

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK ÇOK KATLI BİR
YAPININ DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNİN
ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS

Ali Furkan PARLAK

HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK ÇOK KATLI BİR
YAPININ DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNİN
ETKİSİ**

**EFFECT OF GROUND FLOOR HEIGHT ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF
A MULTI-STOREY BUILDING CONSIDERING SOIL-STRUCTURE
INTERACTION**

YÜKSEK LİSANS

Ali Furkan PARLAK

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ DİKKATE ALINARAK ÇOK KATLI BİR
YAPININ DİNAMİK DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİN KAT YÜKSEKLİĞİNİN
ETKİSİ**

**EFFECT OF GROUND FLOOR HEIGHT ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF
A MULTI-STOREY BUILDING CONSIDERING SOIL-STRUCTURE
INTERACTION**

YÜKSEK LİSANS

Ali Furkan PARLAK

Danışman: Prof. Dr. Tufan ÇAKIR

**HAZİRAN-2023
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak çok katlı bir yapının dinamik davranışı üzerinde zemin kat yüksekliğinin etkisi**” isimli bu tezimin, tamamen kendi çalışmam olduğunu, her alıntıya kaynak gösterdiğimi, alıntı yaptığım tüm çalışmaları kaynakçada belirttiğimi 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 saklanması için izin verdiğimi onaylarım.

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

21/06/2023

Ali Furkan PARLAK

TEŞEKKÜR

“Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak çok katlı bir yapının dinamik davranışı üzerinde zemin kat yüksekliğinin etkisi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım boyunca zaman ayıran, tez çalışmamda planlanma sürecinden yazım sürecine kadar her aşamada bilgilerini ve tecrübelerini paylaşan, iyi niyeti ve hoşgörüsü ile çalışmalarına destek veren kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Tufan ÇAKIR’a saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım süresince gerek bakış açılarıyla gerekse her türlü destekleriyle yardımlarını esirgemeyen hocalarım Doç. Dr. Onur ARAZ’a ve Arş. Gör. Dr. Kaşif Furkan ÖZTÜRK’e sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca çalışmalarım süresince desteklerini sürekli yanımda hissettiğim, başarılı olacağıma dair inanç ve güvenlerini her zaman hissettiren annem Selime PARLAK’a, babam Cengiz PARLAK’a, kardeşlerim Sevilay PARLAK ile Selda PARLAK’a ve arkadaşlarıma sevgilerimi sunarım.

Ali Furkan PARLAK
GÜMÜŞHANE, 2023

ÖZET

Günümüzde konutlar, iş merkezleri, sağlık kurumları ve okullar gibi birçok mühendislik yapısı genellikle betonarme olarak inşa edilmektedir. Bu yapıların depremler nedeniyle ağır hasar görmesi veya çökmesi can ve mal güvenliğini ciddi şekilde tehlikeye sokabilmektedir. Bu nedenle betonarme yapı sistemlerinin deprem yükleri altındaki davranışlarının çeşitli modelleme yaklaşımlarıyla ortaya konulması büyük önem arz etmektedir.

Zemin-yapı etkileşim mekanizması dikkate alınarak gerçekleştirilen çözümlemelerde yapı doğal titreşim periyotlarının ve yapıda oluşacak iç kuvvetlerin zemin özelliklerine bağlı olarak değişebileceği bilinen bir husustur. Ayrıca zeminin karmaşık yapısından dolayı betonarme yapıların sismik davranışı üzerinde etkileşim etkilerinin araştırılması konusu halen güncelliğini korumaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak zemin kat yüksekliği değişiminin 15 katlı bir yapının dinamik davranışı üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, üç farklı zemin kat yüksekliği ve dört farklı temel zemin sistemi dikkate alınarak ANSYS paket programı aracılığıyla sayısal modeller oluşturulmuş ve bu modeller farklı frekans içeriğine sahip üç farklı deprem yüklemesi altında çözümlenmiştir. Analiz sonuçları yer değiştirmeler, göreceli kat ötelemeleri, ivmeler ve gerilmeler yönünden karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır. Sonuçlar, bu tepkilerin zemin kat yüksekliğine, zemin-yapı etkileşimine ve deprem frekans içeriğine bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Ansys, Betonarme yapı, Dinamik davranış, Göreceli kat ötelemesi, Zemin-yapı etkileşim mekanizması

SUMMARY

Today, many engineering structures such as residences, business centers, health facilities and schools are generally built with reinforced concrete. Heavy damage or collapse of these structures due to earthquakes can seriously endanger the safety of life and property. Therefore, it is of great importance to reveal the behavior of reinforced concrete structural systems under earthquake loads with various modeling approximations.

It is a known fact that the natural vibration periods of the structure and the internal forces that will occur in the structure may change depending on the soil properties in the analyzes carried out considering the soil-structure interaction mechanism. In addition, due to the complex structure of the soil, the subject of investigating the interaction effects on the seismic behavior of reinforced concrete structures is still up-to-date. The main target of this study is to examine the effects of ground floor height change on the dynamic behavior of a 15-storey building considering soil-structure interaction. In line with this target, numerical models were established considering three different ground floor heights and four different foundation soil systems through the ANSYS package program, and these models were analyzed under three different earthquake loadings with different frequency content. Analysis results were discussed comparatively in terms of displacements, relative storey drifts, accelerations and stresses. The results indicated that these responses may vary depending on the ground floor height, soil-structure interaction and earthquake frequency content.

Keywords: Ansys, Reinforced concrete structure, Dynamic behavior, Relative storey drift, Soil-structure interaction mechanism

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	IV
TEŞEKKÜR	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Zemin-Yapı Etkileşimi	2
1.3. Literatür Araştırması	3
1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	9
2.1. İncelemeye Konu Olan Yapılar	9
2.2. Dikkate Alınan Zemin Koşulları ve Deprem Kayıtları	10
2.3. MODEL-1'in Analizi	12
2.3.1. MODEL-1 İçin Önerilen Sonlu Elemanlar Modeli	12
2.3.2. MODEL-1'in Sismik Analizi	13
2.3.2.1. MODEL-1 İçin Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi	20
2.3.2.2. MODEL-1 İçin Göreli Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi	23
2.3.2.3. MODEL-1 İçin Gerilmelerin İrdelenmesi	24
2.3.2.4. MODEL-1 İçin İvmelerin İrdelenmesi	27
2.4. MODEL-2'nin Analizi	30
2.4.1. MODEL-2 İçin Önerilen Sonlu Elemanlar Modeli	30
2.4.2. MODEL-2'nin Sismik Analizi	30
2.4.2.1. MODEL-2 İçin Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi	36
2.4.2.2. MODEL-2 İçin Göreli Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi	39
2.4.2.3. MODEL-2 İçin Gerilmelerin İrdelenmesi	40
2.4.2.4. MODEL-2 İçin İvmelerin İrdelenmesi	43

2.5. MODEL-3'ün Analizi	46
2.5.1. MODEL-3 İçin Önerilen Sonlu Elemanlar Modeli.....	46
2.5.2. MODEL-3'ün Sismik Analizi	46
2.5.2.1. MODEL-3 İçin Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi	52
2.5.2.2. MODEL-3 İçin Göreli Kat Ötelemelerin İrdelenmesi	55
2.5.2.3. MODEL-3 İçin Gerilmelerin İrdelenmesi.....	56
2.5.2.4. MODEL-3 İçin İvmelerin İrdelenmesi	59
2.6. Yapı Deprem Davranışı Üzerinde Zemin Kat Yüksekliği Etkilerinin İrdelenmesi .	62
2.7. Yapı Deprem Davranışı Üzerinde Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi	72
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
KAYNAKÇA	84
ÖZGEÇMİŞ	88

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Çözümlmelerde dikkate alınan temel zeminine ait özellikler	10
Tablo 2. Çözümlmelerde dikkate alınan deprem kayıtlarına ait özellikler	11
Tablo 3. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen yer değıştirme değeri	14
Tablo 4. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen yer değıştirme değeri	14
Tablo 5. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen yer değıştirme değeri	15
Tablo 6. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen görelî kat ötelemeleri	15
Tablo 7. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen görelî kat ötelemeleri	16
Tablo 8. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen görelî kat ötelemeleri	16
Tablo 9. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen gerilme değeri	17
Tablo 10. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen gerilme değeri	17
Tablo 11. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen gerilme değeri	18
Tablo 12. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen ivme değeri	18
Tablo 13. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen ivme değeri	19
Tablo 14. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen ivme değeri	19
Tablo 15. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2’den elde edilen yer değıştirme değeri	31
Tablo 16. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2’den elde edilen yer değıştirme değeri	31

Tablo 17. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen yer değiştirme değerleri	32
Tablo 18. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen görelî kat ötelemeleri	32
Tablo 19. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen görelî kat ötelemeleri	33
Tablo 20. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen görelî kat ötelemeleri	33
Tablo 21. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen gerilme değerleri	34
Tablo 22. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen gerilme değerleri	34
Tablo 23. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen gerilme değerleri	35
Tablo 24. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen ivme değerleri	35
Tablo 25. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen ivme değerleri	36
Tablo 26. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen ivme değerleri	36
Tablo 27. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen yer değiştirme değerleri	47
Tablo 28. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen yer değiştirme değerleri	47
Tablo 29. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen yer değiştirme değerleri	48
Tablo 30. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen görelî kat ötelemeleri	48
Tablo 31. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen görelî kat ötelemeleri	49
Tablo 32. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen görelî kat ötelemeleri	49
Tablo 33. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen gerilme değerleri	50

Tablo 34. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen gerilme değerleri	50
Tablo 35. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen gerilme değerleri	51
Tablo 36. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen ivme değerleri	51
Tablo 37. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen ivme değerleri	52
Tablo 38. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen ivme değerleri	52



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Ele alınan yapıya ait kalıp planı.....	10
Şekil 2. 1983 Coalinga depremine ait ivme kaydı	11
Şekil 3. 2004 Parkfield depremine ait ivme kaydı	11
Şekil 4. 1989 Loma Prieta depremine ait ivme kaydı	11
Şekil 5. MODEL-1 için oluşturulan sonlu eleman modeli.....	12
Şekil 6. MODEL-1 için x doğrultusundaki yatay yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi	21
Şekil 7. MODEL-1 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	22
Şekil 8. MODEL-1 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	22
Şekil 9. MODEL-1 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	22
Şekil 10. MODEL-1 için x doğrultusundaki görelî kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi	24
Şekil 11. MODEL-1 için x doğrultusunda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi	25
Şekil 12. MODEL-1 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	26
Şekil 13. MODEL-1 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	26
Şekil 14. MODEL-1 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	26
Şekil 15. MODEL-1 için x doğrultusunda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi.....	28
Şekil 16. MODEL-1 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	29
Şekil 17. MODEL-1 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	29
Şekil 18. MODEL-1 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	29
Şekil 19. MODEL-2 için oluşturulan sonlu eleman modeli.....	30

Şekil 20. MODEL-2 için x doğrultusundaki yatay yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi	37
Şekil 21. MODEL-2 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	38
Şekil 22. MODEL-2 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	38
Şekil 23. MODEL-2 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	39
Şekil 24. MODEL-2 için x doğrultusundaki göreceli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi	40
Şekil 25. MODEL-2 için x doğrultusunda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi	41
Şekil 26. MODEL-2 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	42
Şekil 27. MODEL-2 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	42
Şekil 28. MODEL-2 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	42
Şekil 29. MODEL-2 için x doğrultusunda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi.....	44
Şekil 30. MODEL-2 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	44
Şekil 31. MODEL-2 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	45
Şekil 32. MODEL-2 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	45
Şekil 33. MODEL-3 için oluşturulan sonlu eleman modeli.....	46
Şekil 34. MODEL-3 için x doğrultusundaki yatay yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi	53
Şekil 35. MODEL-3 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	54
Şekil 36. MODEL-3 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	54
Şekil 37. MODEL-3 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	55
Şekil 38. MODEL-3 için x doğrultusundaki göreceli kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi	56

Şekil 39. MODEL-3 için x doğrultusundaki gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi	57
Şekil 40. MODEL-3 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	58
Şekil 41. MODEL-3 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	58
Şekil 42. MODEL-3 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	59
Şekil 43. MODEL-3 için x doğrultusundaki ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi.....	60
Şekil 44. MODEL-3 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 45. MODEL-3 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	61
Şekil 46. MODEL-3 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi.....	61
Şekil 47. S2 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen yer değiştirmeler	63
Şekil 48. Coalinga deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	64
Şekil 49. Parkfield deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	64
Şekil 50. Loma Prieta deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi	64
Şekil 51. S2 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen göreceli kat ötelemeleri	66
Şekil 52. S1 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen gerilmeler.....	67
Şekil 53. Coalinga deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	68
Şekil 54. Parkfield deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	68
Şekil 55. Loma Prieta deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	69
Şekil 56. S4 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen ivmeler	70

Şekil 57. Coalinga deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen ivmelerin zamana bağlı değişimi	71
Şekil 58. Parkfield deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen ivmelerin zamana bağlı değişimi	71
Şekil 59. Loma Prieta deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen ivmelerin zamana bağlı değişimi	71
Şekil 60. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S3 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen yer değiştirmeler	73
Şekil 61. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-1 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen yer değiştirmeler	74
Şekil 62. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-2 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen yer değiştirmeler	74
Şekil 63. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-3 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen yer değiştirmeler	75
Şekil 64. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S3 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen göreceli kat ötelemeleri	76
Şekil 65. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S2 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen gerilmeler	77
Şekil 66. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-1 için S2 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen gerilmeler	78
Şekil 67. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-2 için S2 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen gerilmeler	78
Şekil 68. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-3 için S2 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen gerilmeler	78
Şekil 69. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S3 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen ivmeler	79
Şekil 70. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-1 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen ivmeler	80
Şekil 71. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-2 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen ivmeler	80
Şekil 72. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-3 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen ivmeler	81

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: X doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük ivme
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
MODEL-1	: 3 m zemin kat yükseklikli betonarme bina
MODEL-2	: 3.75 m zemin kat yükseklikli betonarme bina
MODEL-3	: 4.5 m zemin kat yükseklikli betonarme bina
S	: x doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük gerilme
t	: Zaman
ν	: Poisson oranı
v_p	: Boyuna dalga hızı
v_s	: Kayma dalgası hızı
u	: En büyük yatay yer değiştirme
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
γ	: Zemin birim hacim ağırlığı
δ	: Göreli kat ötelemesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Dünyanın birçok ülkesi coğrafi konumları itibarıyla ve aktif fay hatları nedeniyle depremilerin yıkıcı etkilerine maruz kalmakta ve can kayıpları ile önemli ölçüde ekonomik ve sosyal kayıplar vermektedir. Bu nedenle mühendislik yapılarının, depremi kabul sınırları içerisinde değerlendirilebilecek hasarlar ile atlatmaları ve deprem sonrasında fonksiyonlarını devam ettirebilmeleri kritik bir öneme sahiptir (Öztürk ve Çakır, 2017). Son yıllarda yapılan akademik çalışmalar ile depremin yapılar üzerindeki bazı olumsuz etkileri ortaya konulmuştur. Diğer yandan zemin-yapı etkileşimi nedeniyle yapıların sismik tepkilerinde meydana gelebilecek değişimleri belirlemek amacıyla farklı zemin koşulları ve yapısal sistemler göz önüne alınarak araştırmalar sürdürülmektedir.

Ülkemizin jeolojik konumu nedeniyle aktif deprem kuşakları üzerinde yer almasından dolayı yapı stokumuzun önemli bir kısmı orta ve büyük şiddetteki depremlerde yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Depremlerin konum ve zamanla ilgili özelliklerinin belirlenemez olduğu gerçeği, insanların deprem sırasında bulunmuş oldukları yapısal mekanları temsil eden binaların ve çalışma alanlarının deprem etkisindeki performanslarını önemli bir araştırma konusu haline getirmektedir. Ayrıca depremlerin oluşturacağı büyük ölçekli can ve mal kayıplarının önüne geçebilmek amacıyla yönetmeliklere uygun olara tasarlanması gereken yapılara etkiyecek deprem kuvvetlerinin, yapı yüksekliğine ve bulunmuş oldukları zemin ortamının özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişebileceği bilinmektedir.

Mühendislik yapıları yönetmelikler çerçevesince statik ve sismik etkiler dikkate alınarak tasarlanmaya çalışılmaktadır. Ancak meydana gelen depremlerin birçok yapıda hasara neden olduğu da bir gerçektir. Buna en güncel örnek olarak ülkemizde onlarca yapının yıkılmasına ve onlarca yapının ağır, orta ve az hasar almasına sebebiyet veren 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri verilebilir. Bu çerçevede depremin büyüklüğünün ve süresinin önceden belirlenemeyecek olmasından dolayı, yapılara etkimesi muhtemel kuvvetlerin kesitleri zorlamasının beklendiği yerlerde taşıma kapasitesinin doğru bir şekilde hesaplanması ve izin verilebilir hasarlarla orantılı olarak gerekli sünekliliğin tesis edilmesi kritik bir öneme haizdir (Celep, 2017).

1.2. Zemin-Yapı Etkileşimi

Yapılar maruz kalacakları bir etkiye karşı gerekli dayanım sağlanarak projelendirilmektedir. Klasik tasarımda dayanım ve etki, kuvvet cinsinden ele alınmakta ve dış kuvvetler etkisi altında iç kuvvetler belirlenerek taşıyıcı elemanların bu kuvvetleri güvenli bir şekilde taşıması hedeflenmektedir. Diğer yandan deformasyonların izin verilebilir limitleri aşmaması da servis şartlarının sağlanabilmesi bakımından önem arz etmektedir (Sucuoğlu, 2008).

Yapı sistemlerinin analizlerinde büyük bir çoğunlukla yapıların şekil değiştirmeyen rijit bir zemin ortamına ankastre olarak mesnetlenmiş olduğu kabul edilerek temel/zemin sistemiyle yapı arasındaki etkileşimsel faktörler ihmal edilmektedir. Bu yaklaşım, yüksek rijitliğe sahip kaya türü zeminlerde yapılan yapılarda çoğunlukla doğru sonuçlar vermesine karşın düşük rijitliğe sahip zeminlerde yapılan yapılarda doğruluğunu yitirmektedir. Çünkü yapı ve zemin sistemleri deprem anında farklı şekilde hareketler sergiledikleri için zemin sistemi yapının davranışını etkilemektedir. Etkileşim nedeniyle yapının sönüm oranının yanı sıra hakim titreşim periyodu da değişmektedir. Buna örnek olarak 1985 Meksika Depremi verilebilir. Bu deprem özelinde, etkileşimin dikkate alınmadığı analizlerde yapıların doğal titreşim periyotları 1 s civarında iken, etkileşim mekanizması nedeniyle periyotların 2 s'ye çıktığı ve bu durumun büyük hasarlara sebebiyet verdiği bilinmektedir (Mylonakis ve Gazetas, 2000). Benzer şekilde Adana-Ceyhan Depremi incelendiğinde, etkileşim karakterinin yapı sistemlerinin göçmelerinde önemli rol oynadığı söylenebilmektedir (Çelebi, 1998). Yaşanan bu felaketler sonrasında, zemin-yapı etkileşiminin ihmal edilmesinin büyük sorunlara sebep olduğu ve yapı sistemlerinin dinamik davranışını önemli ölçüde değiştirebildiği açıkça görülmektedir. Etkileşim olgusu; yüksek katlı yapılar, barajlar, baca ve kule gibi narin yapılar, silolar, derin temele sahip yapılar, su depoları, nükleer güç santralleri, menfezler ve köprüler gibi yapısal sistemlerin dinamik performanslarının tahkikinde büyük önem arz etmektedir. Çünkü çok değişken özelliklere sahip bu yapı sistemleri, günümüzde zorunluluktan ötürü aktif deprem bölgesi olarak nitelendirilen yerlerde de inşa edilebilmektedir. Ayrıca zorunlu olarak bu yapıların çok değişken saha koşullarına sahip ortamlarda yapılması, dinamik etkileşim probleminin vuku bulmasına vesile olmaktadır. Bu da analizlerde, etkileşim sisteminin dinamik karakteristiklerinin göz önüne alınmasını gerektirmektedir (Aydınoğlu, 1977).

Yapısal analizlerde genelde zemin-yapı etkileşimi önemli bir kıstas olduğu için, çalışmalarda bu etkileşim geliştirilen yöntemler doğrultusunda irdelenmiştir. Etkileşim probleminin çözümü için literatürde önerilen yöntemler; “Alt Sistem Yaklaşımları”,

“Veletsos Yaklaşımı”, “NEHRP 2001 Yaklaşımı”, “Doğrudan Çözüm Yöntemlerine Dayalı Kütlesiz Temel Yaklaşımı” ve “Doğrudan Çözüm Yöntemlerine Dayalı Yapay Sınır Yaklaşımı” gibi farklı ana başlıklar altında ele alınabilmektedir.

Etkileşim mekanizması sonlu eleman yöntemleriyle göz önüne alındığında “Kütlesiz Temel Yaklaşımı”nın yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Zira bu yaklaşıma ilişkin formülasyonlar; analitik manada basit, teorik anlamda doğru ve birçok yapısal analiz programında kullanılabilir nitelikte olup her çeşit kaynaktan üretilen deprem dalgalarının neden olduğu serbest alan hareketleri için elverişlidir. Bu yöntemde, etkileşim analizinden önce yapı taban seviyesindeki serbest alan hareketleri belirlenmekte ve daha sonra ilgili etkileşim sisteminin bu hareket etkisinde olduğu düşünülerek analiz gerçekleştirilmektedir (Livaoğlu, 2005). Bu tez çalışması kapsamında zemin-yapı etkileşimi problemi doğrudan çözüm yöntemlerinden biri olan kütlesiz temel yaklaşımı ile ele alınmıştır. Bu yaklaşım dikkate alınarak bina-temel-zemin etkileşim sistemlerinin davranışını temsil edebilecek modeller oluşturulmuş ve bu modeller zaman tanım alanında analizlere tabi tutulmuştur. Geliştirilen modellerde yapı ve zemin sisteminin davranışı doğrusal elastik olarak dikkate alınmıştır.

1.3. Literatür Araştırması

Aktif deprem kuşakları üzerinde bulunan ülkemiz; coğrafi konumu, topoğrafik yapısı ve tektonik özellikleri nedeniyle büyük can ve mal kayıplarıyla sonuçlanan şiddetli depremlere maruz kalmaktadır. Bu durumda yapıların deprem kuvvetlerini olabildiğince az hasarla atlatmaları ve deprem sonrasında işlevlerini devam ettirebilmeleri insanlar için büyük öneme sahiptir. Bu sebeple sismik yüklerin etkisindeki farklı yapılarda etkileşim problemlerinin incelenmesi ve problemlili zeminlerin iyileştirilmesinin üzerinde önemle durulması gereken konular olduğu açıktır. Bu bölümde, farklı yapı sistemlerinin dinamik davranışı üzerinde etkileşim etkilerinin incelendiği başlıca çalışmalar özetlenmektedir.

Dutta (2001), tek katlı asimetrik ve esnek olmayan binaların burulma davranışını ele almıştır. Yapılan incelemelerde kuvvet merkezinin sürekli kaydığı ve eksantrisitenin de kuvvet merkezinde meydana gelen etkiye bağlı olarak büyüdüğü görülmüştür. Bu durumun ise yapıda meydana gelen yer değiştirme değerini ve süneklik talebini büyük oranda artırdığı belirtilmiştir. Takewaki vd. (2003), koni modelini kullanarak gömülü yapılar için etkileşim etkilerinin hızlı bir şekilde değerlendirildiği bir yöntem önermişlerdir. Çalışmalarında dört farklı kayma dalgası hızı ve gömülme oranı dikkate alarak transfer fonksiyonu genliğinin değişimi üzerinde değerlendirmelerde

bulunmuşlardır. Bhattacharya vd. (2004), farklı zemin koşulları, kat adedi, açıklık sayısı, kolonların eğilme rijitliğinin kirişlerinkine oranı ve yer hareketi frekansı gibi çeşitli parametreleri göz önüne alarak radye temele oturan bir yapının sismik davranışı üzerinde zemin esnekliğinin etkilerini araştırmışlar ve doğal periyot ile taban kesme kuvvetinin etkileşime dayalı değişimi üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Buna benzer bir çalışmada, Bhattacharya ve Dutta (2004), yine zemin şartları, kat sayısı, açıklık sayısı, kolonların eğilme rijitliğinin kirişlerinkine oranı ve yer hareketi frekansı gibi parametreleri kullanarak binaların doğal titreşim periyodunun değişimini incelemişlerdir. Dinamik karakteristiklerin belirlenebilmesi için sunulan değişim eğrilerinin herhangi bir binanın davranışı üzerinde zemin-yapı etkileşim etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılabileceğini ifade etmişlerdir. Ayrıca bu eğrilerin etkileşime dayalı taban kesme kuvveti hesabında pratik bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır. Miranda ve Taghavi (2005), deprem etkisi altındaki çok katlı yapılarda, kat ivme taleplerini tahmin etmek için yaklaşık bir yöntem önermişlerdir. Yapı yüksekliği boyunca yanal rijitlikte meydana gelen azalmaların; mod şekilleri, modal katılım faktörleri ve periyot oranları üzerindeki etkilerini irdelemişlerdir. Doğangün ve Livaoğlu (2006), Türk Deprem Yönetmeliği'nde önerilen tasarım spektrumlarını, Tek Tip Yapı Yönetmeliği (Uniform Building Code), Avrupa Birliği Yönetmeliği (Eurocode 8) ve Uluslararası Yapı Yönetmeliği (International Building Code) tarafından önerilen tasarım spektrumları ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca farklı zeminler üzerine inşa edilen binaların dinamik analizinde farklı yönetmeliklerin kullanılmasının; periyot değerlerinde, yer değiştirmelerde, görelî kat ötelemelerinde ve taban kesme kuvvetlerinde meydana getirdiği farklılıkları irdelemişlerdir. Tabatabaiefar ve Massumi (2010), çalışmalarında etkileşim olgusunu dikkate alarak betonarme yapıların sismik tepkilerini sonlu eleman yöntemi ile incelemişlerdir. Bu çalışmada üç farklı zemin sistemi üzerinde dört farklı yapı modellenmiş ve farklı ivme büyüklüklerine sahip deprem kayıtları kullanılarak dinamik analizler gerçekleştirmişlerdir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda, kayma dalgası hızının $375 < V_s < 750$ m/s olduğu zemin üzerine inşa edilen binaların sismik tasarımında etkileşimin dikkate alınmasının gerekli olmadığını, $175 < V_s < 375$ m/s olan zemin üzerinde bulunan yedi kattan yüksek yapıların sismik tasarımında etkileşiminin dikkate alınmasının gerekli olduğunu ve $V_s < 175$ m/s olan zemin üzerinde bulunan üç kattan yüksek yapıların sismik tasarımında etkileşiminin dikkate alınmasının gerekli olduğunu vurgulamışlardır. Roy ve Dutta (2010), çalışmalarında deprem esnasında yapıların sünek davranış gösterdiğini temel alan yapı yönetmeliklerinin depreme dayanıklı tasarımda tasarım kuvvetlerini azaltmak için tepki

azaltma faktörlerini uyguladığını ancak bu faktörlerin uygulanabilirliğinin düşük katlı binalar için sistematik olarak araştırılmadığını ileri sürerek zemin-yapı etkileşim etkileri altında düşük katlı binaların elastik olmayan sismik talebi üzerine araştırmalar gerçekleştirmişler ve özellikle rijit sistemlerde sismik talebin etkileşim nedeniyle orta dereceli sismik sarsıntı altında bile önemli mertebelerde olabileceğini göstermişlerdir. Çelebi vd. (2012), çalışmalarında zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak bina sistemlerinin sismik tepkisinin tahmini için iki boyutlu sonlu eleman analizleri gerçekleştirmişlerdir. Modellemelerde dalga yayılımı etkileri viskoz sınırlar ile dikkate alınmıştır. Zemin rijitliği artarken sismik hareketin frekans içeriğinin sismik tepkiyi değiştirmede büyük bir etkiye sahip olduğunu ve farklı yer hareketleri etkisi altında zemin-yapı etkileşiminin mertebesinin dikkate alınan tüm zemin koşulları ve yapısal modeller için farklı olduğunu belirtmişlerdir. Tabatabaiefar vd. (2013), çalışmalarında zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak 10 katlı betonarme yapının sismik davranışını sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Yapılan çalışmada Avustralya standartlarına ait üç farklı zemin sistemi ve dört farklı ivme büyüklüğüne sahip deprem kaydı dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda yazarlar, yüksek rijitliğe sahip zemin üzerine inşa edilen yapının can güvenliği performans hedefini sağlamasına karşın düşük rijitliğe sahip zemin sistemlerinde göçme durumunun gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Torabi ve Rayhani (2014), çalışmalarında sonlu elemanlar yöntemini kullanarak yumuşak zemin ortamında etkileşim analizleri gerçekleştirmişlerdir. Yapı ve zemin sistemi modellenirken, yapı sistemi lineer elastik koşullarda tek serbestlikli bir yapı olarak dikkate alınmış ve zemin sisteminin davranışı için doğrusal olmayan elasto-plastik özelliğe sahip bir zemin modeli benimsenmiştir. Sonuç olarak rijit narin (uzun) yapıların; doğal frekansta, temelin dönmesinde ve taban kesme kuvvetinde değişime sebep olan zemin-yapı etkileşim etkilerine oldukça duyarlı olduğunu göstermişlerdir. Xiong vd. (2016), çalışmalarında $\frac{1}{4}$ ölçekli çelik çerçeveli yapı modeli kullanarak yapıların hakim periyotları üzerindeki zemin-yapı etkileşiminin etkisinin belirlenmesi için deneysel ve sayısal çalışmalar yapmışlardır. Yapı/zemin rijitlik oranının etkileşim mekanizması üzerinde etken bir parametre olduğunu vurgulamışlardır. Li vd. (2017), çalışmalarında deprem etkisi altında yapı-zemin-yapı etkileşim etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar sarsma tablası deneylerini ve ANSYS programını kullanarak üç boyutlu sonlu eleman modelleme çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada zemin davranışı eşdeğer lineer model ile temsil edilirken temel ile zemin arasındaki ara yüzey davranışı temas elemanlarıyla modellenmiştir. Bu çalışmada yapı-zemin-yapı etkileşimi komşu

yapıların dinamik tepkileri göz önünde bulundurularak analizler yürütülmüştür. Ghandil ve Behnamfar (2017), çalışmalarında doğrusal olmayan davranış sergileyen yumuşak zeminler üzerindeki moment dayanımlı çerçevelerin doğrusal olmayan tepkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada zemin-yapı etkileşimi doğrudan yöntem ile dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlar, zemin-yapı etkileşiminin yapının alt katlarındaki ötelemeleri ve süneklik taleplerini artırdığını göstermiştir. Goktepe vd. (2019), çalışmalarında farklı sismik hareketler etkisi altında siltli kum zemin üzerine oturan orta yükseklikteki betonarme yapıların dinamik tepkisi üzerinde zemin-yapı etkileşim etkilerini hem gerçek sistem hem de ölçeklendirilmiş test modeli için düzlem şekil değiştirme koşulları altında iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz etmişlerdir. Küçük ölçekli sarsma tablası deneylerinde kullanılan zemin-yapı etkileşim modeli için seçilen büyük geometrik ölçek katsayılarının, tam ölçekli zemin-yapı sisteminin dinamik tepkisini kabul edilebilir bir doğrulukla yakalayabileceğini, yerel zemin özelliklerinin ankastre tabanlı yapıya kıyasla yapıların deprem tepkisini önemli ölçüde artırdığını ve yapısal davranışın deprem frekans içeriğinden önemli ölçüde etkilendiğini belirtmişlerdir. Vicencio ve Alexander (2019), birbirleriyle etkileşim halinde olan biri simetrik diğeri ise asimetrik plana sahip iki binanın dinamik davranışını zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak incelemişlerdir. Yapı-zemin-yapı etkileşim mekanizmasının simetrik bir plana sahip olmayan yapıların yer değiştirme ve ivme tepkilerini önemli ölçüde etkileyebileceğini göstermişlerdir. Sharma vd. (2020), çalışmalarında zemin-yapı etkileşim etkilerini dikkate alarak kazıklı temel üzerindeki betonarme çerçeve sistemlerinin doğal periyotlarının belirlenmesi üzerine incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada çeşitli kazıklı temel ve zemin tipleri etkisi altında, çeşitli bina çerçeve konfigürasyonlarının doğal periyodunu elde etmek için detaylı sonlu eleman modellemeleri yapılmıştır. Kamal vd. (2022), çalışmalarında zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak orta yükseklikteki betonarme komşu binaların sismik davranışını incelemişlerdir. Bu çalışmada üç boyutlu yüksek sünekliğe sahip betonarme çerçeveli 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binalar tamamen doğrusal olmayan bir çerçeve elemanı olarak modellenmiştir. Yumuşak zeminler üzerinde bulunan bitişik binaların sismik davranışının ankastre taban varsayımından farklı olduğunu ve yumuşak zeminlerdeki komşu binaların birbirini etkilediği için bu binaların tek başına değerlendirilmemesi gerektiğini ifade etmişlerdir.

Yukarıda belirtilen çalışmalara ek olarak zemin-yapı etkileşimi konusunda pek çok çalışma yapılmış olup bu çalışmalarda genel olarak farklı zemin sistemleri, temel tipleri, kat yükseklikleri ve deprem frekans içerikleri dikkate alınarak yapıda

oluşabilecek dinamik tepkiler ortaya konulmuştur. Ayrıca sarsma tablası deney sonuçlarına dayanarak zemin-yapı etkileşim etkileri üzerine incelemeler gerçekleştirilmiştir (Lu vd., 2001; Hokmabadi vd., 2015; Hoseny vd., 2022). Öte yandan bazı çalışmalarda farklı temel tipleri dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemi ile zemin-yapı etkileşimi incelenmiştir. (Nguyen vd., 2016; Nguyen vd., 2017). Ayrıca etkileşim olgusunun dikkate alındığı birçok kapsamlı parametrik araştırma literatürde mevcuttur (Stewart vd., 1999; Mylonakis ve Gazetas, 2000; Lu vd., 2003; Lu vd., 2005; Tabatabaieifar vd., 2014; Tabatabaieifar ve Fatahi, 2014; Fatahi ve Tabatabaieifar, 2014; Zafarkhah ve Dehkordi, 2017; Qaftan vd., 2020; Terzi ve Athanatopoulou, 2021; Araz vd., 2022).

1.4. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çerçeve taşıyıcı sisteme sahip betonarme yapılar birçok farklı alanda değişik amaçlara yönelik olarak kullanılan yapı sistemleridir. Bu yapıların depremler esnasında kendilerinden beklenen performansı gösterebilmesi ve kullanılabilir kalması toplumlar açısından kritik önem arz etmektedir. Yapılan birçok bilimsel araştırmada can güvenliği sebebiyle büyük çoğunlukla bina türü yapı sistemleri çalışılmakla birlikte bu tür yapılar üzerinde detaylı çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Betonarme yapıların deprem davranışlarının gerçekçi olarak belirlenebilmesi için zemin-yapı etkileşim etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Zira betonarme yapı sistemlerinin deprem anında farklı zemin koşullarında aynı dinamik davranışı sergilemeyeceği söylenebilir. Ayrıca deprem dalgalarının ortam içerisinde yayılımı açısından sönüm değerlerinin doğru bir şekilde hesaba katılabilmesi, çoğu zaman üç boyutlu modelleme çalışmalarını gerekli kılmaktadır. Yapılan literatür incelemesinden üç boyutlu modelleme tekniğiyle, zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak çok katlı yapıların dinamik davranışı üzerinde zemin kat yüksekliğinin etkisi üzerine çok sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır.

Yukarıda belirtilen bilgiler ışığı altında:

- a) İncelemeye konu olan betonarme çerçeve sistemli yapıların sismik davranışının belirlenebilmesi amacıyla zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak üç boyutlu sayısal modeller önermek,
- b) Temel zemin özelliklerindeki değişime bağlı parametrik değerlendirmeler yaparak bu yapı sistemlerinin sismik yer değiştirme, görelî kat ötelemeleri, ivme ve gerilme tepkileri hakkında bilgi sahibi olabilmek,
- c) Farklı zemin kat yüksekliğinin yapı sisteminin yukarıda ifade edilen sismik tepkilerine etkilerini incelemek,

d) Farklı yer hareketlerinin yapı sisteminin sismik davranışları üzerindeki etkilerini değerlendirmek,
bu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

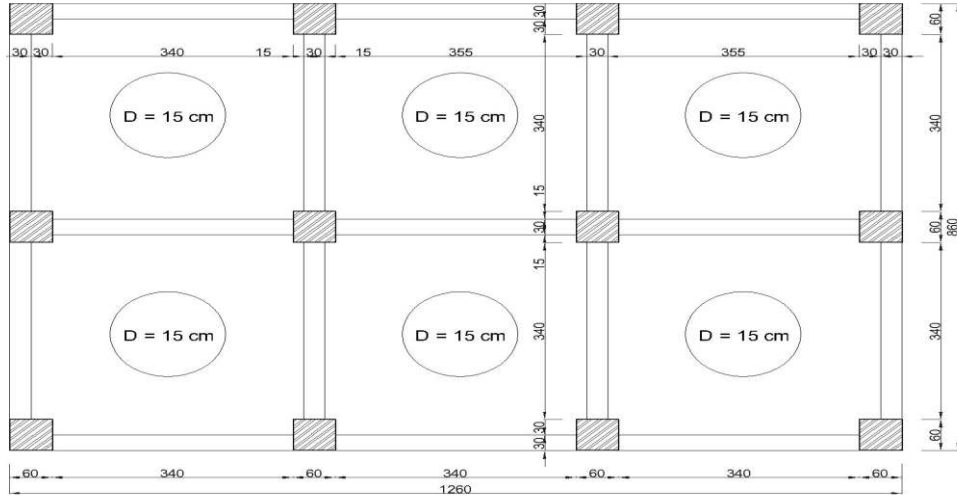
Çalışma kapsamında yapı sistemlerinin dinamik tepkilerinin incelenebilmesi için betonarme çerçeve sistem seçilmiştir. Betonarme çerçeve sistemli yapının incelenmek üzere seçilmesinde bir çok etken önemli yer tutmaktadır. Bunlardan biri günümüz bina stokunun önemli bir bölümünün çerçeve sistem olarak inşa edilmiş olması ve yaşam alanlarını oluşturan yapı sistemlerinin önemli ölçüde bu sistemlerden oluşmasıdır.

Betonarme yapı sistemlerinin yapısal analizlerinde bir takım farklılıklar olmakla birlikte bu çalışmanın kapsamını, zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak kolon, kiriş ve döşeme sistemlerinden oluşan 15 katlı ve aynı eleman en kesit alanlarına sahip betonarme yapıların sismik davranışı üzerinde zemin kat yüksekliği değişiminin etkilerinin incelenmesi oluşturmaktadır. Yapı sistemlerinin dinamik tepkileri, dört farklı temel zemini sistemi ve üç farklı zemin kat yüksekliği için farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemelerinin etkisi altında irdelenmiştir. Gerçekleştirilen parametrik analizler sonlu elemanlar tabanlı ANSYS paket programında gerçekleştirilmiştir.

Şekil 1’de sayısal analizlerde kullanılan yapı sistemine ait kalıp planı görülmektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarına ait boyutların belirlenmesinde ideCAD statik programı kullanılmıştır. Dinamik analizlerde C35 beton sınıfı kullanılmış olup yapıya ait birim hacim ağırlık 25 kN/m^3 , elastisite modülü 33000 MPa ve Poisson oranı 0.20 ’dir.

2.1. İncelemeye Konu Olan Yapılar

Dikkate alınan yapı sistemlerinin kat planı ve tüm betonarme özellikleri aynı olup bu yapılar üç farklı zemin kat yüksekliğine sahiptir. Yapının temel sistemi radye olarak seçilmiş olup temel kalınlığı 1 m ’dir. Sayısal sonuçların sunulmasında zemin kat yükseklikleri 3 m , 3.75 m ve 4.5 m olan binalar sırasıyla Model-1, Model-2 ve Model-3 olarak adlandırılmıştır.



Şekil 1. Ele alınan yapıya ait kalıp planı

2.2. Dikkate Alınan Zemin Koşulları ve Deprem Kayıtları

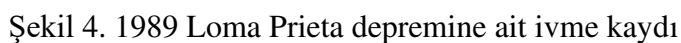
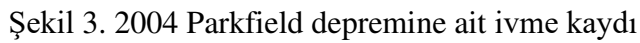
Etkileşim etkilerini değerlendirebilmek amacıyla oluşturulan modellerde farklı zemin sistemlerinin ve deprem kayıtlarının yapıda oluşturabileceği tepkileri belirlemek için dört farklı zemin sistemi ile üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak parametrik analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan temel zemin sisteminin özellikleri Tablo 1’de ve deprem kayıtlarının özellikleri Tablo 2’de listelenmektedir. Dikkate alınan deprem kayıtları frekans içeriği yönünden pik yer hızı (PGV) ve pik yer ivmesine (PGA) bağlı olarak üç ana başlık altında toplanmaktadır. Çalışma kapsamında deprem frekans içeriği: $PGA/PGV > 1.2$ için yüksek (1983 Coalinga), $1.2 \geq PGA/PGV \geq 0.8$ için orta (2004 Parkfield) ve $0.8 > PGA/PGV$ için düşük (1989 Loma Prieta) olarak tanımlanmıştır. Parametrik analizlerde dikkate alınan bu deprem kayıtlarının ivme-zaman geçmişleri Şekil 2~4’te verilmiştir.

Tablo 1. Çözümlemelerde dikkate alınan temel zeminine ait özellikler

Zemin Sistemi	E (kN/m ²)	G (kN/m ²)	ν	γ (kN/m ³)	v_s (m/s)	v_p (m/s)
S1	500000	200000	0.25	20	316.23	547.72
S2	300000	115385	0.30	19	246.43	461.03
S3	150000	57692	0.30	18	179.03	334.93
S4	50000	18519	0.35	17	104.37	217.27

E: Elastisite Modülü, G: Kayma Modülü, ν : Poisson Oranı, γ : Zemin Birim Hacim Ağırlığı, v_s : Kayma Dalgası Hızı, v_p : Boyuna Dalga Hızı

Deprem Kaydı	İstasyon	Bileşen	PGA (g)	PGV (m/s)	PGA/PGV (g/m/s)
1983 Coalinga	Oil City	C-OLC360	0.367	0.099	3.707
2004 Parkfield	Parkfield-Cholame 2WA	C02360	0.373	0.446	0.836
1989 Loma Prieta	Los Gatos-Lexington Dam	LEX000	0.435	0.857	0.508
PGA: En büyük yer ivmesi, PGV: En büyük yer hızı					

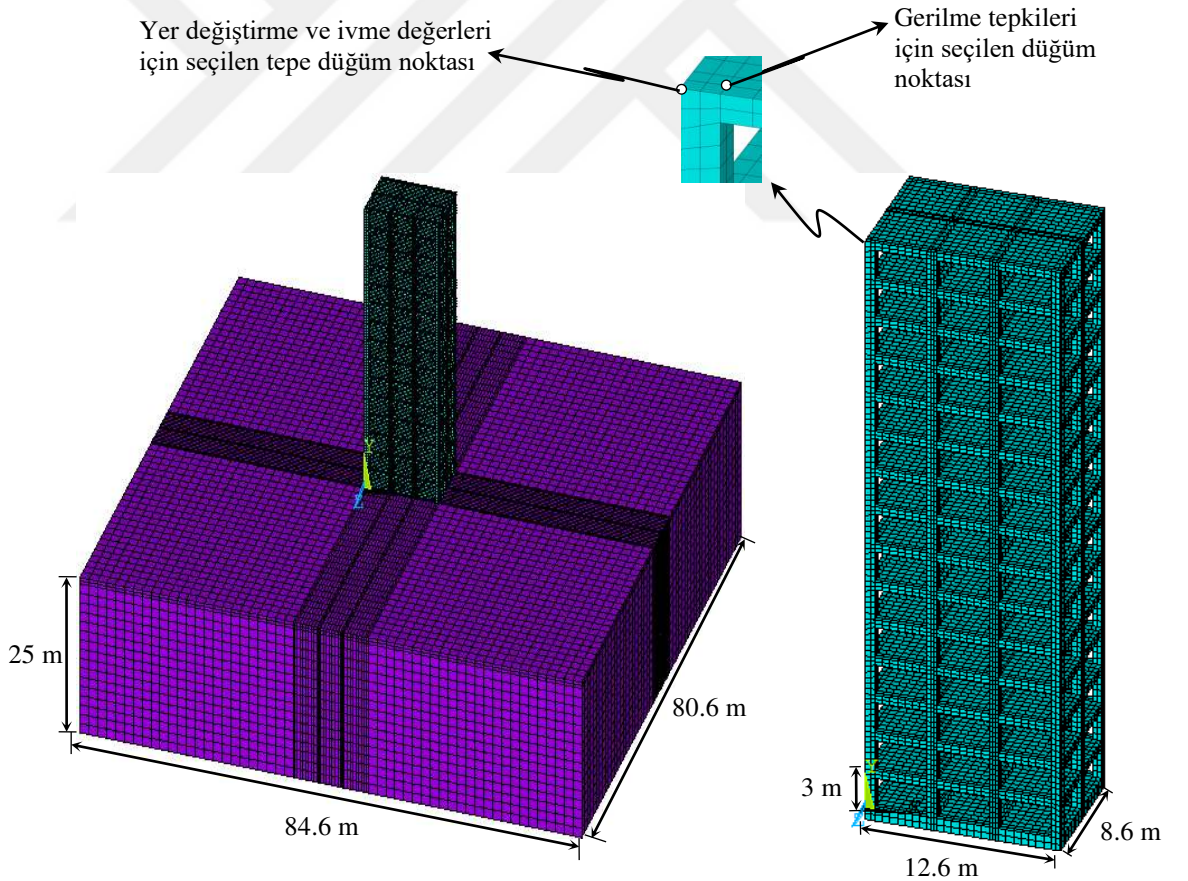


2.3. MODEL-1'in Analizi

Zemin kat yüksekliği 3 m olan 15 katlı betonarme yapının dinamik davranışını belirlemek amacıyla söz konusu yapısal sistemin sayısal modeli oluşturulmuş ve bu model dört farklı zemin sistemi ve üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak dinamik analize tabi tutulmuştur. Çözümlmelerden elde edilen en büyük yer değiştirme, göreceli kat ötelemesi, seçilen düğüm noktalarındaki gerilme ve ivme değerleri ile bunların oluş zamanları irdelenmiştir.

2.3.1. MODEL-1 İçin Önerilen Sonlu Elemanlar Modeli

3 m zemin kat yüksekliğine sahip betonarme bina ve temel zemin sistemi dikkate alınarak oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 5'te sunulmaktadır. Ayrıca sayısal sonuçların elde edildiği düğüm noktalarına ait örnek gösterim de Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. MODEL-1 için oluşturulan sonlu eleman modeli

Oluşturulan sonlu eleman modelinde; betonarme yapı sistemi ANSYS eleman kütüphanesinde yer alan SOLID65 elemanı ile, zemin sistemi ise SOLID45 elemanı ile tasarlanmıştır. SOLID65 elemanı her düğümünde üç ötelenme serbestliğine sahip sekiz düğüm noktalı bir katı eleman olmakla beraber basınç durumunda ezilebilmekte ve çekme durumunda çatlayabilmektedir. SOLID45 ise üç boyutlu katı ortamların modellenmesine uygun özellikte ve her düğümünde üç ötelenme serbestliğine sahip sekiz düğüm noktalı bir eleman olup; şişme, plastisite, büyük şekil değiştirme ve sünme karakteristiklerine sahiptir (Öztürk vd., 2022).

Bu tür etkileşim problemlerinin analizi kapsamında sınır şartlarının gerçeği yansıtan bir şekilde uygulanması kritik önem arz etmektedir. Çünkü yapılan modellerde gerçekte sonsuz büyüklükte olan zemin hacmi, sınırlı bir hacimle simüle edilmeye çalışılmakta ve bu da enerjiyi kapalı bir bölgede hapsetmek manasına gelmektedir (Çakır, 2010). Sonlu elemanlar modelinin boyutlarına karar verilirken, zemin sistemindeki boyut artışlarına bağlı olarak hassasiyet derecesinin ve dolayısıyla doğru sonuçlara ulaşma olasılığının arttığı bilinmektedir. Bu hususta yapılan parametrik çalışmalar sonucunda modellenen temel zemin sisteminin boyutları 84.6 m x 80.6 m x 25 m olarak belirlenmiştir. Bir diğer deyişle temel zemin sisteminin davranışının doğru şekilde belirlenebilmesi için temel-zemin birleşiminden itibaren kritik uzaklık, her iki doğrultuda da uygulanmak üzere, yatayda temel çapının 3 katı, ana kaya derinliği ise temel çapının 2 katı olacak şekilde dikkate alınmıştır.

2.3.2. MODEL-1'in Sismik Analizi

Yukarıda belirtilen zemin şartlarında ve deprem etkileri altında söz konusu etkileşim modelinin sismik analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirmeler, göreceli kat ötelemeleri, ivme ve gerilme değerleriyle birlikte bunların oluş zamanları Tablo 3~14'te gösterilmektedir. Burada elde edilen yer değiştirmeler, zemin düzeyine göre hesaplanan izafi (rölatif, göreceli) yer değiştirmeleri göstermektedir.

Tablo 3. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen yer değıştirme değeri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	3.60	-0.0234	3.38	0.0236	3.36	0.0229	2.08	-0.0194	2.38	-0.0194
14	3.60	-0.0223	3.38	0.0225	3.38	0.0218	2.08	-0.0180	2.38	-0.0175
13	3.60	-0.0209	3.38	0.0212	3.38	0.0207	2.10	-0.0163	2.38	-0.0151
12	3.58	-0.0192	3.38	0.0197	3.38	0.0195	2.10	-0.0146	3.96	-0.0130
11	3.58	-0.0174	3.38	0.0182	3.40	0.0183	2.70	0.0131	3.96	-0.0123
10	3.56	-0.0154	3.40	0.0169	3.40	0.0170	2.70	0.0118	2.46	-0.0121
9	3.66	-0.0141	3.40	0.0153	3.38	0.0154	2.70	0.0105	2.46	-0.0120
8	3.66	-0.0130	3.38	0.0136	3.38	0.0137	3.94	-0.0094	2.46	-0.0114
7	3.66	-0.0117	3.70	-0.0121	3.38	0.0118	3.94	-0.0090	2.46	-0.0103
6	3.66	-0.0103	3.70	-0.0104	3.36	0.0098	3.94	-0.0083	2.28	-0.0096
5	4.00	0.0088	3.70	-0.0086	3.36	0.0080	3.92	-0.0073	3.94	-0.0089
4	4.00	0.0071	3.70	-0.0067	3.92	-0.0068	3.92	-0.0064	3.94	-0.0079
3	3.98	0.0052	3.36	0.0049	3.92	-0.0052	2.22	-0.0052	2.26	-0.0063
2	3.98	0.0034	3.34	0.0032	3.90	-0.0035	2.22	-0.0037	2.24	-0.0044
1	3.98	0.0013	3.34	0.0015	3.90	-0.0017	2.22	-0.0018	2.24	-0.0022

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

Tablo 4. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen yer değıştirme değeri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	3.36	-0.1327	3.08	0.1355	3.10	0.1407	3.60	-0.1545	3.88	-0.1845
14	3.36	-0.1276	3.08	0.1296	3.10	0.1341	3.60	-0.1462	3.88	-0.1734
13	3.36	-0.1214	3.08	0.1229	3.08	0.1268	3.58	-0.1371	3.88	-0.1615
12	3.36	-0.1142	3.08	0.1153	3.08	0.1187	3.58	-0.1275	3.88	-0.1491
11	3.38	-0.1061	3.08	0.1069	3.52	-0.1102	3.58	-0.1172	3.88	-0.1361
10	3.38	-0.0977	3.46	-0.0983	3.52	-0.1017	4.16	0.1067	3.88	-0.1227
9	3.38	-0.0886	3.46	-0.0906	3.50	-0.0928	4.14	0.0977	3.86	-0.1098
8	3.38	-0.0789	3.46	-0.0822	3.50	-0.0838	4.14	0.0882	4.46	0.0972
7	3.38	-0.0687	3.46	-0.0733	3.50	-0.0743	4.14	0.0782	4.46	0.0859
6	3.40	-0.0584	3.46	-0.0637	3.50	-0.0643	4.14	0.0677	4.46	0.0743
5	3.40	-0.0479	3.46	-0.0536	3.48	-0.0541	4.14	0.0568	3.80	-0.0626
4	3.40	-0.0373	3.46	-0.0430	3.48	-0.0435	4.14	0.0455	3.80	-0.0510
3	3.42	-0.0266	3.46	-0.0320	3.48	-0.0324	4.14	0.0339	3.80	-0.0390
2	3.42	-0.0163	3.46	-0.0207	3.48	-0.0211	4.14	0.0223	3.80	-0.0265
1	3.42	-0.0064	3.46	-0.0095	3.48	-0.0099	4.14	0.0110	3.80	-0.0139

Tablo 5. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	4.66	-0.1866	5.64	-0.2695	5.70	-0.3246	6.36	0.4410	5.54	0.3784
14	4.66	-0.1799	5.64	-0.2583	5.70	-0.3102	6.36	0.4191	5.54	0.3569
13	4.66	-0.1719	5.64	-0.2456	5.70	-0.2944	6.36	0.3955	5.54	0.3346
12	4.66	-0.1626	5.64	-0.2315	5.70	-0.2769	6.36	0.3700	5.54	0.3115
11	4.66	-0.1520	5.64	-0.2159	5.70	-0.2579	6.36	0.3430	5.54	0.2878
10	4.66	-0.1402	5.64	-0.1991	5.70	-0.2376	6.36	0.3145	5.54	0.2634
9	4.66	-0.1273	5.64	-0.1810	5.70	-0.2160	6.36	0.2847	5.56	0.2387
8	4.66	-0.1135	5.64	-0.1620	5.70	-0.1933	6.36	0.2538	5.56	0.2136
7	4.64	-0.0992	5.64	-0.1421	5.70	-0.1696	6.36	0.2222	5.56	0.1880
6	4.64	-0.0844	5.64	-0.1215	5.70	-0.1453	6.36	0.1900	5.56	0.1620
5	4.64	-0.0692	5.64	-0.1005	5.70	-0.1204	6.36	0.1575	5.56	0.1358
4	4.64	-0.0538	5.64	-0.0792	5.70	-0.0953	6.36	0.1250	5.56	0.1092
3	4.64	-0.0384	5.64	-0.0579	5.70	-0.0701	6.36	0.0927	5.56	0.0826
2	4.64	-0.0232	5.64	-0.0369	5.70	-0.0453	6.36	0.0609	5.56	0.0560
1	4.64	-0.0090	5.64	-0.0169	5.70	-0.0214	6.36	0.0303	5.56	0.0298

Tablo 6. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen görelî kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006
14	0.0005	0.0004	0.0004	0.0006	0.0008
13	0.0006	0.0005	0.0004	0.0007	0.0009
12	0.0006	0.0005	0.0004	0.0005	0.0004
11	0.0007	0.0005	0.0005	0.0004	0.0000
10	0.0004	0.0005	0.0005	0.0004	0.0001
9	0.0004	0.0006	0.0006	0.0004	0.0002
8	0.0004	0.0005	0.0006	0.0001	0.0001
7	0.0005	0.0006	0.0007	0.0002	0.0000
6	0.0005	0.0006	0.0006	0.0001	0.0001
5	0.0006	0.0006	0.0004	0.0002	0.0002
4	0.0006	0.0006	0.0005	0.0003	0.0003
3	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005	0.0005
2	0.0007	0.0006	0.0006	0.0006	0.0007
1	0.0004	0.0004	0.0005	0.0005	0.0006

δ : Görelî kat ötelemesi

Tablo 7. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen görelî kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0017	0.0020	0.0022	0.0028	0.0037
14	0.0021	0.0022	0.0024	0.0030	0.0039
13	0.0024	0.0025	0.0027	0.0032	0.0042
12	0.0027	0.0028	0.0027	0.0034	0.0043
11	0.0028	0.0028	0.0028	0.0032	0.0042
10	0.0030	0.0026	0.0029	0.0030	0.0039
9	0.0032	0.0028	0.0030	0.0032	0.0036
8	0.0034	0.0030	0.0032	0.0033	0.0038
7	0.0034	0.0032	0.0033	0.0035	0.0036
6	0.0035	0.0034	0.0034	0.0036	0.0037
5	0.0035	0.0035	0.0035	0.0038	0.0037
4	0.0035	0.0037	0.0037	0.0038	0.0039
3	0.0035	0.0038	0.0038	0.0039	0.0041
2	0.0033	0.0037	0.0037	0.0038	0.0042
1	0.0021	0.0029	0.0029	0.0031	0.0037

Tablo 8. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen görelî kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0022	0.0037	0.0048	0.0073	0.0072
14	0.0027	0.0042	0.0053	0.0079	0.0074
13	0.0031	0.0047	0.0058	0.0085	0.0077
12	0.0035	0.0052	0.0063	0.0090	0.0079
11	0.0039	0.0056	0.0068	0.0095	0.0081
10	0.0043	0.0060	0.0072	0.0099	0.0082
9	0.0046	0.0064	0.0076	0.0103	0.0084
8	0.0048	0.0066	0.0079	0.0105	0.0085
7	0.0049	0.0069	0.0081	0.0107	0.0087
6	0.0051	0.0070	0.0083	0.0108	0.0088
5	0.0051	0.0071	0.0084	0.0108	0.0088
4	0.0051	0.0071	0.0084	0.0108	0.0089
3	0.0050	0.0070	0.0083	0.0106	0.0089
2	0.0047	0.0067	0.0080	0.0102	0.0087
1	0.0030	0.0051	0.0062	0.0084	0.0079

Tablo 9. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1'den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	4.12	-0.5634	4.12	-0.6025	4.12	-0.5745	4.12	-0.5556	4.14	-0.6454
14	4.12	-0.8949	4.12	-0.9648	4.12	-0.9013	4.04	0.8503	2.38	1.0214
13	4.12	-1.4180	4.12	-1.5443	4.12	-1.4031	2.36	1.3497	2.38	1.6659
12	4.12	-1.6210	4.12	-1.7897	4.12	-1.5715	2.36	1.5997	2.38	2.0039
11	2.06	1.7689	4.12	-1.7050	2.06	1.5932	2.36	1.5767	2.38	2.0140
10	3.58	1.9765	2.06	1.6346	2.08	1.5694	2.08	1.4830	2.36	1.7545
9	3.58	2.2346	3.58	1.4965	2.08	1.4010	4.00	1.4102	4.02	1.7434
8	3.58	2.2974	3.40	-1.6603	3.40	-1.5867	4.00	1.5318	4.02	1.8188
7	3.58	2.1523	3.40	-1.8191	3.40	-1.7619	3.98	1.7458	4.00	1.8904
6	3.56	-2.3455	3.38	-1.9105	3.40	-1.7707	3.98	1.7077	4.00	1.7227
5	4.02	-2.4370	4.04	-1.9409	3.38	-1.7850	3.96	1.6673	2.46	1.6544
4	4.02	-2.5617	3.68	2.0339	3.94	1.7263	3.94	1.5387	2.46	1.6620
3	4.00	-2.6752	3.68	2.0407	3.92	1.9395	3.94	1.6934	2.28	1.7506
2	4.00	-2.7695	4.62	1.9919	3.92	2.2261	2.24	2.1054	2.26	2.2766
1	3.98	-2.6590	2.22	2.0633	2.22	2.2001	2.22	2.3692	2.24	2.6073

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), S: x doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük gerilme (MPa)

Tablo 10. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1'den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	3.34	1.0137	3.12	-0.7310	3.60	0.8213	3.62	0.8667	3.92	0.8311
14	3.34	1.9268	3.12	-1.4077	3.60	1.5219	3.62	1.5838	3.92	1.4659
13	3.34	3.7530	3.10	-2.7771	3.60	2.8960	3.62	2.9675	3.90	2.6832
12	3.34	5.3420	3.10	-4.0111	3.60	4.0394	3.60	4.1301	3.90	3.6549
11	3.34	6.7057	3.10	-5.1248	3.58	5.0151	3.60	5.0768	3.90	4.3789
10	3.34	7.8190	3.10	-6.0999	3.58	5.8300	3.60	5.7602	3.90	4.8347
9	3.34	8.7013	3.10	-6.9346	3.10	-6.5371	3.60	6.1966	3.90	5.0249
8	3.36	9.4255	3.08	-7.6633	3.10	-7.1687	3.58	6.4642	3.90	4.9630
7	3.36	10.2057	3.08	-8.2859	3.10	-7.6644	3.58	6.6448	3.88	4.7088
6	3.38	10.8839	3.08	-8.7747	3.08	-8.0428	3.56	6.7383	3.88	4.3745
5	3.38	11.5147	3.48	9.2352	3.52	8.6526	4.14	-7.2843	4.46	-4.4696
4	3.40	12.1768	3.48	10.3446	3.50	9.4917	4.14	-8.0375	3.78	5.3870
3	3.40	12.8064	3.46	11.3540	3.48	10.3909	4.14	-8.6525	3.78	6.3993
2	3.42	13.2021	3.46	12.1914	3.48	11.0881	4.12	-9.0252	3.78	7.2225
1	3.42	12.2574	3.46	11.7583	3.48	10.5836	4.12	-8.5087	3.76	7.2278

Tablo 11. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	4.68	1.1561	4.72	1.1579	5.74	1.1755	6.40	-1.4494	5.02	0.8666
14	4.68	2.2643	5.60	2.2889	5.74	2.3840	6.40	-2.8635	5.02	1.6298
13	4.68	4.5201	5.60	4.6601	5.74	4.8677	6.40	-5.7345	5.02	3.1367
12	4.68	6.5512	5.62	6.8449	5.72	7.1652	6.40	-8.3103	5.02	4.4277
11	4.68	8.3903	5.62	8.8997	5.72	9.3486	6.38	-10.6976	5.02	5.5308
10	4.66	10.1093	5.62	10.8002	5.72	11.3866	6.38	-12.8389	5.02	6.4359
9	4.66	11.6499	5.64	12.5641	5.70	13.3288	6.38	-14.7359	5.02	7.1544
8	4.66	13.0011	5.64	14.2676	5.70	15.1484	6.38	-16.3954	5.00	7.7589
7	4.64	14.3222	5.64	15.8305	5.70	16.8213	6.36	-17.8790	4.98	8.2769
6	4.64	15.4979	5.64	17.2410	5.70	18.3372	6.36	-19.1867	4.96	8.7563
5	4.62	16.5524	5.64	18.4944	5.70	19.6885	6.36	-20.2907	5.58	-9.3704
4	4.62	17.5722	5.64	19.5929	5.70	20.8720	6.36	-21.2031	5.58	-10.0987
3	4.62	18.4217	5.64	20.5219	5.70	21.8713	6.34	-21.9947	5.58	-10.7007
2	4.62	18.9269	5.64	21.0941	5.70	22.4881	6.34	-22.4174	5.58	-11.0428
1	4.62	17.3323	5.64	19.7540	5.70	21.0665	6.34	-20.8403	5.58	-10.3045

Tablo 12. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	2.08	4.5326	4.12	-4.7486	2.08	4.5851	2.08	4.6767	2.10	5.7011
14	3.86	-4.1197	2.10	4.0440	2.10	4.0478	2.10	4.0727	2.10	4.8881
13	3.86	-3.6307	2.10	3.6079	2.10	3.5861	2.10	3.5228	2.10	3.7689
12	2.10	3.0744	2.10	3.0022	3.44	-3.0697	3.44	-3.0631	3.52	3.0649
11	4.04	-3.6308	4.06	-3.2861	1.92	-3.0899	3.44	-3.2479	3.52	3.3098
10	4.04	-4.6968	4.04	-4.1566	3.96	3.9858	4.06	-3.6645	1.92	-3.7139
9	4.04	-5.0350	3.96	4.6449	3.96	4.8411	3.96	4.4722	2.48	4.0308
8	4.04	-4.6652	3.96	5.0204	3.96	5.2891	3.96	5.2328	2.38	-4.1901
7	3.94	5.0124	3.94	5.4805	3.94	5.6606	3.96	5.3845	3.96	4.5988
6	3.94	5.3451	3.94	6.0188	3.94	6.2654	3.94	6.2833	3.96	5.5844
5	3.86	-5.1947	3.94	5.7822	3.94	6.0990	3.94	6.4845	3.94	6.8517
4	3.86	-5.1094	3.92	5.5721	3.92	5.7473	3.92	5.9072	3.94	7.4655
3	3.86	-4.2400	3.92	4.7430	3.92	5.0148	3.92	5.5255	3.94	7.0365
2	3.84	-3.2158	3.84	-3.2951	3.84	-3.4167	3.86	-4.0376	3.92	5.6665
1	3.84	-1.5351	3.84	-2.0357	3.84	-2.1739	3.84	-2.7842	3.92	4.8121

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), a: x doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük ivme (m/s²)

Tablo 13. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	3.32	12.8870	3.12	-11.9710	3.12	-11.8090	3.14	-11.1410	3.14	-9.6626
14	3.32	12.1700	3.12	-11.4170	3.12	-11.2250	3.14	-10.4860	3.14	-8.9592
13	3.32	11.2490	3.12	-10.7730	3.12	-10.5570	3.12	-9.7713	3.14	-8.1688
12	3.32	10.1210	3.12	-10.0460	3.12	-9.8121	3.12	-9.0139	3.14	-7.3066
11	3.10	-9.4432	3.12	-9.2564	3.12	-9.0131	3.12	-8.2148	3.12	-6.4234
10	3.10	-8.7073	3.10	-8.4529	3.12	-8.1838	3.12	-7.3991	3.12	-5.6638
9	3.08	-7.9395	3.10	-7.6637	3.12	-7.3428	3.12	-6.5891	3.12	-4.8970
8	3.08	-7.1510	3.10	-6.8504	3.10	-6.5249	3.12	-5.7988	4.04	5.2094
7	3.08	-6.3040	3.10	-6.0188	3.10	-5.7261	4.14	-5.4975	4.04	5.5610
6	3.08	-5.4059	3.10	-5.1659	3.10	-4.9166	4.14	-5.4145	4.04	5.5988
5	3.08	-4.4596	3.48	4.8254	3.50	4.6846	4.14	-5.0800	4.04	5.3119
4	3.48	3.9523	3.48	4.5955	3.48	4.5176	4.14	-4.4404	3.78	5.1365
3	3.46	3.2291	3.48	3.7842	3.48	3.8825	3.48	3.6016	3.78	4.6194
2	3.46	2.3186	3.46	2.7238	3.46	2.7663	3.48	2.8568	3.78	3.7736
1	3.46	0.9856	3.46	1.4284	3.46	1.6646	3.46	1.8662	3.78	2.6912

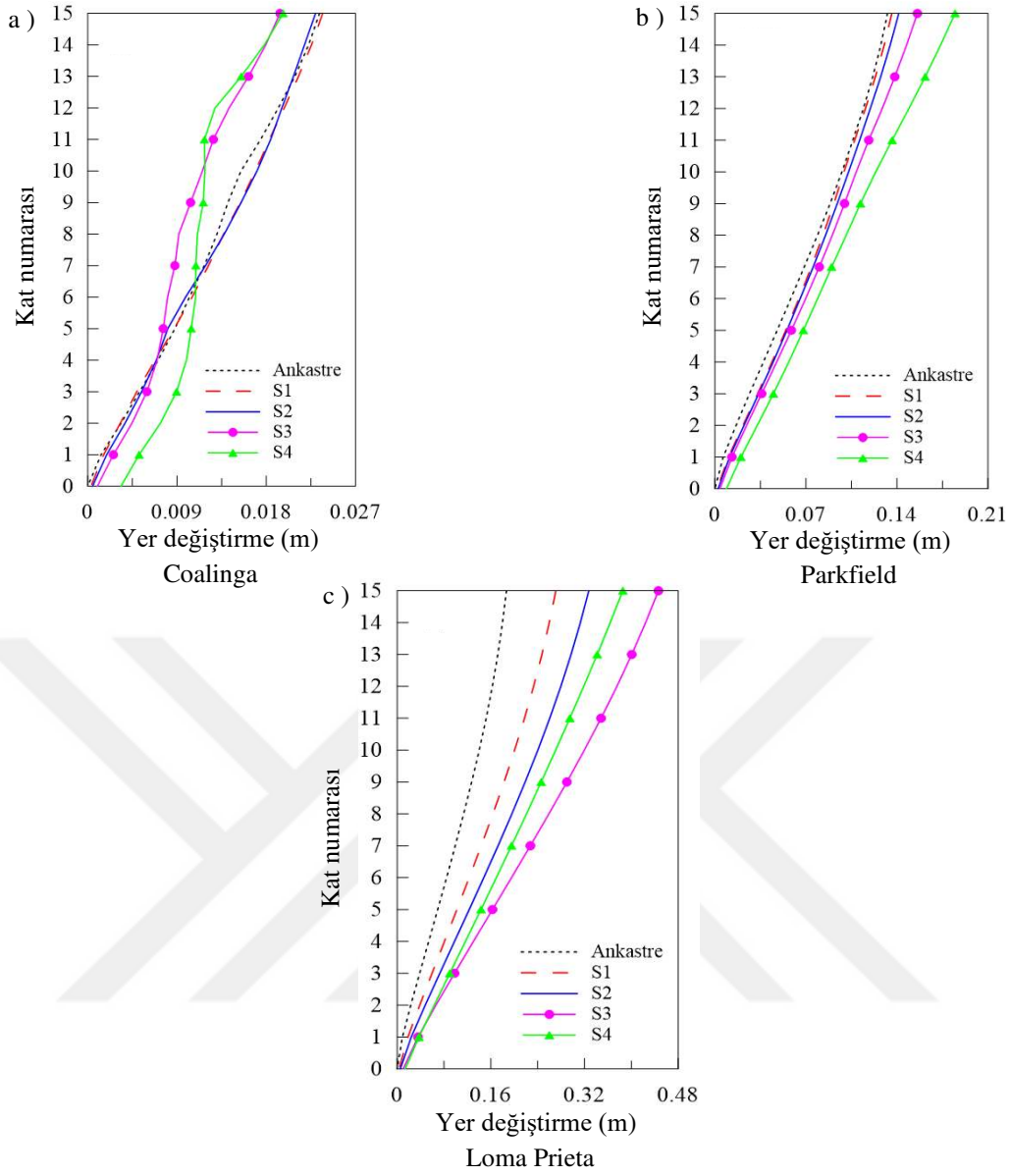
Tablo 14. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-1’den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	4.70	11.9190	5.60	13.4400	6.72	14.0030	6.40	-18.1200	5.04	12.2170
14	4.70	11.2840	5.60	12.7940	6.72	13.3290	6.40	-17.0990	5.04	11.3500
13	4.70	10.4710	5.60	12.0270	6.70	12.5700	6.40	-15.9400	5.04	10.3740
12	4.68	9.7443	5.62	11.1550	6.70	11.8180	6.40	-14.6510	5.04	9.3153
11	4.66	9.0968	5.64	10.3430	5.68	11.1880	6.38	-13.3020	5.04	8.2165
10	4.64	8.6828	5.66	9.7266	5.68	10.5660	6.84	12.1580	4.98	7.2274
9	4.62	8.2587	5.66	9.0246	5.68	9.8001	6.86	11.2180	5.62	-6.8355
8	4.62	7.8900	5.66	8.1953	6.64	8.9478	6.88	10.5090	5.60	-6.5568
7	4.62	7.3794	5.66	7.2560	6.64	8.1936	6.88	9.7537	5.60	-6.2898
6	4.62	6.6960	5.66	6.2427	5.28	-7.3654	6.88	8.8058	5.60	-5.8834
5	4.62	5.8064	5.26	-5.6708	5.26	-6.4870	6.88	7.5956	5.58	-5.4903
4	4.60	4.8240	5.26	-4.9739	5.26	-5.6957	6.86	6.3222	5.58	-4.8978
3	4.60	3.6333	5.26	-3.9535	5.26	-4.5983	6.86	4.8940	5.58	-4.0737
2	4.60	2.2621	5.24	-2.8154	5.24	-3.1472	5.26	-3.4286	5.58	-3.0501
1	4.60	0.8781	5.24	-1.5382	5.24	-1.8703	5.24	-2.0444	4.28	-2.1922

Tablo 3~14’te verilen değerler incelendiğinde, zemin parametrelerinin ve yer hareketinin değişimiyle yer değiştirme, görelî kat öteleme, gerilme ve ivme tepkilerinin şiddetleri ile oluş zamanlarında farklılıkların meydana geldiği görülmektedir. Bu farklılıkların, zemin-yapı etkileşimine ve önemli ölçüde deprem frekans içeriğine bağlı olarak geliştiği açıkça görülmektedir. Değişimlere bağlı oransal irdelemeler aşağıda alt başlıklar halinde sunulmaktadır.

2.3.2.1. MODEL-1 İçin Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi

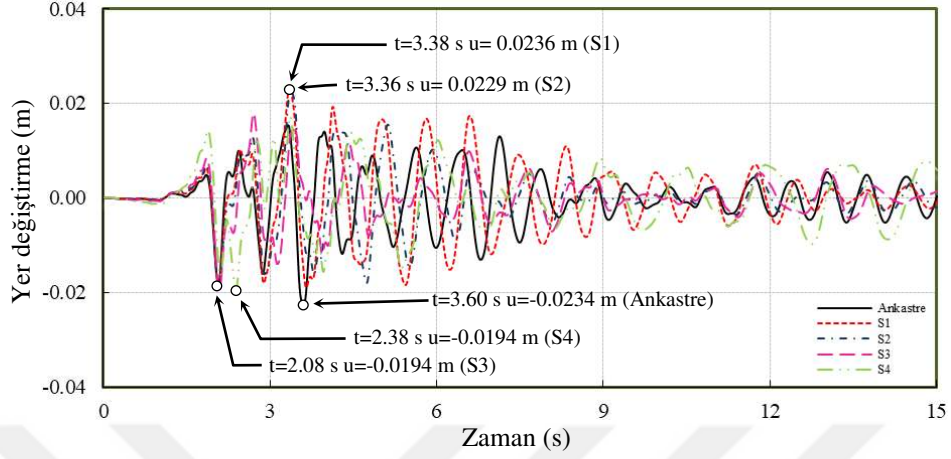
Analizlerden hesaplanan yer değiştirmeler etüt edildiğinde, ele alınan zemin şartlarına bağlı olarak farklı yer değiştirme büyüklüklerinin elde edildiği görölmektedir. şekil 6~9'da betonarme yapının dış köşe birleşim noktalarında x doğrultusunda meydana gelen yer değiştirme değerlerinin değişimleri gösterilmektedir. İncelemeye konu olan betonarme binanın farklı temel zemin sistemine ve farklı deprem kayıtlarına göre gerçekleştirilen analizler sonucunda yer değiştirmelerin yapının yüksekliğine bağlı değişimleri şekil 6'da verilmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere, temel zemin sistemi özelliklerindeki değişime ve farklı deprem yükü etkisine bağlı olarak betonarme yapıların yer değiştirme değerleri önemli ölçüde farklılık göstermektedir. şekil 6a incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük yer değiştirmenin 15. katta göröldüğü ve dikkate alınan temel zemin sistemlerinde yer değiştirme değerlerinin temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı olarak S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru bütünüyle artış görölmediği ifade edilebilir. Dikkate alınan temel zemin sistemlerinde yükseklik boyunca yer değiştirme değerleri şekil 6b ve şekil 6c'de incelendiğinde, S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru yer değiştirmelerin tümüyle artış gösterdiği görölmektedir. Ayrıca bu iki şekilde belirtilen deprem kayıtları (Parkfield ve Loma Prieta) etkisi altında ankastre olarak modellenen yapıda en düşük yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Modellenen yapısal sistemde meydana gelen yer değiştirmeler için yapılan tüm değerlendirmelerde zemin-yapı etkileşiminin yapının sismik davranışı üzerindeki etkileri görölebilmektedir.



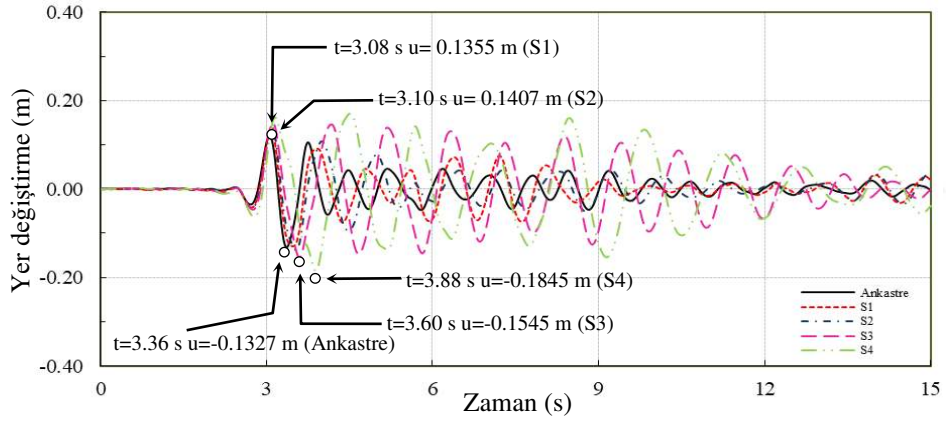
Şekil 6. MODEL-1 için x doğrultusundaki yatay yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

Söz konusu binanın 15. kat dış köşe birleşim noktasındaki yatay yer değiştirme değerlerinin zamanla değişimi Şekil 7~9'da gösterilmektedir. Bir örnek olarak Şekil 8 incelendiğinde, S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki yer değiştirme 0.1355 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S1 temel zeminine kıyasla S2 temel zemininde %4 oranında artışla 0.1407 m, S3 temel zemininde %14 oranında artışla 0.1545 m ve S4 temel zemininde %36 oranında artışla 0.1845 m olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca en büyük yer değiştirme değeri S4 temel zemininde 3.88 s'de gerçekleşirken, S1, S2 ve S3 temel zemin sistemlerinde ve ankastre olarak tasarlanan modelde (3.08~3.60 s) aralığında gerçekleşmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 9 incelendiğinde, S1 temel zemininde elde edilen en büyük x doğrultusundaki yer değiştirme 0.2695 m iken,

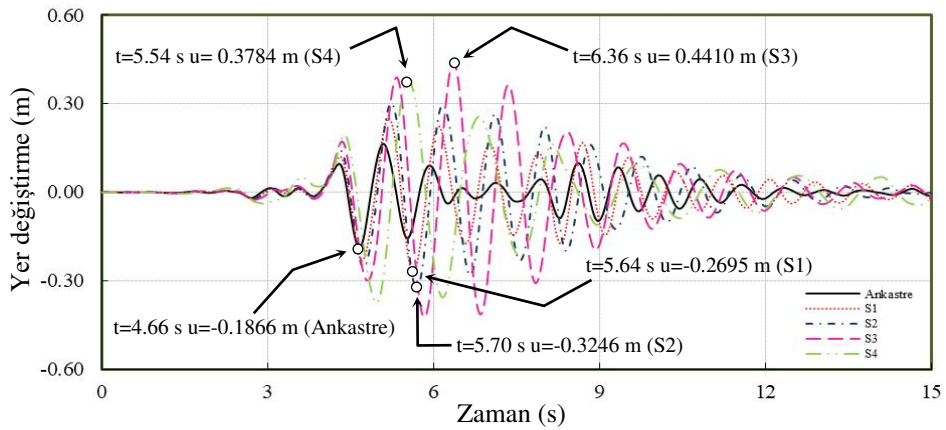
zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %64'lük artışla 0.4410 m ve S4 temel zemininde %40'luk artışla 0.3784 m olarak gerçekleştiği ifade edilebilmektedir.



Şekil 7. MODEL-1 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi



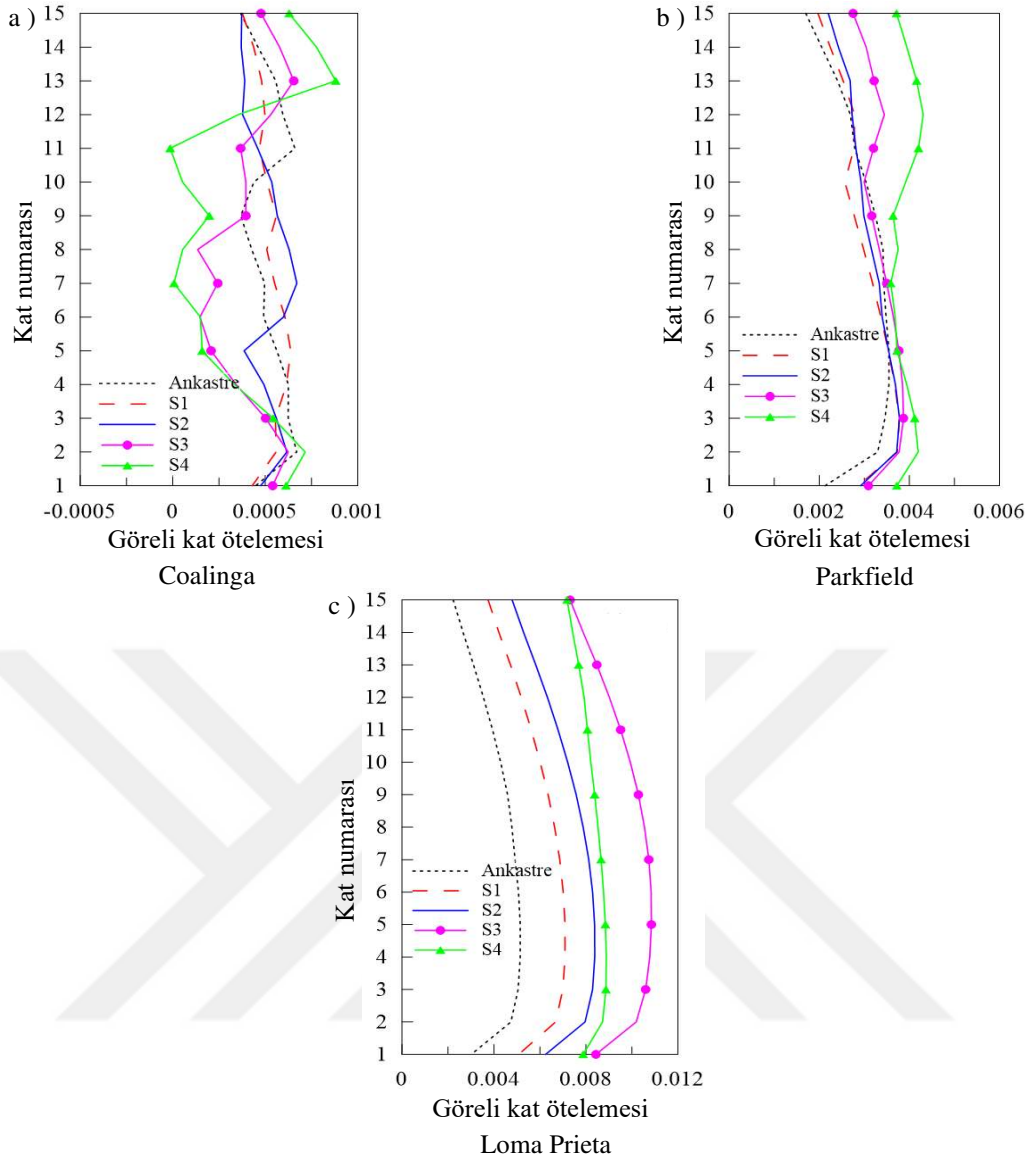
Şekil 8. MODEL-1 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 9. MODEL-1 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi

2.3.2.2. MODEL-1 İçin Görelî Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi

Çok katlı betonarme yapılarda deprem yükleri etkisindeki her bir kat için elde edilen maksimum yer değıştirme değerlerinde önemli ölçüde farklılıklar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle sismik yükler etkisindeki yapılarda yer değıştirme tepkilerinin yanı sıra ardışık iki kat arasındaki yer değıştirme farkının kat yüksekliğine oranı olarak tanımlanan görelî kat ötelemesi değerlerinin de incelenmesi son derece önem arz etmektedir. İncelemeye konu olan sonlu elemanlar modeli ile gerçekleştirilen çözümlemeler sonucunda dört farklı temel zemin sistemi ve üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak bina dış köşe birleşim noktaları için elde edilen görelî kat ötelemesi değerlerinin bina yüksekliğiyle değışimi Şekil 10'da verilmektedir. Şekil 10'dan anlaşıldığı üzere yapıya etki eden farklı deprem yükleri ve farklı temel zemin sistemleri binanın görelî kat ötelemesi oranı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 10 incelendiğinde, x doğrultusundaki görelî kat öteleme oranlarına ait en kritik değerlerin çoğunlukla binanın 2 ile 4. ve 11 ile 13. katları arasında meydana geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 10'da görüldüğü gibi temel zemin özelliklerine ve farklı deprem yükü etkisine bağlı olarak yapılardaki ardışık iki kat arasındaki yer değıştirme oranının belirgin bir şekilde etkilendiği açıktır. Değişim oranını daha net olarak ifade etmek için Şekil 10b incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük görelî kat ötelemesinin 3 ile 12. katta görüldüğü ve S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki görelî kat öteleme değeri 0.0038 iken, temel zemin sistemindeki rijitlik azalmasına bağlı olarak aynı değerin S1 zeminine kıyasla S3 temel zemininde %3 oranında bir artış ile 0.0039 ve S4 temel zemininde %13 oranında artış ile 0.0043 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 10c incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük görelî kat ötelemesinin 4. katta görüldüğü ve S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki görelî kat öteleme değeri 0.0071 iken, temel zemin sistemindeki rijitlik azalmasına bağlı olarak aynı değeri S1 zeminine kıyasla S2 temel zemininde %18'lik artışla 0.0084, S3 temel zemininde %52'lik artışla 0.0108 ve S4 temel zemininde %25'lik artışla 0.0089'dur. Son olarak, incelemede dikkate alınan tüm deprem kayıtları için elde edilen görelî kat öteleme oranlarının çoğunlukla zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak artma eğilimi gösterdiği rahatlıkla ifade edilebilir.

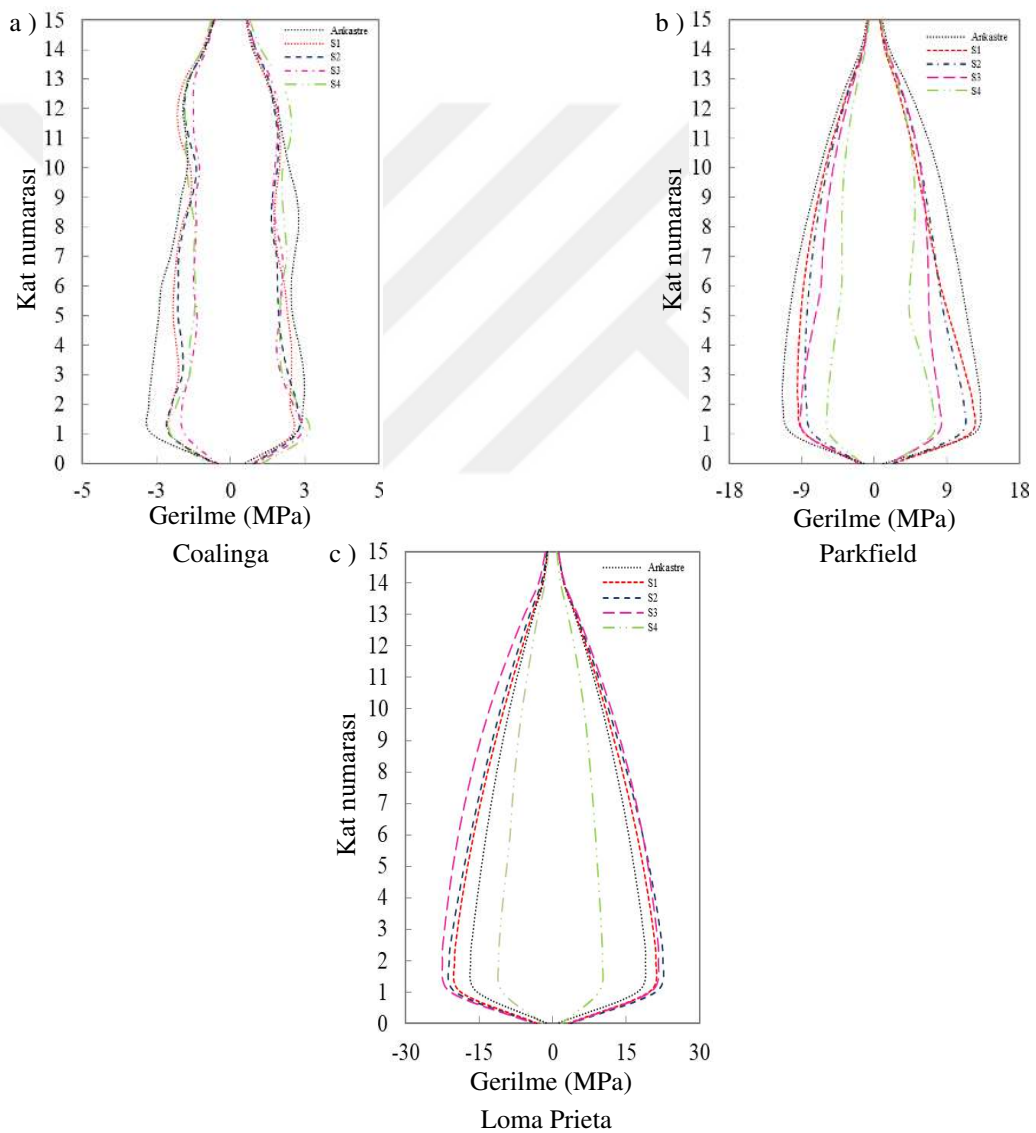


Şekil 10. MODEL-1 için x doğrultusundaki görel kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi

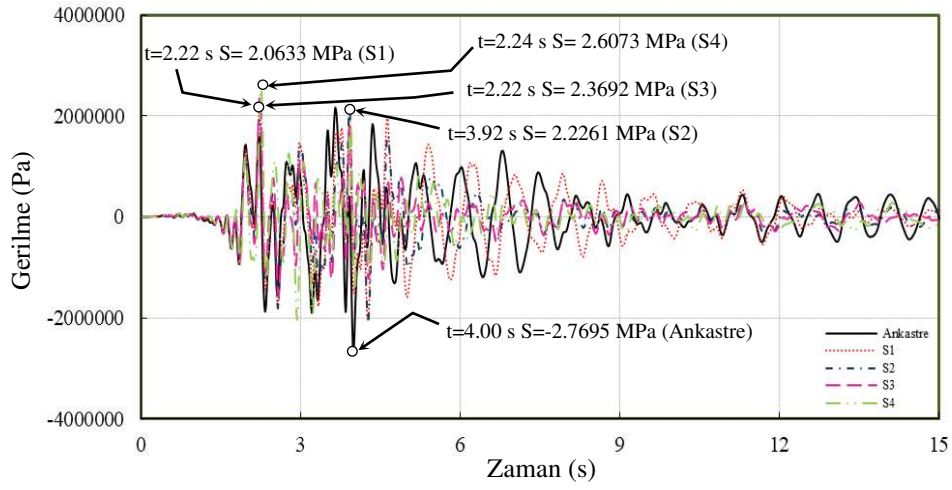
2.3.2.3. MODEL-1 İçin Gerilmelerin İrdelenmesi

Modellenen etkileşim sisteminin farklı temel zemin koşulları ve deprem kayıtları için tüm katlarda kolon iç orta birleşim noktalarında meydana gelen gerilme değerleri elde edilerek bu gerilmelerin yapı yüksekliğince dağılımları Şekil 11’de, zamansal dağılımları Şekil 12~14’te verilmektedir. Söz konusu bu şekillerde, yapının farklı temel zemini koşullarına ve farklı deprem kayıtlarına göre yapılan çözümlemelerinden hesaplanan gerilmelerin şiddetlerinde ve oluş zamanlarında farklılıklar olduğu dikkat çekmektedir. Yükseklik boyunca gerilme değerleri Şekil 11b’de incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük gerilme değerlerinin genellikle 1-2. kat civarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ayrıca yapılan incelemelerde dikkate alınan temel zemin sistemlerinde gerilme değerlerinin temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı

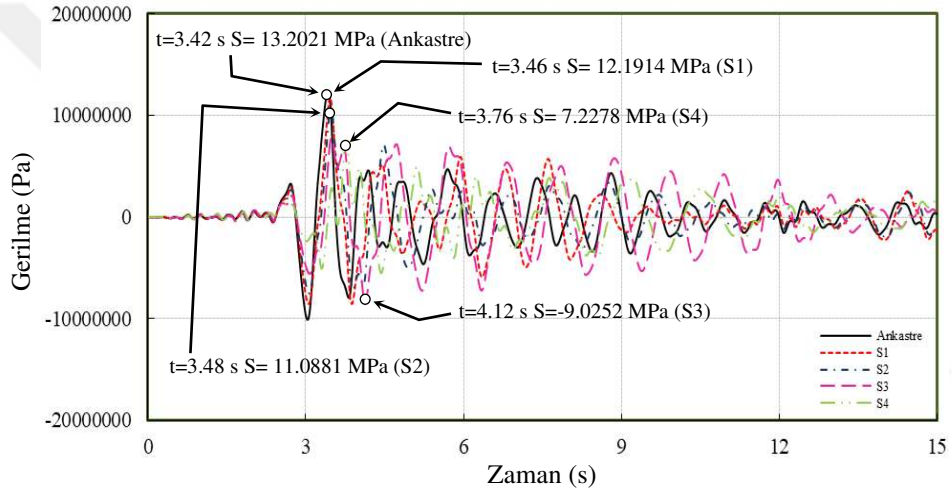
olarak S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru genellikle azaldığı görülürken benzer durumun Şekil 11a ve Şekil 11c için gerçekleşmediği dikkate çekmektedir. Ayrıca Şekil 11a ve Şekil 11b’de ankastre olarak modellenen yapıda en yüksek gerilme değerleri elde edilirken bu durumun Şekil 11c için gerçekleşmediği görülmektedir. Grafiklerde negatif olarak belirtilen değerler basınç, pozitif olarak belirtilen değerler çekme gerilmesini ifade etmektedir. Yapı sistemi üzerinden seçilen düğüm noktalarından elde edilen yükseklik boyunca gerilmelerden anlaşıldığı üzere, etkileşim mekanizması sismik tepkilerde değişik oranlarda ve doğrultularda farklılığa yol açabilmektedir.



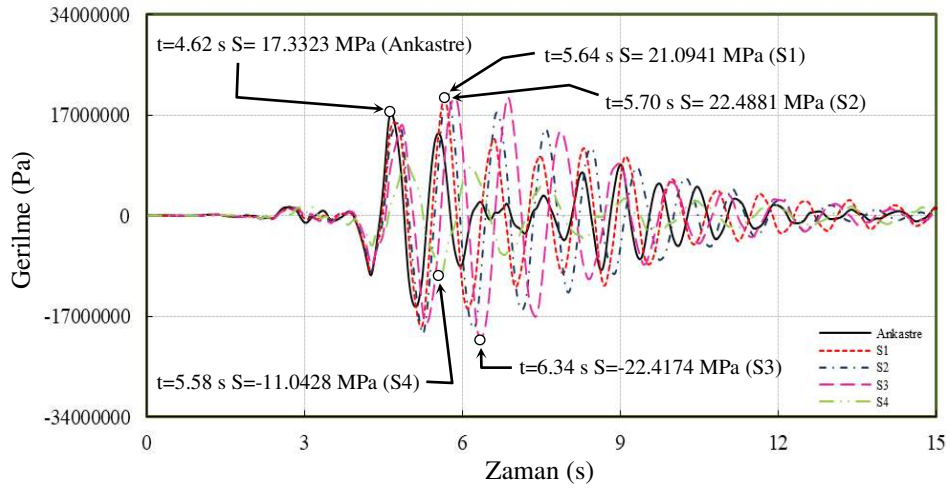
Şekil 11. MODEL-1 için x doğrultusunda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi



Şekil 12. MODEL-1 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 13. MODEL-1 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

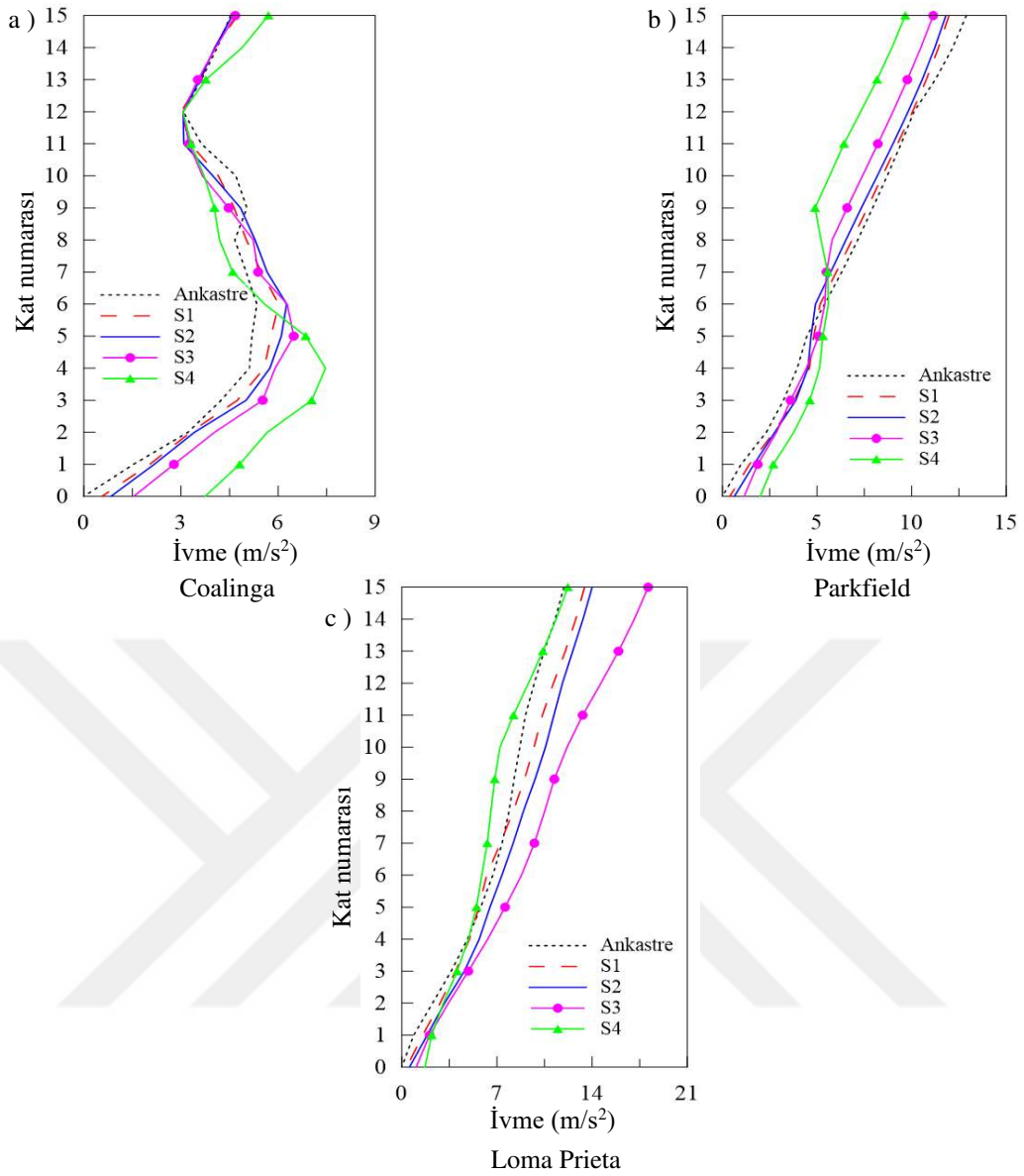


Şekil 14. MODEL-1 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

Gerilmelerin zamansal dağılımları da farklı deprem kayıtlarına ve temel zemin sistemlerine göre kıyaslanabilir. Şekil 13 incelendiğinde, S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki gerilme çekme olarak 12.1914 MPa iken, rijitlikteki azalışa bağlı olarak aynı değerin S1 temel zeminine kıyasla S2 temel zemininde %9'luk azalışla çekme olarak 11.0881 MPa, S3 temel zemininde %26'lık azalışla basınç olarak -9.0252 MPa ve S4 temel zemininde %41'lik azalışla çekme olarak 7.2278 MPa gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca en büyük gerilme değeri, S1 temel zemininde 3.46 s'de gerçekleşirken, S2, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde ve ankastre olarak tasarlanan modelde (3.42~4.12) s aralığında gerçekleşmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 14 incelendiğinde, S1 temel zemininde elde edilen en büyük x doğrultusundaki gerilme çekme olarak 21.0941 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %6'lık artışla basınç olarak -22.4174 MPa ve S4 temel zemininde %48'lik azalışla basınç olarak -11.0428 MPa'dır. Şekil 13'te elde edilen gerilme değerlerinde temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı olarak azalma eğilimi görülmektedir. Öte yandan Şekil 12 ve Şekil 14 incelendiğinde, zemin rijitlik azalışıyla gerilme büyüklüğünde genel olarak azalış eğiliminin görülmediği ifade edilebilir.

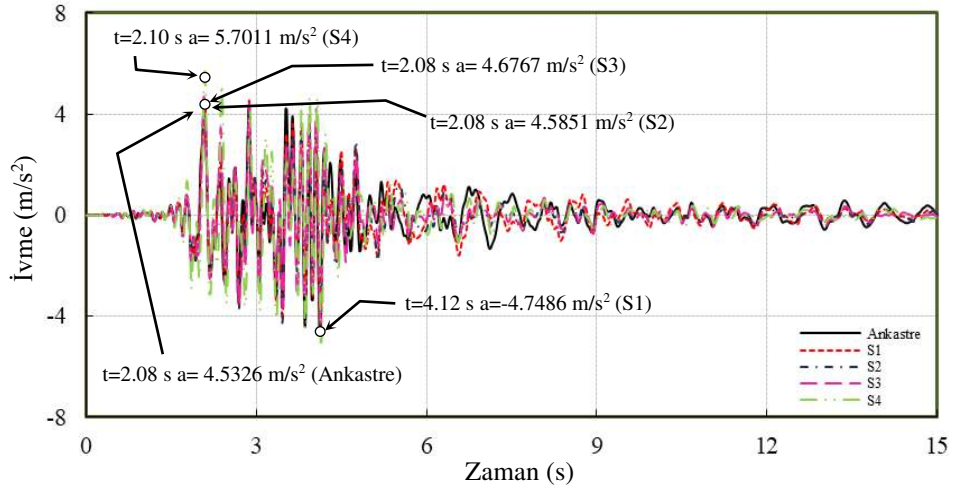
2.3.2.4. MODEL-1 İçin İvmelerin İrdelenmesi

İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda dört farklı temel zemin sistemi ve üç farklı deprem kaydı için tüm katlarda yer değiştirme değerlerinde olduğu gibi bina dış köşe birleşim noktalarında meydana gelen ivmelerin değerlendirilerek en büyük ivme değerlerinin yapı yüksekliğince dağılımları Şekil 15'te, zamansal dağılımları Şekil 16~18'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, dikkate alınan temel zemin sistemlerine ve farklı büyüklükteki deprem yüklerine bağlı olarak farklı ivme büyüklüklerinin elde edilebildiği açıkça görülmektedir. En büyük ivme değerlerinin yapının zemin katından üst katlara doğru gidildikçe genellikle büyük bir oranda artış gösterdiği Şekil 15'te görülmektedir. Şekil 15a incelendiğinde, en büyük ivme değerlerinin genellikle 3-6. kat seviyelerinde gerçekleştiği görülmektedir. Diğer yandan bu irdeleme Şekil 15b ve Şekil 15c dikkate alınarak yapıldığında tüm zemin sistemlerinde en büyük ivme değerinin 15. kat seviyesinde elde edildiği görülmektedir.

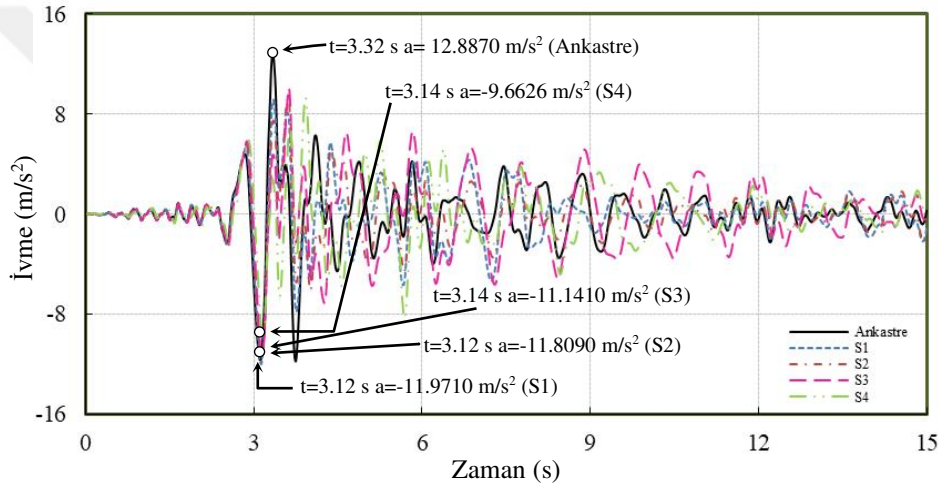


Şekil 15. MODEL-1 için x doğrultusunda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

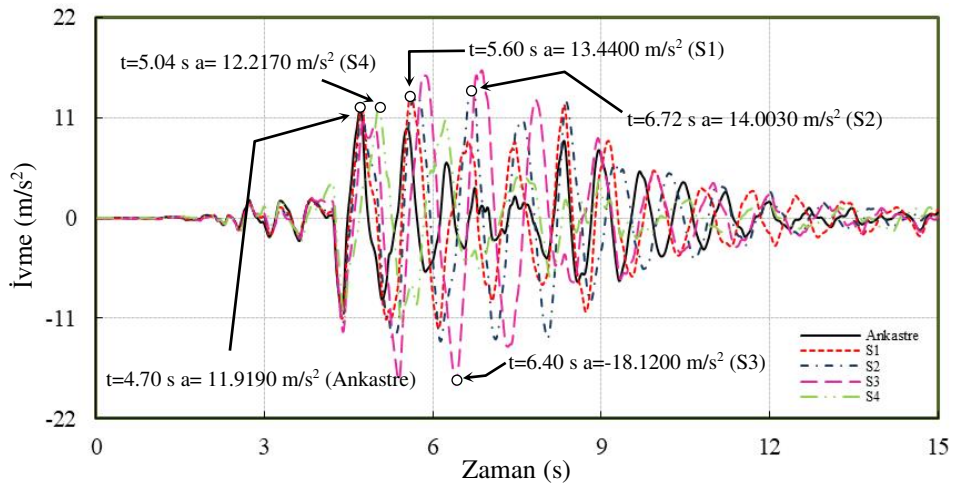
Yapının 15. katında dış köşe birleşim noktasında ivme değerlerinin zamansal dağılımını irdeleyebilmek için Şekil 17 ele alındığında, S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki ivme değerinin 11.9710 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %7'lik azalışla 11.1410 m/s^2 ve S4 temel zemininde %19'luk azalışla 9.6626 m/s^2 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca en büyük ivme değeri, S1 temel zemininde 3.12 s'de gerçekleşirken, S2, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde ve ankastre olarak tasarlanan modelde (3.12~3.32) s aralığında gerçekleşmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 18 incelendiğinde, S1 temel zemininde elde edilen en büyük x doğrultusundaki ivme 13.4400 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla, S3 temel zemininde %35'lik artışla 18.1200 m/s^2 ve S4 temel zemininde %9'luk azalışla 12.2170 m/s^2 'dir.



Şekil 16. MODEL-1 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 17. MODEL-1 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi



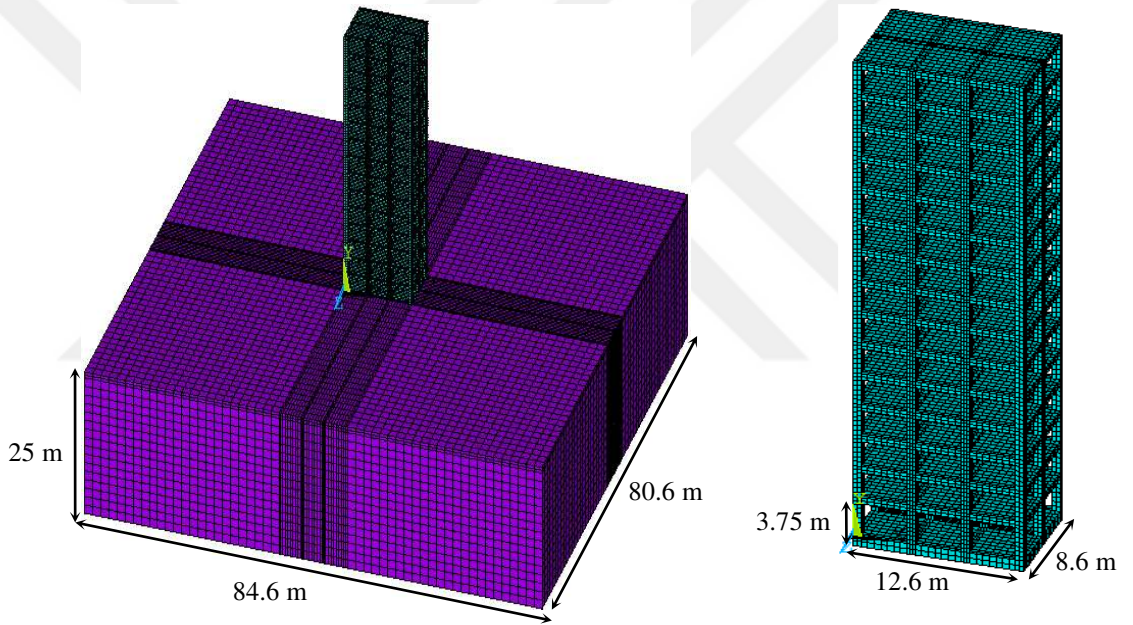
Şekil 18. MODEL-1 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi

2.4. MODEL-2'nin Analizi

Zemin kat yüksekliği 3.75 m olan 15 katlı betonarme yapının dinamik davranışını belirlemek amacıyla yapısal sistemin sayısal modeli oluşturulmuş ve bu model dört farklı zemin sistemi ve üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Çözümlmelerden elde edilen tepkiler yükseklik boyunca ve zamana bağlı değişim değerleri yer değiştirmeler, kat ötelemeleri, gerilmeler ve ivmeler açısından incelenmiştir.

2.4.1. MODEL-2 İçin Önerilen Sonlu Elemanlar Modeli

3.75 m zemin kat yüksekliğine sahip betonarme bina ve temel zemin sistemi dikkate alınarak oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 19'da sunulmaktadır.



Şekil 19. MODEL-2 için oluşturulan sonlu eleman modeli

2.4.2. MODEL-2'nin Sismik Analizi

Belirtilen zemin şartlarında ve deprem etkileri altında söz konusu etkileşim modelinin sismik analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirmeler, görelî kat ötelemeleri, ivme ve gerilme değerleri ile bu değerlerin oluş zamanları Tablo 15~26'da gösterilmektedir.

Tablo 15. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	3.62	-0.0242	3.36	0.0242	3.36	0.0218	2.08	-0.0194	3.38	0.0206
14	3.62	-0.0231	3.36	0.0230	3.38	0.0208	2.10	-0.0180	3.38	0.0190
13	3.62	-0.0216	3.36	0.0216	3.38	0.0196	2.10	-0.0164	3.38	0.0172
12	3.62	-0.0199	3.36	0.0200	3.40	0.0186	2.10	-0.0147	3.38	0.0152
11	3.64	-0.0182	3.38	0.0187	3.40	0.0176	2.70	0.0135	3.38	0.0131
10	3.66	-0.0167	3.38	0.0173	3.40	0.0165	2.70	0.0126	3.96	-0.0126
9	3.66	-0.0155	3.38	0.0158	3.40	0.0151	2.70	0.0115	3.96	-0.0124
8	3.66	-0.0142	3.38	0.0142	3.40	0.0134	2.70	0.0104	3.96	-0.0121
7	3.66	-0.0127	3.38	0.0124	3.40	0.0116	2.70	0.0093	3.96	-0.0117
6	3.66	-0.0111	3.38	0.0104	3.40	0.0097	2.24	-0.0083	3.96	-0.0110
5	3.66	-0.0093	3.36	0.0084	3.92	-0.0083	2.24	-0.0081	3.94	-0.0104
4	4.00	0.0075	4.64	-0.0067	3.92	-0.0072	2.24	-0.0074	3.94	-0.0094
3	4.00	0.0058	4.26	0.0054	3.92	-0.0058	2.24	-0.0062	3.94	-0.0077
2	3.98	0.0039	4.26	0.0039	3.92	-0.0041	2.24	-0.0046	3.94	-0.0056
1	3.98	0.0021	4.26	0.0022	2.22	-0.0024	2.22	-0.0027	3.94	-0.0033

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

Tablo 16. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	3.38	-0.1309	3.08	0.1388	3.10	0.1438	5.84	-0.1763	3.90	-0.1885
14	3.38	-0.1262	3.08	0.1328	3.10	0.1371	5.84	-0.1675	3.90	-0.1771
13	3.38	-0.1205	3.08	0.1260	3.10	0.1297	5.84	-0.1580	3.90	-0.1649
12	3.38	-0.1140	3.08	0.1183	3.54	-0.1216	5.84	-0.1478	3.90	-0.1521
11	3.38	-0.1065	3.08	0.1099	3.54	-0.1135	5.84	-0.1368	3.90	-0.1387
10	3.40	-0.0985	3.50	-0.1013	3.54	-0.1048	5.84	-0.1254	3.88	-0.1253
9	3.40	-0.0901	3.50	-0.0935	3.52	-0.0959	5.84	-0.1134	3.88	-0.1120
8	3.40	-0.0811	3.48	-0.0853	3.52	-0.0868	5.86	-0.1013	3.86	-0.0995
7	3.40	-0.0715	3.48	-0.0767	3.52	-0.0772	5.86	-0.0890	3.84	-0.0878
6	3.42	-0.0618	3.48	-0.0675	3.50	-0.0674	5.86	-0.0766	3.82	-0.0768
5	3.42	-0.0519	3.48	-0.0577	3.50	-0.0574	5.86	-0.0642	3.82	-0.0658
4	3.42	-0.0417	3.48	-0.0473	3.50	-0.0470	6.38	0.0521	3.80	-0.0546
3	3.44	-0.0315	3.48	-0.0365	3.50	-0.0362	6.38	0.0401	3.80	-0.0430
2	3.44	-0.0212	3.48	-0.0254	3.48	-0.0252	6.38	0.0281	3.80	-0.0308
1	3.44	-0.0109	3.48	-0.0141	3.48	-0.0142	6.38	0.0161	3.80	-0.0182

Tablo 17. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	4.68	-0.1954	5.66	-0.2964	5.74	-0.3503	6.40	0.4617	4.98	-0.3828
14	4.68	-0.1885	5.66	-0.2845	5.74	-0.3351	6.40	0.4391	4.98	-0.3613
13	4.68	-0.1803	5.66	-0.2711	5.74	-0.3184	6.40	0.4148	4.98	-0.3389
12	4.68	-0.1708	5.66	-0.2562	5.74	-0.3000	6.40	0.3887	4.98	-0.3158
11	4.68	-0.1599	5.66	-0.2398	5.74	-0.2802	6.40	0.3610	4.98	-0.2919
10	4.68	-0.1480	5.68	-0.2222	5.74	-0.2589	6.40	0.3318	4.98	-0.2673
9	4.66	-0.1352	5.68	-0.2034	5.74	-0.2364	6.40	0.3014	4.98	-0.2422
8	4.66	-0.1216	5.68	-0.1834	5.74	-0.2127	6.40	0.2700	4.98	-0.2166
7	4.66	-0.1073	5.68	-0.1624	5.72	-0.1883	6.40	0.2378	4.96	-0.1909
6	4.66	-0.0923	5.68	-0.1406	5.72	-0.1631	6.40	0.2050	4.96	-0.1650
5	4.66	-0.0769	5.68	-0.1183	5.72	-0.1373	6.40	0.1720	5.58	0.1395
4	4.66	-0.0613	5.68	-0.0955	5.72	-0.1111	6.40	0.1390	5.58	0.1139
3	4.66	-0.0457	5.68	-0.0727	5.72	-0.0848	6.40	0.1062	5.58	0.0882
2	4.66	-0.0303	5.68	-0.0499	5.72	-0.0587	6.40	0.0739	5.58	0.0624
1	4.66	-0.0154	5.68	-0.0275	5.72	-0.0328	6.40	0.0422	5.58	0.0369

Tablo 18. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen görel kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0004	0.0004	0.0004	0.0005	0.0006
14	0.0005	0.0005	0.0004	0.0006	0.0007
13	0.0006	0.0005	0.0003	0.0006	0.0007
12	0.0006	0.0004	0.0003	0.0004	0.0003
11	0.0005	0.0005	0.0004	0.0003	0.0003
10	0.0004	0.0005	0.0005	0.0003	0.0002
9	0.0004	0.0005	0.0005	0.0003	0.0000
8	0.0005	0.0006	0.0006	0.0003	0.0000
7	0.0005	0.0006	0.0006	0.0001	0.0001
6	0.0006	0.0007	0.0005	0.0001	0.0001
5	0.0006	0.0006	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.0006	0.0004	0.0005	0.0004	0.0003
3	0.0006	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
2	0.0006	0.0006	0.0005	0.0006	0.0007
1	0.0006	0.0006	0.0006	0.0007	0.0008

δ : Görel kat ötelemesi

Tablo 19. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen görelî kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0016	0.0020	0.0022	0.0029	0.0038
14	0.0019	0.0023	0.0025	0.0032	0.0041
13	0.0022	0.0025	0.0026	0.0034	0.0043
12	0.0025	0.0028	0.0027	0.0036	0.0043
11	0.0027	0.0028	0.0029	0.0038	0.0044
10	0.0028	0.0026	0.0029	0.0040	0.0041
9	0.0030	0.0027	0.0030	0.0040	0.0037
8	0.0032	0.0029	0.0032	0.0041	0.0034
7	0.0032	0.0031	0.0032	0.0041	0.0034
6	0.0033	0.0033	0.0033	0.0041	0.0034
5	0.0034	0.0034	0.0035	0.0039	0.0037
4	0.0034	0.0036	0.0036	0.0040	0.0039
3	0.0034	0.0037	0.0036	0.0040	0.0040
2	0.0034	0.0038	0.0037	0.0040	0.0041
1	0.0029	0.0035	0.0035	0.0038	0.0041

Tablo 20. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen görelî kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0023	0.0040	0.0051	0.0075	0.0072
14	0.0027	0.0045	0.0056	0.0081	0.0074
13	0.0032	0.0050	0.0061	0.0087	0.0077
12	0.0036	0.0055	0.0066	0.0092	0.0080
11	0.0040	0.0059	0.0071	0.0097	0.0082
10	0.0043	0.0063	0.0075	0.0101	0.0084
9	0.0045	0.0067	0.0079	0.0105	0.0084
8	0.0048	0.0070	0.0081	0.0107	0.0085
7	0.0050	0.0073	0.0084	0.0109	0.0083
6	0.0051	0.0075	0.0086	0.0110	0.0085
5	0.0052	0.0076	0.0087	0.0110	0.0085
4	0.0052	0.0076	0.0088	0.0109	0.0086
3	0.0051	0.0076	0.0087	0.0108	0.0086
2	0.0050	0.0075	0.0086	0.0106	0.0085
1	0.0041	0.0068	0.0080	0.0099	0.0082

Tablo 21. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	4.12	-0.5467	4.12	-0.5296	4.12	-0.5000	2.36	0.5081	2.38	0.5740
14	4.12	-0.8771	4.12	-0.8450	4.12	-0.7801	2.36	0.8166	2.38	0.9288
13	4.12	-1.4073	4.12	-1.3467	2.36	1.2219	2.36	1.3321	2.38	1.5298
12	4.12	-1.6330	4.12	-1.5540	2.36	1.4568	2.36	1.6076	2.38	1.8635
11	2.06	1.7194	2.08	1.6220	2.08	1.5853	2.36	1.6308	2.38	1.9098
10	3.60	1.9148	2.08	1.6143	2.08	1.5617	2.08	1.4636	2.38	1.6802
9	3.60	2.0341	2.92	1.5675	2.92	1.4689	2.76	-1.3490	4.02	1.5162
8	3.58	2.0972	2.92	1.5549	2.92	1.4253	4.00	1.4867	4.02	1.6877
7	4.04	-2.0424	3.40	-1.7408	3.98	1.6012	3.98	1.5462	4.00	1.6598
6	4.04	-2.3737	3.40	-1.8423	3.40	-1.6655	3.98	1.5549	4.00	1.6557
5	4.04	-2.4586	3.38	-1.8440	3.40	-1.6218	3.96	1.3351	2.48	1.4144
4	4.02	-2.4320	3.38	-1.7809	3.94	1.5337	2.28	1.3753	2.30	1.5033
3	4.02	-2.4400	3.00	1.7447	3.00	1.7013	2.26	1.6979	2.28	1.7633
2	4.00	-2.6167	4.26	-1.8558	2.24	2.0006	2.24	2.1689	2.26	2.2413
1	3.98	-2.6506	2.22	2.3637	2.22	2.4614	2.24	2.5958	2.26	2.7235

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), S: x doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük gerilme (MPa)

Tablo 22. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2'den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	3.34	0.9344	3.60	0.7657	3.62	0.8428	3.62	0.8717	3.92	0.8908
14	3.34	1.7776	3.12	-1.4315	3.62	1.5450	3.62	1.5972	3.92	1.5689
13	3.34	3.4639	3.12	-2.8124	3.60	2.9594	3.62	3.0028	3.92	2.8527
12	3.34	4.9299	3.10	-4.0343	3.60	4.1639	3.62	4.1475	3.92	3.8596
11	3.34	6.1852	3.10	-5.1405	3.60	5.1481	3.62	5.0361	3.92	4.5850
10	3.34	7.2031	3.10	-6.0989	3.60	5.8882	3.62	5.6627	3.92	5.0086
9	3.34	7.9963	3.10	-6.9077	3.58	6.5183	3.60	6.1118	3.92	5.1393
8	3.36	8.7736	3.10	-7.5670	3.10	-7.0495	5.82	6.4843	3.90	5.0014
7	3.38	9.5684	3.08	-8.1021	3.10	-7.4998	5.82	6.9140	3.90	4.7355
6	3.38	10.2667	3.08	-8.5414	3.54	7.8508	5.84	7.2329	3.88	4.3251
5	3.40	10.9477	3.50	8.9419	3.52	8.3246	5.86	7.4779	3.84	4.2226
4	3.42	11.6575	3.50	9.9182	3.50	9.0134	4.16	-7.9621	3.80	5.1320
3	3.42	12.4140	3.48	10.9752	3.50	9.8510	4.16	-8.5977	3.78	6.2544
2	3.44	13.1944	3.48	11.9001	3.48	10.6448	4.16	-9.1026	3.78	7.2904
1	3.44	13.8364	3.48	12.6734	3.48	11.3931	4.14	-9.5114	3.78	8.1954

Tablo 23. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2’den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	4.70	1.0917	5.60	1.1367	6.74	1.2441	6.42	-1.4213	5.04	0.8210
14	4.70	2.1533	5.62	2.3062	6.74	2.4920	6.42	-2.8319	5.04	1.5538
13	4.68	4.3305	5.62	4.7162	6.72	5.0416	6.42	-5.7019	5.04	3.0057
12	4.68	6.3330	5.62	6.9198	6.72	7.3973	6.42	-8.2833	5.04	4.2561
11	4.68	8.1853	5.62	8.9733	5.76	9.6101	6.42	-10.6432	5.04	5.3313
10	4.68	9.8578	5.64	10.9510	5.76	11.6628	6.42	-12.7560	5.02	6.2349
9	4.68	11.3516	5.66	12.8576	5.76	13.5521	6.42	-14.6303	5.02	6.9714
8	4.66	12.7834	5.66	14.6911	5.74	15.3443	6.40	-16.2893	5.02	7.5518
7	4.66	14.0806	5.66	16.3947	5.74	17.0321	6.40	-17.7612	5.00	8.0594
6	4.64	15.2438	5.68	17.9851	5.72	18.5967	6.40	-19.0287	4.98	8.5503
5	4.64	16.3836	5.68	19.4431	5.72	20.0714	6.40	-20.0998	4.96	9.0018
4	4.64	17.3933	5.68	20.7366	5.72	21.3938	6.40	-20.9860	5.60	-9.5600
3	4.64	18.2891	5.68	21.8608	5.72	22.5623	6.38	-21.7183	5.60	-10.1043
2	4.64	19.0812	5.68	22.8435	5.72	23.5994	6.38	-22.3405	5.60	-10.5655
1	4.64	19.5123	5.68	23.7845	5.72	24.6034	6.38	-22.9562	5.60	-10.9534

Tablo 24. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2’den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	2.88	4.7944	2.88	4.7449	2.10	4.6353	2.10	4.7331	2.10	5.5663
14	2.88	4.2318	2.10	4.2312	2.10	4.2277	2.10	4.2413	2.10	4.7845
13	2.10	3.7318	2.10	3.6994	2.10	3.6683	2.10	3.5936	2.10	3.7089
12	2.10	3.1150	2.10	3.0018	3.44	-2.9644	3.18	3.2373	3.52	3.3319
11	4.06	-3.3333	3.44	-3.1584	3.44	-3.2288	3.44	-3.2193	3.52	3.4241
10	4.06	-4.0827	4.06	-3.5612	3.96	3.4264	1.92	-3.4991	1.92	-3.5565
9	2.36	-4.5189	2.36	-4.2333	3.96	4.1508	2.36	-3.8743	1.92	-3.8324
8	2.36	-4.7497	2.36	-4.5474	3.96	4.6705	3.96	4.4288	1.92	-3.7861
7	2.36	-4.5059	3.94	4.7429	3.94	4.8283	3.96	4.7742	3.96	4.7672
6	3.94	5.0747	3.94	5.4744	3.94	5.6104	3.94	5.5889	3.96	5.9375
5	3.94	5.1049	3.94	5.6166	3.94	5.8148	3.94	6.0980	3.94	6.8280
4	3.86	-5.2959	3.92	5.0451	3.94	5.2779	3.94	5.7621	3.94	7.5706
3	3.86	-4.7734	3.92	4.6951	3.92	4.8977	3.92	5.3175	3.94	7.3406
2	3.86	-3.4541	3.86	-3.6046	3.92	3.7277	3.92	4.2419	3.94	6.0872
1	3.84	-2.0666	3.84	-2.2520	3.84	-2.3280	3.84	-2.7732	3.86	-4.9560

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), a: x doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük ivme (m/s^2)

Tablo 25. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-2’den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	3.10	-11.9280	3.12	-12.1510	3.12	-11.9100	3.14	-11.2500	3.92	9.6893
14	3.10	-11.4750	3.12	-11.5660	3.12	-11.2990	3.14	-10.5660	3.14	-8.7889
13	3.10	-10.9290	3.12	-10.8790	3.12	-10.5930	3.14	-9.7814	3.14	-8.0395
12	3.10	-10.2870	3.12	-10.0990	3.12	-9.8010	3.12	-8.9765	3.14	-7.2235
11	3.10	-9.5617	3.12	-9.2523	3.12	-8.9490	3.12	-8.1359	3.14	-6.3661
10	3.10	-8.7694	3.12	-8.3687	3.12	-8.0664	3.12	-7.2743	3.12	-5.6466
9	3.10	-7.9290	3.10	-7.5083	3.12	-7.1794	3.12	-6.4187	3.12	-4.9132
8	3.10	-7.0581	3.10	-6.6522	3.12	-6.3056	3.12	-5.5902	4.04	5.0841
7	3.10	-6.1686	3.10	-5.7937	3.10	-5.4738	4.16	-5.5876	4.04	5.4366
6	3.10	-5.2652	3.50	5.0663	3.52	4.9158	4.16	-5.4946	3.80	5.7918
5	3.48	4.6908	3.50	5.0148	3.50	4.9150	4.16	-5.1375	3.80	6.0589
4	3.48	4.4669	3.48	4.6882	3.50	4.4926	4.14	-4.5766	3.80	5.9540
3	3.48	3.7778	3.48	4.1171	3.48	4.0857	4.14	-3.7498	3.80	5.4651
2	3.46	2.7029	3.48	3.0140	3.48	3.0742	3.48	3.1734	3.80	4.6106
1	3.46	1.5424	3.46	1.8478	3.46	1.9767	3.48	2.0478	3.80	3.4326

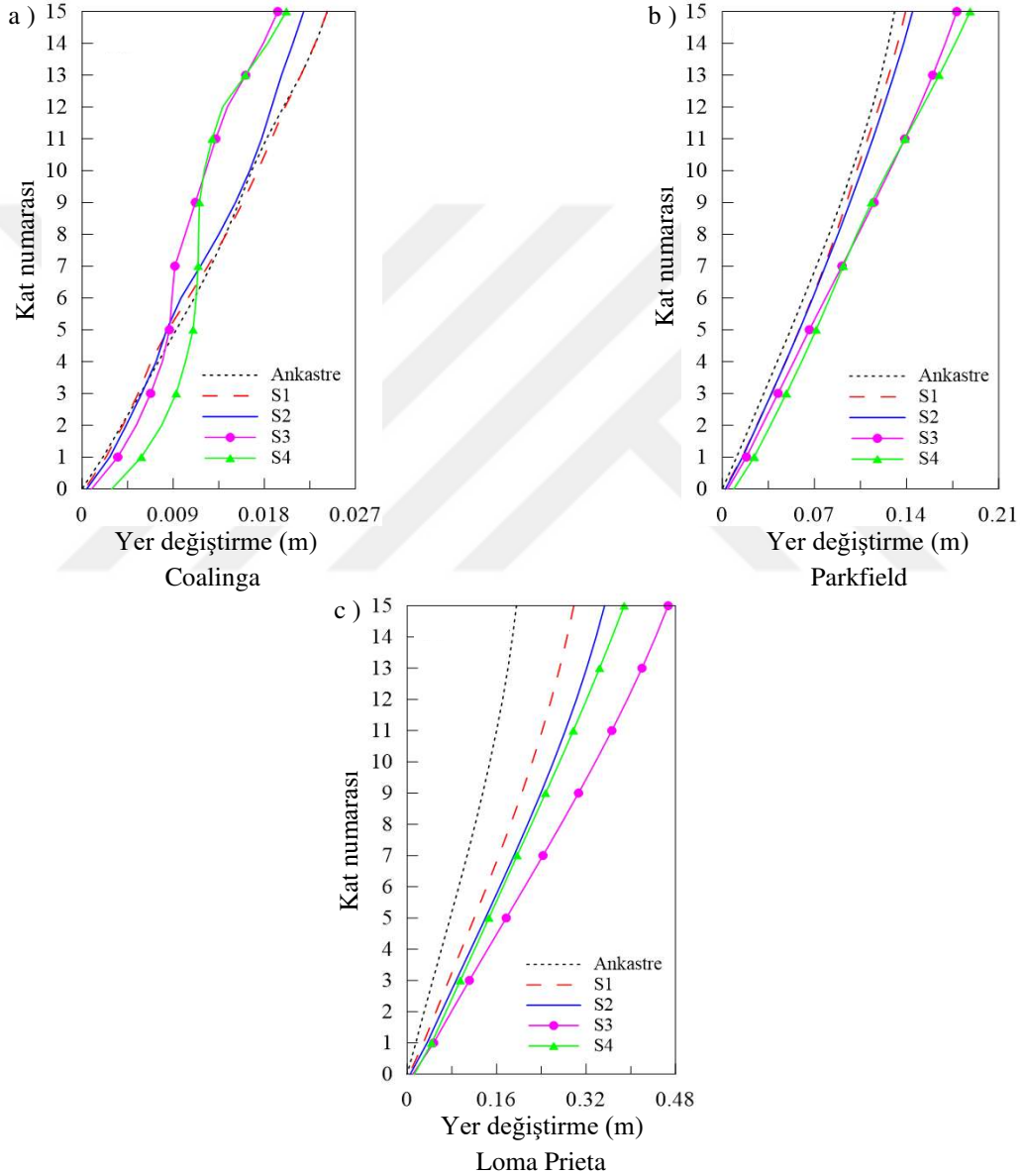
Tablo 26. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-2’den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	5.56	11.8190	8.36	13.8710	6.74	16.1540	6.44	-18.5840	5.04	11.9860
14	5.56	11.3020	8.36	13.1620	6.74	15.3800	6.44	-17.5640	5.04	11.1630
13	5.56	10.6760	8.36	12.3190	6.74	14.4920	6.44	-16.4190	5.04	10.2440
12	5.56	9.9414	5.64	11.4070	6.72	13.5730	6.44	-15.1750	5.04	9.2534
11	5.54	9.1928	5.66	10.8860	6.72	12.5880	6.44	-13.8720	5.04	8.2302
10	4.66	8.4164	5.68	10.4060	6.72	11.4660	6.44	-12.5370	4.98	7.2348
9	4.64	8.0162	5.68	9.8184	5.32	-10.4690	6.46	-11.1950	5.62	-6.7539
8	4.64	7.5487	5.68	9.1001	5.30	-9.7665	6.90	10.1730	5.62	-6.5493
7	4.62	7.0965	5.68	8.2618	5.30	-9.0358	6.88	9.2942	5.62	-6.1949
6	4.62	6.5478	5.28	-7.3279	5.28	-8.1130	6.88	8.3975	5.60	-5.7938
5	4.62	5.8132	5.28	-6.5582	5.28	-7.2737	6.88	7.3088	5.60	-5.3252
4	4.62	4.8672	5.26	-5.6716	5.28	-6.1390	6.88	6.0032	5.60	-4.6986
3	4.62	3.7271	5.26	-4.7121	5.26	-5.0490	6.86	4.7663	5.58	-3.9411
2	4.62	2.4711	5.26	-3.3929	5.26	-3.7162	5.26	-3.4548	5.58	-3.0570
1	4.26	-1.3576	5.24	-2.0113	5.24	-2.1927	6.84	2.1907	4.28	-2.3605

2.4.2.1. MODEL-2 İçin Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi

MODEL-2 için seçili düğüm noktalarından elde edilen yer değiştirme değerleri, bina yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 20’de gösterilmiştir. Analizlerden hesaplanan yer değiştirmeler incelendiğinde, dikkate alınan zemin şartlarına ve deprem büyüklüklerine bağlı olarak elde edilen yer değiştirmelerde önemli ölçüde farklı büyüklükte değerlerin olduğu görülmektedir. Şekil 20’den anlaşılabacağı üzere temel

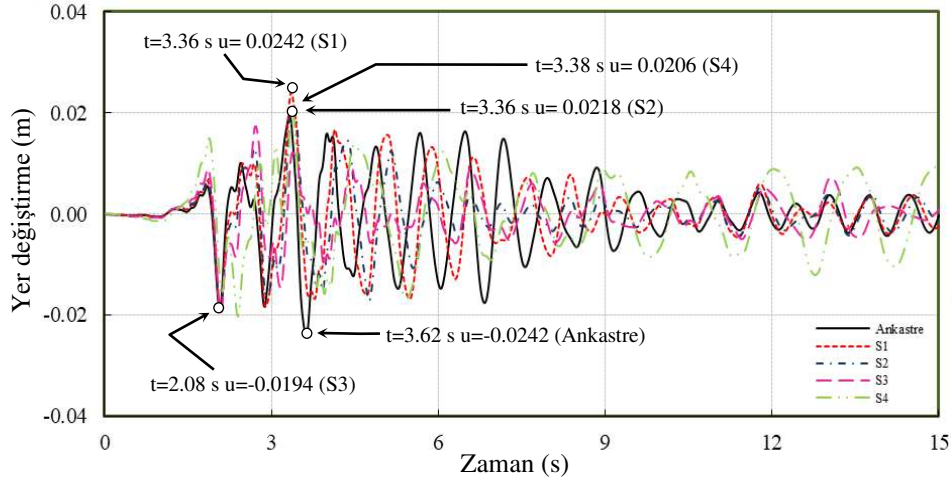
zemini özelliklerindeki değişime ve farklı deprem yükü etkisine bağlı olarak yapının zemin katından üst katlara doğru yer değiştirme büyüklüklerinin genel olarak arttığı ve yapıda en büyük yatay yer değiştirme değerlerinin 15. kat seviyesinde meydana geldiği görülmektedir. Şekil 20a incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük yatay yer değiştirmenin dikkate alınan temel zemin sistemlerindeki rijitlik azalışına bağlı olarak S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru azalış görülürken, Şekil 20b ve Şekil 20c’de benzer durumun gerçekleşmediği görülmektedir.



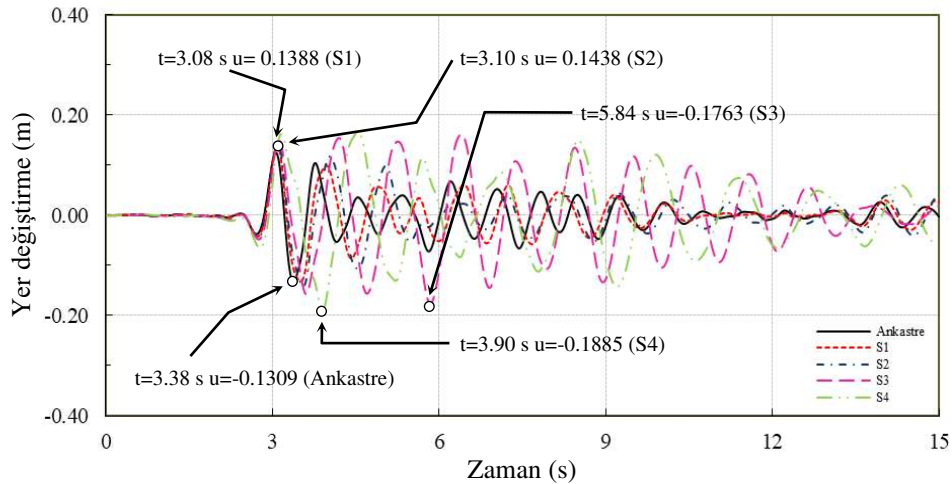
Şekil 20. MODEL-2 için x doğrultusundaki yatay yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

İncelemeye konu olan binanın 15. kattaki dış köşe düğüm noktasındaki yer değiştirme değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 21~23’te gösterilmektedir. Bu şekillerden görüleceği üzere, yapının 15. katında meydana gelen en büyük yer

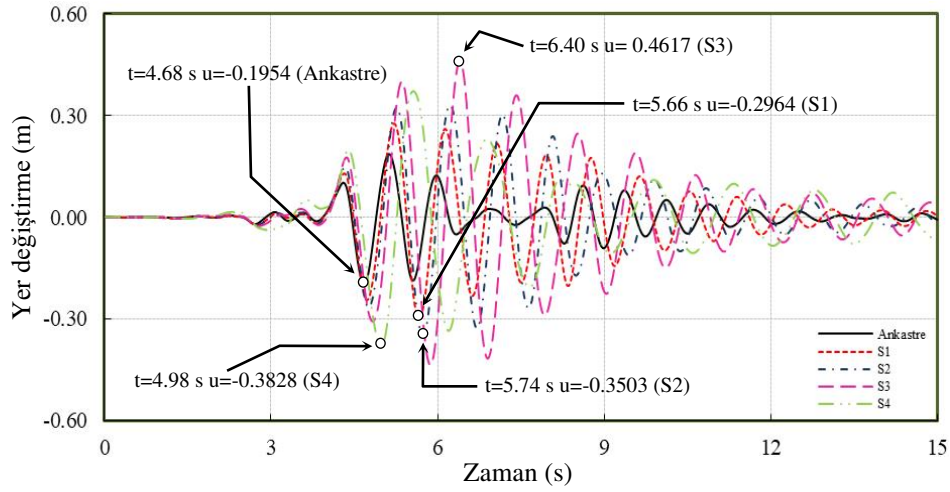
değiştirme değerinin Şekil 22’de incelendiğinde, S1 temel zemininde x doğrultusundaki en büyük yer değiştirme 0.1388 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S1 temel zeminine kıyasla S2 temel zemininde %4 oranında artışla 0.1438 m, S3 temel zemininde %27 oranında artışla 0.1763 m ve S4 temel zemininde %36 oranında artışla 0.1885 m olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca en büyük yer değiştirme değeri, S4 temel zemininde 3.90 s’de gerçekleşirken, S1, S2 ve S3 temel zemin sistemlerinde ve ankastre olarak tasarlanan modelde (3.08~5.84 s) aralığında gerçekleşmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 23 incelendiğinde, S1 temel zemininde elde edilen x doğrultusundaki en büyük yer değiştirme 0.2964 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %56’lık artışla 0.4617 m ve S4 temel zemininde %29’luk artışla 0.3828 m olarak gerçekleştiği ifade edilebilmektedir.



Şekil 21. MODEL-2 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi



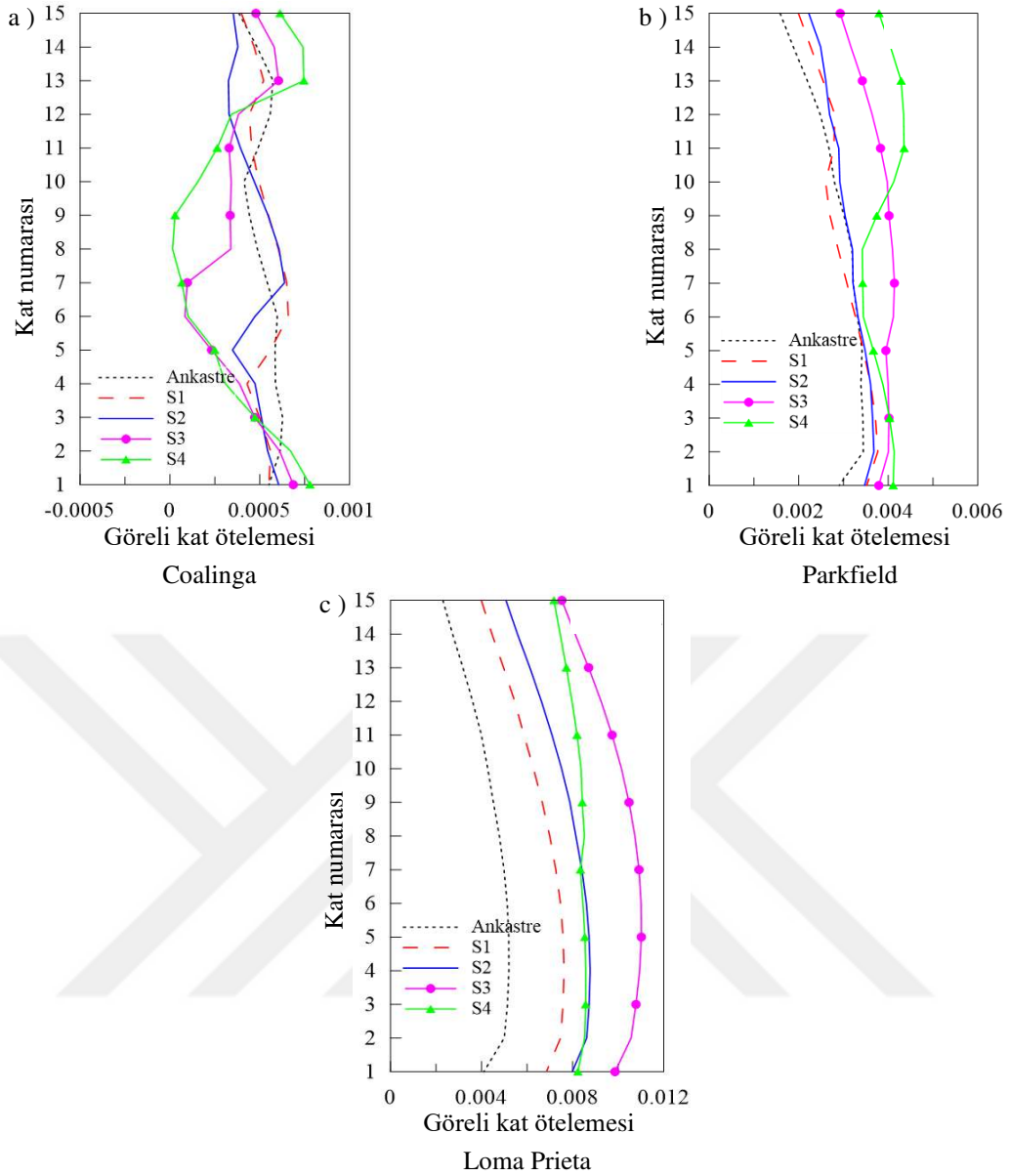
Şekil 22. MODEL-2 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 23. MODEL-2 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi

2.4.2.2. MODEL-2 İçin Görelî Kat Ötelemelerinin İrdelenmesi

İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen çözümler sonucunda dört farklı temel zemin sistemi ve üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak bina dış köşe birleşim noktaları için elde edilen görelî kat ötelemesi değerlerinin bina yüksekliği boyunca değişimi Şekil 24’te gösterilmiştir. Elde edilen grafiklerden görülebileceği üzere yapıya etki eden farklı deprem yüklerinin ve farklı temel zemin sistemlerinin binanın görelî kat ötelemesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Şekil 24 incelendiğinde, x doğrultusundaki görelî kat ötelemesine ait en kritik değerlerin çoğunlukla 1 ile 4. ve 6 ile 11. katları arasında meydana geldiği anlaşılmaktadır. Şekil 24’te görüldüğü gibi temel zemin özellikleri ve farklı deprem yükü etkisine bağlı olarak yapılarıdaki ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme oranının belirgin bir şekilde etkilendiği anlaşılmıştır. Temel zemin sistemindeki değişime bağlı olarak değişim oranını daha net olarak ifade edebilmek için Şekil 24b incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük görelî kat ötelemesinin S1 temel zemininde 0.0038 iken, temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %8’lik artış ile 0.0041 ve S4 temel zemininde %16’lık artışla 0.0044 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 24c incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük görelî kat ötelemesinin S1 temel zemininde 0.0076 iken, temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı olarak aynı değer S1 zemin sistemine kıyasla S2 temel zemininde %16 oranında artışla 0.0088, S3 temel zemininde %45 oranında artışla 0.0110 ve S4 temel zemininde %13 oranında artışla 0.0086 seviyesinde gerçekleştiği ifade edilebilir.

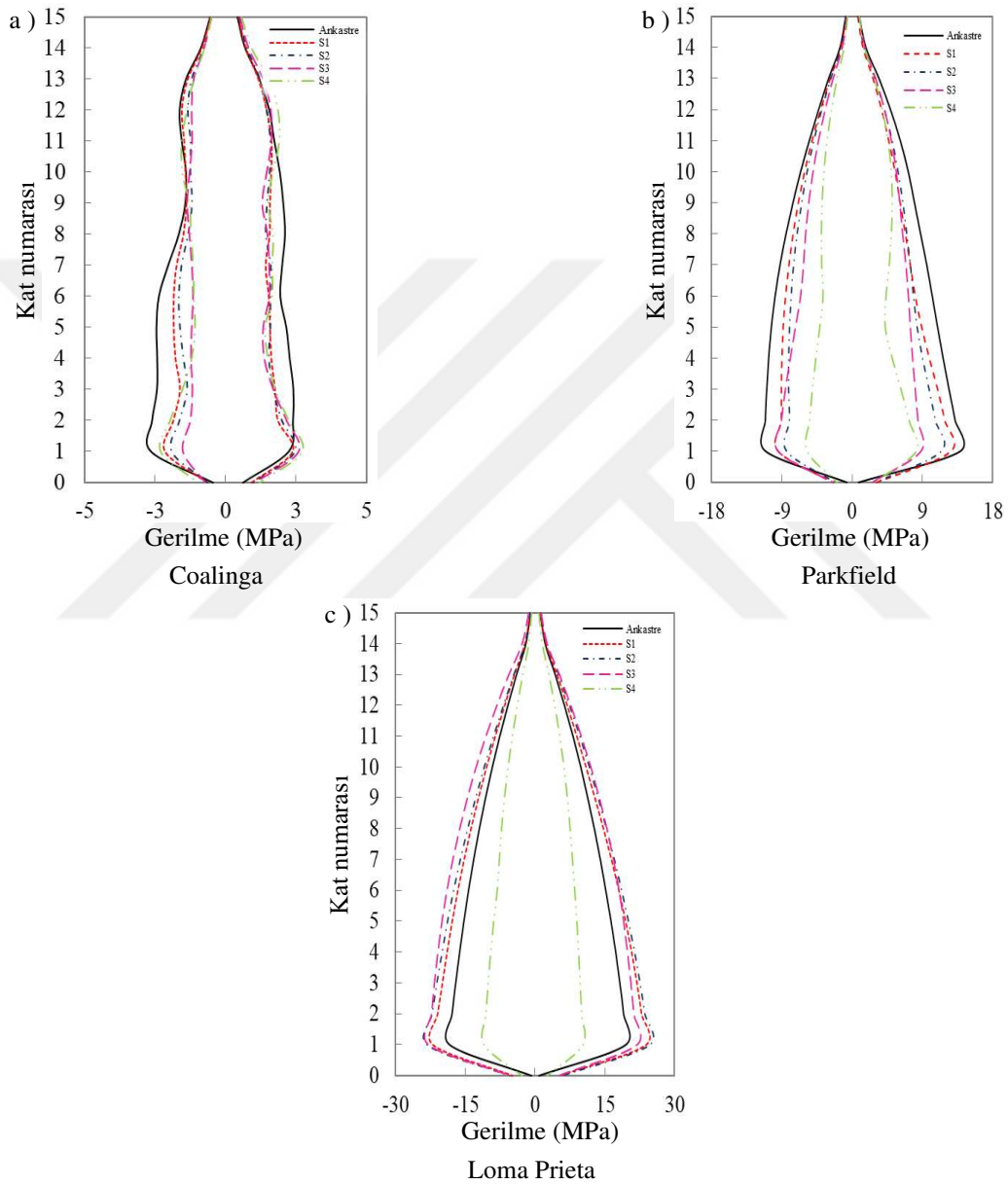


Şekil 24. MODEL-2 için x doğrultusundaki görel kat ötelemelerinin yüksekliğe bağlı değişimi

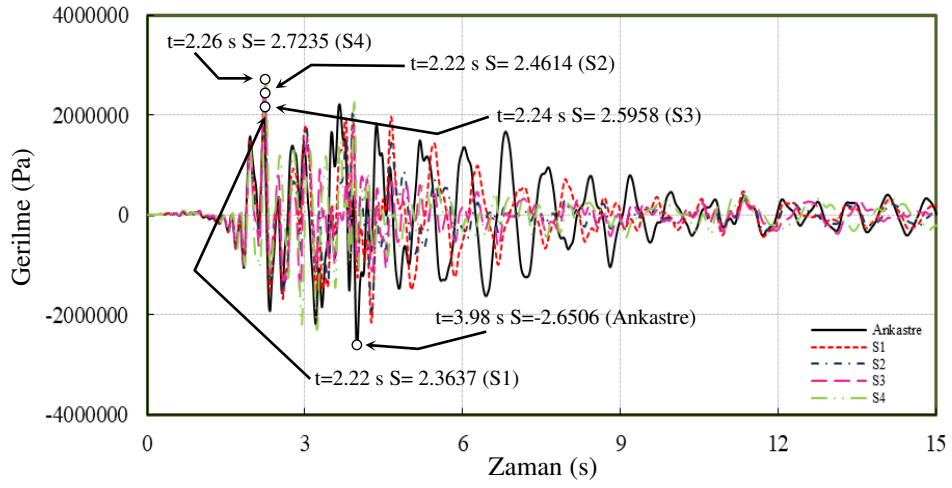
2.4.2.3. MODEL-2 İçin Gerilmelerin İrdelenmesi

Araştırmaya konu olan betonarme binaların farklı temel zemin koşulları ve deprem kayıtları için tüm katlarda kolon iç orta birleşim noktalarında meydana gelen gerilme değerleri elde edilerek bu noktalardaki en büyük gerilme değerlerinin yapı yüksekliğince değişimleri Şekil 25'te gösterilmektedir. Söz konusu bu şekilden anlaşılacağı üzere yapının farklı temel zemini koşullarına ve farklı deprem kayıtlarına göre gerçekleştirilen çözümlemelerinden hesaplanan gerilmelerin tepki şiddetlerinde ve oluş zamanlarında farklılıklar olduğu dikkat çekmektedir. Örneğin Şekil 25a incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük gerilme değerlerinin 1. katta görüldüğü ve gerilme değerlerinin dikkate alınan temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı

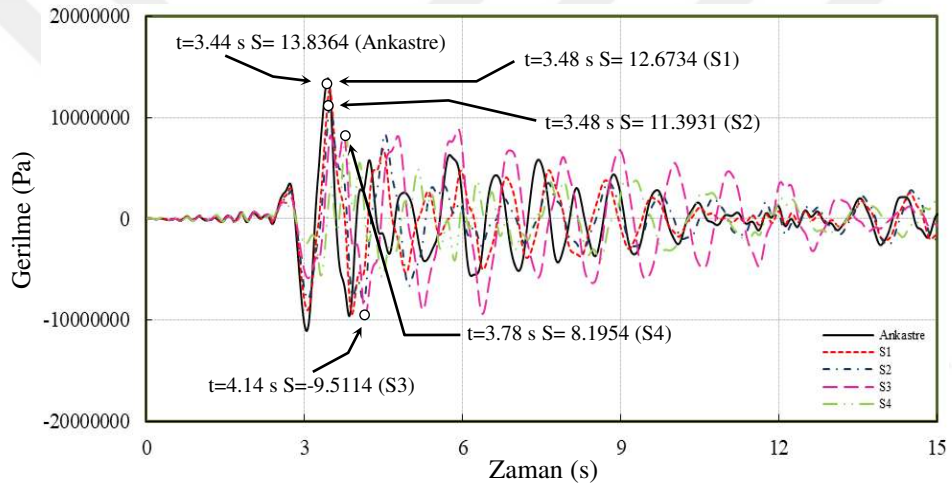
olarak S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru artma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer yandan Şekil 25b ve şekil 25c’de bu durumun azalma eğiliminde olduğu dikkat çekmektedir. Ayrıca Şekil 25b’de oluşturulan grafikten rahatlıkla görülebildiği gibi ankastre olarak modellenen yapıda en yüksek gerilme değerleri elde edilirken, Şekil 25a ve Şekil 25c’de böyle bir durumun genel olarak söz konusu olmadığı ifade edilebilmektedir.



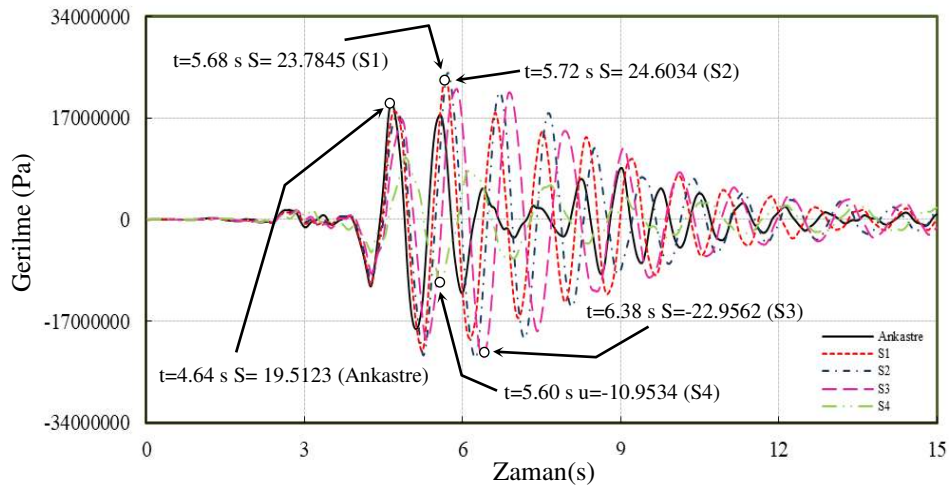
Şekil 25. MODEL-2 için x doğrultusunda gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi



Şekil 26. MODEL-2 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 27. MODEL-2 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

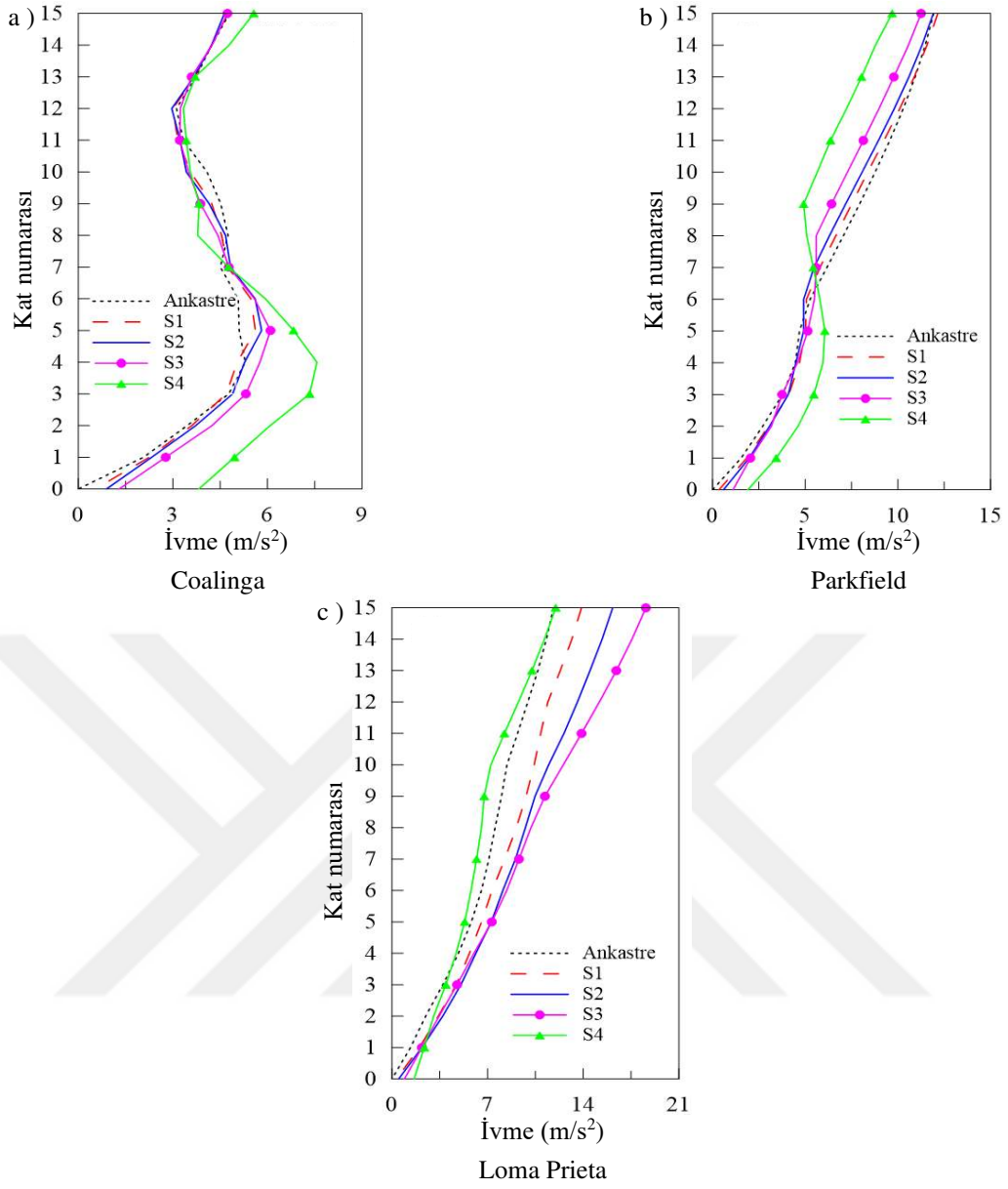


Şekil 28. MODEL-2 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

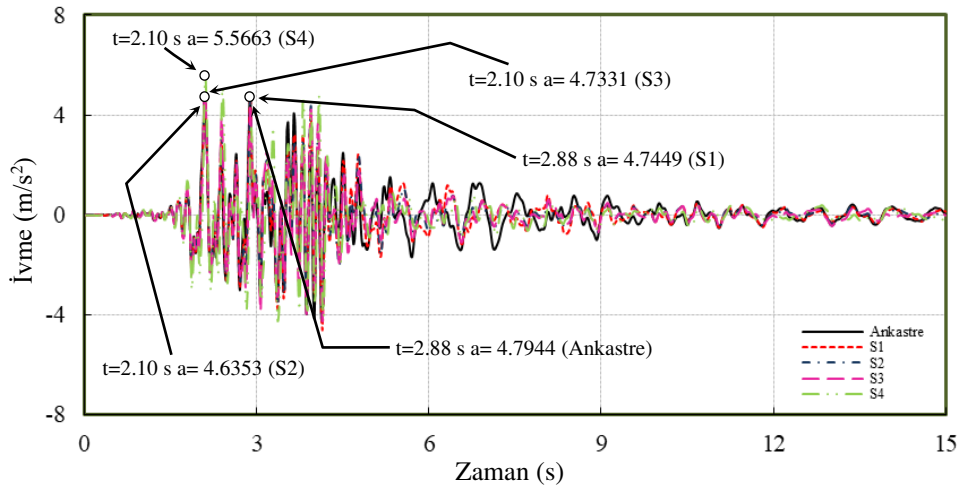
Elde edilen sonuçlara göre gerilme değerlerinin zamana bağlı değişimini daha net olarak ifade edebilmek için gerilme değerlerinin zamana bağlı değişimleri farklı deprem kayıtlarında ve temel zemin sistemlerine göre karşılaştırma yapılabilir. Örneğin Şekil 26 incelendiğinde, S1 temel zemininde x doğrultusundaki gerilme çekme olarak 2.3637 MPa iken, rijitlikteki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %10 oranında artış ile çekme olarak 2.5958 MPa ve S4 temel zemininde %15 oranında artış ile çekme olarak 2.7235 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 27 incelendiğinde, S1 temel zemininde elde edilen en büyük x doğrultusundaki gerilme değeri çekme olarak 12.6734 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S2 temel zemininde %10'luk azalışla çekme olarak 11.3931 MPa, S3 temel zemininde %25'lik azalışla basınç olarak -9.5114 MPa ve S4 temel zemininde %35'lik azalışla çekme olarak 8.1954 MPa seviyesinde gerçekleştiği ifade edilmektedir. Yapılan incelemeler doğrultusunda genellikle Şekil 27 ve Şekil 28'den hareketle elde edilen gerilme değerlerinin temel zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak azalma eğilimi gösterirken, Şekil 26 için bu eğilimin artış olarak gerçekleştiği görülmektedir.

2.4.2.4. MODEL-2 İçin İvmelerin İrdelenmesi

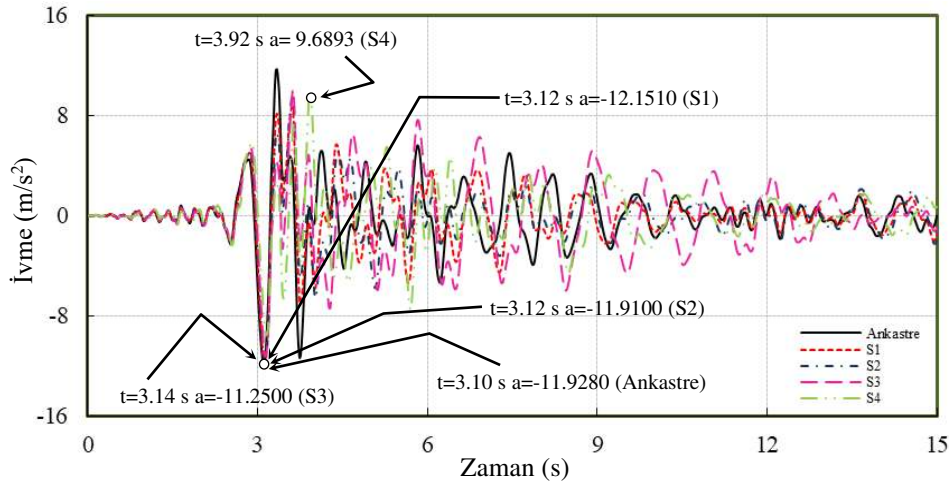
İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda dört farklı temel zemin koşulu ve üç farklı deprem kaydı için tüm katlarda bina dış köşe birleşim noktalarında meydana gelen ivmelerin değerlendirilerek en büyük ivme değerlerinin yapı yüksekliğince dağılımları Şekil 29'da, zamansal dağılımları Şekil 30~32'de gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, dikkate alınan temel zemin sistemlerinde farklı büyüklüklerde ivme değerlerinin elde edildiği açıkça görülmektedir. İncelemeler sonucunda en büyük ivme değerlerinin yapının zemin katından üst katlara doğru gidildikçe genellikle büyük bir oranda artış gösterdiği Şekil 29'da görülmektedir. Betonarme binanın ivme değerleri yükseklik boyunca Şekil 29b ve Şekil 29c incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük ivme değerlerinin 15. katta elde edildiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 29b'de incelendiğinde, dikkate alınan temel zemin sistemlerinde ivme değerlerinin, temel zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru genel olarak azalma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer yandan zemin rijitliğindeki azalışın Şekil 29a ve Şekil 29c'de benzer eğilimin görülmediği elde edilirken, Şekil 29a'da en büyük tepkilerin yerini değiştirerek 4-5. kat seviyelerine çektiği anlaşılmaktadır.



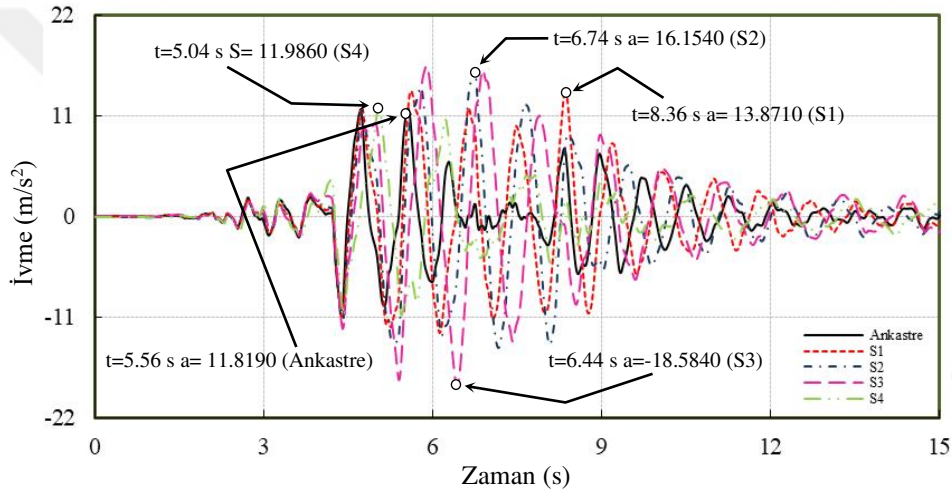
Şekil 29. MODEL-2 için x doğrultusunda ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi



Şekil 30. MODEL-2 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 31. MODEL-2 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 32. MODEL-2 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi

Yapı sisteminin analizlerinden elde edilen ivme değerlerinin değişimini ifade edebilmek için yapıların 15. katında meydana gelen ivme değerleri karşılaştırılabilir. Bu bağlamda Şekil 31 incelendiğinde, S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki ivme değerinin 12.1510 m/s^2 iken, aynı tepkinin zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %7 oranında bir azalışla 11.2500 m/s^2 ve S4 temel zemininde %20 oranında azalışla 9.6893 m/s^2 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca en büyük ivme değeri, S1 temel zemininde 3.12 s'de gerçekleşirken, S2, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde ve ankastre olarak tasarlanan modelde (3.10~3.92) s aralığında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Görüldüğü üzere elde edilen en büyük ivme değerlerinin gerçekleşme zamanlarında önemli farklılıkların meydana geldiği anlaşılmaktadır. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 32 incelendiğinde, S1 temel zemininde x doğrultusundaki ivme 13.8710

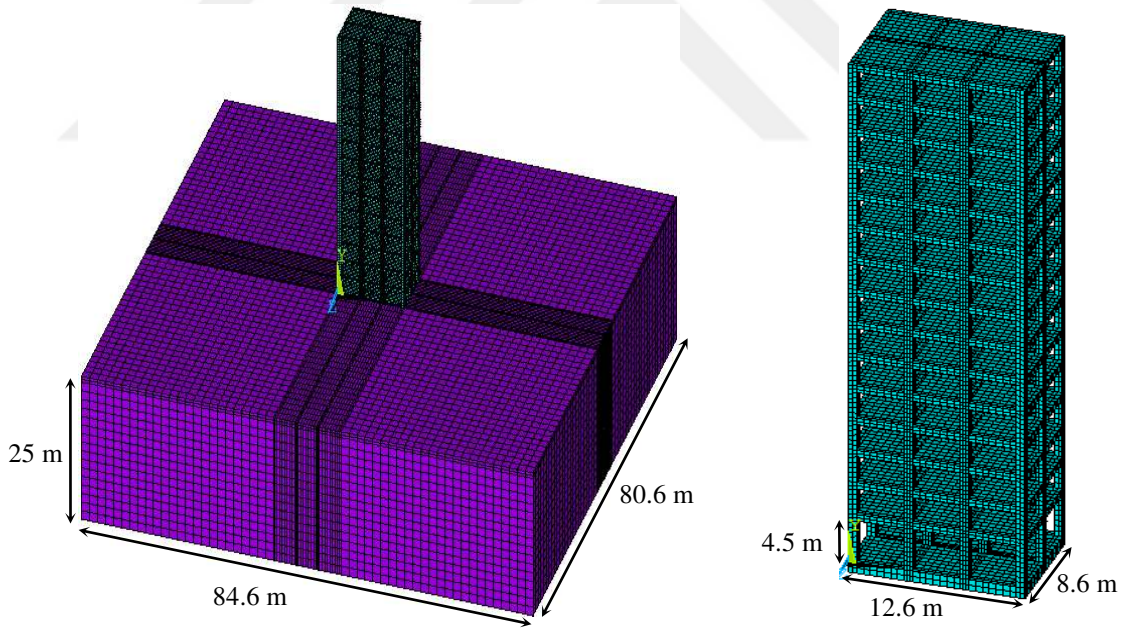
m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S2 temel zemininde %17'lik artışla $16.1540 m/s^2$, S3 temel zemininde %34'lük artışla $18.5840 m/s^2$ ve S4 temel zemininde %14'lük azalışla $11.9860 m/s^2$ dir.

2.5. MODEL-3'ün Analizi

Zemin kat yüksekliği 4.5 m olan 15 katlı betonarme yapının dinamik davranışını belirlemek amacıyla söz konusu yapısal sistemin sayısal modeli oluşturulmuş ve bu model dört farklı zemin sistemi ve üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Çözümlmelerden elde edilen en büyük yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, seçilen düğüm noktalarındaki gerilme ve ivme değerleri ile bu değerlerin oluş zamanları incelenmiştir.

2.5.1. MODEL-3 İçin Önerilen Sonlu Elemanlar Modeli

4.5 m zemin kat yüksekliğine sahip betonarme bina ve temel zemin sistemi dikkate alınarak oluşturulan sonlu eleman modeli Şekil 33'te sunulmaktadır.



Şekil 33. MODEL-3 için oluşturulan sonlu eleman modeli

2.5.2. MODEL-3'ün Sismik Analizi

Belirtilen zemin şartlarında ve deprem etkileri altında söz konusu etkileşim modelinin sismik analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirmeler, görelî kat ötelemeleri, ivme ve gerilme değerleri ve bu değerlerin oluş zamanları Tablo 27~38'de gösterilmektedir.

Tablo 27. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	T	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	3.34	0.0234	3.36	0.0247	3.38	0.0215	2.10	-0.0194	3.38	0.0227
14	3.34	0.0223	3.36	0.0234	3.38	0.0203	2.10	-0.0181	3.40	0.0210
13	3.34	0.0208	3.38	0.0218	3.38	0.0188	2.10	-0.0165	3.40	0.0192
12	3.66	-0.0195	3.38	0.0202	3.40	0.0176	2.10	-0.0147	3.40	0.0172
11	3.66	-0.0184	3.40	0.0185	3.40	0.0162	2.70	0.0135	3.40	0.0151
10	3.66	-0.0172	3.40	0.0169	3.42	0.0150	2.70	0.0130	3.96	-0.0135
9	3.66	-0.0161	3.40	0.0152	3.42	0.0135	2.70	0.0124	3.96	-0.0131
8	3.66	-0.0148	3.40	0.0134	3.42	0.0119	2.70	0.0117	3.96	-0.0127
7	3.66	-0.0134	3.42	0.0116	3.94	-0.0104	2.70	0.0108	3.96	-0.0122
6	3.66	-0.0119	3.42	0.0098	3.94	-0.0097	2.70	0.0097	3.96	-0.0115
5	3.66	-0.0101	3.92	-0.0086	3.92	-0.0092	2.24	-0.0088	3.96	-0.0104
4	3.66	-0.0083	3.92	-0.0077	3.92	-0.0083	2.24	-0.0083	3.94	-0.0092
3	4.00	0.0064	3.92	-0.0065	3.92	-0.0070	2.24	-0.0074	2.26	-0.0082
2	4.00	0.0047	3.92	-0.0050	3.92	-0.0054	2.24	-0.0059	2.26	-0.0066
1	3.20	0.0030	3.92	-0.0032	3.92	-0.0035	2.24	-0.0040	2.26	-0.0044

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

Tablo 28. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	3.06	0.1285	3.10	0.1415	3.58	-0.1465	5.88	-0.2029	3.92	-0.1916
14	3.06	0.1240	3.10	0.1355	3.58	-0.1398	5.88	-0.1930	3.92	-0.1801
13	3.40	-0.1186	3.10	0.1286	3.56	-0.1328	5.88	-0.1823	3.92	-0.1677
12	3.40	-0.1128	3.10	0.1209	3.56	-0.1251	5.88	-0.1707	3.92	-0.1546
11	3.42	-0.1065	3.08	0.1125	3.56	-0.1168	5.90	-0.1589	3.92	-0.1410
10	3.42	-0.0997	3.52	-0.1052	3.56	-0.1078	5.90	-0.1465	3.90	-0.1275
9	3.42	-0.0922	3.52	-0.0974	3.54	-0.0990	5.90	-0.1335	3.88	-0.1140
8	3.44	-0.0842	3.50	-0.0891	3.54	-0.0898	5.92	-0.1205	3.86	-0.1017
7	3.44	-0.0760	3.50	-0.0808	3.52	-0.0803	5.92	-0.1073	3.84	-0.0905
6	3.44	-0.0671	3.50	-0.0719	3.52	-0.0710	5.92	-0.0939	3.84	-0.0800
5	3.44	-0.0578	3.50	-0.0624	3.52	-0.0612	5.94	-0.0803	3.82	-0.0697
4	3.46	-0.0481	3.50	-0.0524	3.50	-0.0511	5.94	-0.0667	3.82	-0.0589
3	3.46	-0.0382	3.50	-0.0419	3.50	-0.0409	5.94	-0.0529	3.82	-0.0476
2	3.46	-0.0279	3.48	-0.0312	3.50	-0.0305	5.94	-0.0390	3.80	-0.0357
1	3.46	-0.0172	3.48	-0.0200	3.50	-0.0195	5.94	-0.0250	3.80	-0.0233

Tablo 29. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
15	5.58	-0.2213	5.70	-0.3278	5.78	-0.3786	6.44	0.4710	5.00	-0.3924
14	5.58	-0.2134	5.70	-0.3151	5.78	-0.3627	6.44	0.4486	5.00	-0.3707
13	5.58	-0.2042	5.70	-0.3009	5.78	-0.3452	6.44	0.4245	5.00	-0.3483
12	5.60	-0.1934	5.70	-0.2853	5.78	-0.3260	6.44	0.3987	4.98	-0.3251
11	5.60	-0.1813	5.70	-0.2681	5.78	-0.3053	6.44	0.3713	4.98	-0.3014
10	5.60	-0.1680	5.70	-0.2495	5.78	-0.2831	6.44	0.3425	4.98	-0.2771
9	5.60	-0.1536	5.70	-0.2296	5.78	-0.2597	6.44	0.3125	4.98	-0.2522
8	5.60	-0.1385	5.70	-0.2085	5.78	-0.2352	6.44	0.2815	4.98	-0.2268
7	5.60	-0.1227	5.72	-0.1864	5.76	-0.2100	6.44	0.2498	4.98	-0.2011
6	5.60	-0.1064	5.72	-0.1635	5.76	-0.1839	6.44	0.2175	4.98	-0.1751
5	5.60	-0.0899	5.72	-0.1399	5.76	-0.1573	6.44	0.1850	4.98	-0.1490
4	5.60	-0.0734	5.72	-0.1159	5.76	-0.1303	6.44	0.1524	4.98	-0.1229
3	5.60	-0.0569	5.72	-0.0916	5.76	-0.1030	6.44	0.1199	4.98	-0.0969
2	5.60	-0.0407	5.72	-0.0673	5.76	-0.0758	6.44	0.0878	4.98	-0.0711
1	5.14	0.0246	5.72	-0.0427	5.76	-0.0482	6.44	0.0559	4.96	-0.0456

Tablo 30. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen görel kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0006
14	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0006
13	0.0005	0.0005	0.0004	0.0006	0.0007
12	0.0004	0.0005	0.0004	0.0004	0.0005
11	0.0004	0.0005	0.0004	0.0002	0.0004
10	0.0004	0.0006	0.0005	0.0002	0.0003
9	0.0004	0.0006	0.0005	0.0002	0.0001
8	0.0005	0.0006	0.0005	0.0003	0.0001
7	0.0005	0.0006	0.0002	0.0003	0.0000
6	0.0006	0.0004	0.0002	0.0001	0.0000
5	0.0006	0.0003	0.0003	0.0002	0.0002
4	0.0006	0.0004	0.0004	0.0003	0.0003
3	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
2	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006	0.0006
1	0.0007	0.0007	0.0007	0.0008	0.0009

δ : Görel kat ötelemesi

Tablo 31. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen görelî kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0015	0.0020	0.0022	0.0033	0.0038
14	0.0018	0.0023	0.0023	0.0036	0.0041
13	0.0019	0.0026	0.0026	0.0038	0.0044
12	0.0021	0.0028	0.0028	0.0039	0.0044
11	0.0023	0.0024	0.0030	0.0041	0.0044
10	0.0025	0.0026	0.0029	0.0043	0.0041
9	0.0027	0.0027	0.0031	0.0043	0.0036
8	0.0028	0.0028	0.0031	0.0044	0.0034
7	0.0029	0.0030	0.0031	0.0045	0.0032
6	0.0031	0.0032	0.0033	0.0045	0.0034
5	0.0032	0.0033	0.0033	0.0045	0.0035
4	0.0033	0.0035	0.0034	0.0046	0.0036
3	0.0034	0.0036	0.0035	0.0046	0.0039
2	0.0036	0.0037	0.0036	0.0047	0.0041
1	0.0038	0.0042	0.0041	0.0051	0.0046

Tablo 32. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen görelî kat ötelemeleri

Zemin Sistemi	Ankastre	S1	S2	S3	S4
Kat No	δ	δ	δ	δ	δ
15	0.0026	0.0042	0.0053	0.0075	0.0072
14	0.0031	0.0047	0.0058	0.0080	0.0074
13	0.0036	0.0052	0.0064	0.0086	0.0077
12	0.0040	0.0057	0.0069	0.0091	0.0079
11	0.0044	0.0062	0.0074	0.0096	0.0081
10	0.0048	0.0066	0.0078	0.0100	0.0083
9	0.0051	0.0070	0.0082	0.0103	0.0085
8	0.0053	0.0074	0.0084	0.0106	0.0086
7	0.0054	0.0076	0.0087	0.0108	0.0087
6	0.0055	0.0079	0.0089	0.0109	0.0087
5	0.0055	0.0080	0.0090	0.0109	0.0087
4	0.0055	0.0081	0.0091	0.0108	0.0086
3	0.0054	0.0081	0.0091	0.0107	0.0086
2	0.0054	0.0082	0.0092	0.0107	0.0085
1	0.0055	0.0090	0.0100	0.0113	0.0087

Tablo 33. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	4.12	-0.5000	4.14	-0.4331	4.06	0.4554	2.38	0.4902	2.40	0.5565
14	4.12	-0.8185	4.14	-0.6953	2.38	0.7241	2.38	0.7883	2.40	0.8869
13	4.12	-1.3515	4.14	-1.1207	2.38	1.1743	2.38	1.2853	2.40	1.4285
12	4.12	-1.6280	2.08	1.4213	2.08	1.3989	2.38	1.5430	2.40	1.6938
11	2.08	1.6807	2.08	1.5748	2.08	1.5378	2.38	1.5465	2.40	1.6747
10	3.32	-1.7321	2.92	1.6005	2.08	1.5066	2.08	1.3910	2.38	1.5089
9	2.92	1.8182	2.92	1.6907	2.94	1.5591	2.94	1.3358	3.60	1.3928
8	2.92	1.8172	2.92	1.6563	2.94	1.5064	2.94	1.2296	3.88	1.4859
7	4.06	-1.9229	3.40	-1.6817	3.98	1.4584	4.00	1.2538	3.88	1.4615
6	4.06	-2.1061	3.40	-1.7181	3.98	1.5423	3.98	1.2364	4.00	1.5011
5	4.04	-2.2006	3.40	-1.6336	3.96	1.4189	2.72	-1.3599	4.00	1.4119
4	3.68	2.2264	3.40	-1.4621	3.96	1.4694	2.70	-1.4218	2.30	1.4714
3	3.66	2.3215	3.94	1.5941	3.94	1.6816	2.26	1.6372	2.28	1.6905
2	3.66	2.3529	3.92	1.9754	3.92	1.9978	2.26	2.0425	2.26	2.0998
1	4.00	-2.7157	2.24	2.4927	2.24	2.6604	2.24	2.8060	2.26	2.9233

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), S: x doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük gerilme (MPa)

Tablo 34. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	3.34	0.8393	3.62	0.8205	3.62	0.8769	3.64	0.8639	3.94	0.9266
14	3.34	1.5946	3.62	1.5133	3.62	1.6225	3.62	1.5804	3.94	1.6273
13	3.34	3.1043	3.62	2.8629	3.62	3.0772	3.62	2.9850	3.94	2.9505
12	3.34	4.4137	3.60	4.0290	3.62	4.2792	3.62	4.1403	3.94	3.9809
11	3.34	5.5304	3.12	-5.0585	3.62	5.2431	5.86	5.1225	3.94	4.7133
10	3.08	-6.5401	3.12	-5.9608	3.60	6.0217	5.86	5.9933	3.94	5.1276
9	3.08	-7.5194	3.10	-6.7183	3.60	6.6109	5.86	6.6793	3.94	5.2353
8	3.08	-8.3602	3.10	-7.3704	3.60	7.0047	5.86	7.1924	3.92	5.0732
7	3.08	-9.0568	3.10	-7.8775	3.58	7.3390	5.86	7.5554	3.92	4.7339
6	3.06	-9.6271	3.10	-8.2424	3.56	7.6001	5.88	7.8554	3.90	4.2405
5	3.42	10.2483	3.52	8.5869	3.54	7.9298	5.92	8.2445	3.86	4.0839
4	3.44	11.0910	3.50	9.4499	3.52	8.5003	5.94	8.8805	3.82	4.8916
3	3.44	12.0401	3.50	10.4350	3.50	9.2659	5.94	9.5105	3.80	6.0704
2	3.46	13.2288	3.48	11.4490	3.50	10.2015	5.96	10.2260	3.80	7.2478
1	3.46	15.3133	3.48	13.5039	3.50	11.9487	5.96	11.7839	3.80	8.9961

Tablo 35. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
15	5.56	1.1652	5.62	1.1124	6.76	1.3004	6.44	-1.3055	4.42	-0.7770
14	5.56	2.3298	5.64	2.2721	6.76	2.6326	6.44	-2.6379	5.04	1.4482
13	5.56	4.7226	5.64	4.6679	6.76	5.3603	6.44	-5.3636	5.04	2.8321
12	5.56	6.9051	5.64	-6.8692	6.76	7.8300	6.44	-7.8313	5.04	4.0342
11	5.56	8.9204	5.66	9.0004	6.76	10.1100	6.44	-10.1095	5.04	5.0835
10	5.56	10.7360	5.68	11.0743	6.76	12.1814	6.44	-12.1726	5.04	5.9692
9	5.56	12.3507	5.70	13.0929	6.76	14.0604	6.44	-14.0252	5.04	6.6989
8	5.56	13.7684	5.70	15.0384	6.76	15.7610	6.44	-15.6697	5.04	7.2816
7	5.56	15.0015	5.70	16.8720	6.76	17.2918	6.44	-17.1119	5.00	7.8009
6	5.56	16.0691	5.70	18.5763	5.78	18.7991	6.44	-18.3606	4.98	8.3319
5	5.56	16.9948	5.70	20.1354	5.78	20.2450	6.44	-19.4268	4.98	8.7958
4	5.58	17.8503	5.70	21.5434	5.76	21.6353	6.44	-20.3232	4.96	9.1987
3	5.58	18.6642	5.72	22.8380	5.76	22.9319	6.44	-21.0746	4.96	9.5128
2	5.58	19.5870	5.72	24.2728	5.76	24.3615	6.44	-21.9034	5.60	-9.8862
1	5.12	-21.8736	5.72	27.7937	5.76	27.8982	6.44	-24.5742	5.60	-11.1819

Tablo 36. Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	2.10	4.7728	2.10	4.8061	2.10	4.8134	2.10	4.8362	2.10	5.3603
14	2.10	4.3764	2.10	4.3571	2.10	4.3460	2.10	4.3080	2.10	4.6230
13	2.10	3.8106	2.10	3.7385	2.10	3.7065	2.10	3.6031	2.10	3.6090
12	2.10	3.0895	2.10	2.9613	3.18	2.9488	3.18	3.0114	3.46	-3.3533
11	1.92	-2.9761	3.44	-3.2378	3.44	-3.2114	1.92	-3.0861	3.52	3.4169
10	4.06	-3.6315	1.92	-3.2938	1.92	-3.3363	1.92	-3.4112	1.92	-3.3794
9	2.36	-3.9793	3.96	3.6173	3.96	3.6323	1.92	-3.4863	1.92	-3.6685
8	2.36	-4.3258	3.96	4.1532	3.96	4.2407	3.96	4.0805	1.92	-3.6834
7	2.36	-4.2814	3.94	4.4876	3.96	4.5844	3.96	4.7010	3.70	4.2558
6	3.94	4.6809	3.94	5.3416	3.94	5.4885	3.94	5.5593	3.96	5.3007
5	3.94	5.0199	3.94	5.7682	3.94	5.9846	3.94	6.2905	3.96	5.9623
4	3.94	4.7978	3.94	5.5603	3.94	5.8255	3.94	6.2733	3.94	6.4070
3	4.00	-4.5045	3.92	4.8683	3.92	5.0526	3.94	5.4504	3.94	6.4703
2	4.00	-3.6202	3.92	4.0399	3.92	4.2354	3.86	-4.5779	3.86	-6.3758
1	3.92	2.3789	3.92	2.7266	3.92	2.8104	3.86	-3.1268	3.86	-5.6074

t: En büyük tepkinin oluş zamanı (s), a: x doğrultusunda seçili düğüm noktasındaki en büyük ivme (m/s²)

Tablo 37. Parkfield deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	3.12	-12.2600	3.12	-12.0690	3.14	-11.7650	3.14	-11.1340	3.94	10.0340
14	3.12	-11.7410	3.12	-11.4940	3.12	-11.1370	3.14	-10.4610	3.94	8.8692
13	3.12	-11.1040	3.12	-10.8210	3.12	-10.4570	3.14	-9.6904	3.14	-7.9599
12	3.10	-10.3890	3.12	-10.0560	3.12	-9.6922	3.14	-8.8386	3.14	-7.1721
11	3.10	-9.6616	3.12	-9.2222	3.12	-8.8657	3.12	-8.0493	3.14	-6.3397
10	3.10	-8.8612	3.12	-8.3452	3.12	-8.0019	3.12	-7.2310	3.12	-5.6080
9	3.10	-8.0058	3.10	-7.4867	3.12	-7.1255	3.12	-6.4040	3.12	-4.8884
8	3.10	-7.1150	3.10	-6.6537	3.10	-6.2926	3.12	-5.5889	3.82	4.8926
7	3.10	-6.2069	3.10	-5.8057	3.10	-5.4797	4.18	-5.4774	3.82	5.7055
6	3.10	-5.2951	3.52	5.4637	3.52	5.3294	4.18	-5.3782	3.80	6.3308
5	3.50	5.0843	3.50	5.3355	3.50	5.1630	4.18	-5.0678	3.80	6.7450
4	3.48	4.8242	3.50	5.0056	3.50	4.9465	3.80	4.8539	3.80	6.7622
3	3.48	4.2950	3.48	4.3841	3.48	4.2898	3.80	4.5166	3.80	6.3681
2	3.48	3.3524	3.48	3.5363	3.48	3.5404	3.80	3.8379	3.80	5.5777
1	3.48	2.1128	3.48	2.3003	3.48	2.2942	3.78	2.8452	3.80	4.3911

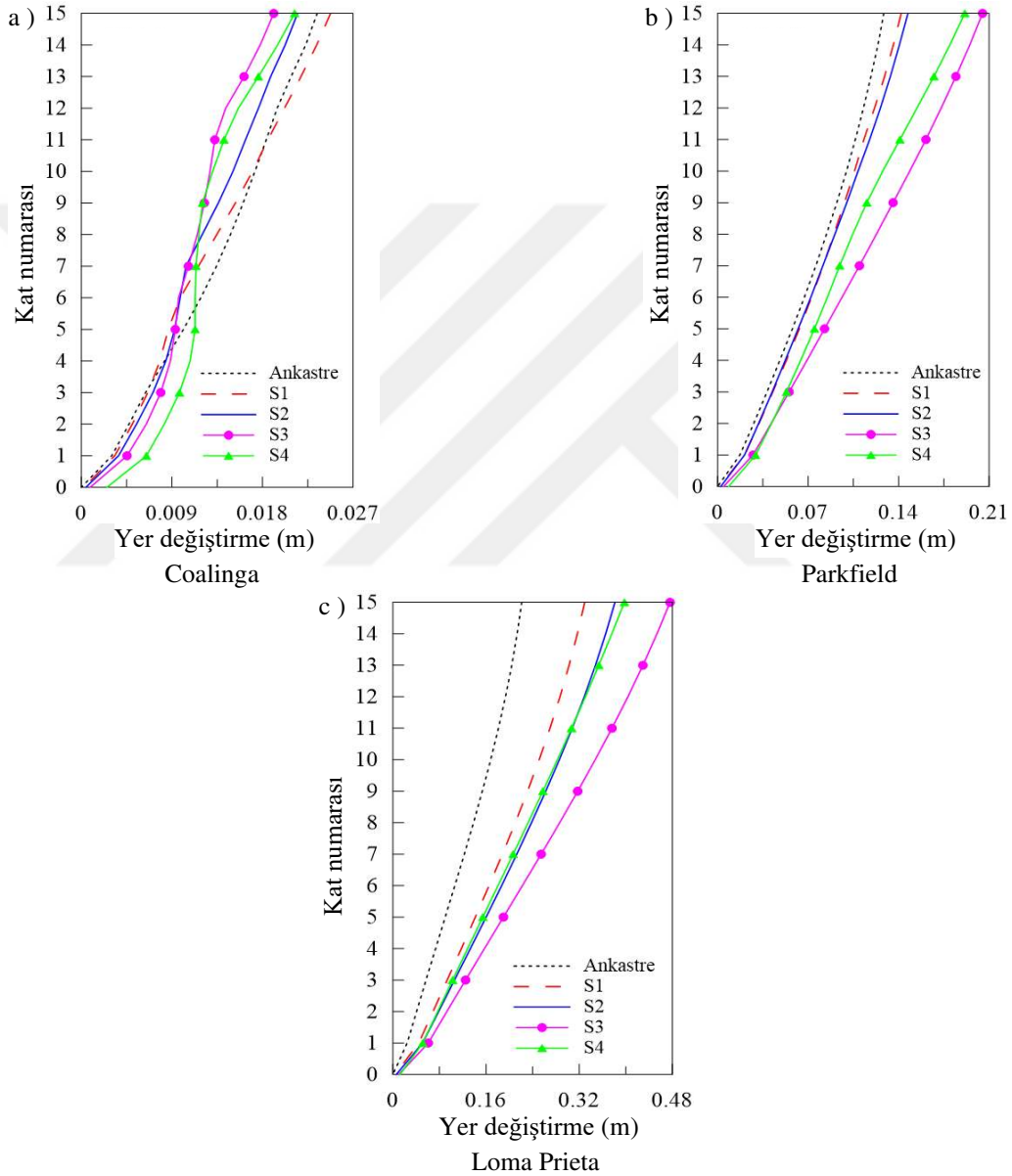
Tablo 38. Loma Prieta deprem yüklemesi altında MODEL-3'den elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
15	5.58	13.4580	6.68	14.3720	6.76	17.5360	6.46	-18.1600	5.06	11.4740
14	5.58	12.8390	6.68	13.7730	6.76	16.6810	6.46	-17.2680	5.06	10.7470
13	5.58	12.0770	6.70	13.1180	6.76	15.6980	6.46	-16.2970	5.06	9.9525
12	5.58	11.1710	6.70	12.3880	6.74	14.6610	6.46	-15.2490	5.06	9.0972
11	5.58	10.1490	6.66	11.5900	6.74	13.5310	6.46	-14.1400	5.06	8.2011
10	5.56	9.1432	6.66	10.7970	6.76	12.3230	6.46	-12.9830	5.04	7.3196
9	5.56	8.0994	5.70	10.2080	6.76	11.2110	6.48	-11.8460	4.98	6.7512
8	4.66	7.0917	5.72	9.5569	5.32	-10.4480	6.48	-10.7030	4.98	6.2090
7	4.64	6.5549	5.72	8.8118	5.32	-9.5041	6.48	-9.5375	5.62	-5.8476
6	4.64	5.9254	5.72	7.9302	5.30	-8.4588	6.48	-8.3418	5.62	-5.4089
5	4.62	5.2902	5.28	-6.9624	5.30	-7.3374	6.48	-7.1164	5.62	-4.8714
4	4.28	-4.5845	5.28	-5.9840	5.28	-6.2159	6.46	-5.8988	5.60	-4.2688
3	4.28	-3.8832	5.26	-4.7967	5.28	-4.9733	5.36	-4.7143	4.28	-3.6747
2	4.28	-2.9161	5.26	-3.7079	5.78	3.7842	5.36	-3.5585	4.28	-3.3819
1	4.26	-1.7734	5.26	-2.3494	5.78	2.5720	5.34	-2.3907	4.28	-2.7886

2.5.2.1. MODEL-3 İçin Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi

MODEL-3'ten elde edilen bina yüksekliği boyunca yer değiştirme değerleri Şekil 34'te gösterilmektedir. Analizlerden hesaplanan yer değiştirmeler etüt edildiğinde, dikkate alınan zemin şartlarına ve deprem büyüklüklerine bağlı olarak önemli ölçüde farklılıklar olduğu görülmektedir. Örneğin Şekil 34 incelendiğinde, farklı deprem kayıtları altında ve farklı zemin sistemleri için yapının zemin katından üst katlara doğru

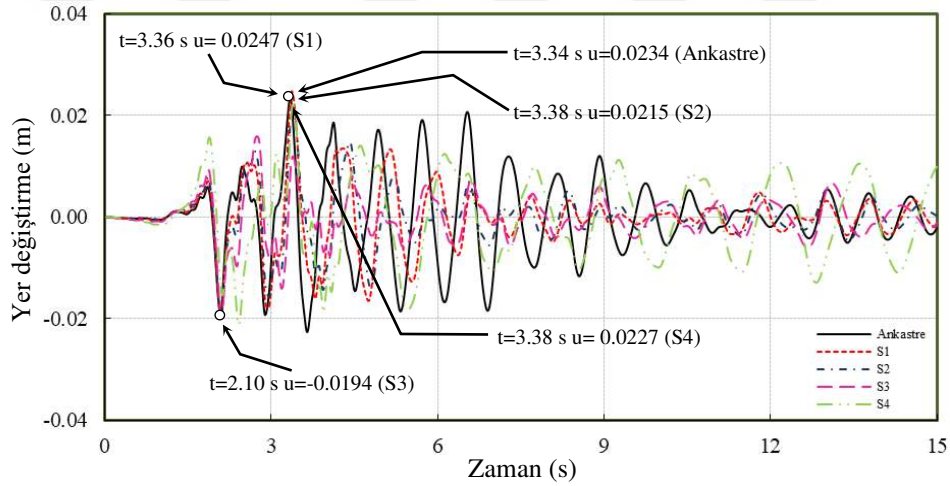
yer değiştirme büyüklüklerinin artmakta olduğu ve yapıda en büyük yatay yer değiştirme değerlerinin 15. katta meydana geldiği açıkça görülmektedir. şekil 34b ve şekil 34c’de incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük yatay yer değiştirmenin genellikle S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak artma eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer yandan bu değişim eğiliminin şekil 34a’da oldukça karmaşık bir hal aldığı ve en k  k yer değiştirmelerin S3 ve S4 zemin sistemlerinde elde edildiği dikkat çekmektedir.



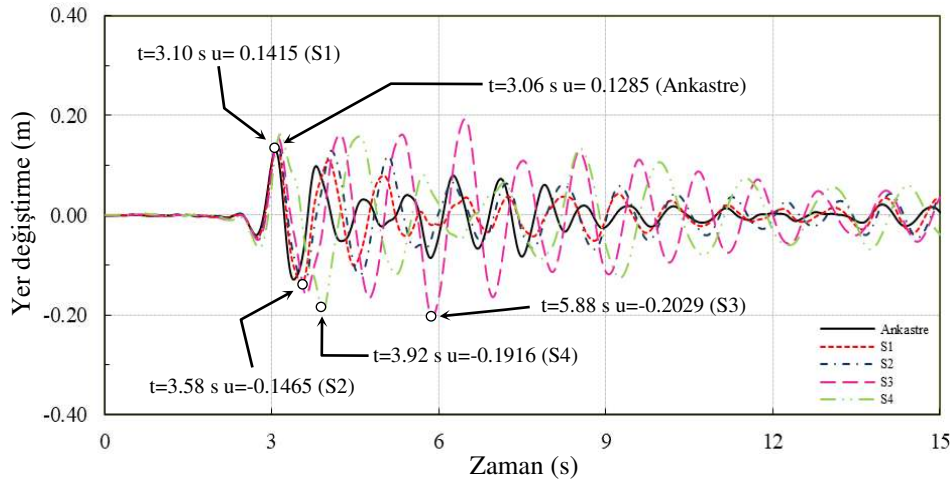
şekil 34. MODEL-3 için x doğrultusundaki yatay yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

Yapı sisteminden elde edilen sonuçlara göre binanın 15. kat dış köşe birleşim noktasındaki yatay yer değiştirme değerinin zamansal değişimi şekil 35~37’de

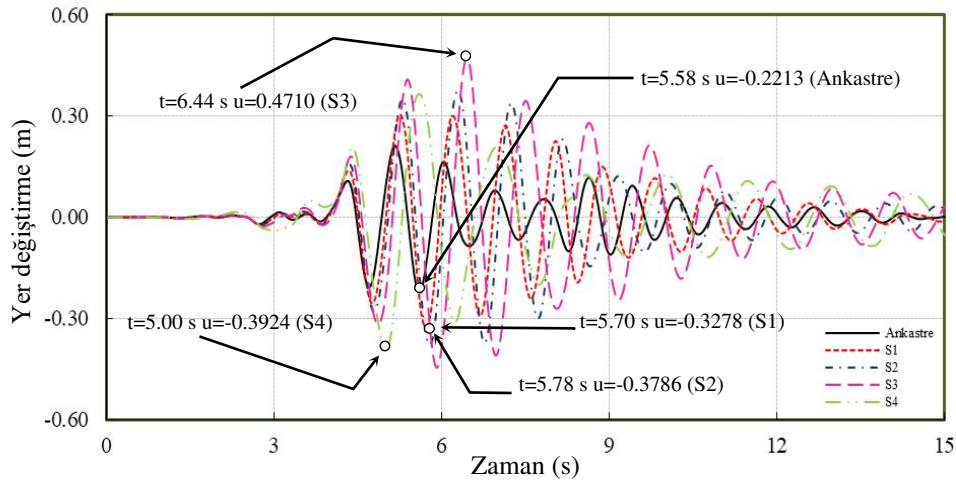
gösterilmektedir. Bir örnek olarak Şekil 35 incelendiğinde, S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki yer değiştirme 0.0247 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak S1 temel zeminine kıyasla S2 temel zemininde aynı değer %13 oranında azalışla 0.0215 m, S3 temel zemininde %22 oranında azalışla 0.0194 m ve S4 temel zemininde %8 oranında azalışla 0.0227 m olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca en büyük yer değiştirme değeri, S1 temel zemininde 3.36 s'de gerçekleşirken, S2, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde ve ankastre olarak tasarlanan modelde (2.10~3.38) s aralığında gerçekleştiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 37 incelendiğinde, S1 temel zemininde x doğrultusundaki en büyük yer değiştirme 0.3278 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %44'lük artışla 0.4710 m ve S4 temel zemininde %20'lik artışla 0.3924 m olarak gerçekleştiği ifade edilebilmektedir.



Şekil 35. MODEL-3 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi



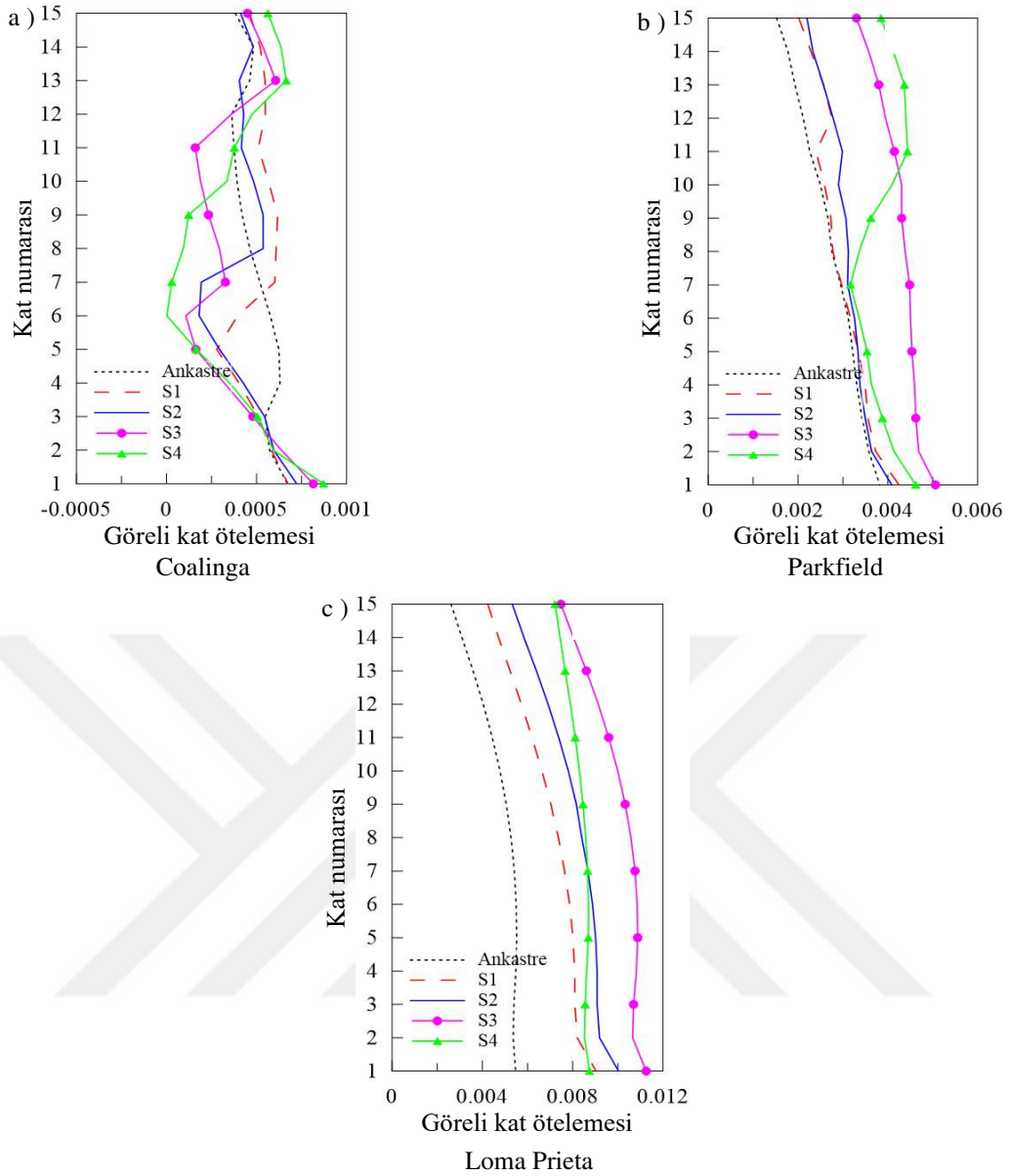
Şekil 36. MODEL-3 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 37. MODEL-3 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi

2.5.2.2. MODEL-3 İçin Göreli Kat Ötelemelerin İrdelenmesi

İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda bina dış köşe birleşim noktaları için elde edilen göreli kat ötelemesi değerlerinin bina yüksekliği doğrultusundaki değişimi Şekil 38’de gösterilmektedir. Şekil 38’den anlaşılabildiği gibi yapıya etki eden farklı deprem yükleri ve farklı temel zemin sistemlerinin binanın göreli kat ötelemesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 38 incelendiğinde, dikkate alınan tüm yüklemelerde farklı temel zemin sistemleri için x doğrultusundaki göreli kat ötelemesine ait en kritik değerlerin, 1. kat seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Göreli kat ötelemesi üzerinde zemin-yapı etkileşiminin etkilerini daha net olarak ifade etmek için Şekil 38b incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük göreli kat ötelemesinin S1 temel zemininde 0.0042 iken, temel zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak S1 temel zeminine kıyasla aynı değer S3 temel zemininde %21 oranında artış ile 0.0051 ve S4 temel zemininde %10 oranında bir artış ile 0.0046 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 38c incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük göreli kat ötelemesinin S1 temel zemininde 0.0090 iken, temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı olarak aynı değer S1 temel zemin sistemine kıyasla S2 temel zemininde %11’lik artışla 0.0100, S3 temel zemininde %26’lık artışla 0.0113 ve S4 temel zemininde %3’lük azalışla 0.0087 seviyesinde gerçekleştiği ifade edilebilir. Son olarak, incelemede dikkate alınan tüm deprem kayıtları için elde edilen göreli kat ötelemesi oranlarının genellikle zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak artma eğilimi gösterdiği rahatlıkla ifade edilebilir.

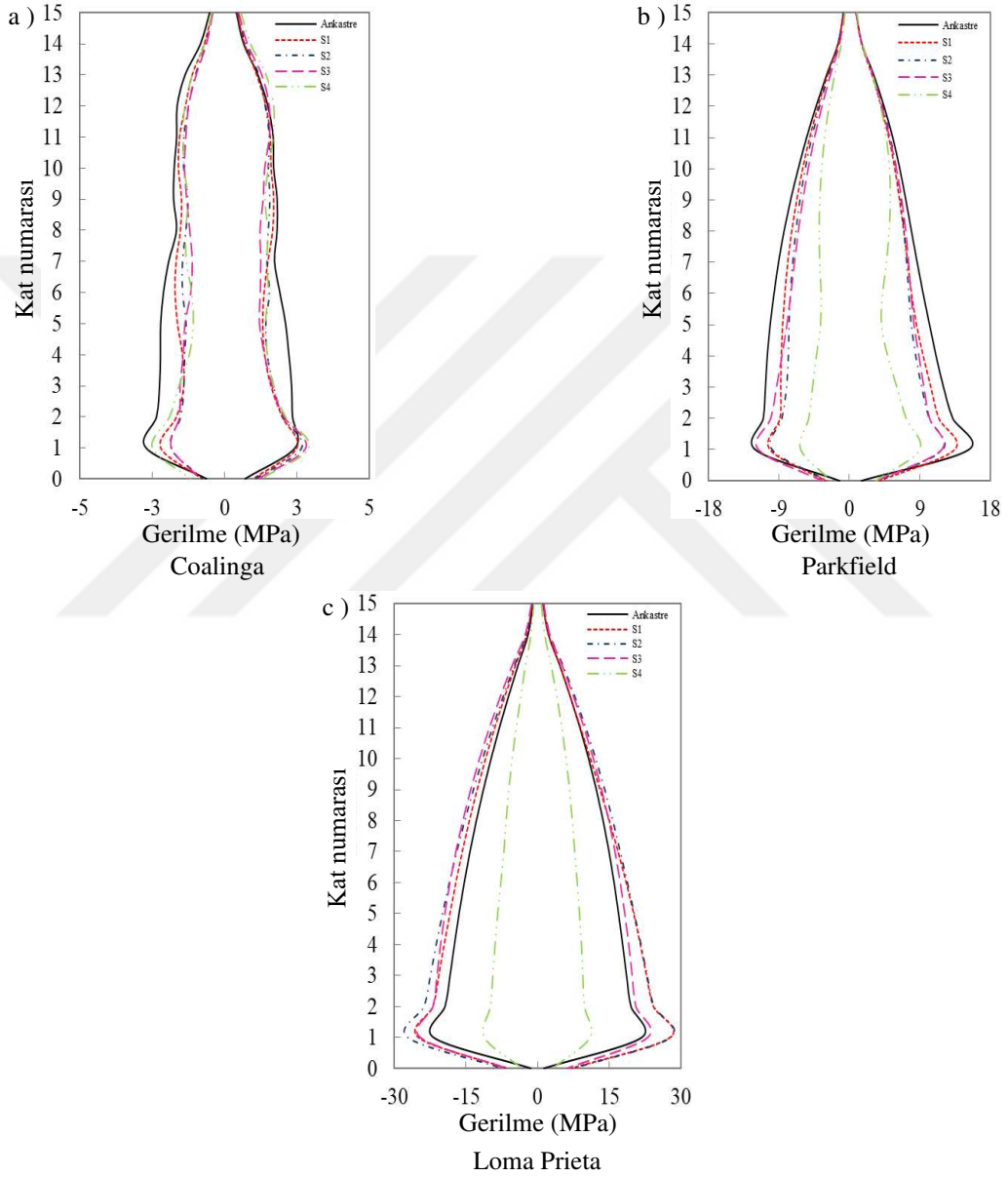


Şekil 38. MODEL-3 için x doğrultusundaki görelî kat ötelemelerinin yüksekliğe bağılı değişimi

2.5.2.3. MODEL-3 İçin Gerilmelerin İrdelenmesi

Araştırmaya konu olan betonarme binaların farklı temel zemin koşulları ve deprem kayıtları için tüm kat seviyelerinde x doğrultusundaki en büyük gerilme değerlerinin yapı yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 39'da, zamana bağılı değişimleri ise Şekil 40~42'de gösterilmektedir. Söz konusu bu şekillerde yapının farklı temel zemini koşullarına ve farklı deprem kayıtlarına göre yapılan çözümlemelerden elde edilen gerilmelerin şiddetlerinde ve oluş zamanlarında farklılıklar olduğu dikkat çekmektedir. Yükseklik boyunca gerilme değerleri Şekil 39b ve Şekil 39c'de incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük gerilme değerlerinin 1. kat seviyesinde görüldüğü ve dikkate alınan temel zemin sistemlerindeki rijitliğin azalışına bağılı olarak

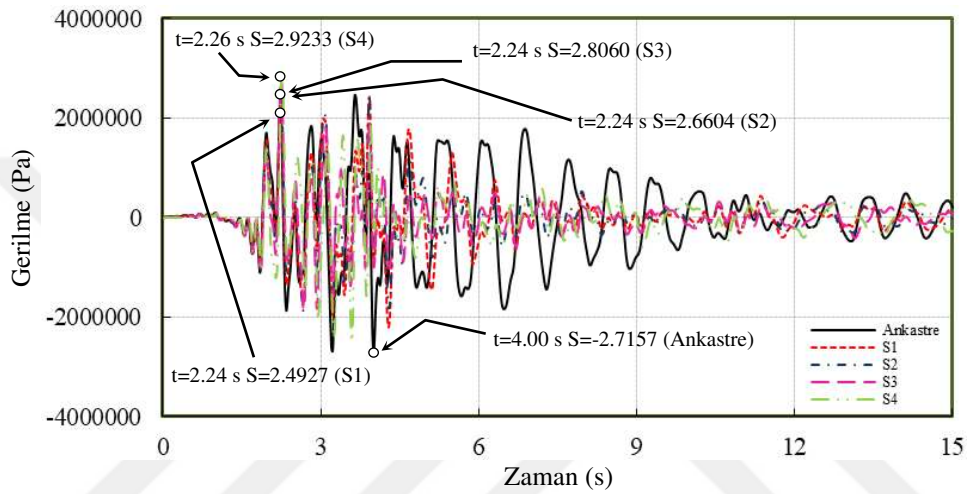
S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru genellikle azalma eğilimi görülmektedir. Diğer yandan Şekil 39a incelendiğinde, bu durumun daha karmaşık bir eğilim gösterdiği ve yükseklik boyunca en büyük gerilme tepkisinin S4 zemin sisteminde elde edildiği anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 39b incelendiğinde, oluşturulan grafiklerde ankastre temel sistemine ait yapıda en yüksek gerilme değerleri elde edilirken bu durumun Şekil 39a ve Şekil 39c için geçerli olmadığı anlaşılmaktadır.



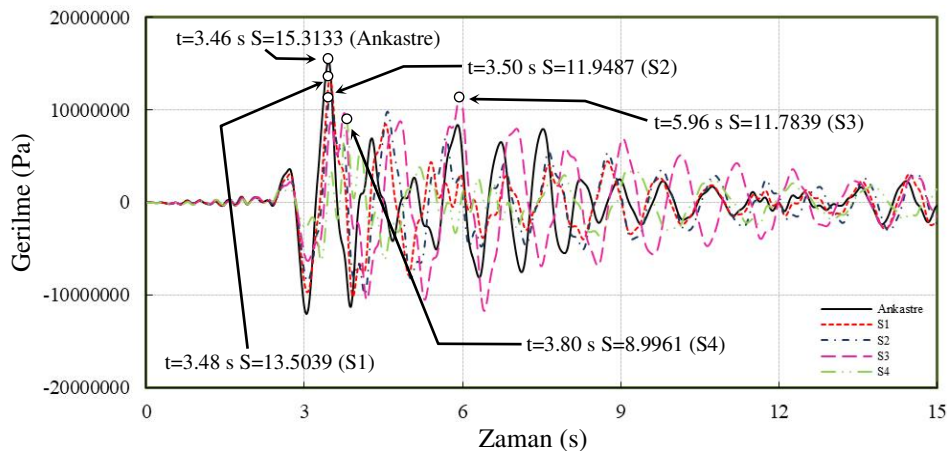
Şekil 39. MODEL-3 için x doğrultusundaki gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi

Gerilme değerlerinin zamansal dağılımını ifade edebilmek için farklı deprem kayıtları altında zemin sistemlerinin değişimine bağlı olarak karşılaştırma yapmak mümkündür. Örneğin Şekil 40 incelendiğinde, S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki gerilme değeri çekme olarak 2.4927 MPa iken,

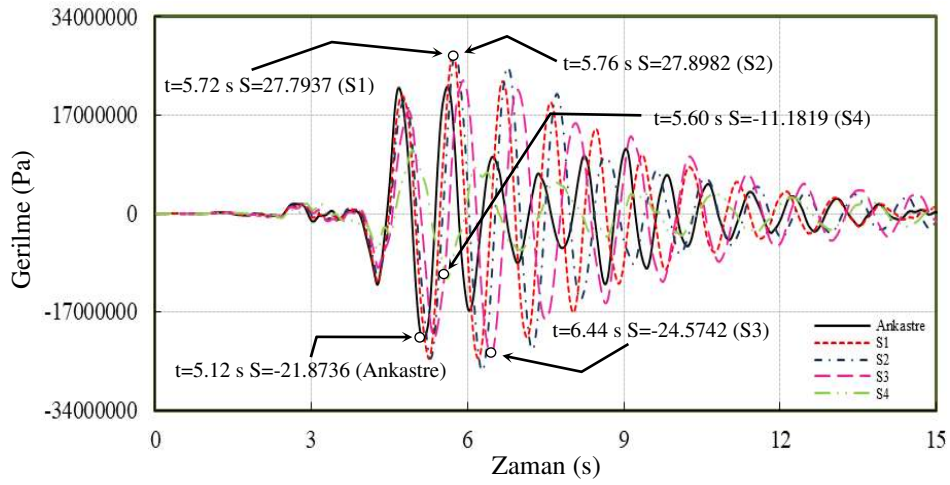
rijitlikteki azalışa bağlı olarak S1 temel zeminine kıyasla aynı değer S2 temel zemininde %7 oranında artış ile çekme olarak 2.6604 MPa, S3 temel zemininde %13 oranında artış ile çekme olarak 2.8060 MPa ve S4 temel zemininde %17 oranında artış ile çekme olarak 2.9233 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Benzer duruma farklı bir örnek olarak Şekil 42 incelendiğinde, S1 temel zemininde x doğrultusundaki gerilme çekme olarak 27.7937 MPa iken, rijitlikteki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S3 temel zemininde %12'lik azalışla basınç olarak -24.5742 MPa ve S4 temel zemininde %60'lık azalışla basınç olarak -11.1819 MPa olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 40. MODEL-3 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



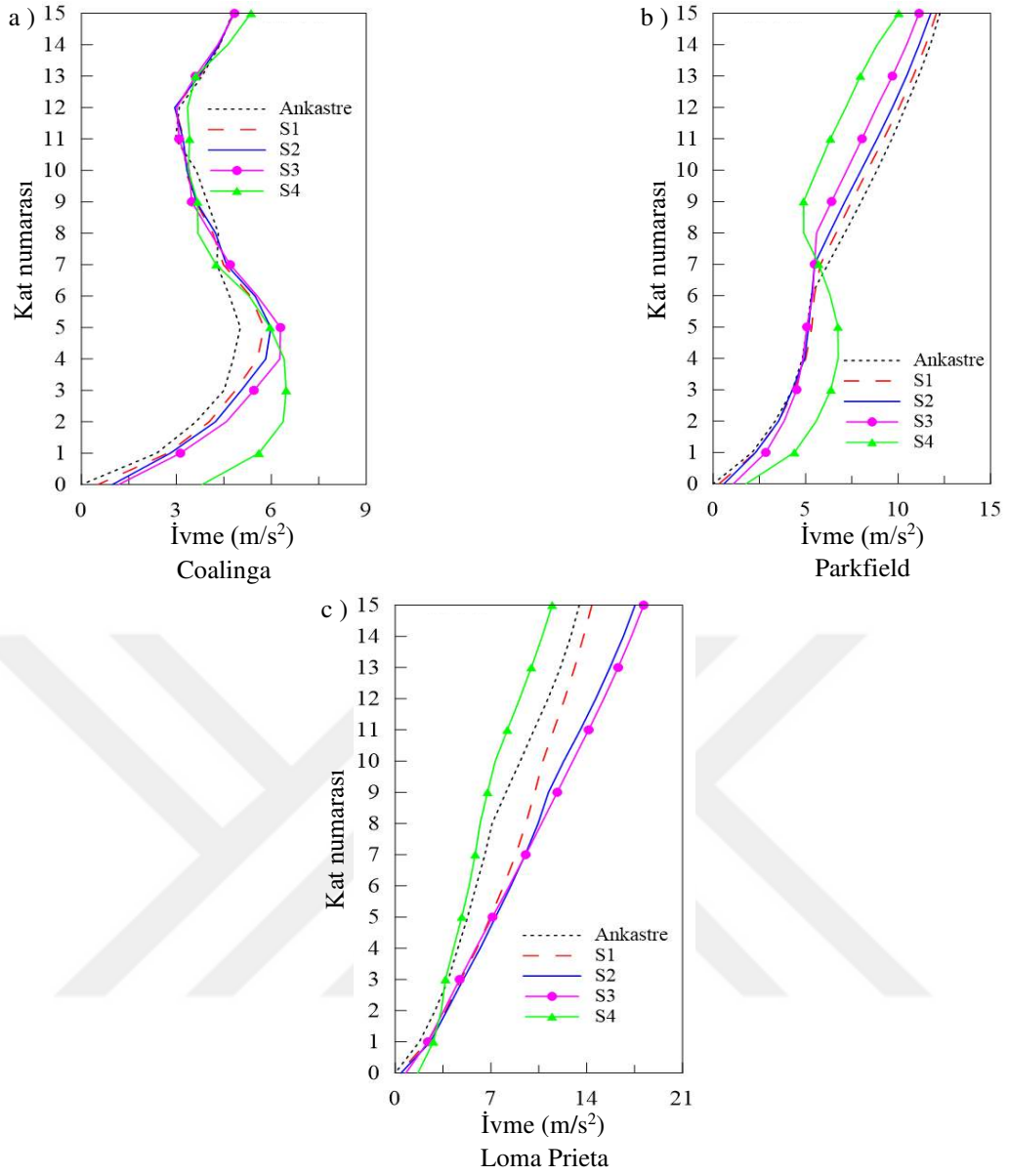
Şekil 41. MODEL-3 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



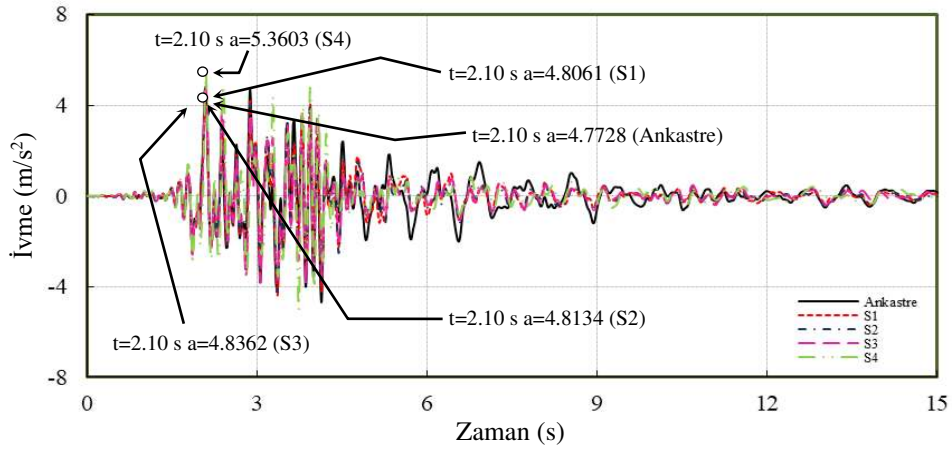
Şekil 42. MODEL-3 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

2.5.2.4. MODEL-3 İçin İvmelerin İrdelenmesi

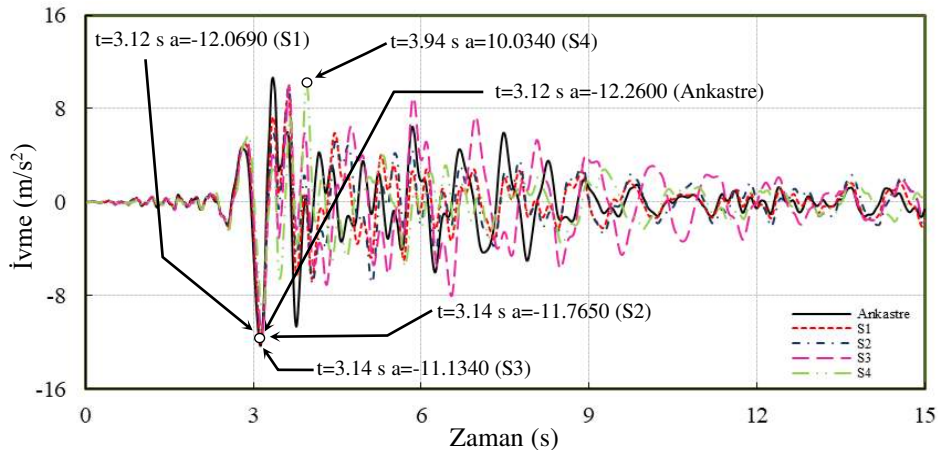
İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm katlarda bina dış köşe birleşim noktalarında hesaplanan ivme değerlerinin yapı yüksekliği doğrultusundaki değişimleri Şekil 43'te, zamana bağlı değişimleri ise Şekil 44~46'da gösterilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre dikkate alınan temel zemin sistemlerine ve farklı büyüklükteki deprem yüklerine bağlı olarak farklı ivme büyüklüklerinin elde edildiği açıkça görülmektedir. En büyük ivme değerlerinin yapının zemin katından üst katlara doğru gidildikçe genellikle önemli ölçüde artış gösterdiği Şekil 43'te görülmektedir. Yükseklik boyunca ivme değerleri Şekil 43b'de incelendiğinde, x doğrultusundaki en büyük ivme değerlerinin 15. kat seviyesinde görüldüğü ve dikkate alınan temel zemin sistemlerinde ivme değerinin temel zemin sistemindeki rijitlik azalışına bağlı olarak S1 temel zemin sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru azalış gösterdiği görülmektedir. Diğer yandan Şekil 43a ve Şekil 43c'de incelendiğinde, ivme büyüklüğünün artış gösterdiği görülmektedir. Ayrıca Şekil 43a'da yükseklik boyunca ivme değişimi incelendiğinde en büyük ivme değerlerinin S4 zemin sisteminde 3-5. kat seviyelerinde elde edildiği görülmektedir.



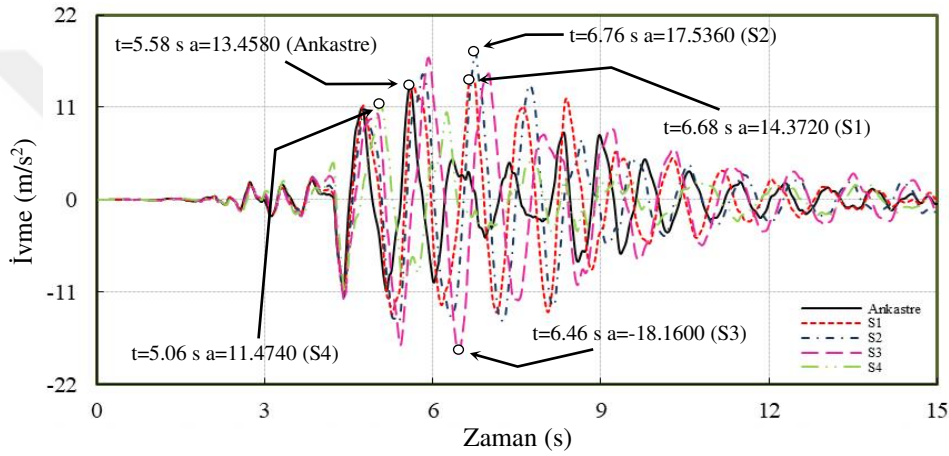
Şekil 43. MODEL-3 için x doğrultusundaki ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi



Şekil 44. MODEL-3 için Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 45. MODEL-3 için Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi



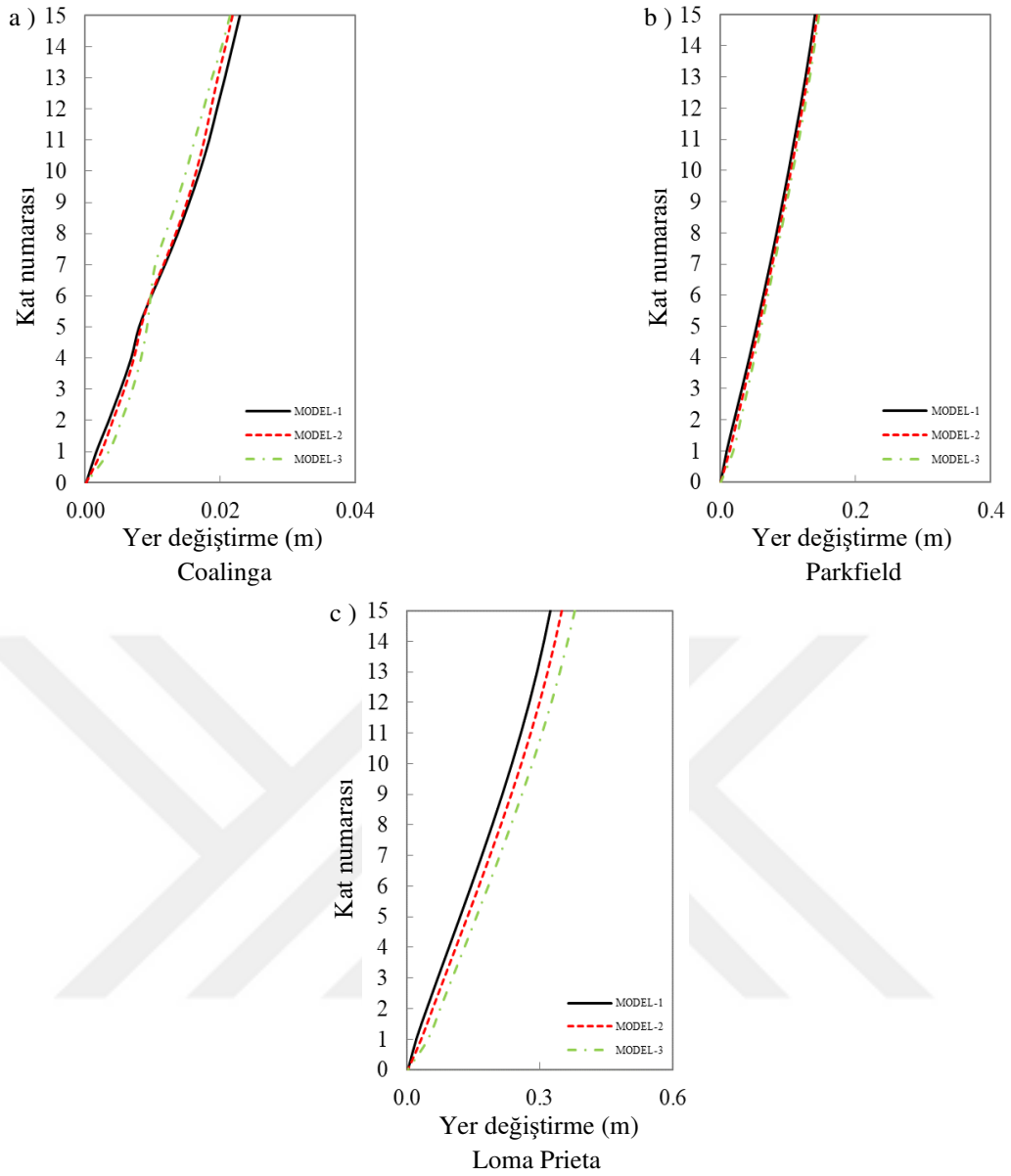
Şekil 46. MODEL-3 için Loma Prieta deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki ivmelerin zamana bağlı değişimi

Yapının 15. katında dış köşe birleşim noktasında meydana gelen ivme değerlerinin zamansal dağılımı Şekil 45'te incelendiğinde, S1 temel zemininde yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki ivme değeri 12.0690 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak S1 temel zeminine kıyasla aynı değer S3 temel zemininde %8 oranında azalışla 11.1340 m/s^2 ve S4 temel zemininde %17 oranında azalışla 10.0340 m/s^2 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca en büyük ivme değeri, S1 temel zemininde 3.12 s'de gerçekleşirken, S2, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde ve ankastre olarak tasarlanan modelde (3.12~3.94) s aralığında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 46 incelendiğinde, S1 temel zemininde x doğrultusundaki ivme 14.3720 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1 temel zeminine kıyasla S2 temel zemininde %22'lik artışla 17.5360 m/s^2 , S3 temel zemininde %26'lık artışla 18.1600 m/s^2 ve S4 temel zemininde %20'lik azalışla 11.4740 m/s^2 olarak gerçekleşmiştir.

2.6. Yapı Deprem Davranışı Üzerinde Zemin Kat Yüksekliği Etkilerinin İrdelenmesi

Çok katlı betonarme yapılarda deprem yükleri sonucunda meydana gelen yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, gerilme ve ivme gibi yapı sisteminde oluşan tepkiler sonucunda binaların hasar almaları ve göçme durumlarının oluşması söz konusudur. Bu durum yapıların tasarım sürecinde zemin-yapı etkileşim etkilerinin dikkate alınmasının son derece önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmanın bu kısmında yapı sisteminin zemin kat yüksekliğindeki değişimine bağılı olarak farklı temel zemin sistemleri ve deprem yüklemeleri sonucunda oluşan tepkiler incelenecektir. Bu amaç doğrultusunda üç farklı zemin kat yüksekliğine sahip yapı sistemi için dört farklı temel zemin sistemi ve üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak yapılan analizlerden seçilecek bazı örnekler kullanılarak yapıda meydana gelen yer değiştirmelerin, görelî kat ötelemelerinin, gerilme ve ivme büyüklüklerinin bina yüksekliği boyunca ve zamansal değişimleri incelenecektir (Şekil 47~59).

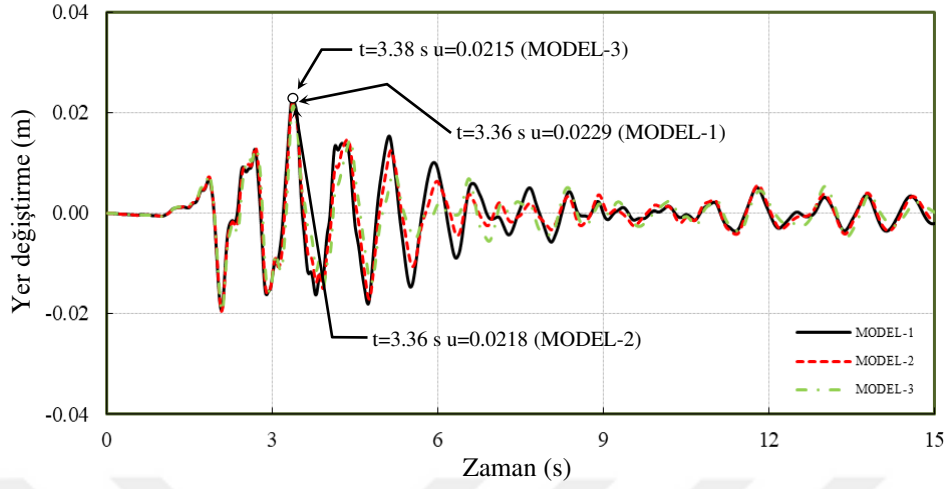
İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen çözümlemeler sonucunda yer değiştirmelerin bina yüksekliği boyunca değişimi Şekil 47'de gösterilmiştir. Yapı sistemlerinin dinamik davranışlarının karşılaştırmaları seçili bir temel zemin sistemi ve deprem kaydı dikkate alınarak yapılabilir. Şekil 47a ve Şekil 47b incelendiğinde, Coalinga ve Parkfield deprem yüklemeleri altında x doğrultusundaki en büyük yer değiştirmelerin 15. kat seviyesinde gerçekleştiğı ve dikkate alınan S2 temel zemin sisteminde yer değiştirme değerlerinin zemin kat yüksekliğindeki artışa bağılı olarak MODEL-1 yapı sisteminden MODEL-3 yapı sistemine doğru belirgin bir artış görülmeyişi ifade edilebilmektedir. Diğer yandan Şekil 47c incelendiğinde, Loma Prieta deprem yüklemesi altında S2 temel zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca yer değiştirmelerin zemin kat yüksekliğindeki artışa bağılı olarak MODEL-1 yapı sisteminden MODEL-3 yapı sistemine doğru önemli ölçüde artış gösterdiği görülmektedir.



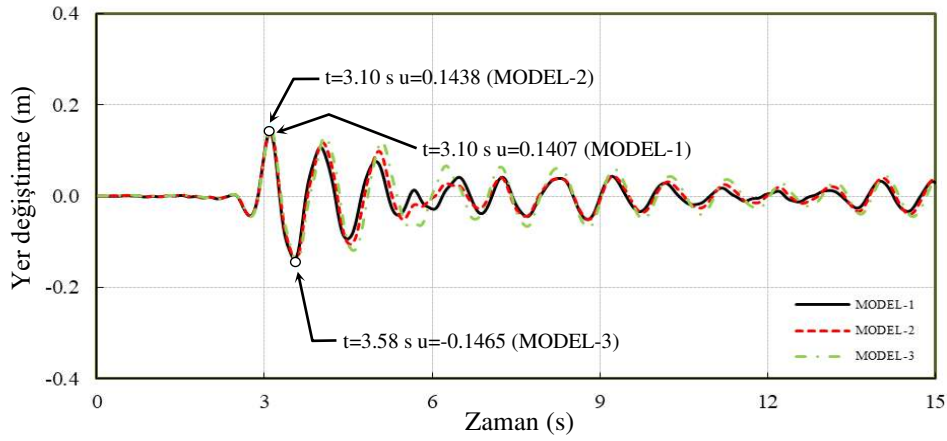
Şekil 47. S2 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen yer değiştirmeler

Yapı sisteminde elde edilen sonuçlara göre yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi Şekil 48~50’de verilmektedir. Zamana bağlı olarak elde edilen yer değiştirmeler Şekil 49’da incelendiğinde, Parkfield deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde MODEL-1 için yapı sisteminde elde edilen en büyük x doğrultusundaki yer değiştirmenin 0.1407 m olarak elde edildiği görülürken zemin kat yüksekliğindeki artış sonucunda MODEL-1’e kıyasla aynı değer MODEL-3 için %4’lük artışla 0.1465 m seviyesinde geręekleřtięi görülmektedir. Benzer duruma farklı bir örnek olarak Şekil 50 incelendiğinde, Loma Prieta deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde MODEL-1 için en büyük yer değiştirme değerinin 0.3246 m olarak elde edildiği, zemin kat yüksekliğindeki artış sonucunda MODEL-1’e kıyasla aynı değer MODEL-2 için %8’lik

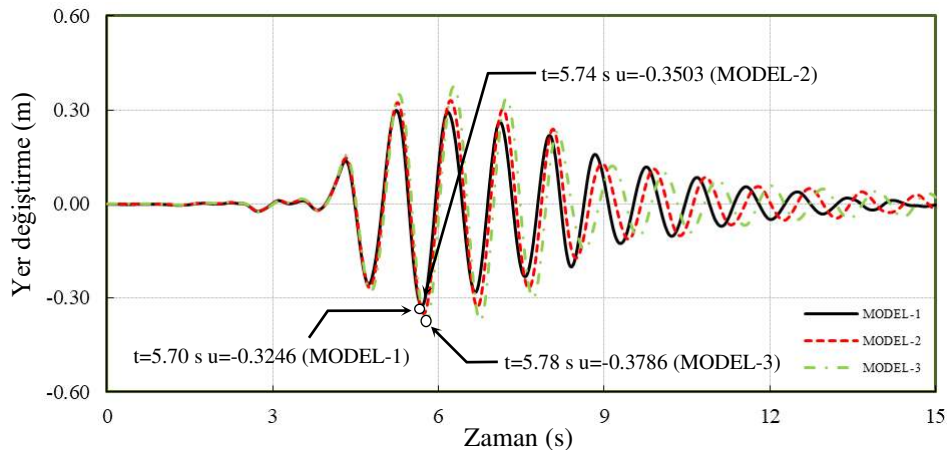
artışla 0.3503 m seviyesinde ve MODEL-3 için %17'lik artışla 0.3786 m olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 48. Coalinga deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi

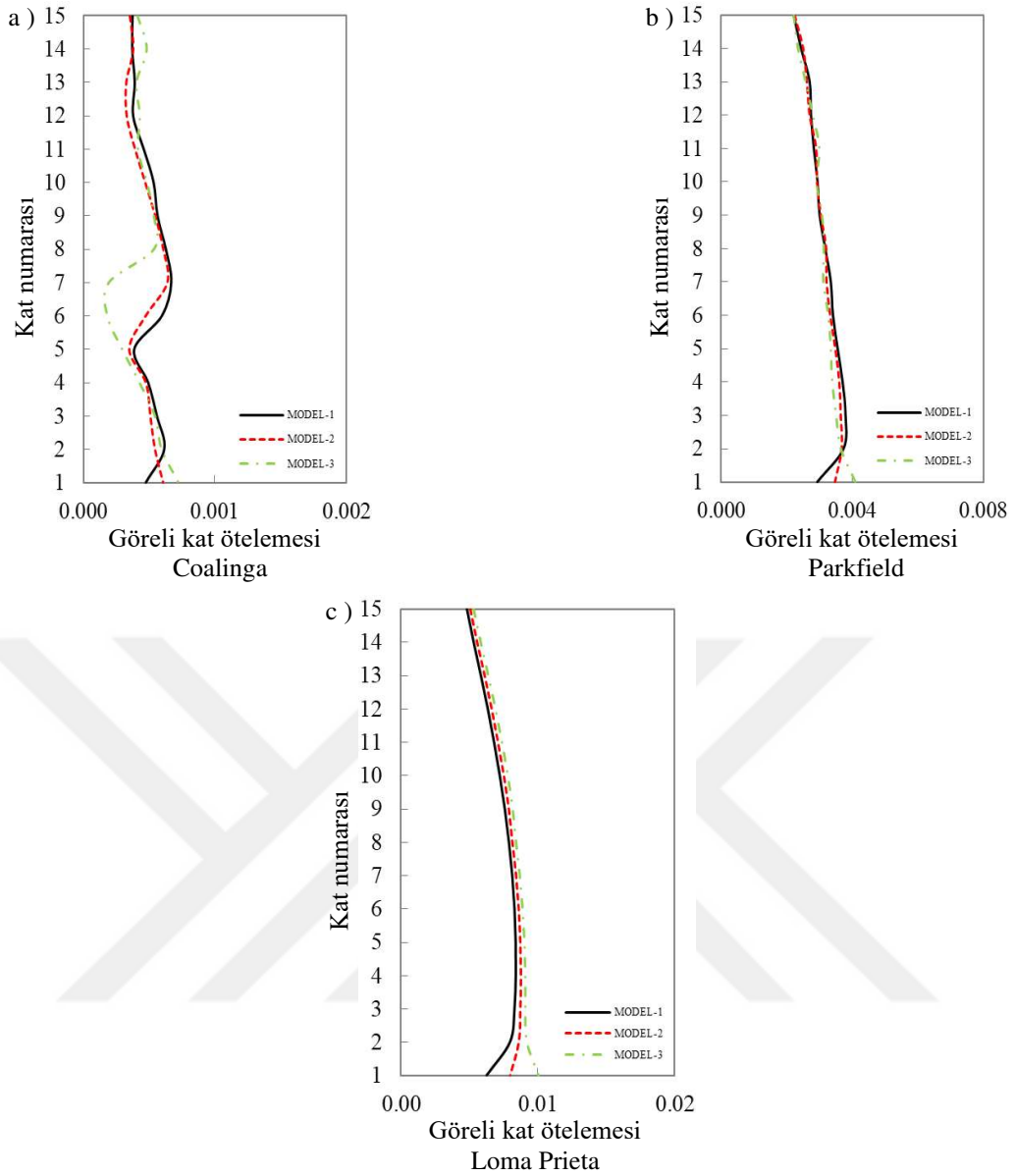


Şekil 49. Parkfield deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 50. Loma Prieta deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimi

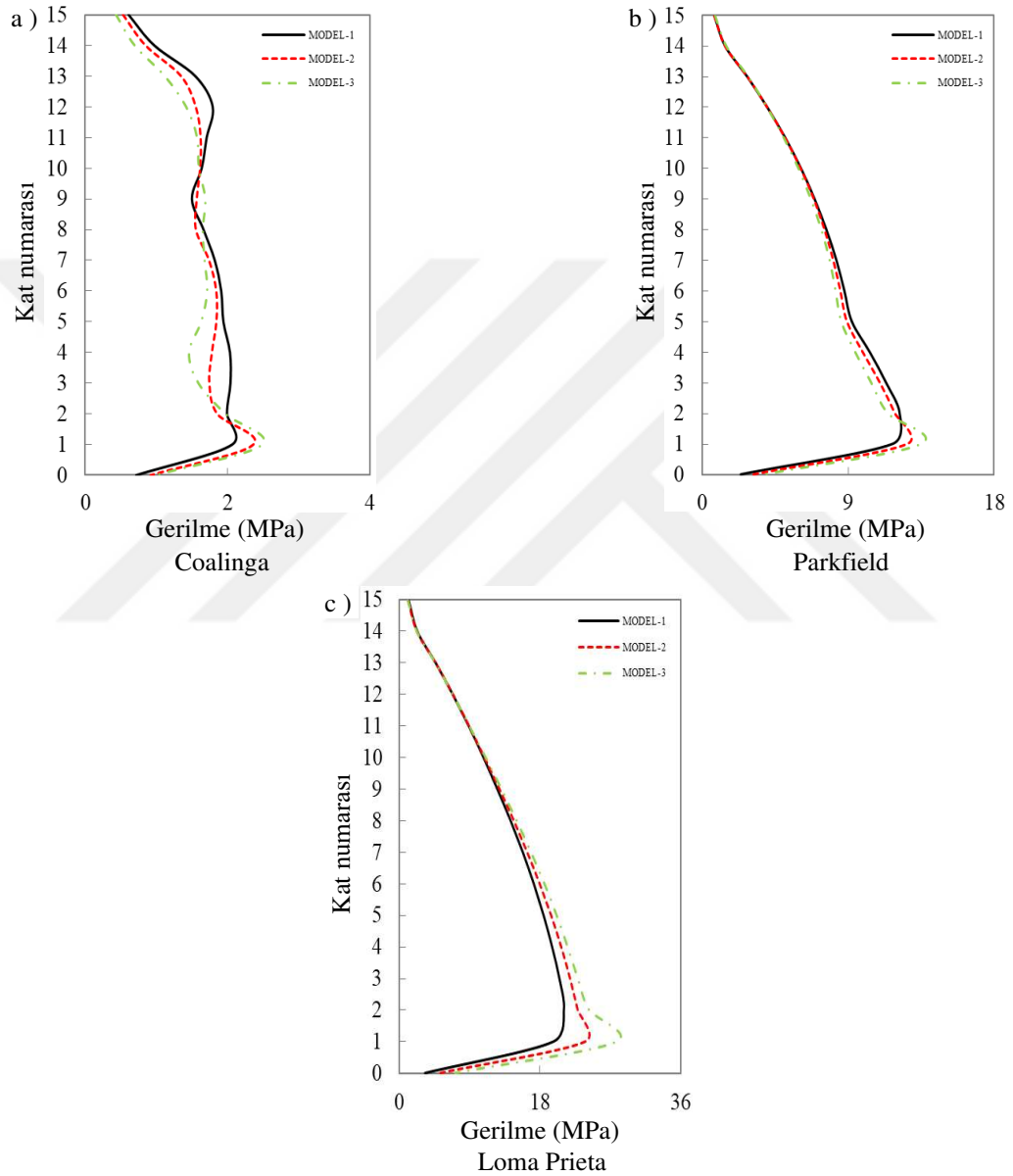
İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda görelî kat ötelemesi değêrlerinin bina yüksekliği boyunca değışimi Şekil 51’de görölmektedir. Elde edilen sonuçlardan anlaşılaçağı üzere yapıya etki eden farklı deprem yükleri ve farklı zemin kat yüksekliğine sahip binaların görelî kat ötelemesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Örneğin, Şekil 51a incelendiğinde, Coalinga deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde x doğrultusundaki görelî kat ötelemesine ait en kritik değêrlerin, 1-7. kat civarında gerçekteştii görölrken bu durumun Şekil 51b’de 1-3. kat civarında, Şekil 51c’de ise 1-4. kat civarında gerçekteştii görölmektedir. Görelî kat ötelemesi üzerinde zemin kat yüksekliğinin etkilerini daha net olarak ifade etmek için Şekil 51b incelendiğinde, Parkfield deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde MODEL-1 için yapı sisteminde elde edilen en büyük x doğrultusundaki görelî kat ötelemesinin 0.0038 iken, zemin kat yüksekliğindeki artış ile MODEL-1’e kıyasla aynı değêr MODEL-3 için %8’lik artışla 0.0041 seviyesinde gerçekteştii görölmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 51c incelendiğinde, Loma Prieta deprem yüklemesi altında S2 zemin sisteminde MODEL-1 için en büyük görelî kat ötelemesi değêrinin 0.0084 olarak elde edildiği görölrken, zemin kat yüksekliğindeki artış ile MODEL-1’e kıyasla aynı değêr MODEL-2 için %5’lik artışla 0.0088 ve MODEL-3 için %19’luk artışla 0.0100 seviyesinde gerçekteştii görölmektedir.



Şekil 51. S2 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen görel kat ötelemeleri

İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda gerilmelerin bina yüksekliği boyunca değişimi Şekil 52’de gösterilmiştir. Bu şekilden anlaşılabileceği üzere gerilme değerlerinin farklı zemin kat yüksekliğine sahip ve farklı deprem yüklemeleri altındaki yapı sistemlerinde en büyük gerilme tepkileri genellikle 1. kat seviyesinde elde edilmektedir. Diğer yandan tepki büyüklüklerindeki değişim, genellikle dikkate alınan şekillerden de görülebildiği gibi zemin kat yüksekliğindeki artışa bağlı olarak önemli ölçüde artış eğilimi göstermektedir. Bu bağlamda yapı sistemlerinin dinamik davranışlarının karşılaştırmaları seçili bir temel zemin sistemi ve deprem kaydı dikkate alınarak yapılabilmektedir. Örneğin Şekil 52b incelendiğinde, Parkfield deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki en büyük gerilmelerin 1. kat seviyesinde gerçekleştiği ve dikkate alınan S1 temel zemin

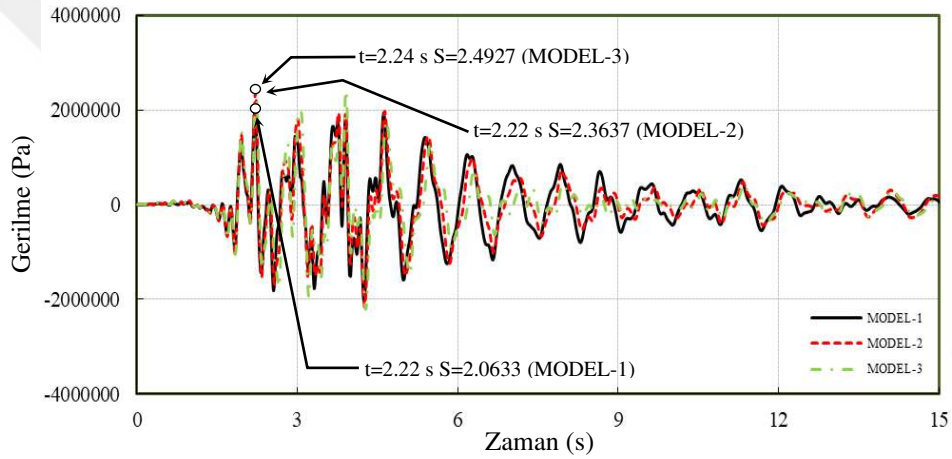
sisteminde bu gerilme değerlerinin zemin kat yüksekliğindeki artışa bağlı olarak MODEL-1'den MODEL-3'e doğru belirgin bir artış gösterdiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 52c incelendiğinde, Loma Prieta deprem yüklemesi altında S1 temel zemin sistemindeki en büyük gerilme değerlerinin zemin kat yüksekliğindeki artışa bağlı olarak MODEL-1'den MODEL-3'e doğru artış gösterdiği anlaşılmaktadır.



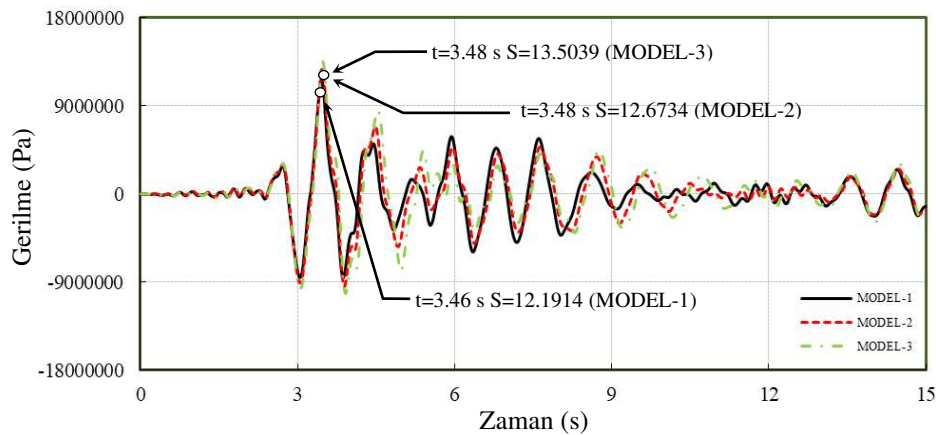
Şekil 52. S1 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen gerilmeler

Yapı sisteminden elde edilen sonuçlara göre gerilmelerin zamana bağlı değişimi Şekil 53~55'te verilmektedir. Bu şekillerden açıkça görüleceği üzere, yapı sistemlerinden elde edilen en büyük gerilmelerde zemin kat yüksekliğine bağlı olarak

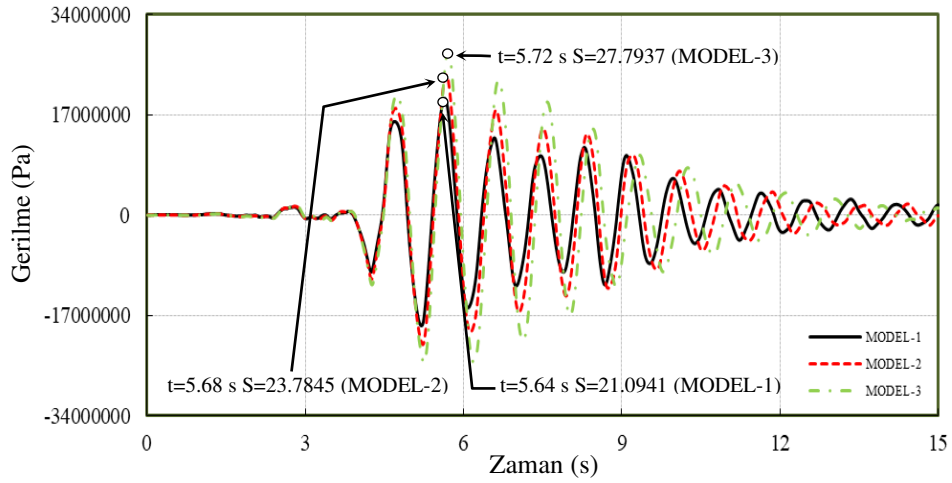
önemli ölçüde değişimler meydana gelebilmektedir. Örneğin Şekil 54 incelendiğinde, Parkfield deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde MODEL-1 için yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki gerilme çekme olarak 12.1914 MPa iken, zemin kat yüksekliğindeki artış ile MODEL-1'e kıyasla aynı değer MODEL-3 için %11'lik artışla çekme olarak 13.5039 MPa seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 55 incelendiğinde, Loma Prieta deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde MODEL-1 için en büyük gerilme çekme olarak 21.0941 MPa olarak elde edilirken zemin kat yüksekliğindeki artış ile MODEL-1'e kıyasla aynı değer MODEL-2 için %13'lük artışla çekme olarak 23.7845 MPa ve MODEL-3 için %32'lik artışla çekme olarak 27.7937 MPa seviyesinde gerçekleşmektedir.



Şekil 53. Coalinga deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi

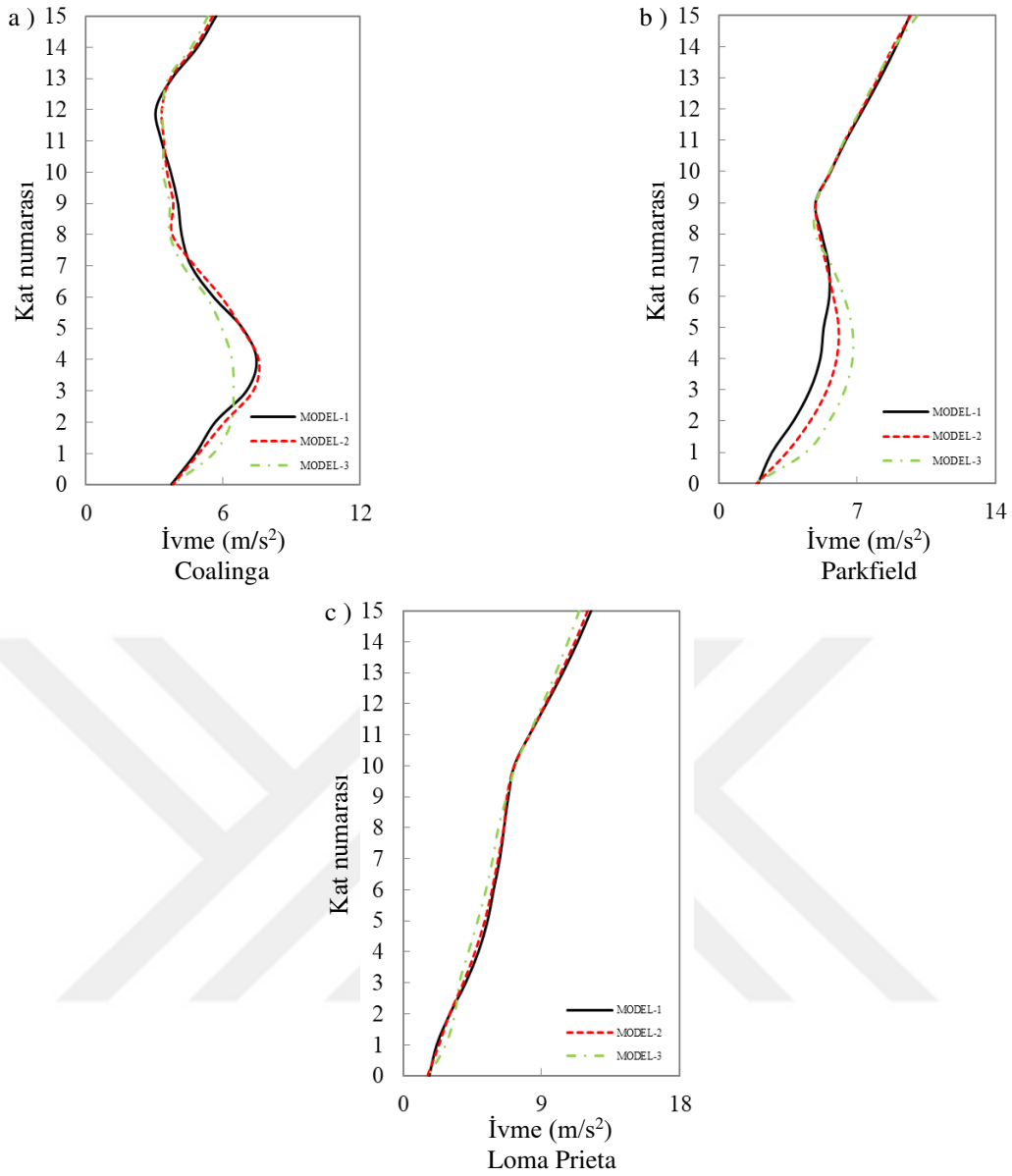


Şekil 54. Parkfield deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 55. Loma Prieta deprem yüklemesi altında S1 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi

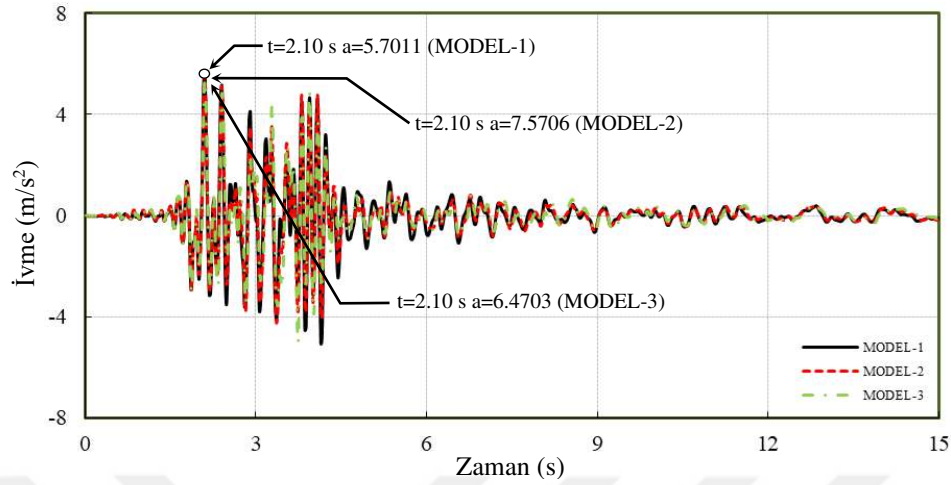
İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda ivmelerin bina yüksekliği boyunca değişimi Şekil 56'da gösterilmektedir. Farklı zemin kat yüksekliğine sahip modellerden elde edilen ivme değerleri incelendiğinde, zemin kat yüksekliğindeki değişimin, deprem yüklemeleri altında yapı ivme değerlerinde birbirlerine kıyasla önemli ölçüde değişimler meydana getirebileceği anlaşılmaktadır. Modellerin dinamik davranışlarının karşılaştırmaları seçili bir temel zemin sistemi ve deprem kaydı dikkate alınarak kolaylıkla yapılabilir. Örneğin, Şekil 56a incelendiğinde, S4 zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında x doğrultusundaki en büyük ivmelerin 3-4. kat seviyelerinde elde edildiği görülürken, birbirlerine kıyasla yükseklik boyunca en büyük ivme değerinin MODEL-2'de gerçekleştiği ve onu sırasıyla MODEL-1 ve MODEL-3'ün takip ettiği görülmektedir. Diğer yandan Şekil 56b incelendiğinde, yükseklik boyunca en büyük ivme değerlerinin Parkfield deprem yüklemesi altında ele alınan modellerde 15. kat seviyesinde görüldüğü ve S4 temel zemin sisteminde en büyük ivme değerlerinin zemin kat yüksekliğindeki artışa bağlı olarak önemli ölçüde artış göstermediği anlaşılmaktadır. Bir diğer deyişle modellerden elde edilen ivme değerlerinin büyüklüklerinde temel seviyesinden 9. kat seviyesine kadar belirgin bir değişim gözlemlenirken, 9. Kat seviyesinden 15. kat seviyesine kadar önemli bir fark gözlemlenememektedir.



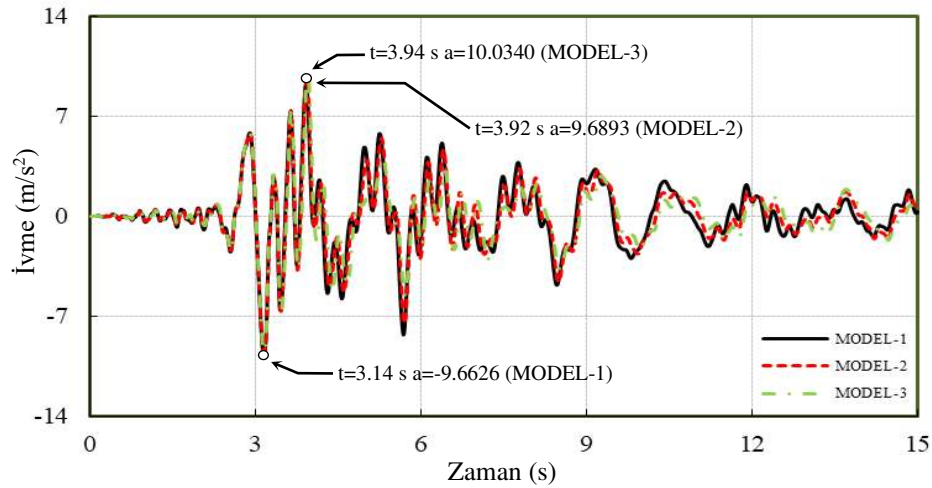
Şekil 56. S4 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca modellerden elde edilen ivmeler

Yapı sisteminden elde edilen sonuçlara göre ivmelerin zamana bağlı değişimi Şekil 57~59'da verilmektedir. En büyük ivme değerleri Şekil 57'de incelendiğinde, Coalinga deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde MODEL-1 için yapı sisteminden elde edilen en büyük x doğrultusundaki ivme 5.7011 m/s^2 iken, zemin kat yüksekliğindeki artış ile MODEL-1'e kıyasla aynı değer MODEL-2 için %33'lük artışla 7.5706 m/s^2 ve MODEL-3 için %14'lük artışla 6.4703 m/s^2 seviyesinde gerçekleştiği görülmektedir. Bir diğer örnek olarak Şekil 59 incelendiğinde, Loma Prieta deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde MODEL-1 için en büyük ivme 12.2170 m/s^2 olarak elde edilirken zemin kat yüksekliğindeki artış ile MODEL-1'e kıyasla aynı değer MODEL-3 için %6'lık azalışla 11.4740 m/s^2 olarak gerçekleşmiştir. Dikkate alınan

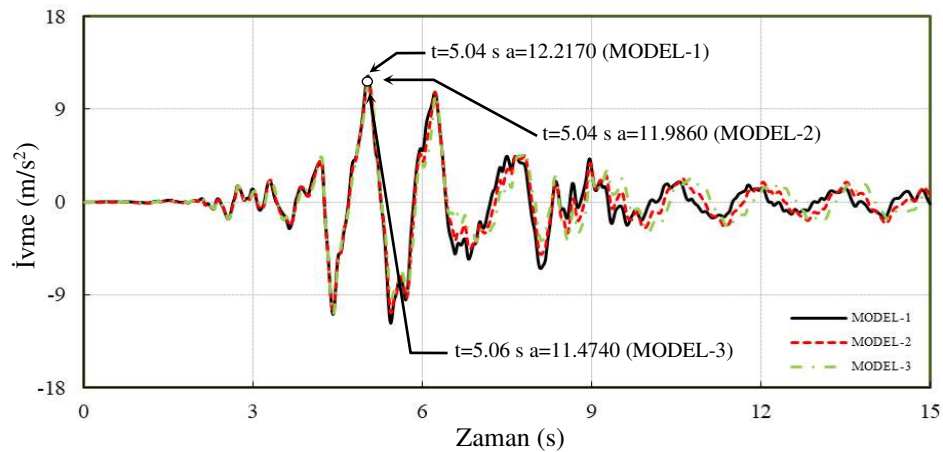
örneklerden anlaşıldığı üzere aynı zemin sistemlerinde farklı zemin kat yüksekliğine sahip yapıların tepkilerinde önemli değişimler meydana gelebilmektedir.



Şekil 57. Coalinga deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen ivmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 58. Parkfield deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen ivmelerin zamana bağlı değişimi



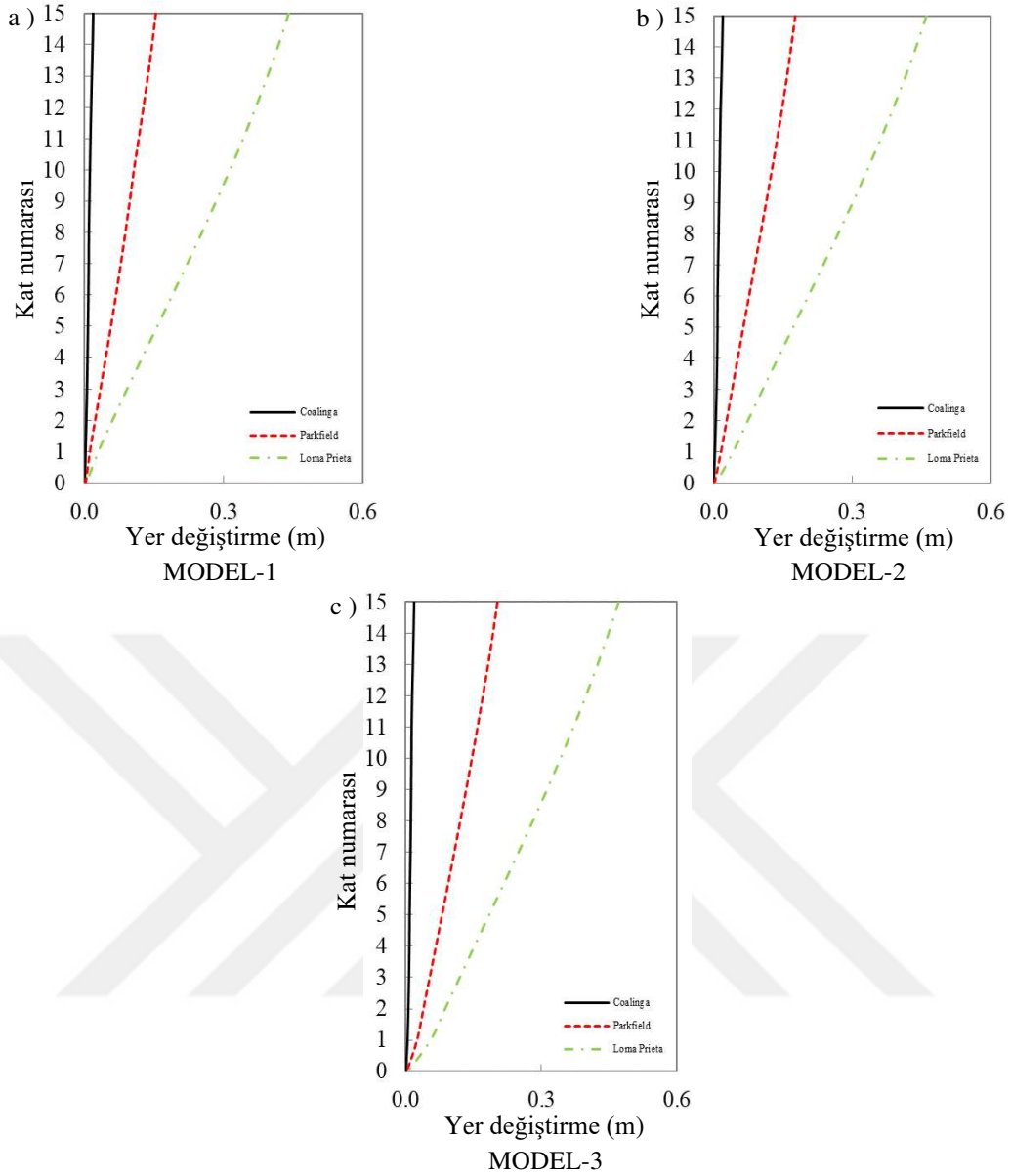
Şekil 59. Loma Prieta deprem yüklemesi altında S4 zemin sisteminde x doğrultusunda modellerden elde edilen ivmelerin zamana bağlı değişimi

2.7. Yapı Deprem Davranışı Üzerinde Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi

Betonarme yapıların dinamik davranışları farklı frekans içeriğine sahip depremlerden önemli ölçüde etkilenebilmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan deprem kayıtlarından Coalinga depremi yüksek, Parkfield depremi orta ve Loma Prieta depremi ise düşük frekans içeriğine sahiptir.

Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı sistemlerinin yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, gerilme ve ivme gibi dinamik tepkileri önemli ölçüde farklılık gösterebilmektedir. Bu durum yapıların tasarım sürecinin zemin-yapı etkilerinin dikkate alınmasının son derece önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bölümde dört farklı temel zemin sistemi ve üç farklı zemin kat yüksekliğine sahip yapı sistemleri üç farklı deprem yüklemesi dikkate alınarak bina yüksekliği boyunca yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, gerilme ve ivme büyüklüklerinin değişimi ve seçili tepkilerin zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Yapı sisteminden elde edilen bu dinamik tepkilerin değişimi Şekil 60~72’de gösterilmektedir.

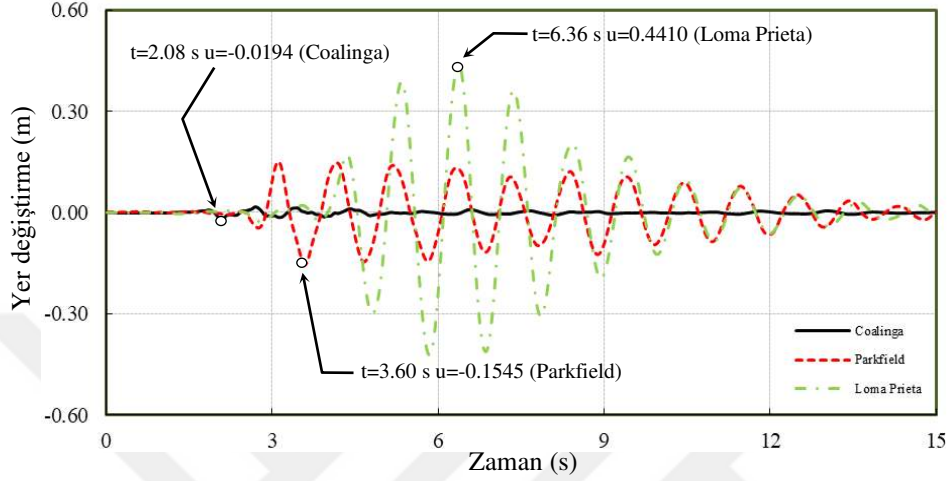
Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı sisteminin yükseklik boyunca dinamik yer değiştirmeleri Şekil 60’da gösterilmiştir. Değişimi daha net olarak ifade edebilmek için aynı zemin kat yüksekliğine sahip sonlu eleman modellerinden hareketle seçilen bazı zemin sistemleri kullanılarak karşılaştırma yapılabilir. Örneğin Şekil 60a incelendiğinde, MODEL-1’den elde edilen yükseklik boyunca yer değiştirme değerlerinin S3 temel zemin sisteminde yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga deprem yüklemesi altında en düşük, düşük frekans içeriğine sahip Loma Prieta deprem yüklemesi altında ise en büyük tepki değerlerine ulaştığı görülmektedir. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı yüksekliği boyunca yer değiştirmeler üzerinden elde edilen bu eğilimin S3 zemin sisteminde MODEL-2 ve MODEL-3 için de geçerli olduğu Şekil 60b ve Şekil 60c incelendiğinde açıkça görülmektedir.



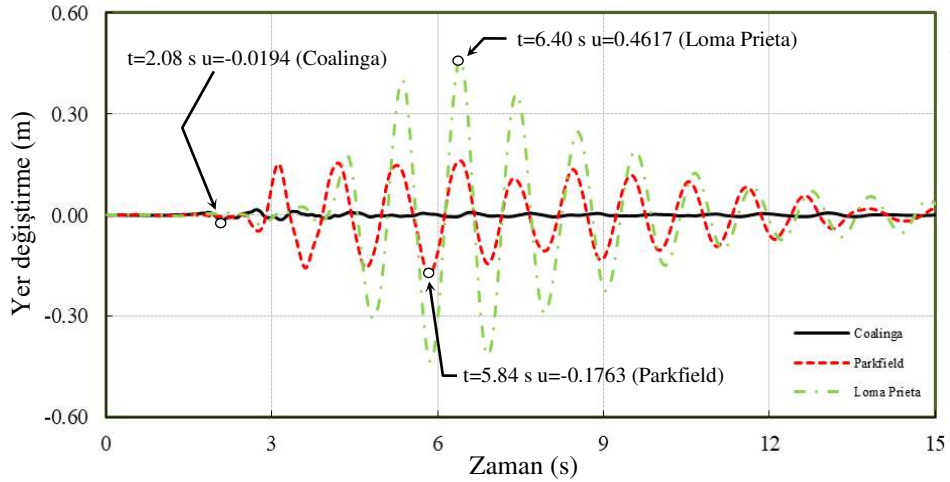
Şekil 60. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S3 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen yer değiştirmeler

Farklı frekans içerikleri altında yapı sistemleri üzerindeki seçili düğüm noktalarından elde edilen yer değiştirmelerin zamana bağlı değişimleri Şekil 61~63'te görülmektedir. Örneğin, Şekil 61 incelendiğinde, yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1 için S3 zemin sisteminde elde edilen yer değiştirme 0.0194 m iken, bu değer orta frekans içeriğine sahip Parkfield deprem yüklemesi için Coalinga deprem yüklemesine kıyasla %696 oranında bir artışla 0.1545 m ve düşük frekans içeriğine sahip Loma Prieta deprem yüklemesi için ise %2173 oranında artışla 0.4410 m olarak elde edildiği görülmektedir. Dikkate alınan örnekten anlaşılabildiği gibi yüksek frekans içeriğinden düşük frekans içeriğine doğru gidildikçe yapı sisteminin dinamik yer değiştirmelerinde önemli ölçüde büyümeler meydana geldiği anlaşılmaktadır. Bu duruma bir diğer örnek olarak Şekil 63 incelendiğinde,

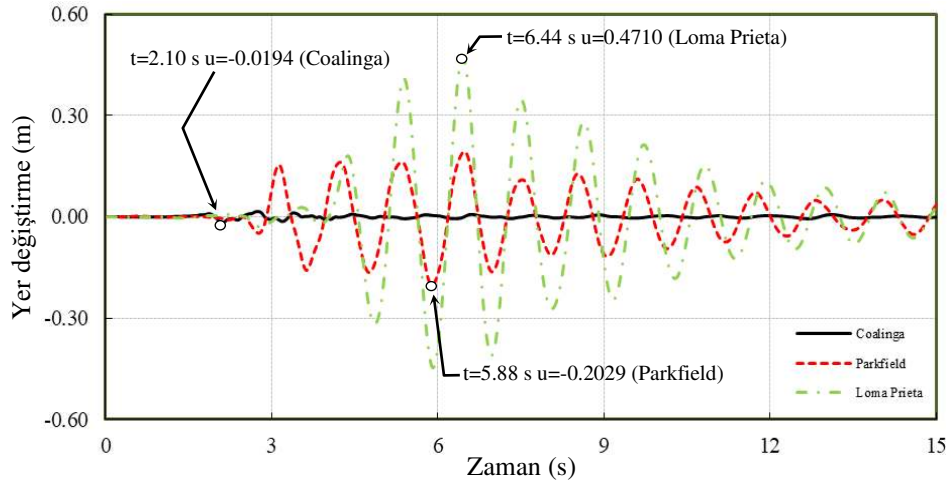
MODEL-3 için S3 temel zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında en büyük yer değiştirme değerinin 0.0194 m iken, bu değer Parkfield deprem yüklemesi altında Coalinga deprem yüklemesine kıyasla %946'lık artışla 0.2029 m ve Loma Prieta deprem yüklemesi altında ise %2328'lik artışla 0.4710 m olarak gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 61. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-1 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen yer değiştirmeler

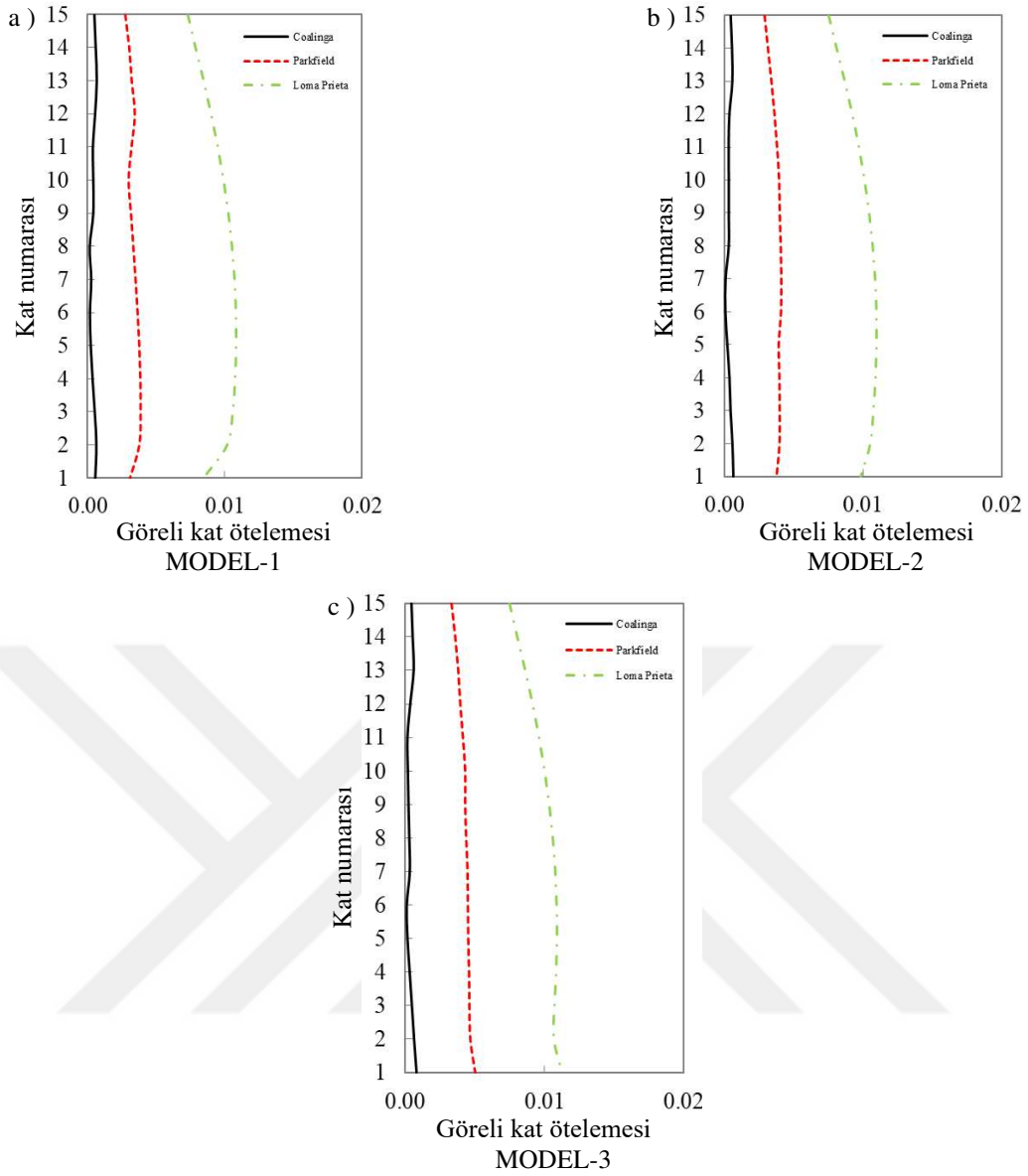


Şekil 62. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-2 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen yer değiştirmeler



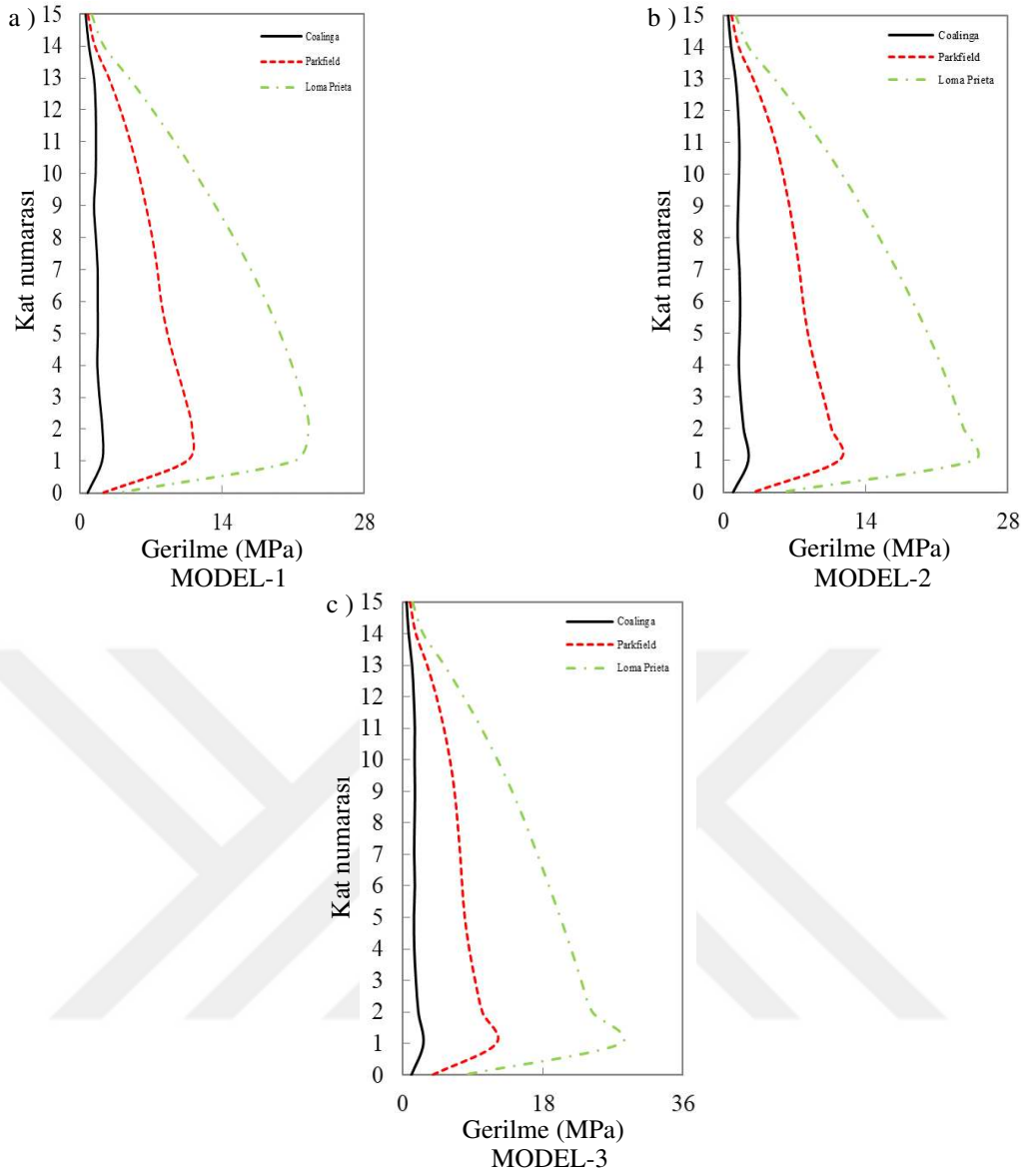
Şekil 63. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-3 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen yer değiştirmeler

İncelemeye konu olan sonlu eleman modeli ile gerçekleştirilen analizler sonucunda farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı sisteminin yükseklik boyunca görelî kat ötelemesinde meydana gelen değişimleri Şekil 64'te gösterilmiştir. Değişimi daha net olarak ifade edebilmek için aynı zemin kat yüksekliğine sahip modellerden hareketle seçilen bazı zemin sistemleri kullanılarak karşılaştırma yapabilmek mümkündür. Örneğin, Şekil 64a incelendiğinde, MODEL-1'den elde edilen yükseklik boyunca nispeten en büyük görelî kat ötelemesi değerlerinin 4-13. kat civarında gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Şekil 64a'da deprem frekans içeriklerindeki değişime bağlı olarak yükseklik boyunca elde edilen en büyük görelî kat ötelemesi değerleri karşılaştırılacak olursa S3 temel zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında görelî kat ötelemesi değeri 0.0007 iken, bu değer Parkfield deprem yüklemesi için Coalinga deprem yüklemesine kıyasla %457 oranında bir artışla 0.0039 ve Loma Prieta deprem yüklemesi için ise %1443 oranında bir artışla 0.0108 seviyesinde elde edildiği görülmektedir. Yapı sisteminde yükseklik boyunca elde edilen kat ötelemelerinde meydana gelen değişime bir diğer örnek olarak Şekil 64c incelendiğinde, MODEL-3 için en büyük görelî kat ötelemesi değerlerinin farklı frekans içeriklerine sahip yüklemeler altında olmasına rağmen 1. katta gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 64c'de farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yükseklik boyunca elde edilen en büyük görelî kat ötelemesi değerleri ele alındığında ise S3 temel zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında en büyük görelî kat ötelemesi değerinin 0.0008 iken, bu değer Parkfield deprem yüklemesi için Coalinga deprem yüklemesine kıyasla %538'lik artışla 0.0051 ve Loma Prieta deprem yüklemesi için ise %1313'lük artışla 0.0113 seviyesinde elde edildiği görülmektedir.



Şekil 64. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S3 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen görel kat ötelemeleri

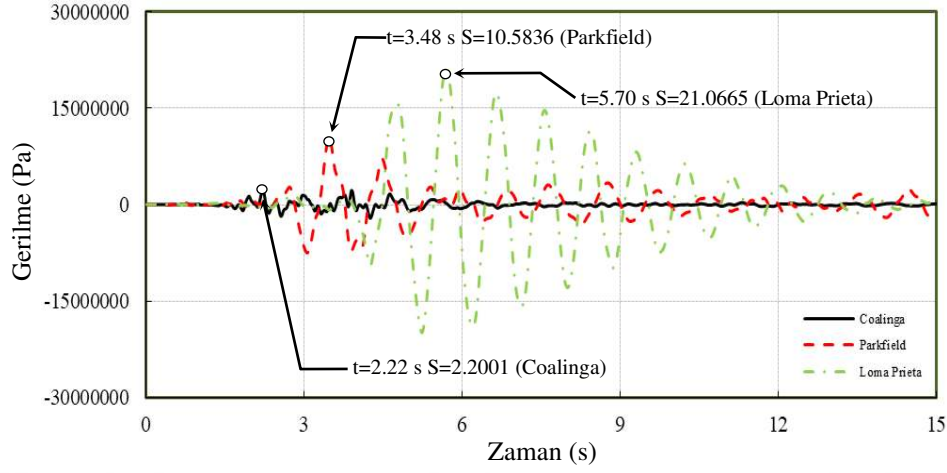
Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı sisteminin yükseklik boyunca dinamik gerilmelerinde meydana gelen değişimleri Şekil 65'te gösterilmektedir. Değişimin eğilimini ifade edebilmek için aynı zemin kat yüksekliklerine sahip modellerden hareketle seçilen bazı zemin sistemleri kullanılarak karşılaştırma yapılabilir. Örneğin, Şekil 65a incelendiğinde, MODEL-1'den elde edilen yükseklik boyunca gerilme değerlerinin S2 temel zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında en düşük, Loma Prieta yüklemesi altında ise en büyük tepki değerlerine ulaştığı görülmektedir. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı yüksekliği boyunca gerilmeler üzerinden elde edilen bu eğilimin S2 zemin sisteminde MODEL-2 ve MODEL-3 için de geçerli olduğu Şekil 65b ve Şekil 65c incelendiğinde açıkça görülmektedir.



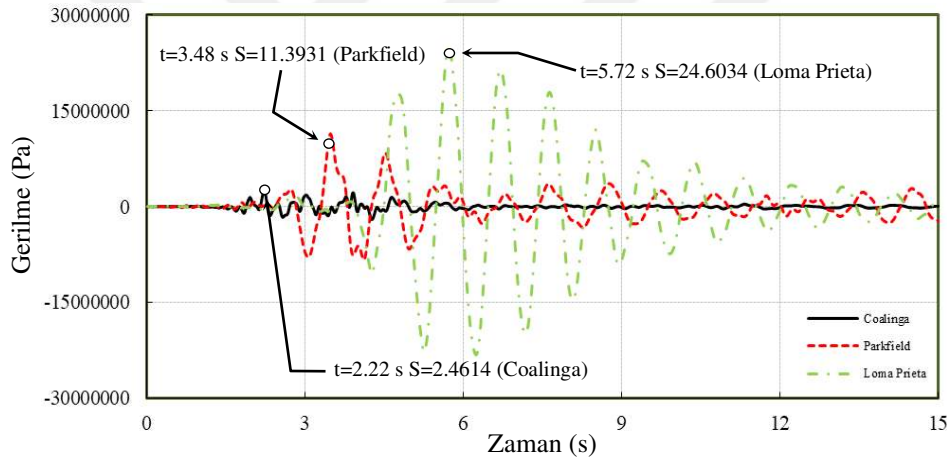
Şekil 65. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S2 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen gerilmeler

Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı sistemleri üzerindeki seçili düğüm noktalarından elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimleri Şekil 66~68’de görülmektedir. Örneğin, Şekil 66 incelendiğinde, Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-1 için S2 zemin sisteminde elde edilen en büyük gerilme 2.2001 MPa iken, bu değer Parkfield deprem yüklemesi için Coalinga deprem yüklemesine kıyasla %381 oranında bir artışla 10.5836 MPa ve Loma Prieta deprem yüklemesi için ise %858 oranında bir artışla 21.0665 MPa olarak hesaplanmıştır. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 67 incelendiğinde, MODEL-2 için S2 temel zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında en büyük gerilme değerinin 2.4614 MPa iken, bu değer Parkfield deprem yüklemesi altında Coalinga deprem yüklemesine

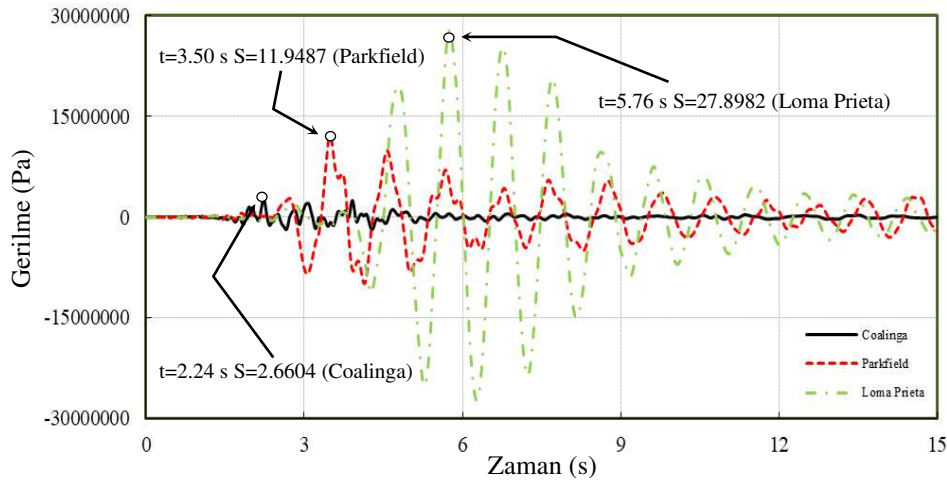
kıyasla %363'lük artışla 11.3931 MPa ve Loma Prieta deprem yüklemesi altında ise %900'lük artışla 24.6034 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 66. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-1 için S2 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen gerilmeler

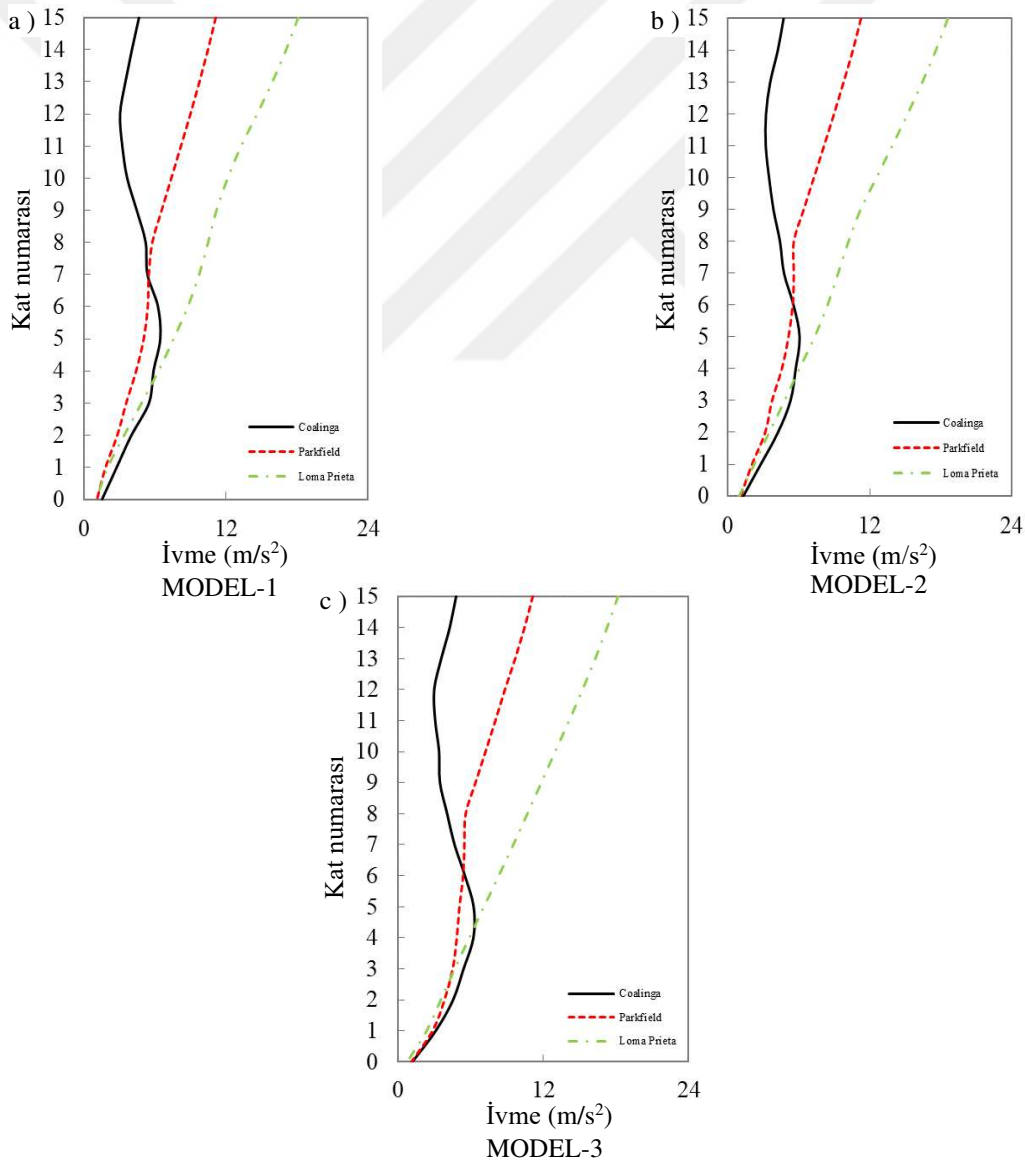


Şekil 67. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-2 için S2 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen gerilmeler



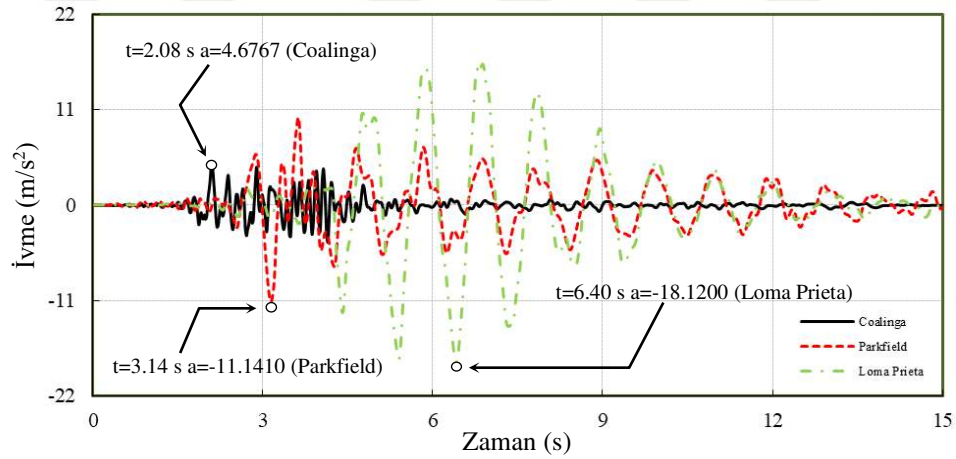
Şekil 68. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-3 için S2 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen gerilmeler

Gerçekleştirilen analizler sonucunda farklı frekans içeriklerine sahip deprem yüklemeleri altında yapı sisteminin yükseklik boyunca dinamik ivmelerinde meydana gelen değişimleri Şekil 69'da gösterilmektedir. Deprem frekansının içeriğindeki değişimin ivme değerleri üzerindeki etkileri ortak bir zemin sistemi için Şekil 69a'da yükseklik boyunca incelenebilir. Örneğin, Şekil 69a incelendiğinde, MODEL-1'den elde edilen yükseklik boyunca ivme değerlerinin S3 temel zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında en düşük, Loma Prieta yüklemesi altında ise en büyük tepki değerlerine ulaştığı görülmektedir. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında yapı yüksekliği boyunca ivmeler üzerinden elde edilen bu eğilimin S3 zemin sisteminde MODEL-2 ve MODEL-3 için de geçerli olduğu Şekil 69b ve Şekil 69c incelendiğinde açıkça anlaşılmaktadır.

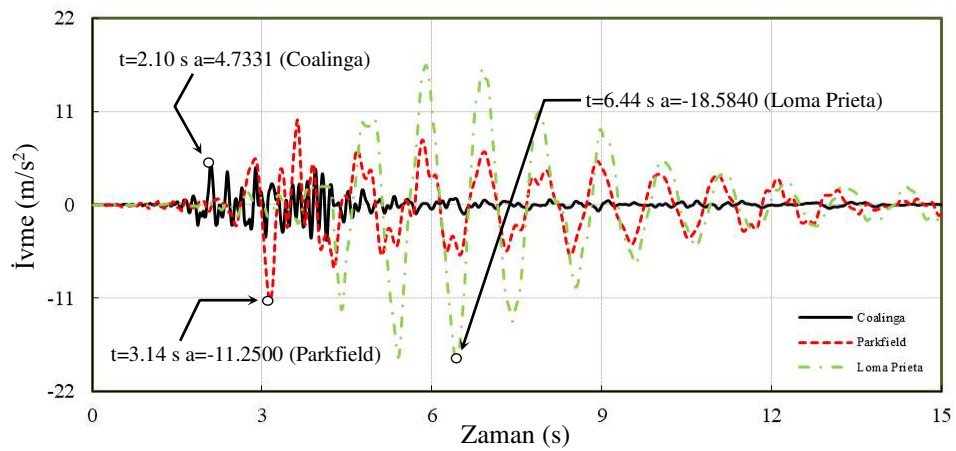


Şekil 69. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında S3 zemin sisteminde yapı yüksekliği boyunca elde edilen ivmeler

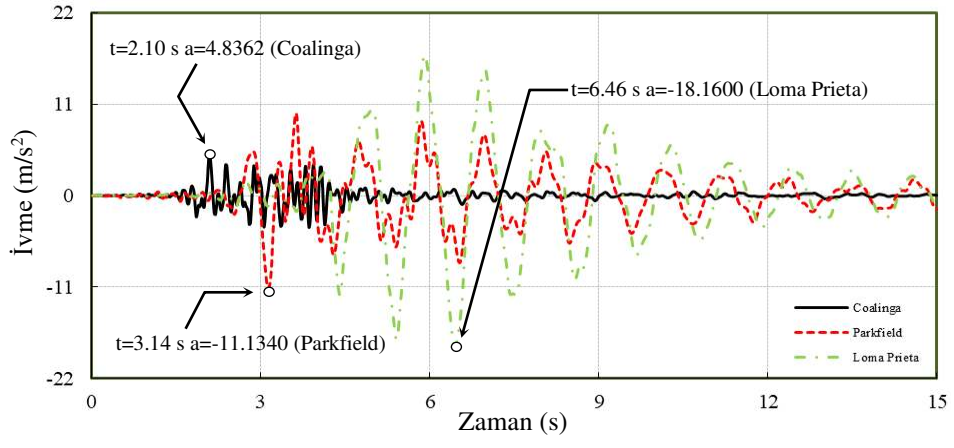
Farklı frekans içerikleri altında yapı sistemleri üzerindeki seçili düğüm noktalarından elde edilen ivmelerin zamana bağlı değişimleri Şekil 70~72'den görülmektedir. Örneğin, Şekil 71 incelendiğinde, Coalinga deprem yüklemesi altında MODEL-2 için S3 zemin sisteminde elde edilen en büyük ivme 4.7331 m/s^2 iken, bu değer Parkfield deprem yüklemesi için Coalinga deprem yüklemesine kıyasla %138 oranında artışla 11.2500 m/s^2 ve Loma Prieta deprem yüklemesi için %293 oranında artışla 18.5840 m/s^2 olarak elde edildiği görülmektedir. Benzer duruma bir diğer örnek olarak Şekil 72 incelendiğinde, MODEL-3 için S3 temel zemin sisteminde Coalinga deprem yüklemesi altında en büyük ivme değerinin 4.8362 m/s^2 iken, bu değer Parkfield deprem yüklemesi altında Coalinga deprem yüklemesine kıyasla %130'luk artışla 11.1340 m/s^2 ve Loma Prieta deprem yüklemesi altında ise %276'luk artışla 18.1600 m/s^2 olarak gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 70. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-1 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen ivmeler



Şekil 71. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-2 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen ivmeler



Şekil 72. Farklı frekans içeriğine sahip deprem yüklemeleri altında MODEL-3 için S3 zemin sisteminde zamana bağlı elde edilen ivmeler

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında ankastre taban koşulu ve dört farklı temel zemin sistemi, üç farklı zemin kat yüksekliğine sahip bina sistemi ve üç farklı deprem kaydı dikkate alınarak bina-temel/zemin etkileşim problemi zaman tanım alanında gerçekleştirilen dinamik analizler ile araştırılmıştır. Modellenen bina sistemlerinin yer değiştirme, görelî kat ötelemesi, gerilme ve ivme tepkileri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

Dinamik davranış üzerinde zemin-yapı etkileşim etkilerine ilişkin sonuçlar:

- Görelî yatay yer değiştirmeler bina yüksekliği boyunca (1. kattan 15. kata) artmakta ve en büyük görelî yer değiştirmeler 15. katta elde edilmektedir. Ayrıca ankastre temelden S4 temel zemin sistemine doğru bu değerlerin genellikle artış eğilimi gösterdiği gözlenmektedir.
- Görelî kat ötelemesi değerlerinin 1. kattan 15. kata doğru genellikle azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kat ötelemeleri ankastre taban koşulundan S4 temel zemin sistemine doğru artma eğilimindedir.
- Gerilmelerde 1. kattan 15. kata doğru genellikle azalış gözlemlenmiştir. Ayrıca ankastre temel sisteminden S4 temel zemin sistemine doğru gidildikçe en büyük gerilmelerde genellikle azalma eğilimi söz konusudur.
- İvme değerlerinin 15. kattan 1. kata doğru genellikle azaldığı gözlenmiştir. Ayrıca Coalinga ve Loma Prieta depremlerinde en büyük ivme değerleri ankastre temel koşulundan S4 zemin sistemine doğru genellikle artış gösterirken, Parkfield yüklemesi altında bu durumun genellikle tam tersi bir eğilim gözlemlenmiştir.

Dinamik davranış üzerinde zemin kat yüksekliği değişiminin etkilerine ilişkin sonuçlar:

- Zemin kat yüksekliğinin değişimi en büyük görelî yer değiştirmeleri önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Maksimum görelî yer değiştirmelerin genellikle büyükten küçüğe doğru MODEL-3, MODEL-2 ve MODEL-1'den elde edildiği görülmüştür.
- Zemin kat yüksekliğinin değişimi görelî kat ötelemelerini deprem karakteristiklerine bağlı olarak farklı düzeylerde etkileyebilmektedir.
- Farklı zemin kat yüksekliğine sahip yapı sistemlerinde en büyük gerilmelerin büyüklüğünde önemli ölçüde farklılıklar gözlemlenmiştir. En büyük gerilme değerlerinin genellikle büyükten küçüğe doğru MODEL-3, MODEL-2 ve MODEL-1'den elde edildiği görülmüştür.

➤ En büyük ivmelerin genellikle büyükten küçüğe doğru MODEL-1, MODEL-3 ve MODEL-2’de ortaya çıktığı görülmüştür.

Dinamik davranış üzerinde deprem frekans içeriğinin etkilerine ilişkin sonuçlar:

➤ Deprem frekans içeriğinin değişimi bina sisteminin dinamik tepkilerinde önemli değişikliklere sebep olabilmektedir. Tüm kat seviyelerinde en büyük yatay yer değiştirmelerin sırasıyla düşük frekans içeriğine sahip Loma Prieta, orta frekans içeriğine sahip Parkfield ve yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde meydana geldiği görülmüştür.

➤ En büyük görelî kat ötelemelerinin sırasıyla Loma Prieta, Parkfield ve Coalinga depremleri altında hesaplandığı görülmüştür.

➤ En büyük gerilmelerin sırasıyla Loma Prieta, Parkfield ve Coalinga depremleri altında hesaplandığı görülmüştür.

➤ En büyük ivmelerin sırasıyla Loma Prieta, Parkfield ve Coalinga depremleri altında hesaplandığı görülmüştür.

Bu tez konusuyla yakından ilişkili olarak ileriye yönelik gerçekleştirilecek araştırmalarda; temel zemininin yatay ve düşey doğrultulardaki boyutlarının değişiminin, yapı ve zemin için farklı malzeme modelleri kullanımının, yapı geometrisindeki değişimin, yapının şeve yakın inşa edilmesinin, yapı temel tipindeki değişimin ve yapı gömülme derinliğinin betonarme binaların sismik davranışı üzerindeki etkileri irdelenebilir.

KAYNAKÇA

- Araz, O., Ozturk, K. F. ve Çakır, 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.
- Aydınoğlu, M.N. (1977). Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı, Doktora Tezi, İ.T.Ü., İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- 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, 111-135.
- Bhattacharya, K ve Dutta, S. C. (2004). Assessing lateral period of building frames incorporating soil-flexibility. *Journal of Sound and Vibration*, 269, 795-821.
- Celep, Z. (2017). Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, s. 739.
- Çakır, T. (2010). Zemin-Depo Dış Duvarı-Sıvı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Çelebi, M. (1998). Turkish Earthquakes: Two reports. Lessons from the Adana-Ceyhan Quake and Dinar aftershock EERI newsletter, 32, 9, 8.
- Çelebi, E., Göktepe, F. ve Karahan, N. (2012). Non-linear finite element analysis for prediction of seismic response of buildings considering soil-structure interaction, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12, 3495-3505.
- Doğangün, A ve Livaoğlu, R. (2006). A comparative study of the design spectra defined by Eurocode 8, UBC, IBC and Turkish Earthquake Code on R/C sample buildings. *Journal of Seismology*, 10, 335-351.
- Dutta, S. C. (2001). Effect of strength deterioration on inelastic seismic torsional behaviour of asymmetric RC buildings. *Building and Environment*, 36(10), 1109-1118.
- 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, 1275.
- Fatahi, B ve Tabatabaiefar, 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), 04014016.

- 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.
- Hokmabadi, A. S., Fatahi, B. ve Samali, B. (2015). Physical modeling of seismic soil-pile-structure interaction for buildings on soft soils. *International Journal of Geomechanics*, 15(2), 04014046.
- Kamal, M., Inel, M. ve Caycı, B.T. (2022). Seismic behavior of mid-rise reinforced concrete adjacent buildings considering soil-structure interaction. *Journal of Building Engineering*, 104296.
- Livaoğlu, R. (2005). Ayaklı Depoların Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşimleri Dikkate Alınarak Deprem Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Li, P., Liu, S., Lu, Z. ve Yang, J. (2017). Numerical analysis of a shaking table test on dynamic structure-soil-structure interaction under earthquake excitations, *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, e1382.
- Lu, X., Chen, Y., Chen, B. ve Li, P. (2002). Shaking table model test on the dynamic soil-structure interaction system, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 1(1), 55-64.
- Lu, X., Chen, B., Li, P. ve Chen, Y. (2003). Numerical analysis of tall buildings considering dynamic soil-structure interaction. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2(1), 1-8.
- Lu, X., Li, P., Chen, B. ve Chen, Y. (2005). Computer simulation of the dynamic layered soil-pile-structure interaction system. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(3), 742-751.
- Miranda, E ve Taghavi, S. (2005). Approximate floor acceleration demands in multistory buildings. I: Formulation. *Journal of Structural Engineering*, 131, 203-211.
- Mylonakis, G ve Gazetas, G. (2000). Seismic soil-structure interaction: Beneficial or detrimental. *Journal of Earthquake Engineering*, 4, 277-301.
- Nguyen, Q. V., 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.

- Nguyen, Q. V., 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.
- Öztürk, K. F ve Çakır, T. (2017). Farklı Temel Zemini Özelliklerine Bağlı Olarak Konsol Bir İstinat Duvarının Deprem Davranışının İrdelenmesi. *Third International Soil- Structure Interaction Symposium*, 18-19 October 2017, İzmir, Türkiye, s. 487-497.
- Özturk, 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*, 107452, <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2022.107452>.
- Qaftan, O. S., Toma-Sabbagh, T., Weekes, L. ve Augusthus-Nelson, L. (2020). Validation of a finite element modelling approach on soil-foundation-structure interaction of a multi-storey wall-frame structure under dynamic loadings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 131, 106041.
- Roy, R ve Dutta, S. C. (2010). Inelastic seismic demand of low-rise buildings with soil-flexibility. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 45, 419-432.
- Sharma, N., Dasgupta, K. ve Dey, A. (2020). Natural period of reinforced concrete building frames on pile foundation considering seismic soil-structure interaction effects. *Structures*, 27, 1594-1612.
- 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.
- Sucuoğlu, H. (2008). Türkiye’de sismik aktivite ve tasarım spektrumları, Binalar için deprem mühendisliği temel ilkeler. Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H. ve Wasti, S.T. (eds.), ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, Türkiye, 35-56.
- Tabatabaiefar, 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, 1259-1267.
- Tabatabaiefar, H. R., Fatahi, B. ve Samali, B. (2013). Seismic behavior of building frames considering dynamic soil-structure interaction. *International Journal of Geomechanics*, 13, 409-420.

- Tabatabaiefar, H. R., Fatahi, B. ve Samali, B. (2014). Numerical and experimental investigations on seismic response of building frames under influence of soil-structure interaction. *Advances in Structural Engineering*, 17(1), 109-130.
- Tabatabaiefar, 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.
- Takewaki, I., Takeda, N. ve Uetani, K. (2003). Fast practical evaluation of soil-structure interaction of embedded structures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23, 195-202.
- Terzi, V. G ve Athanatopoulou, A. (2021). Influence of soil structure interaction effects on the real elastic axis of asymmetric buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 146, 106775.
- 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.
- Vicencio, F ve Alexander, N. A. (2019). Dynamic structure-soil-structure interaction in unsymmetrical plan buildings due to seismic excitation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 127, 105817.
- Xiong, W., Jiang, L. Z. ve Li, Y. Z. (2016). Influence of soil–structure interaction (structure-to-soil relative stiffness and mass ratio) on the fundamental period of buildings: experimental observation and analytical verification. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14, 139-160.
- 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.

ÖZGEÇMİŞ

Ali Furkan PARLAK ilk ve orta öğrenimini Trabzon İskenderpaşa Ortaokulu'nda tamamladı. 2014 yılında Trabzon Cumhuriyet Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2015 LYS sınavı ile Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde okumaya hak kazandı. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi'nde Farabi öğrenci değişim programından yararlanarak 2019 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 3.33 ortalamayla bölüm üçüncülüğü derecesiyle mezun oldu. Sonrasında özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalışmaya başladı. PARLAK, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.