

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TEKİL TEMEL SİSTEMİNE SAHİP 4 KATLI BİR YAPININ DİNAMİK
DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİNİN VE BAĞ KİRİŞİNİN ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS

Yücel KARABİNA

ARALIK-2025

GÜMÜŞHANE



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

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TEKİL TEMEL SİSTEMİNE SAHİP 4 KATLI BİR YAPININ DİNAMİK
DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİNİN VE BAĞ KİRİŞİNİN ETKİLERİ**

**EFFECTS OF SOIL AND TIE BEAM ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF A 4-
STORY STRUCTURE WITH SPREAD FOOTING SYSTEM**

YÜKSEK LİSANS

Yücel KARABİNA

**ARALIK-2025
GÜMÜŞHANE**



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

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**TEKİL TEMEL SİSTEMİNE SAHİP 4 KATLI BİR YAPININ DİNAMİK
DAVRANIŞI ÜZERİNDE ZEMİNİN VE BAĞ KİRİŞİNİN ETKİLERİ**

**EFFECTS OF SOIL AND TIE BEAM ON THE DYNAMIC BEHAVIOR OF A 4-
STORY STRUCTURE WITH SPREAD FOOTING SYSTEM**

YÜKSEK LİSANS

Yücel KARABİNA

Danışman: Prof. Dr. Tufan ÇAKIR

**ARALIK-2025
GÜMÜŞHANE**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlamış olduğum “**Tekil Temel Sistemine Sahip 4 Katlı Bir Yapının Dinamik Davranışı Üzerinde Zeminin ve Bağ Kirişinin Etkileri**” 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 saklanmasına izin verdiğimi onaylarım.

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

26/12/2025

.....
Yücel KARABİNA

TEŞEKKÜR

“Tekil temel sistemine sahip 4 katlı bir yapının dinamik davranışı üzerinde zeminin ve bağ kirişinin etkileri” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın ana temelinden başlayarak yazım sürecine kadar bilgi, birikim ve tecrübesi ile planlayan, yönlendiren, samimiyeti ve destekleri ile tez sürecime katkı sağlayan, ahlaki ve eğitimci duruşunu her daim örnek alacağım değerli danışman hocam Prof. Dr. Tufan ÇAKIR’a çok teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimimde derslerinden keyif aldığım ve tez çalışmam sürecinde her türlü yardımlarını esirgemeyen hocalarım Doç. Dr. Onur ARAZ’a, Dr. Öğr. Üyesi Kaşif Furkan ÖZTÜRK’e ve günün her saati karşılaştığım tüm sorunların çözüme kavuşmasında büyük bir özveri ile yardımcı olan, aynı zamanda tanımdan mutluluk duyduğum kıymetli hocam Öğr. Gör. Dr. Dilek KAYA’ya çok teşekkür ederim.

Yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Fatih YILMAZ’a, Necati ARSLAN’a ve çalışma arkadaşlarıma çok teşekkür eder, şükranlarımı sunarım.

Hayatımın kırılgan anlarında desteğini sürekli yanımda hissettiğim, eğitimimi ve gelişimimi sürekli destekleyen babam Hasan KARABİNA’ya, annem Emine KARABİNA’ya, kardeşlerim Yüksel ÖZTÜRK’e, Yasemin SARI’ya ve Yalçın KARABİNA’ya çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sürecinde kısıtlı zaman ayırabildiğim, desteğini ve anlayışını her zaman yanımda hissettiğim sevgili eşim Perihan KISACIK KARABİNA’ya ve dünyamı güzelleştirip, desteğini ve inancını içimde hissettiğim çocuklarım Yücel Ayaz KARABİNA’ya ve Yücel Uraz KARABİNA’ya sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Yücel KARABİNA
GÜMÜŞHANE – 2025

ÖZET

Yapısal sistemlere etkiyen bütün yüklerin zemin ortama güvenli bir şekilde aktarılması gerekmekte ve zemin özellikleri belirlendikten sonra yükler ve yapısal elemanların kesit özellikleri dikkate alınarak uygun temel sistemine karar verilmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; tekil temel sistemine sahip 4 katlı bir yapının sismik davranışı üzerinde zemin türünün, temel bağ kirişinin ve deprem frekans içeriğinin etkilerini yer değiştirme, ivme ve gerilme davranışı açısından değerlendirmektir. Bu amaçla, 2 yapısal sistem (bağ kirişli ve bağ kirişsiz), 5 zemin türü ve 3 yer hareketi dikkate alınarak sonlu elemanlar yöntemine dayalı dinamik çözümlemeler gerçekleştirilmiştir. Zeminlerin dayanım ve deformasyon özelliklerinin değişimine neden olabilen deprem frekans içeriğinin ve yapı mesnetlenme koşullarının birer tasarım kriteri olarak dikkate alınması gerektiği, maksimum tepkilerin sırasıyla orta, düşük ve yüksek frekans içeriğine sahip depremlerde hesaplandığı ve düşük periyotlu yapılarda orta ve yüksek frekans içerikli depremlerin daha kritik olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca nispeten rijit zemin (S1, S2 ve S3) koşullarında bağ kirişi kullanımının tepkilerde kayda değer bir değişikliğe sebep olmadığı ancak yumuşak zemin (S4) koşullarında bağ kirişi kullanımının düşük ve orta frekans içerikli depremlerde maksimum yer değiştirmeleri ve gerilmeleri azalttığı, yüksek frekans içerikli depremlerde ise artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Bağ kirişi, Frekans içeriği, Sismik davranış, Tekil temel, Zemin türü

SUMMARY

All loads acting on structural systems must be safely transferred to the soil medium, and after the soil properties are determined, an appropriate foundation system is selected by considering the loads and the cross-sectional properties of the structural elements.

The main objective of this study is to evaluate the effects of soil type, foundation tie beam, and earthquake frequency content on the seismic behavior of a four-story building with a spread footing system, in terms of displacement, acceleration, and stress responses. For this purpose, dynamic analyses based on the finite element method were carried out by considering two structural systems (with and without tie beams), five soil types, and three ground motions. It was determined that the earthquake frequency content which can cause changes in the strength and deformation characteristics of soils and the support conditions of the structure should be considered as design criteria. It was also found that the maximum responses were obtained respectively under earthquakes with medium, low, and high frequency content, and that for structures with low periods, earthquakes with medium and high frequency content may be more critical. Furthermore, it was observed that the use of a tie beam did not cause a significant change in the responses under relatively stiff soil (S1, S2, and S3) conditions; however, under soft soil (S4) conditions, the use of a tie beam reduced the maximum displacements and stresses during earthquakes with low and medium frequency content, while it increased them during earthquakes with high frequency content.

Keywords: Tie beam, Frequency content, Seismic behavior, Spread footing, Soil type

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	III
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
SUMMARY	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Zemin Sistemleri ve Yerel Zemin Sınıfları.....	1
1.3. Temel Sistemleri ve Temel Sisteminin Seçimi	3
1.4. Literatür Araştırması	6
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	14
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER	16
2.1. İncelemeye Konu Olan Yapı.....	16
2.2. Zemin Özellikleri ve Deprem Yer Hareketleri.....	17
2.3. Model 1'in Analizi	19
2.3.1. Model 1'e Ait Sayısal Model	19
2.3.2. Model 1'in Sismik Analizi	20
2.3.2.1. Model 1 İçin Rölatif Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi	20
2.3.2.2. Model 1 İçin Gerilmelerin Değerlendirilmesi.....	24
2.3.2.3. Model 1 İçin İvmelerin Değerlendirilmesi.....	29
2.4. Model 2'nin Analizi	33
2.4.1. Model 2'ye Ait Sayısal Model	33
2.4.2. Model 2'nin Sismik Analizi	33
2.4.2.1. Model 2 İçin Rölatif Yerdeğiştirmelerin Değerlendirilmesi.....	34
2.4.2.2. Model 2 İçin Gerilmelerin Değerlendirilmesi.....	37
2.4.2.3. Model 2 İçin İvmelerin Değerlendirilmesi.....	42
2.5. Deprem Davranışı Üzerinde Bağ Kirişinin Etkileri	46
2.5.1. Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması	46

2.5.2. Gerilmelerin Karşılaştırılması.....	48
2.5.3. İvmelerin Karşılaştırılması.....	50
2.6. Deprem Davranışı Üzerinde Yer Hareketi Değişiminin Etkileri	52
2.6.1. Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması	53
2.6.2. Gerilmelerin Karşılaştırılması.....	54
2.6.3. İvmelerin Karşılaştırılması.....	56
3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	58
KAYNAKÇA.....	60
ÖZGEÇMİŞ	66



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Zeminlere ait özellikler	18
Tablo 2. Deprem yer hareketleri	18
Tablo 3. Erzincan depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri	21
Tablo 4. Parkfield depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri	21
Tablo 5. Coalinga depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri	21
Tablo 6. Erzincan depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen gerilme değerleri	25
Tablo 7. Parkfield depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen gerilme değerleri	25
Tablo 8. Coalinga depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen gerilme değerleri	25
Tablo 9. Erzincan depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen ivme değerleri	29
Tablo 10. Parkfield depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen ivme değerleri..	29
Tablo 11. Coalinga depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen ivme değerleri..	29
Tablo 12. Erzincan depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri	34
Tablo 13. Parkfield depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri	34
Tablo 14. Coalinga depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri	34
Tablo 15. Erzincan depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen gerilme değerleri	38
Tablo 16. Parkfield depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen gerilme değerleri	38
Tablo 17. Coalinga depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen gerilme değerleri	38
Tablo 18. Erzincan depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen ivme değerleri	42
Tablo 19. Parkfield depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen ivme değerleri	42
Tablo 20. Coalinga depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen ivme değerleri	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. TBDY-2018'e göre yerel zemin sınıfları.....	2
Şekil 2. Yapılara etkiyen düşey ve yatay yüklerin şematik gösterimi (Doğangün, 2021b)	4
Şekil 3. Bir temele etkiyen yüklere örnekler (Önalp ve Sert, 2016).....	5
Şekil 4. Temel türleri (Doğangün, 2021b)	5
Şekil 5. Kalıp planı.....	17
Şekil 6. Temel kalıp planı	17
Şekil 7. 1992 Erzincan depremine ait ivme kaydı.....	18
Şekil 8. 2004 Parkfield depremine ait ivme kaydı	19
Şekil 9. 1983 Coalinga depremine ait ivme kaydı	19
Şekil 10. Model 1'e ait sayısal model	20
Şekil 11. Model 1 için yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi.....	23
Şekil 12. Model 1 için Erzincan depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi	24
Şekil 13. Model 1 için Parkfield depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi....	24
Şekil 14. Model 1 için Coalinga depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi....	24
Şekil 15. Model 1 için gerilmelerin yükseklikle değişimi	27
Şekil 16. Model 1 için Erzincan depreminde gerilmelerin zamansal değişimi.....	28
Şekil 17. Model 1 için Parkfield depreminde gerilmelerin zamansal değişimi	28
Şekil 18. Model 1 için Coalinga depreminde gerilmelerin zamansal değişimi.....	28
Şekil 19. Model 1 için ivmelerin yükseklikle değişimi.....	31
Şekil 20. Model 1 için Erzincan depreminde ivmelerin zamansal değişimi	32
Şekil 21. Model 1 için Parkfield depreminde ivmelerin zamansal değişimi.....	32
Şekil 22. Model 1 için Coalinga depreminde ivmelerin zamansal değişimi.....	32
Şekil 23. Model 2'ye ait sayısal model	33
Şekil 24. Model 2 için yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi.....	36
Şekil 25. Model 2 için Erzincan depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi	37
Şekil 26. Model 2 için Parkfield depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi....	37
Şekil 27. Model 2 için Coalinga depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi....	37
Şekil 28. Model 2 için gerilmelerin yükseklikle değişimi	40
Şekil 29. Model 2 için Erzincan depreminde gerilmelerin zamansal değişimi.....	41
Şekil 30. Model 2 için Parkfield depreminde gerilmelerin zamansal değişimi	41
Şekil 31. Model 2 için Coalinga depreminde gerilmelerin zamansal değişimi.....	41

Şekil 32. Model 2 için ivmelerin yükseklikle değişimi.....	44
Şekil 33. Model 2 için Erzincan depreminde ivmelerin zamansal değişimi.....	45
Şekil 34. Model 2 için Parkfield depreminde ivmelerin zamansal değişimi.....	45
Şekil 35. Model 2 için Coalinga depreminde ivmelerin zamansal değişimi.....	45
Şekil 36. S4 zemininde yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi	47
Şekil 37. Erzincan depreminde S4 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi...	47
Şekil 38. Parkfield depreminde S4 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi ..	48
Şekil 39. Coalinga depreminde S4 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi ..	48
Şekil 40. S4 zemininde gerilmelerin yükseklikle değişimi.....	49
Şekil 41. Erzincan depreminde S4 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi	50
Şekil 42. Parkfield depreminde S4 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi.....	50
Şekil 43. Coalinga depreminde S4 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi	50
Şekil 44. S4 zemininde ivmelerin yükseklikle değişimi	51
Şekil 45. Erzincan depreminde S4 zemininde ivmelerin zamansal değişimi.....	52
Şekil 46. Parkfield depreminde S4 zemininde ivmelerin zamansal değişimi	52
Şekil 47. Coalinga depreminde S4 zemininde ivmelerin zamansal değişimi	52
Şekil 48. S3 zemininde yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi	53
Şekil 49. Model 1 için S3 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi	54
Şekil 50. Model 2 için S3 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi	54
Şekil 51. S3 zemininde gerilmelerin yükseklikle değişimi.....	55
Şekil 52. Model 1 için S3 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi	55
Şekil 53. Model 2 için S3 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi	55
Şekil 54. S3 zemininde ivmelerin yükseklikle değişimi	56
Şekil 55. Model 1 için S3 zemininde ivmelerin zamansal değişimi	57
Şekil 56. Model 2 için S3 zemininde ivmelerin zamansal değişimi	57

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	: İvme
E	: Elastisite modülü
G	: Kayma modülü
Model 1	: Bağ kirişli model
Model 2	: Bağ kirişsiz model
PGA	: En büyük yer ivmesi
PGV	: En büyük yer hızı
S	: Gerilme
SSI	: Zemin-yapı etkileşimi
t	: Zaman
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
u	: Yatay yer değiştirme
V_p	: Boyuna dalga hızı
V_s	: Kayma dalgası hızı
γ	: Birim hacim ağırlık
ν	: Poisson oranı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemiz, farklı levhaların kesişim noktası üzerinde yer alan jeolojik yapısı nedeniyle aktif fay hatları üzerinde bulunan ve doğal afetlerden sürekli olarak etkilenen bir konumda yer almaktadır. Yakın tarihlerde yaşadığımız depremler sebebiyle ülkemizde çok fazla can ve mal kayıpları yaşanmış ve bunun da ötesinde önemli ölçüde sosyal ve ekonomik kayıplar meydana gelmiştir. Dolayısıyla yapı sistemlerinin depremleri hasarsız veya az hasarlı atlatabilmeleri ve deprem sonrası işlevselliklerini koruyabilmeleri büyük önem arz etmektedir. Bu çerçevede yapısal ve geoteknik açıdan ilgili bütün parametreler göz önüne alınarak detaylı analizler yapılmalıdır.

Yakın bir geçmişe kadar depreme dayanıklı yapı tasarımı amacıyla kullanılmış olan deprem hesap yöntemlerinde zemin-yapı etkileşimi çoğu kez ihmal edilmiş ve yapının zemine rijit olarak mesnetlendiği varsayımı yapılmıştır. Halbuki özellikle son yıllarda meydana gelen Erzincan (1992), Northridge (1994), Kobe (1995), Kocaeli (1999), Düzce (1999) ve Kahramanmaraş (2023) depremlerinde hasar görmüş yapıların incelenmesiyle, bu etkileşimin özellikle yüksek binalar, ikinci mertebe etkilerinin önem kazandığı narin yapılar, nükleer santraller, köprüler ve barajlar gibi yapılar için dikkate alınmasının önemi bir kez daha ortaya çıkmıştır. Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak gerçekleştirilen deprem hesaplarında, zeminin şekil değiştiren ve yapının davranışına eylemsizlik (atalet) yönünden etkide bulunan bir dinamik sistem olarak ele alınması gerekmektedir. Bu suretle zeminin yapı davranışını, yapının da zemin davranışını etkileyeceği söylenebilir (Celep ve Kumbasar, 2004; Çakır, 2017). Bu bağlamda, üzerinde yapı olmayan zemini, farklı gerekçelerle kendi başına değerlendirme imkânı olmakla birlikte, yapısal sistemleri zeminden bağımsız olarak düşünmek doğru bir seçim olmamaktadır.

1.2. Zemin Sistemleri ve Yerel Zemin Sınıfları

Zemini dikkate almayarak ya da zemin özellikleri için rastgele değerler seçerek yapıların tasarlanması birçok problemin doğmasına yol açabilmektedir. Zeminin negatif bir karakteristiği de, hâlihazırda uygun olarak gözüксе de özellikle su etkisine maruz kalması durumunda yapıya karşı başlangıçtaki tepkisini değiştirebilme eğilimidir. Dolayısıyla başlangıç aşamasında problem olmasa bile, yapı proje ömrü süresince

zeminin su içeriği, suya doygunluğu, boşluksuyu basıncı, konsolidasyon özellikleri, şev eğimi vb. özelliklerin değişmesi yapının hasar görmesine neden olabilmektedir (Doğangün, 2021a).

Zemin ile yapı karşılaşmadan önce zemin ortamın hangi olası durumda nasıl davranacağına öngörülmesi ve yapının buna hazırlıklı olmasının sağlanması gerekmektedir. Bir başka deyişle, zemin ve yapının, proje ömrü süresince maruz kalacakları tüm potansiyel unsurlara karşı bir sistem olarak birlikte dayanabilmesi sağlanmalı ve etkisinde kalacakları tüm statik ve sismik etkilere karşı tepkileri doğru bir şekilde ortaya konmalıdır. İlaveten deprem esnasında zemin ortam, yapının mesnetlenme koşullarını değiştireceğinden dolayı, doğal periyotların, yapı rijitliğinin ve mod şekillerinin farklılaşmasına neden olabilmektedir. Bu çerçevede, ancak zeminin ve yapının tüm özelliklerini birlikte dikkate alarak güvenli ve ekonomik bir yapı inşa etmek mümkündür. Yapı sistemlerinin aktif deprem bölgelerinde inşa edilecek olması durumunda da, yapı için artık tüm bölgedeki zemin ortam kritik bir öneme haiz olmaktadır. Çünkü zemin ortam depremin frekans içeriği üzerinde etkili olmakta ve depremin frekans içeriği de zeminin kayma direnci ve gerilme-şekil değiştirme karakteristiklerini değiştirmektedir (Ansal, 1999). Bu çerçevede güncel deprem yönetmelikleri de depreme dayanıklı yapı tasarımı açısından çeşitli kriterlere göre yapının mesnetleneceği zemin sınıflarını tanımlamaktadır. Şekil 1’de Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)’ne (TBDY-2018) göre tanımlanan zemin cinsleri ve yerel zemin sınıfları görülmektedir.

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

Şekil 1. TBDY-2018’e göre yerel zemin sınıfları

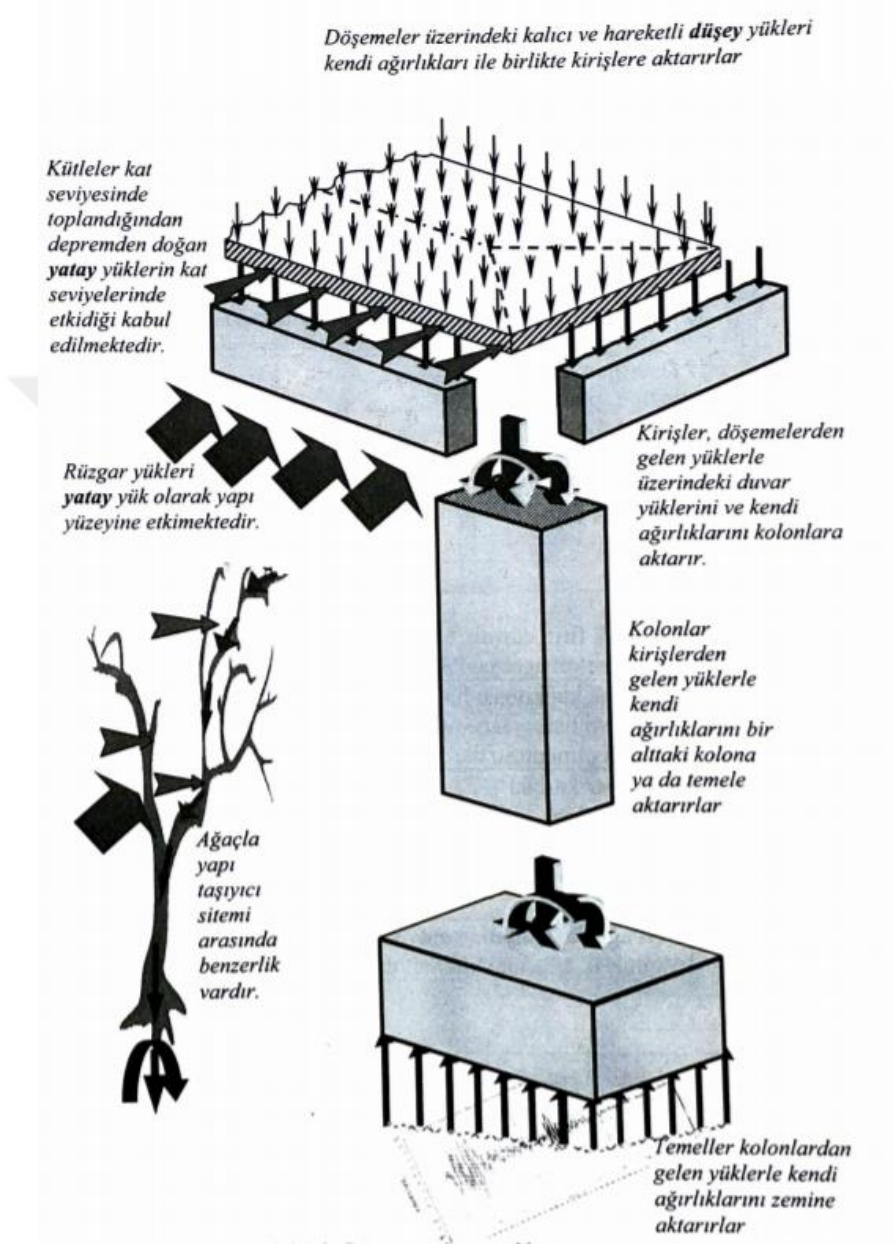
Zeminin mevcut yani müdahale edilmemiş hali, yalnızca uygun taşıma gücüne ve oturma özelliklerine sahip olduğu durumlarda tercih edilebilir. Ancak çoğu zaman zemin ortamda, taşıma gücü yetersizliği, aşırı oturma potansiyeli veya sıvılaşma riski gibi nedenlerle iyileştirilme ihtiyacı doğabilir. Bu durumda çeşitli zemin iyileştirme teknikleri uygulanarak zemin daha güvenli ve dayanıklı hale getirilebilir. Zemin sistemleri aynı zamanda temel türünün seçimini de doğrudan etkiler ve zemin-yapı etkileşiminin sağlıklı bir şekilde dikkate alınabilmesi için zemine uygun temel tasarımı yapılması gerekir. Özellikle deprem anında zemin; sıvılaşma, büyük oturmalar, zemin büyütmesi (sismik dalga genliğinin artması) ve heyelan gibi riskler yaratabilir. Bu gibi nedenlerden ötürü zemin tipi (kil, silt, kum, çakıl vb.), yeraltı su seviyesi, yapı yükü, kat adedi, yapının bulunduğu bölgenin deprem riski ve yapının rijitliği gibi birçok faktör dikkatle değerlendirilmelidir. Bu bütüncül yaklaşım hem yapı güvenliği hem de uzun vadeli dayanıklılık açısından büyük önem taşımaktadır.

1.3. Temel Sistemleri ve Temel Sisteminin Seçimi

Yapısal sistemlerin amacına uygun olarak tasarlanabilmesi için hizmet ömrü boyunca etkisinde kalacağı yüklerin doğru bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Çünkü bu yapısal sistemler taşıma gücü ve kullanılabilirlik sınır durumları gereği, etkiyen yüklere karşı yeterli dayanımı gösterebilmeli ve kullanılabilir kalmalıdır. Eğer göz önüne alınan yükler, olması gerekenden daha küçük olarak hesaplanmışsa, çatlaklar, titreşimler ve aşırı sehimler oluşabileceği gibi göçmeler ve ağır hasarlar da meydana gelebilir. Öte yandan yüklerin olması gerekenden büyük alınması durumunda ise, eleman boyutları büyüyeceğinden yapı hem ekonomik olmayacak hem de ağırlık artışı nedeniyle daha büyük deprem yüklerine maruz kalacaktır. Yapılar; zeminin, bölgenin ve yapının kendi özelliklerine has olarak, farklı nitelikli yükler etkisinde kalabilmektedir. Bu yük çeşitlerinden kalıcı (sabit) yük gibi yüklerin belirlenmesi kolay olmakta, ancak deprem, rüzgâr ve hareketli yük gibi yüklerin yapıya etkiyecek olan tam değerlerinin hesaplanması olanaksız olmaktadır. Tam değerleri hesaplanamasa da, projelendirme aşamasında bu yüklerin de hesaba katılması elzemdir. Bu bağlamda, istatistiksel değerlendirmelere ve geçmiş deneyimlere bağlı olarak yönetmeliklerde sunulan yük koşulları kullanılmaktadır (Doğangün, 2021b).

Yapılara etkiyen yüklerin, yapı güvenliği açısından zemin ortama güvenli bir şekilde aktarılması işlevi temel adı verilen yapısal elemanlara düşmektedir (Şekil 2 ve 3). Üst yapı ne kadar uygun tasarlanırsa tasarlansın, temel sisteminin yetersiz kalması durumunda yapının fonksiyonunu yerine getirmesi olanaksızdır. Yapılara etkiyen bütün

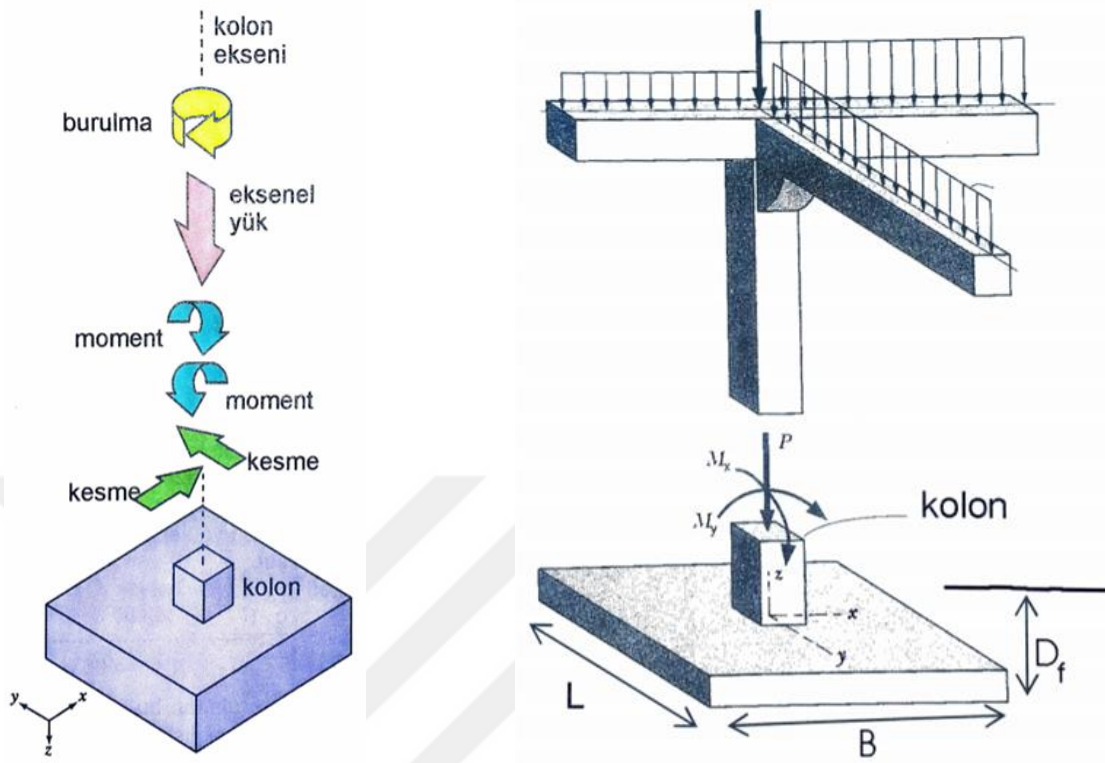
yükler, kolon ve/veya perde duvar gibi yapısal elemanlarla temellere, oradan da zemine aktarılmaktadır. Bu aktarım sebebiyle temel altındaki zemin ortamda gerilmeler meydana gelmekte ve gerilme dağılımının şekli; zemin türüne, yükleme çeşidine ve temelin esnekliğine bağlı olarak değişmektedir.



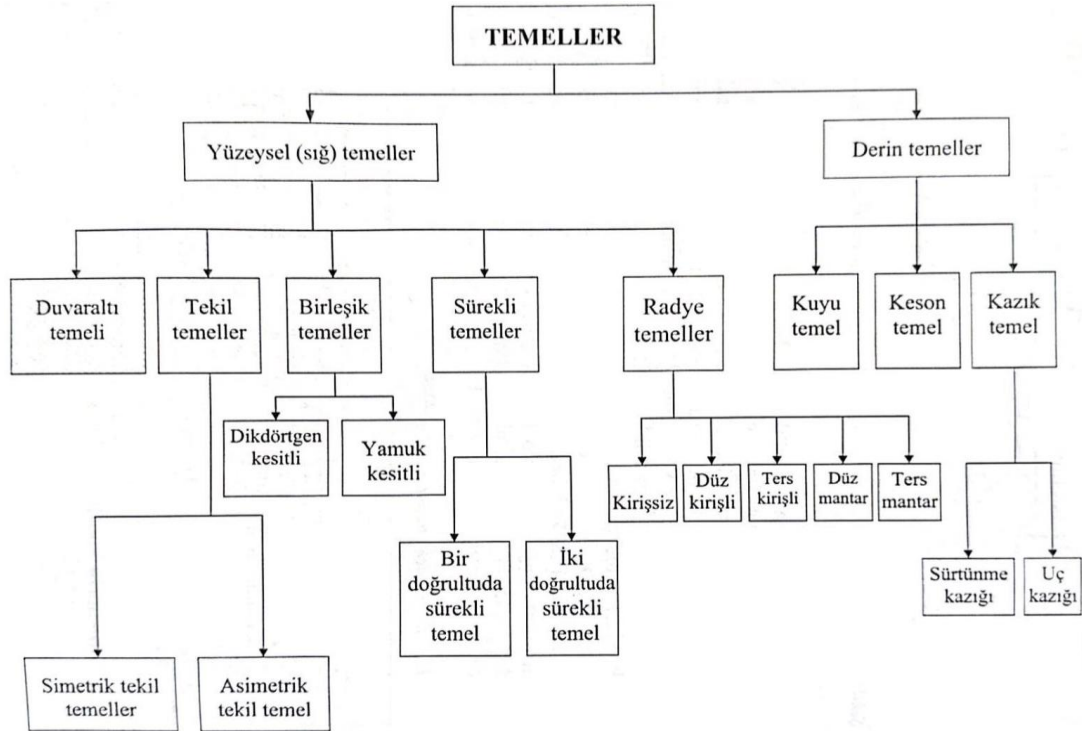
Şekil 2. Yapılara etkiyen düşey ve yatay yüklerin şematik gösterimi (Doğangün, 2021b).

Temeller derinliklerine göre *yüzeysel (sığ)* ve *derin temeller* olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır (Şekil 4). Üstyapı yüklerinin zemine aktarılmasında inşa edilen temellerin tipine karar verilirken genel olarak; kolon veya perde duvar yüklerinin büyüklüğü, zeminin mukavemeti ve sıkışabilirliği, komşu binaların temel gömme

derinliği, yer altı su seviyesinin derinliği, bodrum kat inşa edilip edilmeyeceği ve yapım teknolojisi gibi unsurlar dikkate alınmaktadır.



Şekil 3. Bir temele etkiyen yüklere örnekler (Önalp ve Sert, 2016).



Şekil 4. Temel türleri (Doğangün, 2021b).

Yapı mimari projesi ortaya çıktıktan sonra gerçekleştirilen zemin araştırmaları, zemin-yapı etkileşimine ilişkin ilk verileri açığa çıkarır. Bu veriler; sahanın depremselliği ve diğer afetlerden etkilenme durumu, yapı yüksekliği ve derinliği, yapı boyutları ve ağırlığı, yeraltı suyunun konumu ve rejimi, yapının temel hareketlerine duyarlılığı, çevre etkileri ve kaya/zemin ortamın geoteknik özellikleri olarak sıralanabilir (Önalp ve Sert, 2016). Bu bağlamda, temel tipinin seçiminde birçok parametrenin etken olduğu söylenebilir. Bu seçim aşamasında emniyet yanında ekonomik kriterler de rol oynamaktadır. Öte yandan sağlam ve güvenli bir temel tasarımı yapıların ekonomik servis ömrünü doğrudan etkilemektedir.

Temel sistemi seçimindeki ana prensip mümkün olan her yerde çözümün sığ ve hatta kare temellerle sağlanmasıdır. Şartların uygun olmaması durumunda diğer alternatifler gündeme gelmelidir. Kare temel uygulanamama durumu; kolon yükü büyüklüklerinde önemli derecede farklılıklar, büyük momentler, yapının parsel sınırına yapışık olması, kolonların birbirine yakınlığı, perde inşa etme zorunluluğu, yer altı su seviyesinin yüksekliği, zemin tabakalarının yumuşaklığı ve yatayda değişkenlik gibi nedenlerle ortaya çıkabilir (Önalp ve Sert, 2016). Ayrıca sığ temeller maliyet ve işçilik bakımından avantajlara sahip iken zemin mukavemetinin yeterli düzeyde olmadığı durumlarda kaplayacağı alanın büyüklüğü bakımından dezavantajlara sahiptir ve bu durumda derin temel yapımı yoluna gidilmelidir.

Yukarıdaki bilgilerden hareketle, bu çalışma kapsamında inceleme konusu yapının temel sistemi tekil temel olarak seçilmiştir. Yapı tekil temel sistemi bağ kirişli ve bağ kirişsiz olarak iki farklı şekilde tasarlanmıştır. Bilindiği üzere temel sistemi olarak tekil temelin seçilmesi durumunda, TBDY-2018'e göre bağ kirişlerinin kullanılması gerekmektedir. Sadece ZA zemini koşullarında bağ kirişi inşa edilmeyebilir. Bağ kirişlerinin görevi, sismik kuvvetleri pabuçtan pabuca ileterek sistemin bir bütün olarak depreme karşı direncini artırmak ve yatay yönde temellerin farklı yer değiştirmelerini kısıtlamaktır. Bağ kirişlerine taban basıncı etkilediğinden farklı oturmaları önleyemez, sadece çekme ve basınca çalışırlar, altları boş olarak tasarlandıklarından zemine oturmazlar ve temel altından kolon tabanına kadar olan yükseklikte herhangi bir seviyede inşa edilebilirler.

1.4. Literatür Araştırması

Son yıllarda zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak sismik etkiler nedeniyle zemin ve yapı sistemlerinde oluşabilecek hasarların tespit edilmesi ve bu hasarlara önlemler alınması amacıyla detaylı incelemeler gerçekleştirilmiştir. Gazetas (1991), temellerin

dinamik rijitliklerini ve sönüm katsayılarını hesaplamak için gerekli olan cebirsel formüller ve grafikleri sunmuştur. Farklı titreşim modları, Poisson oranları ve frekanslar dikkate alarak yüzeysel ve gömülü temelleri ele almıştır. İki örnek üzerinden verilen formüller ile grafiklerin nasıl kullanılacağını açıklamıştır. Ciampoli ve Pinto (1995), köprü ayaklarında zemin-yapı etkileşimi etkilerini değerlendirmiş ve özellikle yapının kritik bölgelerinde maksimum sünekliği incelemiştir. Yaygın geometrili köprü ayaklarını temsil eden dikey bir konsol yapı modeli kullanmıştır. İncelenen 240 örnek sonucunda, zemin-yapı etkileşiminin çoğu durumda maksimum deplasmanları artırdığını ancak bu etkinin çok anlamlı olmadığını ve esnek olmayan aralıkta tepki veren köprü ayaklarının etkilenmediğini belirtmiştir. Zemin koşullarındaki aşırı değişimlere karşı stabil kaldığını göstermiştir. Mylonakis ve Gazetas (2000), zemin-yapı etkileşiminin dinamik yükler altındaki rolünü incelemiş ve bu etkileşimin yapılar üzerindeki olumlu veya olumsuz etkilerini tartışmıştır. Bir yapının deforme olan bir zemin üzerinde olması durumunda, zemin hareketinin yapının dinamik özelliklerini değiştirdiğini ifade etmiştir. Sabit tabanlı yapılara kıyasla esnek tabanlı yapıların daha büyük deformasyonlara maruz kaldığını ve dolayısıyla daha fazla süneklik talep ettiğini belirtmiştir. Ayrıca mevcut tasarım standartlarının bazı durumlarda yanıltıcı olabileceğini ve dolayısıyla mühendislerin zemin koşullarını dikkate alarak daha dikkatli değerlendirmeler yapmaları gerektiğini vurgulamıştır. Koçak ve Aydoğan (2002), çerçevelerden oluşan bina ve fabrikalardaki temel bağ kirişi sistemlerinin deprem davranışına etkilerini parametrik bir şekilde incelemişlerdir. Bağ kirişi varlığı ve yokluğu ile bunların üst veya alt kot bağlantıları arasındaki farklarını analiz etmişlerdir. SAP90 yazılımı ile yapıların yanal yer değiştirmelerini, periyotlarını ve kesit tesirlerini irdemişler ve temel bağ kirişi sistemlerinin yapısal davranış üzerinde önemli etkileri olduğunu ortaya koymuşlardır. Özellikle zemin koşulları ve yapı yüksekliğine bağlı olarak bağ kirişi uygulamalarının performansı ile ilgili bazı önerilerde bulunmuşlardır. Takewaki vd. (2003), gömme yapılardaki zemin-yapı etkileşim etkilerini değerlendirmek için koni modeli vasıtasıyla bir yöntem sunmuşlardır. Tek serbestlik dereceli üst yapının transfer fonksiyonu genliğini i) zemin-yapı etkileşiminin dikkate alınmadığı, ii) gömülmenin olmadığı zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı, iii) sıkı gömülmenin olduğu zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı, iv) derin gömülmenin olduğu zemin-yapı etkileşiminin dikkate alındığı dört farklı gömülme durumuna bağlı olarak hesaplamışlardır. Dört farklı gömülme oranı ve dört farklı kayma dalgası hızı dikkate alıp kayma dalgası hızının 100 m/s'den büyük olduğu durumlarda transfer fonksiyonu genliğinin gömülme derinliğinden fazla

etkilenmediğini, 100 m/s'den küçük olduğu durumlarda ise oldukça etkilendiğini göstermişlerdir. Bhattacharya ve Dutta (2004), esnek temel kabulünün yapının genel rijitliğini azalttığını ve doğal periyotlarda artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Farklı zemin koşullarının, kat adedinin, kolonların eğilme rijitliğinin kirişlerinkine oranının ve yer hareketi frekansının bina davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Zemin esnekliği nedeniyle çeşitli yapı çerçevelerinin doğal periyotlarındaki ve burulma-yanal periyot oranındaki değişimini gösteren eğrilerin ve tabloların basit bir yöntem ile az katlı binaların taban kesmesinin hesaplanmasında kullanılabileceğini göstermişlerdir. Bhattacharya vd. (2004), yapı yanal rijitliğin sıkışma nedeni ile azaldığını ve azalmaya bağlı olarak da yapısal sistemin doğal periyotlarında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca radye temel üzerine oturan yapılar için burulma, periyot ve taban kesme kuvvetleri üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Dutta vd. (2004), destekleyici zeminin temelin hareketine müsaade etmesinin yapının genel rijitliğini azalttığını ve doğal periyotlarda artışa sebep olduğunu belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada sığ zemin üzerine oturan az katlı binaları ele almışlardır. Kesme etkisinin temel ve zemin rijitlik parametrelerine bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Doğangün ve Livaoğlu (2006), betonarme yapılar için farklı ülke yönetmeliklerinde sunulan tasarım spektrumlarını kullanarak ilgili binalar için periyot, yer değiştirme ve taban kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırmalı analizini sunmuşlardır. Livaoğlu ve Doğangün (2007), sıvı-ayaklı depo-temel-zemin sisteminin sismik davranışı üzerinde temel gömülme etkilerini incelemişlerdir. Altı farklı zemin türü dikkate alarak zemin-yapı etkileşim etkilerini ve sıvı salınım etkilerini sonlu elemanlar yöntemiyle değerlendirmişlerdir. Sıvı-yapı etkileşimini Lagrange yaklaşımı ile zemin etkileşimini viskoz sınırlar ile modellemişlerdir. Sonuç olarak çatı yer değiştirmelerinin yumuşak zemin koşullarında gömülmeden önemli oranda etkilendiğini ancak bu etkilenmenin sert zemin koşullarında daha küçük mertebelerde olduğunu belirtmişlerdir. Galal ve Naimi (2008), yakın fay depremlerini dikkate alarak farklı zemin koşullarında 20 katlı ve 6 katlı betonarme yapıların dinamik davranışını incelemişlerdir. Zemin-yapı etkileşim etkilerinin deprem kayıtlarının özelliklerine göre değiştiğini ve özellikle yumuşak ve orta sert zeminlerde bu değişimin daha belirgin olduğunu göstermişlerdir. Alasmoum (2009), eksantrik ve merkezi yüklü tekil temellerde bağ kirişlerinin davranışını incelemiştir. Bağ kirişlerin rijitliğinin artırılmasının, temas basıncını ve yük iletim oranlarını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir. El Ganainy ve El Naggar (2009), beş, on ve on beş katlı çelik konstrüksiyon çerçeve olarak tasarlanan ve farklı sayıda bodrum katına sahip sığ temeller üzerinde inşa edilmiş yapıların sismik performansını

incelemişlerdir. Yumuşak zemin koşullarında deformasyonların belirgin bir şekilde arttığını ve bodrum kat sayısının artmasıyla birlikte zemin-yapı etkileşim etkilerinin azaldığını vurgulamışlardır. Tabatabaiefar ve Massumi (2010), moment dayanımlı bina çerçevelerinin sismik davranışını sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Üç farklı zemin ve dört farklı yapı tipi dikkate almışlardır. Kayma hızı $375 < V_s < 750$ m/s olduğunda etkileşimin ihmal edilebileceğini, $175 < V_s < 375$ m/s durumunda yedi kattan yüksek yapılar için etkileşimin göz önüne alınması gerektiğini ve $V_s < 175$ m/s için üç kattan yüksek yapılarda etkileşimin tepki değişimine neden olabileceğini vurgulamışlardır. Makhmalbaf vd. (2011), zemin ve yapı arasındaki rijitlik oranı, yapı yüksekliği ve temel gömülme derinliği gibi parametrelerin yapı dinamik davranışına etkilerini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Zemin rijitliği arttıkça etkileşimin azaldığını ve ankastre temel varsayımının geçerli olduğunu ve ayrıca düşük frekanslı deprem yüklemelerinde yer değiştirmelerin arttığını gözlemlemişlerdir. Temel gömülme derinliğinin genellikle yer değiştirmeleri azaltıcı bir etkiye sahip olabileceğini ancak yüksek frekanslı yüklemelerde farklı sonuçlar elde edilebileceğini vurgulamışlardır. Turan vd. (2013), bodrumlu binalarda zemin-yapı etkileşim etkilerini ve sismik tasarımda etkileşim etkilerini hesaba katmada iki analitik modelin etkinliğini değerlendirmişlerdir. Artan gömülme oranıyla birlikte, zemin-yapı sisteminin efektif periyodunun yapının kine oranının, uzun periyotlu yapı için azaldığını fakat kısa periyotlu yapı için ise arttığını göstermişlerdir. Tabatabaiefar ve Fatahi (2014), orta yükseklikli moment dayanımlı yapılar üzerinde etkileşim etkilerini incelemişlerdir. Üç farklı zemin koşulu (C_e , D_e , E_e) için çözümler yaparak D_e ve E_e koşullarında etkileşimin ihmal edilemez olduğunu vurgulamışlardır. Farouk ve Farouk (2014), temelleri birbirine bağlayan bağ kirişi rijitliğinin temas gerilmeleri üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemişlerdir. Bağ kirişi rijitliğinin ortalama temas gerilmesi ve farklı oturmalar üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermişlerdir. Bağ kiriş rijitliğinin artmasıyla içteki temel için temas gerilmesinin azaldığını fakat dıştaki temel için temas gerilmesinin arttığını belirtmişlerdir. Bu etkilerin farklı oturmayı azaltma eğiliminde olduğunu ve bağ kirişlerinin temellere etkileyen kuvveti yeniden dağıttığını vurgulamışlardır. Torabi ve Rayhani (2014), sonlu elemanlar yöntemiyle yumuşak zemin ortamda etkileşim problemini analiz etmişlerdir. Tek serbestlik dereceli yapı ve elasto-plastik zemin modeli kullanmışlardır. Rijit uzun (narin) yapıların; doğal frekansın değişmesi, temelin dönmesi ve aşırı taban kesme talebi bağlamında SSI etkilerine karşı oldukça hassas olduğunu gözlemlemişlerdir. El Sideek (2014), tekil temellerin oturmasını etkileyen bağ kirişi uzunluğu, genişliği ve

temas gerilmesinin etkilerini incelemiştir. Analizlerde 1, 1.5 ve 2 m genişliklerde kare beton temeller dikkate alınmıştır. Bağ kiriş uzunluğunun artmasıyla oturmaların arttığını ve bağ kiriş genişliğinin artmasıyla oturmaların azaldığını göstermiştir. H. Farouk ve M. Farouk (2015), temel tasarımında üst yapı rijitliğinin etkisini ve temelleri birleştiren bağ kirişlerin rolünü incelemiştir. Zemin, temeller ve üst yapı arasındaki etkileşimlerin önemli olduğunu ve bu etkileşimlerin genellikle göz ardı edildiğini belirtmişlerdir. Üst yapı rijitliğinin, kolon yüklerinin yeniden dağılımını etkileyerek farklı oturmaların önlenmesine yardımcı olduğunu, bu durumun temel tasarımında dikkate alınması gerektiğini ve bağ kirişlerinin temel üzerindeki temas gerilmelerini şekillendirdiğini ifade etmişlerdir. Ghandil ve Behnamfar (2015), yumuşak zeminler üzerindeki yapılar için zemin-yapı etkileşim problemini doğrudan yöntem ile ele almışlardır. 3 zemin türü, 6 yapı modeli ve 30 deprem kaydı dikkate alarak modifiye edilmiş eşdeğer doğrusal bir yöntem önermişlerdir. Nashaat (2016), kohezyonsuz zeminlerin oturması üzerinde temel derinliğinin ve bağ kiriş uzunluğunun etkilerini incelemiştir. Plaka yükleme deneyi ve PLAXIS programı sonuçlarına dayalı değerlendirmelerde bulunmuştur. Oturmaların bağ kiriş uzunluğuna duyarlı olduğunu, bağ kiriş uzunluğu azaldıkça kare temellerin altındaki oturmaların azaldığını, kısa bağ kirişleriyle bağlı temellerin birleşik temel gibi çalıştığını, temel boyutunun artmasıyla bağ kirişleriyle bağlı kare temellerin altındaki oturmaların azaldığını, temel derinliğinin artmasıyla bağ kirişleriyle bağlı kare temellerin altındaki oturmaların azaldığını ve içsel sürtünme açısının artmasıyla bağ kirişleriyle bağlı kare temellerin altındaki oturmaların azaldığını belirtmiştir. Nguyen vd. (2016), sığ temel sistemlerine sahip orta yükseklikli moment dirençli bir binanın sismik davranışını incelemiştir. Farklı boyutlu sığ temeller üzerine inşa edilen 15 katlı yapının davranışını ABAQUS programıyla etüt etmişler ve temel boyutlarının azalmasına bağlı olarak taban kesme kuvvetlerinin önemli ölçüde düştüğünü gözlemlemişlerdir. Lu vd. (2016), zemin-yapı etkileşim etkilerini dikkate alarak çok katlı binaların sismik performansını araştırmak için kapsamlı bir parametrik çalışma gerçekleştirmişlerdir. 40000'den fazla tek serbestlikli (SDOF) ve çok serbestlikli (MDOF) model tasarlamışlar ve farklı frekans içeriğine sahip depremler ile hedeflenen süneklik talepleri baz alınarak çeşitli bina sistemlerini temsil etmişlerdir. Etkileşimin binaların dayanım ve süneklik taleplerini önemli ölçüde azaltabileceğini belirtmişlerdir. El-Samny vd. (2017), PLAXIS 3D yazılımını kullanarak bağ kirişleriyle bağlanmış farklı boyutlardaki iki tekil temelin yatay ve düşey yer değiştirme davranışlarını incelemiştir. Yatay ve düşey yer değiştirmelerin bağ kirişinin boyunun artmasıyla arttığını, yüksekliğinin artmasıyla ise azaldığını belirtmişlerdir. Ghandil ve Behnamfar (2017), lineer davranış

göstermeyen zeminler üzerine oturan çerçeve yapıli sistemler için zemin-yapı etkileşim etkilerini araştırmışlar ve kesme kuvvetleri, görelili kat ötelemeleri ve süneklik talepleri üzerine değeriendirmelerde bulunmuşlardır. Etkileşim nedeniyle alt katlarda görelili kat ötelemelerinin ve süneklik taleplerinin arttığını belirtmişlerdir. Li vd. (2017), sarsma tablası deney sonuçlarına dayanarak ANSYS programı vasıtasıyla üç boyutlu modeller oluşturmuşlar ve zemin-yapı etkileşim problemini araştırmışlardır. Temel ile zemin arasındaki doğrusal olmayan ara yüzey davranışını temas elemanları kullanarak dikkate almışlardır. Artan sismik yüklemeler ile temas basıncının, şekil değıştirme genliğinin ve kazık kaymasının arttığını, buna karşın maksimum ivme büyütme katsayısının azaldığını göstermişlerdir. Basha ve Salama (2017), farklı oturma etkisi altında tekil temel bağ kirişlerinin davranışını üç boyutlu modeller vasıtasıyla incelemişlerdir. Bağ kirişinin taşıdığı eğilme momentlerinin temel genişliğinin artmasıyla arttığını belirtmişlerdir. Kabtamu vd. (2018), yumuşak zemin üzerine inşa edilen çok katlı betonarme çerçevelerin sismik davranışı üzerinde zemin-yapı etkileşim etkilerini değeriendirmişler ve sonuçları sabit temel yaklaşımından elde edilenlerle karşılaştırmışlardır. 7 ve 12 katlı iki model analiz etmişlerdir. Esnek taban modellerinin çözümünden daha büyük temel periyot ve kat ötelemeleri hesapladıklarını, fakat sabit tabana nazaran daha küçük taban kesme kuvvetleri meydana geldiğini belirtmişlerdir. Nashaat (2018), eksantrik yüklü tekil temelleri birbirine bağlayan bağ kirişi boyutlarının oturma, yatay yer değıştirme, eğilme momenti ve kesme kuvveti üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Bağ kirişi kalınlığının ve genişliğinin artmasıyla oturmaların, her iki yöndeki yatay yer değıştirmelerin ve temas basıncının azaldığını belirtmişlerdir. Benzer şekilde eksen boyunca eğilme momenti ve kesme kuvveti değeriğerlerinin bağ kirişi boyutlarının artmasıyla azaldığını vurgulamıştır. Vicencio ve Alexander (2019), simetrik plana sahip olmayan binalarda dinamik yapı-zemin-yapı etkileşim problemini araştırmışlardır. Söz konusu etkileşimin yer değıştirme ve ivme büyüklüklerini önemli oranlarda değıştirebileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca daha kısa bir binanın yanında bulunan burulma düzensizliğine sahip daha yüksek bir binanın bazı parametrik durumlarda söz konusu etkileşimden olumsuz etkilenebileceğini ifade etmişlerdir. Göktepe vd. (2019), orta yükseklikli yapıların sismik davranışını sayısal ve deneysel olarak araştırmışlardır. Yerel zemin koşullarının, ankastre tabanlı yapıya nazaran tepkileri artırdığını ve deprem frekans içeriğinin tepkiler üzerinde önemli bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir. Pane vd. (2020), eksantrik yükleme koşulları altında tekil temeller ile bağ kirişleri arasındaki etkileşim mekanizmasını araştırmışlardır. Yapılan önceki çalışmalarda, bu tür kirişlerin genellikle temel

seviyesindeki yatay görelî yer değiştirmelerden kaynaklanan eksenel kuvvetleri absorbe etmesine odaklanıldığını, ancak zemine aktarılan eğilme momentlerini dağıtma ve azaltma kabiliyetlerinin genellikle ihmal edildiğini belirtmişlerdir. Buna istinaden bağ kirişlerinin normalde yalnızca temellere atfedilen eğilme momentlerinin bir kısmını absorbe etme kabiliyetinin dikkate alınmasıyla temel boyutu ve maliyet açısından önemli bir avantaj elde edilebileceğini göstermişlerdir. Çakır ve Öztürk (2020), ters T tipi konsol dayanma yapısının sismik tepkileri üzerinde zemin-yapı etkileşim etkilerini değerlendirmişler, yer değiştirme ve gerilme tepkilerinin etkileşim nedeniyle önemli mertebelerde değişebileceğini göstermişlerdir. Sharma vd. (2020), sismik zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak kazıklı temel üzerine oturan betonarme çerçeve sistemlerin doğal periyodunun belirlenmesi amacıyla bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yaklaşımı literatürdeki benzer yöntemlerle karşılaştırarak uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Karakostas vd. (2022), zemin esnekliğinin katlar arası ötelenme talebini büyük ölçüde etkileyebileceğini ve özellikle düzensiz geometriye sahip yapılar için kapsamlı sayısal modellerin kullanılması gerektiğini bildirmiştir. Zhang ve Far (2022), farklı deprem etkileri altında çok katlı yapılar üzerinde zemin-yapı etkileşim problemini ABAQUS programı ile incelemişler ve maksimum yanal deplasmanları, temel dönmelerini, görelî kat ötelemelerini ve kat kesme kuvvetlerini karşılaştırmışlardır. Etkileşimin yanal deplasmanlarda ve ötelenmelerde artışa, kat kesme kuvvetlerinde ise azalmaya neden olabileceğini belirtmişlerdir. Kamal vd. (2022), yumuşak zemin üzerine inşa edilmiş orta yükseklikli binalarda zemin-yapı etkileşimi ve ankastre taban varsayımlarının sismik davranış üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Üç boyutlu yüksek süneklikli 5, 8, 10, 13 ve 15 katlı binaları doğrusal olmayan çerçeve elemanlar olarak modellemişlerdir. 21 farklı deprem kaydı kullanılarak yapılan 1365 analiz sonucunda, binaların yatay yer değiştirme taleplerini ve yer değiştirme profillerini değerlendirmişler ve yumuşak zeminler üzerindeki yapıların tepkisinin sabit taban durumundan farklı olduğunu ve yumuşak zeminde bulunan komşu yapıların birbirlerini etkileyebileceğini ifade etmişlerdir. El Hoseny vd. (2023), farklı gömölme derinliklerine sahip yüksek katlı binaların sismik tepkisi üzerinde zemin yapı etkileşiminin rolünü deneysel ve sayısal yöntemlerle araştırmışlardır. 15 katlı bir çelik yapının ölçekli model testlerini sarsma tablası deneyleri ve sayısal simölasyonlarla gerçekleştirmişlerdir. Yanal deplasmanlarda artışa neden olduğundan etkileşimin dikkate alınması gerektiğini ve gömölme derinliğinin sismik tepkileri önemli mertebelerde etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Parlak (2023), 15 katlı bir yapının sismik davranışı üzerinde zemin kat yüksekliğinin, zemin etkileşiminin ve yer hareketi değişiminin etkilerini incelemiş ve

görelî kat ötelemelerinin, yer değiştirmelerin, ivmelerin ve gerilmelerin bu parametrelere bağlı olarak değişebileceğini belirtmiştir. Öztürk (2023), zemin-yapı etkileşimine maruz kutu menfezlerin sismik davranışını doğrudan yöntem ve alt sistem yaklaşımı ile inceleyerek frekans içeriği, duvar kalınlığı, zemin-yapı etkileşimi ve ara yüzey davranışı gibi parametrelerin dinamik davranış üzerinde oldukça etkili olduğunu ifade etmiştir. Hassan vd. (2023), zemin etkileşimini dikkate alarak tekil temelleri birbirine bağlayan bağ kirişlerinin davranışını PLAXIS 3D ve MIDAS GEN programları ile incelemişler ve elde edilen oturma değerleri karşılaştırmışlardır. Farklı oturmaların bağ kirişlerinin varlığından ve yapı rijitliğinden etkilendiğini belirtmişlerdir. Araz vd. (2023), 16 katlı bir yapıda ayarlı kütle sönümleyiciler kullanılarak sismik kaynaklı titreşimlerin bastırılmasında temel gömölme oranının ve zemin özelliklerindeki değişimin etkilerini araştırmışlardır. Ayarlı kütle sönümleyicilerin optimum parametrelerini beş farklı optimizasyon algoritması ile değerlendirmişlerdir. Optimum ayarlı kütle sönümleyicinin etkinliğini 20 adet darbe etkili yakın fay deprem hareketi kullanarak doğrulamışlar ve zemin özellikleri ile gömölme derecesinin optimizasyon üzerinde oldukça etkili olduğunu belirtmişlerdir. Nguyen vd. (2024), bodrum duvarlarına etkiyen dinamik zemin basıncı üzerinde zemin-bina etkileşiminin etkilerini araştırmışlardır. Bina yüksekliğini, genişliğini, bodrum derinliğini ve girdi hareketini değiştirerek binaların ve deprem karakteristiklerinin bodrum duvarlarına etkiyen dinamik toprak basıncı üzerindeki etkisini değerlendirmek maksadıyla sayısal bir yöntem kullanarak parametrik çalışmalar gerçekleştirmişler ve binanın ataletinin dinamik itkiyi artırdığını belirtmişlerdir. Gazioglu (2024), yatay doğrultularda binanın her bir yüzünden itibaren dört farklı temel ortam genişliği ve temel altından itibaren dört farklı zemin kalınlığı dikkate alarak 10 katlı bir binanın sismik davranışını incelemiş ve binada meydana gelen gerilme, ivme ve yer değiştirme tepkilerinin deprem frekans içeriğine, zemin kalınlığına ve zemin etkileşimine bağlı olarak değişebileceğini fakat zemin ortam genişliği değişiminin adı geçen tepkiler üzerinde mühendislik açasından kayda değer bir etkisinin olmadığını vurgulamıştır. Araz vd. (2024), altı farklı temel zemin koşulu ve on farklı deprem kaydı dikkate alarak 40 katlı bir yapının ivme tepkileri üzerinde zemin-yapı etkileşiminin etkilerini araştırmışlar ve etkileşimin ivme tepkisi üzerinde kritik bir öneme sahip olduğunu belirtmişlerdir. Sivrikaya vd. (2025), 2023 Kahramanmaraş depremleri esnasında yıkılan 400 adet betonarme binayı deprem yönetmelikleri ve zemin koşulları açasından değerlendirmişlerdir. Yönetmeliklerdeki yerel zemin koşulları arasındaki farkları ortaya koyarak deprem riski yüksek bölgelerdeki binaların hasar görebilirliği üzerinde zemin

koşullarının kritik rolünü vurgulamışlardır. Öztürk (2025), zemin-boru etkileşimini dikkate alarak boru hatlarının dinamik tepkileri üzerinde ana şok-artçı şok dizilerinin etkisini sonlu elemanlar yöntemiyle incelemiştir. Zaman ortamında gerçekleştirilen dinamik çözümlemelerde dört farklı zemin sistemi ve dört farklı ana şok-artçı şok dizisi kullanmıştır. Zemin rijitliği azaldıkça gerilme ve yer değiştirmelerin arttığını ve daha düşük PGA/PGV oranına sahip ana şok yüklemelerinden elde edilen tepkilerin, genellikle artçı şok yüklemelerinden elde edilen tepkilerden daha büyük olduğunu belirtmiştir. Kaya vd. (2025), TBDY-2018'e göre tasarladıkları 4, 8 ve 12 katlı yapıların deprem davranışı üzerinde yapı en-boy oranının, zemin-yapı etkileşiminin ve frekans içeriğinin etkilerini sayısal ve analitik yöntemlerle araştırmışlardır. Üç farklı en-boy oranı, dört farklı temel zemini koşulu ve frekans içeriklerine göre sınıflandırılmış altı farklı deprem kaydı dikkate alarak yer değiştirme, ivme ve gerilme tepkilerini karşılaştırmışlar ve bu tepkilerin zemin-yapı etkileşimi ile yapı en-boy oranı ve frekans içeriği değişiminden önemli derecede etkilendiğini belirtmişlerdir. Kamal ve İnel (2025), komşu düşük ve orta katlı yapıların sismik boşluk mesafeleri ile yer hareketi parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. 3 ile 10 kat arasında değişen betonarme binalar arasında üç boyutlu toplam 28 farklı ikili bina modeli oluşturmuşlar ve 22 farklı yer hareketi kaydı kullanarak 616 adet doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz gerçekleştirmişlerdir. Housner Şiddeti ve Hız Spektrumu Şiddeti gibi hıza bağlı yer hareketi parametrelerinin komşu binaların sismik boşluk mesafelerinin tahmininde oldukça etkili olduğunu, komşu binaların spektral ivme değerlerinin güçlü korelasyon sergilediğini, ivme, frekans ve yer değiştirme ile ilgili parametrelerin orta veya düşük düzeyde korelasyon gösterdiğini ve özellikle performans dayalı deprem mühendisliğinde sıkça dikkate alınan parametrelerden biri olan en büyük yer ivmesinin (PGA) düşük korelasyon sergilediğini belirtmişlerdir.

1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Zemin özellikleri, yapının doğal frekansı ile depremin baskın frekansı arasındaki etkileşimi belirlerken, bu etkileşim bina performansı üzerinde kritik bir rol oynamaktadır. Özellikle yumuşak zeminlerde, deprem yükleri nedeniyle temel ve yapı arasındaki rijitlik değişimleri, titreşim genliklerini artırabilir. Bununla birlikte, farklı zemin sınıflarına sahip bölgelerde gerçekleştirilen analizler, deprem frekansının zemin-yapı etkileşimi üzerindeki etkisinin önemli bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır. TBDY-2018'de betonarme binalarda tekil temelleri her iki doğrultuda birbirlerine bağlayan bağ kirişlerinin düzenlenmesi önerilmektedir. Ayrıca adı geçen yönetmelikte

yerel zemin sınıfı ZA olan temel zeminlerinde bağ kirişlerinin yapılmayabileceği ifade edilmektedir. Bu bağlamda, tekil temel sistemine sahip yapıların tasarımında zemin tipinin ve frekans içeriğine bağlı dinamik yüklerin dikkate alınması yapı güvenliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum tekil temelli binaların sismik davranışının, farklı zemin tipleri ve deprem frekansları göz önüne alınarak detaylı bir şekilde incelenmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında üç boyutlu modelleme tekniğiyle zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak tekil temel sistemine sahip yapıların dinamik davranışı üzerinde farklı zemin özellikleri ve deprem frekans içeriği etkisi üzerine sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Buradan hareketle, bu çalışmanın başlıca amaçları;

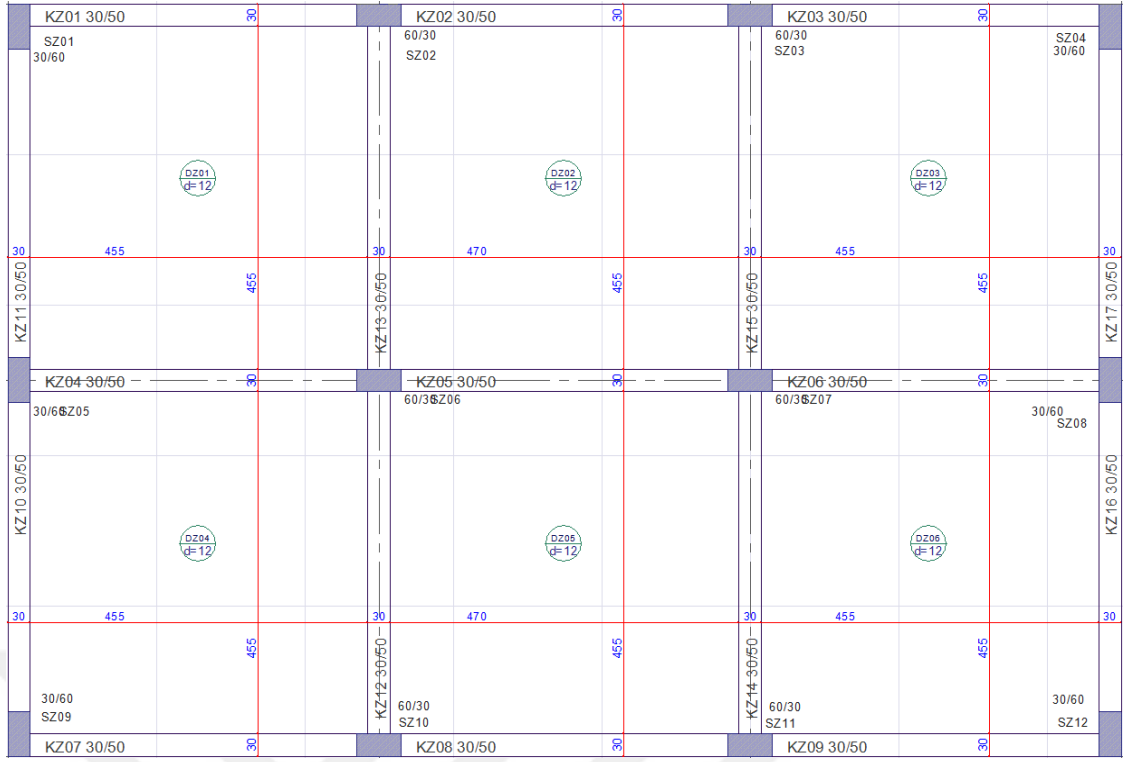
- a) İncelemeye konu olan betonarme çerçeve sistemli yapıların dinamik davranışının belirlenebilmesi amacıyla zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak üç boyutlu sayısal modeller önermek,
- b) Bağ kirişli ve bağ kirişsiz tekil temel sistemine sahip yapılar üzerinde parametrik analizler yaparak bu yapı sistemlerinin dinamik davranışlarını belirlemek,
- c) Tasarımcılara zemin yapı etkileşiminin ve bağ kirişinin, farklı temel zemini ve farklı yer hareketleri etkisi altında yapı davranışını nasıl değiştirebileceği hususunda bir bakış açısı sağlayabilmektir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEMELER

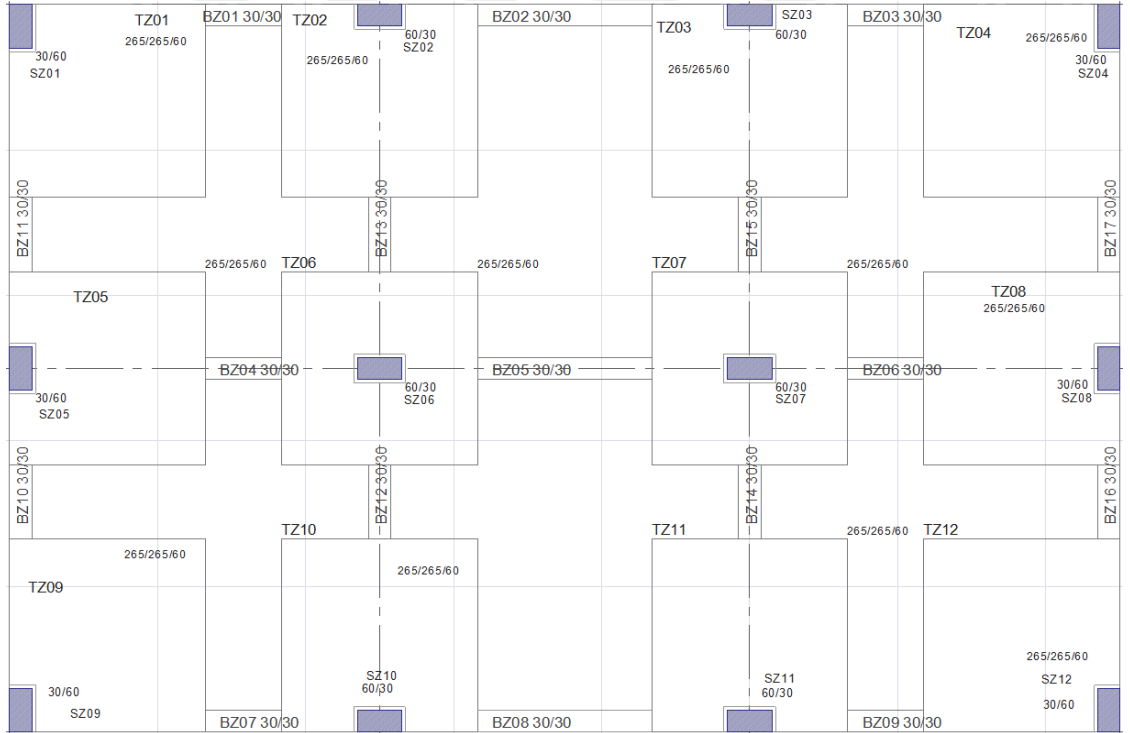
Bu çalışmada, zemin-yapı etkileşimi ve farklı frekans içeriğine sahip yer hareketleri dikkate alınarak tekil temel sistemine sahip 4 katlı bir yapının dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Tekil temel sistemi bağ kirişli ve bağ kirişsiz olarak modellenerek, zemin ve yer hareketinin yapı davranışı üzerindeki etkilerinin yanı sıra, bağ kirişinin sismik davranış üzerindeki etkinliği de irdelenmiştir. Modelleme ve çözümlemeler, sonlu elemanlar tabanlı ve genel amaçlı bir yapısal çözümleme yazılımı olan ANSYS 13 (2010) ile yapılmıştır. Malzeme davranışları tüm ortamlar için doğrusal elastik olarak dikkate alınmış ve zemin etkileşimi kütlesiz temel yaklaşımı ile modellenmiştir. Sismik çözümlemelerde sönüm, Rayleigh sönümü ile temsil edilmiş ve yapı ve zemin için sönüm oranı %5 olarak dikkate alınmıştır. Yapı sistemlerine ait kalıp planları Şekil 5 ve 6'da görülmektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlarını belirlemek için ideCAD statik programı kullanılmıştır. Yapı beton sınıfı C25 olup, yapı malzemesinin birim hacim ağırlığı 25 kN/m^3 , elastisite modülü 30000 MPa ve Poisson oranı 0.20 'dir.

2.1. İncelemeye Konu Olan Yapı

İncelenen yapı 4 katlı olup kat yüksekliği 2.8 m 'dir. Yapı planda $15 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ boyutlarında olup yapı temellerinin kalınlığı 0.6 m 'dir. Bağ kirişlerinin dikkate alındığı yapı sistemi Model 1, dikkate alınmadığı yapı sistemi ise Model 2 olarak adlandırılmıştır. Model 1 ve Model 2'nin kat planları ve tüm betonarme özellikleri aynıdır. İlk üç kat kirişleri için duvar yükü 0.25 t/m^2 olup 4. kat için duvar yükü girilmemiştir. Döşemeler için sabit ve hareketli yükler sırasıyla ilk üç kat için $G = 0.15 \text{ t/m}^2$ ve $Q = 0.2 \text{ t/m}^2$, 4. kat için $Q = 0.2 \text{ t/m}^2$ (kaplama yükü girilmemiştir) olarak alınmıştır. Bağ kirişlerinin boyutları $0.30 \text{ m} \times 0.30 \text{ m}$ 'dir.



Şekil 5. Kalıp planı



Şekil 6. Temel kalıp planı

2.2. Zemin Özellikleri ve Deprem Yer Hareketleri

Yapıda oluşacak tepkileri belirlemek amacıyla, analizlerde üç farklı deprem kaydı ve dört farklı temel zemin sistemi kullanılarak parametrik analizler yapılmıştır. Temel

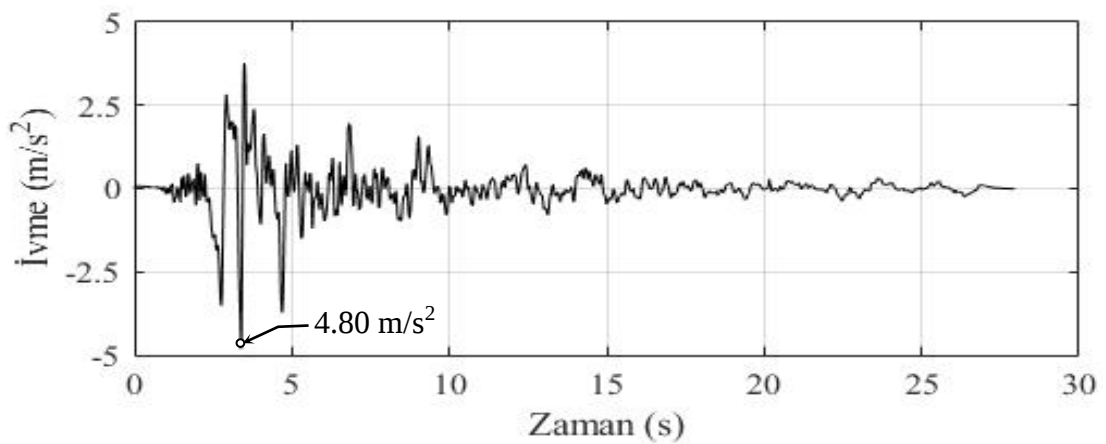
zemini sistemlerine ait özellikler Tablo 1’de verilmiştir. Analizlerde kullanılan deprem kayıtları (Tablo 2) frekans içeriği yönünden en büyük hız değeri (PGV) ve en büyük yer ivmesine (PGA) bağlı olarak düşük, orta ve yüksek şeklinde sınıflandırılmıştır. Deprem frekans içerikleri bu çalışma kapsamında sırasıyla; $0.8 > \text{PGA/PGV}$ için düşük (1992 Erzincan), $1.2 \geq \text{PGA/PGV} \geq 0.8$ için orta (2004 Parkfield) ve $\text{PGA/PGV} > 1.2$ için yüksek (1983 Coalinga) olarak tanımlanmıştır. Bu kayıtlara ait ivme-zaman grafikleri Erzincan depremi için Şekil 7’de, Parkfield depremi için Şekil 8’de ve Coalinga depremi için Şekil 9’da verilmiştir.

Tablo 1. Zeminlere ait özellikler

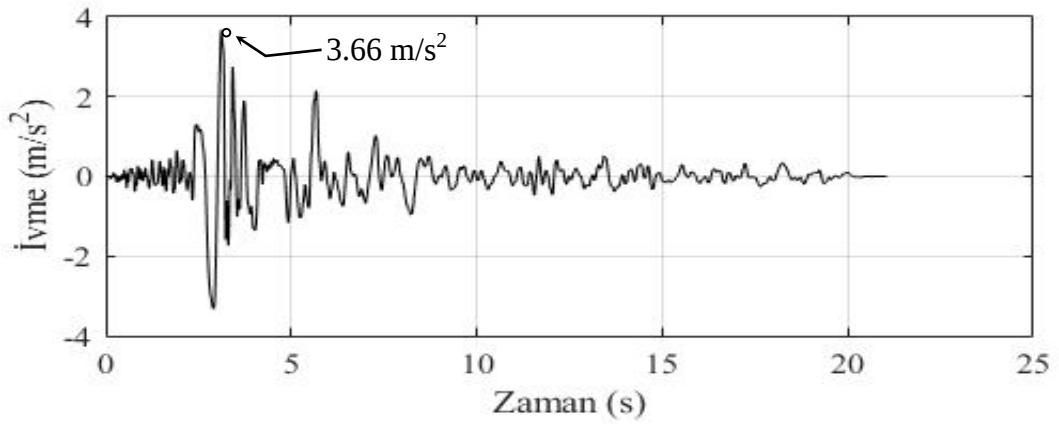
Zemin	E (kN/m ²)	G (kN/m ²)	ν	γ (kN/m ³)	V_s (m/s)	V_p (m/s)
S1	15872000	6400000	0.24	25	1600	2735.52
S2	3738880	1472000	0.27	23	800	1425.24
S3	873600	336000	0.30	21	400	748.33
S4	202160	76000	0.33	19	200	397.04

Tablo 2. Deprem yer hareketleri

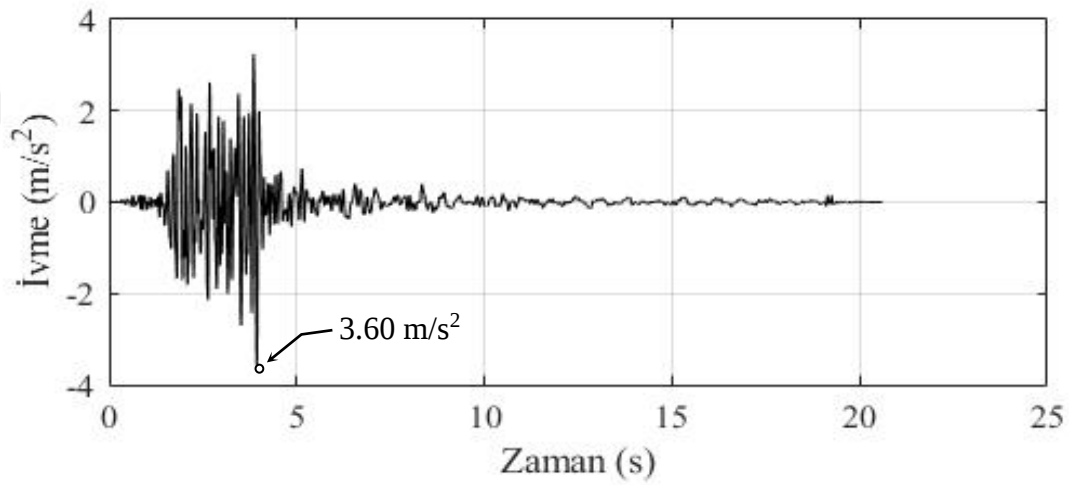
Deprem	İstasyon	Bileşen	PGA (g)	PGV (m/s)	PGA/PGV (g/m/s)
1992 Erzincan	2402	E-W	0.489	0.773	0.633
2004 Parkfield	Parfield-Cholame 2WA	C02360	0.373	0.448	0.833
1983 Colinga	Oil City	C-OLC360	0.367	0.099	3.707



Şekil 7. 1992 Erzincan depremine ait ivme kaydı



Şekil 8. 2004 Parkfield depremine ait ivme kaydı



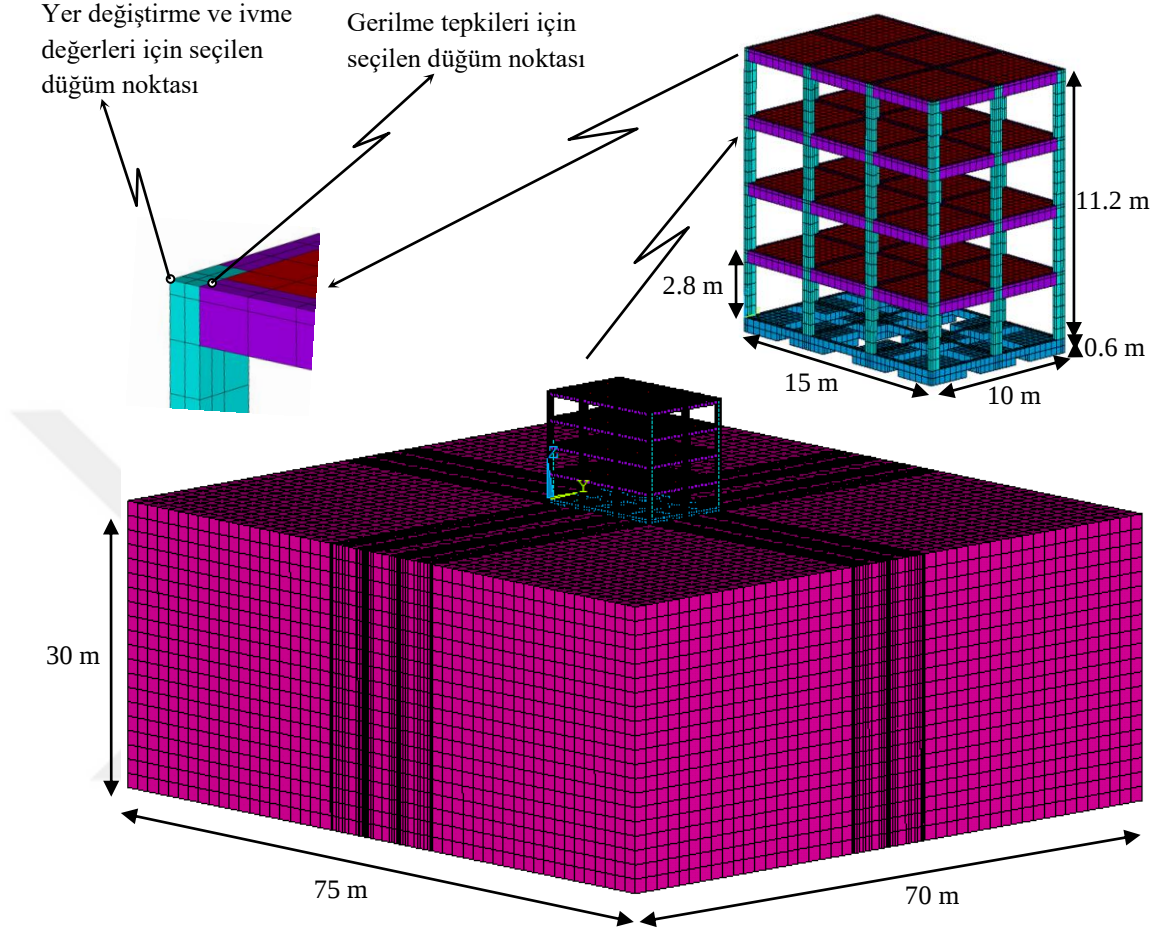
Şekil 9. 1983 Coalinga depremine ait ivme kaydı

2.3. Model 1'in Analizi

2.3.1. Model 1'e Ait Sayısal Model

Şekil 10'da ilgili sayısal modeller sunulmaktadır. Verilerin toplandığı düğüm noktaları da bu şekilde gösterilmektedir. Sayısal model oluşturulurken yapısal sistem SOLID65 ve zemin ortam SOLID45 elemanlarla modellenmiştir (Öztürk vd. 2022). Bu tür etkileşim problemlerinin çözümünde sınır şartlarının gerçeği yansıtan bir şekilde uygulanması ve sonuçlarda hataya yol açmayacak şekilde bir zemin hacminin dikkate alınması oldukça önemlidir. Çünkü modelleme yapılırken işin doğası gereği gerçekte sonsuz büyüklükte olan zemin hacmi, sınırlı bir hacimle temsil edilmeye çalışılmakta ve bu da enerjinin kapalı bir bölgede hapsedilmesi tehlikesini doğurmaktadır (Çakır, 2010; 2015; Çakır ve Livaoğlu, 2013). Her problem kendine özgü olmakla birlikte, bu tehlikenin bertaraf edilmesinin sağlanabilmesi amacıyla literatürde zemin boyutlarının belirlenmesine yönelik birçok referans çalışma mevcuttur. Bunların önemli bir kısmı

Kaya vd. (2025) çalışmasında ayrıntılı olarak sunulmaktadır. Bu çalışmada parametrik irdelemeler sonucunda Şekil 10’da görülen model boyutlarının uygun olduğuna karar verilmiştir.



Şekil 10. Model 1’e ait sayısal model

2.3.2. Model 1’in Sismik Analizi

Tablo 1’de belirtilen zeminlere ait özellikler ve Tablo 2’de verilen deprem kayıtları altında Model 1’in sismik çözümlemeleri yapılmıştır. Çözümlemelerden elde edilen rölatif (izafî, görelî) yer değiştirmeler, ivme ve gerilme tepkileri Tablo 3~11’de gösterilmiştir. Bu tablolar incelendiğinde, tepkilerin zemin sistemlerine ve yer hareketi karakteristiklerine bağlı olarak değiştiği açıkça görülmektedir. Ayrıca en büyük tepkilerin oluş zamanlarında da farklılıklar olduğu saptanmıştır.

2.3.2.1. Model 1 İçin Rölatif Yer Değiştirmelerin Değerlendirilmesi

Tablo 3-5’te farklı zemin sistemleri ve deprem yüklemeleri altında Model 1’in çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirmeler verilmektedir. Bu yer değiştirmeler

ilgili modelin köşe birleşim noktalarından x doğrultusunda (deprem doğrultusu) alınmış ve en büyük yer değiştirmelerin, beklendiği üzere 4. kat seviyesinde olduğu gözlenmiştir.

Tablo 3. Erzincan depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.68	-0.0658	3.69	-0.0707	3.69	-0.0721	3.70	-0.0759	3.73	-0.0877
3	3.68	-0.0575	3.69	-0.0620	3.69	-0.0632	3.70	-0.0663	3.72	-0.0753
2	3.68	-0.0411	3.69	-0.0449	3.69	-0.0459	3.70	-0.0482	3.72	-0.0546
1	3.68	-0.0180	3.69	-0.0209	3.69	-0.0216	3.69	-0.0231	3.71	-0.0269

t: Zaman (s), u: En büyük yatay yer değiştirme (m)

Tablo 4. Parkfield depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.23	-0.0815	3.23	-0.0866	3.23	-0.0879	3.24	-0.0917	3.26	-0.1008
3	3.23	-0.0696	3.23	-0.0742	3.23	-0.0753	3.24	-0.0784	3.25	-0.0854
2	3.22	-0.0482	3.23	-0.0520	3.23	-0.0530	3.24	-0.0551	3.25	-0.0602
1	3.22	-0.0206	3.22	-0.0233	3.23	-0.0240	3.23	-0.0255	3.25	-0.0285

Tablo 5. Coalinga depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.96	-0.0167	3.51	-0.0166	3.51	-0.0172	3.52	-0.0184	3.54	-0.0183
3	3.94	-0.0152	3.95	-0.0145	3.74	0.0142	3.51	-0.0150	3.52	-0.0143
2	3.93	-0.0118	3.94	-0.0114	3.72	0.0112	3.73	0.0111	3.74	-0.0092
1	3.93	-0.0051	3.72	0.0056	3.72	0.0057	3.72	0.0059	3.73	0.0052

Elde edilen veriler aşağıda her bir deprem değerlendirilmektedir.

Erzincan Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük yatay yer değiştirme (-0.0877 m) S4 zemin sisteminde ve en küçük yatay yer değiştirme (-0.0658 m) ankastre sistemde meydana gelmiştir. Ankastre ve S4 zemin sistemi arasındaki tepki artışı %33 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlarda en büyük yer değiştirmeler S4'te ve en düşük yer değiştirmeler ankastre sistemde gözlemlenmiştir.

Parkfield Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük yatay yer değiştirme (-0.1008 m) S4 zemin sisteminde ve en küçük yatay yer değiştirme (-0.0815 m) ankastre sistemde meydana gelmiştir. Ankastre ve S4 zemin sistemi arasındaki tepki artışı %24 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlarda en büyük yer değiştirmeler S4'te ve en düşük yer değiştirmeler ankastre sistemde gözlemlenmiştir.

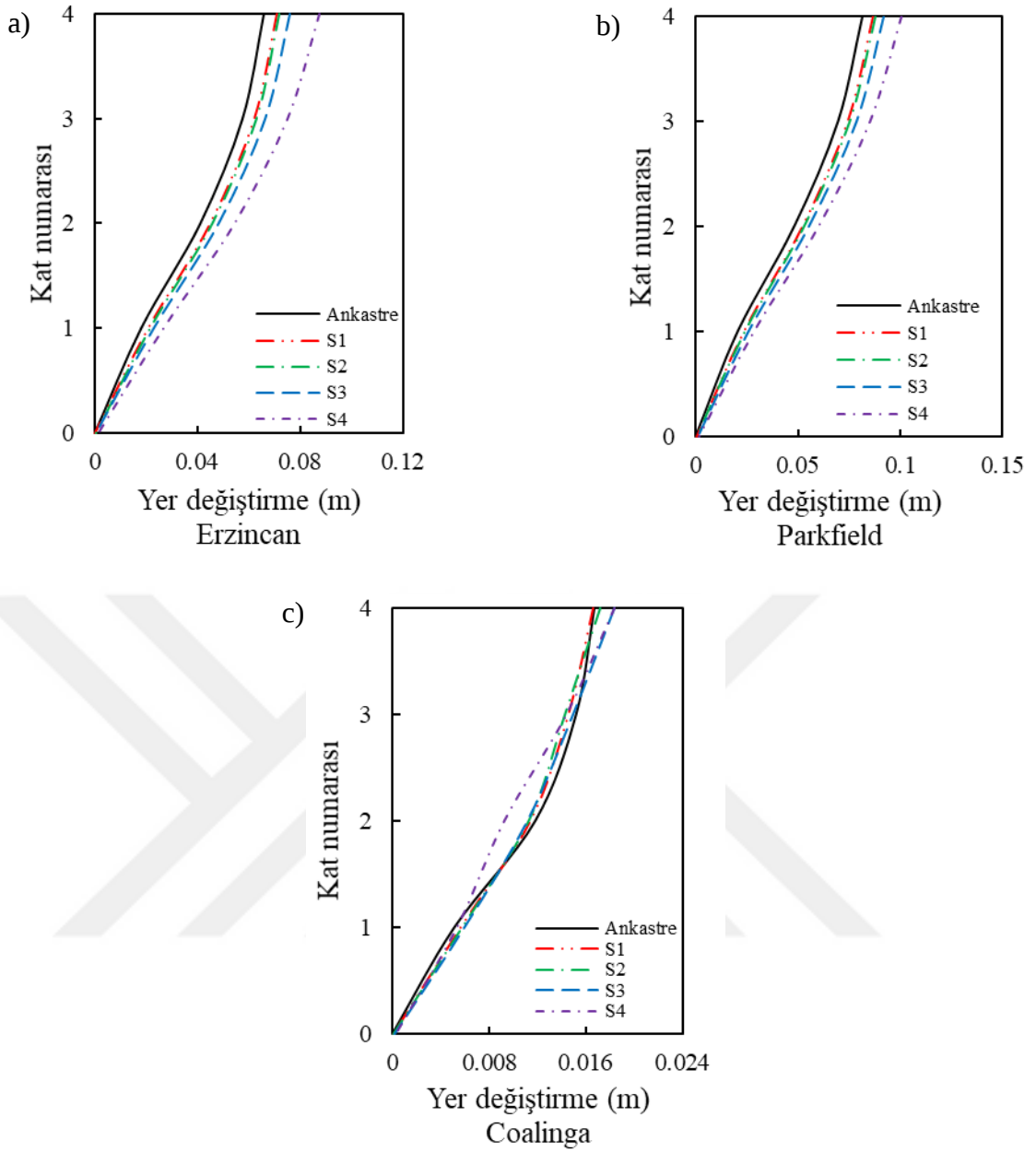
Coalinga Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük yatay yer değiştirme (-0.0184 m) S3 zemin sisteminde ve en küçük yatay yer değiştirme (-0.0166 m) S1 zemin sisteminde meydana gelmiştir. S1 ve S3 arasındaki tepki artışı %11 olarak hesaplanmıştır. 1. ve 4. katlarda en büyük yer değiştirmeler S3'te, 2. ve 3. katlarda ise ankastre sistemde meydana gelmiştir. En düşük yer değiştirmelerin ise 1. kat seviyesinde ankastre sistemde, 2. kat seviyesinde S4'te, 3. kat seviyesinde S2'de ve 4. kat seviyesinde S1'de olduğu gözlemlenmiştir.

Genel Karşılaştırma:

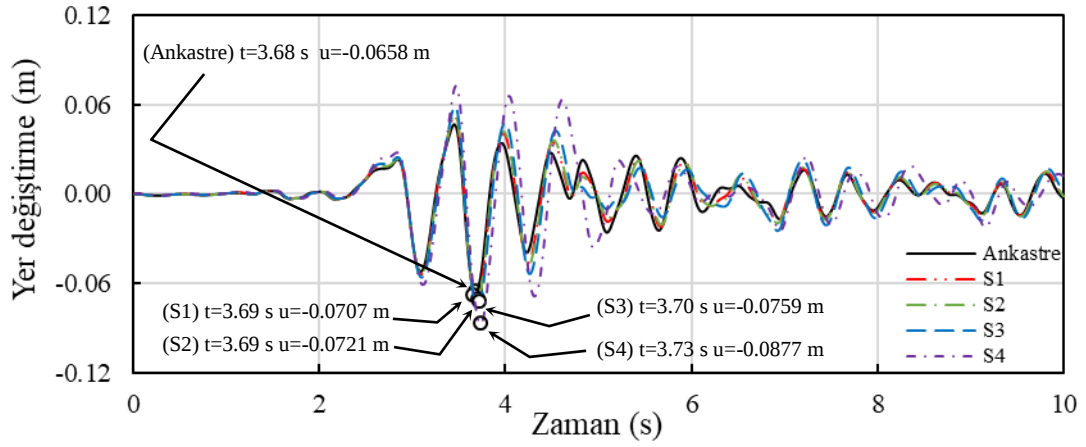
Tüm deprem senaryoları incelendiğinde, deprem frekans içeriği ile zemin özellikleri arasındaki etkileşime bağlı olarak farklı tepki değişimlerinin elde edilebileceği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde en düşük yer değiştirmeler ankastre sistemde gözlenirken, en büyük tepkiler S4'te gözlenmiştir. Coalinga depreminde ise en yüksek yer değiştirmeler sırasıyla 1. kat seviyesinde S3'te, 2 ve 3. kat seviyelerinde ankastre sistemde ve 4. kat seviyesinde S3'te gerçekleşmiştir. Bu bulgular, deprem frekans içeriğinin ve yapı mesnetlenme koşullarının birer tasarım kriteri olarak göz önüne alınması gerektiğine işaret etmektedir.

Şekil 11'de yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmektedir. Üç deprem senaryosu arasında, en büyük yer değiştirme (-0.1008 m) Parkfield depreminde S4 zemin sisteminde gözlemlenmiş ve bu durum yapının yer değiştirmeler açısından Parkfield deprem yüklemesinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Şekil 11 incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir. Yapı yüksekliği boyunca yer değiştirmeler artmakta ve en büyük yer değiştirmeler en üst kat seviyesinde meydana gelmektedir. Deprem frekans içeriğine bağlı olarak zemin rijitliğindeki azalmaların, yapıdaki yer değiştirmeleri artırabileceği gibi, kimi zaman davranış değişikliğine de yol açabileceği görülmektedir.

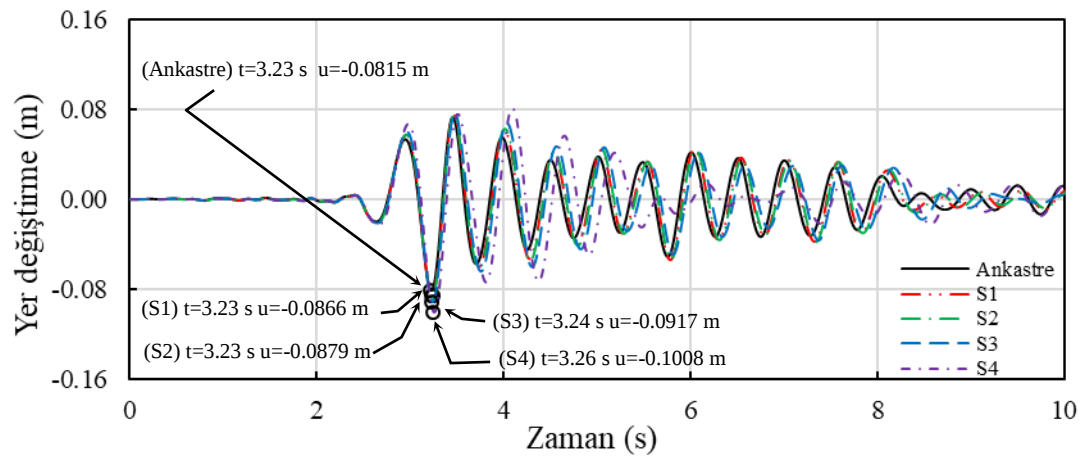


şekil 11. Model 1 için yer değiştirmelerin yseklikle değişimi

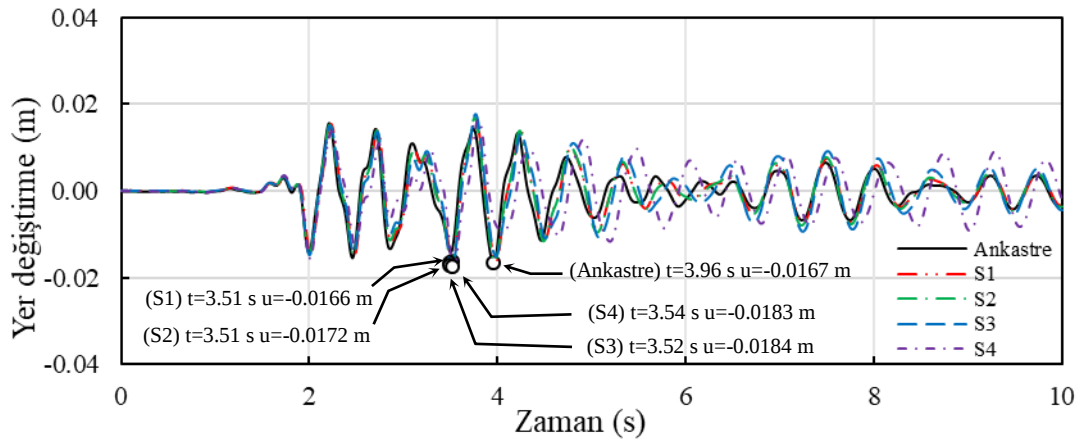
şekil 12~14'te en st kat seviyesinde elde edilen yer değiştirmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. şekil 12 incelendiğinde, S1'de en büyük yer değiştirme 0.0707 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S2'de %2 artışla 0.0721 m, S3'te %7 artışla 0.0759 m ve S4'te %24 artışla 0.0877 m olarak hesaplandığı görülmektedir. şekil 13 incelendiğinde, S1'de en büyük yer değiştirme 0.0866 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S2'de %1 artışla 0.0879 m, S3'te %6 artışla 0.0917 m ve S4'te %16 artışla 0.1008 m olarak elde edildiği görülmektedir. şekil 14 incelendiğinde, S1'de en büyük yer değiştirme 0.0166 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S2'de %4 artışla 0.0172 m, S3'te %11 artışla 0.0184 m ve S4'te %10 artışla 0.0183 m olarak hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 12. Model 1 için Erzincan depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi



Şekil 13. Model 1 için Parkfield depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi



Şekil 14. Model 1 için Coalinga depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi

2.3.2.2. Model 1 İçin Gerilmelerin Değerlendirilmesi

Tablo 6-8'de farklı zemin sistemleri ve deprem yüklemeleri altında Model 1'in çözümünden elde edilen gerilmeler verilmektedir. Bu gerilmeler ilgili modelin kolon iç orta birleşim noktalarından x doğrultusunda alınmış ve en büyük gerilmelerin genel

olarak 1. kat seviyelerinde (Coalinga depremi için S4 zemin sisteminde 2. kat seviyesinde) olduğu görülmüştür. Tablo ve grafiklerdeki negatif değerler basınç, pozitif olanlar ise çekme gerilmelerini temsil etmektedir.

Tablo 6. Erzincan depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.63	5.6896	3.64	5.6025	3.73	5.5762	3.74	5.8306	3.76	6.4968
3	3.64	10.3648	3.65	10.3246	3.72	10.4080	3.73	10.8417	3.75	12.0617
2	3.68	17.0767	3.69	17.5876	3.69	17.7030	3.70	17.9987	3.74	18.9887
1	3.68	20.8842	3.69	21.8525	3.69	22.0537	3.70	22.4443	3.72	23.2064

t: Zaman (s), S: En büyük gerilme (MPa)

Tablo 7. Parkfield depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.23	7.3369	3.24	7.5609	3.24	7.5986	3.25	7.7006	3.27	7.8175
3	3.23	13.6863	3.24	14.0929	3.24	14.1690	3.25	14.3676	3.27	14.5693
2	3.23	21.5846	3.24	22.1481	3.24	22.2728	3.24	22.5040	3.26	22.6467
1	3.22	24.4746	3.23	25.3884	3.23	25.5187	3.24	25.7381	3.25	25.6846

Tablo 8. Coalinga depremi için Model 1'in çözümünden elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
4	2.47	3.2758	2.74	-3.2583	2.74	-3.2740	2.74	-3.2445	3.80	-3.0756
3	2.47	4.9901	2.73	-4.8043	2.74	-4.7729	2.74	-4.7542	3.80	-4.7487
2	2.22	-4.6190	3.51	4.7979	3.52	4.9458	3.52	5.2426	3.54	5.0121
1	3.93	6.1783	3.94	5.7162	3.94	5.5360	3.73	-5.2571	3.51	4.0793

Elde edilen veriler aşağıda her bir deprem değerlendirilmektedir.

Erzincan Depremi:

1. kat seviyesinde en büyük gerilme (23.2064 MPa) S4 zemin sisteminde, en küçük gerilme (20.8842 MPa) ankastre sistemde meydana gelmiş ve tepki artışı %11 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlar için en büyük gerilmeler S4'te gerçekleşmiştir. En küçük gerilmeler ise 1 ve 2. kat seviyelerinde ankastre sistemde, 3 kat seviyesinde S1'de ve 4. kat seviyesinde S2'de gözlemlenmiştir.

Parkfield Depremi:

1. kat seviyesinde en büyük gerilme (25.7381 MPa) S3 zemin sisteminde, en küçük gerilme (24.4746 MPa) ankastre sistemde meydana gelmiş ve tepki artışı %5 olarak hesaplanmıştır. En küçük gerilmeler tüm katlarda ankastre sistemde meydana gelmiştir.

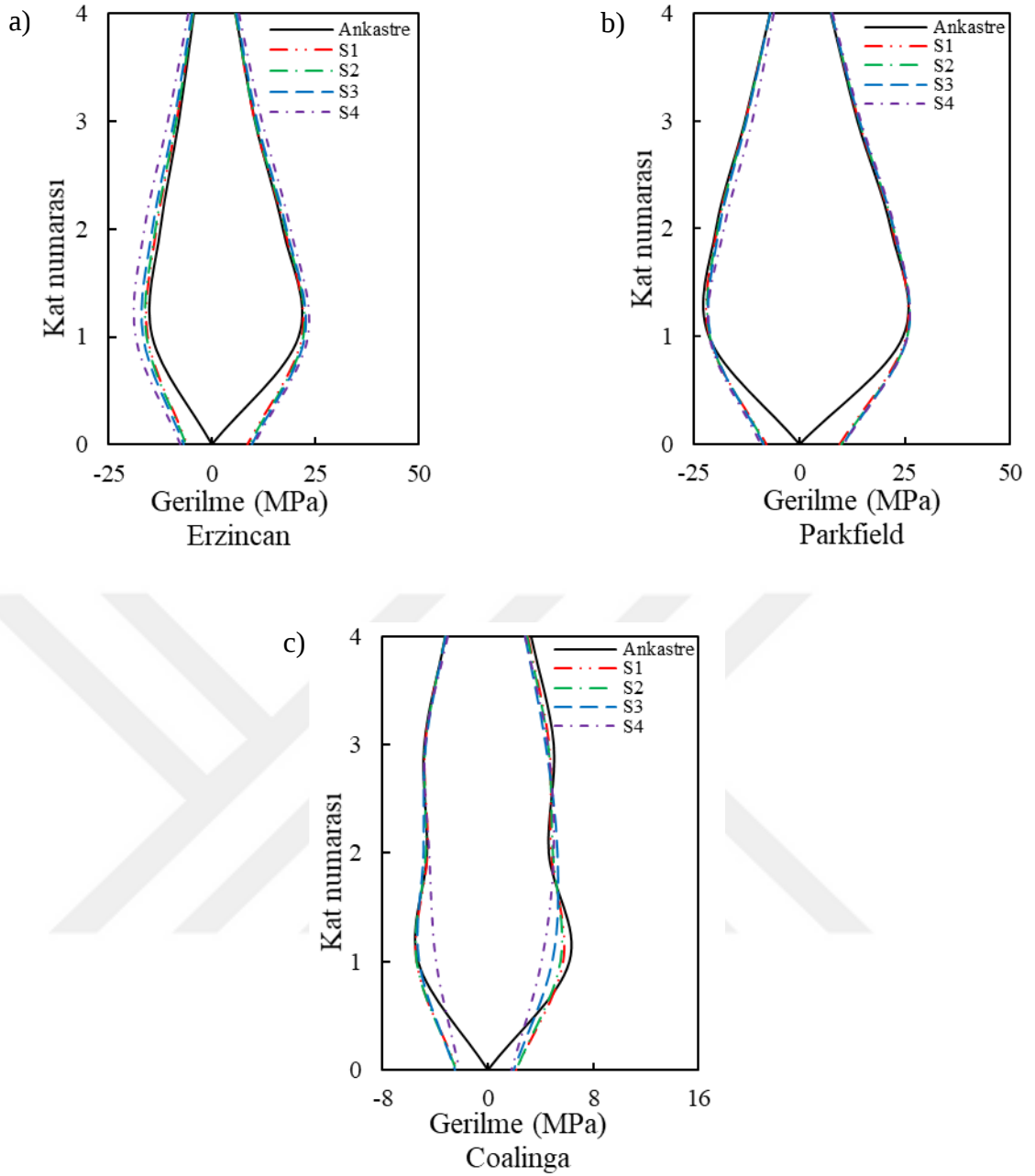
Coalinga Depremi:

1. kat seviyesinde en büyük gerilme (6.1783 MPa) ankastre sistemde, en küçük gerilme (4.0793 MPa) S4 zemin sisteminde meydana gelmiş ve ankastre koşullarda tepki artışı %51 olarak hesaplanmıştır. En küçük gerilmeler 1. kat seviyesinde S4'te, 2. kat seviyesinde ankastre sistemde ve 3 ve 4. kat seviyelerinde yine S4'te oluşmuştur.

Genel Karşılaştırma:

Tüm deprem senaryoları incelendiğinde, deprem frekans içeriği ile zemin özellikleri arasındaki etkileşim nedeniyle tepki yönelimlerinin farklılaşabileceği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde en düşük gerilmeler genel olarak ankastre sistemde gözlenirken, en büyük gerilmeler Erzincan depreminde S4, Parkfield depreminde ise S3 zemininde meydana gelmiştir. Coalinga depreminde ise en büyük gerilme ankastre sistemde, en düşük gerilme S4 zemininde gözlemlenmiştir. Burada zemin yumuşamasıyla iç kuvvetlerin tümüyle küçülme eğiliminde olmayabileceği ve zeminlerin gerilme, deformasyon ve dayanım özelliklerinin değişmesine sebep olan yer hareketi frekans içeriğine bağlı olarak iç kuvvetlerin zemin yumuşamasıyla büyüyebileceği de açıkça görülmektedir.

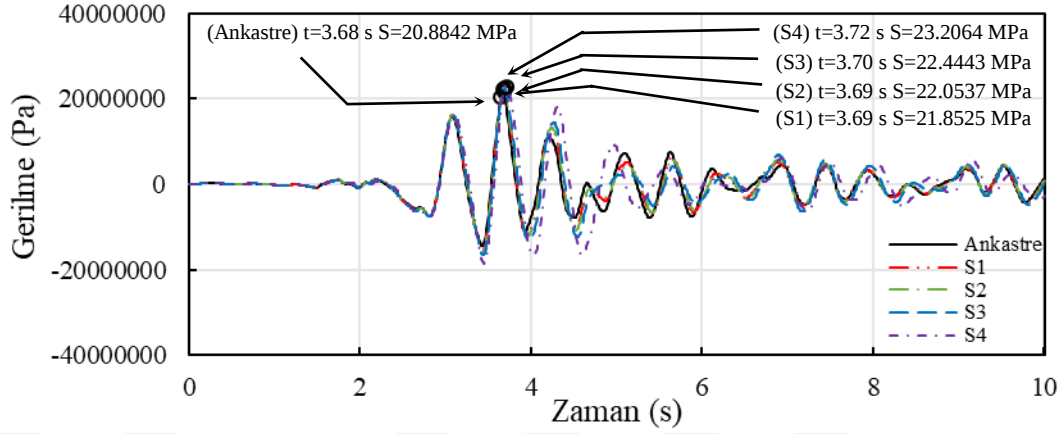
Şekil 15'te gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmektedir. Üç deprem senaryosu arasında, en büyük gerilme (25.7381 MPa) Parkfield depreminde S3 zemin sisteminde gözlemlenmiş ve bu durum yapının gerilmeler açısından Parkfield depreminden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Şekil 15 incelendiğinde, en büyük gerilmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir. Yapı yüksekliği boyunca gerilmelerin genel olarak azaldığı ve en büyük gerilmelerin 1. kat seviyelerinde olduğu gözlenmektedir.



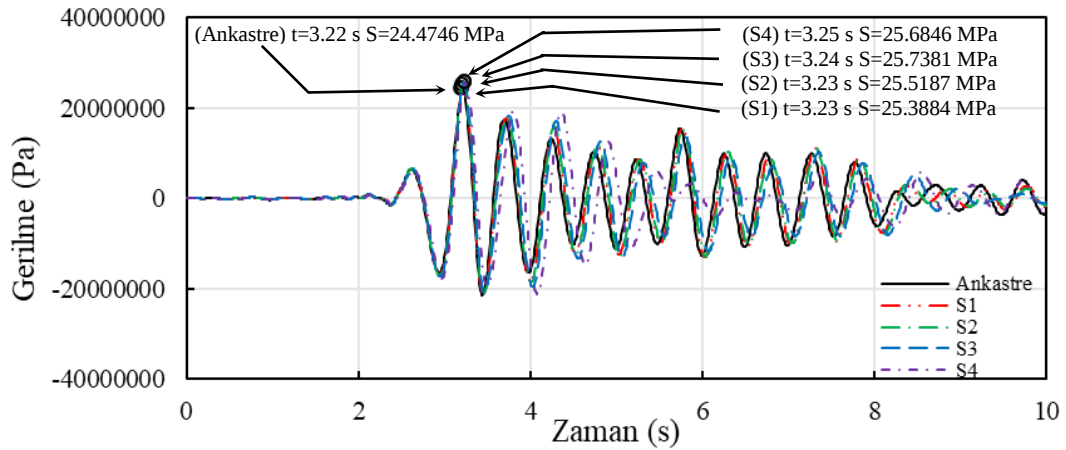
Şekil 15. Model 1 için gerilmelerin yükseklikle değişimi

Şekil 16~18'de gerilmelerin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 16 incelendiğinde, ankastre sistemde en büyük gerilme 20.8842 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1'de %5 artışla 21.8525 MPa, S2'de %6 artışla 22.0537 MPa, S3'te %7 artışla 22.4443 MPa ve S4'te %11 artışla 23.2064 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 17 incelendiğinde, ankastre sistemde en büyük gerilme 24.4746 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1'de %4 artışla 25.3884 MPa, S2'de %4 artışla 25.5187 MPa, S3'te %5 artışla 25.7381 MPa ve S4'te %5 artışla 25.6846 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 18 incelendiğinde, ankastre sistemde en büyük gerilme 6.1783 MPa iken, zemin

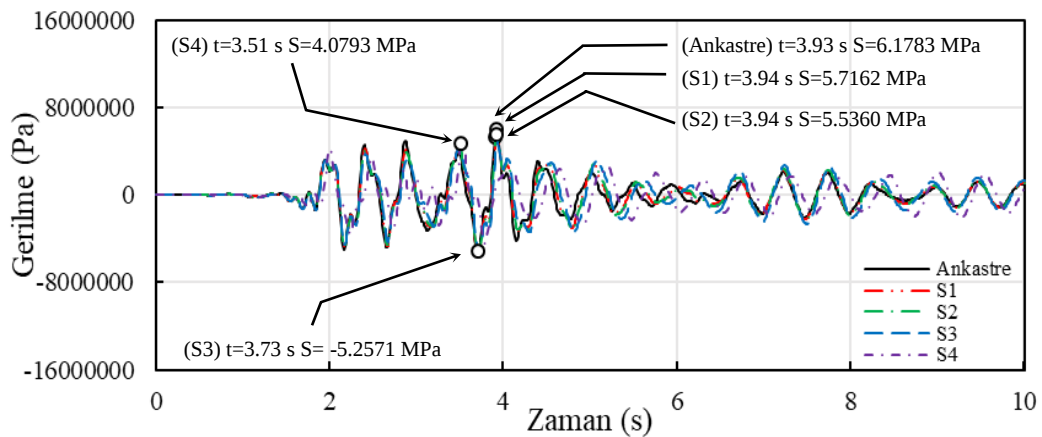
rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S1’de %7 azalışla 5.7162 MPa, S2’de %10 azalışla 5.5360 MPa, S3’te %15 azalışla 5.2571 MPa ve S4’te %34 azalışla 4.0793 MPa olarak elde edildiği görülmektedir.



Şekil 16. Model 1 için Erzincan depreminde gerilmelerin zamansal değişimi



Şekil 17. Model 1 için Parkfield depreminde gerilmelerin zamansal değişimi



Şekil 18. Model 1 için Coalinga depreminde gerilmelerin zamansal değişimi

2.3.2.3. Model 1 İçin İvmelerin Değerlendirilmesi

Tablo 9-11’de farklı zemin sistemleri ve deprem yüklemeleri altında Model 1’in çözümünden elde edilen ivmeler verilmektedir. Bu ivmeler ilgili modelin köşe birleşim noktalarından x doğrultusunda alınmış ve en büyük ivmelerin Erzincan ve Parkfield depremlerinde 4. kat seviyesinde, Coalinga depreminde ise 2. kat seviyesinde olduğu görülmüştür.

Tablo 9. Erzincan depremi için Model 1’in çözümünden elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.49	-10.8820	3.49	-11.4730	3.49	-11.6550	3.49	-12.2130	3.49	-13.9860
3	3.48	-9.5227	3.48	-10.1030	3.48	-10.2560	3.48	-10.6950	3.48	-11.9040
2	3.68	7.4293	3.69	7.6003	3.69	7.6602	3.69	7.7953	3.47	-8.2652
1	3.68	3.6822	3.69	4.0462	3.69	4.1235	3.69	4.3221	3.70	4.9194

t: Zaman (s), a: En büyük ivme (m/s²)

Tablo 10. Parkfield depremi için Model 1’in çözümünden elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.44	-14.3860	3.24	14.5400	3.24	14.6570	3.24	14.9250	3.25	15.0110
3	3.24	12.6110	3.24	12.9300	3.24	12.9970	3.24	13.1400	3.25	13.0800
2	3.23	9.5002	3.24	9.6341	3.24	9.6808	3.24	9.7889	3.24	9.9272
1	3.23	4.3630	3.23	4.6415	3.23	4.7020	3.23	4.8646	3.23	5.3658

Tablo 11. Coalinga depremi için Model 1’in çözümünden elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
4	2.74	-6.8480	2.74	-7.2018	2.74	-7.2111	2.74	-7.1082	2.75	-6.4855
3	3.94	7.3940	3.94	7.1648	3.94	7.0774	3.94	6.7555	3.94	5.6697
2	3.93	8.1623	3.94	8.0108	3.94	7.9934	3.94	7.8223	3.87	-6.9725
1	2.08	4.2552	2.67	-4.8760	2.67	-4.9988	2.67	-5.2567	3.73	-5.6093

Elde edilen veriler aşağıda her bir deprem değerlendirilmektedir.

Erzincan Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük ivme (13.9860 m/s²) S4 zemin sisteminde, en küçük ivme (10.8820 m/s²) ankastre sistemde meydana gelmiş ve zemin rijitliğindeki azalmayla tepki artışı %29 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlar için en büyük ivmeler S4’te, en küçük ivmeler ise ankastre sistemde meydana gelmiştir.

Parkfield Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük ivme (15.0110 m/s^2) S4 zemin sisteminde, en küçük ivme (14.3860 m/s^2) ankastre sistemde meydana gelmiş ve zemin rijitliğindeki azalmayla tepki artışı %4 olarak hesaplanmıştır. En küçük ivmeler tüm katlarda ankastre sistemde meydana gelmiştir.

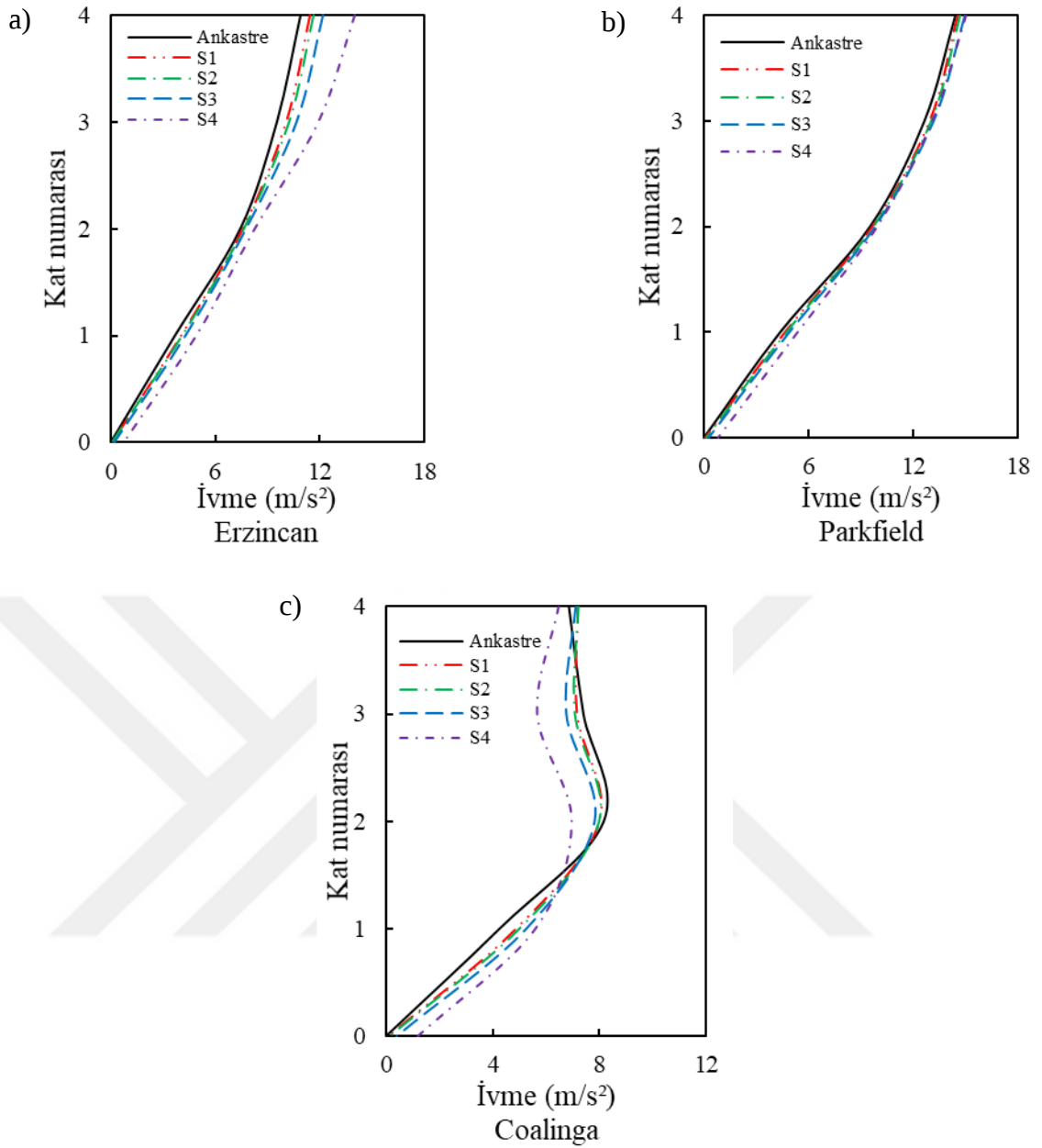
Coalinga Depremi:

2. kat seviyesinde en büyük ivme (8.1623 m/s^2) ankastre sistemde, en küçük ivme (6.9725 m/s^2) S4 zemin sisteminde meydana gelmiş ve zemin rijitliğindeki azalmayla tepkideki azalma %15 olarak hesaplanmıştır. En küçük ivmeler 1. kat seviyesinde ankastre sistemde, 2, 3 ve 4. kat seviyelerinde S4'te oluşmuştur.

Genel Karşılaştırma:

Tüm deprem senaryoları incelendiğinde, deprem frekans içeriği ile zemin özellikleri arasındaki etkileşim nedeniyle tepki yönelimlerinin farklılaşabileceği ve en büyük ivmelerin farklı katlarda ve zemin koşullarında meydana gelebileceği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde en düşük ivmeler ankastre sistemde gözlenirken, en büyük ivmeler genel olarak S4'te meydana gelmiştir. Coalinga depreminde ise etkileşime bağlı olarak durum farklılaşmakta, en büyük ivmeler 1. katta S4'te, 2. ve 3. katlarda ankastre sistemde ve 4. katta S2'de meydana gelirken; en küçük ivmeler 1. katta ankastre sistemde, 2, 3 ve 4. katlarda ise S4'te meydana gelmiştir.

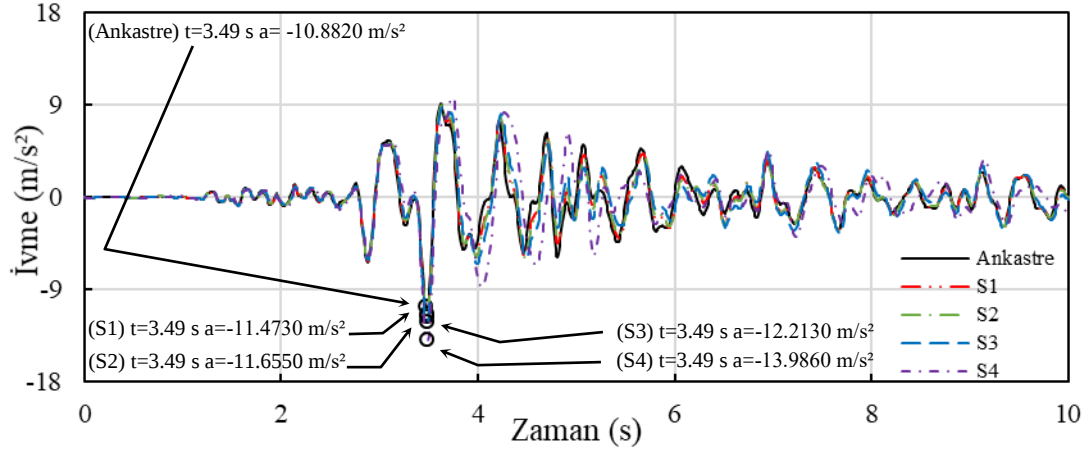
Şekil 19'da ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmektedir. Üç deprem senaryosu arasında, en büyük ivme (15.0110 m/s^2) Parkfield depreminde S4 zemin sisteminde gözlemlenmiş ve bu durum yapının ivmeler açısından Parkfield depreminden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Şekil 19 incelendiğinde, en büyük ivmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde, yapı yüksekliği boyunca ivme değerlerinin arttığı ve en büyük ivme değerlerinin en üst kat seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir. Coalinga depreminde ise tüm zemin koşullarında en büyük ivme değerleri 2. kat seviyesinde görülmüştür.



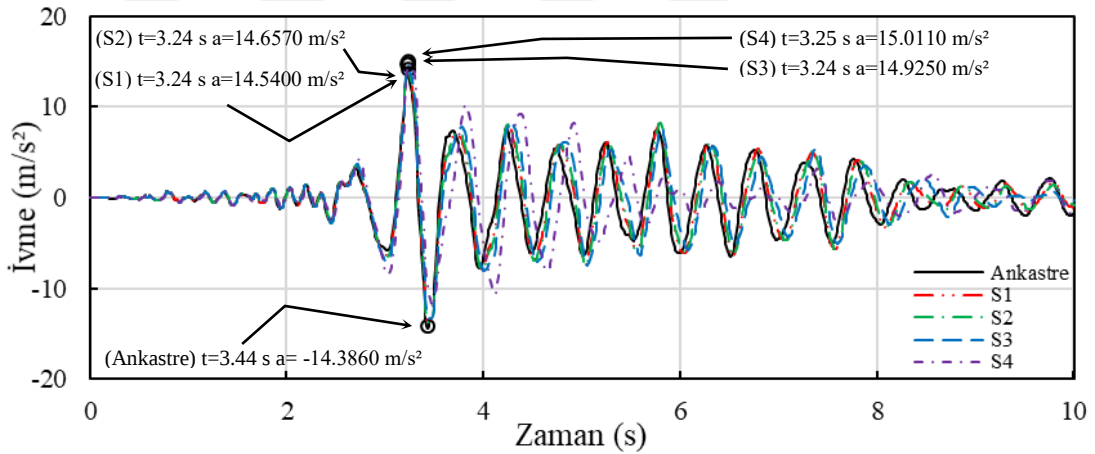
Şekil 19. Model 1 için ivmelerin yükseklikle değişimi

Şekil 20~22’de 4. kat köşe birleşim noktasındaki ivmelerin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 20 incelendiğinde, S1 için elde edilen en büyük ivme 11.4730 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S2’de %2 artışla 11.6550 m/s^2 , S3’te %6 artışla 12.2130 m/s^2 ve S4’te %22 artışla 13.9860 m/s^2 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 21 incelendiğinde, S1 için elde edilen en büyük ivme 14.5400 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S2’de %1 artışla 14.6570 m/s^2 , S3’te %3 artışla 14.9250 m/s^2 ve S4’te %3 artışla 15.0110 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 22 incelendiğinde, ankastre sistem için elde edilen en büyük ivme 6.8480 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S2’de %5 artışla 7.2111 m/s^2 , S4’te ise S2’ye nazaran %5 azalışla 6.4855 m/s^2

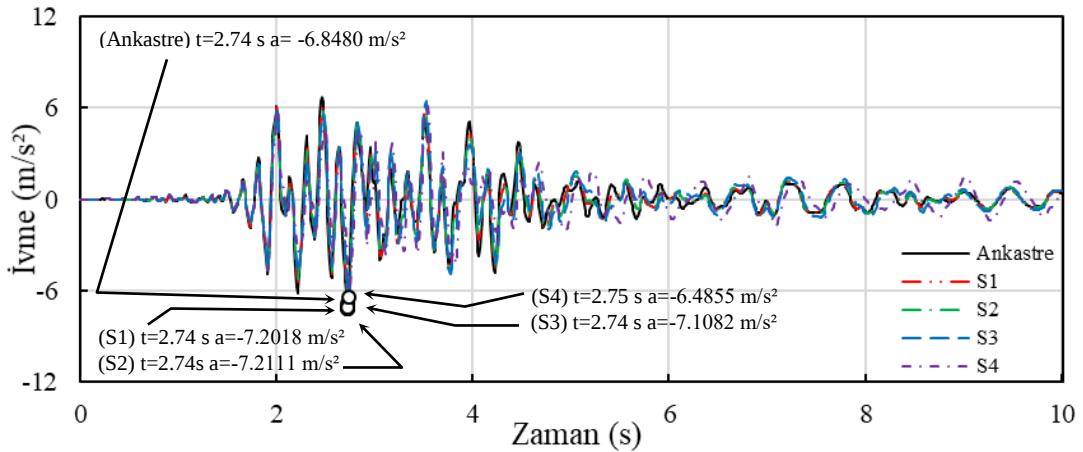
olarak elde edildiği görülmektedir. Tablo 11’den en büyük ivmelerin elde edildiği 2. kat seviyesi değerlendirildiğinde ise S4’te elde edilen ivme değerinde ankastre sisteme nazaran %15 azalma görülmektedir.



Şekil 20. Model 1 için Erzincan depreminde ivmelerin zamansal değişimi



Şekil 21. Model 1 için Parkfield depreminde ivmelerin zamansal değişimi

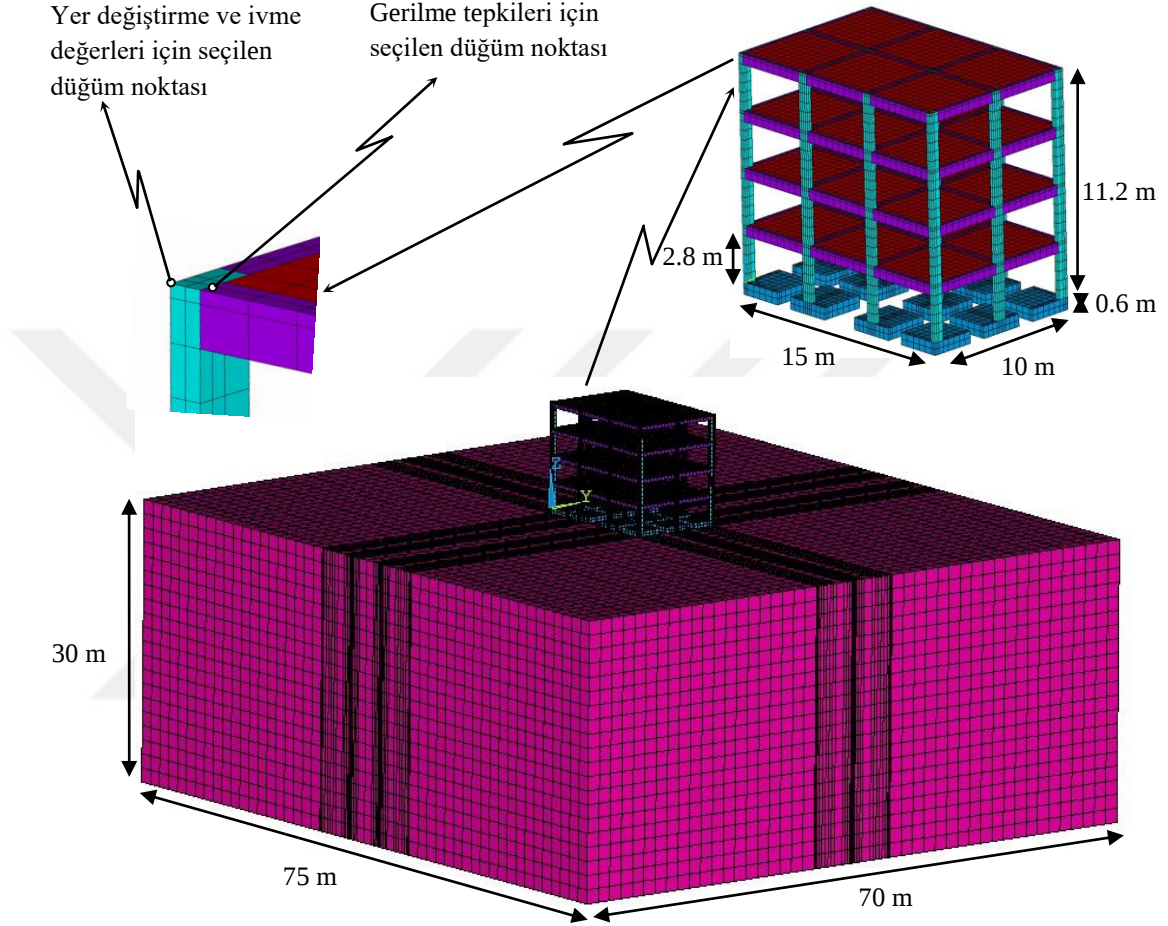


Şekil 22. Model 1 için Coalinga depreminde ivmelerin zamansal değişimi

2.4. Model 2'nin Analizi

2.4.1. Model 2'ye Ait Sayısal Model

Şekil 23'te ilgili sayısal modeller sunulmaktadır. Verilerin toplandığı düğüm noktaları da bu şekilde gösterilmiştir.



Şekil 23. Model 2'ye ait sayısal model

2.4.2. Model 2'nin Sismik Analizi

Tablo 1'de belirtilen zeminlere ait özellikler ve Tablo 2'de belirtilen deprem kayıtları altında Model 2'nin sismik çözümlemeleri yapılmıştır. Çözümlemelerden elde edilen rölatif (izafi, görelî) yer değiştirmeler, ivme ve gerilme tepkileri Tablo 12~20'de gösterilmiştir. Bu tablolar incelendiğinde, tepkilerin zemin sistemlerine ve yer hareketi karakteristiklerine bağlı olarak değiştiği açıkça görülmektedir. Ayrıca en büyük tepkilerin oluş zamanlarında da farklılıklar olduğu saptanmıştır.

2.4.2.1. Model 2 İçin Rölatif Yerdeğiştirmelerin Değerlendirilmesi

Tablo 12-14'te farklı zemin sistemleri ve deprem yüklemeleri altında Model 2'nin çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirmeler verilmektedir. Bu yer değiştirmeler ilgili modelin köşe birleşim noktalarından x doğrultusunda (deprem doğrultusu) alınmış ve en büyük yer değiştirmelerin, beklendiği üzere 4. kat seviyesinde olduğu görölmüştür.

Tablo 12. Erzincan depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.68	-0.0659	3.69	-0.0707	3.69	-0.0721	3.70	-0.0761	3.73	-0.0901
3	3.68	-0.0575	3.69	-0.0620	3.69	-0.0632	3.70	-0.0666	3.73	-0.0776
2	3.68	-0.0411	3.69	-0.0449	3.69	-0.0459	3.70	-0.0485	3.72	-0.0566
1	3.68	-0.0180	3.69	-0.0209	3.69	-0.0216	3.70	-0.0233	3.72	-0.0288

Tablo 13. Parkfield depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.23	-0.0815	3.23	-0.0866	3.23	-0.0879	3.24	-0.0920	3.26	-0.1027
3	3.23	-0.0696	3.23	-0.0742	3.23	-0.0753	3.24	-0.0787	3.26	-0.0873
2	3.22	-0.0482	3.23	-0.0521	3.23	-0.0530	3.24	-0.0553	3.25	-0.0618
1	3.22	-0.0206	3.22	-0.0234	3.23	-0.0240	3.23	-0.0257	3.25	-0.0302

Tablo 14. Coalinga depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen rölatif yer değiştirme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	u	t	u	t	u	t	u	t	u
4	3.96	-0.0167	3.51	-0.0166	3.51	-0.0172	3.52	-0.0185	3.54	-0.0179
3	3.94	-0.0152	3.95	-0.0146	3.74	-0.0143	3.51	-0.0150	3.53	-0.0140
2	3.93	-0.0118	3.94	-0.0114	3.73	-0.0113	3.73	0.0112	3.51	-0.0093
1	3.93	-0.0051	3.72	0.0056	3.72	0.0058	3.72	0.0060	3.73	0.0054

Elde edilen veriler aşağıda her bir deprem değerlendirilmektedir.

Erzincan Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük yatay yer değiştirme (-0.0901 m) S4 zemin sisteminde ve en küçük yatay yer değiştirme (-0.0659 m) ankastre sistemde meydana gelmiştir.

Ankastre ve S4 zemin sistemi arasındaki tepki artışı %37 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlarda en büyük yer değiştirmeler S4'te ve en düşük yer değiştirmeler ankastre sistemde gözlemlenmiştir.

Parkfield Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük yatay yer değiştirme (-0.1027 m) S4 zemin sisteminde ve en küçük yatay yer değiştirme (-0.0815 m) ankastre sistemde meydana gelmiştir. Ankastre ve S4 zemin sistemi arasındaki tepki artışı %26 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlarda en büyük yer değiştirmeler S4'te ve en düşük yer değiştirmeler ankastre sistemde gözlemlenmiştir.

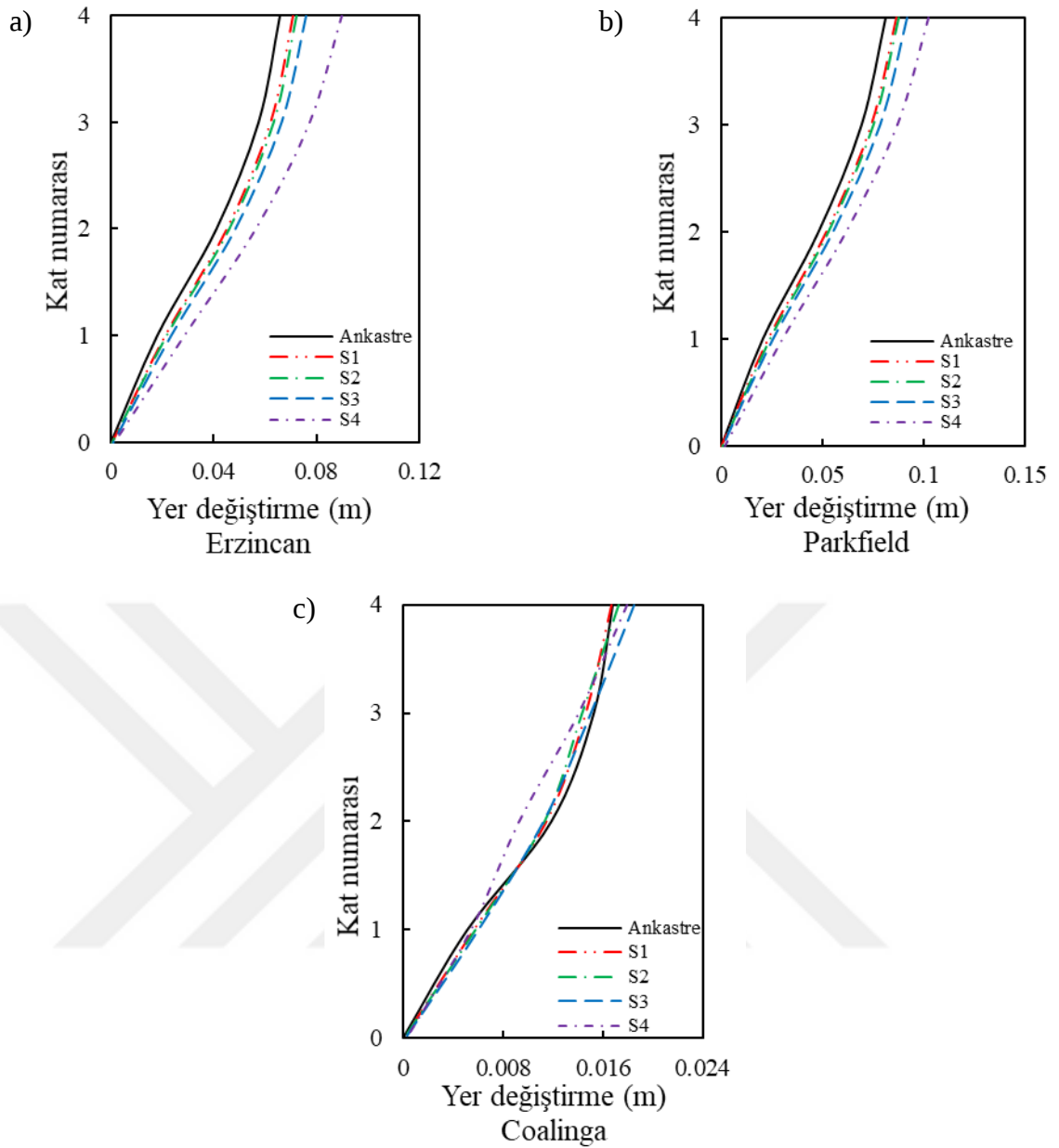
Coalinga Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük yatay yer değiştirme (-0.0185 m) S3 zemin sisteminde ve en küçük yatay yer değiştirme (-0.0166 m) S1 zemin sisteminde meydana gelmiştir. S1 ve S3 arasındaki tepki artışı %11 olarak hesaplanmıştır. 1. ve 4. katlarda en büyük yer değiştirmeler S3'te, 2. ve 3. katlarda ise ankastre sistemde meydana gelmiştir. En düşük yer değiştirmelerin ise 1. kat seviyesinde ankastre sistemde, 2. ve 3. kat seviyesinde S4'te ve 4. kat seviyesinde S1'de olduğu gözlemlenmiştir.

Genel Karşılaştırma:

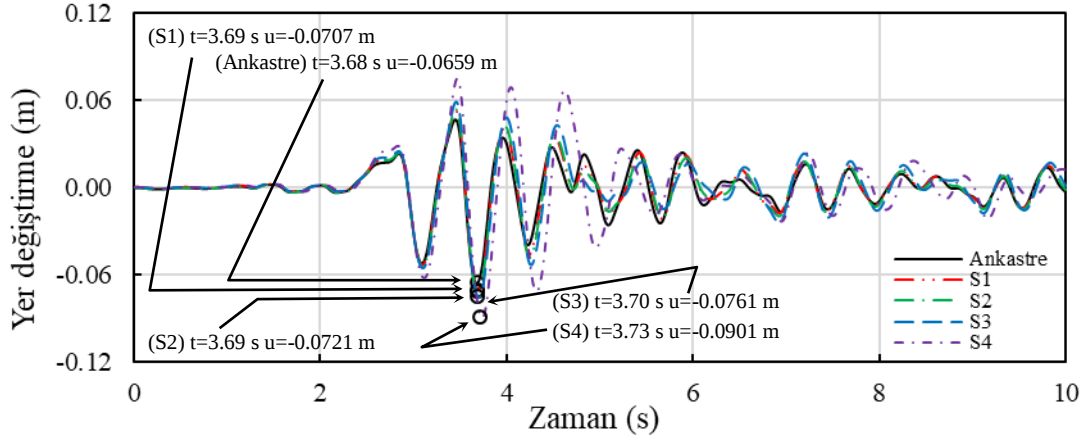
Tüm deprem senaryoları incelendiğinde, deprem frekans içeriği ile zemin özellikleri arasındaki etkileşime bağlı olarak farklı tepki değişimlerinin elde edilebileceği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde en düşük yer değiştirmeler ankastre sistemde gözlenirken, en büyük tepkiler S4'te gözlenmiştir. Coalinga depreminde ise en yüksek yer değiştirmeler sırasıyla 1. kat seviyesinde S3'te, 2 ve 3. kat seviyelerinde ankastre sistemde ve 4. kat seviyesinde S3'te gerçekleşmiştir.

Şekil 24'de yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmektedir. Üç deprem senaryosu arasında, en büyük yer değiştirme (-0.1027 m) Parkfield depreminde S4 zemin sisteminde gözlemlenmiş ve bu durum yapının yer değiştirmeler açısından Parkfield deprem yüklemesinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Şekil 24 incelendiğinde, en büyük yer değiştirmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir. Yapı yüksekliği boyunca yer değiştirmeler artmakta ve en büyük yer değiştirmeler en üst kat seviyesinde meydana gelmektedir.

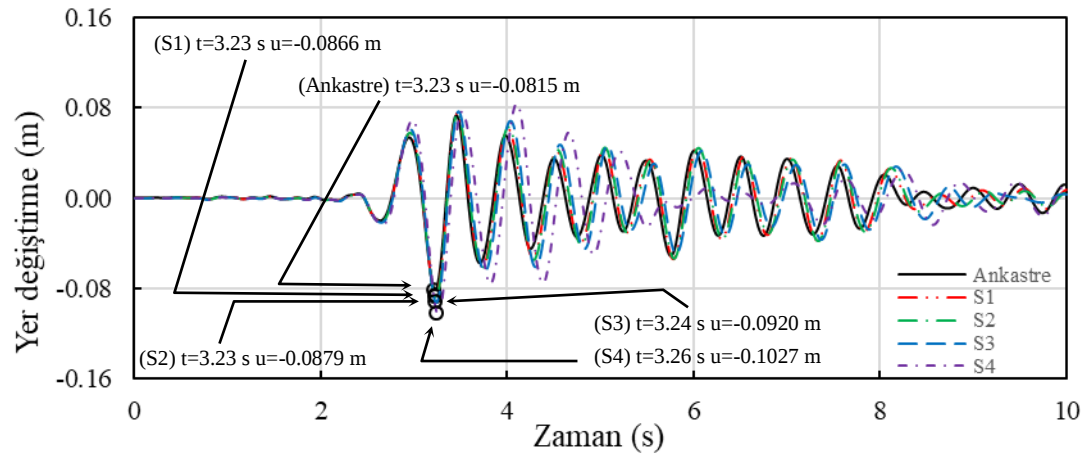


Şekil 24. Model 2 için yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi

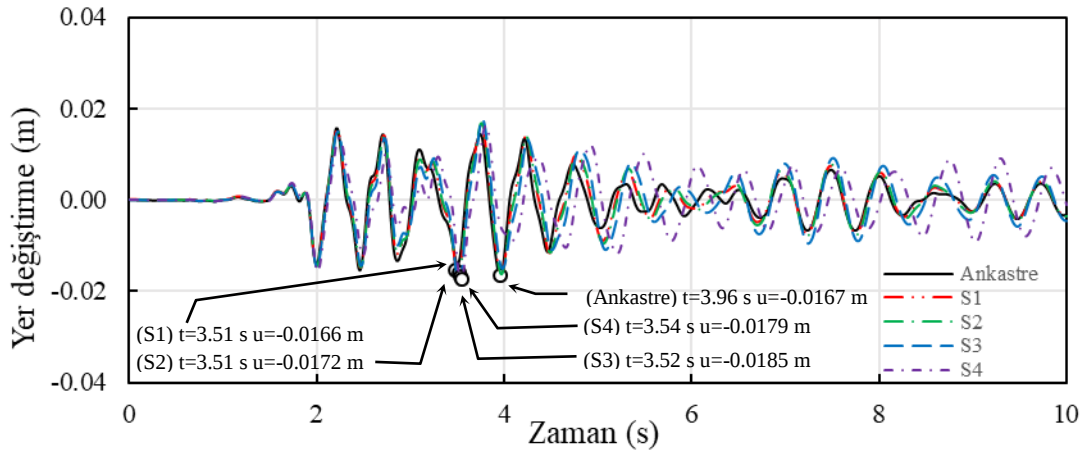
Şekil 25~27’de en üst kat seviyesinde elde edilen yer değiştirmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Şekil 25 incelendiğinde, S1’de en büyük yer değiştirme 0.0707 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S2’de %2 artışla 0.0721 m, S3’te %8 artışla 0.0761 m ve S4’te %27 artışla 0.0901 m olarak hesaplandığı görülmektedir. Şekil 26 incelendiğinde, S1’de en büyük yer değiştirme 0.0866 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S2’de %1 artışla 0.0879 m, S3’te %6 artışla 0.0920 m ve S4’te %19 artışla 0.1027 m olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 27 incelendiğinde, S1’de en büyük yer değiştirme 0.0166 m iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S2’de %4 artışla 0.0172 m, S3’te %11 artışla 0.0185 m ve S4’te %8 artışla 0.0179 m olarak hesaplandığı görülmektedir.



Şekil 25. Model 2 için Erzincan depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi



Şekil 26. Model 2 için Parkfield depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi



Şekil 27. Model 2 için Coalinga depreminde yer değiştirmelerin zamansal değişimi

2.4.2.2. Model 2 İçin Gerilmelerin Değerlendirilmesi

Tablo 15-17'de farklı zemin sistemleri ve deprem yüklemeleri altında Model 2'nin çözümünden elde edilen gerilmeler verilmektedir. Bu tablolarda en büyük

gerilmelerin genel olarak 1. kat seviyelerinde (Coalinga depremi için S4 zemin sisteminde 2. kat seviyesinde) olduğu görülmektedir.

Tablo 15. Erzincan depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.63	5.6896	3.64	5.6025	3.73	5.5770	3.74	5.8486	3.76	6.6793
3	3.64	10.3648	3.65	10.3246	3.72	10.4098	3.73	10.8728	3.76	12.3323
2	3.68	17.0767	3.69	17.5876	3.69	17.7043	3.70	18.0215	3.74	19.2806
1	3.68	20.8842	3.69	21.8529	3.69	22.0593	3.70	22.5219	3.72	23.7556

Tablo 16. Parkfield depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
4	3.23	7.3369	3.24	7.5610	3.24	7.5997	3.25	7.7183	3.27	7.9101
3	3.23	13.6863	3.24	14.0930	3.24	14.1708	3.25	14.3965	3.27	14.7186
2	3.23	21.5846	3.24	22.1481	3.24	22.2743	3.24	22.5232	3.26	22.7222
1	3.22	24.4746	3.23	25.3887	3.23	25.5237	3.24	25.8092	3.25	26.0905

Tablo 17. Coalinga depremi için Model 2'nin çözümünden elde edilen gerilme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	S	t	S	t	S	t	S	t	S
4	2.47	3.2758	2.74	-3.2568	2.74	-3.2718	2.74	-3.2323	3.80	-2.9435
3	2.47	4.9901	2.73	-4.8022	2.74	-4.7711	3.79	-4.7397	3.80	-4.5609
2	2.22	-4.6190	3.51	4.7972	3.77	4.9516	3.52	5.2577	3.54	4.8926
1	3.93	6.1783	3.94	5.7150	3.94	5.5397	3.73	-5.2622	3.51	4.0739

Elde edilen veriler aşağıda her bir deprem değerlendirilmektedir.

Erzincan Depremi:

1. kat seviyesinde en büyük gerilme (23.7556 MPa) S4 zemin sisteminde, en küçük gerilme (20.8842 MPa) ankastre sistemde meydana gelmiş ve tepki artışı %14 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlar için en büyük gerilmeler S4'te gerçekleşmiştir. En küçük gerilmeler ise 1 ve 2. kat seviyelerinde ankastre sistemde, 3 kat seviyesinde S1'de ve 4. kat seviyesinde S2'de gözlemlenmiştir.

Parkfield Depremi:

1. kat seviyesinde en büyük gerilme (26.0905 MPa) S4 zemin sisteminde, en küçük gerilme (24.4746 MPa) ankastre sistemde meydana gelmiş ve tepki artışı %7 olarak hesaplanmıştır. En küçük gerilmeler tüm katlarda ankastre sistemde meydana gelmiştir.

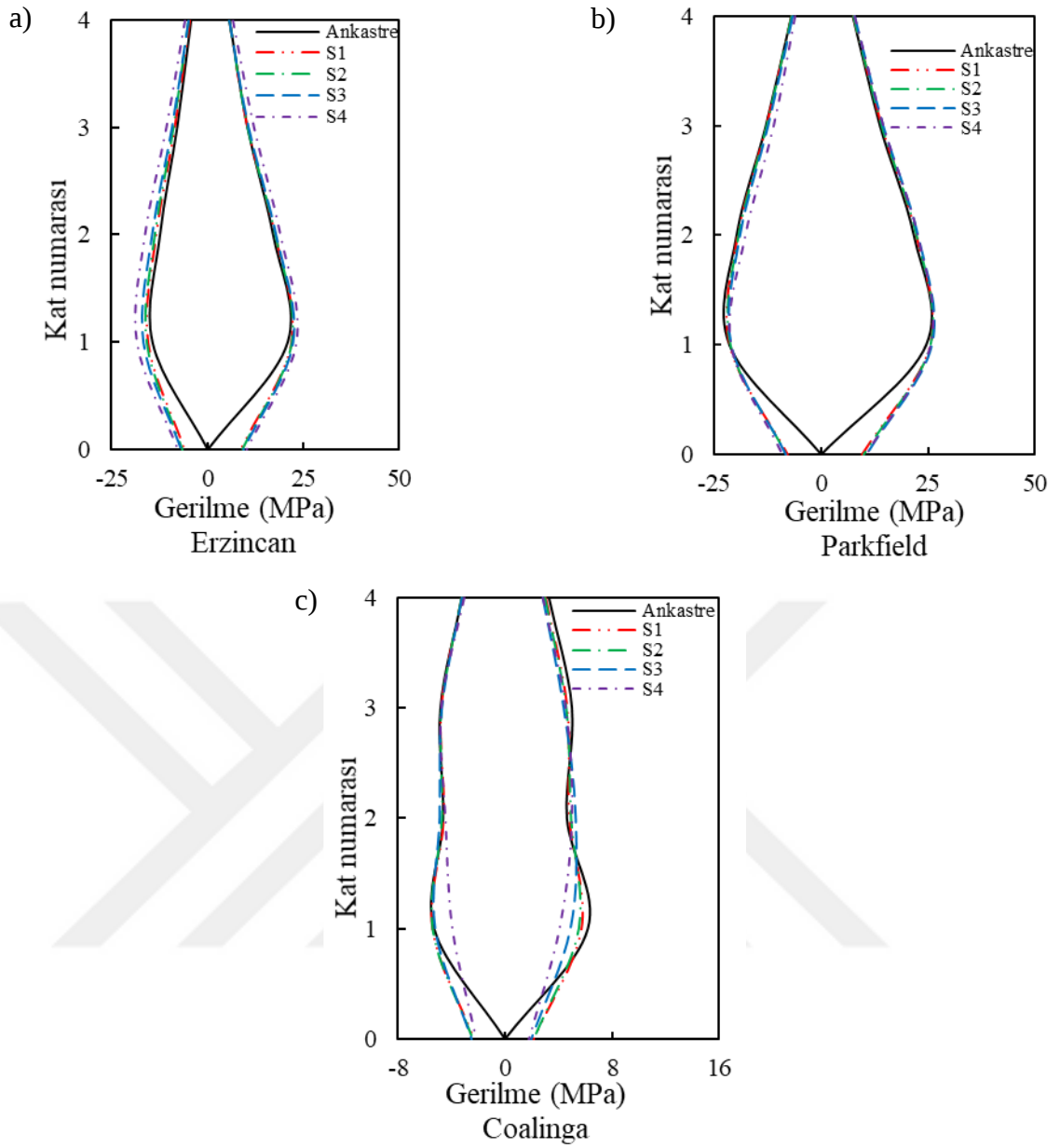
Coalinga Depremi:

1. kat seviyesinde en büyük gerilme (6.1783 MPa) ankastre sistemde, en küçük gerilme (4.0739 MPa) S4 zemin sisteminde meydana gelmiş ve ankastre koşullarda tepki artışı %51 olarak hesaplanmıştır. En küçük gerilmeler 1. kat seviyesinde S4'te, 2. kat seviyesinde ankastre sistemde ve 3 ve 4. kat seviyelerinde yine S4'te oluşmuştur.

Genel Karşılaştırma:

Tüm deprem senaryoları incelendiğinde, deprem frekans içeriği ile zemin özellikleri arasındaki etkileşim nedeniyle tepki yönelimlerinin farklılaşabileceği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde en düşük gerilmeler genel olarak ankastre sistemde gözlenirken, en büyük gerilmeler S4 zemininde meydana gelmiştir. Coalinga depreminde ise en büyük gerilme ankastre sistemde, en düşük gerilme S4 zemininde gözlemlenmiştir.

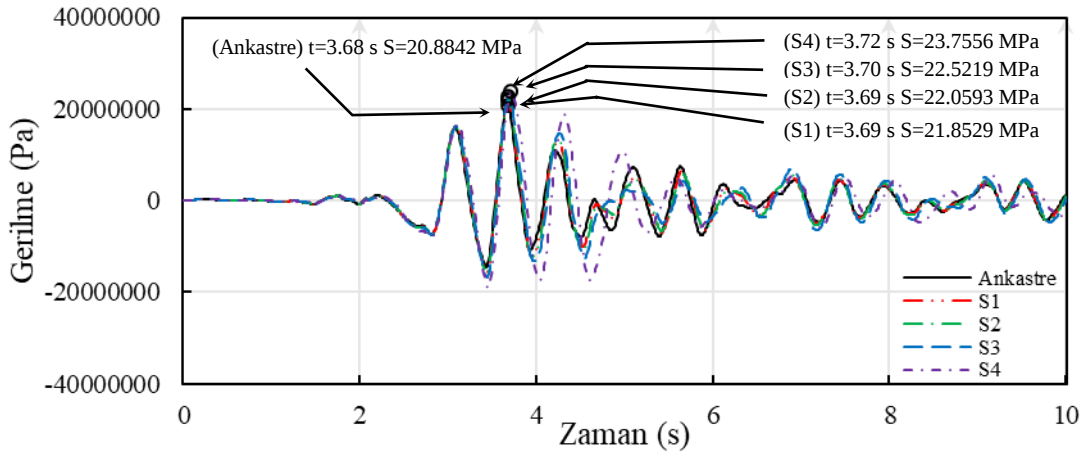
Şekil 28'de gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmektedir. Üç deprem senaryosu arasında, en büyük gerilme (26.0905 MPa) Parkfield depreminde S4 zemin sisteminde gözlemlenmiş ve bu durum yapının gerilmeler açısından Parkfield depreminden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Şekil 28 incelendiğinde, en büyük gerilmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir. Yapı yüksekliği boyunca gerilmelerin genel olarak azaldığı ve en büyük gerilmelerin 1. kat seviyelerinde olduğu gözlenmektedir.



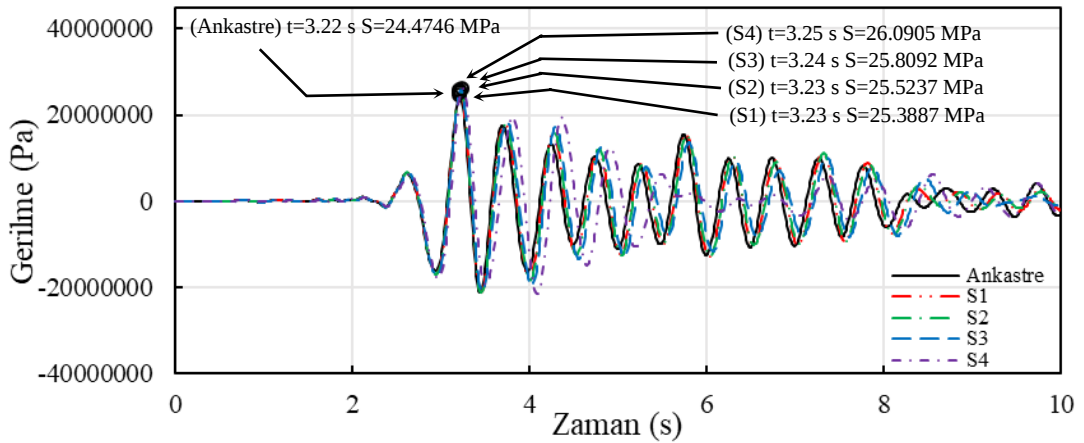
Şekil 28. Model 2 için gerilmelerin yükseklikle değişimi

Şekil 29~31'de gerilmelerin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 29 incelendiğinde, ankastre sistemde en büyük gerilme 20.8842 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1'de %5 artışla 21.8529 MPa, S2'de %6 artışla 22.0593 MPa, S3'te %8 artışla 22.5219 MPa ve S4'te %14 artışla 23.7556 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 30 incelendiğinde, ankastre sistemde en büyük gerilme 24.4746 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1'de %4 artışla 25.3887 MPa, S2'de %4 artışla 25.5237 MPa, S3'te %5 artışla 25.8092 MPa ve S4'te %7 artışla 26.0905 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 31 incelendiğinde, ankastre sistemde en büyük gerilme 6.1783 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değer S1'de %7 azalışla 5.7150 MPa, S2'de

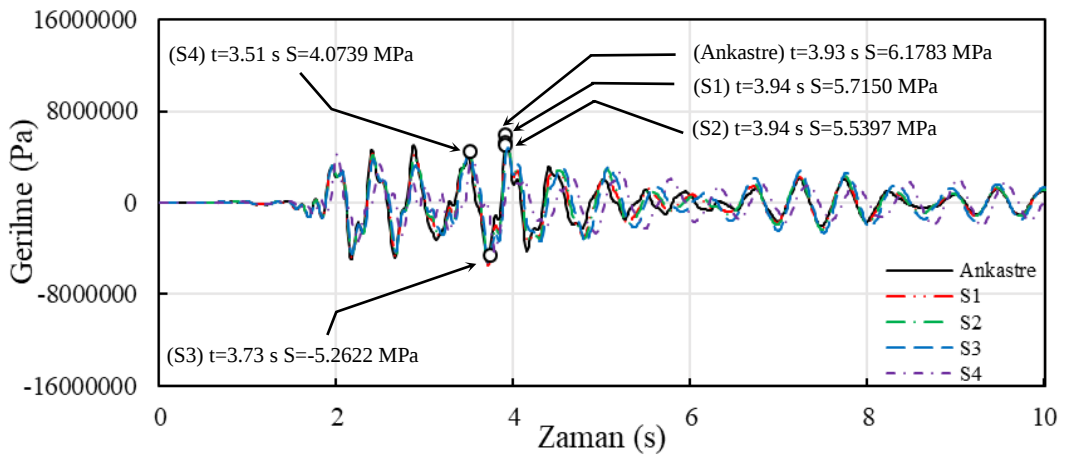
%10 azalışla 5.5397 MPa, S3'te %15 azalışla 5.2622 MPa ve S4'te %34 azalışla 4.0739 MPa olarak elde edildiği görülmektedir.



Şekil 29. Model 2 için Erzincan depreminde gerilmelerin zamansal değişimi



Şekil 30. Model 2 için Parkfield depreminde gerilmelerin zamansal değişimi



Şekil 31. Model 2 için Coalinga depreminde gerilmelerin zamansal değişimi

2.4.2.3. Model 2 İçin İvmelerin Değerlendirilmesi

Tablo 18-20’de farklı zemin sistemleri ve deprem yüklemeleri altında Model 2’nin çözümünden elde edilen ivmeler verilmektedir. Bu tablolarda en büyük ivmelerin Erzincan ve Parkfield depremlerinde 4. kat seviyesinde, Coalinga depreminde ise 2. kat seviyesinde olduğu görülmektedir.

Tablo 18. Erzincan depremi için Model 2’nin çözümünden elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.49	-10.8820	3.49	-11.4730	3.49	-11.6570	3.49	-12.2430	3.49	-14.2370
3	3.48	-9.5227	3.48	-10.1030	3.48	-10.2580	3.48	-10.7160	3.48	-12.0610
2	3.68	7.4293	3.69	7.6002	3.69	7.6605	3.69	7.7988	3.47	-8.3904
1	3.68	3.6822	3.69	4.0463	3.69	4.1249	3.69	4.3380	3.70	5.0695

Tablo 19. Parkfield depremi için Model 2’nin çözümünden elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
4	3.44	-14.3860	3.24	14.5400	3.24	14.6590	3.24	14.9380	3.29	14.9100
3	3.24	12.6110	3.24	12.9300	3.24	12.9980	3.24	13.1450	3.25	13.0370
2	3.23	9.5002	3.24	9.6341	3.24	9.6807	3.24	9.7914	3.24	9.9778
1	3.23	4.3630	3.23	4.6416	3.23	4.7030	3.23	4.8799	3.23	5.5172

Tablo 20. Coalinga depremi için Model 2’nin çözümünden elde edilen ivme değerleri

Zemin Sistemi	Ankastre		S1		S2		S3		S4	
Kat No	t	a	t	a	t	a	t	a	t	a
4	2.74	-6.8480	2.74	-7.1990	2.74	-7.2065	2.74	-7.0776	3.54	6.1381
3	3.94	7.3940	3.94	7.1640	3.94	7.0772	3.94	6.7301	3.94	5.5109
2	3.93	8.1623	3.94	8.0091	3.94	7.9906	3.94	7.7983	3.87	-6.5475
1	2.08	4.2552	2.67	-4.8746	2.67	-4.9974	2.67	-5.275	3.73	-5.7473

Elde edilen veriler aşağıda her bir deprem değerlendirilmektedir.

Erzincan Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük ivme (14.2370 m/s^2) S4 zemin sisteminde, en küçük ivme (10.8820 m/s^2) ankastre sistemde meydana gelmiş ve zemin rijitliğindeki azalmayla tepki artışı %31 olarak hesaplanmıştır. Tüm katlar için en büyük ivmeler S4’te, en küçük ivmeler ise ankastre sistemde meydana gelmiştir.

Parkfield Depremi:

4. kat seviyesinde en büyük ivme (14.9380 m/s^2) S3 zemin sisteminde, en küçük ivme (14.3860 m/s^2) ankastre sistemde meydana gelmiş ve zemin rijitliğindeki azalmayla tepki artışı %4 olarak hesaplanmıştır. En küçük ivmeler tüm katlarda ankastre sistemde meydana gelmiştir.

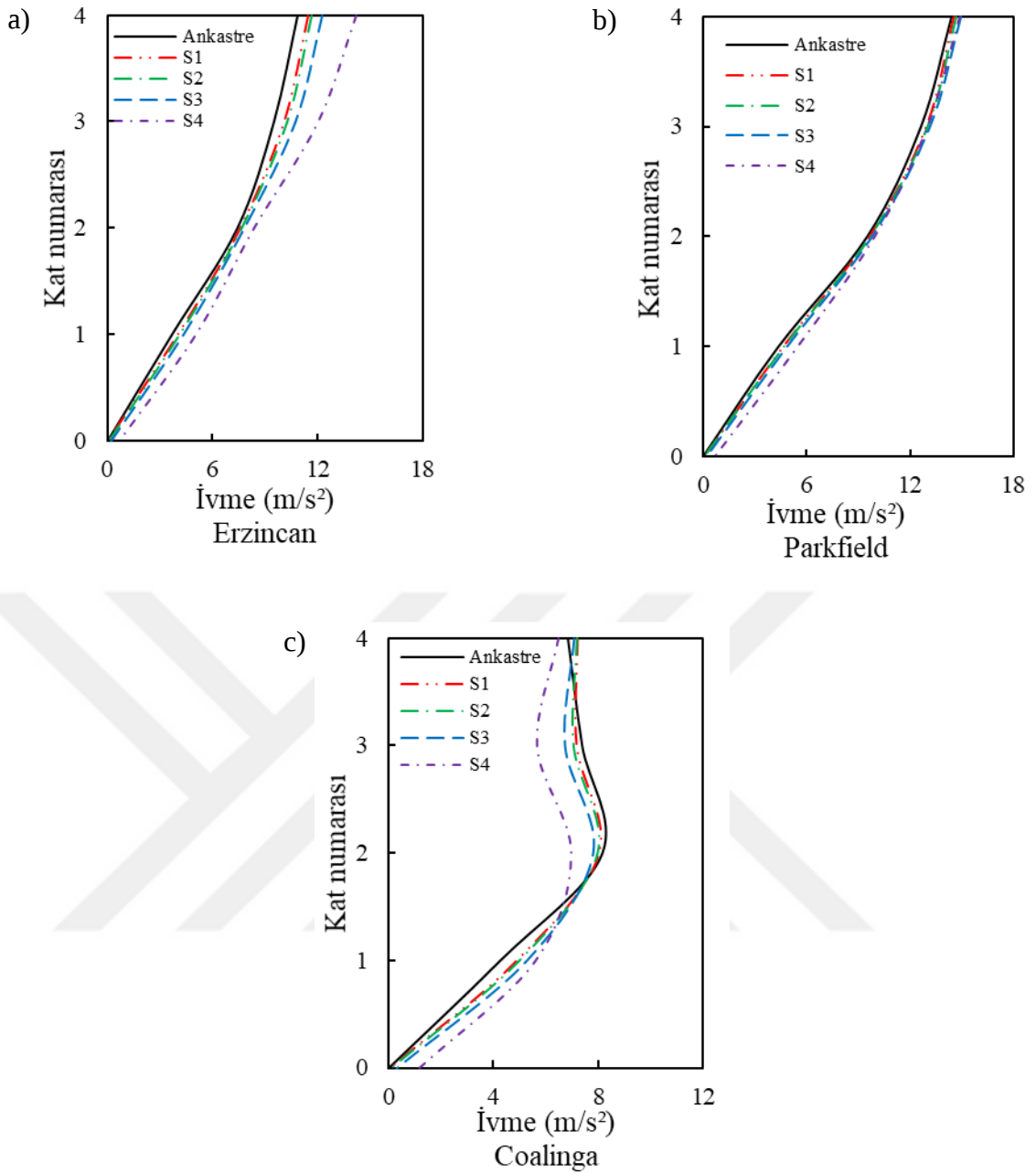
Coalinga Depremi:

2. kat seviyesinde en büyük ivme (8.1623 m/s^2) ankastre sistemde, en küçük ivme (6.5475 m/s^2) S4 zemin sisteminde meydana gelmiş ve zemin rijitliğindeki azalmayla tepkideki azalma %20 olarak hesaplanmıştır. En küçük ivmeler 1. kat seviyesinde ankastre sistemde, 2, 3 ve 4. kat seviyelerinde S4'te oluşmuştur.

Genel Karşılaştırma:

Tüm deprem senaryoları incelendiğinde, deprem frekans içeriği ile zemin özellikleri arasındaki etkileşim nedeniyle tepki yönelimlerinin farklılaşabileceği ve en büyük ivmelerin farklı katlarda ve zemin koşullarında meydana gelebileceği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde en düşük ivmeler ankastre sistemde gözlenirken, en büyük ivmeler genel olarak S4'te meydana gelmiştir. Coalinga depreminde ise etkileşime bağlı olarak durum farklılaşmakta, en büyük ivmeler 1. katta S4'te, 2. ve 3. katlarda ankastre sistemde ve 4. katta S2'de meydana gelirken; en küçük ivmeler 1. katta ankastre sistemde, 2, 3 ve 4. katlarda ise S4'te meydana gelmiştir.

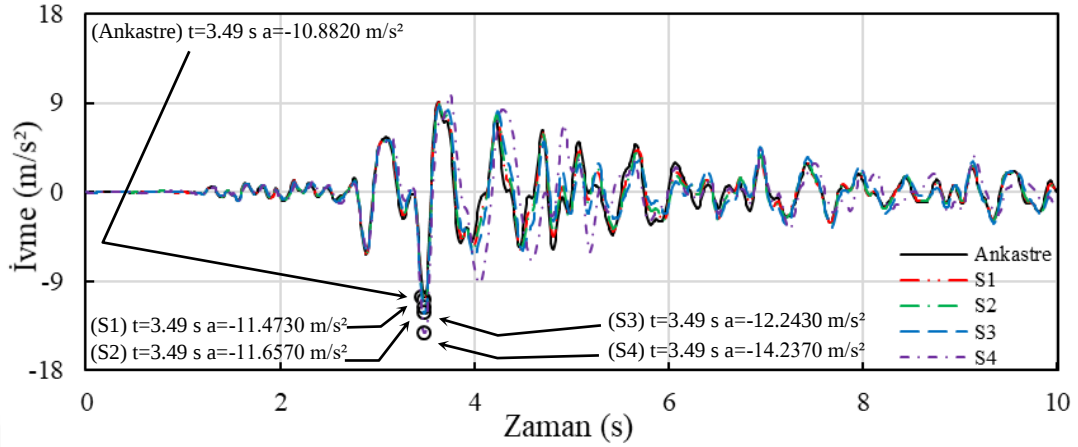
Şekil 32'de ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmektedir. Üç deprem senaryosu arasında, en büyük ivme (14.9380 m/s^2) Parkfield depreminde S3 zemin sisteminde gözlemlenmiş ve bu durum yapının ivmeler açısından Parkfield depreminden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Şekil 32 incelendiğinde, en büyük ivmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir. Erzincan ve Parkfield depremlerinde, yapı yüksekliği boyunca ivme değerlerinin arttığı ve en büyük ivme değerlerinin en üst kat seviyesinde olduğu gözlemlenmiştir. Coalinga depreminde ise tüm zemin koşullarında en büyük ivme değerleri 2. kat seviyesinde görülmüştür.



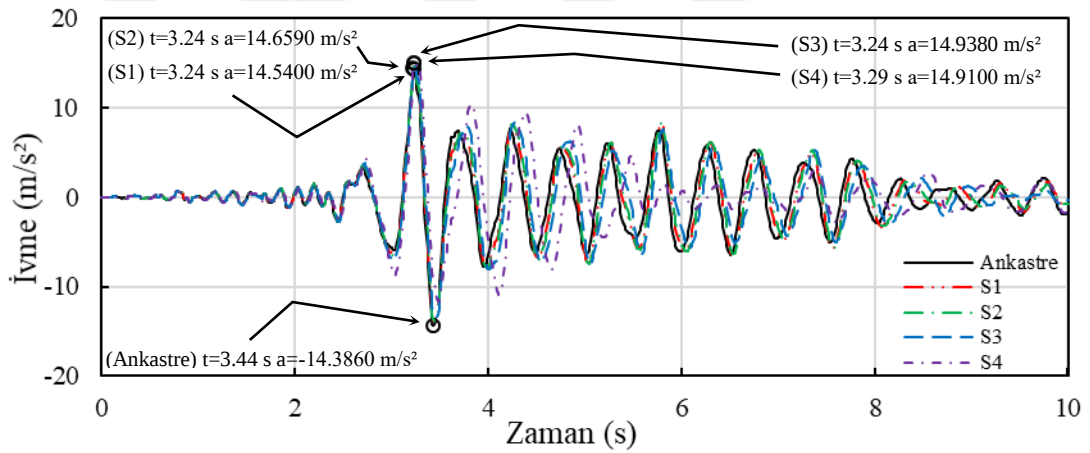
Şekil 32. Model 2 için ivmelerin yükseklikle değişimi

Şekil 33~35'te 4. kat köşe birleşim noktasındaki ivmelerin zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Şekil 33 incelendiğinde, S1 için elde edilen en büyük ivme 11.4730 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S2'de %2 artışla 11.6570 m/s^2 , S3'te %7 artışla 12.2430 m/s^2 ve S4'te %24 artışla 14.2370 m/s^2 olarak gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 34 incelendiğinde, S1 için elde edilen en büyük ivme 14.5400 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S2'de %1 artışla 14.6590 m/s^2 , S3'te %3 artışla 14.9380 m/s^2 ve S4'te %3 artışla 14.9100 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 35 incelendiğinde, ankastre sistem için elde edilen en büyük ivme 6.8480 m/s^2 iken, zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak aynı değerin S2'de %5 artışla 7.2065 m/s^2 , S4'te ise S2'ye nazaran %10 azalışla 6.1381 m/s^2

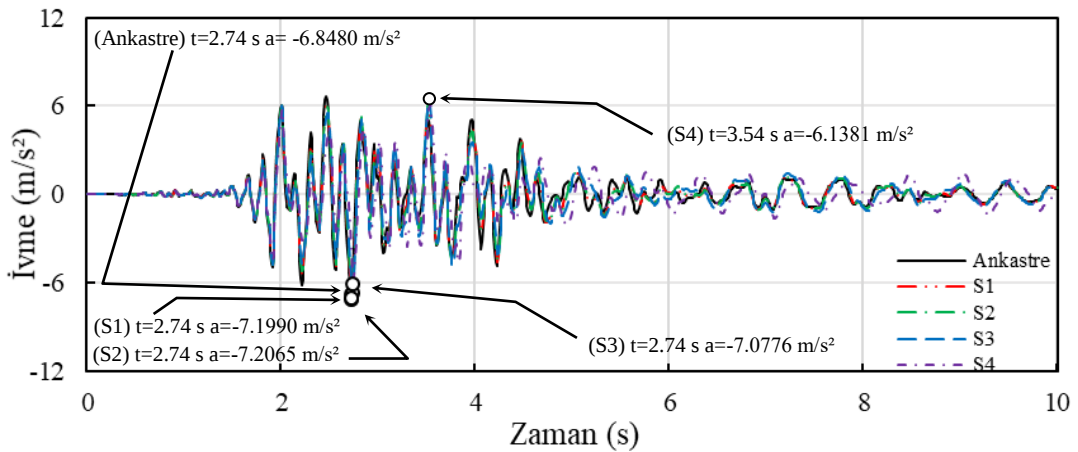
olarak elde edildiği görülmektedir. Tablo 20’den en büyük ivmelerin elde edildiği 2. kat seviyesi değerlendirildiğinde ise S4’te elde edilen ivme değerinde ankastre sisteme nazaran %20 azalma görülmektedir.



Şekil 33. Model 2 için Erzincan depreminde ivmelerin zamansal değişimi



Şekil 34. Model 2 için Parkfield depreminde ivmelerin zamansal değişimi



Şekil 35. Model 2 için Coalinga depreminde ivmelerin zamansal değişimi

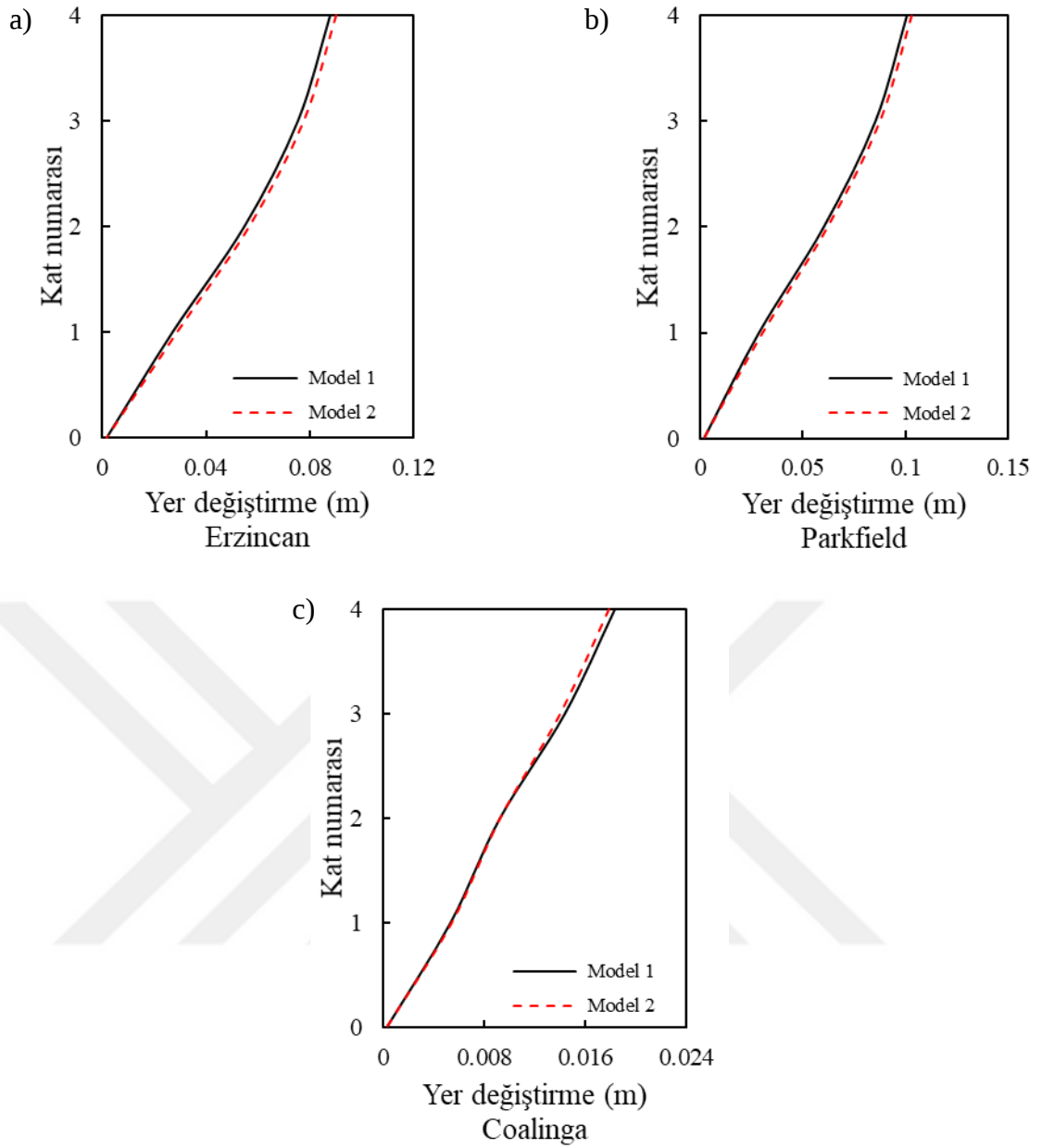
2.5. Deprem Davranışı Üzerinde Bağ Kirişinin Etkileri

Çalışmanın bu bölümünde bağ kirişli ve bağ kirişsiz olarak modellenen yapısal sistemler (Model 1 ve Model 2) dikkate alınarak bağ kirişi kullanımının dinamik tepkiler üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. TBDY-2018’de yerel zemin sınıfı ZA olan temel zeminlerinde bağ kirişlerinin yapılmayabileceği ifade edilmektedir. Bu çalışma kapsamında dikkate alınan zeminler kayma dalgası hızlarına göre değerlendirildiğinde; S1’in ZA’ya, S2’nin ZB’ye, S3’ün ZC’ye ve S4’ün de ZD’ye tekabül ettiği görülebilir. Önceki bölümlerde yapılan irdelemelerden, bağ kirişi kullanımının S1, S2 ve S3 zeminleri için tepkilerde kayda değer bir değişikliğe sebep olmadığı aşikârdır. Bu nedenle buradaki karşılaştırmalarda en esnek karaktere sahip olan S4 zemin koşulları dikkate alınmaktadır.

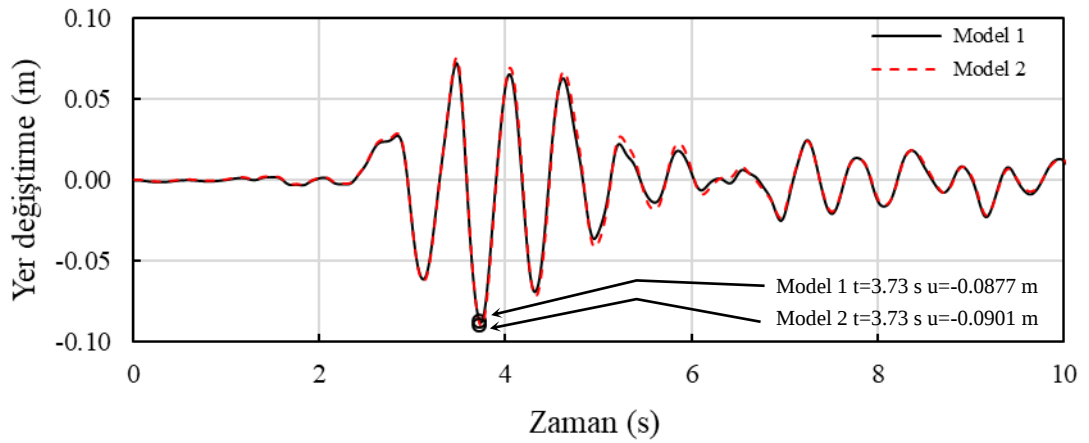
2.5.1. Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması

Şekil 36’da her iki model için yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, yer değiştirmelerin benzer karakter sergilediği söylenebilir. Ayrıca temel bağ kirişi kullanımının düşük ve orta frekans içeriğine sahip Erzincan ve Parkfield depremlerinde tepe yer değiştirmeleri azalttığı ancak yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde ise artırdığı görülmektedir.

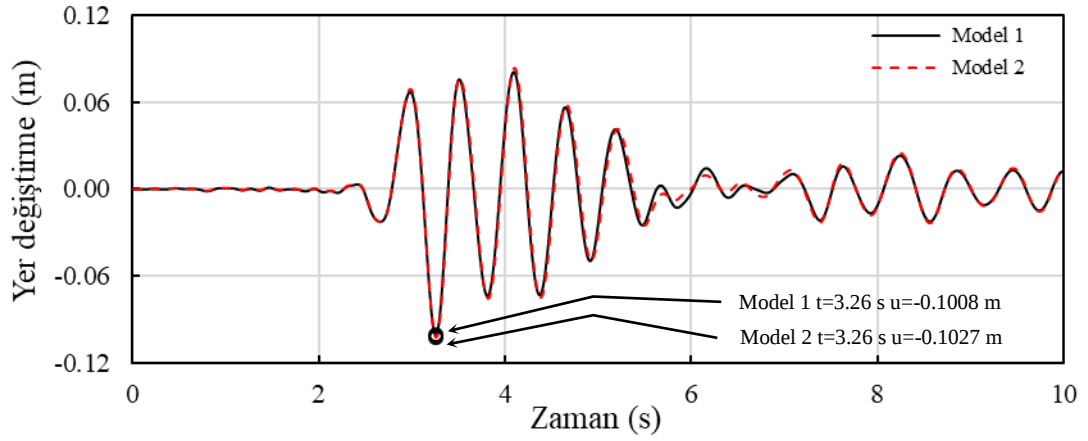
Şekil 37~39’da en üst kat seviyesinde elde edilen yer değiştirmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Şekil 37 incelendiğinde, Model 1 için en büyük yer değiştirme 0.0877 m iken, Model 2 için bu değer %3 artışla 0.0901 m olmaktadır. Şekil 38 incelendiğinde, Model 1 için en büyük yer değiştirme 0.1008 m iken, Model 2 için bu değer %2 artışla 0.1027 m olmaktadır. Şekil 39 incelendiğinde, Model 1 için en büyük yer değiştirme 0.0183 m iken, Model 2 için bu değer %2 azalışla 0.0179 m olmaktadır.



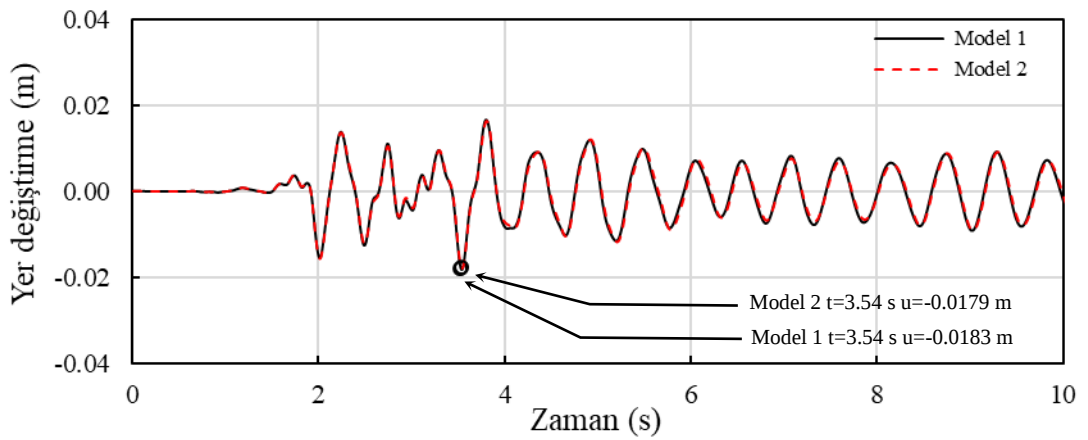
Şekil 36. S4 zemininde yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi



Şekil 37. Erzincan depreminde S4 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi



Şekil 38. Parkfield depreminde S4 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi



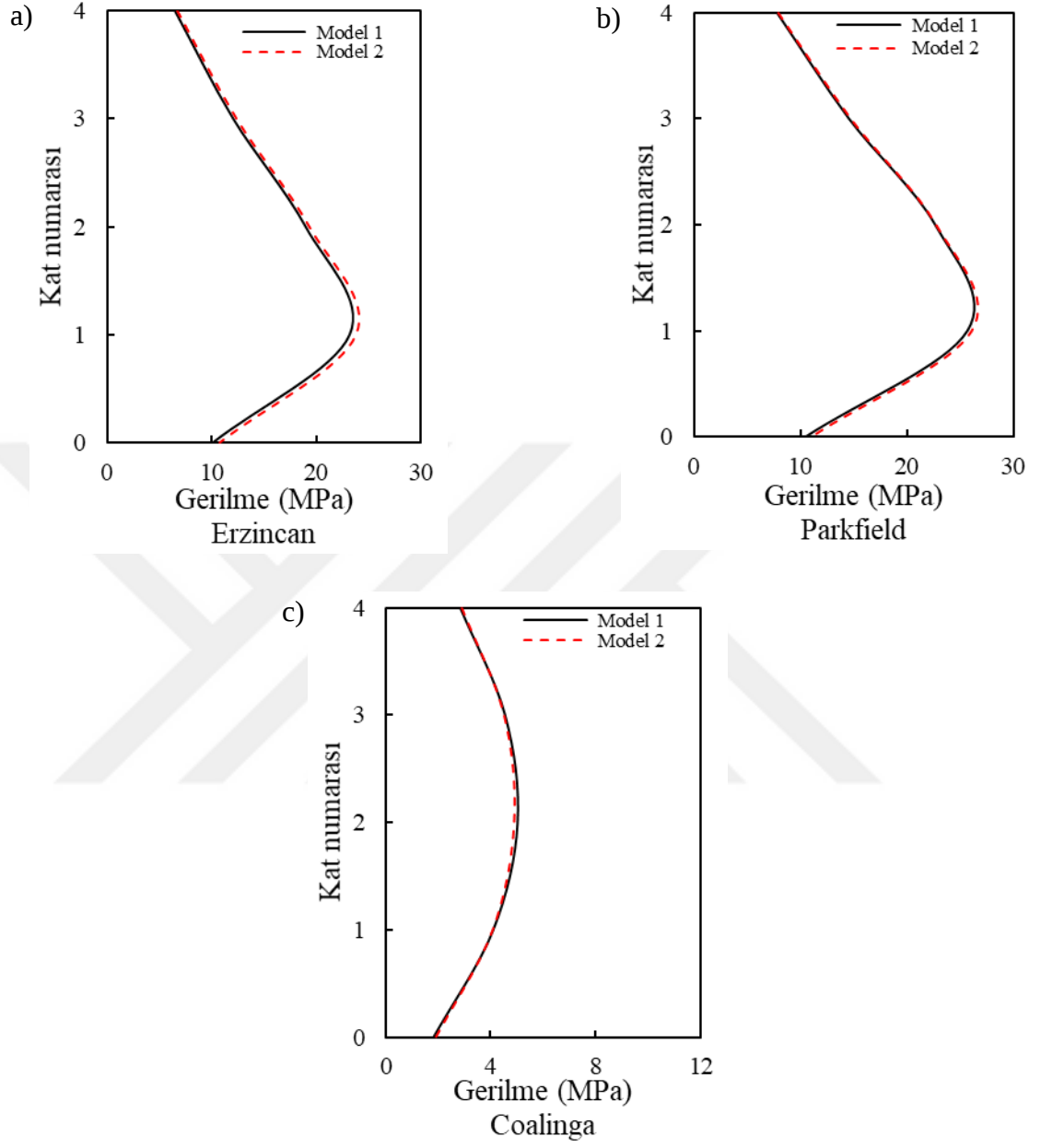
Şekil 39. Coalinga depreminde S4 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi

2.5.2. Gerilmelerin Karşılaştırılması

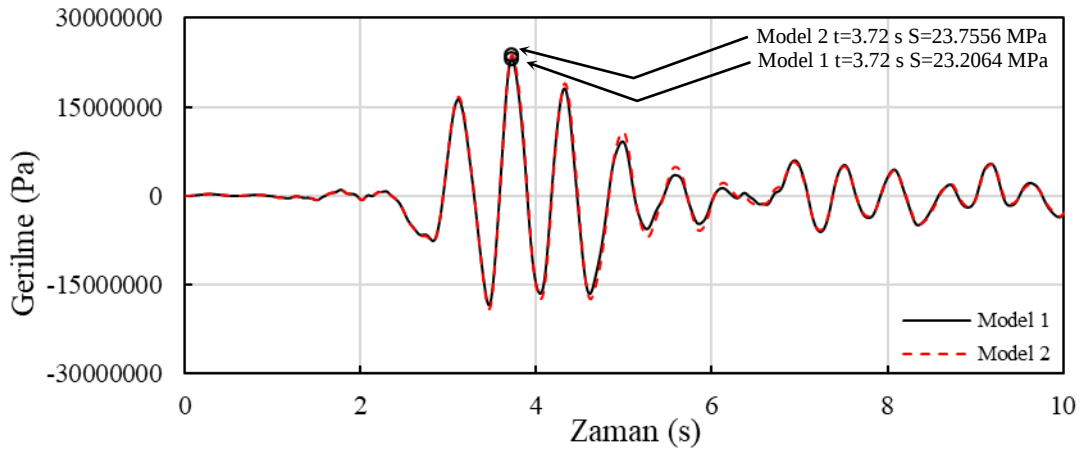
Şekil 40'ta her iki model için gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, gerilmelerin benzer karakter sergilediği söylenebilir. Ayrıca temel bağ kirişi kullanımının düşük ve orta frekans içeriğine sahip Erzincan ve Parkfield depremlerinde en büyük gerilmeleri azalttığı ancak yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde ise artırdığı görülmektedir.

Şekil 41~43'te 1. kat seviyesinde elde edilen gerilmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Şekil 41 incelendiğinde, Model 1 için en büyük gerilme 23.2064 MPa iken, Model 2 için bu değer %2 artışla 23.7556 MPa olmaktadır. Şekil 42 incelendiğinde, Model 1 için en büyük gerilme 25.6846 MPa iken, Model 2 için bu değer %2 artışla 26.0905 MPa olmaktadır. Şekil 43 incelendiğinde, Model 1 için en büyük gerilmenin 4.0793 MPa, Model 2 için ise 4.0739 MPa olduğu ve bu bağlamda kayda değer bir tepki değişiminin olmadığı görülmektedir. Öte yandan Coalinga depreminde en büyük gerilmenin meydana geldiği 2. kat seviyesi değerlendirildiğinde,

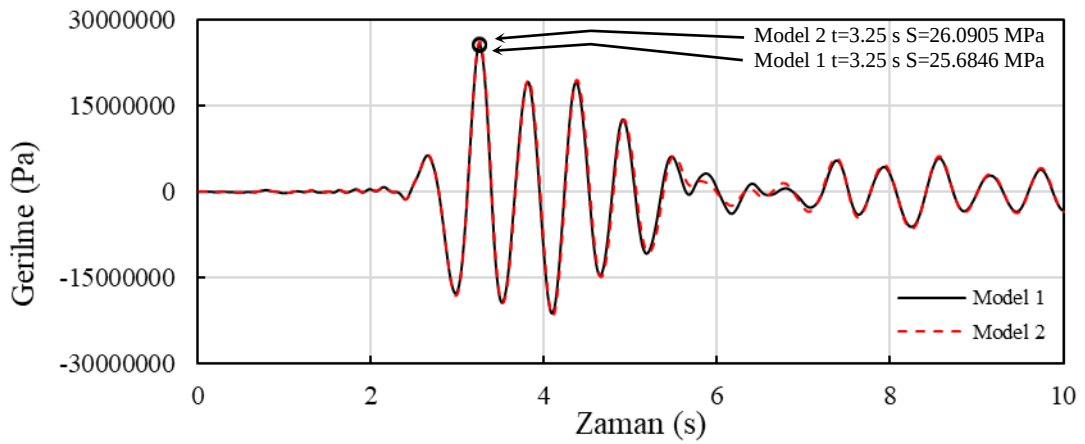
Model 1 için tepki 5.0121 MPa iken, Model 2 için yaklaşık %3 azalmayla 4.8926 MPa olarak elde edildiği görülmektedir.



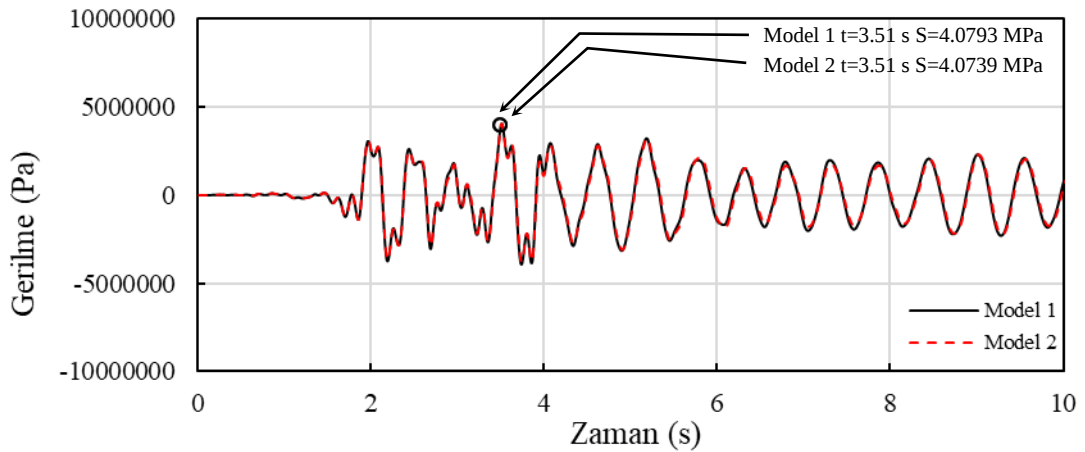
Şekil 40. S4 zemininde gerilmelerin yükseklikle değişimi



Şekil 41. Erzincan depreminde S4 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi



Şekil 42. Parkfield depreminde S4 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi

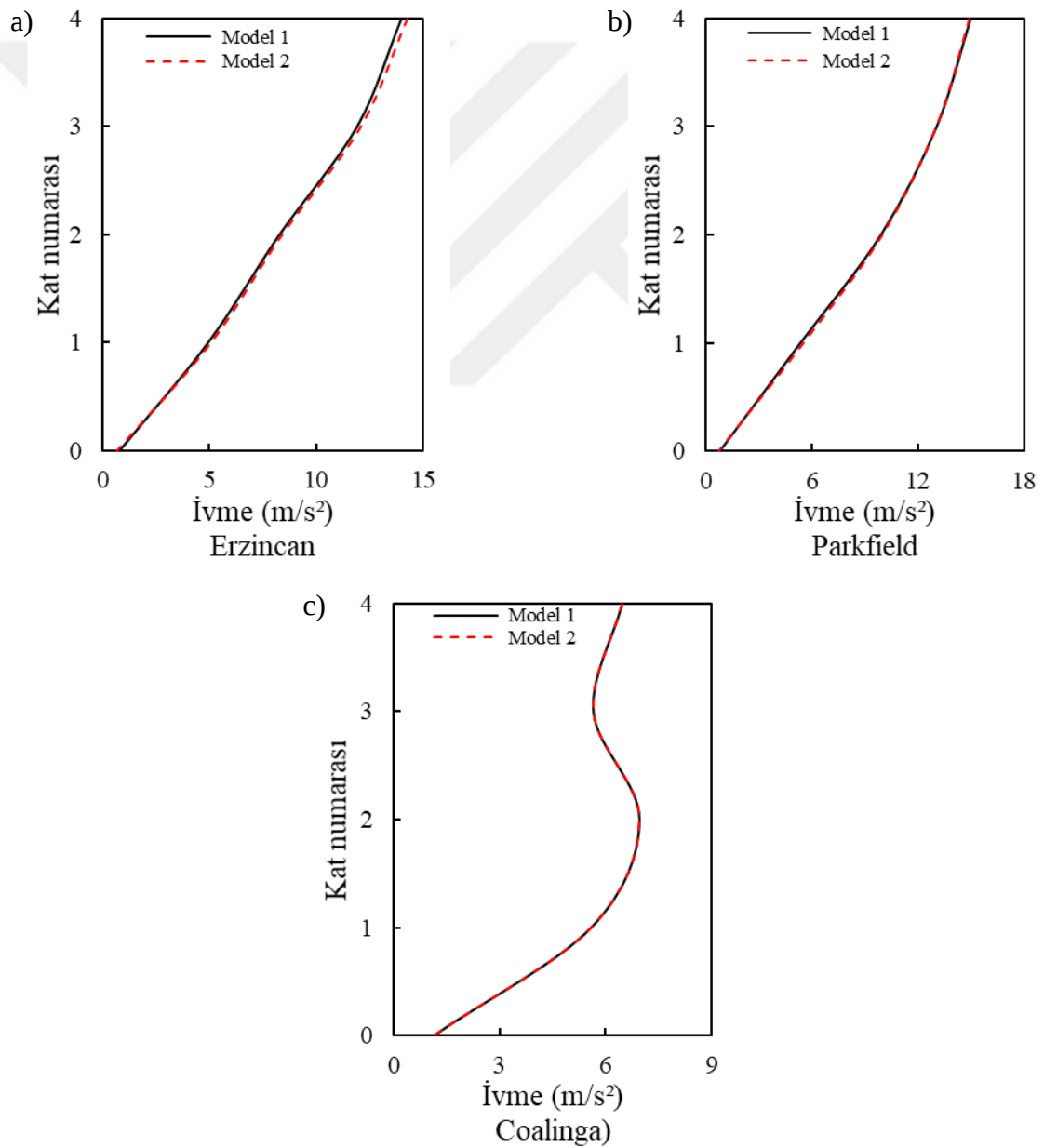


Şekil 43. Coalinga depreminde S4 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi

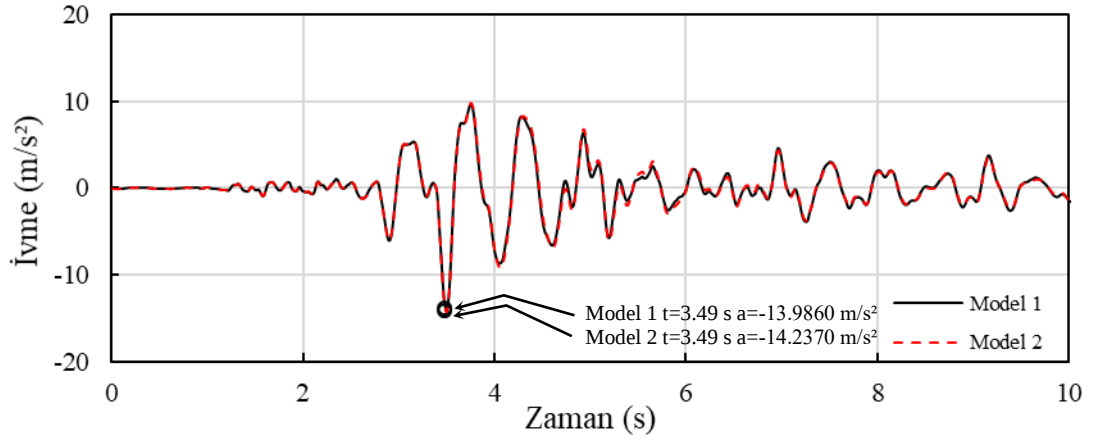
2.5.3. İvmelerin Karşılaştırılması

Şekil 44'te her iki model için ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde, ivmelerin benzer karakter sergilediği söylenebilir. Ayrıca temel bağ kirişi kullanımının düşük frekans içeriğine sahip Erzincan depreminde en büyük

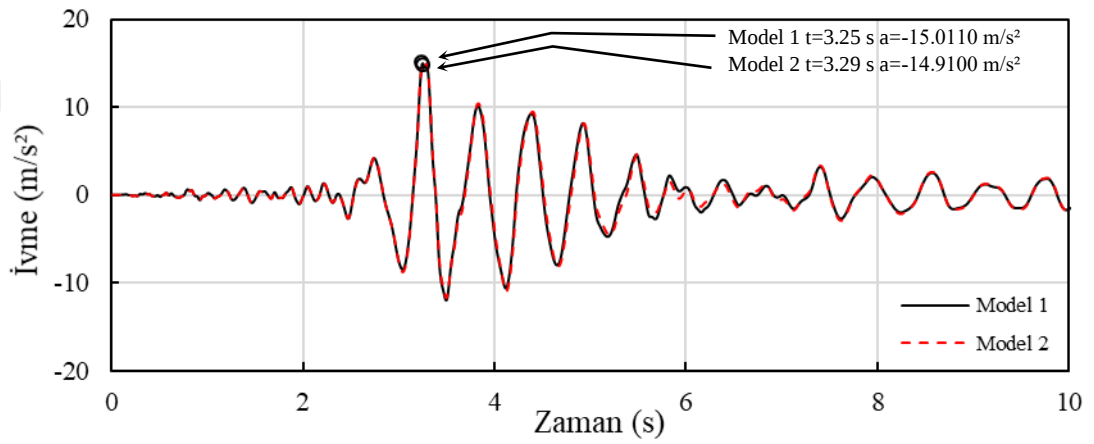
ivmeleri azalttığı ancak orta ve yüksek frekans içeriğine sahip Parkfield ve Coalinga depremlerinde ise artırdığı görülmektedir. Şekil 45~47’de 4. kat seviyesinde elde edilen ivmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Şekil 45 incelendiğinde, Model 1 için en büyük ivme 13.9860 m/s^2 iken, Model 2 için bu değer %2 artışla 14.2370 m/s^2 olmaktadır. Şekil 46 incelendiğinde, Model 1 için en büyük ivme 15.0110 m/s^2 iken, Model 2 için bu değer %1 azalışla 14.9100 m/s^2 olmaktadır. Şekil 47 incelendiğinde, Model 1 için en büyük ivme 6.4855 m/s^2 iken, Model 2 için bu değer %5 azalışla 6.1381 m/s^2 olmaktadır. Öte yandan Coalinga depreminde maksimum ivmenin meydana geldiği 2. kat seviyesi değerlendirildiğinde, Model 1 için tepki 6.9725 m/s^2 iken, Model 2 için yaklaşık %6 azalmayla 6.5475 m/s^2 olarak elde edildiği görülmektedir.



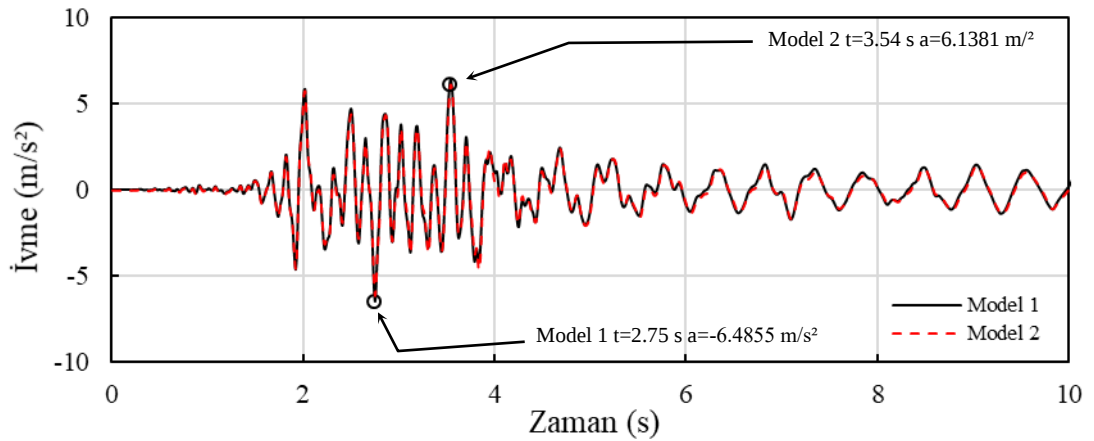
Şekil 44. S4 zemininde ivmelerin yükseklikle değişimi



Şekil 45. Erzincan depreminde S4 zemininde ivmelerin zamansal değişimi



Şekil 46. Parkfield depreminde S4 zemininde ivmelerin zamansal değişimi



Şekil 47. Coalinga depreminde S4 zemininde ivmelerin zamansal değişimi

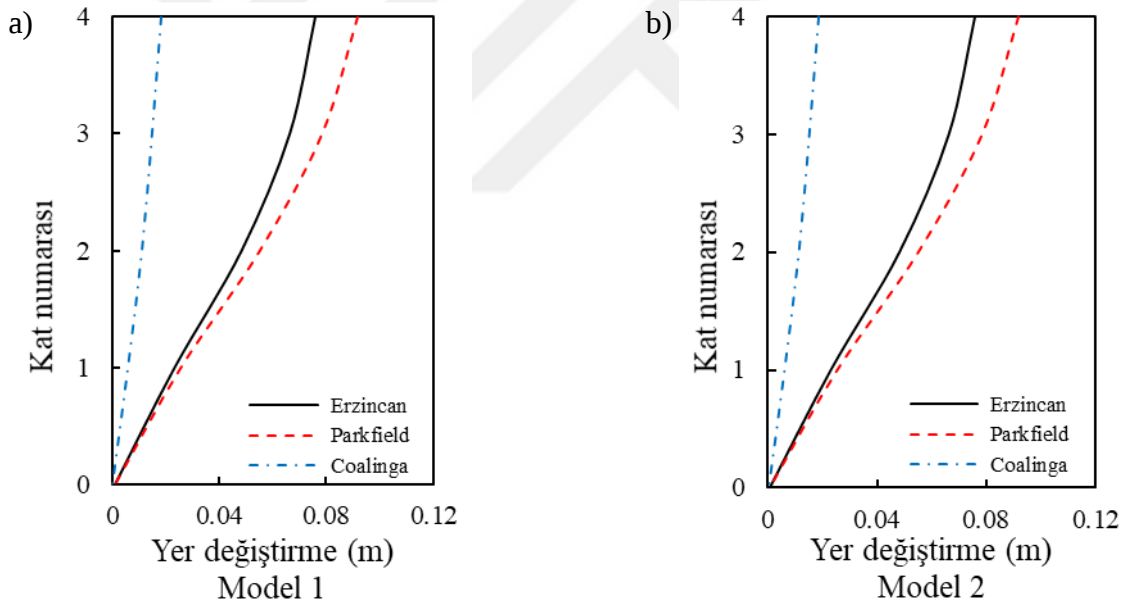
2.6. Deprem Davranışı Üzerinde Yer Hareketi Değişiminin Etkileri

Deprem yer hareketinin büyüklüğüne ve frekans içeriğine bağlı olarak yapı davranışında önemli değişimler meydana gelebilmektedir. Çalışmanın bu bölümünde düşük frekans içeriğine sahip Erzincan depremi, orta frekans içeriğine sahip Parkfield

depremi ve yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depremi dikkate alınarak yer hareketinin dinamik tepkiler üzerindeki etkileri S3 zemini koşullarında karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir.

2.6.1. Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması

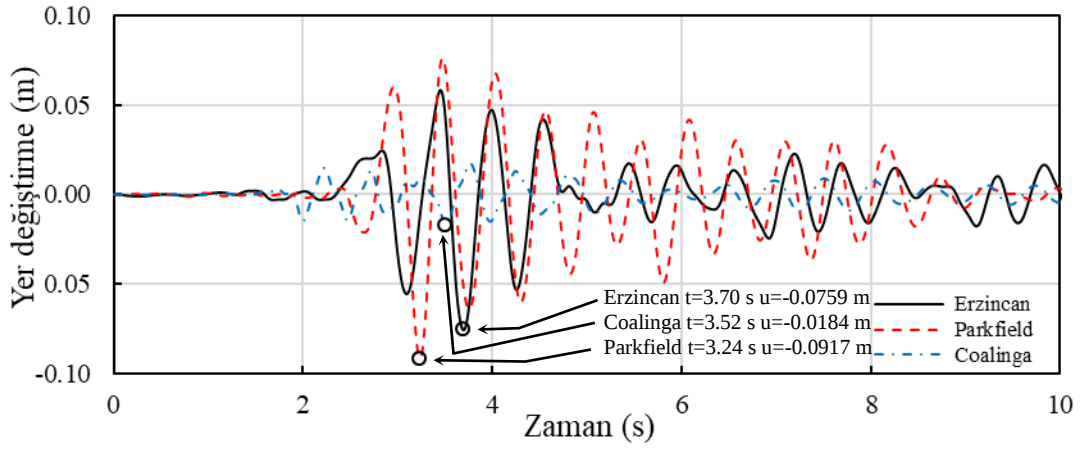
Şekil 48’de her iki model için yer değiştirmelerin yüksekliğe bağlı değişimi verilmektedir. Her iki modelde de yer değiştirmelerin tüm deprem koşullarında bina yüksekliği boyunca arttığı ve en büyük yer değiştirmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir. Bu olgudan, deprem nedeniyle oluşacak tepkilerin mertebesi açısından en büyük yer ivmesinin büyüklüğünün yegâne unsur olamayacağı ve depremin frekans içeriğinin tepkiler üzerinde oldukça baskın hale gelebileceği anlaşılmaktadır. Zira pik ivmesi 0.373 g olan orta frekans içerikli Parkfield depremi, pik ivmesi 0.489 g olan düşük frekans içerikli Erzincan depreminden daha büyük tepkilere yol açmıştır.



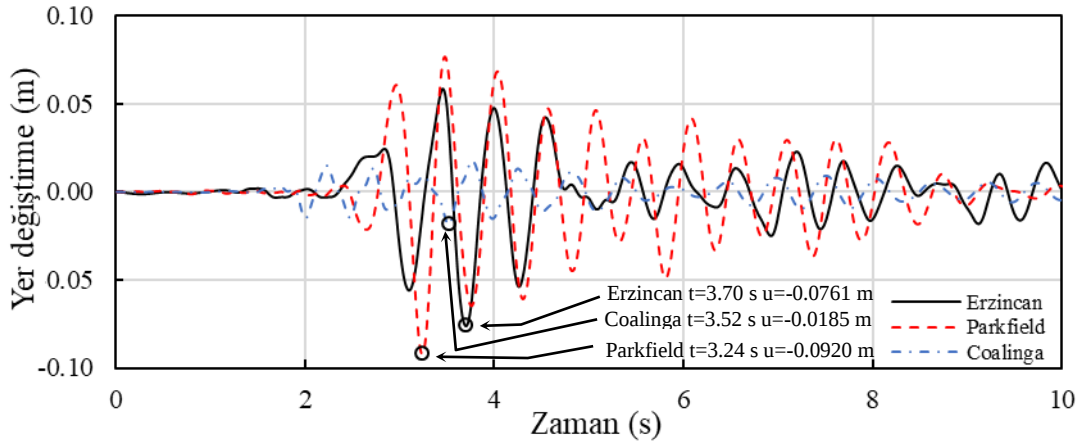
Şekil 48. S3 zemininde yer değiştirmelerin yükseklikle değişimi

Şekil 49~50’de sırasıyla Model 1 ve Model 2 için en üst kat seviyesinde elde edilen yer değiştirmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Şekil 49 incelendiğinde, Coalinga depreminde en büyük yer değiştirme 0.0184 m iken, bu tepkinin Erzincan depreminde %313 artışla 0.0759 m ve Parkfield depreminde %398 artışla 0.0917 m olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 50 incelendiğinde ise Coalinga depreminde en büyük yer değiştirme 0.0185 m iken, bu tepkinin Erzincan depreminde %311 artışla

0.0761 m ve Parkfield depreminde %397 artışla 0.0920 m olarak elde edildiği görülmektedir.



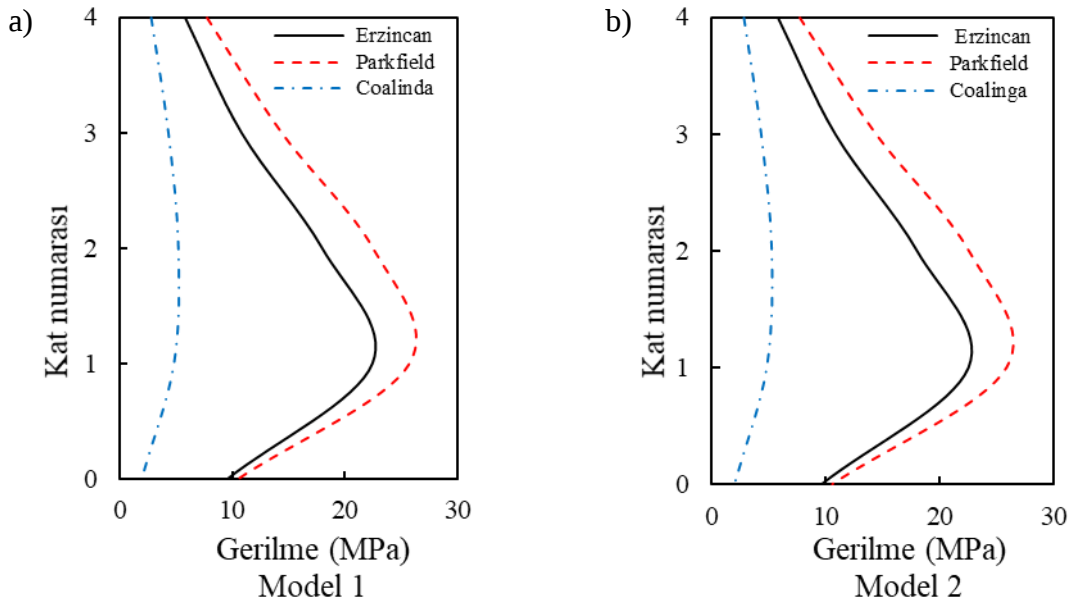
Şekil 49. Model 1 için S3 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi



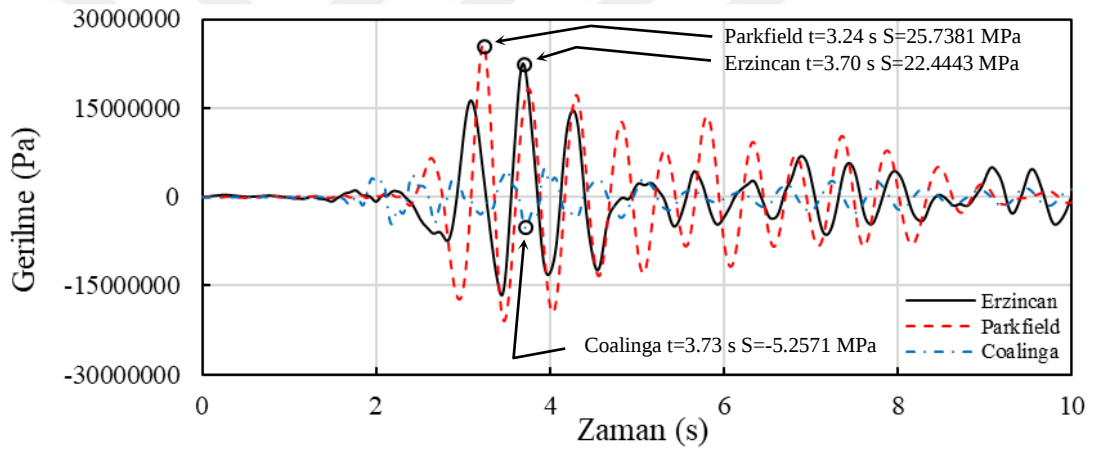
Şekil 50. Model 2 için S3 zemininde yer değiştirmelerin zamansal değişimi

2.6.2. Gerilmelerin Karşılaştırılması

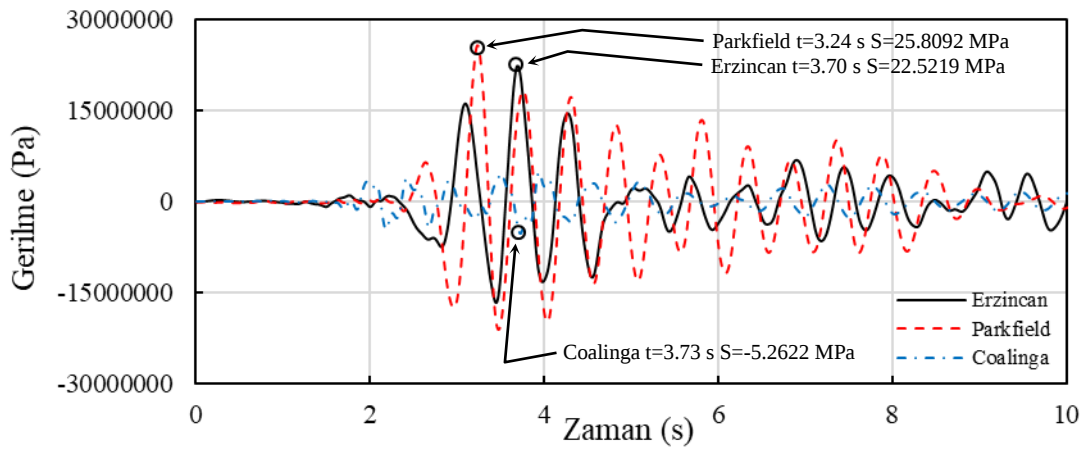
Şekil 51'de her iki model için gerilmelerin yüksekliğe bağlı değişimi verilmektedir. Yer değiştirme tepkilerine benzer şekilde, her iki modelde en büyük gerilmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 51. S3 zemininde gerilmelerin yükseklikle değişimi



Şekil 52. Model 1 için S3 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi

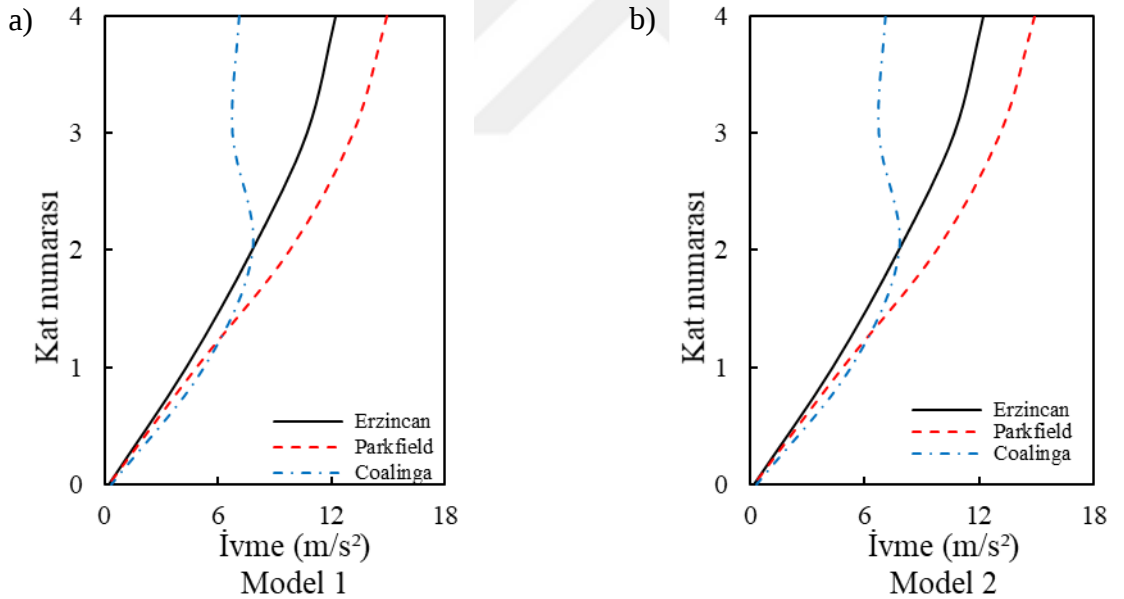


Şekil 53. Model 2 için S3 zemininde gerilmelerin zamansal değişimi

Şekil 52~53'te sırasıyla Model 1 ve Model 2 için 1. kat seviyesinde elde edilen gerilmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Şekil 52 incelendiğinde, Coalinga depreminde en büyük gerilme basınç olarak 5.2571 MPa iken, bu tepkinin Erzincan depreminde %327 artışla çekme olarak 22.4443 MPa ve Parkfield depreminde %390 artışla çekme olarak 25.7381 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 53 incelendiğinde ise Coalinga depreminde en büyük gerilme basınç olarak 5.2622 MPa iken, bu tepkinin Erzincan depreminde %328 artışla çekme olarak 22.5219 MPa ve Parkfield depreminde %390 artışla çekme olarak 25.8092 MPa olarak elde edildiği görülmektedir.

2.6.3. İvmelerin Karşılaştırılması

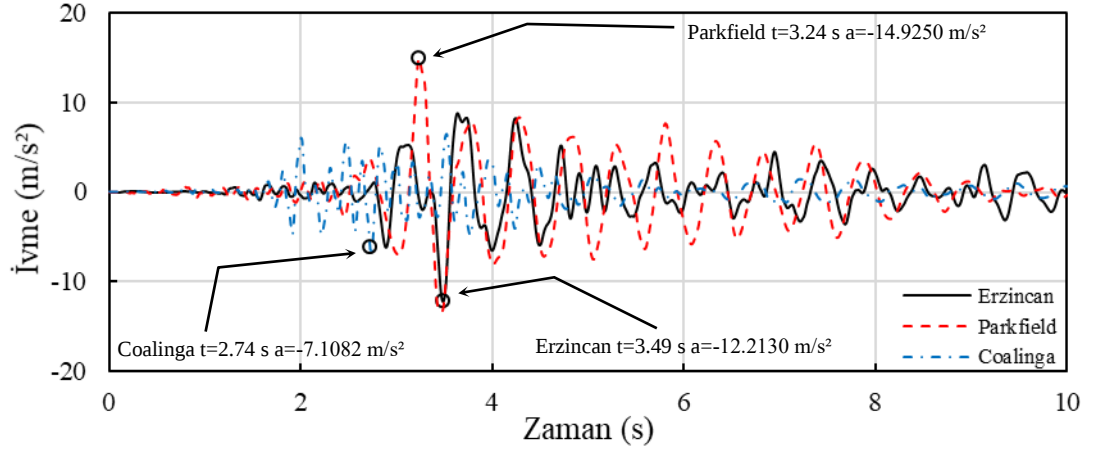
Şekil 54'te her iki model için ivmelerin yüksekliğe bağlı değişimi verilmektedir. Yer değiştirme ve gerilme tepkilerine benzer şekilde, her iki modelde en büyük ivmelerin sırasıyla Parkfield, Erzincan ve Coalinga depremlerinde meydana geldiği görülmektedir.



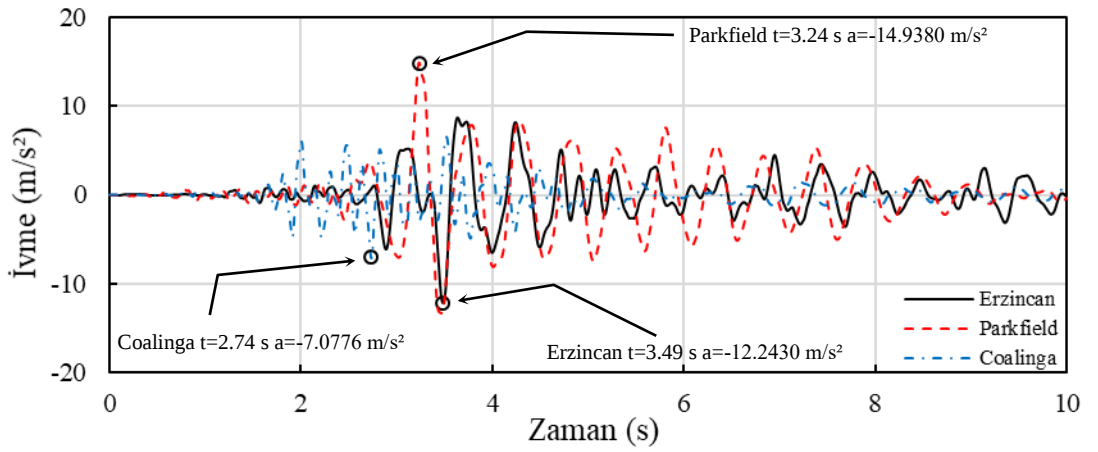
Şekil 54. S3 zemininde ivmelerin yükseklikle değişimi

Şekil 55~56'da sırasıyla Model 1 ve Model 2 için 4. kat seviyesinde elde edilen ivmelerin zamansal değişimi gösterilmektedir. Şekil 55 incelendiğinde, Coalinga depreminde en büyük ivme 7.1082 m/s² iken, bu tepkinin Erzincan depreminde %72 artışla 12.2130 m/s² ve Parkfield depreminde %110 artışla 14.9250 m/s² olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 56 incelendiğinde ise Coalinga depreminde en büyük ivme

7.0776 m/s² iken, bu tepkinin Erzincan depreminde %73 artışla 12.2430 m/s² ve Parkfield depreminde %111 artışla 14.9380 m/s² olarak elde edildiği görülmektedir.



Şekil 55. Model 1 için S3 zemininde ivmelerin zamansal değişimi



Şekil 56. Model 2 için S3 zemininde ivmelerin zamansal değişimi

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tekil temel sistemine sahip 4 katlı bir yapının sismik davranışı üzerinde zemin türünün, temel bağ kirişinin ve deprem frekans içeriğinin etkilerinin yer değiştirme, ivme ve gerilme tabanlı olarak değerlendirilmesi bu çalışmaya konu olmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Yatay yer değiştirmeler beklendiği üzere bina yüksekliği boyunca artmakta ve en büyük yer değiştirmeler son kat seviyesinde hesaplanmaktadır. Benzer şekilde zemin etkileşiminin dikkate alınmasıyla yer değiştirmelerin genel olarak artış eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir.
- Gerilmelerin maksimum değerlerinin genel olarak 1. kat seviyelerinde meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca etkileşimin dikkate alınmasıyla, düşük frekans içeriğine sahip Erzincan ve orta frekans içeriğine sahip Parkfield depremlerinde gerilmeler büyürken, yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde küçülmektedir. Bu tespit, zeminlerin dayanım ve deformasyon özelliklerinin değişimine neden olabilen yer hareketi frekans içeriğinin ve yapı mesnetlenme koşullarının birer tasarım kriteri olarak dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.
- Maksimum ivme değerleri; Erzincan ve Parkfield depremlerinde son kat seviyesinde, Coalinga depreminde ise 2. kat seviyesinde hesaplanmaktadır. Ayrıca etkileşimin göz önüne alınmasıyla, maksimum ivmeler düşük frekans içeriğine sahip Erzincan ve orta frekans içeriğine sahip Parkfield depremlerinde artarken, yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde azalmaktadır.
- Maksimum tepkilerin sırasıyla orta frekans içeriğine sahip Parkfield depreminde, düşük frekans içeriğine sahip Erzincan depreminde ve yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde hesaplandığı görülmektedir. Bu durum, düşük periyotlu yapısal sistemlerde, orta ve yüksek frekans içeriğine sahip depremlerin düşük frekans içerikli depremlere kıyasla, tepkiler üzerinde zaman zaman daha kritik olabileceğine işaret etmektedir.
- Tepkilerin mertebesi açısından maksimum yer ivmesi büyüklüğünün yegâne unsur olamayacağı ve deprem frekans içeriğinin tepkiler üzerinde oldukça baskın hale gelebileceği anlaşılmaktadır. Zira pik ivmesi 0.373 g olan orta frekans içerikli Parkfield depreminin, pik ivmesi 0.489 g olan düşük frekans içerikli Erzincan depreminden daha büyük tepkilere yol açtığı açıkça görülmektedir.

- Göz önüne alınan zeminler kayma dalgası hızları bakımından TBDY-2018'e göre değerlendirildiğinde; S1'in ZA, S2'nin ZB, S3'ün ZC ve S4'ün ZD yerel zemin sınıfına tekabül ettiği görülmektedir. TBDY-2018'de yerel zemin sınıfı ZA olan temel zeminlerinde bağ kirişlerinin yapılmayabileceği ifade edilmektedir. Bu çalışmada da bağ kirişi kullanımının S1, S2 ve S3 zemin koşullarında tepkilerde kayda değer bir değişikliğe sebep olmadığı görülmektedir. Bu bağlamda, bağ kirişlerinin rijitliği az olan zeminlerde daha etkin olabileceği öngörüsü bakımından ilgili yönetmelik koşulu ile bu çalışmadan elde edilen sonuçların örtüştüğü söylenebilir.
- S4 zemini koşullarında temel bağ kirişi kullanımının düşük ve orta frekans içeriğine sahip Erzincan ve Parkfield depremlerinde maksimum yer değiştirmeleri ve gerilmeleri azalttığı ancak yüksek frekans içeriğine sahip Coalinga depreminde ise artırdığı görülmektedir. Öte yandan, temel bağ kirişi kullanımının düşük frekans içeriğine sahip Erzincan depreminde en büyük ivmeleri azalttığı ancak orta ve yüksek frekans içeriğine sahip Parkfield ve Coalinga depremlerinde ise artırdığı görülmektedir. Bu karşılaştırmalar, temel bağ kirişi etkinliğinin deprem karakteristiklerine göre değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir.
- Taşıma gücü ve oturmalar açısından burada incelenen yapıdan daha yüksek katlı yapılarda tekil temel sisteminin kullanılması mümkün olmayabilir. Bu bağlamda, yapısal özelliklere de bağlı olarak, daha yüksek katlı yapılarda kullanılabilmesi mümkün olan sürekli temeller için bağ kirişi kullanımının etkinliği incelenebilir. Ayrıca bağ kirişlerinin etkinliği her iki yönde daha fazla açıklığa sahip yapısal sistemler için irdelenebilir.

KAYNAKÇA

- Almasmoum, A. A. (2009). Influence of tie beams on the shallow isolated eccentric footing system. *Journal of Engineering Sciences*, 37(1) 51-61.
- Ansal, A. (1999). Depremlerde yerel zemin davranışları. *Bilim ve Teknik*, 384, 64-68.
- ANSYS 13. ANSYS Inc. Canonsburg, PA; 2010.
- Araz, O., Çakır, T., Öztürk, K. F. ve Kaya, D. (2023). Effect of foundation embedment ratio in suppressing seismic-induced vibrations using optimum tuned mass damper. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 171, 107981.
- Araz, O., Öztürk, K. F. ve Çakır, T. (2024). Effect of soil-structure interaction on story acceleration response of a high-rise building. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 61(1), 42-48.
- Basha, A. M. ve Salama, M. I. (2017). Finite element analysis of tie beams under the effect of differential settlement of isolated footings. *Civil Engineering Journal*, 3(9), 650-660.
- Bhattacharya, K. ve Dutta, S. C. (2004). Assessing lateral period of building frames incorporating soil-flexibility. *Journal of Sound and Vibration*, 269, 795-821.
- 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.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2004). *Deprem mühendisliğine giriş ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. Beta Dağıtım, İstanbul.
- Ciampoli, M. ve Pinto, P. E. (1995). Effects of soil-structure interaction on inelastic seismic response of bridge piers. *Journal of Structural Engineering* 121(5), 806-814.
- Çakır, T. (2010). *Zemin-depo dış duvarı-sıvı sistemlerinin deprem davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*.
- Çakır, T. (2015). Finite element based investigation of backfill effects on seismic behavior of a cantilever wall. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 231-236.
- Çakır, T. (2017). Assessment of effect of material properties on seismic response of a cantilever wall. *Geomechanics and Engineering*, 13(4), 601-619.
- Çakır, T. ve Öztürk, K. F. (2020). An overview to the dynamic behaviour of the inverted T type cantilever retaining wall taking into account soil structure

- interaction phenomenon. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 11(1), 37-50.
- Çakır, T. ve Livaoğlu, R. (2013). Experimental analysis on FEM definition of backfill-rectangular tank-fluid system. *Geomechanics and Engineering*, 5, 165-185.
- Doğangün, A. (2021a). *Deprem-zemin ve depreme dayanıklı yapı tasarımı*. Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Doğangün, A. (2021b). *Betonarme yapıların hesap ve tasarımı*. (17. Baskı), Birsan Yayınevi, İstanbul.
- 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., Bhattacharya, K. ve Roy, R. (2004). Response of low-rise buildings under seismic ground excitation incorporating soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 893-914.
- El Ganainy, H. ve El Naggar, M. H. (2009). Seismic performance of three-dimensional frame structures with underground stories. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29(9), 1249-1261.
- El Hoseny, M., Ma, J., Dawoud, W. ve Forcellini, D. (2023). The role of soil structure interaction (SSI) on seismic response of tall buildings with variable embedded depths by experimental and numerical approaches. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 164, 107583.
- El-Samny, M. K., Ezz-Eldeen, H. A., Elbatal, S. A. ve Kamar, A. M. (2017). Effect of tie beam dimensions on vertical and horizontal displacement of isolated footing. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 6(4), 87-94).
- El Sideek, M. A. B. (2014). Effect of overlap stress as well as tie beam length and width on settlement of isolated footings using finite element. *Open Journal of Civil Engineering*, 4, 35-44.
- Farouk, H. ve Farouk, M. (2014). Effect of tie beam rigidity on strip footings. Recent Advances in Material, Analysis, Monitoring, and Evaluation in Foundation and Bridge Engineering. International Conference on Sustainable Civil Infrastructure, 20-22 July, 2014, Yichang, Hubei, China, ss. 86-93.
- Farouk, H. ve Farouk, M. (2015). Soil, foundation, and superstructure interaction (II): Superstructure and foundation's tie beams analyses. IFCEE 2015, 17-21 March, 2015, San Antonio, Texas, ss. 52-62.

- Galal, K. ve Naimi, M. (2008). Effect of soil conditions on the response of reinforced concrete tall structures to near fault earthquakes. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 17(3), 541-562.
- Gazetas, G. (1991). Formulas and charts for impedances of surface and embedded foundations. *Journal of Geotechnical Engineering*, 117 (9), 1363-1381.
- Gazioğlu, H. A. (2024). *Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak çok katlı bir yapının dinamik davranışı üzerinde zemin boyutlarının etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.*
- Ghandil, M. ve Behnamfar, F. (2015). The near-field method for dynamic analysis of structures on soft soils including inelastic soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 75, 1-17.
- 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.
- Göktepe, 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.
- Hassan, A., Isaac, R. ve Waheeb, M. (2023). Soil-structure interaction modelling of footings connected by ground tie-beams. *Journal of Advanced Engineering Trends*, 42(2), 71-86.
- Kabtanu, H. G., Peng, G. ve Chen, D. (2018). Dynamic Analysis of Soil Structure Interaction Effect on Multi Story RC Frame. *Open Journal of Civil Engineering*, 8, 426-446.
- Kamal, M. ve İnel, M. (2025). Relationship between ground motion parameters and seismic gap distances of adjacent RC frame buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 198, 109601.
- Kamal, M., İnel, M. ve Çaycı, B. T. (2022). Seismic behavior of mid-rise reinforced concrete adjacent buildings considering soil-structure interaction. *Journal of Building Engineering*, 51, 104296.
- Karakostas, C., Morfidis, K., Rovithis, E. ve Theodoulidis, N. (2022). Soil-structure interaction effects on the seismic response of a public building in Lefkas, Greece. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20(7), 3549-3575.
- Kaya, D., Çakır, T., Öztürk, K. F. ve Araz, O. (2025). Effect of frequency content of ground motion on seismic response of buildings with variable aspect ratio

- including soil-structure interaction. *Advances in Engineering Software*, 208, 103981.
- Koçak, A. ve Aydoğan, M. M. (2002). Taşıyıcı sistemi çerçevelerden oluşan yapılarda temel bağ kirişlerinin depremdeki davranışa etkisini belirlemeye yönelik bir parametrik çalışma. *Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi*, 4, 7-22.
- 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*, 26(15), 1382.
- Livaoğlu, R. ve Doğangün, A. (2007). Effect of foundation embedment on seismic behavior of elevated tanks considering fluid–structure-soil interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 27(9), 855-863.
- Lu, Y., Hajirasouliha, I. ve Marshall, A. M. (2016). Performance-based seismic design of flexible-base multi-storey buildings considering soil-structure interaction. *Engineering Structures*, 108, 90-103.
- Makhmalbaf, M. O., Alitalesh, M., Samani, M. Z. ve Tutunchian, M. A. (2011). Parametric study on displacements of buildings considering the dynamic soil-structure interaction effects. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 16, 1617-1628.
- Mylonakis, G ve Gazetas, G. (2000). Seismic soil-structure interaction: Beneficial or detrimental? *Journal of Earthquake Engineering*, 4, 277-301.
- Nashaat, A. E. S. W. (2016). Effect of tie beam length and depth of isolated footings on settlement of granular soils. *Advances in Environmental Biology*, 10(1) 122-143.
- Nashaat, A. E. S. W. (2018). Effect of tie beam dimensions on the behaviors of isolated footings under eccentric loading. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 12(2), 49-65.
- Nguyen, Q. T. B., Hwang, B. Y., Hwang, T. H. ve Kim, S. R. (2024). Effect of soil-building interaction on dynamic earth pressure on basement walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 186, 108944.
- 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.
- Önalp, A. ve Sert, S. (2016). *Geoteknik bilgisi III-Bina temelleri*. (3. Baskı), Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Öztürk, K. F. (2023). *Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak kutu menfezlerin deprem davranışının incelenmesi*. Doktora Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.

- Öztürk, K. F. (2025). Investigation of the effects of mainshock-aftershock sequences on the dynamic responses of pipeline considering soil-pipeline interaction. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 155, 106231.
- Öztürk, K. F., Çakır, T. ve Araz, O. (2022). A comparative study to determine seismic response of the box culvert wing wall under influence of soil-structure interaction considering different ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 162, 107452.
- Pane, V., Bellavita, D., Castori, G., Vecchiotti, A. ve Cecconi, M. (2020). On the interaction between spread foundations and tie-beams under eccentric loading. *Engineering Structures*, 204, 109907.
- Parlak, A. F. (2023). *Zemin-yapı etkileşimi dikkate alınarak çok katlı bir yapının dinamik davranışı üzerinde zemin kat yüksekliğinin etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.*
- 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.
- Sivrikaya, O., Türker, E., Cüre, E., Atmaca, E. E., Angin, Z., Başağa, H. B. ve Altunışık, A. C. (2025). Impact of soil conditions and seismic codes on collapsed structures during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes: An in-depth study of 400 reinforced concrete buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 190, 109119.
- 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.
- 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(11), 1259-1267.
- 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.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

- Torabi, H. ve Rayhani, M. T. (2014). Three dimensional finite element modeling of seismic soil-structure interaction in soft soil. *Computers and Geotechnics*, 60, 9-19.
- Turan, A., Hinchberger, S. D. ve El Naggar, M. H. (2013). Seismic soil-structure interaction in buildings on stiff clay with embedded basement stories. *Canadian Geotechnical Journal*, 50, 858-873.
- 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.
- Zhang, X. ve Far, H. (2022). Effects of dynamic soil-structure interaction on seismic behaviour of high-rise buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 20, 3443-3467.

ÖZGEÇMİŞ

Yücel KARABİNA ilk ve orta öğrenimini Trabzon İsmetpaşa İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2000 yılında Trabzon Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2002-2004 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü'nde öğrenim görerek mezun oldu. 2004-2008 yılları arasında Gazi Üniversitesi Yapı Öğretmenliği Bölümü'nde öğrenim görerek mezun oldu. 2017-2018 yılları arasında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde öğrenim görerek mezun oldu. 2022 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans öğrenimine başladı. Özel firmalarda inşaat sektörünün çeşitli kademelerinde çalıştı. 2009 yılında Türk Kızılay Kan Hizmetleri Genel Müdürlüğü Doğu Karadeniz Bölge Kan Merkezi Müdürlüğü'nde Bakım ve Onarım Uzmanı olarak çalışmaya başlamış olup, halen bu göreve devam etmektedir.