum gerilmelere kimi zaman basınç şeklinde, kimi zaman ise çekme şeklinde erişilmektedir. Yine bu koşullara bağlı olarak gerilmelerde artma, azalma ve ihmal edilebilir düzeylerde değişim durumları gözlenmektedir. s=2 durumunda Whittier Narrows ve Kobe depremlerinde en büyük gerilme tepkisi gömülme oranının 1 olduğu koşullarda ve S3 zemininde gözlenirken, Pazarcık depreminde gömülme oranının 0 olduğu koşullarda ve S2 zemininde meydana gelmektedir. s=4 durumunda Whittier Narrows ve Kobe depremlerinde en büyük gerilme tepkisi gömülme oranının 0 olduğu şartlarda ve S2 zemininde hesaplanırken, Pazarcık depreminde gömülme oranının 0.5 olduğu durumda ve S1 zemininde elde edilmektedir. s=6 için en büyük gerilme tepkisi; Whittier Narrows depreminde gömülme oranının 1.5 olduğu durumda ve S2 zemininde, Kobe depreminde gömülme oranının 0 olduğu durumda ve S3 zemininde ve Pazarcık depreminde ise gömülme oranının 0.5 olduğu durumda ve S1 zemininde hesaplanmaktadır. Bu durum, gerilme

davranışı açısından; gömülme oranı, zemin türü, narinlik oranı ve deprem özellikleri arasında karşılıklı bir etkileşim olduğuna işaret etmektedir. Aşağıda örnek tartışma mahiyetinde S3 zemini için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

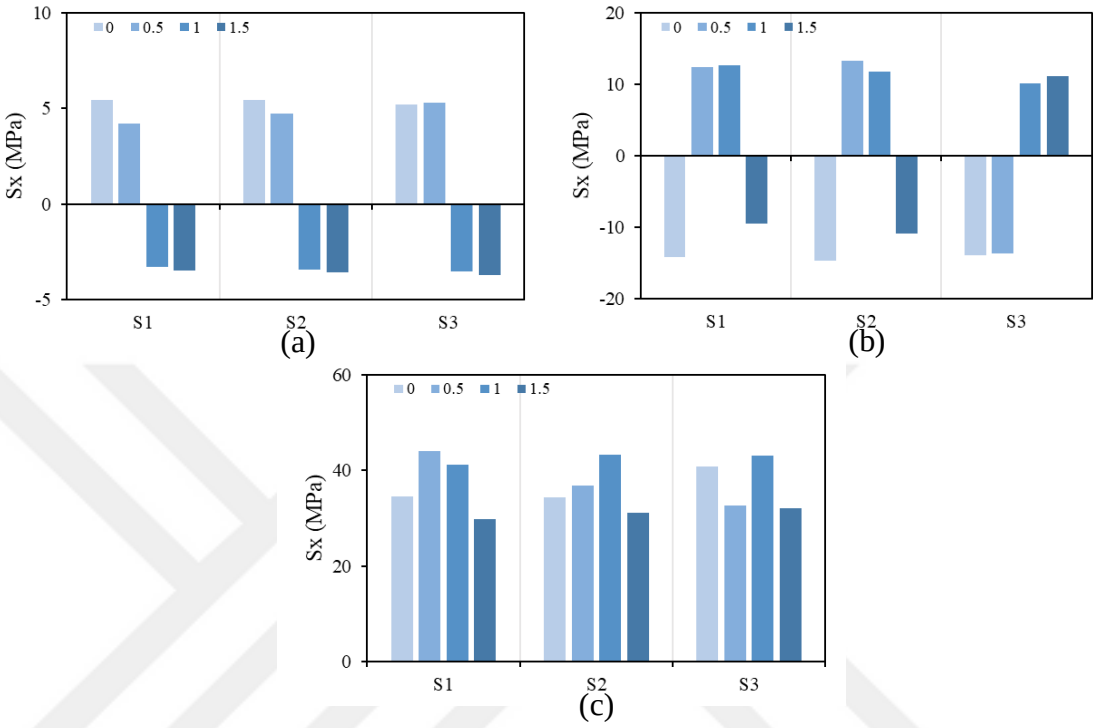
s=2 durumunda Şekil 185a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 3.0575 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %69 artma ile 5.1659 MPa, %169.2 oranında artma ile 8.2302 MPa ve %7.1 artma ile 3.2743 MPa olmaktadır. Şekil 185b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 9.1502 MPa iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %13 oranında artışla 10.3400 MPa, %35.2 artışla 12.3690 MPa ve %31.7 azalışla 6.2486 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 185c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 26.7700 MPa iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %25.7 azalışla 19.9017 MPa, %53.6 azalışla 12.4103 MPa ve %88.1 azalışla 3.1872 MPa olarak elde edilmektedir.



Şekil 185. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

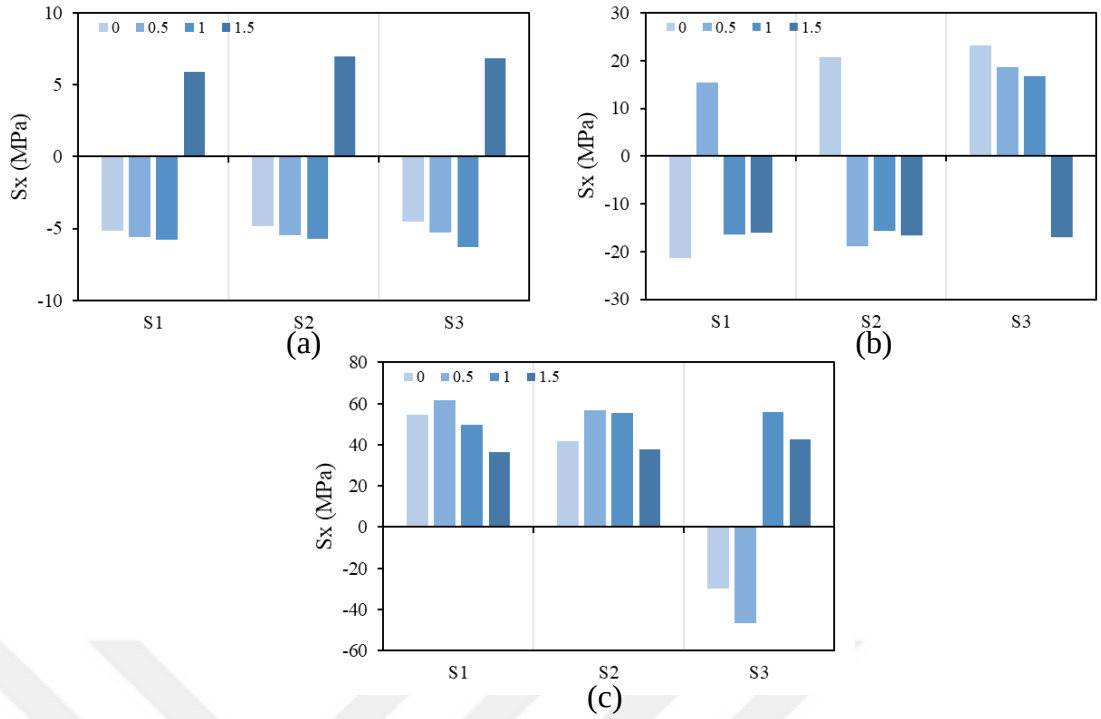
s=4 durumunda Şekil 186a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 5.2114 MPa olarak hesaplanırken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %1.8 artarak 5.3046 MPa, %32.6 azalarak 3.5110 MPa ve %29.2 azalarak 3.6913 MPa olmaktadır. Şekil 186b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için 13.9021 MPa düzeyinde olan gerilme, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %2 azalışla

13.6276 MPa, %26.83 azalışla 10.1728 MPa ve %20 azalışla 11.1282 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 186c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 40.8191 MPa iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %20.3 azalarak 32.5374 MPa, %5.34 artarak 42.9981 MPa ve %21.3 azalarak 32.1132 MPa olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 186. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

s=6 durumunda Şekil 187a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 4.5111 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %17.3 artma ile 5.2917 MPa, %39.6 artma ile 6.2986 MPa ve %51.7 artma ile 6.8424 MPa olmaktadır. Şekil 187b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 23.2693 MPa iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %19.8 azalarak 18.6700 MPa, %28.1 azalarak 16.7269 MPa ve %26.8 azalarak 17.0309 MPa mertebesinde elde edilmektedir. Şekil 187c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 30.0324 MPa iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %55.8 artarak 46.7825 MPa, %86.3 artarak 55.9438 MPa ve %42.7 artarak 42.8424 MPa düzeyinde hesaplanmaktadır.

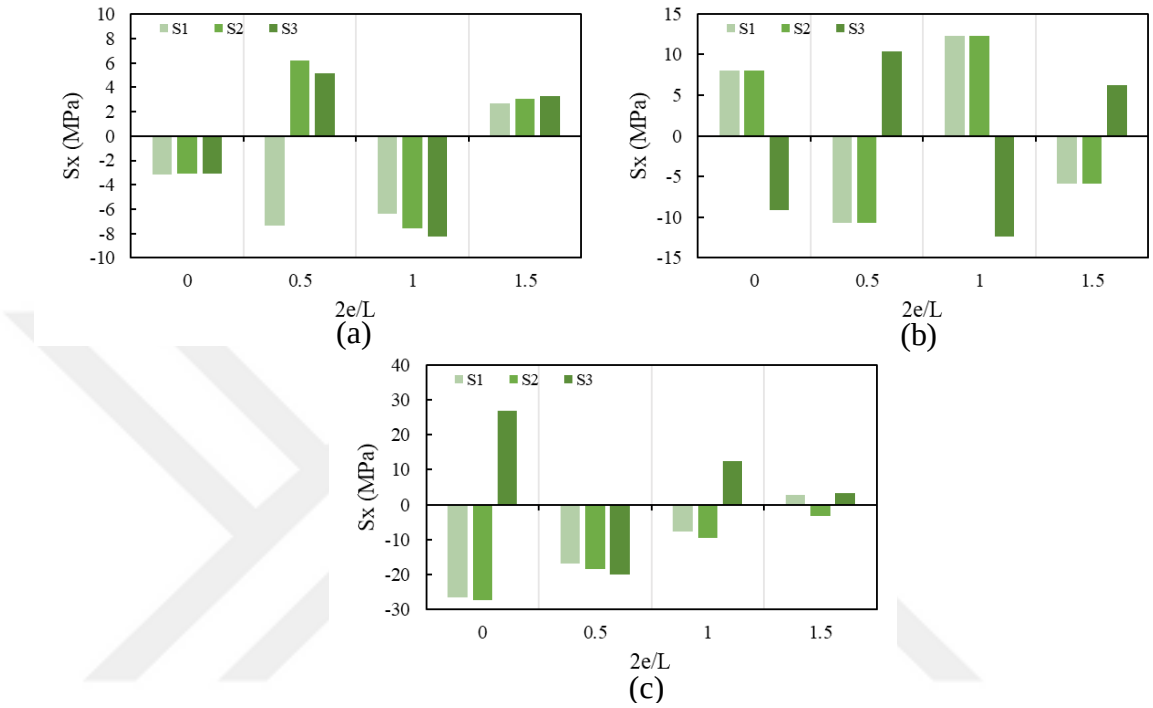


Şekil 187. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

Şekil 188-190, sırasıyla s=2, 4 ve 6 için gömülme oranına bağlı olarak zemin türü değişiminin en büyük gerilme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. En büyük gerilmeler Şekil 188a'da ve Şekil 188b'de gömülme oranının 1 olduğu durumda ve S3'te, Şekil 188c'de gömülme oranının 0 olduğu durumda ve S2'de elde edilmektedir. Maksimum gerilmeler Şekil 189a'da ve Şekil 189b'de gömülme oranının 0 olduğu durumda ve S2'de, Şekil 189c'de gömülme oranının 0.5 olduğu durumda ve S1'de hesaplanmaktadır. Maksimum gerilmeler Şekil 190a'da gömülme oranının 1.5 olduğu durumda ve S2'de, Şekil 190b'de gömülme oranının 0 olduğu durumda ve S3'te, Şekil 190c'de gömülme oranının 0.5 olduğu durumda ve S1'de elde edilmektedir. Bu tespitler, bina sistemlerinin gerilme davranışının; zemin türü, gömülme oranı, narinlik oranı ve deprem frekans içeriği gibi farklı parametrelerin bağlaşık etkileri tarafından kontrol edildiğini ve gerilme yönelimlerinin bu parametrelerin tümüne bağlı olarak değişebileceğini göstermektedir. Aşağıda örnek tartışma mahiyetinde gömülme oranının 0.5 olduğu durum için zemin türüne bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

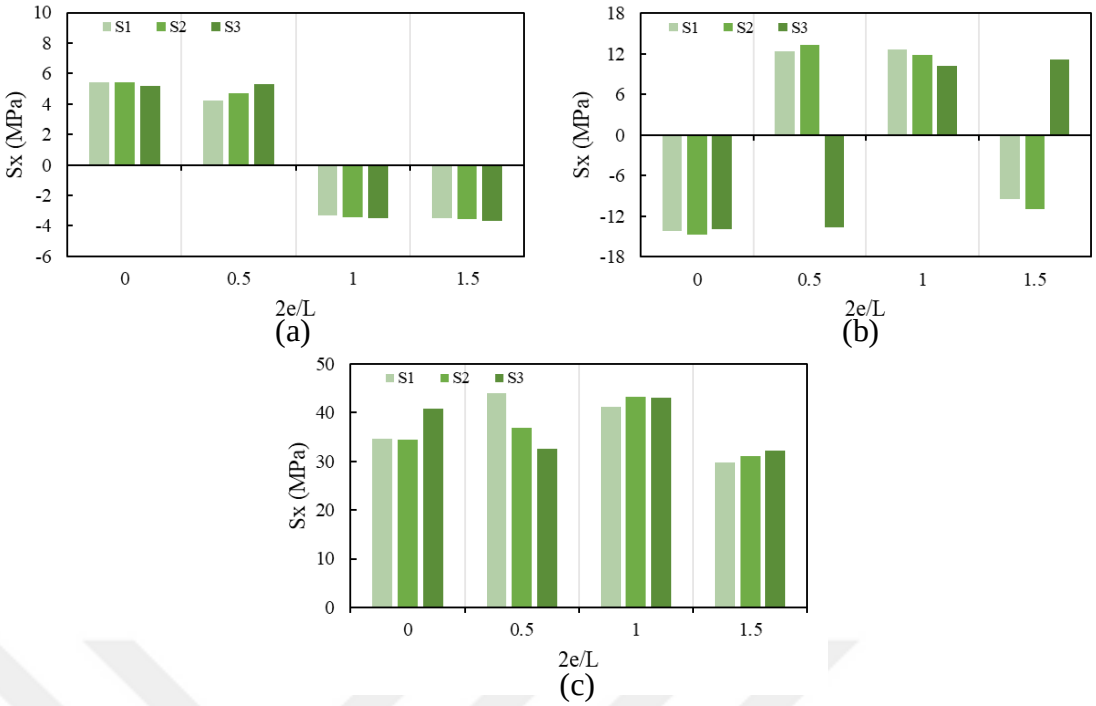
s=2 durumunda Şekil 188a'da Whittier Narrows depremi ve S1 için gerilme 7.3128 MPa iken, S2'de %15 azalışla 6.2177 MPa ve S3'te %16.9 azalışla 5.1659 MPa olmaktadır. Şekil 188b'de Kobe depremi ve S1 için gerilme 11.1613 MPa iken, S2'de %4.1 azalarak 10.7030 MPa ve S3'te %7.4 azalarak 10.3400 MPa olarak

hesaplanmaktadır. Şekil 188c'de Pazarcık depremi ve S1 için gerilme 16.8755 MPa iken, S2'de %8.5 artışla 18.3041 MPa ve S3'te %17.9 artışla 19.9017 MPa olarak elde edilmektedir. Burada zemin rijitliğinin azalmasıyla iç kuvvet tepkilerinin her zaman azalma eğiliminde olmadığı ve birçok parametrenin bağlaşık etkisi nedeniyle iç kuvvet tepkilerinin zemin rijitliğinin azalmasıyla kimi zaman artabileceği göze çarpmaktadır.



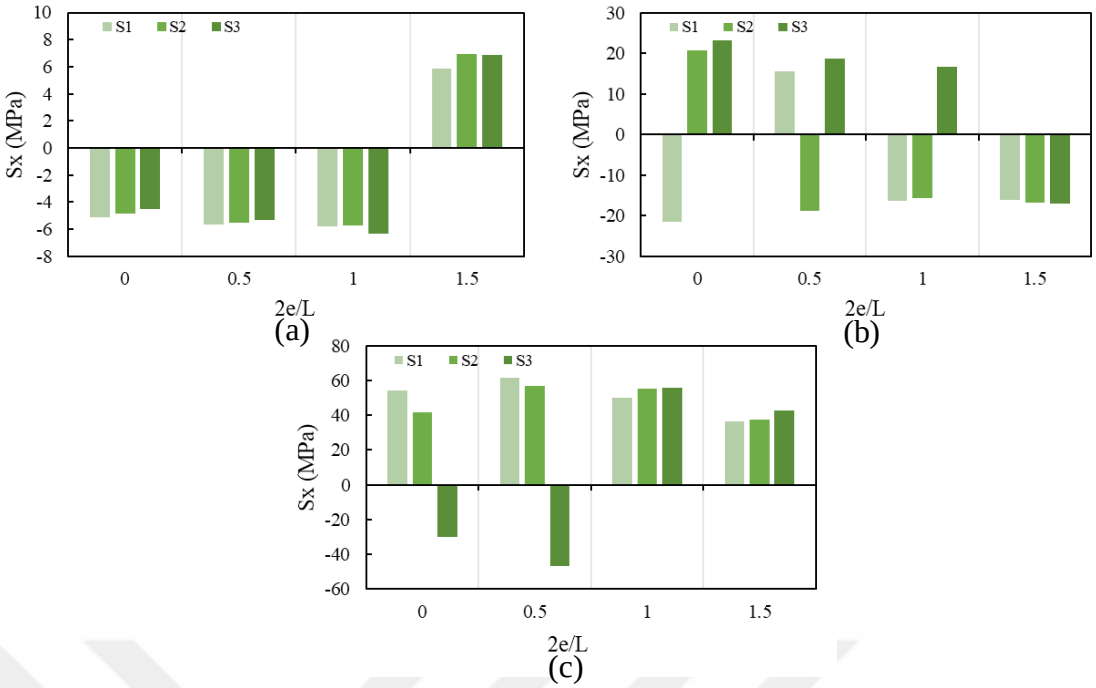
Şekil 188. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük gerilme tepkileri

s=4 durumunda Şekil 189a'da Whittier Narrows depremi ve S1 koşullarında 4.2238 MPa olan gerilme, S2 koşullarında %12 artarak 4.7296 MPa ve S3 koşullarında %25.6 artarak 5.3046 MPa olmaktadır. Şekil 189b'de Kobe depremi ve S1 koşullarında gerilme 12.3456 MPa iken, S2'de %7.5 artışla 13.2657 MPa ve S3'te %10.4 artışla 13.6276 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 189c'de Pazarcık depremi ve S1 koşullarında gerilme 43.9361 MPa iken, S2'de %16.1 azalışla 36.8643 MPa ve S3'te %25.9 azalışla 32.5374 MPa olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 189. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük gerilme tepkileri

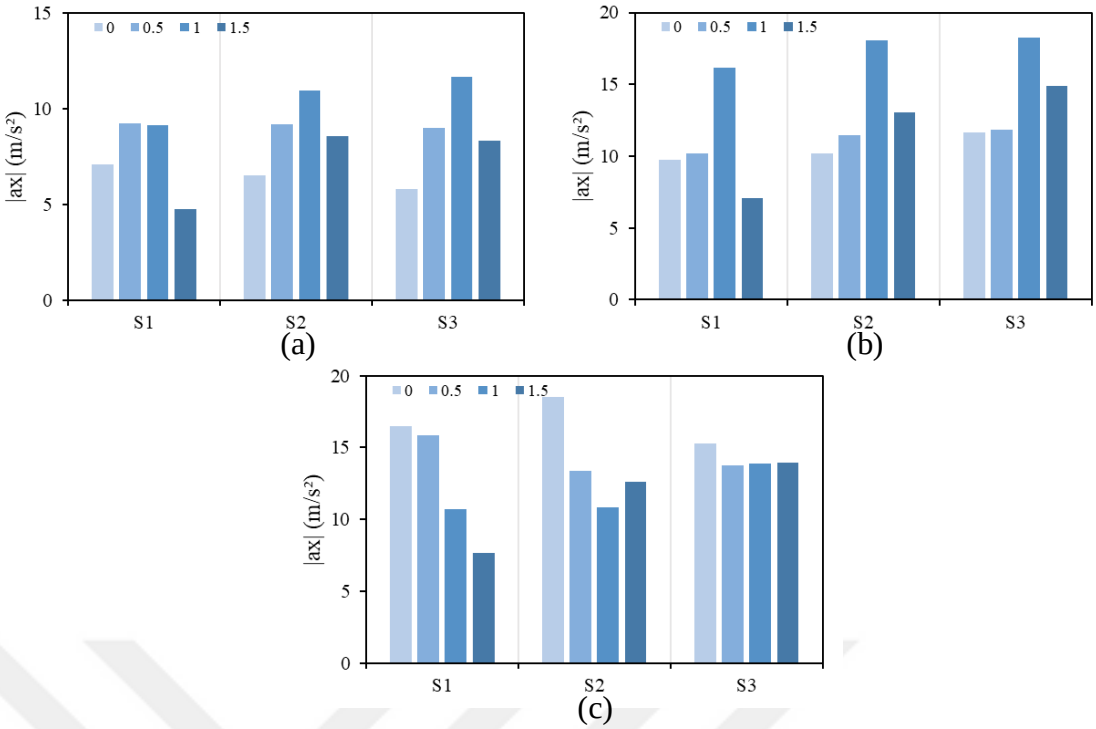
s=6 durumunda Şekil 190a'da Whittier Narrows depremi ve S1 için 5.6244 MPa olan gerilme, S2 için %2.3 azalarak 5.4949 MPa ve S3 için %5.9 azalarak 5.2917 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 190b'de Kobe depremi ve S1 için 15.4802 MPa olarak hesaplanan gerilme, S2'de %21.8 artarak 18.8583 MPa ve S3'te %20.6 artarak 18.6700 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 190c'de Pazarcık depremi ve S1 için 61.7161 MPa düzeyinde olan gerilme, S2'de %8 azalışla 56.7756 MPa ve S3'te %24.2 azalışla 46.7825 MPa olmaktadır.



Şekil 190. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük gerilme tepkileri

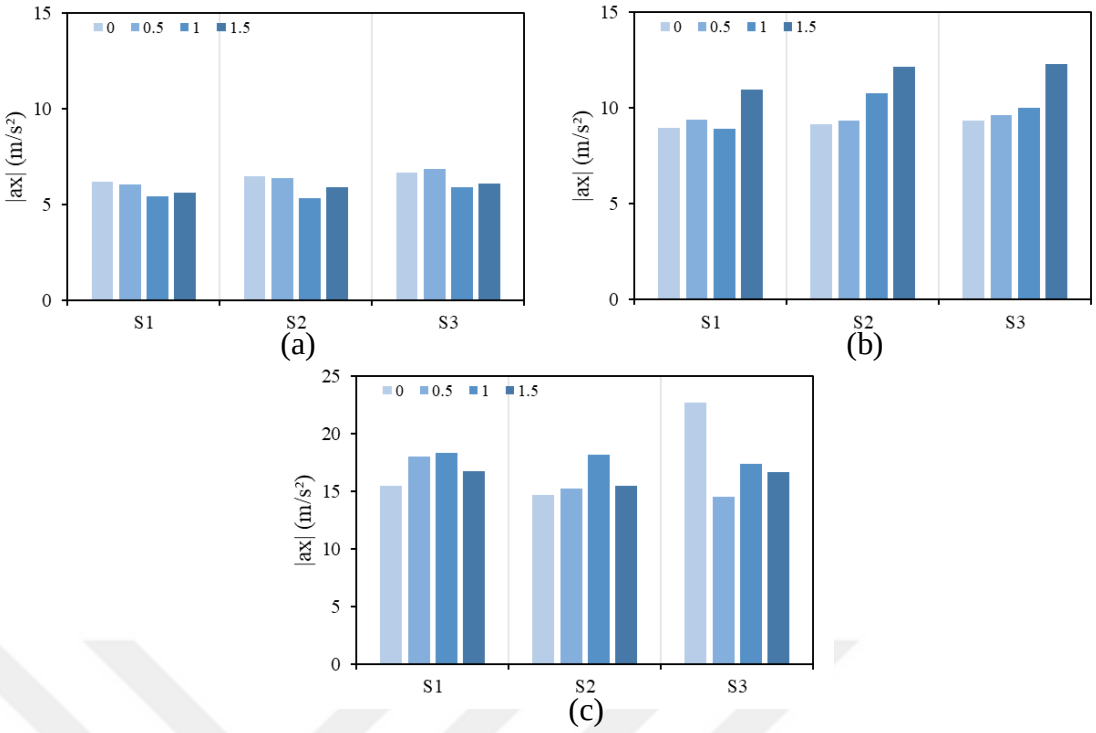
Şekil 191-193, seçilen deprem etkileri altında zemin türüne bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük ivme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Gömülme oranının artması, ivme tepkilerini; zemin türü, narinlik oranı ve deprem özellikleri arasındaki karmaşık etkileşime istinaden azaltabilir, artırabilir veya ivme tepkileri üzerinde herhangi bir etkiye sahip olmayabilir. Aşağıda örnek tartışma mahiyetinde S3 zemini için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

s=2 durumunda Şekil 191a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 5.8101 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %55.2 artışla 9.0162 m/s^2, %101.1 artışla 11.6830 m/s^2 ve %43.7 artışla 8.3475 m/s^2 olmaktadır. Şekil 191b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 11.6630 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %1.5 artarak 11.8390 m/s^2, %56.7 artarak 18.2730 m/s^2 ve %27.4 artarak 14.8600 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 191c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için 15.2870 m/s^2 düzeyinde hesaplanan ivme, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %10 azalarak 13.7570 m/s^2, %9.2 azalarak 13.8770 m/s^2 ve %8.7 azalarak 13.9630 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



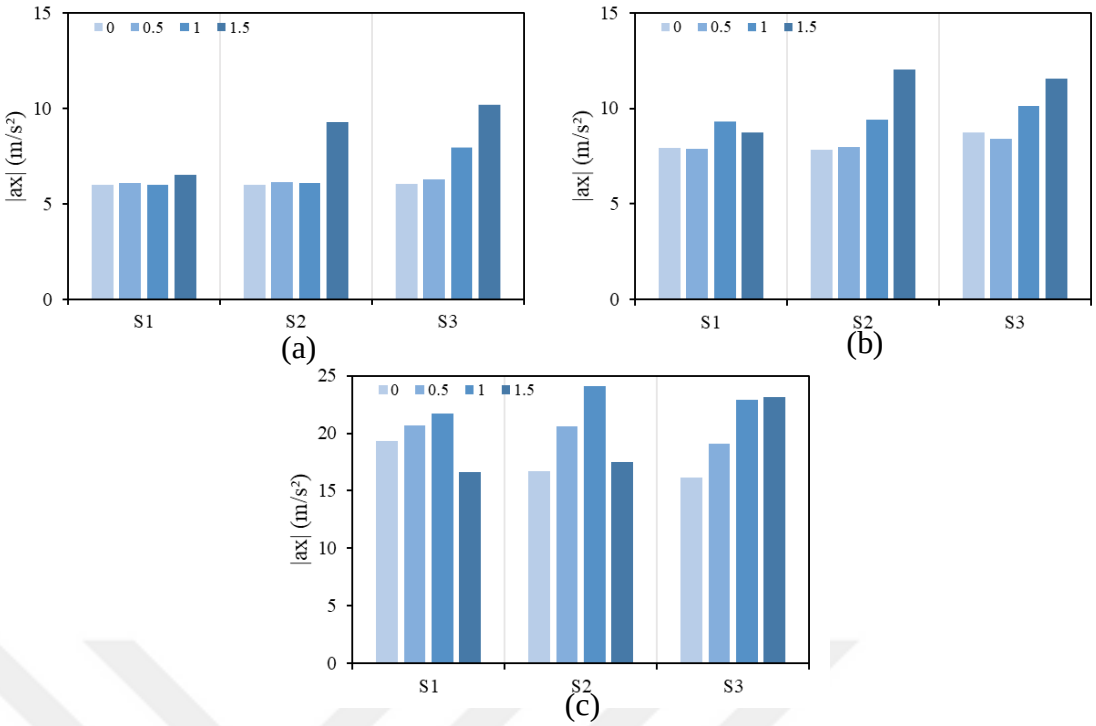
Şekil 191. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

s=4 durumunda Şekil 192a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 6.6542 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %2.8 artarak 6.8406 m/s^2, %11.3 azalarak 5.9004 m/s^2 ve %8.3 azalarak 6.0993 m/s^2 olmaktadır. Şekil 192b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 9.3633 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %3.1 artarak 9.6560 m/s^2, %7.2 artarak 10.0340 m/s^2 ve %31.6 artarak 12.3240 m/s^2 olmuştur. Şekil 192c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için 22.6820 m/s^2 olan ivme, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %36 azalışla 14.5170 m/s^2, %23.4 azalışla 17.3750 m/s^2 ve %26.7 azalışla 16.6360 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



Şekil 192. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

s=6 durumunda Şekil 193a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 6.0187 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %4.5 artışla 6.2908 m/s^2, %31.6 artışla 7.9216 m/s^2 ve %69 artışla 10.1700 m/s^2 olmaktadır. Şekil 193b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 8.7254 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %3.8 azalarak ile 8.3925 m/s^2, %16.2 artarak 10.1410 m/s^2 ve %32.5 artarak 11.5630 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 193c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 16.1130 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %18.6 artarak 19.1040 m/s^2, %42.3 artarak 22.9340 m/s^2 ve %43.6 artarak 23.1360 m/s^2 olarak elde edilmektedir.

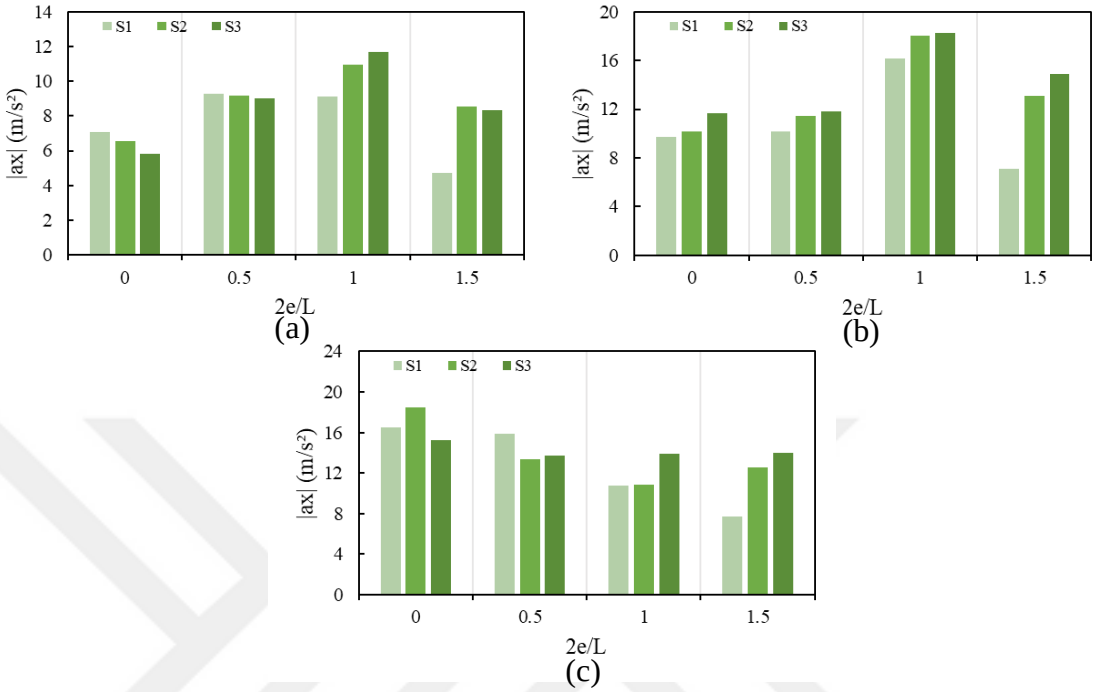


Şekil 193. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

Şekil 194-196, seçilen depremler etkisi altında sırasıyla s=2, s=4 ve s=6 için gömülme oranına bağlı olarak zemin türü değişiminin en büyük ivme tepkileri üzerindeki etkilerini göstermektedir. Bu şekillerden, zemin rijitliğinin azalmasıyla genel olarak ivme tepkilerinin artma eğiliminde olduğu ancak zemin özellikleri ile gömülme oranı, narinlik oranı ve deprem frekans içeriği arasındaki karşılıklı etkileşim mekanizmasına bağlı olarak, rijitlik azalımının kimi zaman ivme tepkilerini düşürebileceği ve kimi zaman da bu tepkiler üzerinde ihmal edilebilir bir etkiye sahip olabileceği göze çarpmaktadır. En büyük ivmeler Şekil 194a'da ve Şekil 194b'de gömülme oranının 1 olduğu durumda S3'te, Şekil 194c'de gömülme oranının 0 olduğu durumda S2'de, Şekil 195a'da gömülme oranının 0.5 olduğu durumda S3'te, Şekil 195b'de gömülme oranının 1.5 olduğu durumda S3'te, Şekil 195c'de gömülme oranının 0 olduğu durumda S3'te, Şekil 196a'da gömülme oranının 1.5 olduğu durumda S3'te, Şekil 196b'de gömülme oranı 1.5 olduğu durumda S2'de ve Şekil 196c'de gömülme oranının 1 olduğu durumda S2'de elde edilmektedir. Aşağıda örnek tartışma mahiyetinde gömülme oranının 1.5 olduğu durum için zemin türüne bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

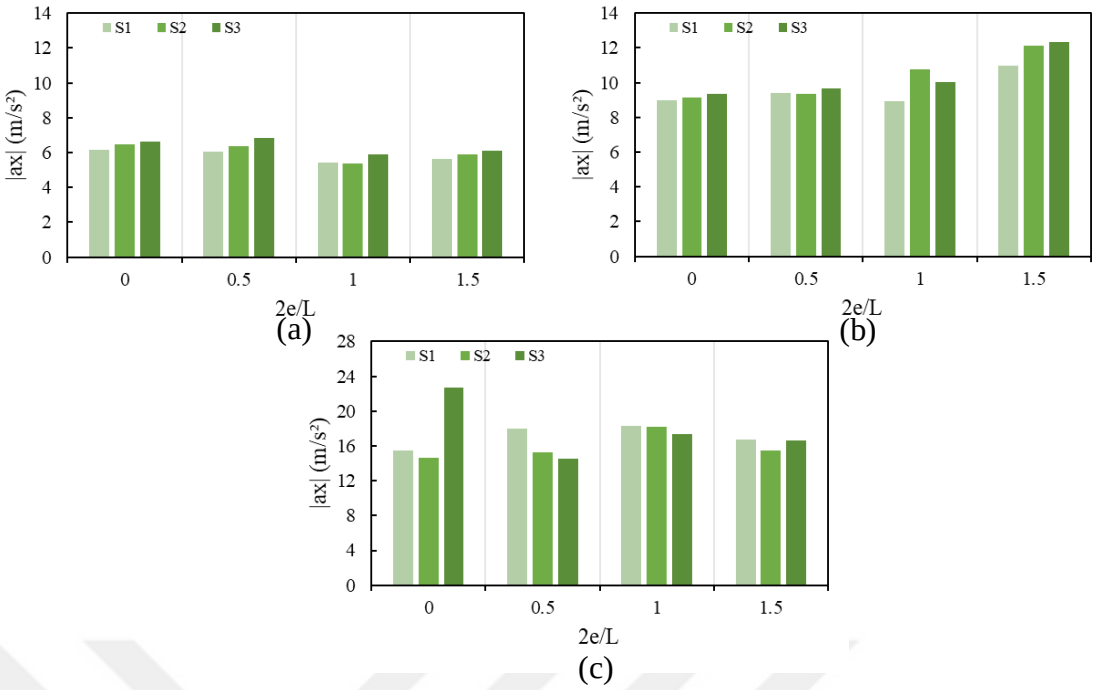
s=2 durumunda Şekil 194a'da S1 için ivme 4.7406 m/s^2 iken, S2'de %80.5 artarak 8.5558 m/s^2 ve S3'te %76.1 artarak 8.3475 m/s^2 olmaktadır. Şekil 194b'de S1 için ivme 7.1021 m/s^2 iken, S2'de %83.8 artışla 13.0560 m/s^2 ve S3'te %109.2 artışla 14.8600

m/s^2 olarak elde edilmektedir. Şekil 194c'de S1 için 7.6885 m/s^2 düzeyinde olan ivme, S2'de %63.8 artarak 12.5940 m/s^2 ve S3'te %81.6 artarak 13.9630 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır.



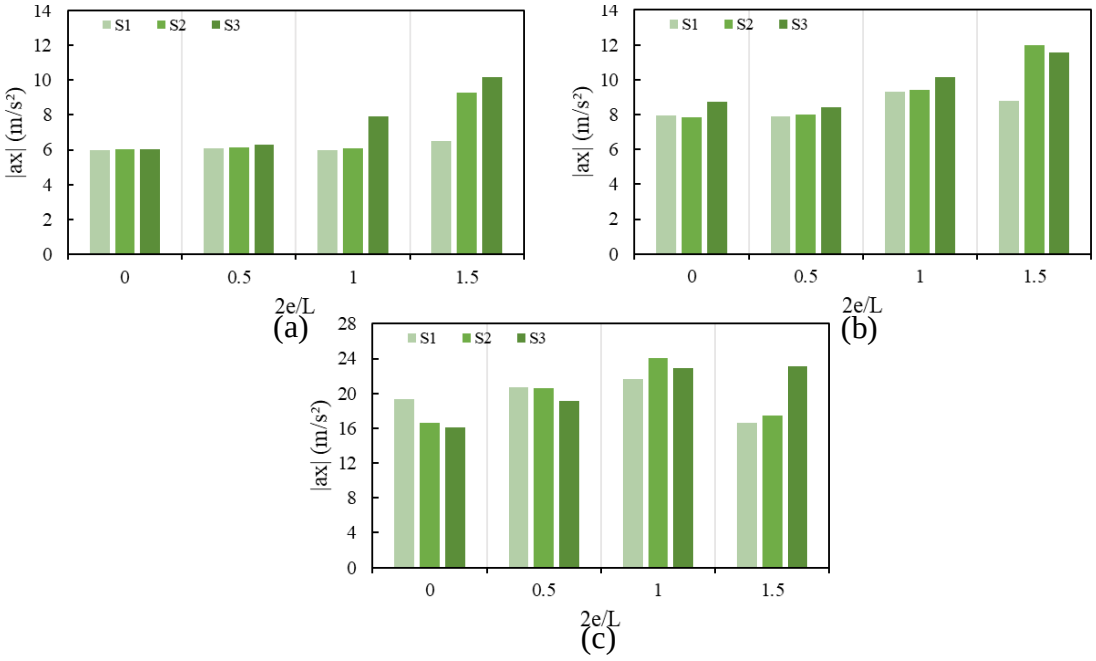
Şekil 194. s=2 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük ivme tepkileri

s=4 durumunda Şekil 195a'da S1 için 5.6220 m/s^2 olarak hesaplanan ivme, S2'de %4.8 artışla 5.8922 m/s^2 ve S3'te %8.5 artışla 6.0993 m/s^2 olmaktadır. Şekil 195b'de S1 için ivme 10.9730 m/s^2 iken, S2'de %10.7 artarak 12.1430 m/s^2 ve S3'te %12.3 artarak 12.3240 m/s^2 olarak elde edilmektedir. Şekil 195c'de S1 için ivme 16.7400 m/s^2 iken, S2'de %7.6 azalışla 15.4650 m/s^2 ve S3'te %0.6 azalışla 16.6360 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 195. s=4 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük ivme tepkileri

s=6 durumunda Şekil 196a'da S1 için ivme 6.4994 m/s^2 iken, S2'de %42.5 artışla 9.2581 m/s^2 ve S3'te %56.5 artışla 10.1700 m/s^2 olmaktadır. Şekil 196b'de S1 için 8.7590 m/s^2 olarak elde edilen ivme, S2'de %37.1 artarak 12.0050 m/s^2 ve S3'te %32 artarak 11.5630 m/s^2 olmaktadır. Şekil 196c'de S1 için ivme 16.6460 m/s^2 iken, S2'de %5 artışla 17.4760 m/s^2 ve S3'te %39 artışla 23.1360 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır.

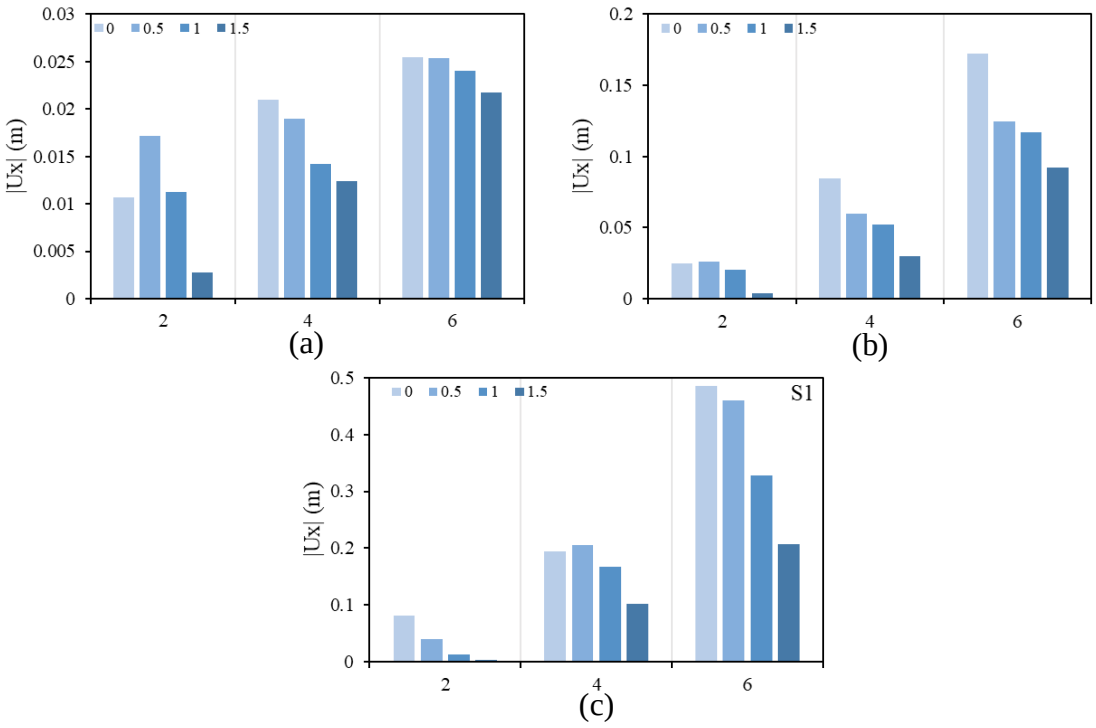


Şekil 196. s=6 için a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde zemin türüne bağlı en büyük ivme tepkileri

3.2.3. Farklı Depremler ve Zemin Türleri İçin Narinlik Oranı-Gömülme Oranı İlişkisi

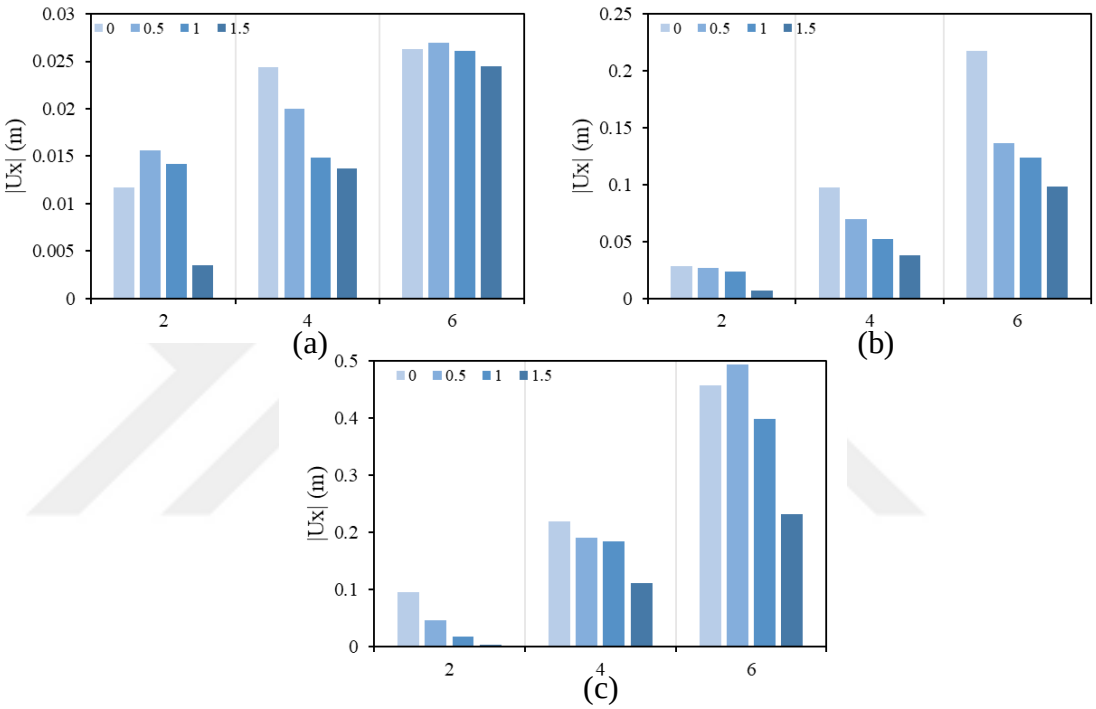
Şekil 197-199, seçilen deprem etkileri altında sırasıyla S1, S2 ve S3 zemin koşulları için narinlik oranına bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük yer değiştirmeler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği üzere, gömülme oranındaki artışın yer değiştirmelerde genellikle azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Aşağıda örnek hesaplamalar açısından, s=6 için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

S1 koşullarında Şekil 197a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.0254 m iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %0.4 azalışla 0.0253 m, %5.5 azalışla 0.0240 m ve %14.6 azalışla 0.0217 m olmaktadır. Şekil 197b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.1723 m iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %27.8 azalarak 0.1244 m, %32.1 azalarak 0.1170 m ve %46.4 azalarak 0.0924 m olmaktadır. Şekil 197c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için 0.4858 m olarak hesaplanan yer değiştirme, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %5.4 azalışla 0.4596 m, %32.6 azalışla 0.3276 m ve %57.5 azalışla 0.2064 m olarak elde edilmektedir.



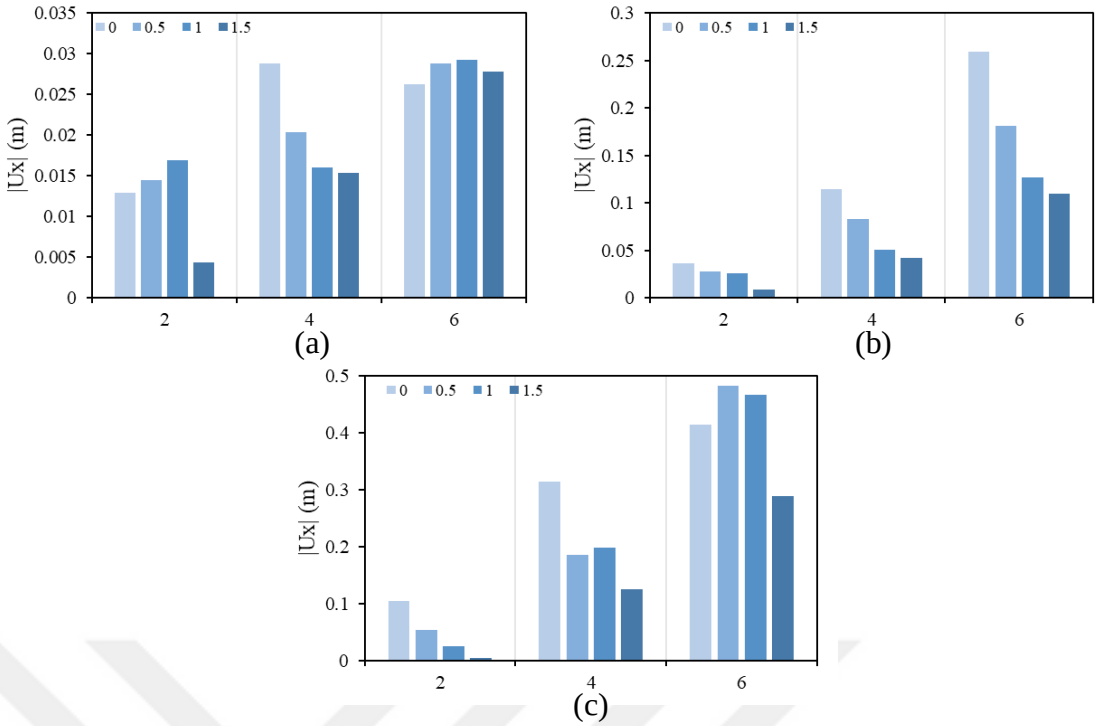
Şekil 197. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 198a'da gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.0263 m iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %2.3 artarak 0.0269 m, %0.8 azalarak 0.0261 m ve %6.8 azalarak 0.0245 m olmaktadır. Şekil 198b'de gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.2175 m iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %37.1 azalarak 0.1368 m, %43.1 azalarak 0.1237 m ve %54.8 azalarak 0.0983 m olmaktadır. Şekil 198c'de gömülme oranı 0 için 0.4571 m olarak hesaplanan yer değiştirme, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %8.2 artışla 0.4944 m, %12.7 azalışla 0.3992 m ve %49.2 azalışla 0.2323 m olarak elde edilmektedir.



Şekil 198. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

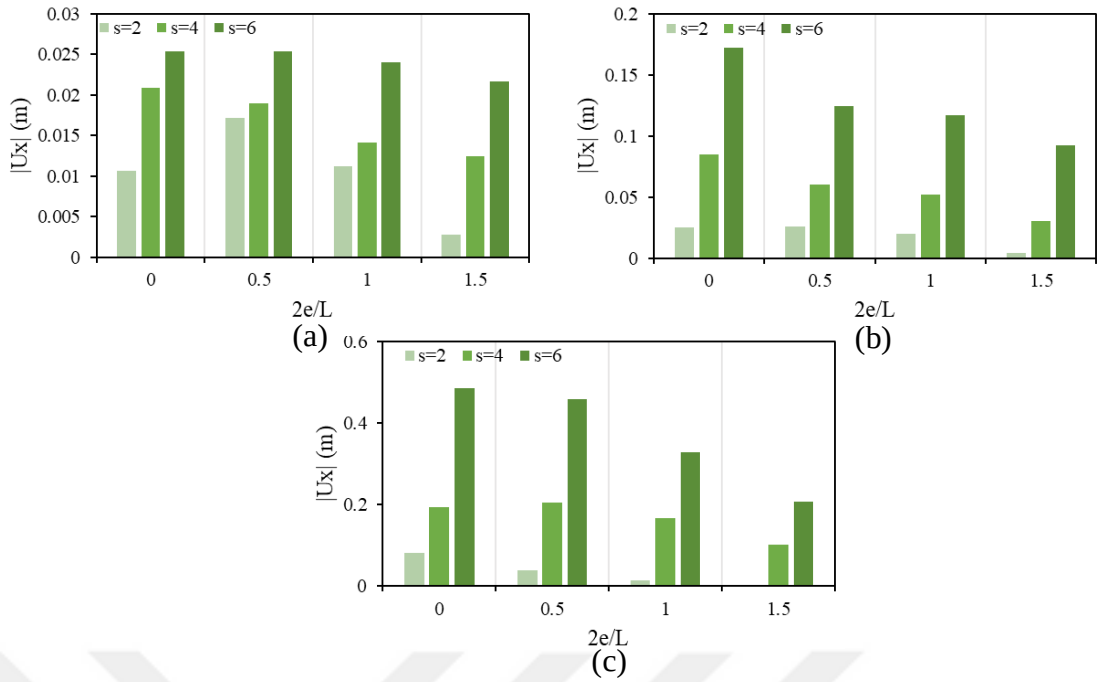
S3 koşullarında Şekil 199a'da gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.0262 m iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %9.9 artışla 0.0288 m, %11.5 artışla 0.0292 m ve %6.1 artışla 0.0278 m olmaktadır. Şekil 199b'de gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.2597 m iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %30.2 azalarak 0.1813 m, %51.3 azalarak 0.1265 m ve %57.6 azalarak 0.1100 m seviyesinde elde edilmektedir. Şekil 199c'de gömülme oranı 0 için yer değiştirme 0.4142 m iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %16.6 artışla 0.4829 m, %12.6 artışla 0.4665 m ve %30.1 azalışla 0.2894 m olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 199. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

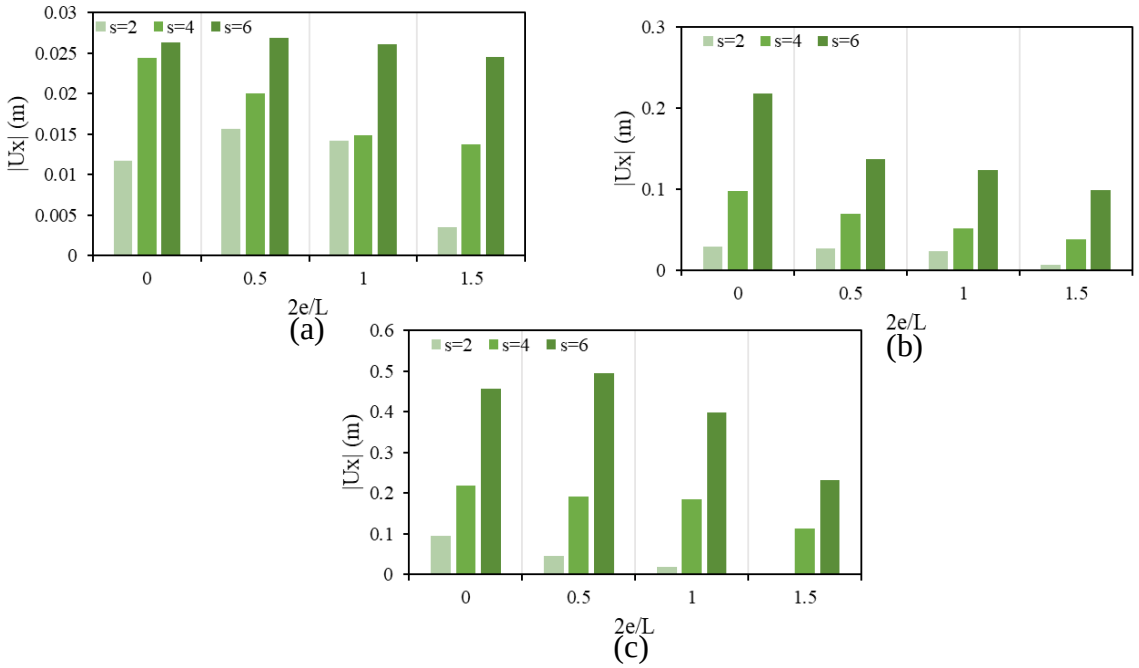
Şekil 200-202, seçilen deprem etkileri altından sırasıyla S1 S2 ve S3 zemin koşulları için gömülme oranına bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin en büyük yer değiştirmeler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, narinlik oranı arttıkça yer değiştirme tepkilerinin genellikle arttığı görülmektedir. Aşağıda örnek hesaplamalar açısından, gömülme oranının 0 olduğu durum için narinlik oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

S1 koşullarında Şekil 200a'da Whittier Narrows depremi ve s=2 için yer değiştirme 0.0106 m iken, s=4 için %97.2 artışla 0.0209 m ve s=6 için %139.6 artışla 0.0254 m olmaktadır. Şekil 200b'de Kobe depremi ve s=2 için yer değiştirme 0.0251 m iken, s=4'te %237.9 artarak 0.0848 m ve s=6'da %586.5 artarak 0.1723 m olmaktadır. Şekil 200c'de Pazarcık depremi ve s=2 için 0.0823 m olarak hesaplanan yer değiştirme, s=4'te %136.3 artışla 0.1945 m ve s=6'da %490.3 artışla 0.4858 m seviyesinde elde edilmektedir.



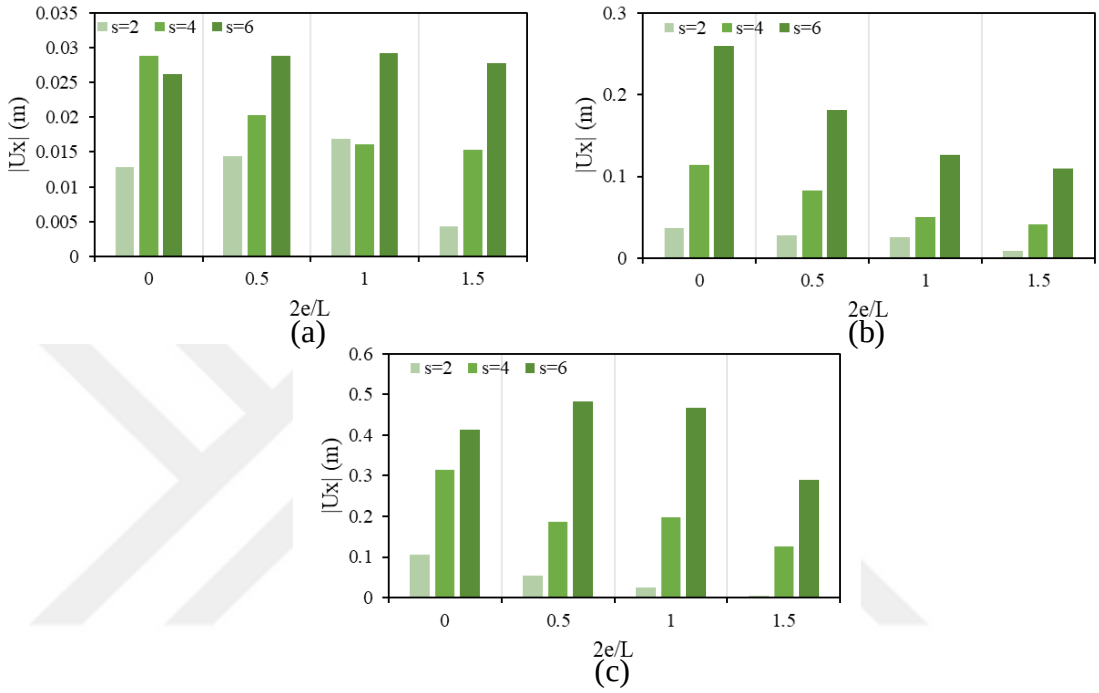
Şekil 200. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 201a'da s=2 için yer değiştirme 0.0117 m iken, s=4'te %108.6 artışla 0.0244 m ve s=6'da %124.8 artışla 0.0263 m olarak hesaplanmaktadır. Şekil 201b'de s=2 için yer değiştirme 0.0289 m iken, s=4'te %238.8 artarak 0.0979 m ve s=6'da %652.6 artarak 0.2175 m olmaktadır. Şekil 201c'de s=2 için 0.0955 m mertebesinde elde edilen yer değiştirme, s=4'te %130.1 artışla 0.2197 m ve s=6'da %378.6 artışla 0.4571 m düzeyinde hesaplanmaktadır.



Şekil 201. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

S3 koşullarında Şekil 202a'da s=2 için 0.0128 m olan yer değiştirme, s=4'te %125 artışla 0.0288 m ve s=6'da %104.7 artışla 0.0262 m seviyesinde elde edilmektedir. Şekil 202b'de s=2 için yer değiştirme 0.0364 m iken, s=4'te %214.3 artarak 0.1144 m ve s=6'da %613.5 artarak 0.2597 m olmaktadır. Şekil 202c'de s=2 için yer değiştirme 0.1052 m iken, s=4'te %198.5 artışla 0.3140 m ve s=6'da %293.7 artışla 0.4142 m olarak hesaplanmaktadır.

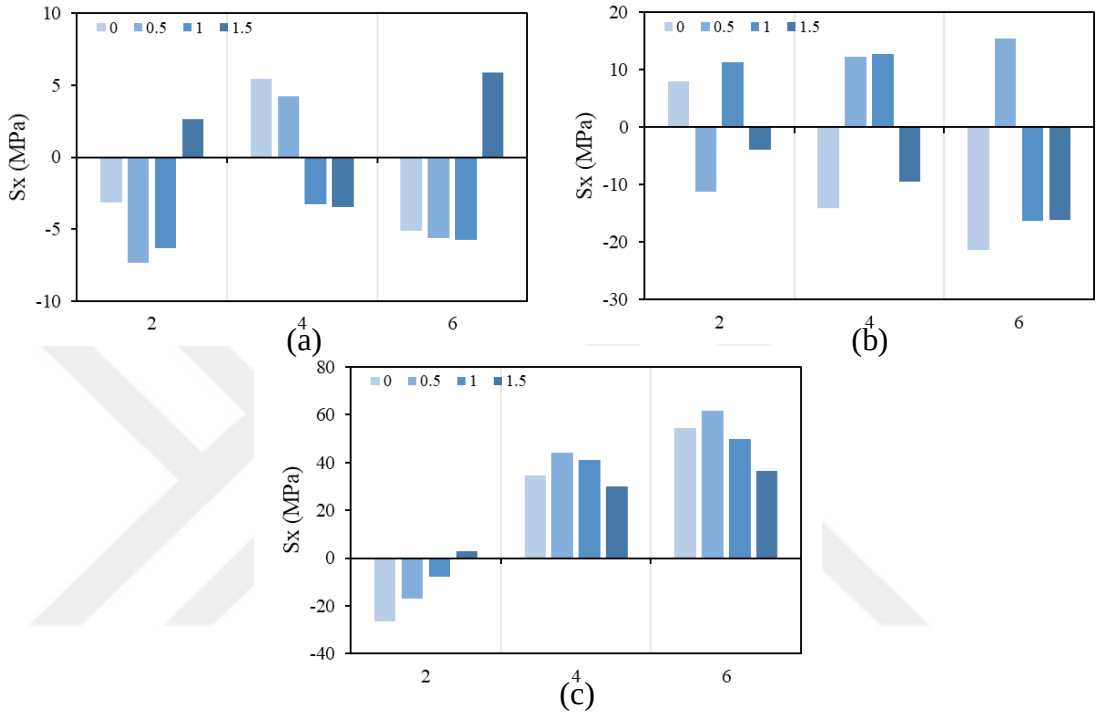


Şekil 202. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük yer değiştirme tepkileri

Şekil 203-205, seçilen deprem etkileri altında sırasıyla S1, S2 ve S3 zemin koşulları için narinlik oranına bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük gerilmeler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Daha önce de belirtildiği üzere, dikkate alınan farklı parametrelerin karşılıklı etkileşiminin, gerilmelerin karakterini önemli ölçüde değiştirebildiği ve bu bağlamda gömülme oranı artışının da gerilmelerin yönelimini farklılaştırabileceği açıktır. Bu, maksimum gerilmelerin bazı durumlarda basınç veya çekme şeklinde gelişmesiyle ortaya çıkarken, bazı durumlarda da gerilmelerin artma ya da azalma eğilimi sergilemesiyle kendini belli etmektedir. Aşağıda örnek hesaplamalar açısından, s=6 için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

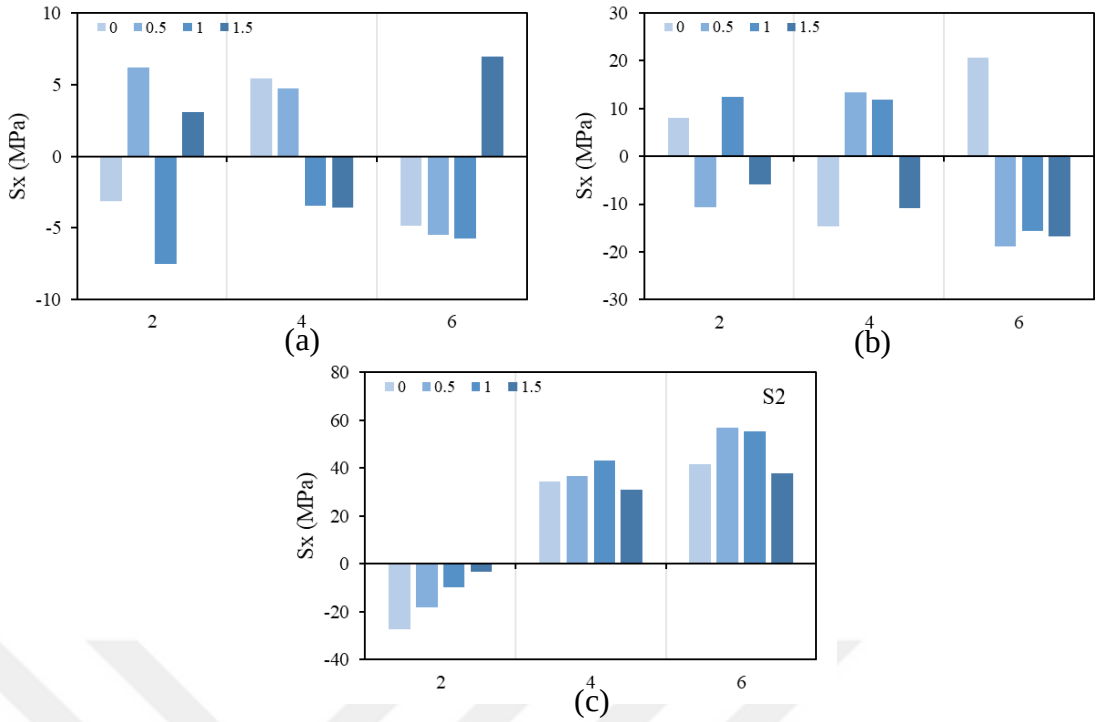
S1 koşullarında Şekil 203a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 5.1408 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %9.4 artışla 5.6264 MPa, %12.1 oranında artışla 5.7636 MPa ve %14.7 artışla 5.8941 MPa olarak

hesaplanmaktadır. Şekil 203b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için 21.3670 MPa olan gerilme, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %27.6 azalışla 15.4802 MPa, %23.5 azalışla 16.3494 MPa ve %24.6 azalışla 16.1099 MPa olmaktadır. Şekil 203c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için gerilme 54.3887 MPa iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %13.5 artarak 61.7161 MPa, %8.4 azalarak 49.8249 MPa ve %33.3 azalarak 36.2864 MPa olmaktadır.



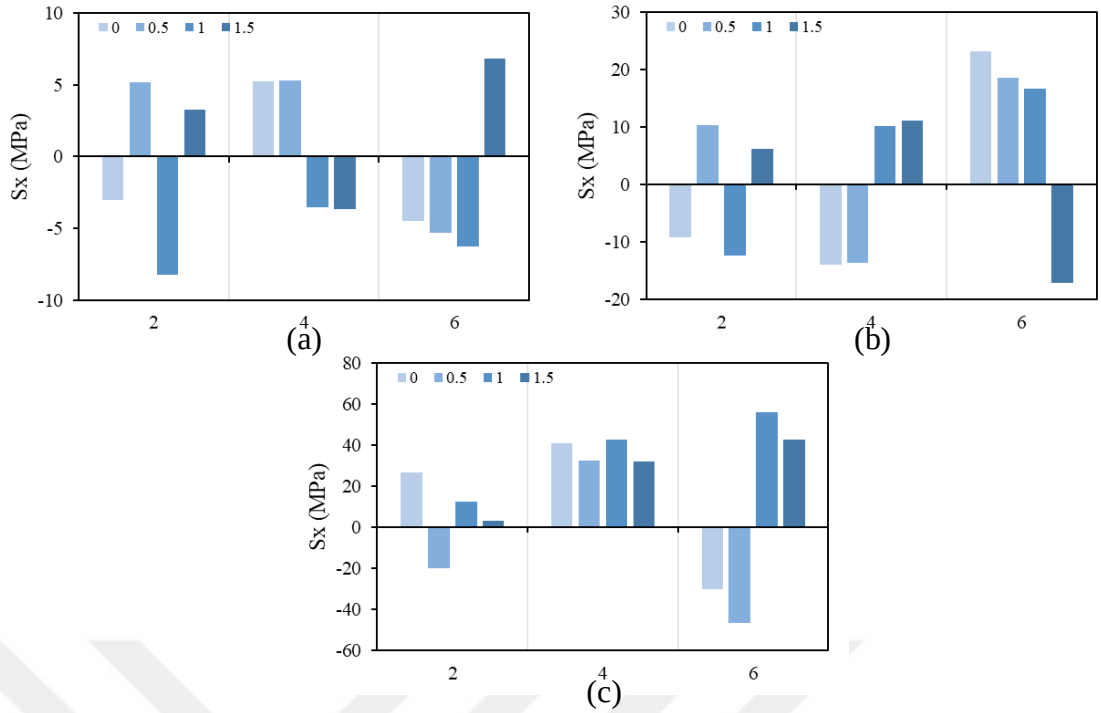
Şekil 203. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 204a'da gömülme oranı 0 için gerilme 4.8247 MPa iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %13.9 artışla 5.4949 MPa, %18.9 artışla 5.7386 MPa ve %44.2 artışla 6.9583 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 204b'de gömülme oranı 0 için 20.6430 MPa olarak hesaplanan gerilme, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %8.7 azalışla 18.8583 MPa, %24.2 azalışla 15.6453 MPa ve %19.2 azalışla 16.6792 MPa olarak elde edilmektedir. Şekil 204c'de gömülme oranı 0 için gerilme 41.5679 MPa iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %36.6 artarak 56.7756 MPa, %33.3 artarak 55.3888 MPa ve %9.2 azalarak 37.7544 MPa olmaktadır.



Şekil 204. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

S3 koşullarında Şekil 205a'da gömülme oranı 0 için 4.5111 MPa olan gerilme, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %17.3 artışla 5.2917 MPa, %39.6 artışla 6.2986 MPa ve %51.7 artışla 6.8424 MPa düzeyinde hesaplanmaktadır. Şekil 205b'de gömülme oranı 0 için gerilme 23.2693 MPa iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %19.8 azalışla 18.6700 MPa, %28.1 azalışla 16.7269 MPa ve %26.8 azalışla 17.0309 MPa olarak hesaplanmaktadır. Şekil 205c'de gömülme oranı 0 için gerilme 30.0324 MPa iken, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %55.8 artarak 46.7825 MPa, %86.3 artarak 55.9438 MPa ve %42.7 artarak 42.8424 MPa olmaktadır.

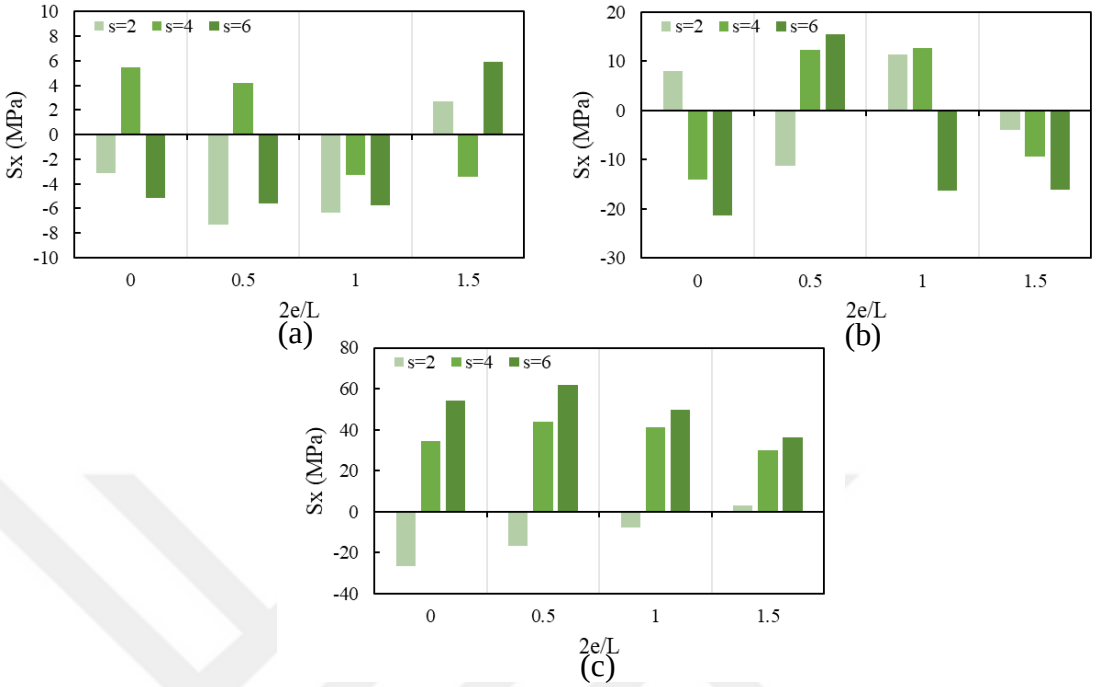


Şekil 205. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

Şekil 206-208, seçilen deprem etkileri altında sırasıyla S1, S2 ve S3 zemin koşulları için gömülme oranına bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin en büyük gerilmeler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği üzere, genel olarak narinlik oranı arttıkça gerilme şiddetleri artmakla birlikte, bu durum frekans içeriği, zemin türü ve gömülme oranı değişimine bağlı olarak zaman zaman değişebilmektedir. En büyük gerilmeler; Şekil 206a'da 0.5 gömülme oranında s=2'de, Şekil 206b'de 0 gömülme oranında s=6'da, Şekil 206c'de 0.5 gömülme oranında s=6'da, Şekil 207a'da 1 gömülme oranında s=2'de, Şekil 207b'de 0 gömülme oranında s=6'da, Şekil 207c'de 0.5 gömülme oranında s=6'da, Şekil 208a'da 0 gömülme oranında s=6'da, Şekil 208b'de 1 gömülme oranında s=4'te ve Şekil 208c'de 1 gömülme oranında s=6'da elde edilmektedir. Aşağıda örnek hesaplamalar açısından, gömülme oranının 0.5 olduğu durum için narinlik oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

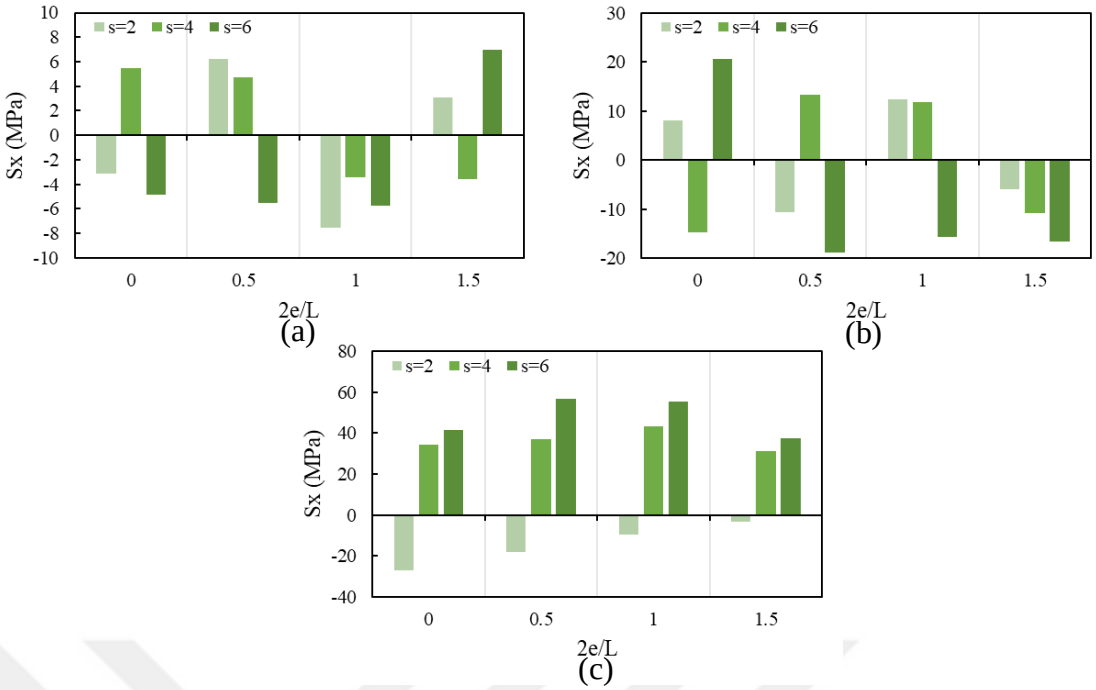
S1 koşullarında Şekil 206a'da Whittier Narrows depremi ve s=2 için 7.3128 MPa olan gerilme, s=4'te %42.2 azalışla 4.2238 MPa ve s=6'da %23.1 azalışla 5.6244 MPa seviyesinde elde edilmektedir. Şekil 206b'de Kobe depremi ve s=2 için 11.1613 MPa olarak hesaplanan gerilme, s=4'te %10.6 artışla 12.3456 MPa ve s=6'da %38.7 artışla 15.4802 MPa olmaktadır. Şekil 206c'de Pazarcık depremi ve s=2 için 16.8755 MPa

olan gerilme, s=4'te %160.4 artarak 43.9361 MPa ve s=6'da %265.7 artarak 61.7161 MPa değerine ulaşmaktadır.



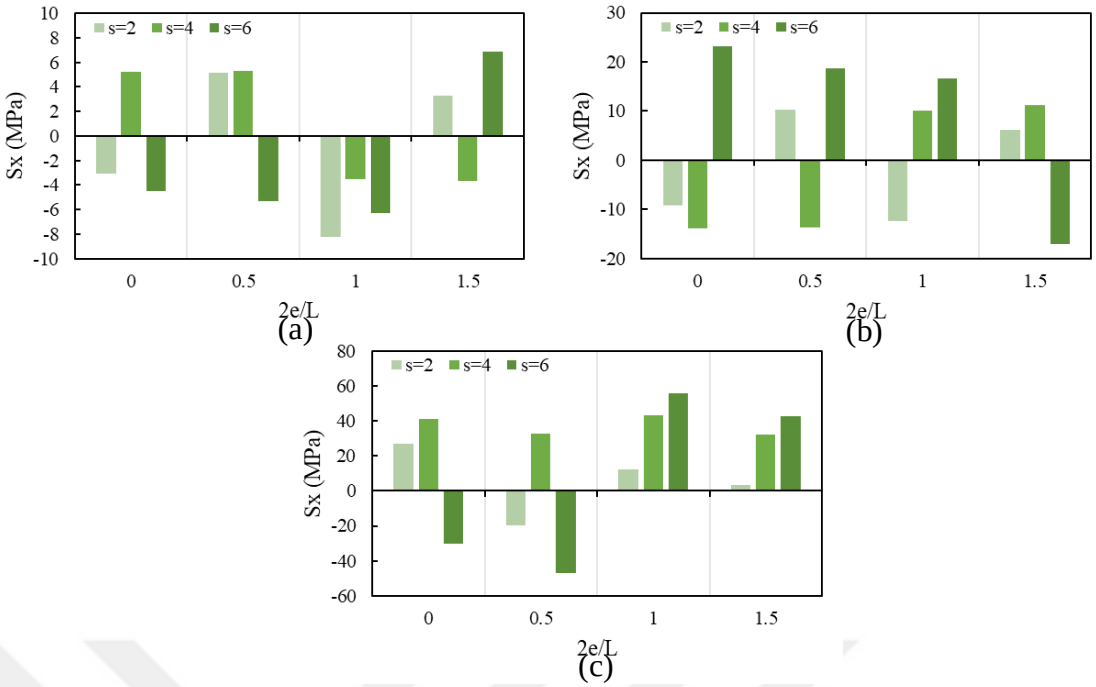
Şekil 206. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 207a'da s=2'de 6.2177 MPa olan gerilme, s=4'te %23.9 azalışla 4.7296 MPa ve s=6'da %11.6 azalışla 5.4949 MPa seviyesinde elde edilmektedir. Şekil 207b'de s=2'de 10.7030 MPa olarak hesaplanan gerilme, s=4'te %23.9 artarak 13.2657 MPa ve s=6'da %76.2 artarak 18.8583 MPa değerine ulaşmaktadır. Şekil 207c'de s=2'de 18.3041 MPa olan gerilme, s=4'te %101.4 artışla 36.8643 MPa ve s=6'da %210.2 artışla 56.7756 MPa olarak hesaplanmaktadır.



Şekil 207. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

S3 koşullarında Şekil 208a'da s=2'de 5.1659 MPa olan gerilme, s=4'te %2.7 artışla 5.3046 MPa ve s=6'da %2.4 artışla 5.2917 MPa olmaktadır. Şekil 208b'de s=2'de 10.3400 MPa olarak elde edilen gerilme, s=4'te %31.8 artışla 13.6276 MPa ve s=6'da %80.6 artışla 18.6700 MPa değerine ulaşmaktadır. Şekil 208c'de s=2'de 19.9017 MPa olan gerilme, s=4'te %63.5 artışla 32.5374 MPa ve s=6'da %135.1 artışla 46.7825 MPa olarak hesaplanmaktadır.

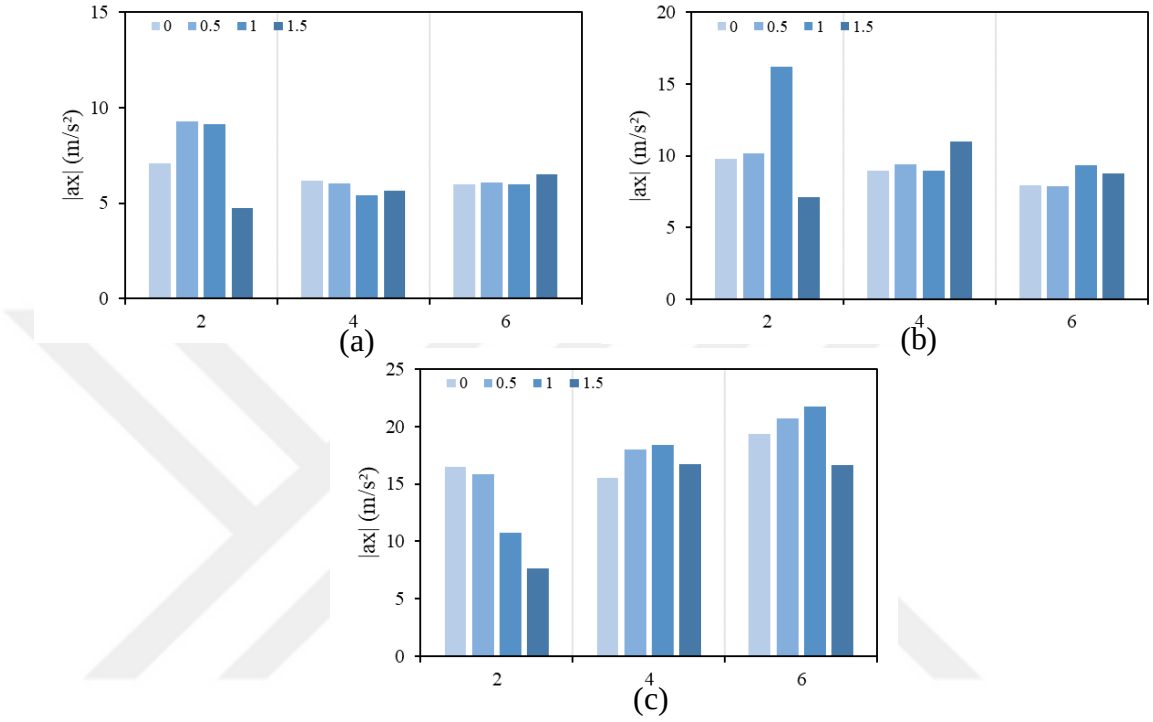


Şekil 208. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük gerilme tepkileri

Şekil 209-211, seçilen deprem etkileri altında sırasıyla S1, S2 ve S3 zemin koşulları için narinlik oranına bağlı olarak gömülme oranındaki değişimin en büyük ivmeler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği üzere, gömülme oranındaki artış; deprem frekans içeriğinin, narinlik oranının ve zemin türünün değişimine bağlı olarak ivme büyüklüklerini kimi zaman azaltmakta, kimi zaman artırmakta ve kimi zaman da ivmeler üzerinde ihmal edilebilir düzeylerde rol oynamaktadır. S1 zemininde Şekil 209a ve 209b'de s=2 için sırasıyla gömülme oranının 0.5 ve 1 olduğu durumlarda ivme tepkileri daha baskın iken, Şekil 209c'de s=6 için gömülme oranının 1 olduğu durumda daha baskın olmaktadır. S2 zemininde Şekil 210a ve Şekil 210b'de s=2 için gömülme oranının 1 olduğu durumda ivme tepkisi daha baskın iken, Şekil 210c'de s=4 için gömülme oranının 0.5 olduğu durumda daha baskın olmaktadır. S3 zemininde Şekil 211a ve Şekil 211b'de s=2 için gömülme oranının 1 olduğu durumda ivme tepkileri daha baskın iken, Şekil 211c'de s=4 için gömülme oranının 1 olduğu durumda daha baskın olmaktadır. Aşağıda örnek hesaplamalar açısından, s=2 için gömülme oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

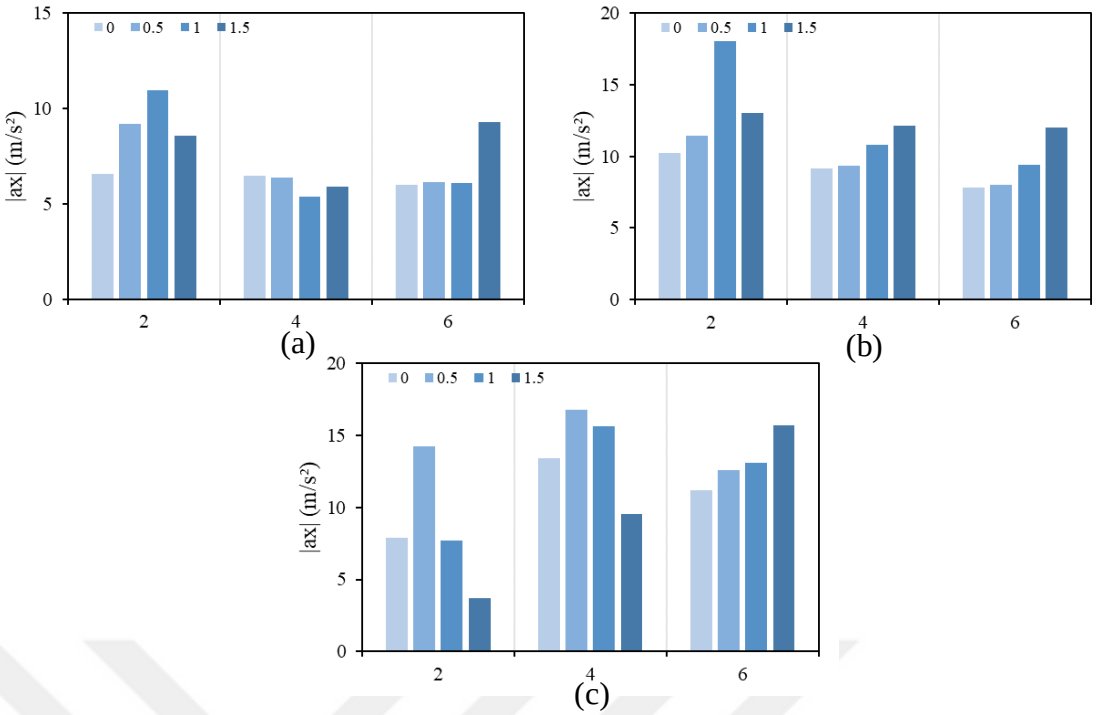
S1 koşullarında Şekil 209a'da Whittier Narrows depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 7.0815 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %30.7 artışla 9.2532 m/s^2, %28.8 artışla 9.1174 m/s^2 ve %33.1 azalışla 4.7406 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 209b'de Kobe depremi ve gömülme oranı 0 için 9.7502 m/s^2

seviyesinde hesaplanan ivme, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %4.4 artarak 10.1820 m/s^2, %66 artarak 16.1880 m/s^2 ve %27.2 azalarak 7.1021 m/s^2 olmaktadır. Şekil 209c'de Pazarcık depremi ve gömülme oranı 0 için ivme 16.4650 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %3.7 azalışla 15.8590 m/s^2, %34.9 azalışla 10.7150 m/s^2 ve %53.3 azalışla 7.6885 m/s^2 olarak elde edilmektedir.



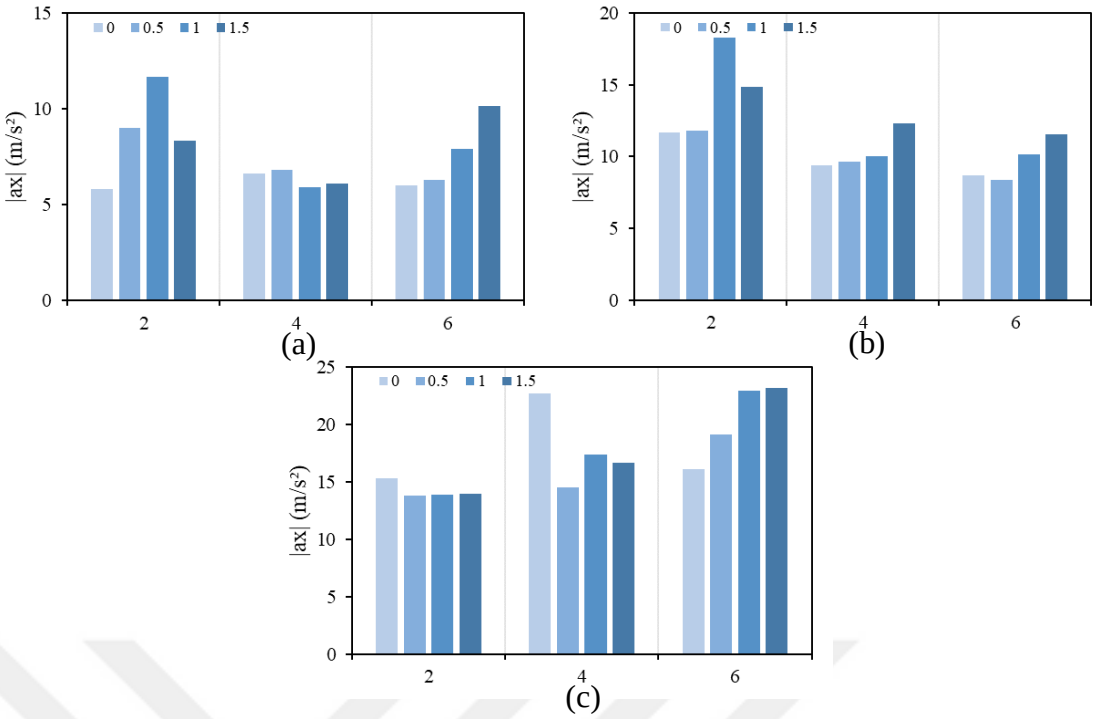
Şekil 209. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 210a'da gömülme oranı 0 için ivme 6.5411 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %40.6 artışla 9.1934 m/s^2, %67.3 artışla 10.9420 m/s^2 ve %30.8 artışla 8.5558 m/s^2 olarak elde edilmektedir. Şekil 210b'de gömülme oranı 0 için 10.2060 m/s^2 düzeyinde hesaplanan ivme, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %12.2 artarak 11.4530 m/s^2, %76.7 artarak 18.0370 m/s^2 ve %27.9 artarak 13.0560 m/s^2 olmaktadır. Şekil 210c'de gömülme oranı 0 için ivme 18.5190 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %27.9 azalışla 13.3500 m/s^2, %41.3 azalışla 10.8700 m/s^2 ve %32 azalışla 12.5940 m/s^2 seviyesinde elde edilmektedir.



Şekil 210. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

S3 koşullarında Şekil 211a'da gömülme oranı 0 için ivme 5.8101 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa bağlı olarak sırasıyla %55.2 artışla 9.0162 m/s^2, %101.1 artışla 11.6830 m/s^2 ve %43.7 artışla 8.3475 m/s^2 düzeyinde hesaplanmaktadır. Şekil 211b'de gömülme oranı 0 için 11.6630 m/s^2 olan ivme, gömülme oranındaki artışla sırasıyla %1.5 artarak 11.8390 m/s^2, %56.7 artarak 18.2730 m/s^2 ve %27.4 artarak 14.8600 m/s^2 oolmaktadır. Şekil 211c'de gömülme oranı 0 için ivme 15.2870 m/s^2 iken, gömülme oranındaki artışa istinaden sırasıyla %10 azalışla 13.7570 m/s^2, %9.2 azalışla 13.8770 m/s^2 ve %8.7 azalışla 13.9630 m/s^2 mertebesinde elde edilmektedir.

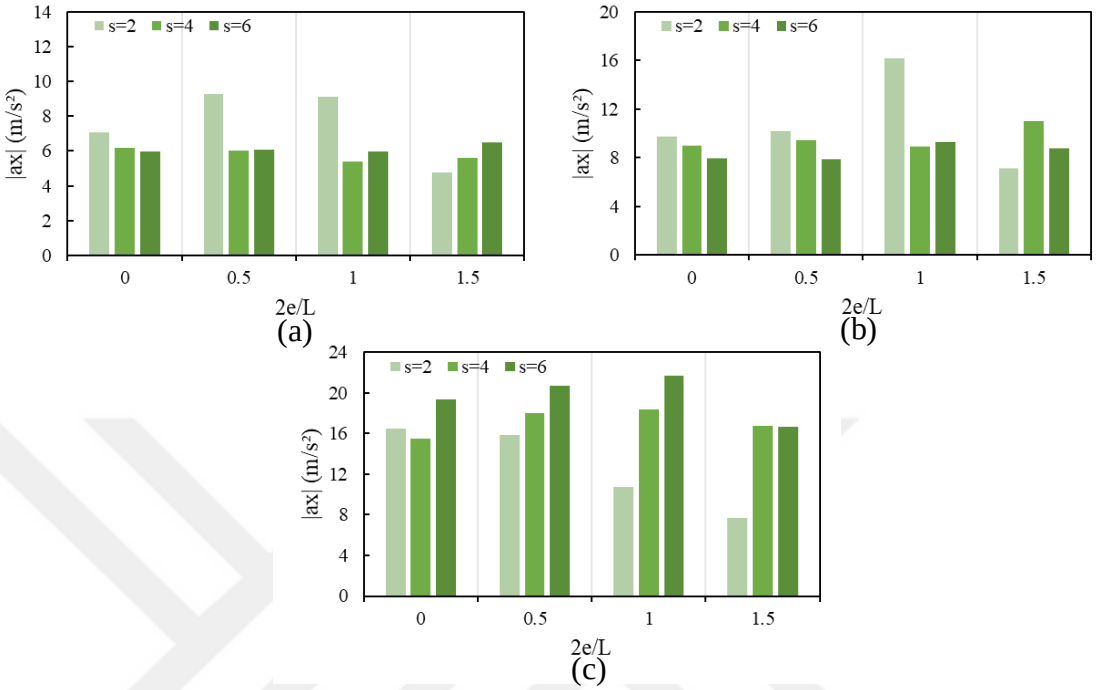


Şekil 211. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde gömülme oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

Şekil 212-214, seçilen deprem etkileri altında sırasıyla S1, S2 ve S3 zemin koşulları için gömülme oranına bağlı olarak narinlik oranındaki değişimin en büyük ivmeler üzerindeki etkilerini göstermektedir. Daha önce de ifade edildiği üzere, narinlik oranındaki değişimin ivme tepkilerinde farklı yönelimlere yol açabildiği, diğer bir deyişle zemin türü, deprem frekans içeriği ve gömülme oranı ile narinlik oranı arasındaki karşılıklı ilişkinin tepkilerin karakterini değiştirebildiği görülmektedir. Öte yandan burada incelenen durumlar özelinde, narinlik oranının artmasıyla, ivme tepkilerinin yüksek ve orta frekans içerikli depremlerde (Whittier Narrows ve Kobe) azalma, düşük frekans içerikli Pazarcık depreminde ise artma eğiliminde olduğu gözlenmektedir. En büyük ivmeler; Şekil 212a'da 0.5 gömülme oranında s=2'de, Şekil 212b'de 1 gömülme oranında s=2'de, Şekil 212c'de 1 gömülme oranında s=6'da, Şekil 213a'da 1 gömülme oranında s=2'de, Şekil 213b'de 1 gömülme oranında s=2'de, Şekil 213c'de 1 gömülme oranında s=6'da, Şekil 214a'da 1 gömülme oranında s=2'de, Şekil 214b'de 1 gömülme oranında s=2'de ve Şekil 214c'de 1.5 gömülme oranında s=6'da elde edilmektedir. Aşağıda örnek hesaplamalar açısından, gömülme oranının 0.5 olduğu durum için narinlik oranına bağlı değişimler karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

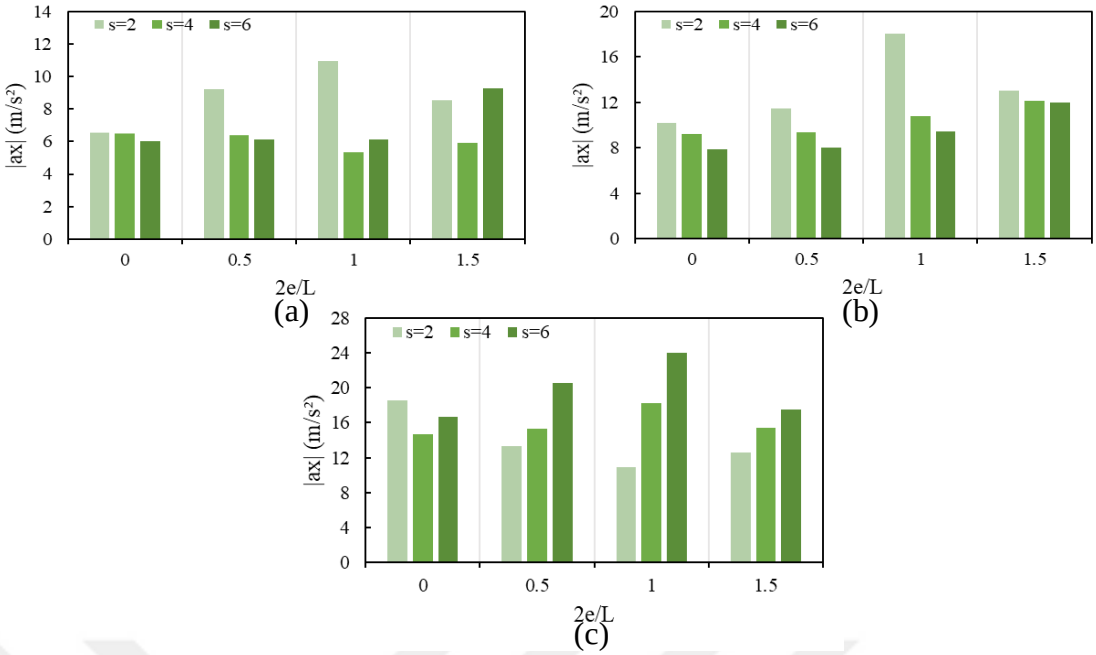
S1 koşullarında Şekil 212a'da s=2 için 9.2532 m/s^2 olan ivme, s=4'te %34.8 azalışla 6.0329 m/s^2 ve s=6'da %34.4 azalışla 6.0751 m/s^2'ye düşmektedir. Şekil 212b'de s=2 için 10.1820 m/s^2 olarak hesaplanan ivme, s=4'te %7.7 azalışla 9.3988

m/s^2 ve s=6'da %22.4 azalışla 7.9008 m/s^2 olmaktadır. Şekil 212c'de s=2 için 15.8590 m/s^2 olan ivme, s=4'te %13.4 artışla 17.9860 m/s^2 ve s=6'da %30.5 artışla 20.6890 m/s^2'ye yükselmektedir.



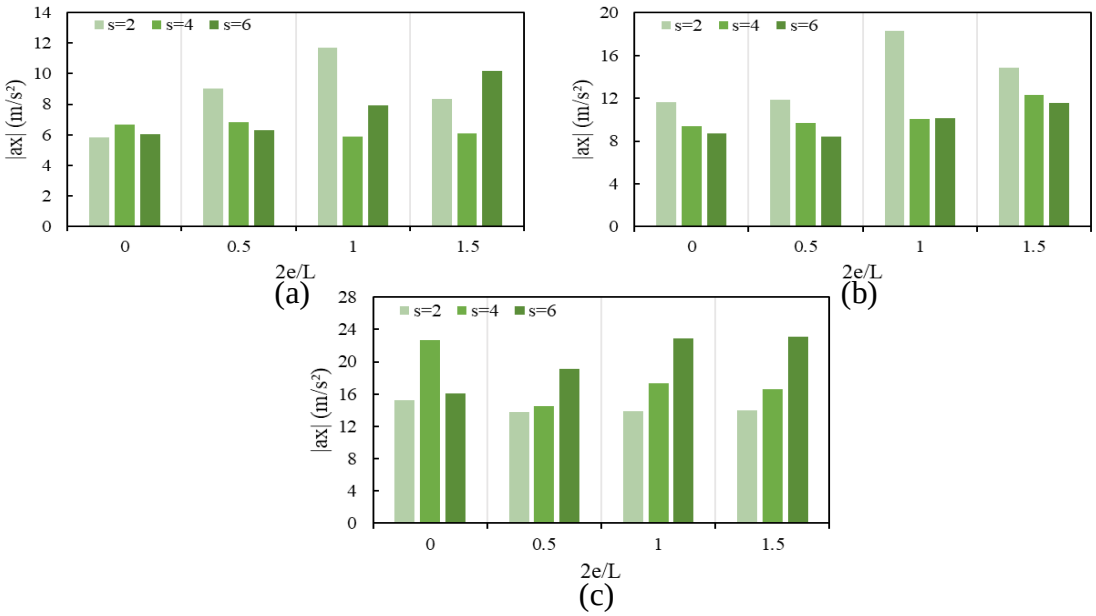
Şekil 212. S1 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

S2 koşullarında Şekil 213a'da s=2 için ivme 9.1934 m/s^2 iken, s=4'te %30.7 azalışla 6.3738 m/s^2 ve s=6'da %33.2 azalışla 6.1434 m/s^2'ye düşmektedir. Şekil 213b'de s=2 için 11.4530 m/s^2 olan ivme, s=4'te %18.5 azalışla 9.3394 m/s^2 ve s=6'da %30.2 azalışla 7.9965 m/s^2'ye düşmektedir. Şekil 213c'de s=2 için 13.3500 m/s^2 olan ivme, s=4'te %14.4 artışla 15.2730 m/s^2 ve s=6'da %54.2 artışla 20.5900 m/s^2'ye yükselmektedir.



Şekil 213. S2 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

S3 koşullarında Şekil 214a'da s=2 için 9.0162 m/s^2 olarak hesaplanan ivme, s=4'te %24.1 azalarak 6.8406 m/s^2 ve s=6'da %30.2 azalarak 6.2908 m/s^2 olmaktadır. Şekil 214b'de s=2 için 11.8390 m/s^2 olan ivme, s=4'te %18.4 azalışla 9.6560 m/s^2 ve s=6'da %29.1 azalışla 8.3925 m/s^2 olarak hesaplanmaktadır. Şekil 214c'de s=2 için 13.7570 m/s^2 olan ivme, s=4'te %5.5 artışla 14.5170 m/s^2 ve s=6'da %38.9 artışla 19.1040 m/s^2 seviyesine yükselmektedir.



Şekil 214. S3 zemininde a) Whittier Narrows, b) Kobe ve c) Pazarcık depremlerinde narinlik oranına bağlı en büyük ivme tepkileri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında esas olarak yapı narinlik oranı, ZYE, deprem frekans içeriği ve yapı gömülme oranı parametrelerinin, dikkate alınan yapıların sismik tepkileri üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

Gömülme etkisinin olmadığı durumda elde edilen sonuçlar:

- Dinamik analizlerde kullanılan sayısal modeller, AN-2 ve AN-3'e kıyasla, AN-1 ile daha uyumludur. Zemin rijitliğindeki azalma ve narinlik oranındaki artış ile birlikte periyot değerleri artmaktadır.
- Narinlik oranı arttıkça maksimum yer değiştirmeler genel olarak artmakta ve düşük frekans içeriğine sahip Pazarcık depremi esnasında elde edilmektedir. Yer değiştirme tepkilerindeki artış veya azalışın; narinlik oranı, zemin türü ve deprem frekans içeriği arasındaki karşılıklı ilişkiye büyük ölçüde bağlı olduğu ve bu parametre değişimlerinin yapıyı dönme ve ötelenmelere bağlı olarak zaman zaman tersinir harekete zorlayabildiği görülmektedir.
- Yüksek frekans içeriğine sahip yer hareketleriyle karşılaştırıldığında, düşük ve orta frekans içeriğine sahip yer hareketleri daha büyük yer değiştirme tepkilerine neden olmaktadır.
- Gerilmeler; narinlik oranı, deprem frekans içeriği ve zemin türü fark etmeksizin, birinci ve üçüncü kat seviyeleri arasında maksimum değerlerine ulaşmaktadır.
- Narinlik oranı arttıkça gerilme değerlerinde genel olarak bir artış gözlenmekte ve ankastre taban koşulunda ve s=6 olan modelde gerilme tepkisi en yüksek değere ulaşmaktadır. En yüksek gerilmeler Pazarcık depremi sırasında elde edilmektedir. ZYE'nin dikkate alınmasıyla gerilmeler genellikle azalmaktadır. Ayrıca narinlik oranı, zemin türü ve depremi frekans içeriği değişimi, maksimum gerilmelerin karakterini çekmeden basınca veya basınçtan çekmeye dönüştürebilmektedir.
- Tüm zemin koşullarında, gerilme tepkisinin artış/azalış oranı açısından en kritik yer hareketleri sırasıyla 4 katlı yapı için Coalinga, 8 katlı yapı için Parkfield ve 12 katlı yapı için Pazarcık depremidir.
- İvme tepkileri; narinlik oranına, zemin türüne ve deprem frekans içeriğine bağlı olarak farklı kat seviyelerinde maksimum değerlere ulaşmaktadır. Maksimum ivme tepkilerindeki değişim yönü; narinlik oranına, ZYE'ye ve depremin özelliklerine bağlı

olarak önemli ölçüde farklılık göstermektedir. İvmeler bu parametrelere bağlı olarak kimi zaman artmakta, kimi zaman ise azalmaktadır.

- İvme tepkisinin büyüklüğü açısından en kritik yer hareketi Pazarcık depremi olup en büyük ivme değeri 8 katlı yapıda ve S3 zemin türünde gözlemlenmektedir.

Gömülme etkisinin dikkate alındığı durumda elde edilen sonuçlar:

- Tüm yapı sistemlerinde ve zemin koşullarında gömülme oranının artmasıyla periyot değerlerinin azaldığı görülmektedir.
- Çok serbestlik dereceli sistemler için önerilen analitik modellerin kendi arasında oldukça uyumlu olduğu ve sayısal modellerin EMBD-2 ile daha uyumlu olduğu göze çarpmaktadır. Benzer şekilde tek kütleli sistemler için önerilen analitik modellerin de kendi arasında oldukça uyumlu olduğu ve sayısal modellerin EMBD-5 ile daha uyumlu olduğu göze çarpmaktadır. Ayrıca sayısal modellerin, ikinci grup analitik modellere (EMBD-4, EMBD-5 ve EMBD-6) kıyasla, birinci grup analitik modeller (EMBD-1, EMBD-2 ve EMBD-3) ile daha uyumlu olduğu görülmektedir.
- Gömülmenin yapı yer değiştirmelerini kısıtlayıcı bir etki yaptığı ve gömülme oranındaki artışla birlikte yer değiştirme tepkilerinin genellikle azaldığı görülmektedir. Bu bağlamda depreme dayanıklı yapısal ve geoteknik tasarım ilkeleri açısından zemin iyileştirilmesi ve derin temel çözümlerine başvurmadan önce, yüzen radye seçeneğinin göz önüne alınması ve kısmen dengelenmiş radye uygulamasının gerçekleştirilmesi güvenli ve ekonomik bir çözüm olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca dinamik tepkilerin büyüklüğü açısından daha kritik olan düşük ve orta frekans içeriğine sahip depremlerde gömülme oranının katkısı daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.
- Gömülme oranındaki artış genel olarak gerilmeleri azaltmakla birlikte; zemin türünün, deprem frekans içeriğinin ve narinlik oranının değişimine bağlı olarak gerilmelerde zaman zaman artışlar zaman zaman ise ihmal edilebilir düzeylerde değişimler gözlenebilmektedir. Bu durum, gerilme davranışı açısından gömülme derinliğinin tek tasarım kriteri olamayacağını ve tasarımda deprem karakteristikleri, zemin türü, gömülme oranı ve narinlik oranı arasındaki karşılıklı etkileşimin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.
- Zemin rijitliğinin azalmasıyla iç kuvvet tepkilerinin her zaman azalma eğiliminde olmadığı ve birçok parametrenin bağlaşık etkisi nedeniyle iç kuvvet tepkilerinin zemin rijitliğinin azalmasıyla kimi zaman artabileceği göze çarpmaktadır.
- Gömülme oranındaki artış, deprem frekans içeriğinin, narinlik oranının ve zemin türünün değişimine bağlı olarak ivme tepkileri üzerinde kimi zaman azaltıcı, kimi zaman artırıcı ve kimi zaman da ihmal edilebilir düzeylerde etki yapmaktadır.

Farklı sismik senaryolar dikkate alınarak gerçekleştirilen dinamik analizler; ZYE'nin, narinlik oranının, gömülme oranının ve yer hareketi frekans içeriğinin mevcut bina stokunun önemli bir bölümünü temsil eden ve bu çalışmaya konu olan yapılarda sismik tepkilerin artmasına veya azalmasına yol açıp açmadığına ilişkin önemli bilgiler sunmaktadır. Bu bilgilerin, özellikle yumuşak zemin koşullarına sahip ve deprem hassasiyeti yüksek bölgelerde yapı tasarımı yapan geoteknik ve yapı mühendislerine önemli fikirler vereceği düşünülmektedir. Buradan hareketle aşağıda bazı öneriler sunulmaktadır.

- Bu tez çalışması kapsamında ele alınan yapılardan daha yüksek katlı yapılar dikkate alınarak farklı narinlik ve gömülme oranlarının sismik davranış üzerindeki etkileri araştırılabilir.
- Birbirine komşu yapılar dikkate alınarak gömülme derinliğinin etkileri yapı-zemin-yapı etkileşimi özelinde değerlendirilebilir.
- Zeminin doğrusal olmayan davranışı dikkate alınarak analizler gerçekleştirilebilir.
- Herhangi bir yer hareketi, farklı sahalarda farklı etkilere sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında yerel zemin koşullarının deprem dalgaları üzerindeki etkileri açık bir şekilde görülmektedir. Öte yandan modern deprem yönetmelikleri de, yapısal tasarım aşamasında yerel zemin davranışının etkilerinin dikkate alınmasını öngörmektedir. Bu bağlamda her bir yapı tasarımı, yapının inşa edileceği saha koşulları özelinde değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Abdulaziz, M. A., Hamood M. J., Fattah M. Y. ve Aal-Azawee T. K. (2024) Investigating seismic response in adjacent structures: A study on the impact of buildings' orientation and distance considering soil–structure interaction. *Open Engineering* 14(1), 1–13.

Ada, M. ve Ayvaz, Y. (2019). The structure-soil-structure interaction effects on the response of the neighbouring frame structures. *Latin American Journal of Solids and Structures*, 16, e224.

Ahmad, S. ve Bharadwaj, A. (1991). Horizontal impedance of embedded strip foundations in layered soil. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(7), 1021-1041.

Ahmadi, E. (2019). On the structural energy distribution and cumulative damage in soil-embedded foundation-structure interaction systems. *Engineering Structures*, 182, 487-500.

Anand, V. ve Kumar, S. S. (2018). Seismic soil-structure interaction: A state-of-the-art review. *Structures*, 16, 317-326.

ANSYS 13, 2010. ANSYS Inc., Canonsburg, PA.

Araz, O., Ozturk, K. F. ve Cakir, T. (2022). Effect of different objective functions on control performance of tuned mass damper for a high-rise building considering soil-structure interaction. *Archieve of Applied Mechanics*, 92, 1413-1429.

Araz, O., Cakir, T., Ozturk, K. F. ve Kaya, D. (2023). Effect of foundation embedment ratio in suppressing seismic-induced vibrations using optimum tuned mass damper. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 171, 107981.

Araz, O., Ozturk, K. F. ve Cakir, T. (2024). Effect of Soil-Structure Interaction on Story Acceleration Response of a High-Rise Building. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 61(1), 42-48.

Asadi-Ghoozhdi, H. ve Attarnejad, R. (2020). A Winkler-based model for inelastic response of soil-structure systems with embedded foundation considering kinematic and inertial interaction effects. *Structures*, 28, 589-603.

Aviles, J. ve Perez-Rocha, L. E. (1998). Effects of foundation embedment during building-soil interaction. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 27(12), 1523-1540.

Aviles, J. ve Perez-Rocha, L. E. (2003). Soil-structure interaction in yielding systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 32(11), 1749-1771.

Bararnia, M., Hassani, N., Ganjavi, B. ve Ghodrati Amiri, G. (2018). Estimation of inelastic displacement ratios for soil-structure systems with embedded foundation considering kinematic and inertial interaction effects. *Engineering Structures*, 159, 252-264.

Bhattacharya, K., Dutta, S. C. ve Dasgupta, S. (2004). Effect of soil-flexibility on dynamic behaviour of building frames on raft foundation. *Journal of Sound and Vibration*, 274(1-2), 111-135.

Bielak, J. (1974). Dynamic behaviour of structures with embedded foundations. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3(3), 259-274.

Bielak, J. (1978). Dynamic response of non-linear building-foundation systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6(1), 17-30.

Cakir, T. (2010). Zemin-depo dış duvarı-sıvı sistemlerinin deprem davranışlarının incelenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Cakir, T. (2013). Evaluation of the effect of earthquake frequency content on seismic behavior of cantilever retaining wall including soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 45, 96-111.

Cakir, T. ve Livaoglu, R. (2013). Experimental analysis on FEM definition of backfill rectangular tank-fluid system. *Geomechanics and Engineering*, 5, 165-85.

Cakir, T. (2014). Influence of wall flexibility on dynamic response of cantilever retaining walls. *Structural Engineering and Mechanics*, 49, 1-22.

Cakir, T. (2017). Assessment of effect of material properties on seismic response of a cantilever wall. *Geomechanics and Engineering*, 13(4), 601-619.

Cakir, T., Akaryalı, E., Seferoglu, M. T., Kara, O., Kaya, Y. ve Yilmaz, S. (2024). 06.02.2023 tarihinde Kahramanmaraş İli Elbistan İlçesinde meydana gelen deprem afeti sonucu yıkılan binalar hakkında teknik rapor.

Celep, Z. (2022). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı.* (8. Baskı), Beta Yayın Basım, İstanbul.

Chandrawanshi, S. ve Garg, V. (2025). Structure-soil-structure interaction effect on footing settlement due to varying height of adjacent building. *National Academy Science Letters*, 1-5.

Chopra, A.K. (2007). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering.* (3. Baskı), Pearson Education India.

Ciampoli, M. ve Pinto, P. E. (1995). Effects of soil-structure interaction on inelastic seismic response of bridge piers. *Journal of Structural Engineering*, 121(5), 806-814.

Clough, R. W. ve Penzien, J. (2003). *Dynamics of structures* (3. Baskı). Computers & Structures.

Conti, R., Morigi, M., Rovithis, E., Theodoulidis, N. ve Karakostas, C. (2018). Filtering action of embedded massive foundations: New analytical expressions and evidence from 2 instrumented buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 47(5), 1229-1249.

Datta, T. K. (2010). *Seismic analysis of structures*. John Wiley ve Sons, Ltd.

De Silva, F. ve Silvestri, F. (2025). Derivation, validation, and web application of dimensionless analytical solutions for equivalent period and damping ratio of soil-foundation-structure systems. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 151(6), 04025049.

Deeks, A. J. ve Randolph, M. F. (1994). Axisymmetric time-domain transmitting boundaries. *Journal of Engineering Mechanics*, 120(1), 25-42.

Demir, A. D. ve Livaoglu, R. (2023). Simplified seismic response model for a bulk solid-silo-embedded foundation/soil system. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 165, 107664.

Di Laora, R. ve De Sanctis, L. (2013). Piles-induced filtering effect on the foundation input motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 46, 52-63.

Doğangün, A. (2021). *Deprem-zemin ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. Birsen Yayınevi, İstanbul.

Du, X. L. ve Zhao, M. (2010). A local time-domain transmitting boundary for simulating cylindrical elastic wave propagation in infinite media. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(10), 937–946.

Dutta, S. C., Bhattacharya, K. ve Roy, R. (2004). Response of low-rise buildings under seismic ground excitation incorporating soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24(12), 893-914.

El Ganainy, H. ve El Naggar, M. H. (2009). Seismic performance of three-dimensional frame structures with underground stories. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(9), 1249-1261.

El Hoseny, M., Ma, J. ve Josephine, M. (2022). Effect of embedded basement stories on seismic response of low-rise building frames considering SSI via small shaking table tests. *Sustainability*, 14(3), 1275.

El Hoseny, M., Ma, J., Dawoud, W. ve Forcellini, D. (2023). The role of soil structure interaction (SSI) on seismic response of tall buildings with variable embedded depths by experimental and numerical approaches. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 164, 107583.

Fatahi, B. ve Tabatabaiefar, S. H. R. (2014). Fully nonlinear versus equivalent linear computation method for seismic analysis of midrise buildings on soft soils. *International Journal of Geomechanics*, 14(4).

Fatahi, B., Tabatabaiefar, S. H. R., ve Samali, B. (2014). Soil-structure interaction vs Site effect for seismic design of tall buildings on soft soil. *Geomechanics and Engineering*, 6(3), 293-320.

Fattah, M. Y., Salim, N. M. ve Al-Shammary, W. T. (2015). Effect of embedment depth on response of machine foundation on saturated sand. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 40(11), 3075-3098.

Forcellini, D. (2021). A novel framework to assess soil structure interaction (SSI) effects with equivalent fixed-based models. *Applied Sciences*, 11(21), 10472.

Forcellini, D. (2023). The role of soil–structure interaction (SSI) on the risk of pounding between low-rise buildings. *Structures*, 56, 105014.

Galal, K., and Naimi, M. (2008). Effect of soil conditions on the response of reinforced concrete tall structures to near-fault earthquakes. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17(3), 541-562.

Gan, J., Li, P. ve Liu, Q. (2019). Study on dynamic structure-soil-structure interaction of three adjacent tall buildings subjected to seismic loading. *Sustainability*, 12(1), 336.

Gazetas, G. (1983). Analysis of machine foundation vibrations: State of the art. *International Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2(1), 2-42.

Gazetas, G. (1991). Formulas and charts for impedances of surface and embedded foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117(9), 1363-1381.

Gazetas, G. ve Mylonakis, G. (1998). Seismic soil-structure interaction: new evidence and emerging issues. *Geotechnical Special Publication*, (75 II), 1119-1174.

Ghandil, M. ve Behnamfar, F. (2017). Ductility demands of MRF structures on soft soils considering soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 92, 203-214.

Goktepe, F., Celebi, E. ve Omid, A. J. (2019). Numerical and experimental study on scaled soil-structure model for small shaking table tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 119, 308-319.

Hafshejani, G. K., Dehkordi, P. F. ve Ghaderi, R. (2025). Seismic response of neighboring irregular structures seated at different embedment depths considering soil–structure interaction. *Structures*, 78, 109298.

Halabian, A. M. ve El Naggar, M. H. (2002). Effect of non-linear soil-structure interaction on seismic response of tall slender structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(8), 639-658.

Hall, W. S. ve Oliveto, G. (Eds.) (2003). *Boundary element methods for soil-structure interaction*. Springer Science and Business Media.

Hazem, A. R., Abdalla, H. A. ve El-Kashif, K. F. O. (2025). Nonlinear seismic response of underground structures using domain reduction method and considering soil structure interaction. *Structures*, 73, 108236.

Hu, Z., Li, J., Cui, J. ve Lin, G. (2024). Study on seismic performance and embedded effects on reactor buildings cluster considering nonlinear structure-soil-structure interaction. *Journal of Building Engineering*, 97, 110911.

Hwang, B. Y., Tran, N. X., Hwang, T. H., Hong, S., Nguyen, Q. T. B. ve Kim, S. R. (2025). Effect of soil-structure interaction on seismic earth pressure acting on building basements using 1g shaking table tests. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 192, 109298.

Iovino, M., Di Laora, R., Rovithis, E. ve De Sanctis, L. (2019). The beneficial role of piles on the seismic loading of structures. *Earthquake Spectra*, 35(3), 1141-1162.

Jahankhah, H., Ghannad, M. A. ve Rahmani, M. T. (2013). Alternative solution for kinematic interaction problem of soil-structure systems with embedded foundation. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 22(3), 251-266.

Kabtamu, H. G., Peng, G. ve Chen, D. (2018). Dynamic analysis of soil structure interaction effect on multi story RC frame. *Open Journal of Civil Engineering*, 08(04), 426-446.

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*, 51, 104296.

Karakostas, C., Morfidis, K., Rovithis, E. ve Theodoulidis, N. (2022). Soil-structure interaction effects on the seismic response of a public building in Lefkas, Greece. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(7), 3549-3575.

Kaya, D., Cakir, T., Ozturk, K. F. ve Araz, O. (2025). Effect of frequency content of ground motion on seismic response of buildings with variable aspect ratio

including soil-structure interaction. *Advances in Engineering Software*, 208, 103981.

Kim, S. ve Stewart, J. P. (2003). Kinematic soil-structure interaction from strong motion recordings. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(4), 323-335.

Kramer, S. L. (1996). *Geotechnical earthquake engineering*. Upper Saddle River, Prentice-Hall.

Li, J., Hou, H., Li, Z. ve Lin, G. (2025). Efficient approach for ground dynamic impedance function of the large-scale nuclear power plant footing under a layered site considering the embedded effect. *Computers and Geotechnics*, 178, 106917.

Li, P., Liu, S. ve Lu, Z. (2017). Studies on pounding response considering structure-soil-structure interaction under seismic loads. *Sustainability*, 9(12), 2219.

Liao, Z.P. ve Wong, H.L. (1984). A transmitting boundary for the numerical simulation of elastic wave propagation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 3 (4), 174–183.

Liu, M. Y., Chiang, W. L., Hwang, J. H. ve Chu, C. R. (2008). Wind-induced vibration of high-rise building with tuned mass damper including soil–structure interaction. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 96(6-7), 1092-1102.

Liu, X., Li, J., Li, Z. ve Lin, G. (2026). Concise seismic fragility computation method using ground motion input clustering under soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 200, 109769.

Livaoglu, R. (2005). Ayaklı depoların sıvı-yapı-zemin etkileşimleri dikkate alınarak deprem davranışlarının incelenmesi. Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

Livaoglu, R. ve Dogangun, A. (2007). Effect of foundation embedment on seismic behavior of elevated tanks considering fluid-structure-soil interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(9), 855-863.

Lu, Y., Hajirasouliha, I. ve Marshall, A. M. (2016). Performance-based seismic design of flexible-base multi-storey buildings considering soil-structure interaction. *Engineering Structures*, 108, 90-103.

Lysmer, J. ve Kuhlemeyer, R. L. (1969). Finite dynamic model for infinite media. *Journal of The Engineering Mechanics Division*, 95(4), 859-877.

Mahsuli, M. ve Ghannad, M. A. (2009). The effect of foundation embedment on inelastic response of structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 38(4), 423-437.

Makhmalbaf, M. O., Alitalesh, M., Samani, M. Z., ve Tutunchian, M. A. (2011). Parametric study on displacements of buildings considering the dynamic soil-structure interaction effects. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 16, 1617-1628.

Manav, Y., Toprak, S., Karakaplan, E. ve Inel, M. (2019). Soil improvement to counter liquefaction using colloidal silica grout injection. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 20(1), 135-145.

Miao, Y., Zhong, Y., Ruan, B., Cheng, K. ve Wang, G. (2020). Seismic response of a subway station in soft soil considering the structure-soil-structure interaction. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 106, 103629.

Miari, M. ve Jankowski, R. (2022). Analysis of floor-to-column pounding of buildings founded on different soil types. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(13), 7241-7262.

Mittal, V., Samanta, M. ve Kanungo, D. P. (2025). Influence of isolated footing embedment on the seismic performance of building considering the soil-foundation-structure interaction: An experimental approach. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 17(2), 1194-1212.

Mylonakis, G. ve Gazetas, G. (2000). Seismic soil-structure interaction: Beneficial or detrimental? *Journal of Earthquake Engineering*, 4(3), 277-301.

Nakhaei, M. ve Ghannad, M. A. (2008). The effect of soil–structure interaction on damage index of buildings. *Engineering Structures*, 30(6), 1491-1499.

Nguyen, Q. T. B., Hwang, B. Y., Hwang, T. H. ve Kim, S. R. (2025). Analytical method for estimating dynamic earth pressure on basement walls considering building inertia and soil–structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 197, 109520.

Nogami, T. ve Chen, H. S. (2002). Boundary differential equation method: simplified dynamic soil stiffnesses for embedded rigid foundations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 22(4), 323-334.

Oz, I., Senel, S. M., Palanci, M. ve Kalkan, A. (2020). Effect of soil-structure interaction on the seismic response of existing low and mid-rise RC buildings. *Applied Sciences*, 10(23), 1-21.

Ozturk, K. F., Cakir, T. ve Araz, O. (2022). A comparative study to determine seismic response of the box culvert wing wall under influence of soil-structure interaction considering different ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 162, 107452.

Ozturk, K. F., Cakir, T. ve Araz, O. (2023). Influences of wall configurations on earthquake behavior of cantilever retaining walls considering soil-structure interaction effects. *Journal of Earthquake and Tsunami*, 17(1), 2250021.

Ozturk, K. F., Ozyurt, E., Araz, O. ve Cakir, T. (2025). Assessment of seismic responses of square-hollow-section joints in a lattice girder with soil-structure interaction. *International Journal of Steel Structures*, 1-14.

Rayhani, M. H. ve El Naggar, M. H. (2008). Numerical modeling of seismic response of rigid foundation on soft soil. *International Journal of Geomechanics*, 8(6), 336-346.

Sáez E., Lopez-Caballero, F. ve Modaressi-Farahmand-Razavi, A. (2013). Inelastic dynamic soil-structure interaction effects on moment-resisting frame buildings. *Engineering Structures*, 51, 166-177.

Seed, H.B., Murarka, R., Lysmer, J. ve Idriss I.M. (1976) Relationships of maximum acceleration, maximum velocity, distance from source, and local site conditions for moderately strong earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 66(4), 1323-1342.

Song, L. L., Shi, X., ve Guo, T. (2021). SSI effects on the inelastic displacement ratios of flag-shaped hysteretic SDOF systems. *Structures*, 33, 113-127.

Spyrakos, C. C. ve Xu, C. (2004). Dynamic analysis of flexible massive strip-foundations embedded in layered soils by hybrid BEM-FEM. *Computers and Structures*, 82(29-30), 2541-2550.

Stewart, J. P., Seed, R. B. ve Fenves, G. L. (1999). Seismic soil-structure interaction in buildings. II: Empirical findings. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(1), 38-48.

Tabatabaiefar, S. H. R. ve Massumi, A. (2010). A simplified method to determine seismic responses of reinforced concrete moment resisting building frames under influence of soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(11), 1259-1267.

Tabatabaiefar, S. H. R., Fatahi, B. ve Samali, B. (2013). Seismic behavior of building frames considering dynamic soil-structure interaction. *International Journal of Geomechanics*, 13(4), 409-420.

Tabatabaiefar, S. H. R. ve Fatahi, B. (2014). Idealisation of soil-structure system to determine inelastic seismic response of mid-rise building frames. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 339-351.

Tabatabaiefar, S. H. R., Fatahi, B. ve Samali, B. (2014). An empirical relationship to determine lateral seismic response of mid-rise building frames under influence of soil-structure interaction. *Structural Design of Tall and Special Buildings*, 23(7), 526-548.

Takewaki, I., Takeda, N. ve Uetani, K. (2003). Fast practical evaluation of soil–structure interaction of embedded structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23(3), 13-20.

Tao, R., Liu, C., Bao, X., Shen, J., Chen, X. ve Cui, H. (2026). Seismic resilience assessment of multi-structure underground systems in liquefiable soils considering structure-soil-structure interaction effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 200, 109749.

TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2-1.pdf.

Torabi, H. ve Rayhani, M. T. (2014). Three dimensional finite element modeling of seismic soil-structure interaction in soft soil. *Computers and Geotechnics*, 60, 9-19.

Turan, A., Hinchberger, S. D. ve El Naggar, M. H. (2013). Seismic soil-structure interaction in buildings on stiff clay with embedded basement stories. *Canadian Geotechnical Journal*, 50(8), 858-873.

Van Nguyen, Q., Fatahi, B. ve Hokmabadi, A. S. (2016). The effects of foundation size on the seismic performance of buildings considering the soil-foundation-structure interaction. *Structural Engineering and Mechanics*, 58(6), 1045-1075.

Van Nguyen, Q., Fatahi, B. ve Hokmabadi, A. S. (2017). Influence of size and load-bearing mechanism of piles on seismic performance of buildings considering soil-pile-structure interaction. *International Journal of Geomechanics*, *17*(7), 04017007.

Veletsos, A. S. ve Meek, J. W. (1974). Dynamic behaviour of building-foundation systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 3(2), 121-138.

Veletsos, A. S., Prasad, A. M. ve Tang, Y. (1988). Design approaches for soil-structure interaction. Technical Report NCEER-88-0031, State University of New York, Buffalo.

Veletsos, A. S. ve Younan, A. H. (1997). Dynamic response of cantilever retaining walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(2), 161–172.

Vrettos, C. (1999). Vertical and rocking impedances for rigid rectangular foundations on soils with bounded non-homogeneity. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 28(12), 1525-1540.

Wang, H. F., Lou, M. L. ve Zhang, R. L. (2017). Influence of presence of adjacent surface structure on seismic response of underground structure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 100, 131-143.

Wilson, E. L. (2002). *Three-dimensional static and dynamic analysis of structures: Aphysical approach with emphasis on earthquake engineering* (3. Baskı). Computers ve Structures Inc.

Wolf, J. P. ve Somaini, D. R. (1986). Approximate dynamic model of embedded foundation in time domain. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 14(5), 683-703.

Wolf, J. P. (1994). *Foundation vibration analysis using simple physical models*. Pearson Education.

Wolf, J. P. ve Song, C. (1996a). *Finite Element Modelling of Unbounded Media*. Chichester: John Wiley&Sons, 331 s.

Wolf, J. P. ve Song, C. (1996b). Finite element modelling of unbounded media. 11th World Conference on Earthquake Engineering, Amsterdam, The Netherlands, paper no:70, 1-8.

Wu, Y., Gao, Z., Zhao, M. ve Du, X. (2024). Influence of structure-soil-structure interaction on seismic response and seismic migration performance of building structures. *Journal of Building Engineering*, 98, 111101.

Xu, J., Gao, M., Wang, Y., Yu, Z., Zhao, J. ve De Jong, M. J. (2025). Numerical investigation of the effects of separated footings on tunnel-soil-structure interaction. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 151(7), 04025057.

Yang, J., Lu, Z. ve Li, P. (2020). Large-scale shaking table test on tall buildings with viscous dampers considering pile-soil-structure interaction. *Engineering Structures*, 220, 110960.

Yong, Y., Zhang, R. ve Yu, J. (1997). Motion of foundation on a layered soil medium-I. Impedance characteristics. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 16(5), 295-306.

Zafarkhah, E. ve Dehkordi, M. R. (2017). Evaluation and numerical simulation of soil type effects on seismic soil-structure interaction response of RC structures. *Journal of Vibroengineering*, 19(7), 5208-5230.

Zhang, X. ve Far, H. (2022). Effects of dynamic soil-structure interaction on seismic behaviour of high-rise buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(7), 3443-3467.

Zhao, C. (2009). *Dynamic and transient infinite elements: theory and geophysical, geotechnical and geoenvironmental applications.* Springer Science and Business Media.

ÖZGEÇMİŞ

Dilek KAYA 2009 yılında Kayseri Mustafa Eminoğlu Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2009 yılında Kayseri Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve 1 yıl İngilizce hazırlık eğitimi aldı. 2011 yılında Çift Anadal Programı ile aynı üniversitede Harita Mühendisliği Bölümü'nü kazanarak her iki bölümden de 2014 yılında mezun oldu. Aynı yıl yapı denetim firmasında İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2015 yılı güz döneminde Kayseri Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı ve 2019 yılında tamamladı. 2016 yılında Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi'nde pedagojik formasyon eğitimi aldı. 2017 yılında Gümüşhane Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü'ne Öğretim Görevlisi olarak atandı. 2019 yılı güz döneminde Gümüşhane Üniversitesi'nde doktora öğrenimine başladı. Lisansüstü öğrenimi süresince yaptığı akademik çalışmalar aşağıda sunulmaktadır.

Yayınlar:

Kaya, D., Cakir, T., Ozturk, K. F. ve Araz, O. (2025). Effect of frequency content of ground motion on seismic response of buildings with variable aspect ratio including soil-structure interaction. *Advances in Engineering Software*, *208*, 103981.

Araz, O., Cakir, T., Ozturk, K. F. ve Kaya, D. (2023). Effect of foundation embedment ratio in suppressing seismic-induced vibrations using optimum tuned mass damper. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 171, 1-14.

Acar, M. C. ve Kaya, D. (2023). Geographic information system approach in evaluating the geotechnical properties of soils: A case study of Oymaağaç in Kayseri. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, *38*(2), 1079-1092.

Ozturk, K. F., Cakir, T. ve Kaya, D. (2025). Yakın Fay ve Uzak Fay Depremleri Altında Zemin-Boru Etkileşim Sisteminin Düzlem Deformasyon Analizi. 10. Türkiye Deprem Mühendisliği Konferansı, 8-10 Ekim 2025, İstanbul, Türkiye, ss. 382-395.

Kaya, D., Cakir, T. ve Ozturk, K. F. (2025). Dynamic Analysis of a High-Rise Building Under Near-Fault and Far-Fault Loads Considering Soil-Structure Interaction.

10th Turkish Conference on Earthquake Engineering, 8-10 October 2025, İstanbul, Türkiye.

Kaya, D., Cakir, T. ve Ozturk, K. F (2025). Dynamic analysis of a building structure including soil-structure interaction. 4th International Civil Engineering and Architecture Conference ,17-19 May 2025, Trabzon, Türkiye, ss. 718-728.

Kaya, D. ve Acar, M. C. (2022). Kayseri'de Bir Yerleşim Bölgesi için Sıvılaşma Potansiyelinin CBS Tabanli Değerlendirilmesi. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 18. Ulusal Konferansı, 29-30 Eylül 2022, Kayseri, Türkiye.

Kaya, D. ve Acar, M. C. (2019). Investigation of Spt Values By Spatial Analysis Method: Oymaağaç (Kayseri) Example. International Black Sea Coastline Countries Symposium-3, 18-20 October, Zonguldak, Türkiye, ss. 304-313.

Kaya, D. ve Acar, M. C. (2019). The Evaluation of the Bearing Capacity of Surface Foundation with GIS. III. International Scientific And Vocational Studies Congress – Engineering (BILMES EN 2019), 27-29 June 2019, Nevşehir, Türkiye, ss. 127-131.