



**T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ ve FARKLI DUVAR GEOMETRİLERİ DİKKATE
ALINARAK KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kaşif Furkan ÖZTÜRK

**Haziran 2018
GÜMÜŞHANE**

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ ve FARKLI DUVAR GEOMETRİLERİ DİKKATE
ALINARAK KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kaşif Furkan ÖZTÜRK

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
”İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.06.2018
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 19.06.2018

HAZİRAN 2018



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Tufan ÇAKIR danışmanlığında **Kaşif Furkan ÖZTÜRK** tarafından hazırlanan **“ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ ve FARKLI DUVAR GEOMETRİLERİ DİKKATE ALINARAK KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

: Doç. Dr. Sabriye Banu İKİZLER

Üye (Danışman)

: Doç. Dr. Tufan ÇAKIR

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi Onur ARAZ

ONAY

Bu tez 21/06/18 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“Zemin-Yapı Etkileşimi ve Farklı Duvar Geometrileri Dikkate Alınarak Konsol İstinat Duvarlarının Sismik Davranışının İncelenmesi”** isimli tez çalışmada; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 04/06/2018

Kaşif Furkan ÖZTÜRK

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ZEMİN-YAPI ETKİLEŞİMİ ve FARKLI DUVAR GEOMETRİLERİ DİKKATE
ALINARAK KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ SİSMİK DAVRANIŞININ
İNCELENMESİ**

Kaşif Furkan ÖZTÜRK

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Tufan ÇAKIR

2018, 85 sayfa

İstinat duvarları çok farklı amaçlarla birçok inşaat mühendisliği uygulamasında yaygın olarak kullanılan özel mühendislik yapılarıdır. Bunlara örnek olarak; büyük miktarlarda yarma ve dolgu gerektiren yol inşaatları, kanallar ve su depoları, köprü kenar ayakları, malzeme depolama alanları, erozyon ve taşkın alanları verilebilir. İstinat duvarlarının farklı zemin koşullarında ve yükleme durumlarındaki davranışlarının belirlenmesi ve tasarım öncesi değerlendirilmesi kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca Türkiye gibi aktif deprem kuşağında bulunan ülkelerde, işlevsel olarak birçok amaca hizmet edebilen istinat duvarlarının statik davranışlarının belirlenmesi yanında, dinamik davranışlarının belirlenmesi de önemli olmaktadır.

İstinat duvarlarının sismik analizi ve tasarımı genellikle Mononobe-Okabe yöntemini esas alan sözde statik yaklaşımlarla yapılmaktadır. Mononobe-Okabe yöntemiyle istinat duvarlarına etkiyen sismik zemin basınçları, duvar arkasındaki zemin kamasına etkiyen kuvvetlerin dengesinden elde edilmekte ve bu yöntemde dalga yayılım etkileri ile zemin-yapı etkileşimi dikkate alınmamaktadır. Ancak istinat duvarlarının dolgu ve temel zemini ile olan etkileşimleri ve dalga yayılım etkileri bu yapıların deprem davranışlarını oldukça karmaşık bir probleme dönüştürmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, zemin-yapı etkileşimini ve farklı duvar geometrilerini dikkate alarak dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sistemlerinin farklı yer hareketleri etkisi altında sismik davranışını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, dört farklı temel zemini koşulu, üç farklı duvar geometrisi ve iki farklı deprem yer hareketi dikkate alınarak zaman ortamında sonlu elemanlar yöntemine dayalı sismik çözümlemeler gerçekleştirilmiştir. Çözümlemelerde 1999 Kocaeli Depremi Yarımca kaydı Kuzey-Güney bileşeni ve 1989 Loma Prieta Depremi Hollister-South & Pine kaydı HSP000 bileşeni dikkate alınmıştır.

Bu çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde istinat duvarları, malzemelerin doğrusal olmayan davranışı, zemin-yapı etkileşimi hakkında genel bilgiler ile çalışmanın amacı ve kapsamı sunulmaktadır. İkinci bölümde, dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sistemleri için önerilen sayısal modeller tanıtılmakta ve bu sistemlerin dinamik çözümlemeleri gerçekleştirilmektedir. Üçüncü bölümde, çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmektedir. Bu bölümü kaynaklar listesi ve özgeçmiş izlemektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada, konsol istinat duvarlarının sismik davranışının zemin-yapı etkileşimine, duvar geometrisine ve deprem frekans içeriğine bağlı olarak önemli mertebelerde değişebileceği görülmüştür. Ayrıca duvar kesitinin ve zemin etkileşiminin duvara etkiyen dinamik zemin basınçlarının büyüklüğünü etkileyebileceği belirlenmiştir. Bu bağlamda, gerçekçi ve güvenilir bir tasarım için bu etkilerin tasarım aşamasında dikkate alınması gerektiği ifade edilebilir.

Anahtar Kelimeler: Dalga Yayılımı, Deprem Frekans İçeriği, Konsol İstinat Duvarı, Sismik Davranış, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Zemin-Yapı Etkileşimi

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF SEISMIC BEHAVIOR OF CANTILEVER RETAINING WALLS CONSIDERING SOIL-STRUCTURE INTERACTION and DIFFERENT WALL GEOMETRIES

Kaşif Furkan ÖZTÜRK

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tufan ÇAKIR

2018, 85 pages

Retaining walls are special engineering structures that are used in many applications of Civil Engineering with many different goals. Highways embankments, in which a significant amount of earthwork is required, canals and water tanks, bridge abutments, material depository fields, and erosion and flood control are some of the most common engineering applications where retaining walls are used. Determination of behavior of retaining walls under different soil conditions and loading cases, and evaluation of their behavior prior to design are of critical importance. Moreover, in the countries located in active earthquake zone such as Turkey, in addition to the determination of static behavior, determination of the dynamic behavior of retaining walls which are used for many engineering fields is also important.

In general, seismic analysis and design of retaining walls are carried out with pseudo static approaches based on Mononobe-Okabe method. Seismic soil pressures acting on retaining walls are obtained using the equilibrium of forces on the soil wedge behind the retaining wall by means of Mononobe-Okabe method. Wave propagation effects and soil-structure interaction are not considered in this method. However, the interactions of retaining walls with backfill and foundation soil, and wave propagation effects convert the earthquake behaviors of these structures into a rather complex problem. The main purpose of this study is to investigate seismic behavior of backfill-cantilever retaining wall-foundation/soil systems under different ground motions considering soil-structure interaction and different wall geometries. In line with this aim, seismic analyses based on finite element method in time domain were carried out considering four different foundation soil conditions, three different wall geometries, and two different earthquake ground motions. In the analyses, North-South component of the 1999 Kocaeli Earthquake recorded in Yarimca station, and HSP000 component of the 1989 Loma Prieta Earthquake recorded in Hollister-South & Pine station were taken into consideration.

The study consists of three chapters. In the first chapter, general information about retaining walls, nonlinear behavior of materials, soil-structure interaction, and the aim and scope of the study are presented. In the second chapter, the numerical models proposed for backfill-cantilever retaining wall-foundation/soil systems are introduced, and dynamic analyses of these systems are fulfilled. In the third chapter, conclusions obtained from the study and suggestions are given. This chapter is followed by references list and autobiography.

Finally, in this study, it was seen that the seismic behavior of cantilever retaining walls can change significantly depending on soil-structure interaction, wall geometry and earthquake frequency content. It was also determined that wall section and soil interaction can affect the magnitude of the dynamic soil pressures acting on the wall. In this connection, it can be stated that these effects should be taken into consideration in design process for realistic and reliable design.

Key Words: Cantilever Retaining Wall, Earthquake Frequency Content, Finite Element Method, Seismic Behavior, Soil-Structure Interaction, Wave Propagation

TEŞEKKÜR

“Zemin-yapı etkileşimi ve farklı duvar geometrileri dikkate alınarak konsol istinat duvarlarının sismik davranışının incelenmesi” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarım süresince en meşgul olduğu dönemlerde bile bana zaman ayıran, tezin planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamada değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, iyi niyeti, hoşgörüsü, güler yüzü ile çalışmalarına destek olarak yön veren kıymetli danışman hocam Doç. Dr. Tufan ÇAKIR’a şükran ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım süresince maddi-manevi desteklerini sürekli yanımda hissettiğim, başaracağıma dair inanç ve güvenlerini hiçbir zaman eksik etmeyen eşim Gizem ÖZTÜRK’e, annem Ayşe Meleke ÖZTÜRK’e, babam Gürsel ÖZTÜRK’e ve ablam Kübra Perçem ÖZTÜRK’e sonsuz sevgilerimi sunarım. Ayrıca analizlerim boyunca gerek bakış açılarıyla gerekse her türlü destekleriyle yardımlarını esirgemeyen dostlarım ve çalışma arkadaşlarım Arş Gör. İlker ERKAN’a ve Arş Gör. Halil ANAÇ’a sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Kaşif Furkan ÖZTÜRK

Gümüşhane, 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ	XVI
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XVII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. İstinat Duvarları ve Kullanım Alanları	2
1.3. İstinat Duvarı Hasarları	6
1.4. Malzemelerin Doğrusal Olmayan Davranışı	8
1.5. Zemin-Yapı Etkileşimi	13
1.6. Literatür Araştırması	16
1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	22
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR ve İRDELEME	24
2.1. Oluşturulan Sayısal Modeller	25
2.2. Ters T Kesitli İstinat Duvarının Sismik Davranışının Değerlendirilmesi	29
2.2.1. Ters T Kesitli İstinat Duvarı İçin Gerilmelerin İrdelenmesi	30
2.2.2. Ters T Kesitli İstinat Duvarı İçin Yatay Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi	35
2.3. L Kesitli İstinat Duvarının Sismik Davranışının Değerlendirilmesi	37
2.3.1. L Kesitli İstinat Duvarı İçin Gerilmelerin İrdelenmesi	39
2.3.2. L Kesitli İstinat Duvarı İçin Yatay Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi	43
2.4. Dişli İstinat Duvarının Sismik Davranışının Değerlendirilmesi	45
2.4.1. Dişli İstinat Duvarı İçin Gerilmelerin İrdelenmesi	47
2.4.2. Dişli İstinat Duvarı İçin Yatay Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi	51
2.5. Konsol İstinat Duvarlarının Sismik Davranışı Üzerinde Duvar Geometrisi Etkilerinin Değerlendirilmesi	52
2.5.1. S2 Zemin Sistemi İçin Duvar Geometrisi Etkilerinin İrdelenmesi	53
2.5.2. S3 Zemin Sistemi İçin Duvar Geometrisi Etkilerinin İrdelenmesi	56
2.5.3. S4 Zemin Sistemi İçin Duvar Geometrisi Etkilerinin İrdelenmesi	60

2.6. Konsol İstinat Duvarlarının Sismik Davranışı Üzerinde Farklı Yer Hareketi Etkilerinin Değerlendirilmesi.....	64
2.6.1. DUVAR-1 İçin Farklı Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi.....	67
2.6.2. DUVAR-2 İçin Farklı Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi.....	70
2.6.3. DUVAR-3 İçin Farklı Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi.....	74
3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	77
4. KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ.....	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	İstinat duvarlarının sınıflandırılması.....	2
Şekil 1.2.	Geleneksel istinat duvarları	3
Şekil 1.3.	Sıklıkla karşılaşılan betonarme konsol istinat duvarı kesitleri	4
Şekil 1.4.	İstinat duvarlarının genel kullanım yerleri ((a) ve (b) yamaç yolları, (c) büyük dolgu gerektiren yollar, (d) büyük yarma gerektiren yollar, (e) zemin tutma, (f) kanallar, (g) taşkın duvarları, (h) köprü kenar ayakları).....	5
Şekil 1.5.	İstinat yapılarında meydana gelen hasarlara örnekler	7
Şekil 1.6.	Katı bir cismin gerilme-şekil değiştirme eğrisi	8
Şekil 1.7.	Çeşitli malzemeler için gerilme-şekil değiştirme ilişkileri (Çakıroğlu ve Özer, 1980).....	9
Şekil 1.8.	Bazı ideal malzemeler.....	10
Şekil 1.9.	Farklı kırılma kriterleri için asal gerilme uzayında izotropik akma yüzeyleri (Chen ve Mizuno, 1990).	11
Şekil 1.10.	a) Üç boyutlu asal gerilme uzayında, b) İki boyutlu asal gerilme düzleminde Drucker-Prager kriteri (Chen ve Mizuno, 1990)	12
Şekil 2.1.	Çözümlemelerde dikkate alınan konsol istinat duvarı kesitleri.....	25
Şekil 2.2.	Ters T kesitli konsol istinat duvarı için sonlu elamanlar modeli.....	26
Şekil 2.3.	L kesitli konsol istinat duvarı için sonlu elamanlar modeli.....	26
Şekil 2.4.	Dişli konsol istinat duvarı için sonlu elamanlar modeli	27
Şekil 2.5.	17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Yarımca ivme kaydı Kuzey-Güney bileşeni.....	28
Şekil 2.6.	Ters T kesitli duvarda en büyük tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları.....	30
Şekil 2.7.	Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	31
Şekil 2.8.	Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	31
Şekil 2.9.	Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	32
Şekil 2.10.	Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	32

Şekil 2.11. Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	33
Şekil 2.12. Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	34
Şekil 2.13. Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	34
Şekil 2.14. Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	35
Şekil 2.15. Ters T kesitli istinat duvarı yüksekliği boyunca elde edilen yatay yer değiştirmeler	36
Şekil 2.16. Ters T kesitli istinat duvarı tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	37
Şekil 2.17. L kesitli duvarda en büyük tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları	38
Şekil 2.18. L kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	39
Şekil 2.19. L kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	40
Şekil 2.20. L kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	40
Şekil 2.21. L kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	41
Şekil 2.22. L kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	42
Şekil 2.23. L kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	42
Şekil 2.24. L kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	43
Şekil 2.25. L kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.....	43
Şekil 2.26. L kesitli istinat duvarı yüksekliği boyunca elde edilen yatay yer değiştirmeler	44
Şekil 2.27. L kesitli istinat duvarı tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi	45
Şekil 2.28. Dişli duvarda en büyük tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları	46

Şekil 2.29. Dişli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	47
Şekil 2.30. Dişli istinat duvarı ön yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	47
Şekil 2.31. Dişli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	48
Şekil 2.32. Dişli istinat duvarı arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	48
Şekil 2.33. Dişli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	49
Şekil 2.34. Dişli istinat duvarı ön yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	50
Şekil 2.35. Dişli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	50
Şekil 2.36. Dişli istinat duvarı arka yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	51
Şekil 2.37. Dişli istinat duvarı yüksekliği boyunca elde edilen yatay yer değiştirmeler	52
Şekil 2.38. Dişli istinat duvarı tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi	52
Şekil 2.39. S2 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	54
Şekil 2.40. S2 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	54
Şekil 2.41. S2 zemin sistemi için yatay yer değiştirmelerin yüksekliği boyunca değişimi.	55
Şekil 2.42. S2 zemin sistemi için duvar tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi	55
Şekil 2.43. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	57
Şekil 2.44. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	57
Şekil 2.45. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	58
Şekil 2.46. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	58
Şekil 2.47. S3 zemin sistemi için yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi..	59

Şekil 2.48. S3 zemin sistemi için duvar tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	59
Şekil 2.49. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	61
Şekil 2.50. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilme değerlerinin zamana bağlı değişimi	61
Şekil 2.51. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	62
Şekil 2.52. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi	62
Şekil 2.53. S4 zemin sistemi için yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi..	63
Şekil 2.54. S4 zemin sistemi için duvar tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	63
Şekil 2.55. 1989 Loma Prieta depremi HSP000 bileşeni.....	65
Şekil 2.56. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-1 için arka yüz köşe noktada z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	67
Şekil 2.57. S4 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-1 için arka yüz orta noktada x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi.	68
Şekil 2.58. DUVAR-1 için iki farklı yer hareketi etkisi altında a) S2 zemin sisteminde, b) S3 zemin sisteminde yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi	69
Şekil 2.59. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-1 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	70
Şekil 2.60. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-1 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	70
Şekil 2.61. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-2 için arka yüz orta noktada x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	71
Şekil 2.62. S1 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-2 için ön yüz köşe noktada y doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	71
Şekil 2.63. DUVAR-2 için iki farklı yer hareketi etkisi altında a) S2 zemin sisteminde, b) S4 zemin sisteminde yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi	72
Şekil 2.64. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-2 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	73

Şekil 2.65. S4 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-2 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	73
Şekil 2.66. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-3 için arka yüz orta noktada z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	74
Şekil 2.67. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-3 için ön yüz köşe noktada z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi	74
Şekil 2.68. DUVAR-3 için iki farklı yer hareketi etkisi altında a) S2 zemin sisteminde, b) S4 zemin sisteminde yatay değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi	75
Şekil 2.69. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-3 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	76
Şekil 2.70. S4 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-3 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi.....	76

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Çözümlemelerde dikkate alınan temel zemini özellikleri	25
Tablo 2.2. Ters T kesitli konsol istinat duvarı için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları.....	29
Tablo 2.3. L kesitli konsol istinat duvarı için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları.....	38
Tablo 2.4. Dişli konsol istinat duvarı için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları.....	46
Tablo 2.5. Loma Prieta depremi etkisi altında DUVAR-1 için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları	65
Tablo 2.6. Loma Prieta depremi etkisi altında DUVAR-2 için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları	66
Tablo 2.7. Loma Prieta depremi etkisi altında DUVAR-3 için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları	66

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

c	: Zeminin kohezyonu
DUVAR_1	: Dişli konsol istinat duvarı
DUVAR_2	: L kesitli istinat duvarı
DUVAR_3	: Ters T kesitli istinat duvarı
E	: Elastisite modülü
E_c	: Hacimsel elastisite modülü
(f)	: Akma yüzeyi fonksiyonu
G	: Kayma modülü
I_1	: Gerilme tansörünün 1. İnvariantı
J_2	: Deviator gerilmenin 2. İnvariantı
S_x (arka köşe)	: Duvar arka yüzü köşe noktasında x doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_y (arka köşe)	: Duvar arka yüzü köşe noktasında y doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_z (arka köşe)	: Duvar arka yüzü köşe noktasında z doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_x (arka orta)	: Duvar arka yüzü orta noktasında x doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_y (arka orta)	: Duvar arka yüzü orta noktasında y doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_z (arka orta)	: Duvar arka yüzü orta noktasında z doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_x (ön köşe)	: Duvar ön yüzü köşe noktasında x doğrultularındaki en büyük gerilmeler
S_y (ön köşe)	: Duvar ön yüzü köşe noktasında y doğrultularındaki en büyük gerilmeler
S_z (ön köşe)	: Duvar ön yüzü köşe noktasında z doğrultularındaki en büyük gerilmeler
S_x (ön orta)	: Duvar ön yüzü orta noktasında z doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_y (ön orta)	: Duvar ön yüzü orta noktasında z doğrultusundaki en büyük gerilmeler
S_z (ön orta)	: Duvar ön yüzü orta noktasında z doğrultusundaki en büyük gerilmeler
t	: Zaman
u_t	: İstinat duvarı tepe noktasının yatay yer değiştirmesi
ν	: Poisson oranı
ν_p	: Zemin sisteminin boyuna dalga hızı
ν_s	: Zemin sisteminin kayma dalgası hızı
α, k	: Drucker-Prager kriteri için malzeme sabitleri
ε_a	: Elastik şekil değiştirme
ε_p	: Plastik şekil değiştirme
ε_x	: x doğrultusundaki şekil değiştirme
σ	: Normal gerilme
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ρ	: Zemin yoğunluğu
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
ψ	: Genleşme açısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

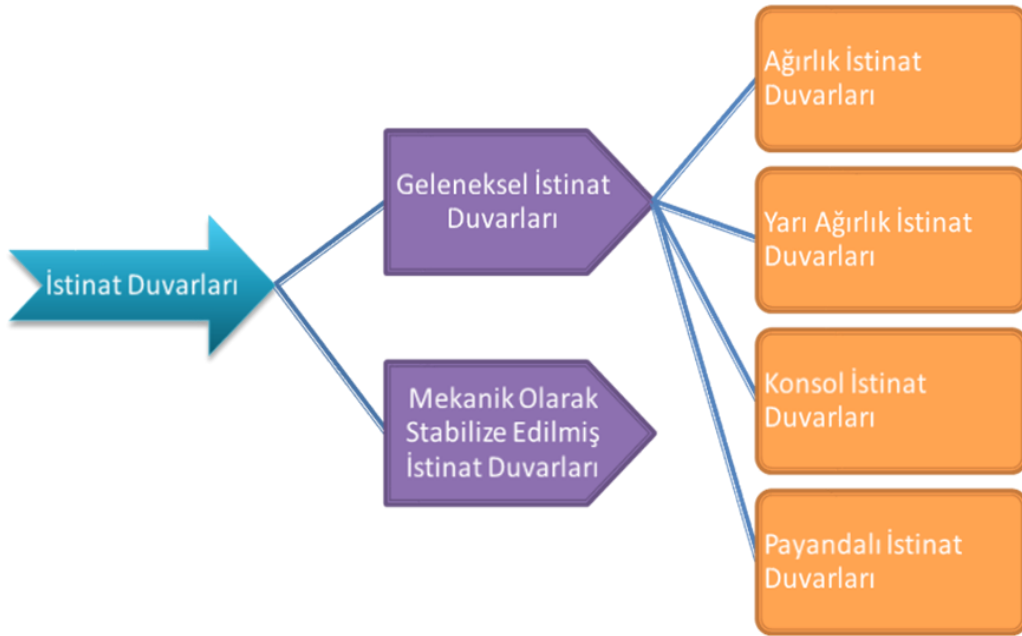
Ülkemiz sahip olduğu konum ve jeolojik, jeomorfolojik, meteorolojik ve sismolojik özellikleri nedeniyle deprem, sel, heyelan, çığ, orman yangını gibi afetlerle sıklıkla karşılaşmakta, bu afetlerin yıkıcı etkileriyle yüzleşmekte ve can kaybı ile birlikte önemli oranlarda fiziksel, sosyal ve ekonomik kayıplara uğramaktadır. Bu afetlerden özellikle depremler mühendislik yapılarına büyük hasarlar vermekte ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Bu nedenle yapı sistemlerinin depremi mümkün olabilecek en az hasar ile atlatmaları ve deprem sonrasında da işlevlerini yerine getirebilmeleri toplumlar için büyük önem arz etmektedir (Öztürk ve Çakır, 2017).

Günümüz Türkiye'sinde deprem tehlikesi toplumun tüm kesimleri tarafından anlaşılabilmekte, bu da deprem mühendisliği açısından karşılaşılan problemlerin çözümüne oldukça katkı sağlamaktadır. Aktif deprem kuşağında bulunan ülkemizde yaşanan depremler, hızla artan nüfus, kentlere göç ve sürekli yeni yerleşim alanlarının oluşturulması, mevcut yerleşim alanlarının yenilenmesi, mühendislik yapılarında yeni yöntem ve teknolojilerin uygulanmasındaki hızlı gelişmeler ve artan yapı stoku deprem mühendisliği alanındaki sorunları hızla artırmaktadır. Deprem mühendisliği çalışmalarından beklenen sonuç ise geoteknik, sismik, jeofizik ve yapısal bilgilerin kullanılarak depreme dayanıklı ve güvenli yapı tasarımı ve inşasıdır (Siyahi vd., 2011).

Dünyanın birçok ülkesinde, mühendislik yapıları bu yapıların etkisinde kalabileceği statik ve dinamik yükler öngörülerek tasarlanmaktadır. Statik yükler öncelikli olarak yapının kendi öz ağırlığını ve hizmet ettiği işe bağlı olarak yapıya etkiyecek statik yükleri taşıması sağlanacak şekilde hesaba katılırken dinamik yükler bölgedeki deprem geçmişine ve bulunduğu deprem bölgesine bağlı olarak güvenlik katsayılarının artırılmasıyla hesaba dahil edilmektedir. Statik yüklere nazaran deprem gibi dinamik yüklerin büyüklüğü ve süresinin kestirilmesi neredeyse mümkün olmadığından özellikle yapılarda kuvvetlerin kesitleri zorlaması beklenen yerlerinde taşıma gücünün belirlenmesi ve sürekliliğin sağlanması büyük önem arz etmektedir (Celep, 2017).

1.2. İstinat Duvarları ve Kullanım Alanları

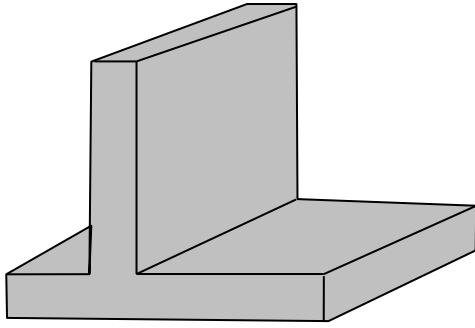
İnşaat mühendisliği uygulamalarında sık sık farklı kotlarda bulunan iki zemin düzeyi arasındaki bağlantı ile ilgili problemlerle karşılaşilmektedir. Farklı kotlar arasında düşey veya düşeye yakın bir açıyla geçiş istendiğinde bu amacı gerçekleştirmek üzere istinat yapıları inşa edilmektedir. Kalıcı birer yapı elemanı olarak tasarımı yapılan istinat yapılarının geleneksel olarak; ağırlık (taş) duvarlar, yarı ağırlık duvarlar (beton) ve konsol (betonarme) duvarlar olmak üzere üç türü mevcuttur (Şekil 1.1). Konsol istinat duvarlarında yüksekliğin fazla olması halinde daha ekonomik kesitlerle çözüm sunabilmek maksadıyla duvar arkası veya önünde duvarın gövde ve taban plağını birleştiren ve bu plaklarla monolitik olarak çalışan payandalar oluşturulabilir (Şekil 1.2).



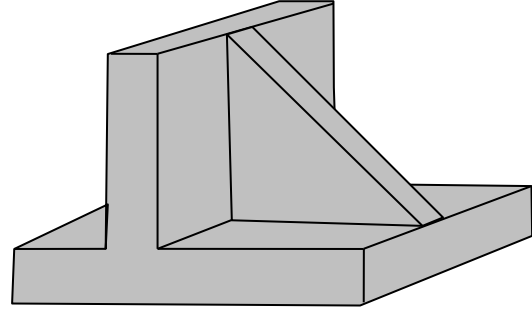
Şekil 1.1. İstinat duvarlarının sınıflandırılması

Ağırlık istinat duvarları günümüzde çoğunlukla; bahçe, otopark ve bina çevrelerinde, yol kenarlarında şev destek elemanları olarak kullanılmaktadır. Bu duvar tipinin sıklıkla tercih edilme sebeplerinin başında ekonomik etkenler gelmektedir. Özellikle kaya ortamların sıklıkla karşılaşıldığı coğrafi bölgelerde, inşaat için yapılan kazı çalışmaları sonucu ortaya çıkan kaya zeminlerin değerlendirilmesi bu duvar sistemleriyle karşılanmaktadır. Diğer istinat duvarlarının aksine taş duvar yapım aşamalarında özellikle harç işçiliği büyük öneme

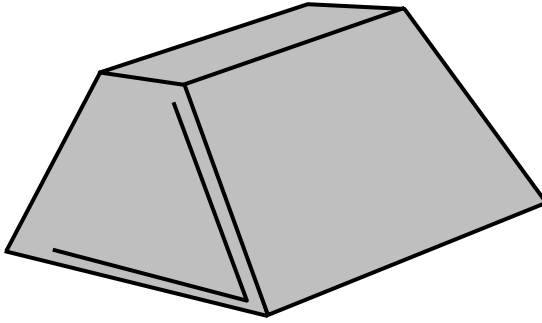
sahip olup yapıldıktan sonra belli dönem aralıklarında bakım gerektirmektedir. Temel zemin sistemlerinin sağlam zemine oturmaması, drenaj sistemlerinin oluşturulmaması ve yeterli dolgu malzemesinin kullanılmamasına ek olarak killi zemin çeşitlerinin dolgu malzemesi olarak kullanılması taş ağırlık duvarlarında geri dönüşmesi güç hasarlar oluşturabilmektedir.



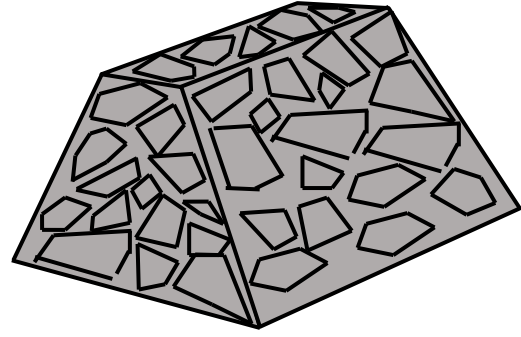
a) Konsol İstinat Duvarı



b) Payandalı İstinat Duvarı



c) Yarı Ağırlık İstinat Duvarı



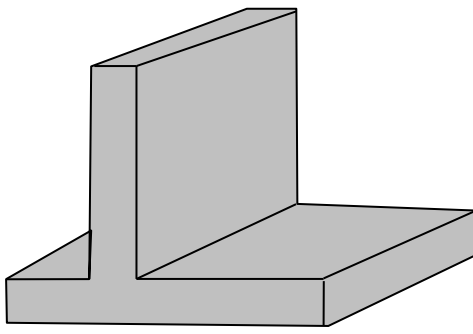
d) Ağırlık(Taş) İstinat Duvarı

Şekil 1.2. Geleneksel istinat duvarları

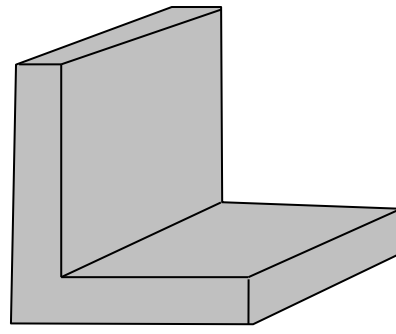
Taş istinat duvarlarına kıyasla yarı ağırlık istinat duvarları ekonomiklik kriteri sebebiyle daha özel durumlarda kullanılmaktadır. Bu duvar çeşidinde büyük hacimlerde beton kullanılması sebebiyle, duvar boyutunu küçültmek ve çekme gerilmelerini almak için duvar arka yüzüne donatı yerleştirilmektedir. Kullanım alanları beton maliyeti sebebiyle taş ağırlık duvarlara kıyasla kısıtlı olmakla beraber genellikle imalat ve su yalıtımı kolaylığı sebebiyle tercih edilirler.

Konsol istinat duvarları günümüzde en çok kullanılan istinat yapılarındanıdır. Bu yapılar genellikle yol kenarlarında, köprü ayaklarında, bahçelerde, yeraltı su depolarında ve şev önlerinde basamak oluşturularak veya tek düze şekilde imal edilmektedir. Konsol istinat duvarları için öngörülen optimum yükseklik 6~8 m olmakla birlikte bu durum duvar

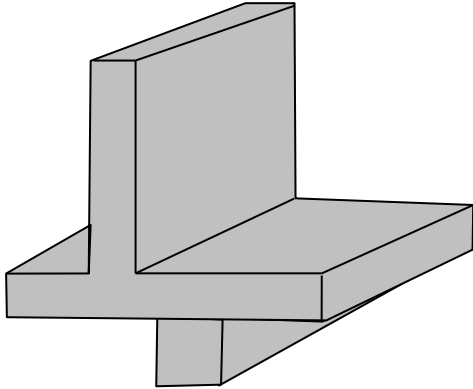
geometrisine ve hizmet amacına göre değişebilmektedir. Konsol istinat duvarları, duvar geometrisi gereği statik açıdan taban plağındaki arka konsol üzerine binen yük vasıtasıyla statik dengelerini sağlamaktadırlar. Burada tasarımcı karşılaşacağı sahaya özel problemlerde duvar geometrisinde bazı değişiklikler yapma yoluna gidebilmektedir. Bu değişiklikler genelde; taban plağına ön konsol eklemek, gömülme derinliğini artırmak, taban plağına dış eklemek, gövde plağına hafifletme konsolu eklemek gibi dengeyi artırıcı unsurlardan oluşmaktadır. Bu bağlamda Şekil 1.3’de sıklıkla karşılaşılan betonarme konsol istinat duvarı kesitleri gösterilmektedir.



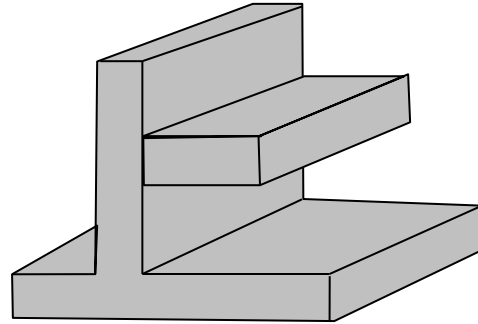
a) Ters T Kesitli İstinat Duvarı



b) L Kesitli İstinat Duvarı



c) Dişli İstinat Duvarı

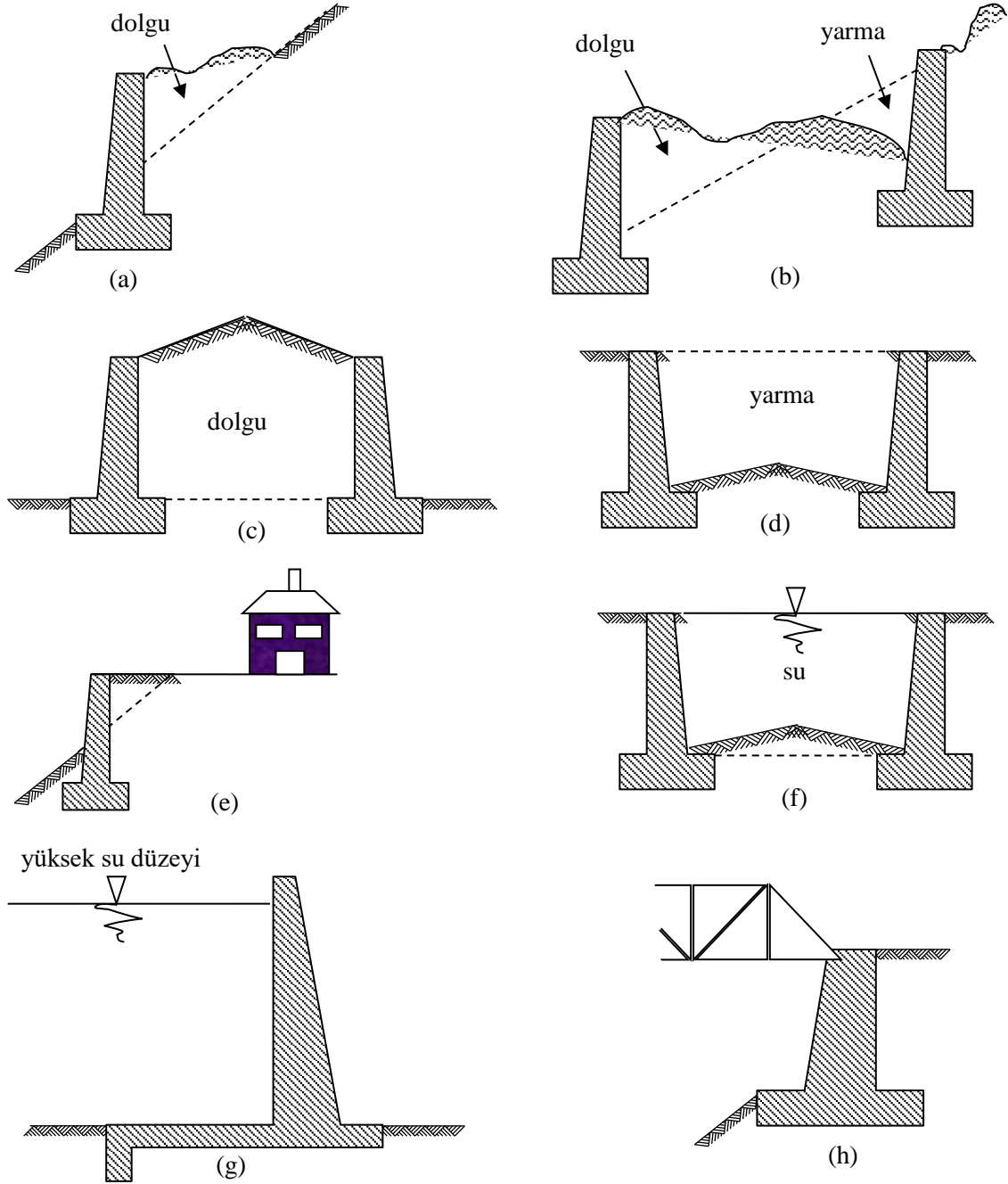


d) Hafifletme (Eşik) Konsollu İstinat Duvarı

Şekil 1.3. Sıklıkla karşılaşılan betonarme konsol istinat duvarı kesitleri

Payandalı istinat duvarları konsol istinat duvarlarıyla benzer olmakla birlikte, konsol istinat duvarı yüksekliğinin ekonomiklik ve güvenilirlik anlamında optimum sınır olan 6~8 m’yi aşması durumunda gövde plağına belirli aralıklarla payanda (destek) yerleştirilmesi suretiyle oluşturulmaktadır. Kullanım alanları konsol istinat duvarlarına göre kısıtlı olmakla beraber kullanım için tercih edildiği yerler arasında; sulama yapıları, havuzlar, karayolu ve demiryolu yapıları bulunmaktadır.

İstinat duvarı seçiminde dikkat edilmesi gereken temel husus; tasarımcının yapının hizmet edeceği sınıfa uygun ve ekonomik seçim yapmasıdır. Özellikle düz ve sağlam zeminli bölgelerin hızlı kentleşme süreci nedeniyle gün geçtikçe azalması dolgu ve yarma işlemlerindeki artışla beraber insanları istinat yapılarına her geçen gün daha çok mecbur bırakmaktadır. İstinat duvarlarının kullanım yerlerine örnekler Şekil 1.4’de gösterilmektedir.



Şekil 1.4. İstinat duvarlarının genel kullanım yerleri ((a) ve (b) yamaç yolları, (c) büyük dolgu gerektiren yollar, (d) büyük yarma gerektiren yollar, (e) zemin tutma, (f) kanallar, (g) taşkın duvarları, (h) köprü kenar ayakları)

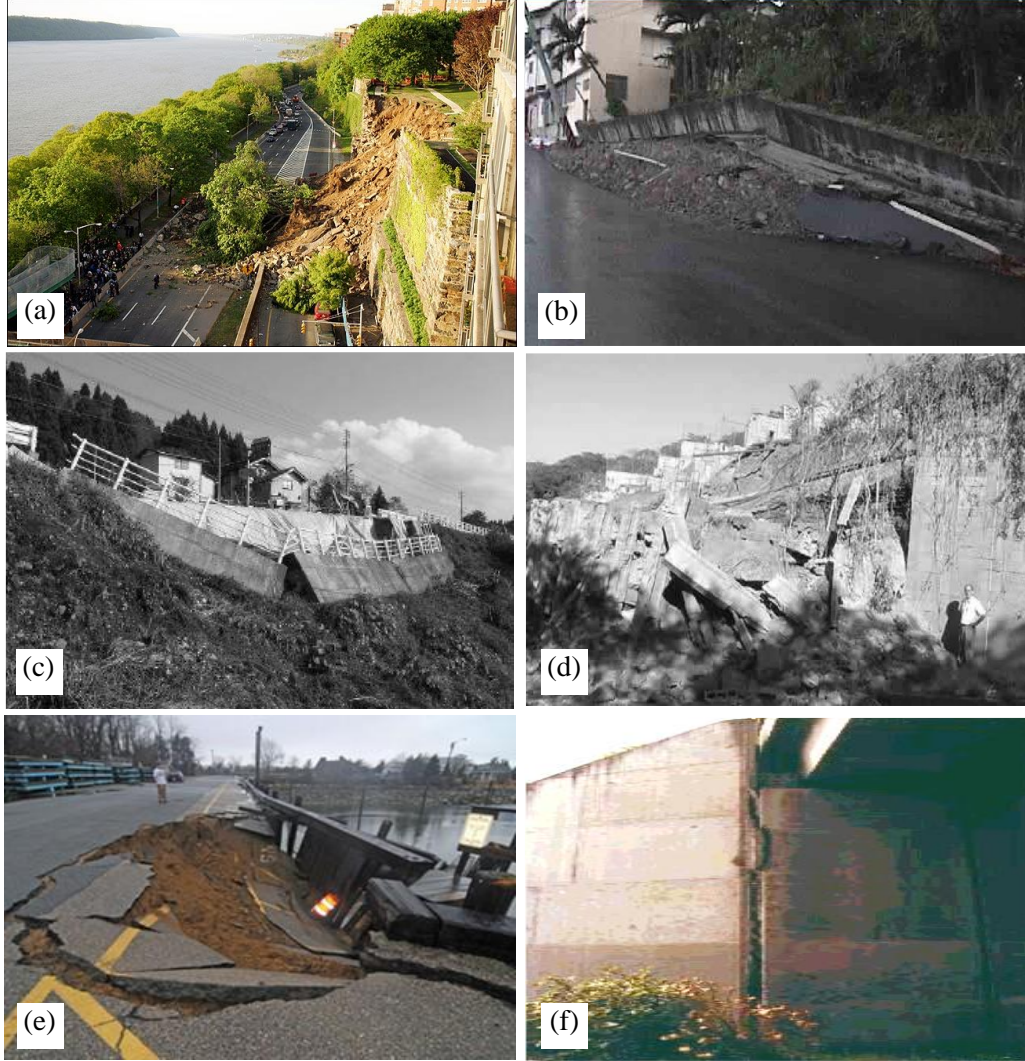
1.3. İstinat Duvarı Hasarları

Ülkemiz tektonik açıdan Afrika, Arap, Anadolu ve Avrasya plakalarının üstünde yer alıp, Afrika ve Avrasya levhalarının çarpışmaları sonucu oluşan karmaşık deformasyonların oluşturduğu yanal ve düşey atımlı fay formasyonlarını içeren Akdeniz Deprem Kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Bu tektonik levha yapılanmasına bağlı olarak Türkiye’de meydana gelen sismik etkinlikler “Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)”, “Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)” ve “Batı Anadolu Gerilme Yapısı” olmak üzere üç temel oluşum tarafından kontrol edilmektedir (Akkar, 2008). Bu nedenle topraklarının büyük çoğunluğu aktif deprem kuşaklarında bulunan ülkemizde, özel mühendislik yapılarından biri olan istinat yapılarının da depreme dayanıklı olarak tasarlanmaları gereği açıktır. Ayrıca bu yapıların bazı durumlarda çok değişik özelliklere sahip zeminler üzerine inşa edilmesi zorunluluğu, yapı ile zemin arasında dinamik karşılıklı etkileşim probleminin doğmasına neden olmakta ve zemin-yapı sisteminin dinamik özelliklerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır (Aydınoğlu, 1977).

Mühendislik yapılarının projelendirilmesindeki genel amaç; belirli bir etkiye karşı yapıda gerekli dayanımı sağlamaktır. Geleneksel yapı tasarımı yaklaşımında etki ve dayanım genel olarak kuvvet türünden ifade edilmektedir. Bu durumda, yapısal sisteme etkiyen dış kuvvetler etkisi altında iç kuvvetler belirlenmekte ve yapısal elemanlar bu kuvvetleri karşılayacak mukavemete sahip olacak şekilde tasarlanmaktadır. Diğer taraftan yapıda meydana gelen deformasyonların müsaade edilebilir sınırları aşmaması da yapının servis koşullarını sağlaması bakımından gerekli olmaktadır (Sucuoğlu, 2008). Bu durum istinat duvarları özelinde değerlendirildiğinde; farklı duvar tiplerinin farklı davranışlar sergileyebileceğinden hareketle, duvarların dinamik bir etkiyle büyük yer değiştirmelerden dolayı da göçebileceği söylenebilir. Bu nedenle yer değiştirme sınırlarının belirlenmesi ve analizlerin plastik denge mekanizmasına ek olarak yer değiştirmeye de dayalı yapılması gerekebilmektedir (Çakır, 2010).

İstinat yapılarında deprem kaynaklı oluşan hasarlar incelendiğinde; kalıcı yer değiştirmelerin yaygın bir şekilde meydana geldiği görülebilir. Bunlardan bazıları ihmal edilebilir düzeyde iken, bazıları ise duvarın nihai olarak göçmesine neden olabilecek boyutlara ulaşmaktadır. Bu yapıların sismik tasarımından kaynaklı eğilme, dönme, ötelenme ve devrilmeyle sonuçlanan yapı hasarları ülkemizde ve diğer birçok ülkede çeşitli araştırmacıların çalışmalarına konu olmuştur (Seed and Whitman, 1970). Örnek olması

bakımından istinat yapılarında depremlerden meydana gelen hasar ve göçme durumlarına ilişkin bazı fotoğraflar Şekil 1.5’de verilmektedir.



Şekil 1.5. İstinat yapılarında meydana gelen hasarlara örnekler

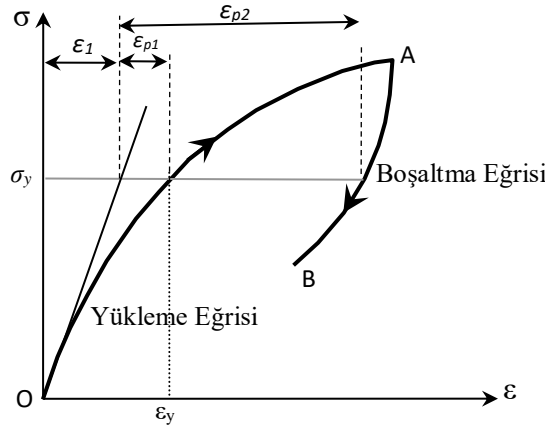
Şekil 1.5 a’da (Torres vd., 2007) görülen istinat duvarının; duvar arkasında yıllar boyunca yeraltı suyunun birikmesi sonucu gelişen ve artan basınçlar nedeniyle yapısal olarak hasar görmesi sonucu göçtüğü rapor edilmiştir. Şekil 1.5b’de (Vojoudi, 2003) 1999 Taiwan depremi esnasında istinat yapısının uğradığı hasar görülmektedir. Şekil 1.5c’de (Koseki vd., 2005) 2004 Niigata-Ken Chuetsu depremi esnasında kayma ve dönmeler sonucu göçen istinat duvarı görülmektedir. Şekil 1.5d’de (Vojoudi, 2003) 2001 El Salvador depremi esnasında istinat duvarının yapısal hasarı görülmektedir. Şekil 1.5e’de (URL-1, 2009) görülen istinat duvarı ise şiddetli yağmurlar dolayısıyla sel baskınları neticesinde göçmüştür.

Şekil 1.5’de (Gillies vd., 2001) ise 1999 Kocaeli depremi sırasında köprü kenar ayağında ayrılma nedeniyle meydana gelen hasar durumu görülmektedir.

1.4. Malzemelerin Doğrusal Olmayan Davranışı

Malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkisi genel olarak doğrusal olmayıp, malzemelerin özelliğine bağlı olarak karmaşık bir değişim sergilemektedir. Çözümlemelerde matematiksel zorluğu önlemek için farklı hassasiyetlerde basit malzeme modelleri kullanılmaktadır.

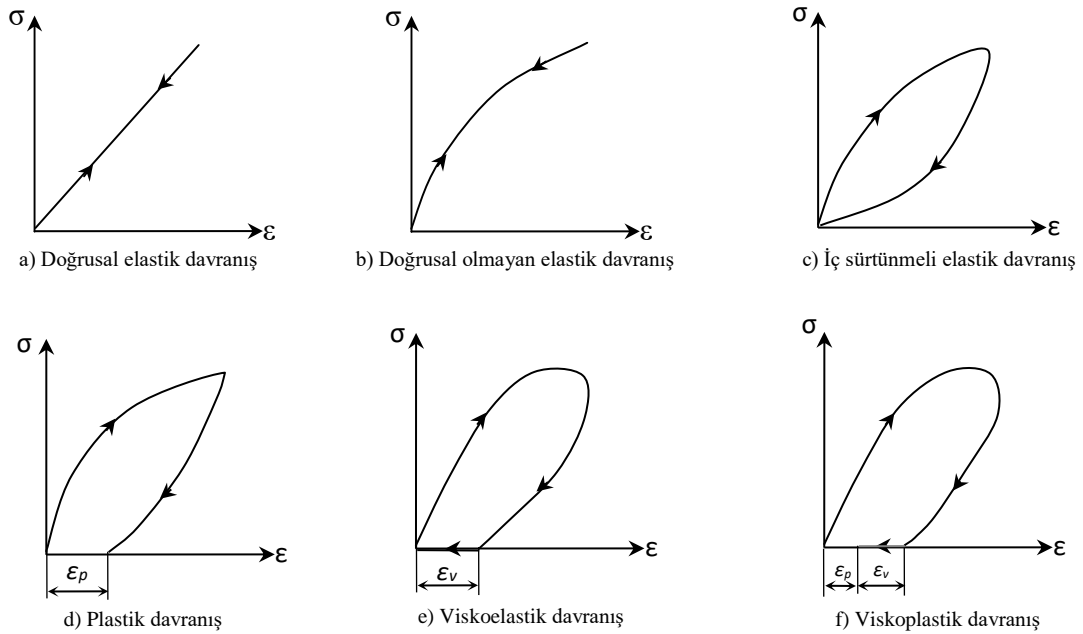
Şekil 1.6’da katı bir cisim için yükleme (OA) ve boşaltma (AB) eğrileri görülmektedir. Burada malzeme, orantılılık sınırına kadar doğrusal, orantılılık sınırından sonra doğrusal olmayan bir davranış gösterir. Gerilme değeri orantılılık sınırını biraz aştığında malzeme yine elastik davranabilir ve gerilme değeri elastik sınıra ulaşınca kadar bu durum devam eder. Gerilmenin akma gerilmesine (σ_y) ulaşması durumunda elastik davranışın sona erdiği kabul edilir ve malzemenin elastik ötesi davranışının gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ayrıca tanımlanır. Akma olayının başlamasından sonra diğer bir ifadeyle elastik sınırın ötesinde malzemede plastik şekil değiştirmeler oluşur.



Şekil 1.6. Katı bir cismin gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Malzemelerin artan yük etkisi altındaki özellikleri yanında, yükleme ve boşaltmadaki davranışı ayrıca bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda cisimler bu yönden de birbirinden farklı karakter sergilemektedir. Tam elastik cisimlerde yükleme ve boşaltma eğrileri, Şekil 1.7a ve b’de görüldüğü üzere üst üste olmakta ve bu diyagramların doğrusal ve eğrisel şekli,

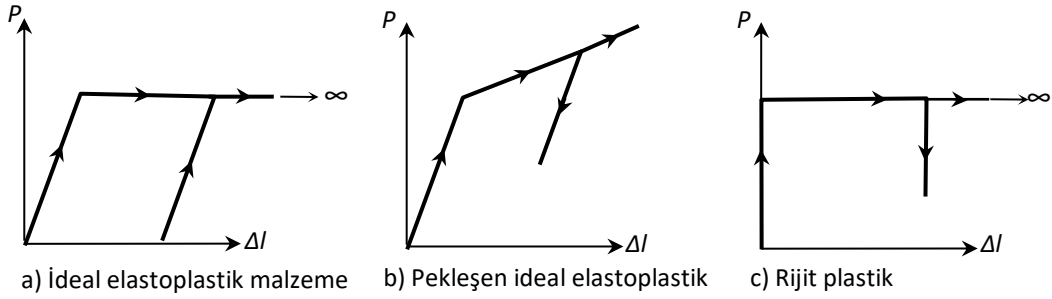
cisimdeki elastik özelliğin lineer veya nonlinear olduğunu göstermektedir. Yükleme ve boşaltma eğrileri farklı olduğu halde, yükleme eğrisinin başlangıcı ile boşaltma eğrisinin sonu çakışırsa ve ayrıca bu eğriler zamana bağlı olmazsa bu tür bu tür şekil değiştirmeye iç sürtünmeli elastik şekil değiştirme adı verilir (Şekil 1.7c). Burada diyagram arasındaki alan, bir yükleme-boşaltma devresinde kaybolan enerjiyi göstermektedir. Kayba sebep cismin iç sürtünmesidir. Yükleme ve boşaltma eğrileri farklı olan ve yükleme başlangıcı ile boşaltma sonu çakışmayan şekil değiştirmelere plastik şekil değiştirmeler denir (Şekil 1.7d). Boşaltmada şekil değiştirme hemen geriye dönmediği halde, aradan uzun bir zaman geçtikten sonra, cisim ilk duruma gelirse bir elastik gecikmeden söz edilir. Bu elastik gecikme cismin viskoelastik davranışının bir sonucudur (Şekil 1.7e). Bazı durumlarda boşaltma sonunda kalan şekil değiştirme zamanla azalmakla beraber tamamen sıfıra inmez. Bu da viskoplastik davranışın bir sonucudur (Şekil 1.7f) (Çakıroğlu ve Özer, 1980; İnan, 1996).



Şekil 1.7. Çeşitli malzemeler için gerilme-şekil değiştirme ilişkileri (Çakıroğlu ve Özer, 1980)

Yukarıda işaret edildiği üzere, malzemelerin mekanik özellikleri çok karışık olup birbirlerinden de oldukça farklılıklar arz etmektedir. Herhangi bir mühendislik probleminde bu mekanik özelliklerin hepsinin birden göz önünde bulundurulmasına imkân

bulunmamaktadır. Basit ve gerçeğe uygun düşecek bir teori kurulmak istendiğinde, problemde en büyük rolü oynayan özellikler dikkate alınmalı ve etkisi az olan faktörler ihmal edilmelidir. Bu bağlamda şekil değiştiren katı cisimler mekaniğinde elastisite ve plastisite özellikleri yönünden Şekil 1.8’de verilen ideal cisimler kullanılmaktadır (İnan, 1996).

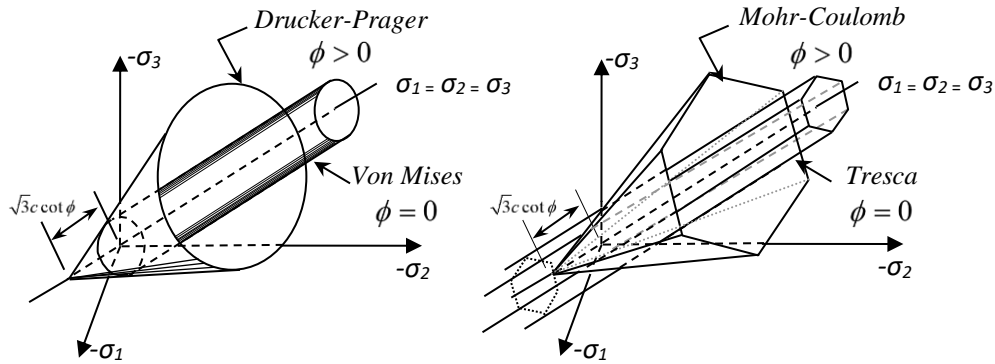


Şekil 1.8. Bazı ideal malzemeler

Gerilme-şekil değiştirme ilişkileri zeminlerin ve istinat duvarlarının davranışı açısından da yorumlanabilir. İstinat duvarlarının sismik davranışlarının tüm hatlarıyla gerçekçi olarak belirlenebilmesi etkileşim içerisinde bulunduğu zeminin karmaşık ve heterojen bir yapıya sahip olması nedeniyle kolay olmamakta, zeminlerin eşikli davranışı zemin davranışlarının analizini zor yapan özelliklerden biri olmaktadır. Zira, zeminler elastik davranış eşiği olarak tanımlanabilecek bir şekil değiştirme seviyesine kadar doğrusal ve elastik davranmaktadır. Elastik davranış eşiğinden büyük şekil değiştirme seviyelerinde ve plastik davranış eşiği olarak tanımlanabilecek bir şekil değiştirme seviyesine kadar gerilme-şekil değiştirme davranışları doğrusal olmayan elastoplastik bir davranış göstermektedir. Plastik davranış eşiği aşıldıktan sonra da zemin tamamen plastik bir davranış sergilemektedir. Örneğin; küçük bir depremde meydana gelen tekrarlı kayma gerilmeleri zemin tabakalarında herhangi bir yumuşamaya neden olmamakta ancak elastik davranış eşiği aşıldıktan sonra yumuşama başlamakta ve plastik davranış eşiği aşıldıktan sonra da zemin tabakaları artık viskoplastik bir malzeme gibi davranmaya başlamaktadır (Ansal vd., 1999). Ayrıca farklı zemin türlerinin davranış farklılıkları nedeniyle, etkileşim içerisinde bulunduğu istinat yapılarının da deprem davranışlarını etkileyebileceği aşikârdır. Dolayısıyla problem karmaşık bir zemin-yapı etkileşim problemine dönüşmekte, doğru ve güvenilir bir tasarım için söz konusu etkileşimin dikkate alınması bir zorunluluk olmaktadır.

Malzemelerin gerilme-şekil değiştirme ilişkileri, iki ve/veya üç eksenli gerilme durumlarında kırılma hipotezleriyle ifade edilebilmektedir. Bu hipotezler; gerilme, şekil değiştirme ve enerji hipotezleri olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir. Bununla birlikte, gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını dikkate alarak bütün hipotezleri gerilme cinsinden ifade etmek mümkündür. Bütün malzeme türlerini ve yükleme tiplerini içine alan tek bir kırılma hipotezi vermek mümkün değildir. Bir kırılma hipotezi, belli tür malzemelerde ve yükleme tiplerinde iyi sonuçlar verebilmesine karşın, başka malzemeler için yanlış sonuçlar verebilmektedir. Buradan hareketle tüm malzemeler için her hipotezin aynı hassasiyette sonuç üretmesi beklenmemelidir (Koçak, 1999).

Literatürde vurgulanan gerilme hipotezlerinin başlıcaları; maksimum normal gerilme hipotezi, maksimum kayma gerilmesi hipotezi, Mohr-Coulomb kayma gerilmesi hipotezi ve Drucker-Prager kriteridir (Şekil 1.9)

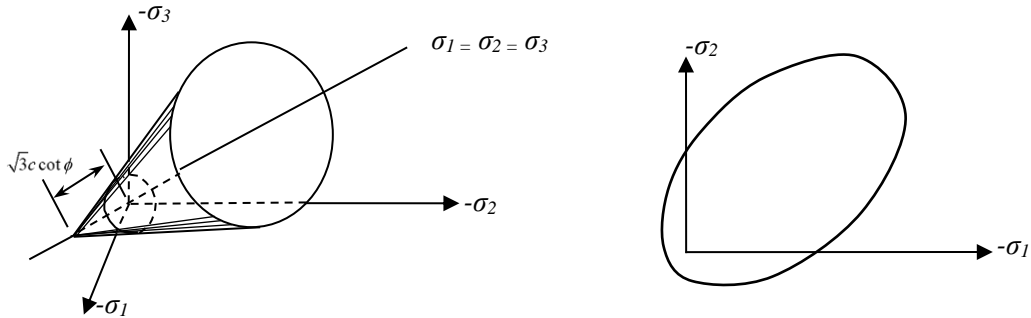


Şekil 1.9. Farklı kırılma kriterleri için asal gerilme uzayında izotropik akma yüzeyleri (Chen ve Mizuno, 1990).

Geçmişten günümüze birçok farklı malzeme modeli geliştirilmiş olmakla birlikte, Drucker-Prager kriteri ve Mohr-Coulomb kayma gerilmesi hipotezi geoteknik modellemelerde birçok çalışmada basit ve etkili yaklaşımları sebebiyle hala yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Mohr kriteri, Tresca kriterinin eksik taraflarını tamamlayan genelleştirilmiş hali olarak düşünülebilir. Bu iki kriter de plastik duruma geçmede en büyük kayma gerilmesinin hakim olduğunu varsaymaktadır. Tresca kriterinde kayma gerilmesinin kritik değerinin sabit olduğu kabul edilirken, Mohr kriterinde kritik kayma gerilmesinin etkidiği yüzeydeki normal gerilmenin bir fonksiyonu olduğu varsayılmaktadır. Drucker-Prager kriterinin ise Von Mises kriterinin basitleştirilmiş formu olduğu ifade edilebilir. Drucker-Prager akma kriterini Von Mises kriterinde hidrostatik gerilme etkisini ek bir terim

ile dikkate alarak ifade etmek mümkündür (Koçak, 1999). Genel olarak Drucker-Prager kriteri Mohr-Coulomb kriterine oldukça yakındır. Sandhya Rani vd. (2014) yaptıkları çalışmada iki modelin benzer sonuçlar üretmesine rağmen Drucker-Prager modelinin Mohr-Coulomb modeline kıyasla düşük deformasyonlarda daha yüksek dayanım tahmin ettiğini, Mohr-Coulomb modelinin Drucker-Prager modeline göre tüm yükleme aşamalarında büyük şekil değiştirmelerde daha düşük dayanım verdiğini ifade etmektedir.

Zeminlerin, yapı sistemlerine oranla genellikle daha hassas bir karaktere sahip olduğu bilinmektedir. Bu nedenle zemin-yapı etkileşimi açısından doğrusal olmayan davranışın dikkate alınması önem arz etmektedir (Chen ve Mizuno, 1990). Zeminlerin diğer malzemelere göre davranışlarının farklı olması; gerilme seviyesine bağlı olarak kayma dayanımlarının değişmesi ve çekme gerilmelerine karşı gösterdikleri davranışın basınç durumundakinden oldukça farklı olması ile gerekçelendirilebilir. Bu bağlamda, bu koşulları sağlayacak bir akma ya da kırılma kriterinin dikkate alınması gerekli olmaktadır. Literatürde zeminler için Drucker-Prager elastoplastik malzeme yaklaşımı sıklıkla kullanılmakta ve yukarıda ifade edilen koşullara cevap verebilmektedir (Chen ve Mizuno, 1990; Bathe, 1996). Bu nedenle bu çalışmada zeminin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı bu yaklaşımla dikkate alınmaktadır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10. a) Üç boyutlu asal gerilme uzayında, b) İki boyutlu asal gerilme düzleminde Drucker-Prager kriteri (Chen ve Mizuno, 1990)

Şekil 1.10'daki Drucker-Prager akma kriterine göre akma yüzeyi (f); c zemin kohezyonunu, ϕ içsel sürtünme açısını, I_1 gerilme tansörünün 1. invaryantını, J_2 deviator gerilme bileşeninin 2. invaryantını göstermek üzere ve basınç meridyeni için;

$$\alpha = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)} \quad k = \frac{6c \cos \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)} \quad (1.1)$$

çekme meridyeni için;

$$\alpha = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 + \sin \phi)} \quad k = \frac{6c \cos \phi}{\sqrt{3}(3 + \sin \phi)} \quad (1.2)$$

olmak üzere,

$$f(I_1, J_2) = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (1.3)$$

1.5. Zemin-Yapı Etkileşimi

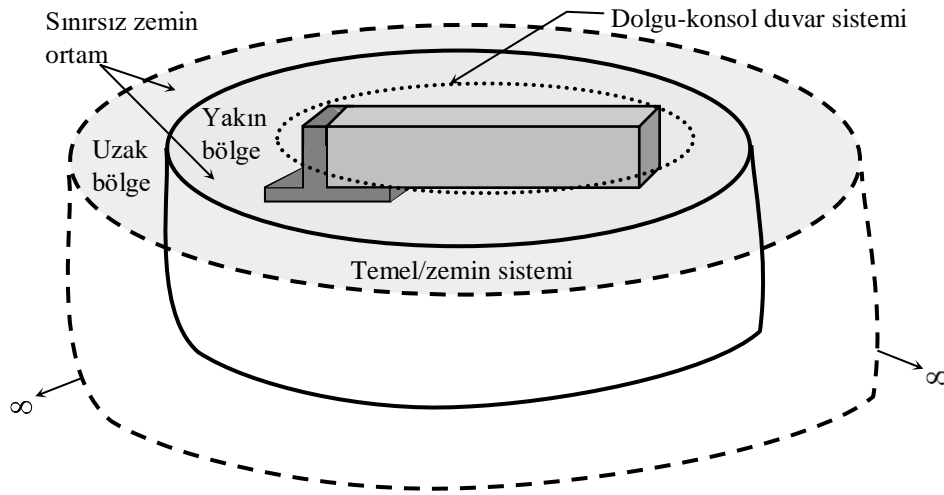
Mühendislik yapılarının deprem davranışlarının her yönüyle gerçekçi olarak belirlenebilmesi, etkileşim içerisinde bulunduğu zeminin özelliklerini doğru bir şekilde ortaya koymaktan geçmektedir. Ancak zeminin, karmaşık ve heterojen bir yapıya sahip olması ve zemin-yapı etkileşim mekanizmasının birçok parametreye bağlı olarak yükleme ve sistem frekansına göre değişkenlik gösteriyor olması nedeniyle bu problemi net bir şekilde ortaya koymak oldukça zordur. Öte yandan yapı sistemlerinin çözümlemelerinde genel olarak yapının şekil değiştirmeyen rijit bir ortama oturduğu ve zemine ankastre mesnetlendiği düşünülerek zemin ile yapı arasındaki etkileşim ihmal edilmektedir. Bu yaklaşım, kaya türü çok rijit zeminler dışındaki diğer zeminler (kil, kum, ayrılmış kayalar vb.) üzerine inşa edilen yapılarda, yapısal özelliklere bağlı olarak geçerliliğini yitirebilmektedir (Livaoğlu, 2005; Çakır, 2010). Zira yapı sistemlerinin statik yükler altındaki çözümlemelerinde dahi temellerde çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Deprem esnasında yapı ve zeminin farklı şekillerde hareket ediyor olmaları, etkileşime neden olarak zeminin ve yapının davranışlarını birbirlerine bağımlı hale getirmektedir. En genel manada yapı ile zemin arasında meydana gelen etkileşim, yapının periyodunu artırmaktadır. Örneğin; 1985 Meksika depreminde özellikle yumuşak kil üzerine oturan yapılarda önemli hasarlar meydana geldiği, bu yapıların ankastre çözümünden elde edilen doğal titreşim periyotları 1 saniye civarında iken, etkileşim sebebiyle periyotların 2 saniyeye kadar uzadığı

bilinmektedir (Mylonakis ve Gazetas, 2000). Adana-Ceyhan depreminde etkileşimin yapıların çökmesi üzerinde önemli rol oynadığı tecrübe edilmiştir (Çelebi, 1998). Ayrıca 1989 Loma Prieta depreminde hasarların büyük çoğunluğunun yumuşak zemin tabakalarının yer aldığı San Francisco-Oakland bölgesinde meydana geldiği ve bu bölgelerde ivmelerin, yakınlardaki kayalık bölgelere göre 2~4 kat büyüdüğü rapor edilmiştir. Ülkemizde meydana gelen 1999 yılı depremleri nedeniyle oluşan ağır yapısal hasarlar, büyük ölçüde yapıların kuralına uygun tasarlanıp inşa edilmemiş olmasından kaynaklanmakla birlikte, zemin koşullarının da yeterince dikkate alınmadığı ortaya çıkmıştır. Özellikle kalın suya doygun zemin çökelleri ile kaplı Adapazarı'nda meydana gelen hasar dağılımı ile temel zemini arasında gözlenen ilişki bu konuda çok açık uyarılar içermektedir (Özaydın, 2016).

Yapısal çözümlemelerin birçoğunda zemin-yapı etkileşimi önemli bir unsur olduğundan, bu etkileşim geliştirilen yöntemlerle incelenmeye çalışılmıştır. Zemin-yapı etkileşim probleminin çözümü için literatürde önerilen yöntemleri; “altsistem yaklaşımları” ve “doğrudan çözüm yöntemleri” olmak üzere başlıca iki ana gruba ayırmak mümkündür. Bu tez çalışması kapsamında doğrudan çözüm yöntemlerinden sonlu elemanlar yöntemine dayalı incelemeler gerçekleştirilmektedir.

Zemin-yapı etkileşiminde, modellenmesi hedeflenen zemin ortam genellikle yarı sonsuz bir ortam olmakta ve bu yarı sonsuz ortam iki parçaya ayrılarak modellenmektedir (Şekil 1.11). Burada bu yarı sonsuz ortamı; yapıya yakın bölgelerde zeminin doğrusal olmayan davranış sergilediği “yakın bölge” ve zeminin doğrusal bir davranış sergilediği “uzak bölge” olarak adlandırılan iki bölgeye ayırmak mümkündür (Wolf ve Song, 1996a; 1996b). Yakın bölge zemini her durumda sonlu elemanlarla modellenmektedir. Uzak bölge zemini için ise iki alternatif söz konusudur. Bunlardan ilki, hareketin etkilediği tüm zemin parçasını içerecek kadar bir kısmı sonlu elemanlar ile modellemektir. Bu durumda doğru ve gerçekçi bir çözüm için yapıyı etkileyecek zemin ortamın uygun biçimde temsil edilmesi ve zemin modelinin sınırında etkileşim sebebiyle oluşan yer değiştirmelerin sıfıra eşit olması ya da yakınsaması gerekmektedir. Temsil edilecek olan zemin ortam ne kadar büyük olursa, matematik modelin gerçeğe yaklaşımı o derece doğru olacaktır. Ancak hesaplamalarda dikkate alınacak zemin ortamın büyüklüğü, kullanılacak olan eleman miktarını ve çözülmesi gereken denklem sayısını artıracığından çözüm maliyeti artacaktır. Bu çerçevede, zemin-yapı etkileşimini içerecek şekilde dinamik çözümlemenin bu ilk alternatifle yapılmasına yönelik getirilebilecek en büyük eleştiri; çözümleme maliyetinin yüksek olması ve zemin modelini büyütürken zemin sınırındaki yer değiştirmeyi sıfırlamak

suretiyle, her ne kadar doğru çözüme ulaşılacak olsa da oluşturulan bu modeli pratik amaçlar için kullanmanın oldukça güç olmasıdır (Nofal, 1998). İkinci alternatif olarak yakın bölge zeminiyle birlikte sanal sınırların kullanılması, literatürde sıklıkla karşılaşılan bir diğer yaklaşımdır. Bu durumda yayılmaya bağlı sönüm ve yansıma gibi etkilerin dikkate alınabilmesi mümkün olmaktadır. Genel olarak sanal sınırların kullanılması dikkate alınacak zemin boyutlarını küçülttüğünden hesap kolaylığı sağlamakta ve bu bölgedeki etkilerin gerçekçi bir şekilde dikkate alınmasına imkân tanımaktadır. Buradan hareketle, sonsuz ortamda radyasyonla yayılan enerjiyi absorbe edebilen, diğer bir ifadeyle yayılmaya bağlı sönüm etkilerinin dikkate alınmasına olanak tanıyan ve yansıma etkilerini ortadan kaldıran birçok sanal sınır modeli geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan sonlu elemanlar modelinde, yakın bölge zemini ile birlikte viskoz sınırlar (Lysmer ve Kuhlemeyer, 1969) kullanma yaklaşımı tercih edilmiştir. Lysmer ve Kuhlemeyer (1969) tarafından geliştirilen bu viskoz sınırların sonlu eleman modelleriyle birlikte kullanılmasına ilişkin teorik bilgiler ve matematiksel ifadeler Livaoğlu (2005) ve Çakır (2010) çalışmalarında ayrıntılı bir şekilde sunulmaktadır.



Şekil 1.11. İncelemeye konu olan dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sisteminin şematik gösterimi (Çakır, 2013)

Önerilen bu viskoz sınırların, yapıdan belirli bir uzaklıkta yerleştirilmesiyle oluşturulan zemin-yapı sistemine ait matematik model dinamik çözümlemelerde kullanılabilmektedir. Viskoz sınırlar temel sisteminden ne kadar uzakta yerleştirilirse, etkileşimde doğacak olan kusurlar o derece giderilmiş ve model duyarlılığı artırılmış

olacaktır (Wolf, 1988). Bu viskoz sınırların yerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda, sınırın yerinin, zemin sisteminin sönüm mekanizması, ortamdaki dalga frekansı ve hızı gibi birçok parametreye bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bu çalışmalarda sınırın, temel sisteminden $3/4 \sim 1$ tam Rayleigh dalga boyu kadar uzakta olması gerektiği ifade edilmektedir (Lysmer ve Kuhlemeyer, 1969). Buna ek olarak Hadjian vd. (1974) zeminin doğrusal olmayan davranışını inceledikleri çalışmalarında viskoz sınır kullanmaksızın zemin sınırlarını yapı temel sisteminin yarıçapının altı katı mesafede oluşturmuşlardır. Burada bahsedilen viskoz sınır elemanlarının verimliliğinin oluşturulan sonlu eleman modelinin boyutlarına, sonlu eleman sıklığına, zeminin yoğunluğuna, boyuna ve kayma dalgası hızlarına bağlı olarak değişebileceği ifade edilebilir.

1.6. Literatür Araştırması

Yapılan araştırmalar ve gözlemler yapı sistemlerinin sismik davranışlarının, üzerinde inşa edildikleri zeminin özelliklerinden bağımsız olarak yorumlanamayacağını ortaya çıkarmaktadır. Yapı ve zemin arasındaki karşılıklı ve karmaşık formdaki etkileşim sonucu, yapısal davranışlar önemli oranda değişebileceği gibi zemin içindeki sarsıntı hareketi de yapı civarında değişime uğramaktadır. Zemin-yapı etkileşimi üzerine yapılan çalışmalar giderek artmakla birlikte yapıların dinamik davranışını etkileyen bu karmaşık problemin incelenmesi oldukça geçmiş yıllara dayanmaktadır. Bu yönde yapılan kapsamlı araştırmaların temelleri 1900'lü yılların başlarına kadar gitmektedir (Filho vd., 1997). Daha sonra 1970'lerin başlarından itibaren gerçekleştirilen çalışmalarda, zemin-yapı etkileşiminin konut, nükleer reaktör ve sıvı depoları gibi ağır ve rijit yapılar üzerinde ne kadar etkili olduğunun belirlenmesi ile söz konusu etkileşimin yapı sistemlerinin davranışı üzerindeki etkileri ortaya koyulmaya başlanmıştır (Youssef, 1998; Halbritter vd., 1998). 1971 San Fernando depreminden sonra zemin-yapı etkileşimi nedeniyle büyük hasarların gözlemlenmiş olması bu sahadaki çalışmaların daha da yoğunlaşmasına neden olmuştur. Kritik yapı sistemlerinden hareketle, zemin-yapı etkileşim mekanizmasının birçok yapı sistemi üzerindeki etkilerinin tecrübe edilmiş olması, geçmişte olduğu gibi günümüzde de halen geçerliliğini koruyan bir problem olarak karşımızda durmasını sağlamaktadır. Ayrıca depreme maruz kalmış yapıların hasar dağılımları incelendiğinde, hasarlara sebep olan en etkin parametrelerden birinin tekrarlı ve dinamik yük etkisinde kalmış zemin etkisinin olduğu görülebilir (Kramer, 1996). Geçmişten günümüze çeşitli yapı ve zemin sistemleri

için, zemin-yapı etkileşimini konu alan pek çok çalışma gerçekleştirilmiş olup, bu çalışmalardan birçoğu Livaoğlu (2005) ve Çakır (2010) çalışmalarında genel olarak sınıflandırılmakta ve gruplar halinde sunulmaktadır.

İstinat yapılarının, gömülü yapıların ve altyapı sistemlerinin sismik tasarımında değerlendirilmesi gereken en önemli hususlardan biri dinamik zemin basınçları ile ilgili problemlerdir. Deprem esnasında oluşan bu basınçlar sebebiyle yapı sistemlerinde oluşabilecek hasarları en aza indirgeyebilmek için söz konusu basınçlarla yapıda meydana gelebilecek yer değiştirme, ötelenme ve dönmelerin doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Sismik zemin basınçları; yer hareketinin frekans bileşenleri, gömülü yapının hareketleri, zemin tabakalarının bileşimi ve yapı etrafındaki zeminin özellikleri, deprem dalgalarının tipi ve dalgaların geliş açısı gibi pek çok faktörden etkilenebilmektedir.

İstinat duvarlarına etkiyen dinamik zemin basınçlarının belirlenmesine ve duvar sismik tasarımına ilişkin ilk çalışmalar Okabe (1924) ve Mononobe ve Matsuo (1929) tarafından gerçekleştirilmiştir. Mononobe-Okabe (M-O) yöntemi olarak bilinen bu yöntem, dolgu zemininin kuru ve kohezyonsuz olması koşullarında statik Coulomb yöntemindeki aktif ya da pasif durumda dikkate alınan zemin kamasına sözde statik ivmenin eklenmesiyle oluşturulmuştur. M-O yöntemi, pratikliği yanında sonuçlarına duyulan güvenden ötürü istinat duvarlarına etkiyen kuvvetleri hesaplamada halen yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu yöntemde dalga yayılım etkileri ve zemin-yapı etkileşimi ihmal edilmektedir. Daha sonraları bu yöntemin etkinliğini ve kullanılabilirliğini değerlendirmek ve yöntemi geliştirmek için birçok çalışma gerçekleştirilmiştir.

İstinat yapılarının sismik analizi ve tasarımı için kullanılan yöntemleri değişik araştırmacılar tarafından kullanılan teori ve yaklaşımlar esas dayanarak; “M-O yöntemini ve türevlerini kapsayan tam plastik çözümler (limit durum analizleri)”, “elastik dalga teorisine dayanan çözümler” ve “elasto-plastik ve doğrusal olmayan teoriye dayanan çözümler” olmak üzere üç kategoriye ayırmak mümkündür. Geçmişten günümüze bu üç kategoriye giren çalışmaların hemen hemen tamamı değişik araştırmalarda (Nazarian ve Hadjian, 1979; Veletsos ve Younan, 1994, 1997; Theodorakopoulos vd., 2001; Gazetas vd., 2004; Psarropoulos vd., 2005; Madabhushi ve Zeng, 2007; Mylonakis vd., 2007; Giarlelis ve Mylonakis, 2011; Çakır, 2010, 2013; Wilson ve Elgamal, 2015; Xu vd., 2015; Lin vd., 2015, Vrettos vd., 2016; Brandenburg vd., 2017; Rainieri vd., 2017) ayrıntılı bir şekilde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Ancak günümüz tasarım teknolojilerini ve

analiz prensiplerini ortaya koyabilmek maksadıyla yakın geçmişte gerçekleştirilen analitik, sayısal ve deneysel çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmektedir.

Veletsos ve Younan (1997), konsol istinat duvarlarının sismik analizi için bir çözüm tekniği önererek ve farklı duvar ve taban esneklikleri dikkate alarak duvar yer değiştirmelerini, duvar basınçlarını, kesme kuvvetlerini ve eğilme momentlerini araştırmışlar ve gerçekçi duvar esneklikleri için taban kesme kuvvetlerinin ankastre çözümden elde edilenlerden daha küçük olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca önerdikleri yöntemde zeminin dinamik büyütme etkilerinin ihmal edilmesi durumunda, çözümden elde edilen toplam duvar kuvvetlerinin büyüklüğünün M-O yönteminden elde edilen ile uyum içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir. Younan ve Veletsos (2000), esnek duvarların dinamik analizi için bir yöntem geliştirerek duvar yer değiştirmelerinin büyüklüğünün ve dağılımının, duvar basınçlarının ve ilgili kuvvetlerin hesabında duvar esnekliğinin önemli bir parametre olduğunu göstermişlerdir. Gazetas vd. (2004), L şekilli betonarme istinat duvarı, yatay ve eğik ankrajlı kazık duvarlar ve donatılı zemin duvarlar üzerine etkiyen dinamik toprak basınçlarının dağılımını ve büyüklüğünü belirleyebilmek için sonlu elemanlar yöntemine dayalı incelemeler gerçekleştirmişler ve birçok durumda L şekilli betonarme duvarların M-O yönteminden elde edilenden daha küçük dinamik basınçlara maruz kalacağını belirtmişlerdir. Ayrıca ön gerilmeli ankraj kazık veya diyafram duvarlar ile donatılı zemin duvarların, özellikle duvarların üst yarısı boyunca çoğu durumda M-O yönteminden daha az zemin basınçları oluşturabilecek yeterli esnekliğe sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Psarropoulos vd. (2005), rijit ve esnek istinat duvarlarına etkiyen sismik zemin basınçlarının hesabı için sonlu elemanlar yöntemine dayalı bir çalışma gerçekleştirmişler ve elde edilen sonuçları analitik yöntemlerle karşılaştırmışlardır. Önerdikleri modeli homojen ve homojen olmayan zemin koşullarında duvarın eğilme rijitliği ve tabandaki dönme etkilerini incelemek için kullanmışlardır. Sonuç olarak, analitik çözümlerde ve önerdikleri modelde duvar-zemin ara yüzeyindeki ayrılma etkisi dikkate alınmadığından, özellikle yüzeye yakın bölgelerde gerçekçi olmayan çekme gerilmelerinin oluşabileceğini, esnek sistemlerde gerçekçi olmayan sonuçların elde edilebileceğini ve bu çekme gerilmelerinin homojen olmayan zemin durumunda azaldığını ifade etmişlerdir. Nakamura (2006), istinat duvarlarının sismik davranışını belirleyebilmek için santrifüj deneyleri gerçekleştirmiş ve M-O yönteminin gerçek sismik davranışı yansıtamayacağını vurgulamıştır. Madabhushi ve Zeng (2007), esnek konsol istinat duvarlarının deprem etkisi altındaki davranışını incelemek için sonlu elemanlar yöntemine dayalı çözümler yapmışlar ve elde ettikleri sonuçları

santrifüj deneylerinden elde edilenlerle karşılaştırmışlardır. Eğilme momentlerinin, yer değiştirmelerin ve aşırı boşluksuyu basınçlarının hesabı çerçevesinde, sayısal sonuçların, kuru dolgu zemini şartlarında daha iyi olmakla birlikte, hem kuru hem de doymun durumlar için deneysel verilerle uyum içerisinde olduklarını ifade etmişlerdir. Mylonakis vd. (2007), Evangelista vd. (2010) ve di Santolo ve Evangelista (2011) toprak basıncı katsayılarının hesabı için gerilme çözümleri önermişler ve mevcut yöntemlerle bazı karşılaştırmalar yapmışlardır. Al Atik ve Sitar (2010), konsol istinat duvarlarına etkiyen sismik yanal zemin basınçlarının dağılımını ve büyüklüğünü belirleyebilmek için santrifüj deneyleri ve iki boyutlu doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri gerçekleştirmişlerdir. Callisto ve Soccodato (2010), doğrusal olmayan bir model üzerinden sayısal çözümlemeler gerçekleştirerek kaba daneli zemin içerisine gömülü konsol istinat duvarlarının sismik davranışını incelemişlerdir. Giarlelis ve Mylonakis (2011), literatürdeki deneysel çalışma sonuçları ile elasto dinamik ve limit analiz sonuçlarından yararlanarak rijit ve esnek istinat duvarlarının sismik davranışını incelemişler ve klasik tasarım yöntemlerinde hesaba katılmayan duvar esnekliğinin, duvara etkiyen sismik itkinin etkime noktasının belirlenebilmesi için mutlaka dikkate alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Tiznado ve Rodriguez-Roa (2011), normal konsolide granüler zeminler üzerindeki ağırlık istinat duvarlarının sismik davranışını inceleyebilmek için iki boyutlu sonlu eleman analizleri gerçekleştirmişlerdir. Ara yüzey elemanları kullanarak zemin-yapı etkileşimini dikkate almışlar ve duvar taban ve tepe yatay hareketleri üzerine değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Ayrıca duvar boyutları, granüler zemin özellikleri, ana kaya derinliği ve sismik girdi hareketi karakteristikleri gibi değişkenlere bağlı olarak elde ettikleri sonuçların deneysel verilerle uyum içerisinde olduğunu göstermişlerdir. Shukla ve Bathurst (2012), rijit istinat duvarları üzerine kohezyonlu dolgu zemininden ötürü etkiyen sismik aktif itkinin hesabı için dolgu içerisindeki çekme çatlaklarını dikkate alabilen sözde statik yaklaşım üzerine kurulu bir analitik yöntem sunmuşlardır. Çakır (2013), konsol istinat duvarlarının dinamik analizi için zemin-yapı etkileşimini dikkate alarak üç boyutlu bir doğrusal olmayan sonlu elemanlar modeli geliştirmiştir. Bu modeli kullanarak yer hareketi frekans içeriğinin ve zemin-yapı etkileşiminin dinamik davranış üzerinde oldukça etkili olduğunu ortaya koymuştur. Liu vd. (2014), zemin-duvar etkileşimi doğrultusunda esnek istinat duvarları için Hamilton ilkelerini kullanarak bazı fonksiyon ve eşitlikler üretmişlerdir. Önerdikleri model sonuçlarını literatürdeki analitik çözümleme sonuçlarıyla karşılaştırarak doğrulamışlardır. Sonuç olarak, duvar yer değiştirmelerinin ve basınçlarının duvar esnekliğine oldukça bağımlı olduğunu ve

önerdikleri yöntemin pratik olmamasına rağmen doğru sonuçlar verdiğini vurgulamışlardır. Çakır (2014a), gerçekleştirdiği çalışmada dolgu ile duvar arasındaki etkileşimi ara yüzey elemanları kullanmak suretiyle dikkate alarak konsol istinat duvarlarının dinamik davranışı üzerinde dolgu etkilerini değerlendirmiş ve dinamik davranışın dolgu etkileşimine bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir. Çakır (2014b), duvar esnekliğinin konsol istinat duvarlarının sismik davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek için farklı duvar kalınlıkları dikkate alarak bir dizi parametrik çalışma gerçekleştirmiş ve duvar esnekliğinin sismik tasarım için önemli bir parametre olduğunu vurgulamıştır. Kloukinas vd. (2015), teorik analizler ve sarsma tablası deneyleri yaparak konsol istinat duvarlarının dinamik tepkisini incelemişlerdir. Teorik incelemelerde problemin farklı değişkenlerini hesaba katabilmek için limit durum analizlerini ve dalga yayılımı etkisinin dikkate alınabileceği yöntemleri kullanılmışlardır. Deneysel çalışmalarda ise farklı duvar geometrileri, zemin konfigürasyonları ve yer hareketleri etkisi altında meydana gelen tepkileri değerlendirerek teorik ve deneysel çalışma sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğunu göstermişlerdir. Wilson ve Elgamal (2015), dinamik yanal zemin basınçlarının hesabı için bir seri sarsma tablası deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Zemin basınçlarının dağılımı ve büyüklüğü üzerinde zemin kohezyonunun ve küçük duvar hareketlerinin etkilerini değerlendirmişler ve zemin kohezyonunu dikkate alınmaması durumunda ölçülen yatay kuvvetlerin daha büyük tahmin edileceğini vurgulamışlardır. Vrettos vd. (2016), ana kayaya oturan ve yatay bir sismik harekete maruz kalan iki rijit konsol istinat duvarı-elastik homojen olmayan zemin sisteminin dinamik davranışını incelemişler ve duvara etkiyen sismik basınçları, yatay bileşke kuvvetleri ve eğilme momentlerini belirlemişlerdir. Ayrıca uygun boyutsuz parametreler kullanarak zeminin homojen olmama özelliğinin etkilerini tablo ve grafikler halinde sunmuşlardır. Sonuç olarak, homojen olmayan zemin koşullarında homojen zemin durumuna göre sismik basınçların %10-20 oranında, dinamik itkinin etkiye noktasının duvar tabanından itibaren % 1.6-10 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Candia vd. (2016), sıkıştırılmış düşük plastisiteli kil dolgu etkisindeki istinat duvarlarının dinamik davranışını santifüj deneylerine dayalı olarak incelemişlerdir. Duvara etkiyen sismik zemin basıncının serbest alan yer hareketiyle lineer bir şekilde arttığını, zemin basınçlarının derinlikle yaklaşık lineer olarak arttığını ve bileşke kuvvetin mevcut tasarım yöntemlerinin çoğunun önerdiği $(0.5-0.6) H$ 'ın aksine, temel üstünden itibaren $0.33 H$ civarında etkidiğini belirlemişlerdir. Ayrıca geleneksel limit denge yöntemlerinin $0,4 g$ 'ye kadar yer ivmelenmesine sahip bölgelerde oldukça muhafazakâr zemin basıncı verdiğini

göstermişlerdir. Jo vd. (2017), kuru orta sıkı kum dolgu etkisindeki ters T kesitli istinat duvarı üzerindeki atalet etkilerini ve dinamik zemin basınçlarının dağılımını ve büyüklüğünü değerlendirebilmek için dinamik santrüfj deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Duvara etkiyen sismik zemin basıncının üçgen şekilli olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca duvarda oluşan dinamik momentlerin sadece dinamik toprak basıncıyla değil, aynı zamanda duvarın atalet kuvveti ile tetiklendiğini, atalet momenti etkisinin duvarın toplam dinamik momentine katkısının yaklaşık %50-60 mertebelerinde olduğunu ve istinat duvarı gövdesi deprem için tasarlanırken bu atalet momentinin hesaba katılması gerektiğini vurgulamışlardır. Çakır (2017), gerçekleştirdiği sonlu elemanlar analizlerinde duvar malzeme özelliklerinin konsol istinat duvarlarının sismik davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirmiş ve duvar elastisite modülü değişiminin dinamik davranışı değiştirebileceğini ifade etmiştir. Osouli ve Zamiran (2017), konsol istinat duvarlarının sismik davranışı üzerinde dolgu zeminine ait kohezyonun etkilerini değerlendirmek için bir sayısal model önermişler ve önerdikleri modeli santrifj deney sonuçlarına bağlı olarak kalibre etmişlerdir. Kalibre ettikleri sayısal modeli üç farklı yer hareketine ve dolgu kohezyonundaki değişime bağlı olarak istinat duvarının sismik davranışını değerlendirmek için kullanmışlardır. Sayısal model sonuçlarını kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin şartlarında literatürdeki analitik yaklaşımlardan olan M-O yöntemi, Seed ve Whitman ve NCHRP yöntemleriyle karşılaştırmışlardır. Santhoshkumar ve Ghosh (2018), deprem etkisi altında kohezyonsuz dolgu zeminini destekleyen eğik yüzeyli bir istinat duvarına etkiyen pasif zemin basıncının hesabı için sözde dinamik yaklaşımla ilişkili gerilme karakteristiklerine dayalı bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirilen yöntem üzerinden içsel sürtünme açısının, duvar eğimi ve pürüzlülüğünün, sismik ivmelerin, büyütme faktörünün, kayma ve boyuna dalga hızlarının, sismik dalgaların faz farkının pasif zemin basıncı üzerindeki etkileri değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, farklı girdi parametreleri için duvar arka yüzü boyunca gerilme dağılımının doğrusal olmadığını ve yöntemden elde edilen sismik pasif zemin basıncı katsayısının, kırılma yüzeyini doğrusal kabul eden sözde dinamik analizlerden elde edilenden daha küçük olduğunu bulmuşlardır.

Yukarıda sunulan çalışmalar ışığı altında teknik literatür incelendiğinde, istinat duvarlarının sismik davranışını belirlemeye yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiş olmasına rağmen, bunların çoğunun depremlerden doğan yanal zemin basınçlarının belirlenmesine yönelik olduğu, istinat duvarlarının sismik davranışı üzerinde zemin-yapı etkileşim etkileri ve duvar geometri değişiminin etkileri ile ilgili araştırmaların azlığı dikkat çekmektedir. Ayrıca istinat duvarlarının sismik tasarımına yönelik mevcut yönetmelikler

incelendiğinde, karmaşık zemin etkileşimlerinin dikkate alınmasına yönelik özel bir yöntemin olmadığı ve sözde statik yaklaşımlarla çözüme gidildiği görülmektedir (IS-1893, 2002; Eurocode 8-Part 5, 2003; EAK-2000, 2003). Ülkemizde yürürlükte olan Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) incelendiğinde, bu yönetmeliğin esasen bina türü yapılar için geliştirilmiş olduğu ve istinat duvarları için söz konusu karmaşık etkileşimlerin dikkate alınmasına yönelik bir öneri içermediği görülmektedir. Bununla birlikte TS 7994 (1990) ile de sadece istinat yapılarına ilişkin statik tasarım esasları verilmektedir.

1.7. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İstinat yapıları daha önce de belirtildiği üzere birçok farklı alanda değişik maksatlarla kullanılan yapı türleridir. Ülkemizde ve dünyada yapılan bilimsel araştırmalarda genel olarak bina türü yapılar çalışılmakta ve bu tür yapılar üzerinde çok detaylı araştırmalar yürütülmektedir. Oysaki doğrudan can ve mal kayıplarına neden olmasa da, istinat duvarlarının ağır hasar görmesi ya da yıkılması, dolaylı olarak deprem sonrası yürütülecek lojistik hizmetlerin sağlıklı bir biçimde sürdürülmesine engel olabilmektedir. Bu bağlamda, bu tür yapıların da deprem davranışlarının bilinmesinin ne denli önemli bir husus olduğunu vurgulamak mümkündür.

İstinat yapılarının deprem davranışlarının gerçekçi olarak belirlenebilmesi için dolgu zemini-duvar ve temel zemini-duvar etkileşimlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Zira bu tür yapı sistemlerinin herhangi bir noktasında meydana gelebilecek iç kuvvetlerin; yapı, temel ve zemin ortamlarının her birinin kendi özelliklerinden ve birleşim ara yüzeylerinin özelliklerinden farklı oranlarda etkilenebilecekleri bilinmektedir. Bununla birlikte, farklı fiziksel ve mekanik özelliklere sahip ortamlar arasındaki ara yüzey davranışının modellenerek çözümlenmesi oldukça karmaşık matematiksel işlemlerin ve çözüm yöntemlerinin kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Ancak yapılan literatür incelemesinden bu tür etkileşimlerin dikkate alındığı ve üç boyutlu modelleme tekniklerinin kullanıldığı çalışmaların azlığı dikkat çekmekte ve çoğunlukla basit kabuller yapılarak sözde statik yöntemlerle çözümlemelerin gerçekleştirildiği görülmektedir. Ayrıca dinamik davranış üzerinde duvar geometrisi etkilerinin değerlendirildiği çok sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Bu çerçevede;

- a) İncelemeye konu olan konsol istinat duvarlarının sismik davranışlarının belirlenebilmesi için, dolgu-duvar ve duvar-temel zemini etkileşimlerini dikkate alarak üç boyutlu sayısal modeller geliştirmek,
 - b) Konsol istinat duvarlarındaki geometrik farklılıkların sismik davranışa etkilerini belirlemek,
 - c) Zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişime bağlı olarak parametrik çalışmalar gerçekleştirmek suretiyle bu tür yapı sistemlerinin sismik davranışı hakkında fikir sahibi olabilmek,
 - d) Farklı yer hareketleri etkisi altında duvar sismik davranışını değerlendirmek,
 - e) Tasarımcılara zemin-yapı etkileşiminin ve duvar geometrisinin yapı davranışını nasıl değiştirebileceği hususunda bir bakış açısı sağlayabilmek,
- bu tez çalışmasının başlıca amaçlarını oluşturmaktadır.

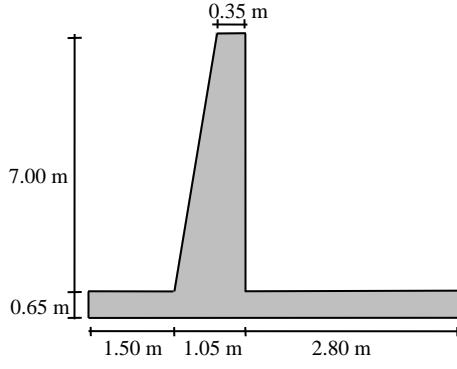
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR ve İRDELEME

Bir istinat duvarı tipinin uygulanmak üzere seçilmesi birçok faktöre bağlı olmakla birlikte özellikle; zemin ve yeraltı suyunun durumuna, yükseklik ve topoğrafyaya, uygun arka dolgu malzemesinin bulunabilirliğine, yer, ulaşım, ekipman ve özel tekniklerin kullanılması gibi yapım kısıtlarına, zeminin hareketlerine ve bu hareketlerin komşu yapılara etkisine, yapının ömrü ve bakım gereklerine ve maliyete bağlıdır (Birand, 2006). Ayrıca hangi duvar tipi seçilirse seçilsin, inşa edilecek duvarın yanal zemin ve su basınçlarına, sırt dolgusu üzerindeki sürşarj yüklerine ve deprem yüklerine dayanımlı olması gerekmektedir.

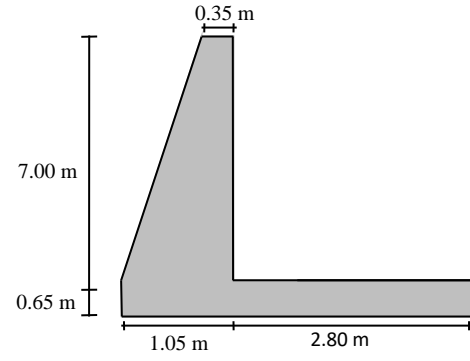
İstinat yapılarının yapısal çözümlemelerinde bazı farklılıklar olmakla birlikte bu çalışmanın kapsamı konsol istinat duvarlarıyla sınırlandırılmaktadır. Bu tür yapı sistemlerinin çözümü farklı fiziksel özelliklere sahip ortamların ve bu ortamların temasını sağlayan ara yüzeylerin modellenmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda, gerek dolgu-duvar gerekse temel-zemini-duvar etkileşimlerinin söz konusu olması konsol istinat duvarlarını zemin-yapı etkileşim problemlerinin en önemlilerinden biri haline getirmektedir. Bu çalışmada, zemin-yapı etkileşimi ve farklı duvar geometrileri dikkate alınarak, etkileşimin ve geometri değişiminin konsol istinat duvarlarının dinamik davranışı üzerindeki etkileri sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Sonlu eleman modellerinin oluşturulabilmesi ve bu modellerin çözümlerinin gerçekleştirilebilmesi için genel amaçlı bir yapısal analiz programı olan ANSYS 13 (2010) paket programından yararlanılmıştır.

Modellerin uygulanabilmesi ve farklı duvar geometrilerinin dinamik davranış üzerindeki etkilerinin değerlendirebilmesi için Şekil 2.1’de kesitleri verilen konsol duvarlar dikkate alınmıştır. Bu kesitler belirlenirken Türkiye’de Karayolları tarafından tip proje olarak uygulanan ve Şekil 2.1a’da verilen ters T kesitli konsol istinat duvarının boyutları ve yapısal özellikleri dikkate alınmış ve diğerleri bu kesit referans alınarak belirlenmiştir.

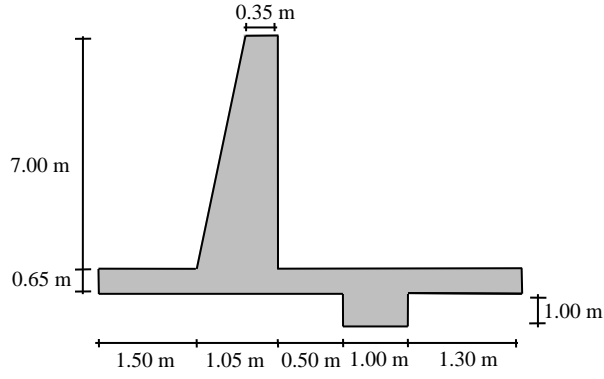
Zemin-yapı etkileşim etkilerini değerlendirebilmek amacıyla dikkate alınan temel zemini özellikleri Tablo 2.1’de verilmektedir. Çözümlemelerde istinat duvarına ait elastisite modülü 30000 MPa, Poisson oranı 0.20, birim hacim ağırlık 25 kN/m³, dolgu zeminine ait elastisite modülü 100 MPa, Poisson oranı 0.3, birim hacim ağırlık 18 kN/m³, kohezyon 5 kN/m², içsel sürtünme açısı 35° olarak dikkate alınmıştır.



a) Ters T kesitli konsol istinat duvarı



b) L kesitli konsol istinat duvarı



c) Dişli konsol istinat duvarı

Şekil 2.1. Çözümlemelerde dikkate alınan konsol istinat duvarı kesitleri

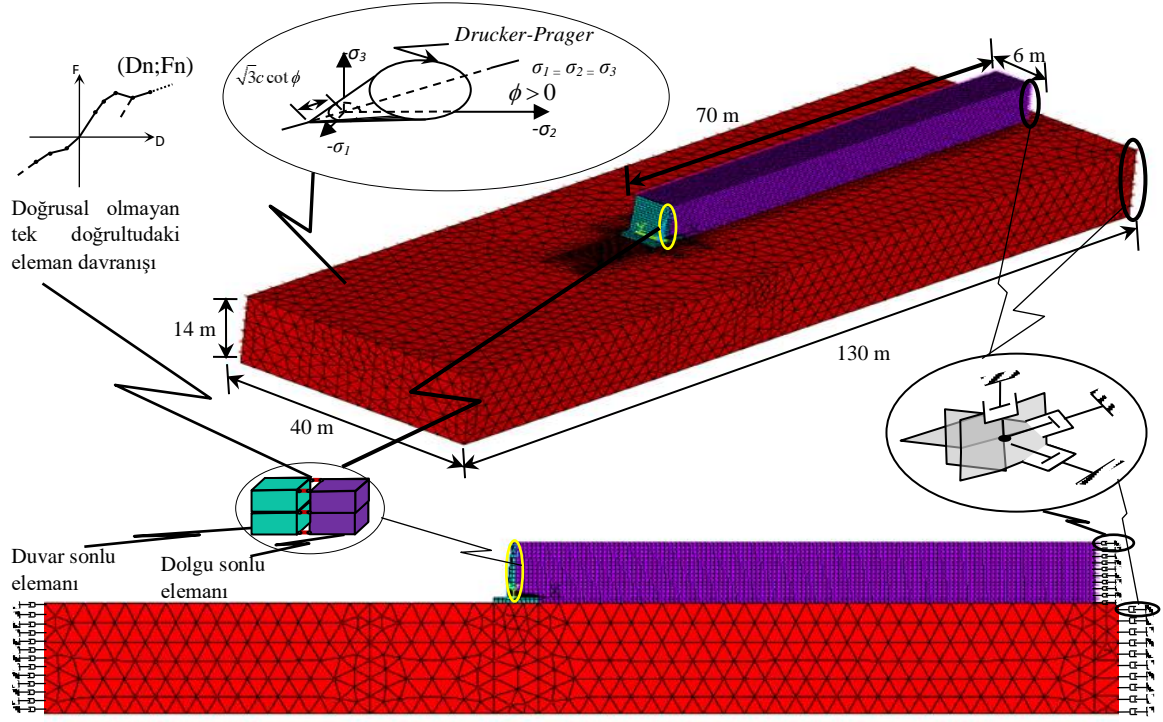
Tablo 2.1. Çözümlemelerde dikkate alınan temel zemini özellikleri

Zemin Sistemi	E (kN/m ²)	G (kN/m ²)	ν	$\phi(^{\circ})$	$\psi(^{\circ})$	γ (kN/m ³)	v_s (m/s)	v_p (m/s)
S1	500000	192308	0.30	35	0	19	318.14	595.19
S2	150000	57692	0.30	35	0	19	174.25	326.00
S3	75000	27778	0.35	35	0	18	124.23	258.60
S4	35000	12963	0.35	35	0	18	84.86	176.66

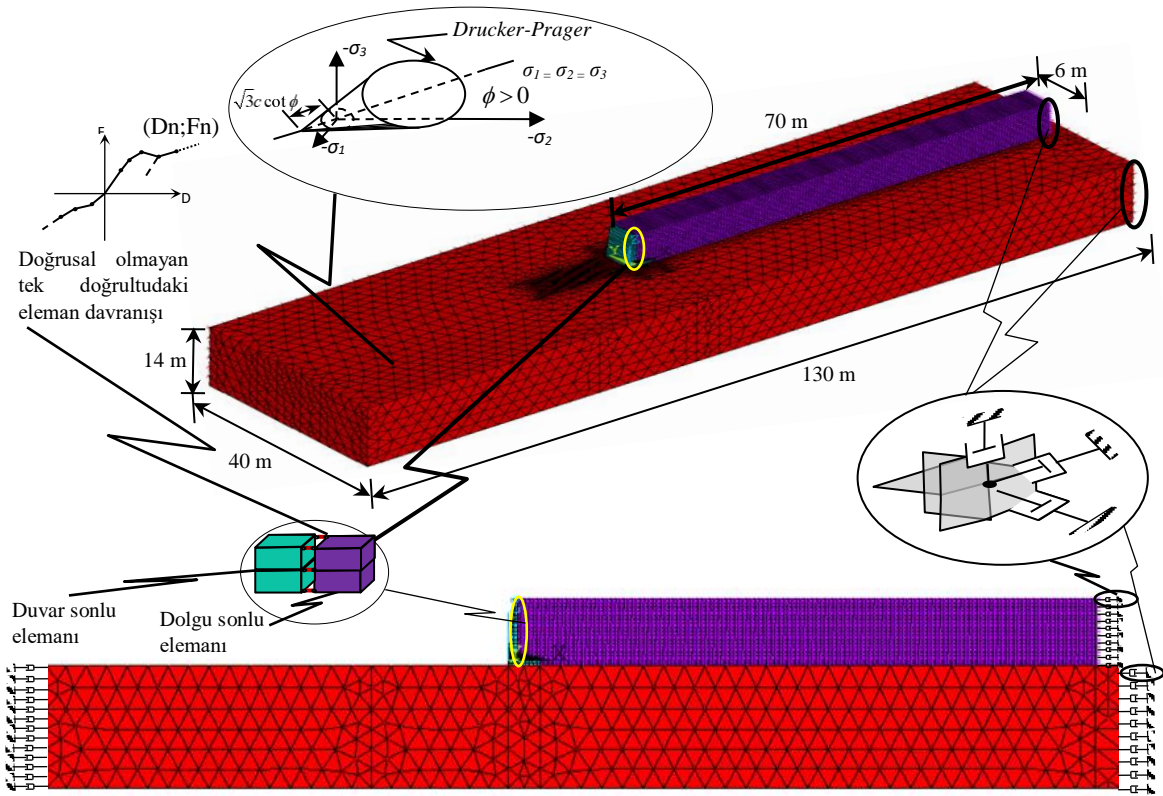
E: Elastisite Modülü, G: Kayma Modülü, ν : Poisson Oranı, ϕ : İçsel Sürtünme Açısı, ψ : Genleşme Açısı, γ : Birim Hacim Ağırlık, v_s : Kayma Dalgası Hızı, v_p : Boyuna Dalga Hızı

2.1. Oluşturulan Sayısal Modeller

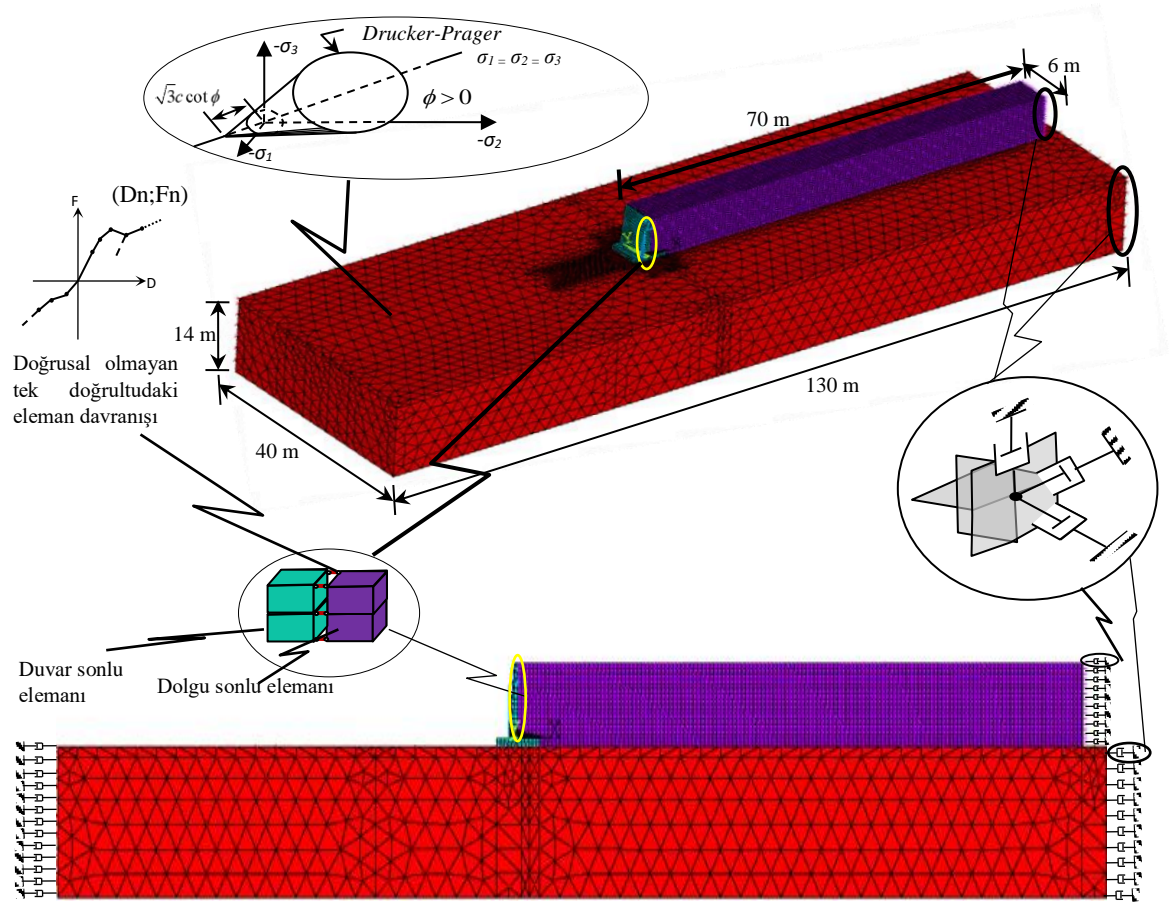
Üç farklı geometriye sahip konsol istinat duvarı dikkate alınarak oluşturulan dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin sistemi sonlu eleman modelleri ters T kesitli duvar için Şekil 2.2’de, L kesitli duvar için Şekil 2.3’de ve dişli duvar için Şekil 2.4’de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Ters T kesitli konsol istinat duvarı için sonlu elamanlar modeli



Şekil 2.3. L kesitli konsol istinat duvarı için sonlu elamanlar modeli

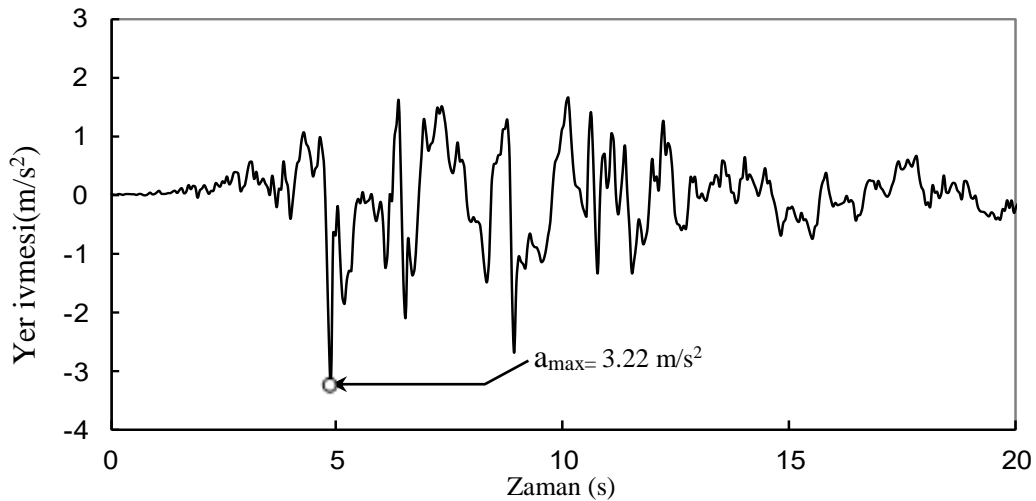


Şekil 2.4. Dişli konsol istinat duvarı için sonlu elamanlar modeli

Oluşturulan sonlu eleman modellerinde; konsol istinat duvarı ANSYS eleman kütüphanesinde bulunan SOLID65 elemanlarla, dolgu ve temel zeminleri ise SOLID45 elemanlarla modellenmiştir. SOLID65 her bir noktasında üç ötelenme serbestliğine sahip sekiz düğüm noktalı üç boyutlu bir katı eleman olup, bünyesinde çekmede çatlama ve basınçta ezilme özelliklerini barındırmaktadır. SOLID45 ise yine katıların üç boyutlu modellenmesinde kullanılan, her bir noktasında üç ötelenme serbestliğine sahip sekiz düğüm noktalı üç boyutlu bir eleman olup; plastisite, sünme, şişme ve büyük şekil değiştirme kabiliyetlerine sahiptir. Dolgu-duvar etkileşimini modellemek için özel ara yüzey elemanı olarak doğrusal olmayan genelleştirilmiş kuvvet-deplasman kabiliyetine sahip tek doğrultulu yay eleman (COMBIN39) kullanılmıştır. Bu eleman tipinde basınç ve çekme durumları için ayrı ayrı deplasman-kuvvet ilişkisi tanımlanabilmektedir (Çakır ve Kara, 2015). Ayrıca bu tür zemin-yapı etkileşim problemlerinde sınır şartlarının doğru ve gerçekçi bir şekilde tanımlanması gerekmektedir. Çünkü oluşturulan modellerde, gerçekte sonsuz büyüklükteki zemin hacmi, sınırlı hacimdeki bir zemin ortamla temsil edilmeye çalışılmaktadır. Sınırsız

zemin hacmini bu şekilde sonlu hacimle belirtmek, sistem enerjisini belirli bir bölgede sınırlamak anlamına gelmektedir. Bu manada radyasyonel sönüm etkilerinin dikkate alınabilmesi ve yansıma etkilerinin önüne geçilebilmesi için Lysmer ve Kuhlemeyer (1969) tarafından önerilen viskoz sınırlar kullanılarak, sönümleyiciler model sınırlarına kartezyen koordinat takımında her bir doğrultuda yerleştirilmiştir. Kullanılacak viskoz sınırlar için oluşturulacak sonlu eleman modellerinin boyutları belirlenirken temel ve dolgu zemini sistemi boyutlarındaki artışa bağlı olarak hassasiyet oranının artacağı yapılan çalışmalar ile ortaya konmuştur. Bu doğrultuda gerçekleştirilen parametrik incelemeler neticesinde tasarlanan temel zemini boyutları 130 m x 40 m x 14 m olarak belirlenmiştir. Ayrıca dolgu zemini davranışını doğru bir şekilde temsil edebilmek amacıyla duvar yüzünden itibaren kritik uzaklık duvar yüksekliğinin 10 katı olacak şekilde dikkate alınmıştır (Veletsos ve Younan, 1994; Psarropoulos vd., 2005). Bu çerçevede istinat duvarı için 6 m'lik ano uzunluğu dikkate alındığından dolgu zemini boyutları 70 m x 6m x 7.65 m olarak elde edilmiştir. Çözümlerinde zeminin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı Drucker-Prager elastoplastik malzeme yaklaşımı ile dikkate alınmıştır.

Çözümler zaman ortamında doğrudan integrasyon yöntemlerinden Newmark yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çözümlerinde sistemin sönümü Rayleigh sönümü ile temsil edilmiştir. Deprem kaydı olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Yarımca'da kaydedilen Kuzey-Güney bileşeni dikkate alınmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi Yarımca ivme kaydı Kuzey-Güney bileşeni

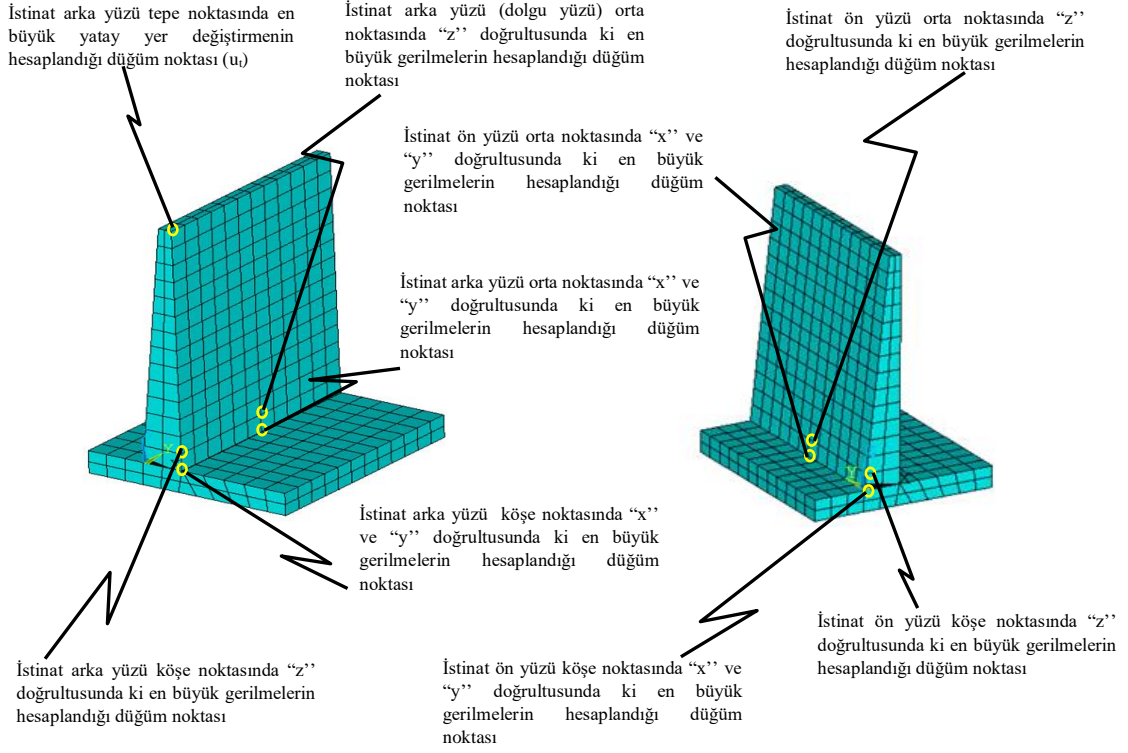
2.2. Ters T Kesitli İstinat Duvarının Sismik Davranışının Değerlendirilmesi

Ters T kesitli konsol istinat duvarı için Şekil 2.2’de sunulan sonlu elemanlar modeli vasıtasıyla Tablo 2.1’de verilen dört farklı temel zemini koşulu dikkate alınarak dört farklı çözümleme gerçekleştirilmiştir. Çözümlemelerden elde edilen en büyük yatay yer değiştirmeler ve kritik kesitlerde meydana gelen gerilmeler ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları Tablo 2.2’de verilmektedir. İstinat duvarının ön ve arka yüzlerinde seçilerek tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları Şekil 2.6’de gösterilmektedir. Buradaki yer değiştirmeler, yer seviyesine göre hesaplanan rölatif (görelî) yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

Tablo 2.2. Ters T kesitli konsol istinat duvarı için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları

Zemin Sistemi	S1		S2		S3		S4	
Tepkiler	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
u_t (m)	9.00	-0.0008	6.80	-0.0059	6.80	-0.0121	6.85	-0.0234
S_z (arka köşe) (MPa)	4.90	0.3341	5.35	1.5915	5.35	2.2161	5.40	2.5178
S_y (arka köşe) (MPa)	4.90	0.0512	5.35	0.2551	5.35	0.3770	5.40	0.4706
S_x (arka köşe) (MPa)	4.90	0.1893	5.35	0.9900	5.35	1.5129	5.40	1.9806
S_z (arka orta) (MPa)	7.95	0.3009	5.35	1.5370	5.40	2.1432	5.40	2.4708
S_y (arka orta) (MPa)	7.95	0.1150	5.35	0.5486	5.35	0.8031	5.40	1.0099
S_x (arka orta) (MPa)	7.90	0.2151	5.35	1.1039	5.35	1.6651	5.40	2.1767
S_z (ön köşe) (MPa)	4.90	-0.3704	5.35	-1.7139	5.35	-2.3837	5.40	-2.7528
S_y (ön köşe) (MPa)	4.90	-0.0168	5.30	-0.0647	5.35	-0.0858	5.40	-0.0907
S_x (ön köşe) (MPa)	4.90	-0.1624	5.35	-0.6759	5.35	-0.9141	5.40	-0.9839
S_z (ön orta) (MPa)	7.95	-0.2706	5.35	-1.4569	5.40	-2.0214	5.40	-2.2826
S_y (ön orta) (MPa)	4.90	-0.0571	5.35	-0.2594	5.40	-0.3324	5.40	-0.3378
S_x (ön orta) (MPa)	4.80	-0.0808	5.35	-0.4970	5.40	-0.6395	5.45	-0.6110

u_t : İstinat duvarı tepe noktasındaki yatay yer değiştirme; t: Zaman; S_z , S_y , S_x (arka köşe): Duvar arka yüzü (dolgu tarafı) köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (arka orta): Duvar arka yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön köşe): Duvar ön yüzü köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön orta): Duvar ön yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler



Şekil 2.6. Ters T kesitli duvarda en büyük tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları

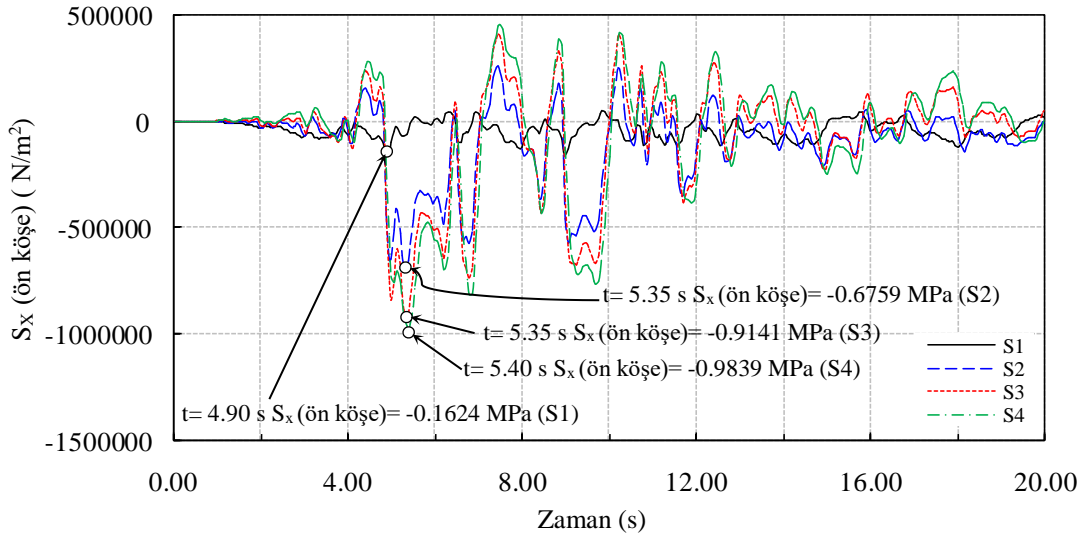
Tablo 2.2’de verilen değerler incelendiğinde, temel zemini özelliklerindeki değişime bağlı olarak yatay yer değiştirme ve gerilme tepkilerinin şiddetlerinde ve gerçekleşme zamanlarında önemli mertebelerde farklılıklar olduğu göze çarpmaktadır. Bu farklılıklar, temel/zemin etkileşiminin istinat duvarı tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir parametre olduğuna işaret etmektedir. Değişimlere bağlı oransal irdelemeler aşağıda alt başlıklarda yapılmaktadır.

2.2.1. Ters T Kesitli İstinat Duvarı İçin Gerilmelerin İrdelenmesi

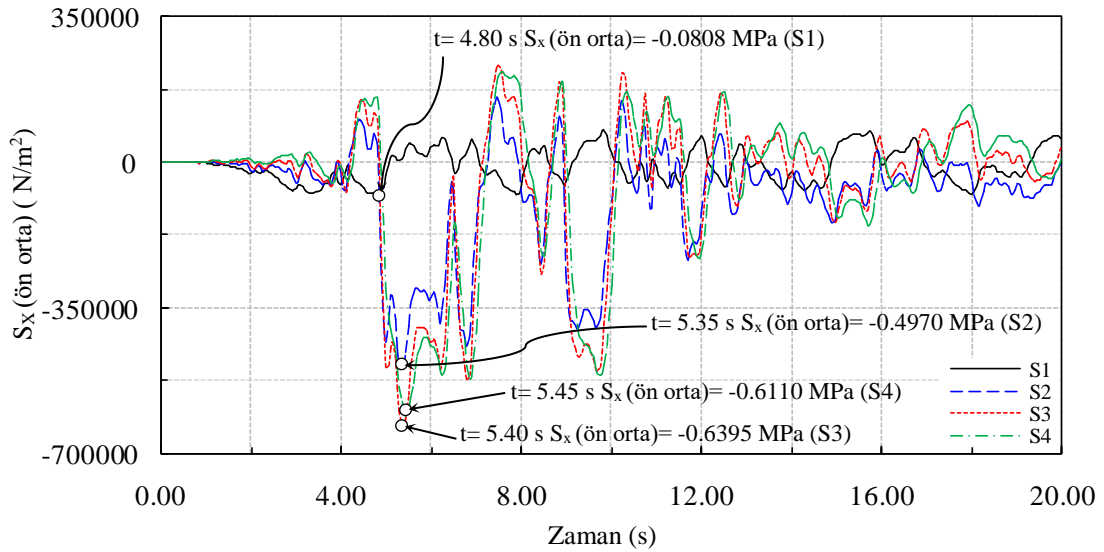
Gerçekleştirilen çözümler sonucunda dört farklı temel zemin koşulu için duvar ön ve arka yüzlerinde köşe ve orta noktalarda oluşan gerilmeler değerlendirilerek en büyük gerilme değerleri ve gerilmelerin zamanla değişimleri elde edilmiştir. Çözümlerden elde edilen gerilmelerin zamanla değişimleri genel olarak incelendiğinde, dikkate alınan zemin sistemlerine bağlı olarak farklı gerilme değişimlerinin elde edilebildiği görülmektedir.

Şekil 2.7~2.10’da istinat duvarının kritik kesitleri olarak belirlenen ön köşe, ön orta, arka köşe ve arka orta noktalarında x doğrultusunda meydana gelen gerilmelerin zamana bağlı değişimleri gösterilmektedir. Bu şekillerden gerilmelerin zamanla değişimleri

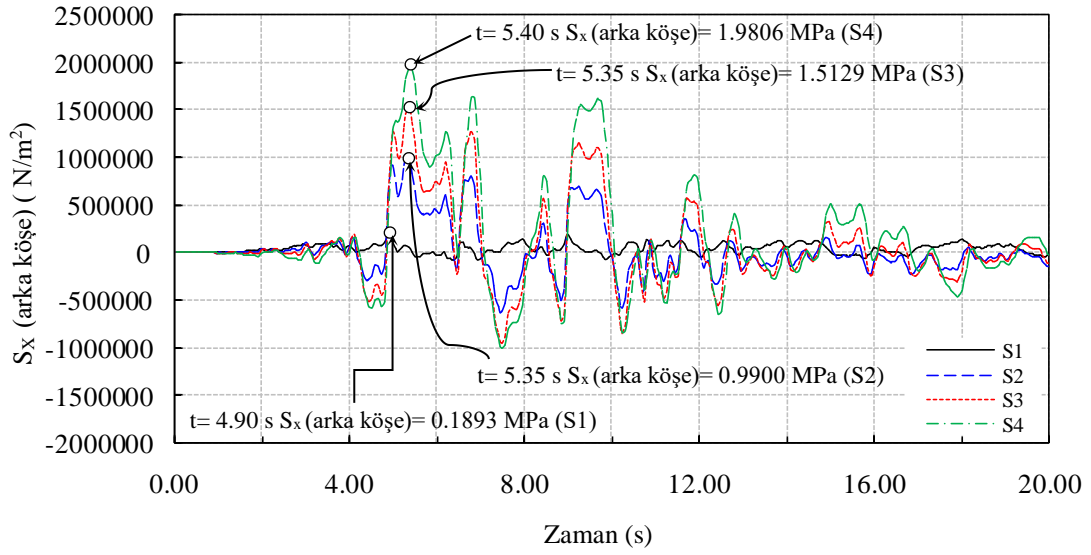
incelendiğinde gerilmelerin şiddetlerinde ve gerçekleşme zamanlarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Ayrıca tüm grafikler için en rijit zemin olan S1 zemini koşullarında gerilmelerin farklı bir karakter sergilediği ancak diğer zemin koşullarında eşlenik bir karakterin hakim olduğu, en büyük gerilmelerin yön değiştirmedeği, arka yüzde tümüyle çekme, ön yüzde ise tümüyle basınç gerilmelerinin olduğu görülmektedir.



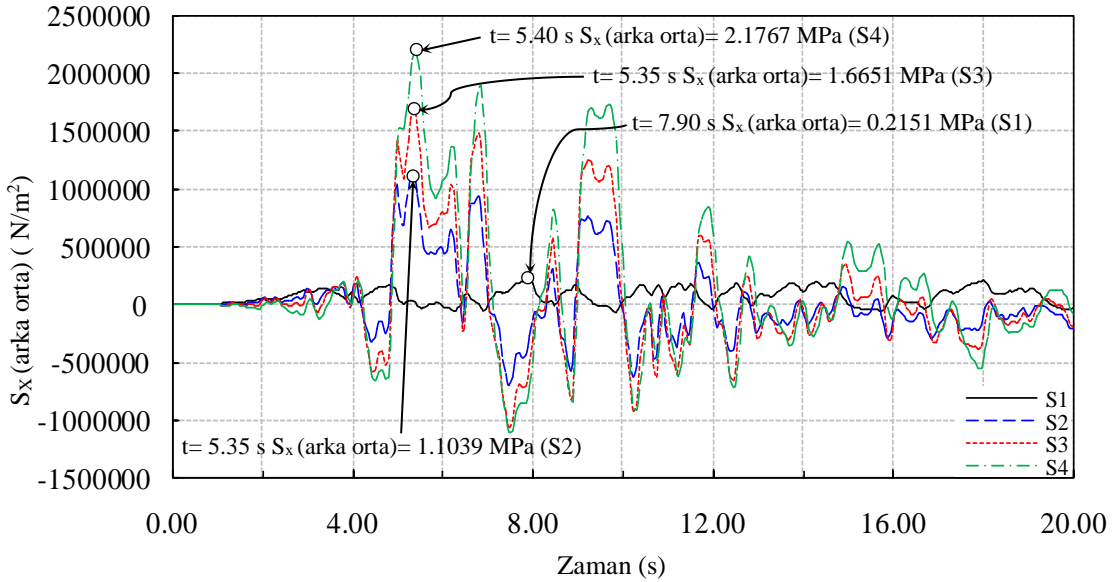
Şekil 2.7. Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.8. Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.9. Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.10. Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

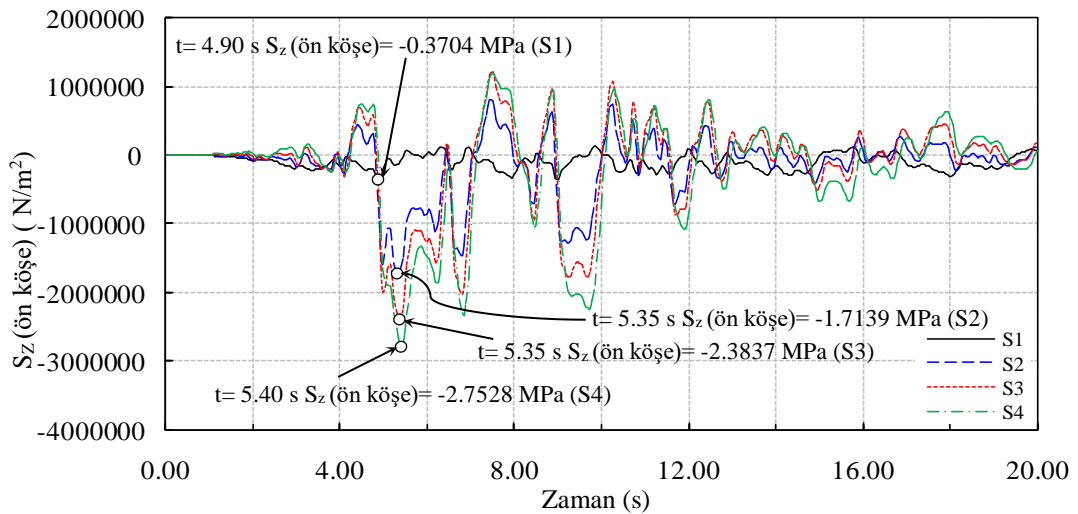
Değişimi daha net olarak ortaya koyabilmek için farklı zemin sistemlerine göre gerilmeler oransal olarak karşılaştırılabilir. Örneğin Şekil 2.7’de ters T kesitli konsol istinat duvarı ön yüz köşe noktasındaki gerilmeler incelendiğinde, S1 temel zemin sisteminde en büyük gerilme basınç olarak 0.1624 MPa mertebesinde iken, zemin rijitliğinin azalışına bağlı olarak en büyük gerilme S2 zemin sisteminde yaklaşık %316 oranında bir artışla basınç

olarak 0.6759 MPa, S4 zemin sisteminde S1 zemin sistemine göre yaklaşık %506 oranında bir artışla yine basınç olarak 0.9839 MPa mertebelerinde gerçekleşmektedir.

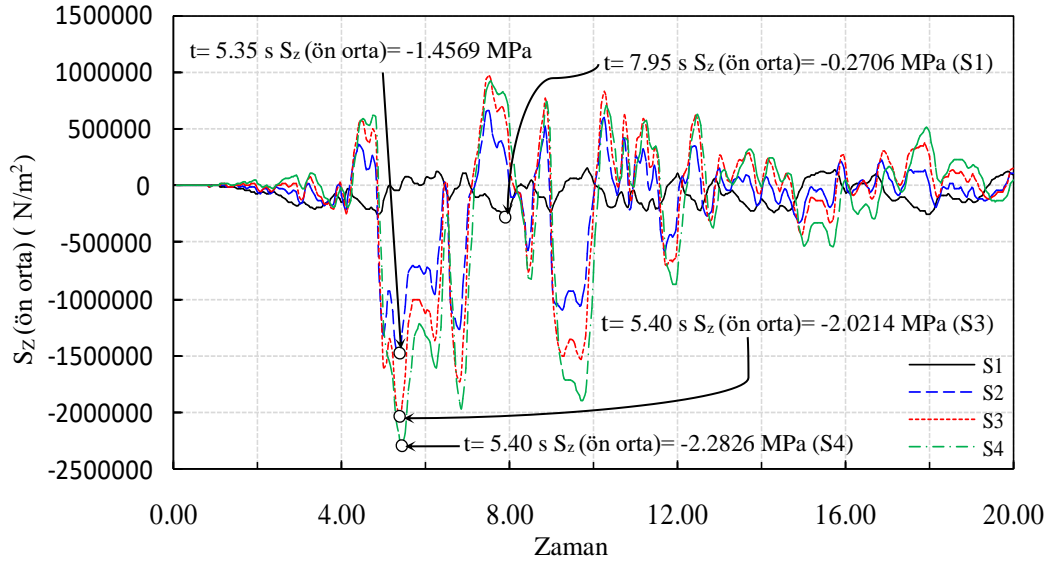
Duvar ön yüzünde x doğrultusunda elde edilen en büyük gerilmeler basınç iken duvar arka yüzünde bu davranışın yerini çekme gerilmesine bıraktığı görülmektedir. Şekil 2.9'da duvar arka yüzü köşe noktasında S1 temel zemin sistemi için en büyük gerilme değeri çekme olarak 0.1893 MPa mertebesinde iken, bu değer S2 temel zemin sisteminde yaklaşık %423 oranında bir artışla çekme olarak 0.9900 MPa, S4 zemin sisteminde ise yaklaşık %946 oranında bir artışla yine çekme olarak 1.9806 MPa mertebelerinde gerçekleşmektedir.

Oluşan en büyük gerilme değerlerinin duvar ön yüz köşe ve orta noktasında S1 zemin sistemi için 4.80~4.90 s civarında gerçekleştiği, S2, S3 ve S4 zemin sistemlerinde ise bu sürenin 5.35~5.45 s civarlarına çıktığı gözlenmektedir. Duvar arka yüzü köşe ve orta noktalarına bakıldığında ise, en büyük gerilme değerinin S1 zemin sistemi için köşe noktada 4.9 s'de, orta noktada 7.9 s'de gerçekleştiği görülmektedir. S2, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde ise seçili bu noktalarda en büyük gerilme değerleri 5.35~5.40 s civarlarında gerçekleşmektedir.

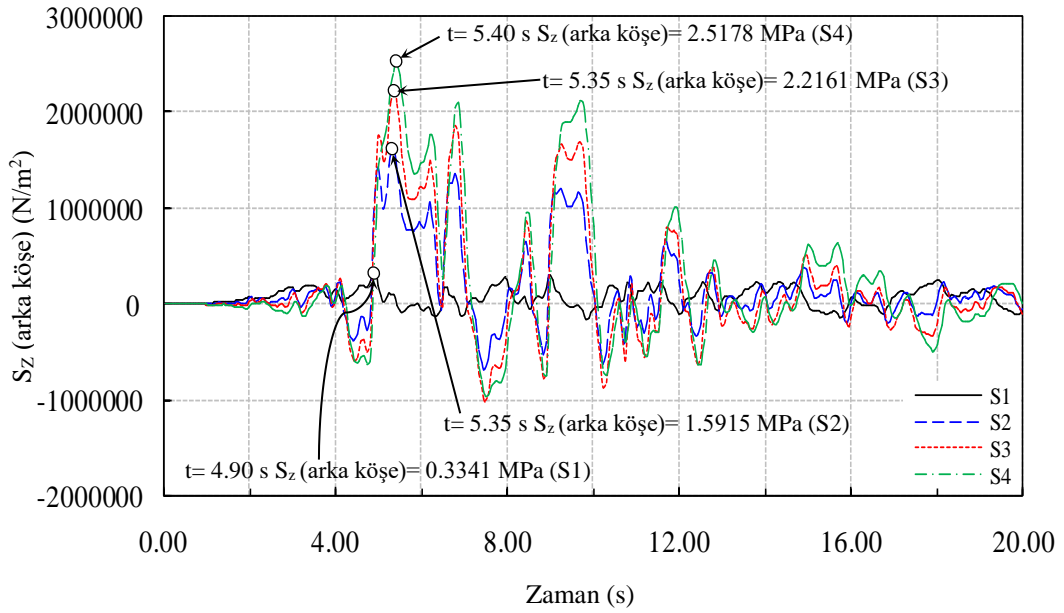
Ters T kesitli istinat duvarı için x doğrultusunda yapılan karşılaştırmalar, benzer şekilde diğer doğrultular için de yapılabilir. Şekil 2.11~2.14'de z doğrultusunda duvar ön ve arka yüzünde seçili düğüm noktalarında elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimleri gösterilmektedir.



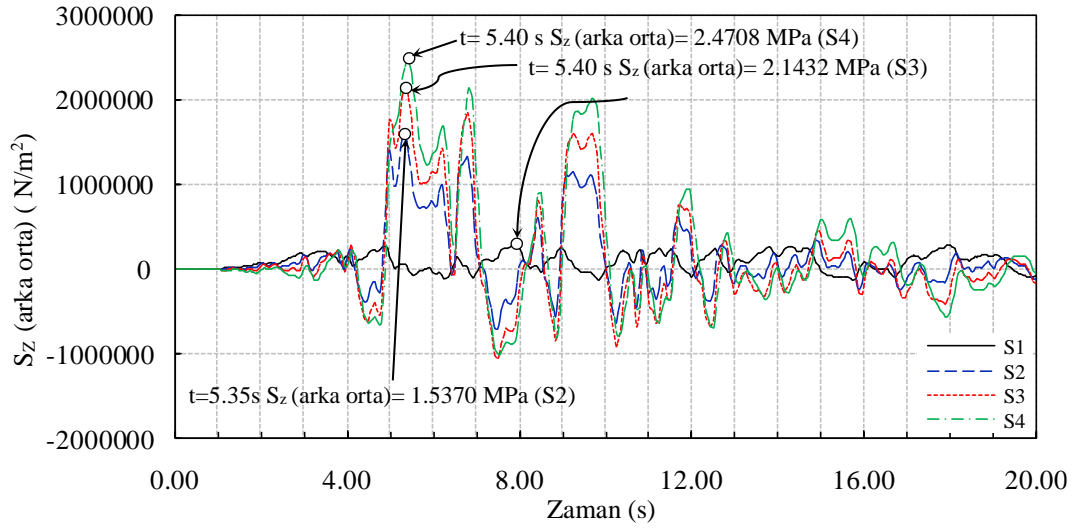
Şekil 2.11. Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.12. Ters T kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.13. Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



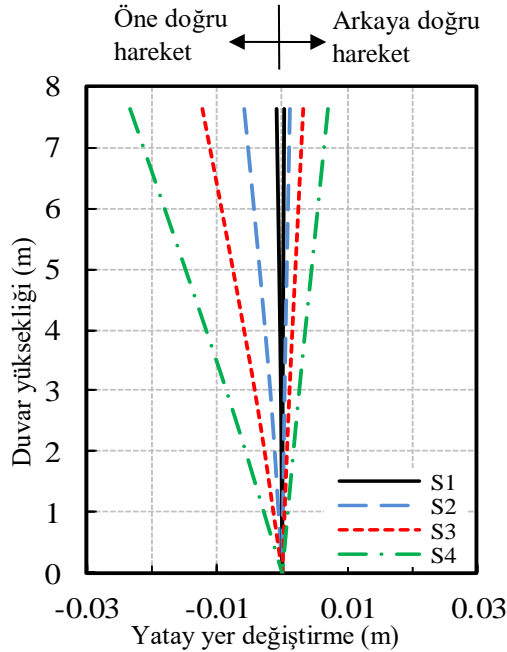
Şekil 2.14. Ters T kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

Şekil 2.11~2.14 irdelendiğinde, z doğrultusundaki gerilmelerin de şiddet ve davranış bakımından farklılıklar arz ettiği, en büyük gerilmelerin yön değiştirmedeği, arka yüzde tümüyle çekme, ön yüzde ise tümüyle basınç gerilmelerinin olduğu görülebilir. Örneğin; Şekil 2.11’de S1 temel zemin sistemi için ön yüz köşe noktada en büyük gerilmenin basınç olarak 0.3704 MPa, S2 zemin sisteminde %362 oranında bir artış ile basınç olarak 1.7139 MPa, S4 zemin sisteminde ise %643 oranında bir artış ile yine basınç olarak 2.7528 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 2.13’den duvar arka yüz köşe noktasındaki tepkilerin büyüklüğü incelenecek olursa, S2 temel zemin sisteminde en büyük gerilme değeri çekme olarak 1.5915 MPa iken, bu değer S3 temel zemin sisteminde %39 oranında bir artışla çekme olarak 2.2161 MPa, S4 temel zemininde ise %58 oranında bir artışla yine çekme olarak 2.5178 MPa mertebesinde gerçekleştiği görülebilir. İstinat duvarı kritik kesitlerinde meydana gelen gerilmeler üzerinde yapılan tüm bu değerlendirmelerden zemin-yapı etkileşiminin sismik davranış üzerindeki etkileri rahatlıkla görülebilir.

2.2.2. Ters T Kesitli İstinat Duvarı İçin Yatay Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi

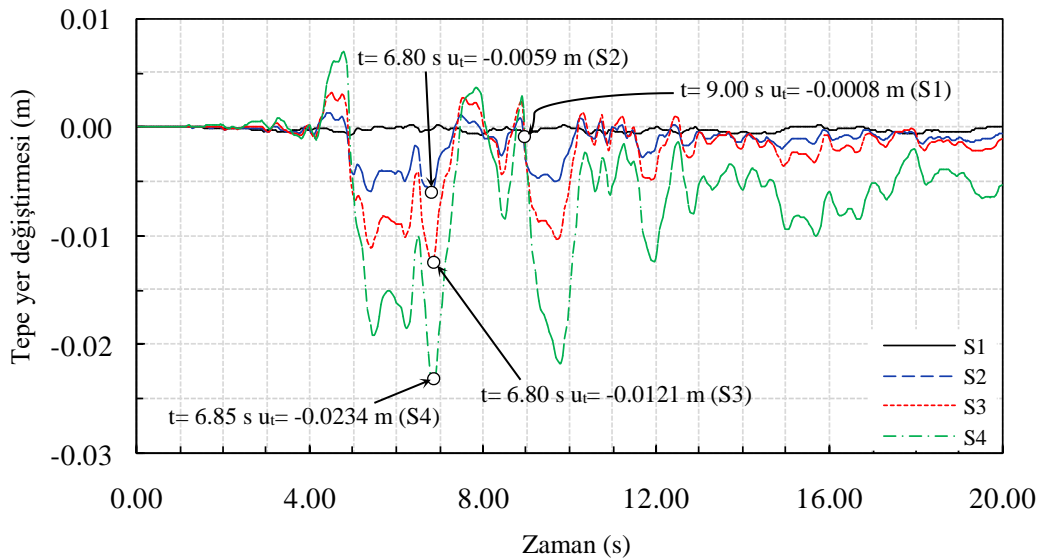
İstinat duvarları yer değiştirmeye de duyarlı yapılar olduklarından dinamik davranışın açıklanabilmesi için gerilmelerin yanı sıra yatay yer değiştirmelerin de incelenmesi önem arz etmektedir. İncelemeye konu olan istinat duvarının farklı temel zemini koşullarına göre gerçekleştirilen çözümlemelerinden elde edilen yatay yer değiştirmelerin duvarı yüksekliği

boyunca değişimleri Şekil 2.15’de verilmektedir. Burada yer değiştirmelerin negatif değerleri duvarın öne doğru hareketini (dolgudan uzağa doğru hareketi), pozitif değerleri ise duvarın arka dolguya doğru hareketini göstermektedir. Bu şekilden görülebileceği gibi, temel zemini özelliklerindeki değişime bağlı olarak, deprem yükü etkisi altındaki istinat duvarının yer değiştirmeleri önemli ölçüde değişmektedir. Burada, etkileşim nedeniyle izin verilebilir sınırların ötesinde yer değiştirmelerin oluşabileceği ve bu yer değiştirmelerin çok büyük olması durumunda, iç kuvvetler küçük mertebelerde olsa dahi, duvarın stabilitesini kaybedebileceği söylenebilir. Ayrıca farklı duvar tipleri farklı davranışlar sergileyebileceğinden, yer değiştirme sınırlarının belirlenmesi ve analizlerin plastik denge mekanizmasına ek olarak yer değiştirmeye dayalı da yapılması gerekebilmektedir. Zira yer değiştirmelerin büyüklüğünün artmasıyla dolgu içerisindeki gerilmeler elastik durumdan elasto-plastik duruma ve nihai olarak da limit duruma doğru ilerlemektedir. Bu nedenle duvar basınçlarının büyüklüğü ve dağılımı duvar hareket modlarından etkilenmektedir. Ancak çoğu durumda, kinematik sınırlamalar limit denge koşullarının oluşmasına engellemekte ve artan dinamik zemin basınçları meydana gelebilmektedir. Bu gerekçelerle, yer değiştirmeler üzerinde oldukça etkin bir parametre olarak görünen zemin etkileşiminin tasarım aşamasında mutlaka hesaba katılması gerektiği ifade edilebilir.



Şekil 2.15. Ters T kesitli istinat duvarı yüksekliği boyunca elde edilen yatay yer değiştirmeler

Aynı zemin koşullarında duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi Şekil 2.16’da gösterilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere, duvar tepe noktasında meydana gelen en büyük yatay yer değiştirme en büyük rijitliğe sahip S1 temel zemin sisteminde 0.0008 m iken, bu değer S2 temel zemin sisteminde %638 oranında bir artışla 0.0059 m olarak gerçekleşmektedir. Bir başka örnek olarak, en büyük yatay yer değiştirme S3 temel zemininde 0.0121 m iken, bu değer en az rijitliğe sahip S4 temel zemin sisteminde %93 oranında bir artışla 0.0234 m olarak elde edildiği görülebilir. Ayrıca en büyük yatay yer değiştirme tepkisi, S1 temel zemin sisteminde 9.00 s’de elde edilirken, S2, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde hemen hemen eş zamanlı (6.80~6.85 s) gerçekleşmektedir.



Şekil 2.16. Ters T kesitli istinat duvarı tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

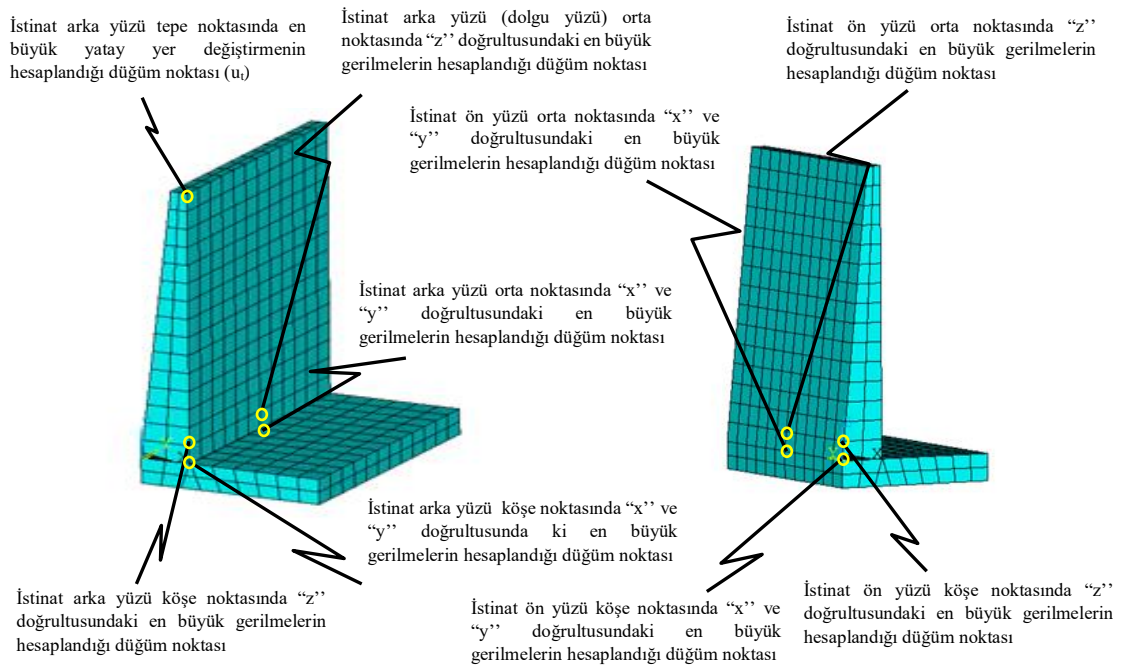
2.3. L Kesitli İstinat Duvarının Sismik Davranışının Değerlendirilmesi

L kesitli konsol istinat duvarı için Şekil 2.3’de verilen sonlu elemanlar modeli aracılığıyla Tablo 2.1’de verilen dört farklı temel zemini koşulu dikkate alınarak dört farklı çözümleme gerçekleştirilmiştir. Çözümlerlerden elde edilen en büyük yatay yer değiştirmeler ve kritik kesitlerde meydana gelen gerilmeler ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları Tablo 2.3’de verilmektedir. İstinat duvarının ön ve arka yüzlerinde seçilerek tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları Şekil 2.17’de gösterilmektedir. Buradaki yer değiştirmeler, yine yer seviyesine göre hesaplanan göreceli yer değiştirmeleri ifade etmektedir.

Tablo 2.3. L kesitli konsol istinat duvarı için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları

Zemin Sistemi	S1		S2		S3		S4	
Tepkiler	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
$u_t(m)$	4.95	-0.0009	5.35	-0.0068	6.85	-0.0163	6.85	-0.0305
$S_z(\text{arka köşe})$ (MPa)	4.95	0.3282	5.30	1.4749	5.35	1.5342	5.50	1.8384
$S_y(\text{arka köşe})$ (MPa)	4.95	0.0785	5.30	0.3787	5.35	0.4517	5.45	0.5144
$S_x(\text{arka köşe})$ (MPa)	4.95	0.4148	5.30	2.0164	5.35	2.4721	5.45	3.0004
$S_z(\text{arka orta})$ (MPa)	4.95	0.2754	5.35	1.4603	5.40	1.5590	5.50	2.0073
$S_y(\text{arka orta})$ (MPa)	7.95	0.1393	5.30	0.7509	5.35	0.8969	5.50	1.1655
$S_x(\text{arka orta})$ (MPa)	7.95	0.2863	5.35	1.6948	5.40	2.0623	5.50	2.7417
$S_z(\text{ön köşe})$ (MPa)	4.95	-0.3498	5.35	-1.5682	5.35	-1.6985	5.50	-2.0585
$S_y(\text{ön köşe})$ (MPa)	4.95	-0.0073	5.45	0.0157	5.40	0.0309	5.50	0.0451
$S_x(\text{ön köşe})$ (MPa)	4.95	0.0456	5.30	0.2118	5.30	0.2565	5.40	0.3255
$S_z(\text{ön orta})$ (MPa)	4.95	-0.2393	5.35	-1.2244	5.40	-1.2852	5.50	-1.6566
$S_y(\text{ön orta})$ (MPa)	4.95	-0.1091	5.30	-0.1963	5.30	-0.1987	5.40	-0.1843
$S_x(\text{ön orta})$ (MPa)	7.95	0.0283	5.35	0.1645	5.40	0.1998	5.50	0.2643

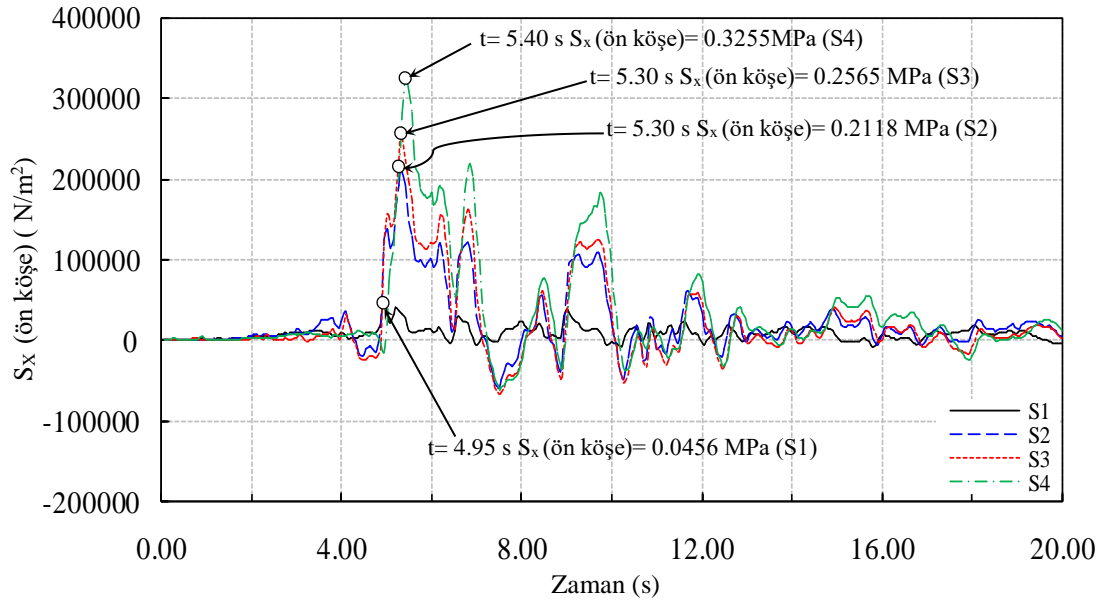
u_t : İstinat duvarı tepe noktasındaki yatay yer değiştirme; t: Zaman; S_z , S_y , S_x (arka köşe): Duvar arka yüzü (dolgu tarafı) köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (arka orta): Duvar arka yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön köşe): Duvar ön yüzü köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön orta): Duvar ön yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler



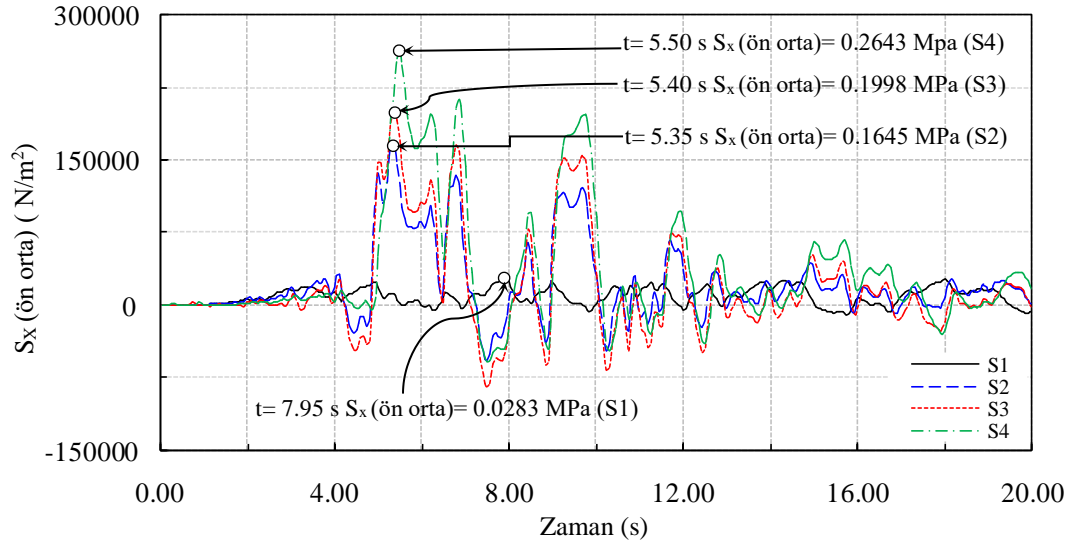
Şekil 2.17. L kesitli duvarda en büyük tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları

2.3.1. L Kesitli İstinat Duvarı İçin Gerilmelerin İrdelenmesi

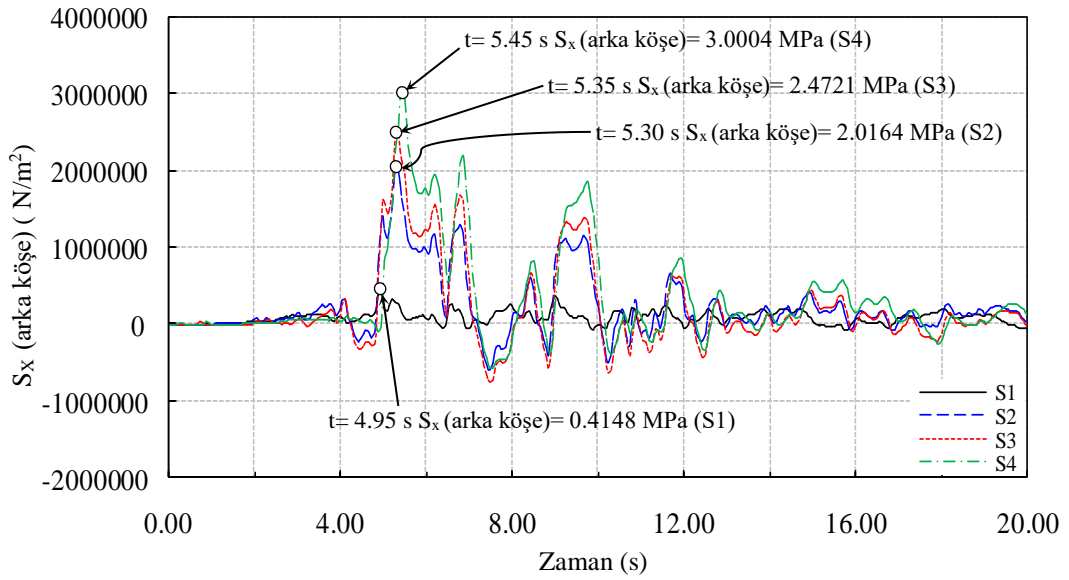
L kesitli istinat duvarı için gerçekleştirilen dinamik çözümlemeler sonucunda yine dört farklı temel zemin koşulu için duvar kritik kesitlerinde oluşan gerilmeler değerlendirilerek en büyük gerilme değerleri ve gerilmelerin zamanla değişimleri elde edilmiştir. Çözümlemelerden elde edilen gerilmelerin zamanla değişimleri genel olarak incelendiğinde, zemin rijitliğindeki değişime bağlı olarak gerilmelerin şiddetlerinde ve gerçekleşme zamanlarında farklılıklar olduğu görülebilir. Şekil 2.18~2.21’de istinat duvarının kritik kesitleri olarak belirlenen ön köşe, ön orta, arka köşe ve arka orta noktalarında x doğrultusunda meydana gelen gerilmelerin zamana bağlı değişimleri verilmektedir.



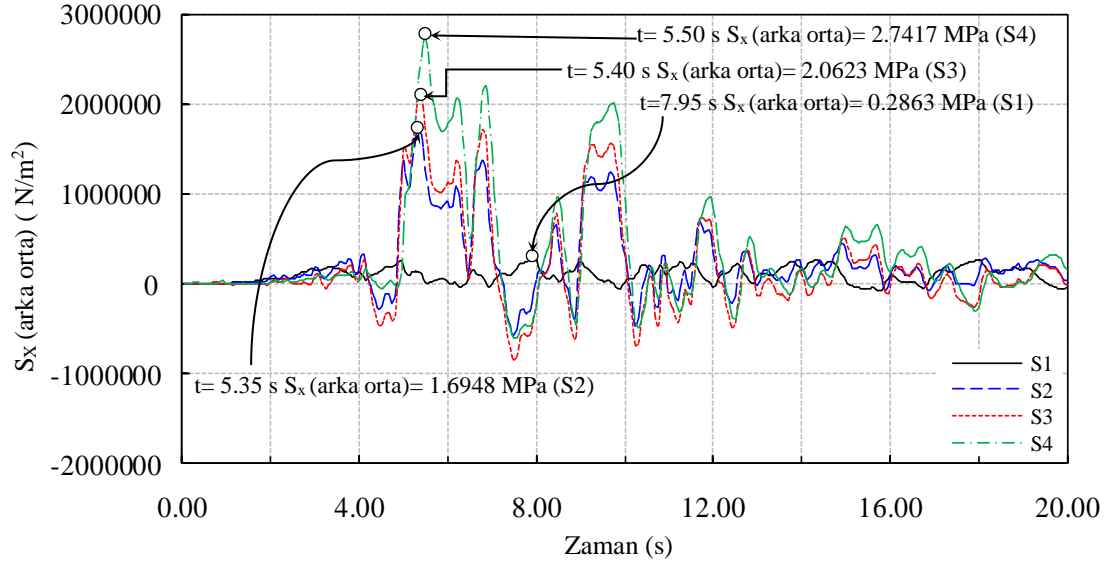
Şekil 2.18. L kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.19. L kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.20. L kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

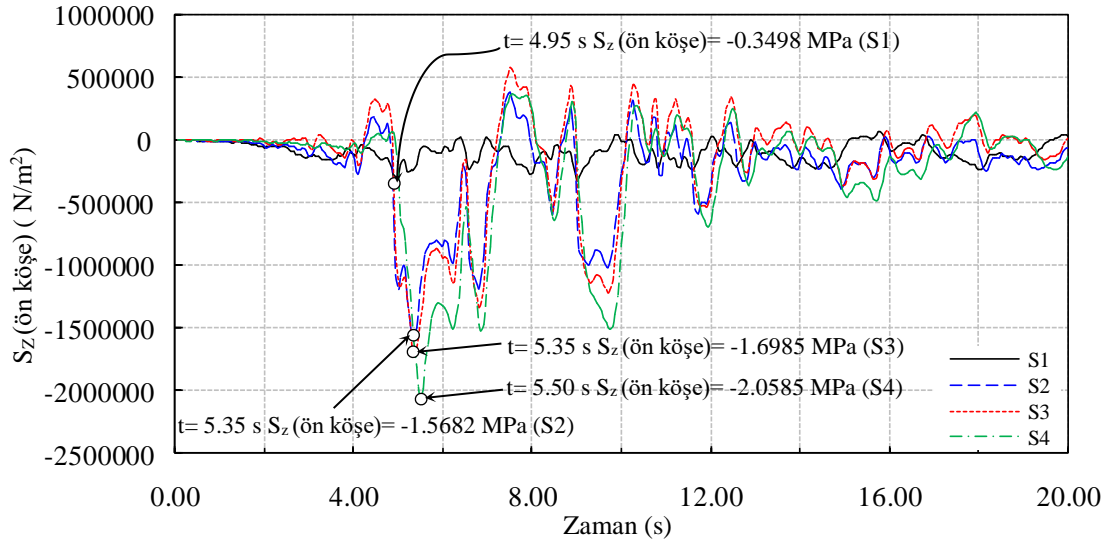


Şekil 2.21. L kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

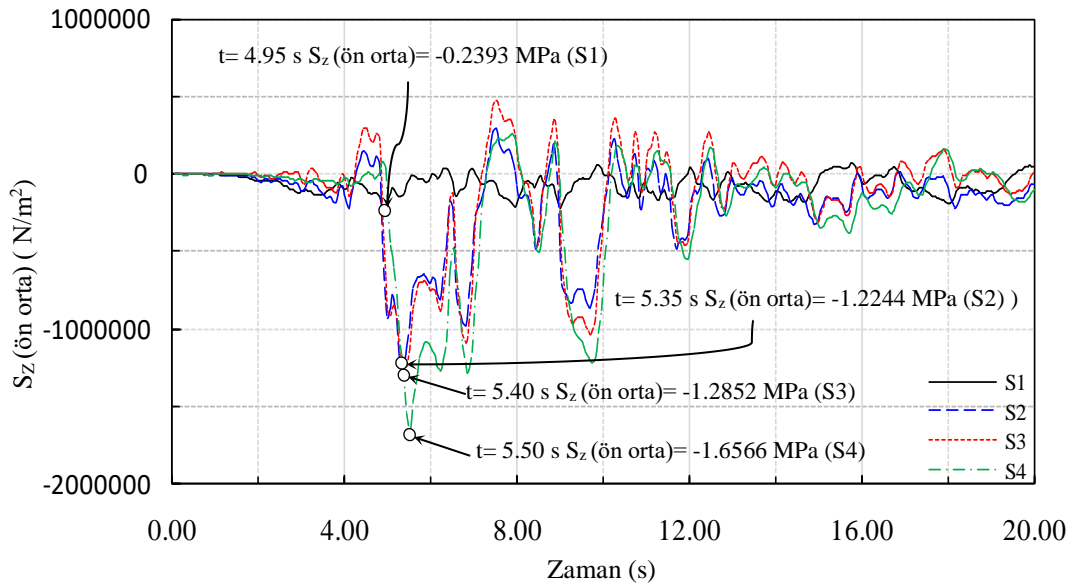
Şekil 2.18’de istinat duvarı ön yüz köşe noktasındaki gerilmeler incelendiğinde, S1 temel zemin sisteminde en büyük gerilme değeri 4.95 s’de çekme olarak 0.0456 MPa iken, bu değer rijitlik azalışına bağlı olarak S2 zemin sisteminde %364 oranında bir artışla 5.3 s’de yine çekme olarak 0.2118 MPa mertebelerine çıkmakta, bu artma eğilimi S3 ve S4 zemin sistemlerinde de devam etmektedir. Arka yüz köşe noktasındaki gerilme değerlerinin sunulduğu Şekil 2.20’den aynı eğilimin olduğu görülebilir. Örneğin; S1 temel zemin sistemindeki gerilme değeri çekme olarak 0.4148 MPa iken, bu değer S2 temel zemin sisteminde %386 oranında artarak çekme olarak 2.0164 MPa, S4 temel zemin sisteminde ise %623 oranında artışla çekme olarak 3.0004 MPa mertebelerinde gerçekleşmektedir. Buna benzer karşılaştırmalar diğer şekillerden de yapılabilir.

L kesitli istinat duvarı için x doğrultusunda yapılan karşılaştırmalar, benzer şekilde diğer doğrultular için de yapılabilir. Şekil 2.22~2.25’de z doğrultusunda duvar ön ve arka yüzünde seçili düğüm noktalarında elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimleri gösterilmektedir. Şekil 2.22 incelendiğinde, S1 temel zemin sistemi için duvar ön yüz köşe noktasında en büyük gerilme basınç olarak 0.3498 MPa iken, zemin rijitliğindeki azalmayla bu değer S3 temel zemin sisteminde %386 oranında artışla basınç olarak 1.6985 MPa, S4 temel zemin sisteminde ise %488 oranında artışla basınç olarak 2.0585 MPa mertebelerinde gerçekleşmektedir. Benzer karşılaştırma Şekil 2.24’den duvar arka yüzü köşe noktasında oluşan gerilmeler üzerinden yapılırsa, en büyük gerilme değerinin S1 zemin sisteminde

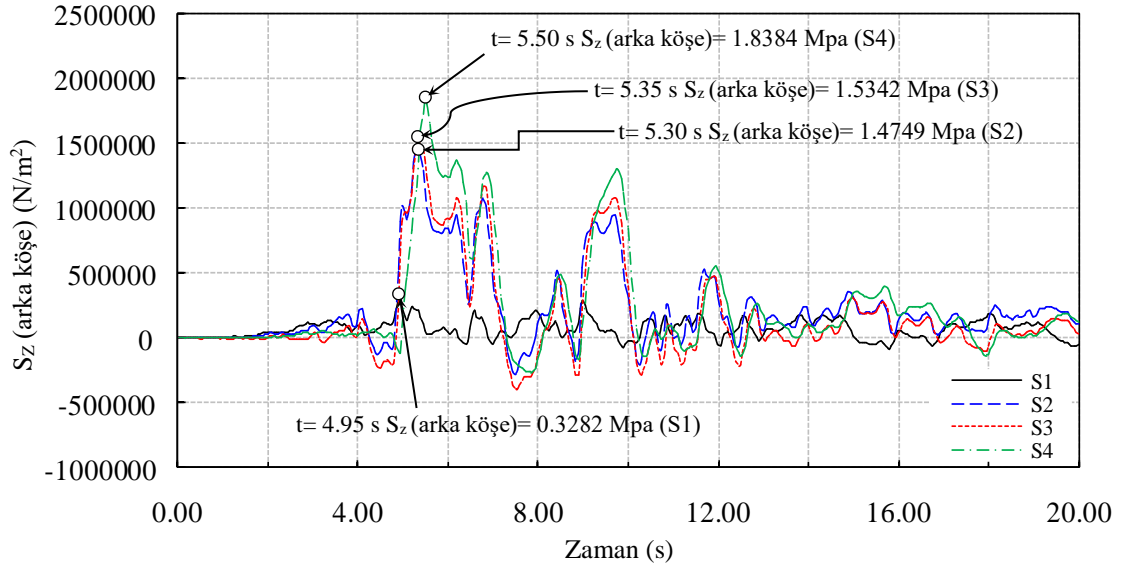
çekme olarak 0.3282 MPa, S4 temel zemininde ise yine çekme olarak %460 oranında bir artışla 1.8384 MPa olarak gerçekleştiği görülebilir. Bu duvar tipi üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen bir diğer bulgu da gerilmelerin yön değiştirebilme özelliğidir. Tüm bu değerlendirmeler zemin-yapı etkileşiminin duvar sismik davranışı üzerinde etkin bir parametre olduğunu bir kez daha ortaya koymaktadır.



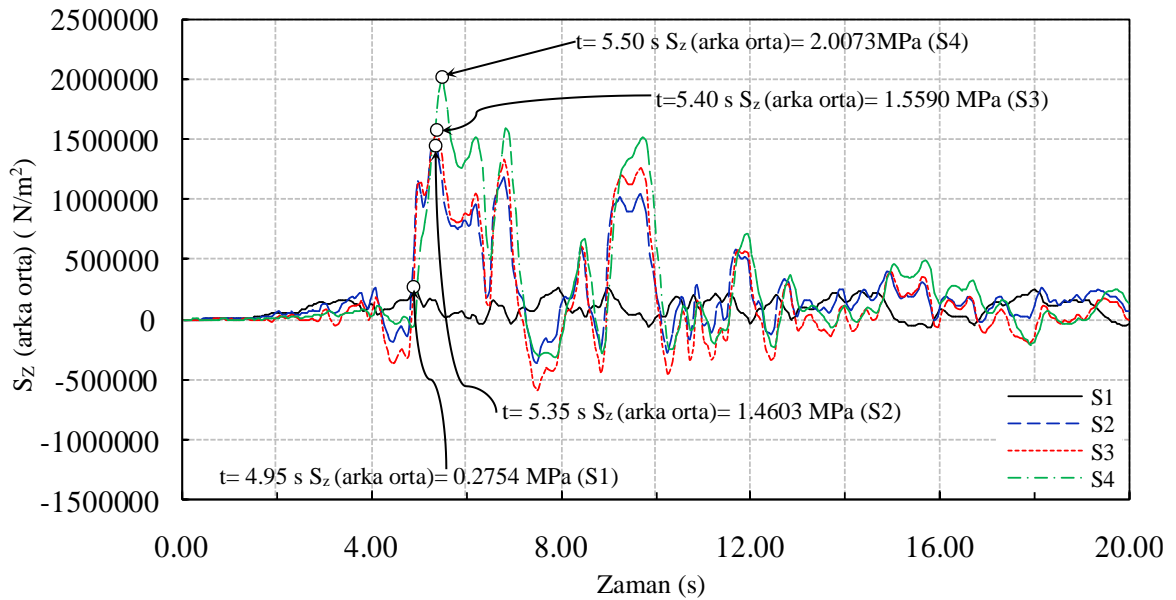
Şekil 2.22. L kesitli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.23. L kesitli istinat duvarı ön yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.24. L kesitli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

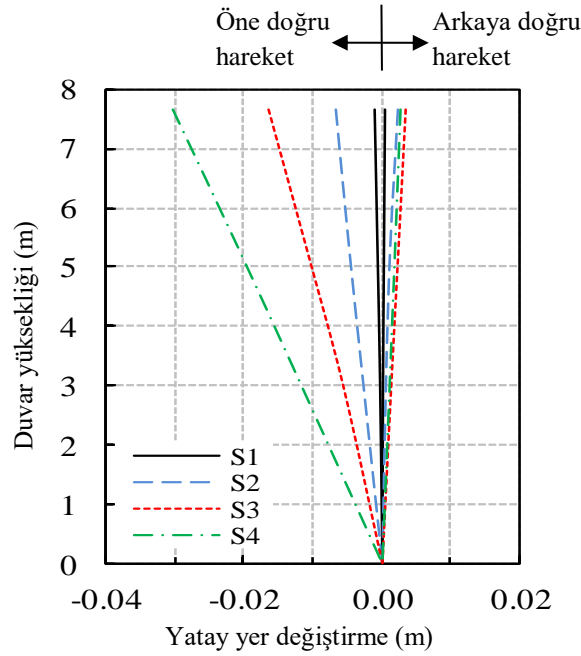


Şekil 2.25. L kesitli istinat duvarı arka yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

2.3.2. L Kesitli İstinat Duvarı İçin Yatay Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi

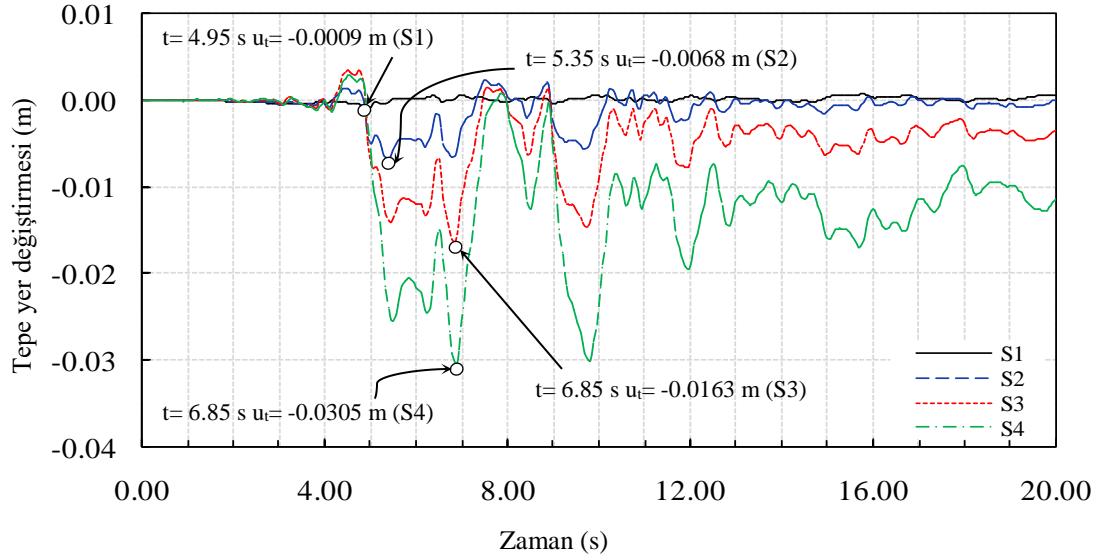
İncelemeye konu olan L kesitli istinat duvarının farklı temel zemini koşullarına göre gerçekleştirilen çözümlemelerinden elde edilen yatay yer değiştirmelerin duvar yüksekliği boyunca değişimleri Şekil 2.26’da, zamana bağlı değişimleri Şekil 2.27’de verilmektedir.

Şekil 2.26'dan duvar yüksekliği boyunca meydana gelen değişimler incelendiğinde, duvar sismik davranışının zemin şartlarının değişiminden oldukça etkilendiği ve etkileşimden beklendiği üzere bu etkilenmenin azalan zemin rijitliğiyle yatay yer değiştirmelerin artması şeklinde ortaya çıktığı görülmektedir.



Şekil 2.26. L kesitli istinat duvarı yüksekliği boyunca elde edilen yatay yer değiştirmeler

Şekil 2.27'deki duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerin zamanla değişimi incelendiğinde, en büyük yatay yer değiştirme S1 temel zemin sisteminde 0.0009 m iken, bu değer S2 temel zemin sisteminde %656 oranında bir artışla 0.0068 m mertebelerinde gerçekleşmekte, bu artma eğilimi zemin rijitliğinin azalmasıyla devam etmekte ve S4 zemin sistemi için 0.0305 m olarak hesaplanmaktadır. Ayrıca en büyük tepkilerin gerçekleşme zamanları incelendiğinde farklılıkların olduğu göze çarpmaktadır. S1 temel zemin sisteminde en büyük tepe yer değiştirmesi 4.95 s'de gerçekleşirken, S2 temel zemin sisteminde 5.35 s'de, S3 ve S4 temel zemin sistemlerinde ise 6.85 s'de gerçekleşmektedir. Bu karşılaştırmalardan hareketle, zemin etkileşiminin sismik davranışı ne denli değiştirebileceği açıkça görülmektedir.



şekil 2.27. L kesitli istinat duvarı tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

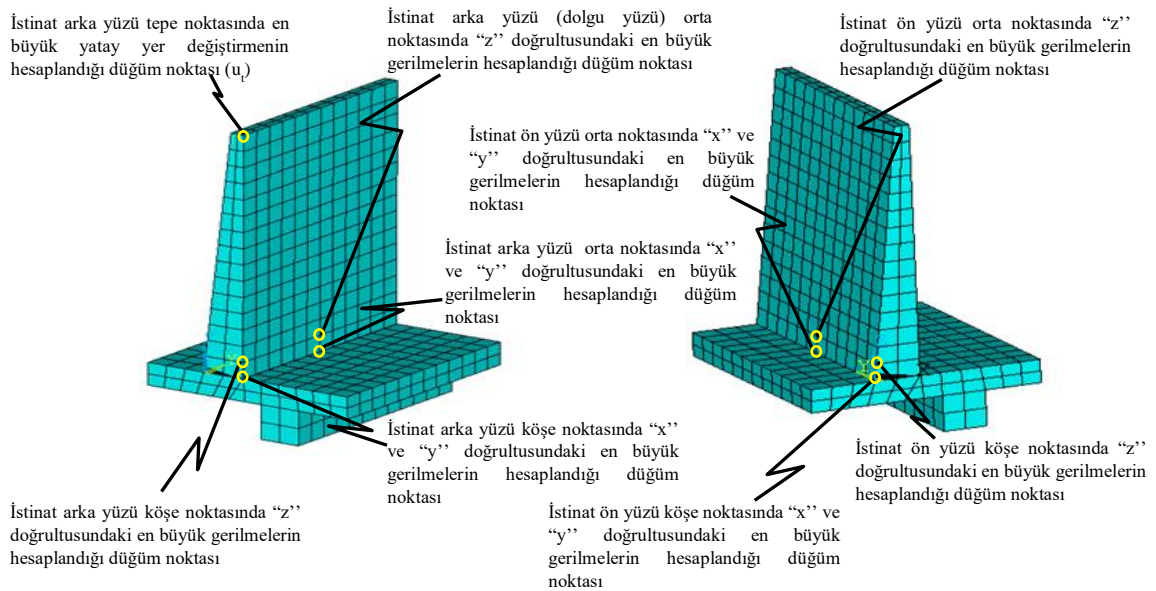
2.4. Dişli İstinat Duvarının Sismik Davranışının Değerlendirilmesi

İstinat duvarlarının stabilite tahkiklerinde duvarda taban kaymasına karşı güvenliği tesis etmede zaman zaman geręekleřtirilen uygulamalardan biri de tabanda diř (çıkıntı) uygulamasıdır. Çalışmanın bu bölümünde taban dişli uygulamalı konsol istinat duvarı için şekil 2.4’de sunulan sonlu elemanlar modeli yardımıyla Tablo 2.1’de verilen dört farklı temel zemini koşulu dikkate alınarak dört farklı çözümleme geręekleřtirilmiřtir. Çözömlmelerden elde edilen en büyük yatay yer değiştirmeler ve kritik kesitlerde meydana gelen gerilmeler ile bu tepkilerin geręekleřme zamanları Tablo 2.4’de verilmektedir. İstinat duvarının ön ve arka yüzlerinde sečilerek tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları şekil 2.28’de gösterilmektedir. Buradaki yer değiştirmeler, yine yer seviyesine göre hesaplanan izafi yer değiştirmeleri ifade etmektedir. Temel/zemin etkileşimine bağlı olarak elde edilen yatay yer değiştirme ve gerilme tepkilerinin şiddetlerinde önemli mertebelerde farklılıklar olduğu, diğer bir ifadeyle yapı deprem davranışının değişebildiği Tablo 2.4’den açık bir şekilde görölmektedir. Ayrıca tepkilerin geręekleřme zamanındaki farklılıklar, zemin etkileşiminin davranış üzerinde etkili olduğunu ortaya koyan bir diğer göstergedir. Tepkilerdeki değişimler grafikler halinde karşılaştırmalı olarak aşağıdaki alt başlıklarda sunulmaktadır.

Tablo 2.4. Dişli konsol istinat duvarı için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları

Zemin Sistemi	S1		S2		S3		S4	
Tepkiler	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
$u_t(m)$	4.95	-0.0010	5.35	-0.0067	5.40	-0.0120	6.85	-0.0264
$S_z(\text{arka köşe})$ (MPa)	4.95	0.4630	5.30	2.1195	5.35	2.9135	5.40	3.4915
$S_y(\text{arka köşe})$ (MPa)	4.90	0.0853	5.30	0.4075	5.35	0.6234	5.40	0.8044
$S_x(\text{arka köşe})$ (MPa)	4.95	0.3754	5.30	1.7924	5.35	2.8009	5.40	4.0568
$S_z(\text{arka orta})$ (MPa)	7.95	0.3834	5.30	2.1399	5.40	3.0043	5.45	3.3058
$S_y(\text{arka orta})$ (MPa)	7.95	0.1562	5.30	0.8908	5.40	1.2933	5.40	1.6328
$S_x(\text{arka orta})$ (MPa)	7.95	0.3382	5.35	2.0304	5.40	3.1154	5.40	3.9717
$S_z(\text{ön köşe})$ (MPa)	4.95	-0.5052	5.30	-2.2951	5.35	-3.2564	5.40	-3.7719
$S_y(\text{ön köşe})$ (MPa)	4.90	-0.0227	5.30	-0.0816	5.35	-0.1088	5.40	-0.1227
$S_x(\text{ön köşe})$ (MPa)	4.90	-0.2074	5.30	-0.7867	5.35	-1.0747	5.40	-1.2290
$S_z(\text{ön orta})$ (MPa)	4.90	-0.3677	5.35	-2.0597	5.40	-2.8736	5.45	-3.1045
$S_y(\text{ön orta})$ (MPa)	4.95	-0.0802	5.30	-0.3725	5.40	-0.4647	5.40	-0.5221
$S_x(\text{ön orta})$ (MPa)	4.90	-0.1066	5.35	-0.6550	5.40	-0.8354	5.45	-0.7259

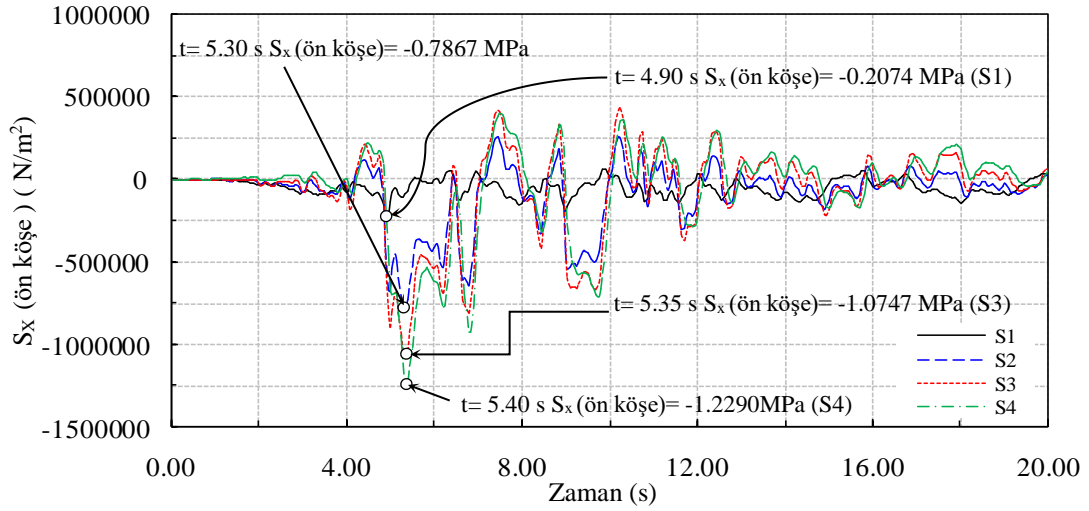
u_t : İstinat duvarı tepe noktasındaki yatay yer değiştirme; t: Zaman; S_z , S_y , S_x (arka köşe): Duvar arka yüzü (dolgu tarafı) köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (arka orta): Duvar arka yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön köşe): Duvar ön yüzü köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön orta): Duvar ön yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler



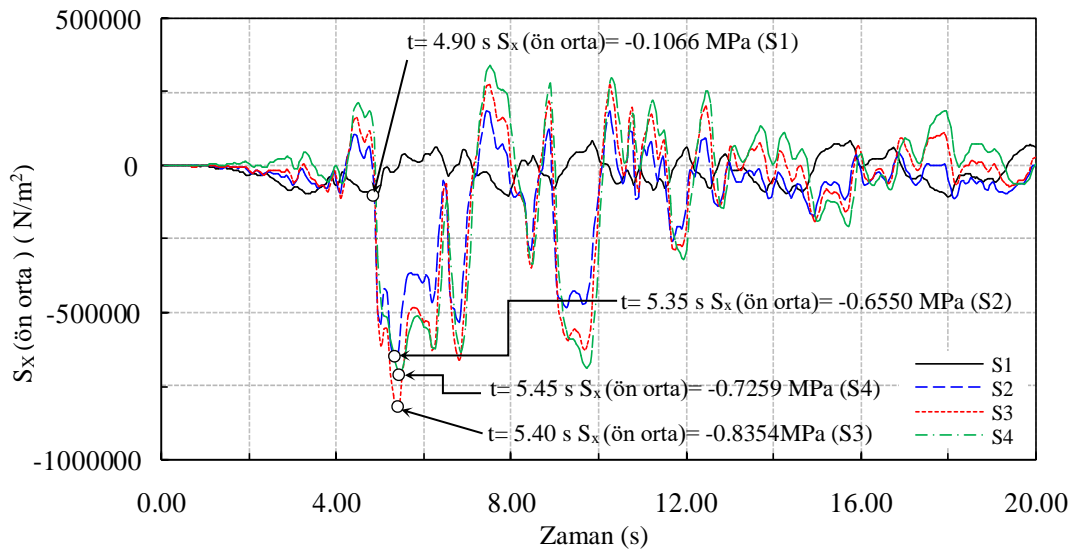
Şekil 2.28. Dişli duvarda en büyük tepkilerin elde edildiği düğüm noktaları

2.4.1. Dışli İstinat Duvarı İçin Gerilmelerin İrdelenmesi

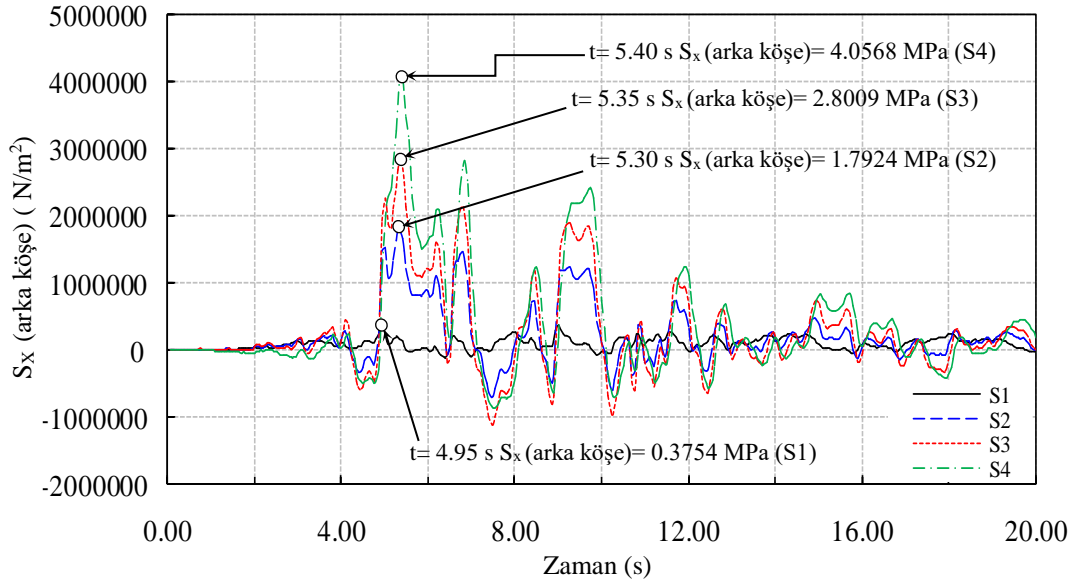
Dışli istinat duvarı için gerçekleştirilen dinamik çözümler sonucunda yine dört farklı temel zemin koşulu için duvar kritik kesitlerinde oluşan gerilmeler değerlendirilerek en büyük gerilme değerleri ve gerilmelerin zamanla değişimleri elde edilmiştir. Şekil 2.29~2.32’de istinat duvarının ön köşe, ön orta, arka köşe ve arka orta noktalarında x doğrultusunda meydana gelen gerilmelerin zamana bağlı değişimleri verilmektedir.



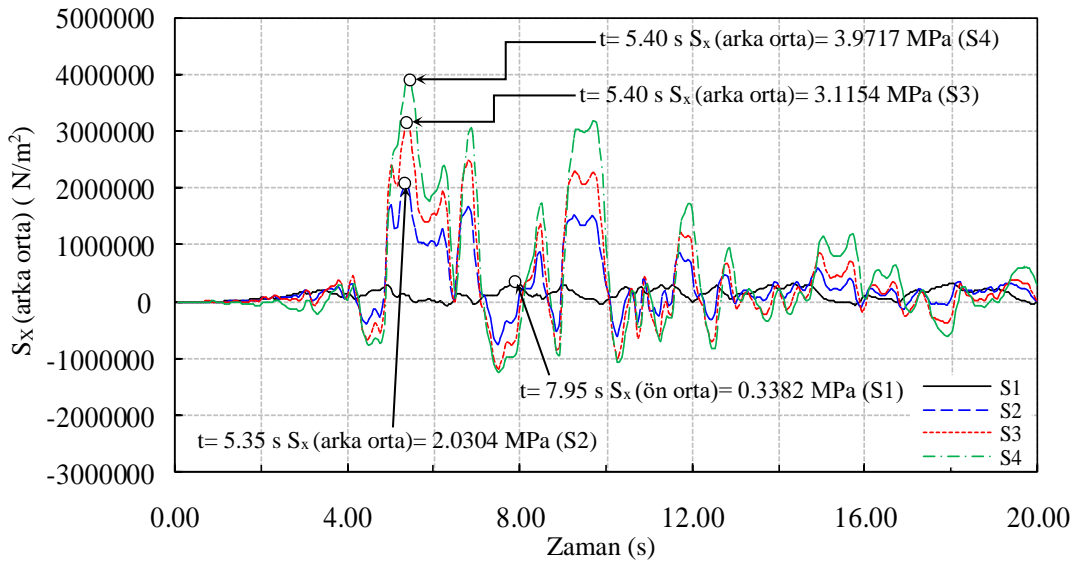
Şekil 2.29. Dışli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.30. Dışli istinat duvarı ön yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.31. Dişli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

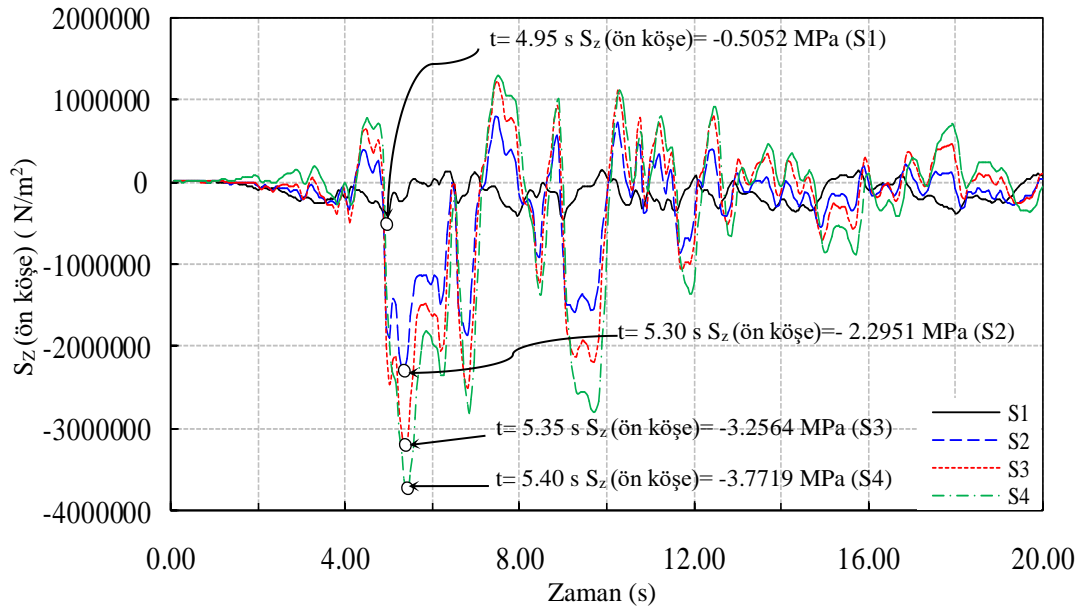


Şekil 2.32. Dişli istinat duvarı arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

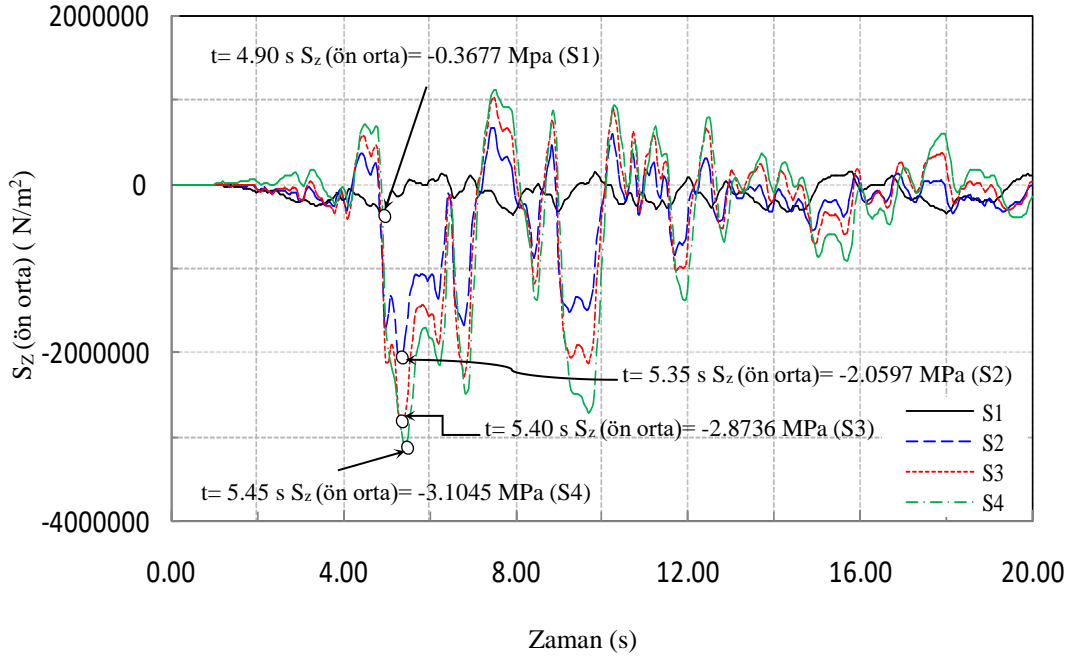
Şekil 2.29'da duvar ön yüz köşe noktasındaki gerilmeler incelendiğinde, S1 zemin sisteminde en büyük gerilme basınç olarak 0.2074 MPa iken, bu değer S2 temel zemin sisteminde %279 artışla basınç olarak 0.7867 MPa, S3 temel zemin sisteminde %418 artışla basınç olarak 1.0747 MPa ve S4 zemin sisteminde ise %493 oranında bir artışla yine basınç olarak 1.2290 MPa olarak hesaplanmaktadır. Burada duvar ön yüzündeki gerilmelerde

meydana gelen artışların zemin-yapı etkileşimi nedeniyle zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak ortaya çıktığı görülmektedir. Duvar ön yüzü için elde edilen bu eğilim duvar arka yüzü için de geçerlidir. Örneğin Şekil 2.31’de S1 için en büyük gerilme değerinin 0.3754 MPa, S3 için %646 artışla 2.8009 MPa ve S4 için %981 artışla 4.0568 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Burada ayrıca elde edilen gerilmelerin gerçekleşme zamanlarındaki farklılıklar da dikkat çekmektedir.

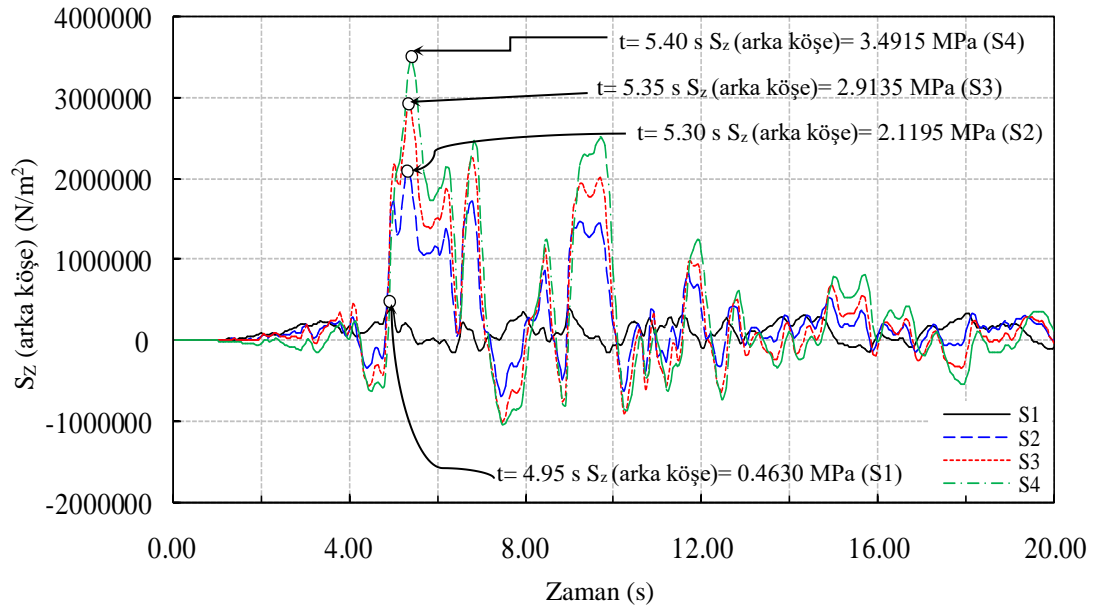
Ters T ve L kesitli istinat duvarlarında yapıldığı gibi burada da benzer karşılaştırmalar z doğrultusunda yapılabilir. Bu bağlamda Şekil 2.33~2.36’da z doğrultusunda duvar ön ve arka yüzünde seçili düğüm noktalarında elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimleri sunulmaktadır. Zemin rijitliğindeki azalma ile ilişkili olarak diğer tip istinat duvarlarında olduğu gibi bu duvar tipinde de z doğrultusundaki gerilmeler artış eğilimi göstermektedir. Buna örnek olarak Şekil 2.33 incelenebilir. Bu şekilden, S1 temel zemin sisteminde en büyük tepkinin basınç olarak 0.5052 MPa, S2 temel zemin sisteminde %354 artışla basınç olarak 2.2951 MPa ve S4 temel zemin sisteminde %647 artışla basınç olarak 3.7719 MPa olarak elde edildiği görülebilir. Duvar ön yüzünde zemin rijitliğindeki azalışa bağlı olarak gerilmelerdeki artma eğilimi duvar arka yüzünde de geçerlidir. Burada etkileşim etkilerine işaret eden bir diğer olgu da tepkilerin gerçekleşme zamanlarındaki farklılıklardır.



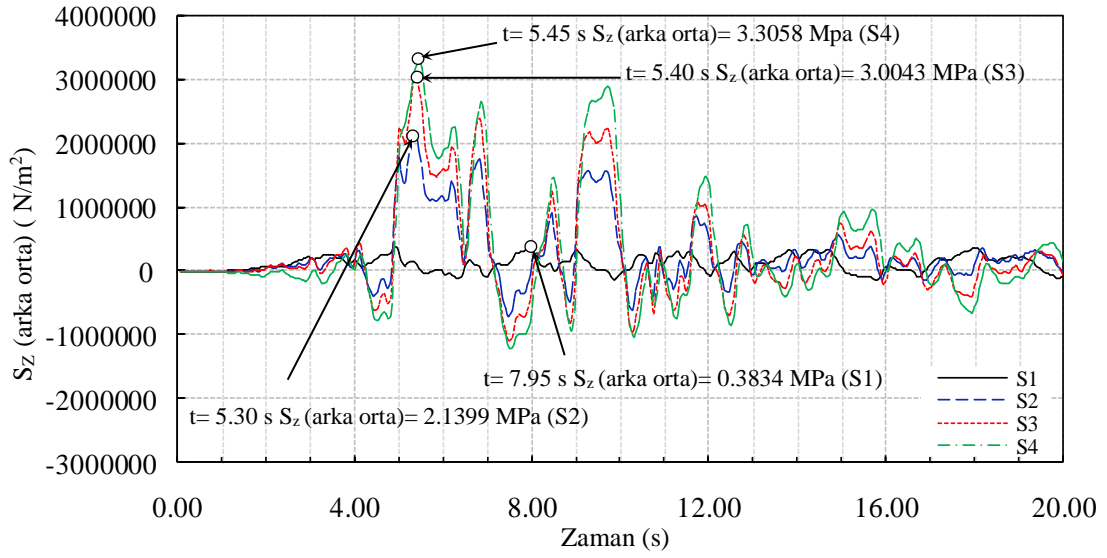
Şekil 2.33. Dışli istinat duvarı ön yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.34. Dişli istinat duvarı ön yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.35. Dişli istinat duvarı arka yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

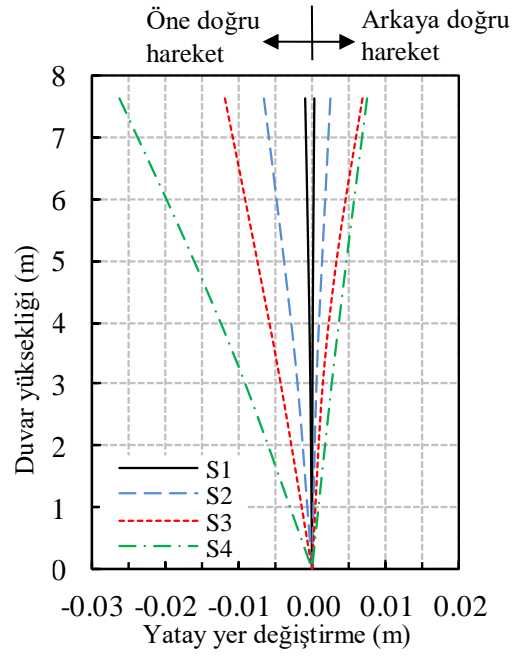


Şekil 2.36. Dışli istinat duvarı arka yüz orta noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

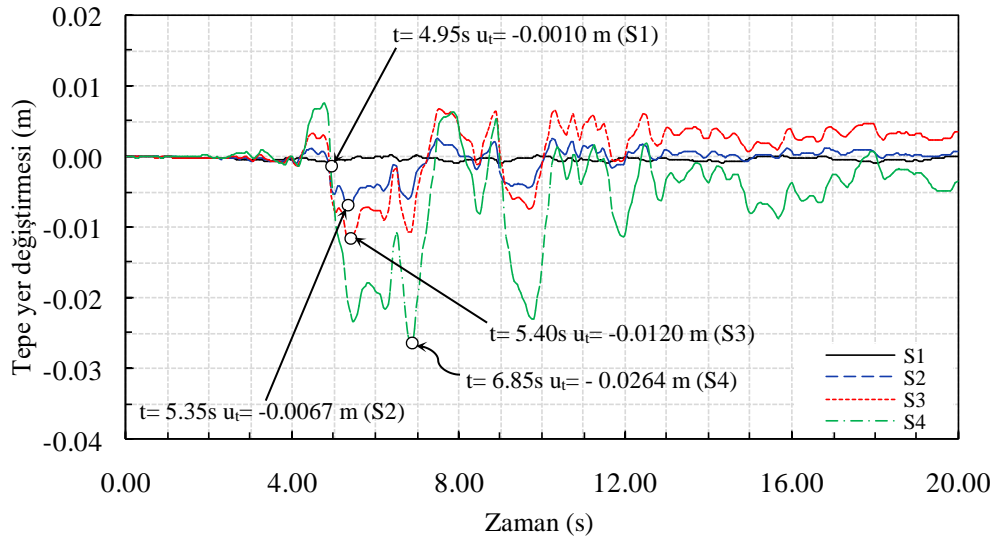
2.4.2. Dışli İstinat Duvarı İçin Yatay Yer Değiştirmelerin İrdelenmesi

İncelemeye konu olan dışli konsol istinat duvarı için farklı zemin özelliklerine nazaran gerçekleştirilen dört farklı dinamik çözümlemelerden elde edilen yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimleri Şekil 2.37’de, zamana bağlı değişimleri ise Şekil 2.38’de verilmektedir.

Şekil 2.37’den zemin yapısı etkileşimi nedeniyle yatay yer değiştirmelerin arttığı görülebilir. Şekil 2.38’den duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi incelendiğinde, en büyük yatay yer değiştirme değerinin S1 temel zemin sisteminde 0.0010 m, S2 temel zemin sisteminde %570 oranında bir artışla 0.0067 m olarak hesaplandığını, bu artma eğiliminin zemin rijitliğinin azalmasıyla devam ettiğini ve S4 zemin sistemi için 0.0264 m olarak gerçekleştiğini görmek mümkündür. Buna ek olarak tepkilerin gerçekleşme zamanlarındaki farklılıklar da göze çarpmaktadır. Bu karşılaştırmalardan zemin-yapı etkileşiminin sismik davranış üzerindeki etkileri dışli duvar örneği özelinde bir kez daha görülmektedir.



Şekil 2.37. Dişli istinat duvarı yüksekliği boyunca elde edilen yatay yer değiştirmeler



Şekil 2.38. Dişli istinat duvarı tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

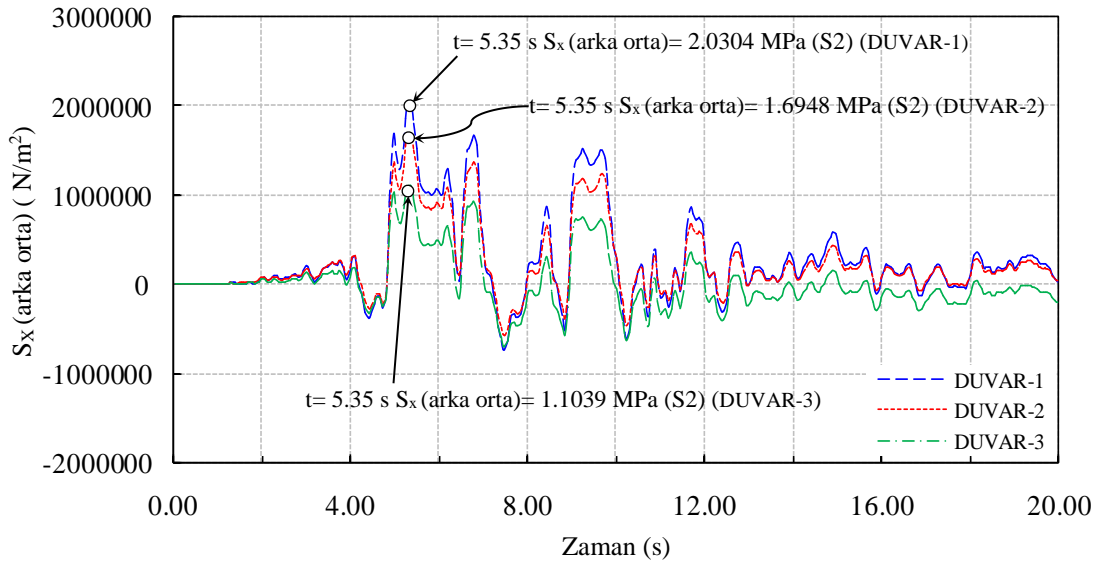
2.5. Konsol İstinat Duvarlarının Sismik Davranışı Üzerinde Duvar Geometrisi Etkilerinin Değerlendirilmesi

Çalışmanın 2.2, 2.3 ve 2.4 bölümlerinde ters T kesitli, L kesitli ve dişli istinat duvarları için yapılan dinamik çözümleme sonuçlarından duvar geometri değişiminin etkileri tepkilerdeki farklılıklardan görülmektedir. Çalışmanın bu bölümünde bu konu üzerine

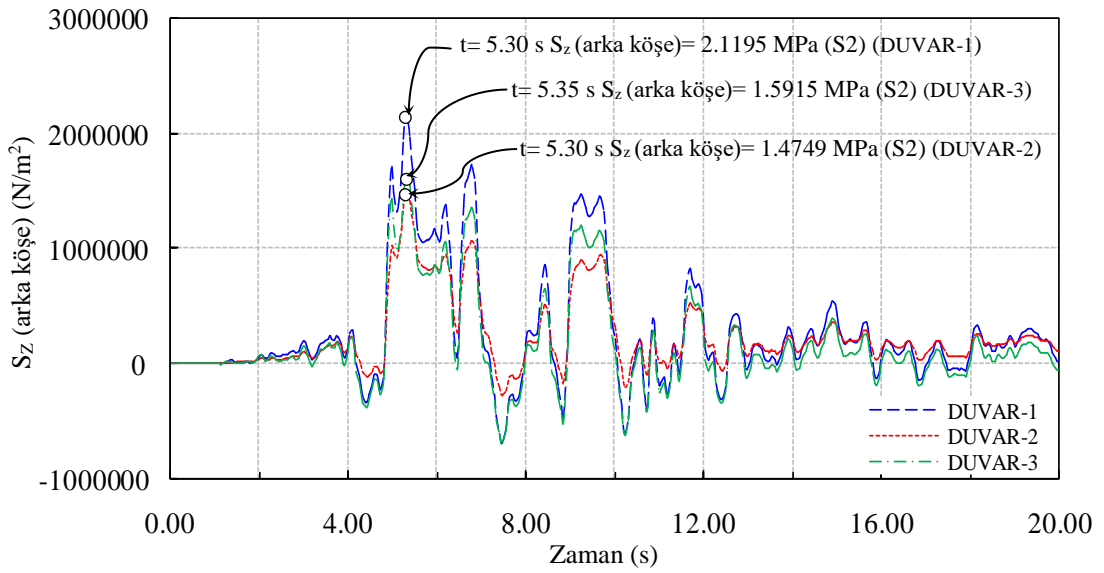
değerlendirmelerin daha ayrıntılı bir şekilde grafiksel olarak irdelenmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda örnek olarak seçilen S2, S3 ve S4 zemin sistemleri için gerilme ve yer değiştirme tabanlı değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda dışli konsol istinat duvarı “DUVAR-1”, L kesitli konsol istinat duvarı “DUVAR-2” ve ters T kesitli konsol istinat duvarı “DUVAR-3” olarak adlandırılmıştır.

2.5.1. S2 Zemin Sistemi İçin Duvar Geometrisi Etkilerinin İrdelenmesi

Çalışmanın bu alt bölümünde Tablo 2.2~2.4’ den yararlanarak S2 zemin sistemi koşullarında gerilme ve yer değiştirmeye dayalı irdelemeler yapılmaktadır. Şekil 2.39~2.40’da incelenen üç farklı duvar geometrisi için sırasıyla duvar arka yüz orta noktasında x doğrultusu ve arka yüz köşe noktasında z doğrultusu için gerilme değerleri karşılaştırılmaktadır. Bu şekillerden duvar geometrisi değişimine bağlı olarak tepkilerde önemli mertebelerde değişiklikler göze çarpmaktadır. Örneğin Şekil 2.39’dan, en büyük gerilme değerinin DUVAR-1 için çekme olarak 2.0304 MPa, DUVAR-2 için yaklaşık %16 azalmayla çekme olarak 1.6948 MPa ve DUVAR-3 için %46 oranında azalmayla çekme olarak 1.1039 MPa olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bir başka örnek olarak Şekil 2.40’dan en büyük gerilme değerinin DUVAR-1 için çekme olarak 2.1195 MPa, DUVAR-2 için yaklaşık %30 oranında azalmayla yine çekme olarak 1.4749 MPa ve DUVAR-3 için yaklaşık %25 azalarak 1.5915 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Burada; duvar tipine, duvar ataletine, dış uygulamasına bağlı olarak duvarın gömülme derinliğine ve deprem frekans içeriği ile yerel zemin koşullarının karmaşık ve karşılıklı etkileşimine bağlı olarak farklı gerilme değerlerinin ve yönelimlerinin elde edilebileceği söylenebilir.

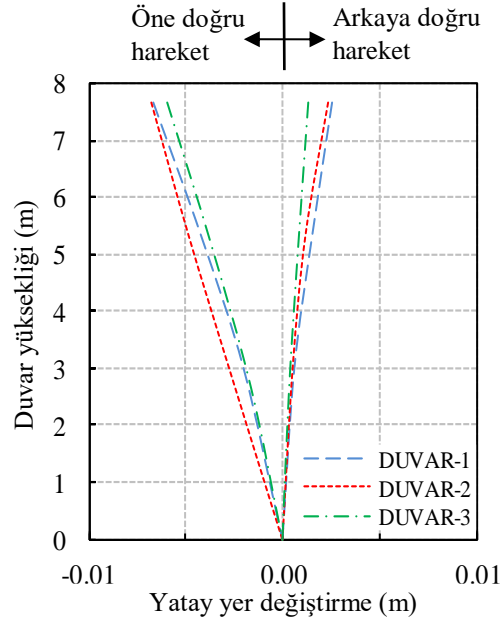


Şekil 2.39. S2 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi

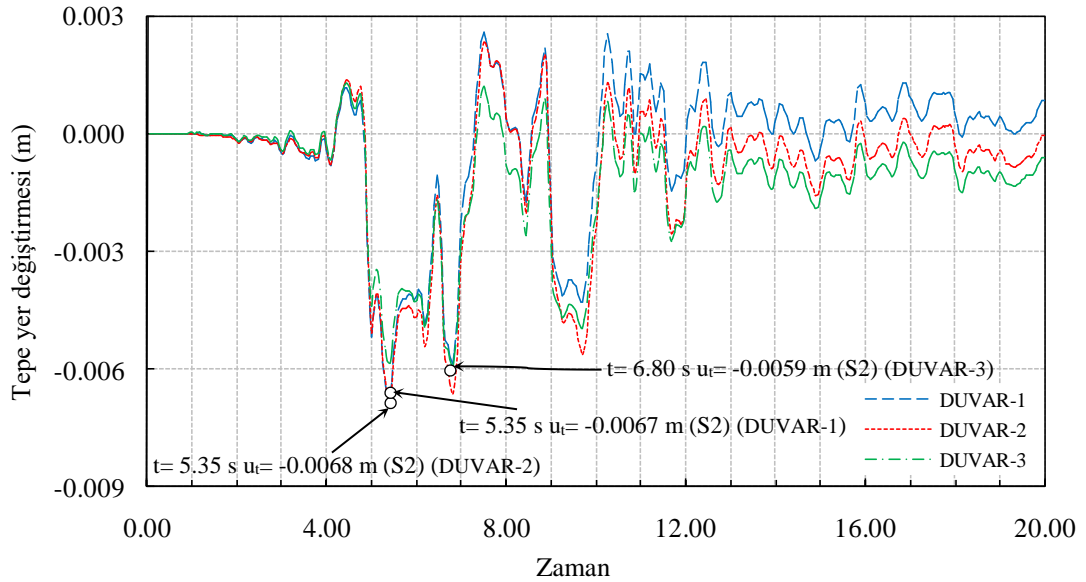


Şekil 2.40. S2 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi

Gerilmelere dayalı irdelemeler yatay yer değiştirmeler üzerinden de yapılabilir. Şekil 2.41’de incelenen duvar tipleri için yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimleri ve Şekil 2.42’de duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişimleri verilmektedir.



Şekil 2.41. S2 zemin sistemi için yatay yer değiştirmelerin yüksekliği boyunca değişimi



Şekil 2.42. S2 zemin sistemi için duvar tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

Beklendiği üzere en büyük yatay yer değiştirmeler duvar tepe noktasında meydana gelmektedir. Ayrıca tüm duvar tipleri için öne doğru hareketin arka dolguya doğru harekete kıyasla daha büyük değerlere ulaştığı ve en rijit davranış gösteren duvarın DUVAR-3 olduğu görülmektedir.

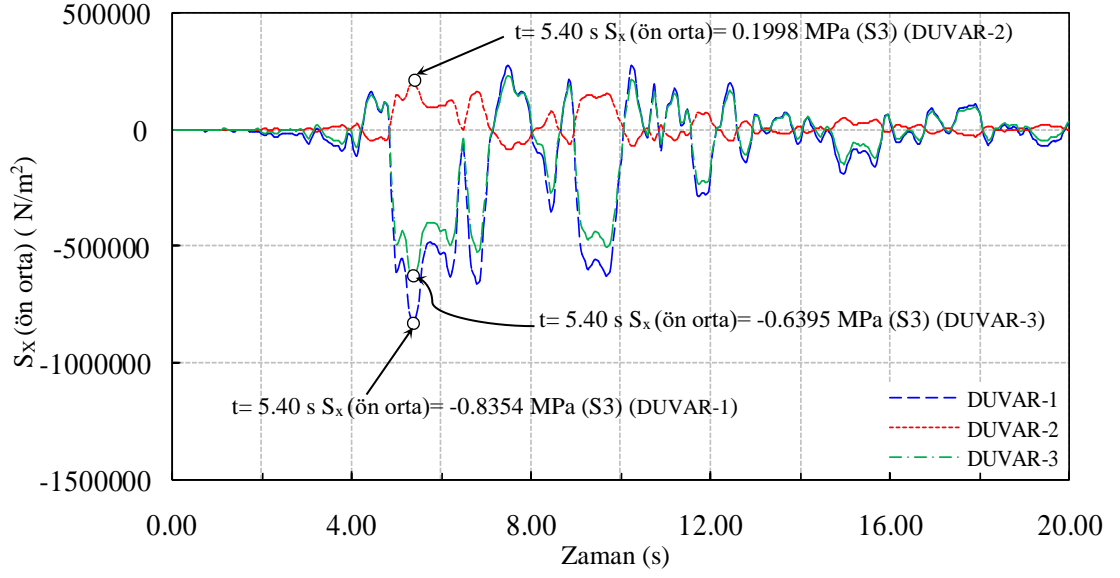
Şekil 2.42'den zamana bağlı değişimler incelendiğinde, en büyük yatay yer değiştirme değerinin DUVAR-3 için 0.0059 m, DUVAR-1 için %14 oranında artışla 0.0067 m,

DUVAR-2 için ise %15 oranında artışla 0.0068 m olduğu görülmektedir. Burada DUVAR-1 ve DUVAR-2 için hemen hemen aynı yer değiştirme değerleri elde edilmektedir. Ancak bu tür sistemlerde yapı rijitliğinin zemin rijitliğine oranı da bir parametre olduğundan azalan zemin rijitliğine bağlı olarak bu durumun değişebileceği unutulmamalıdır. En büyük tepe yer değiştirmelerinin gerçekleşme zamanlarının ise DUVAR-1 ve DUVAR-2 için 5.35 s, DUVAR-3 için 6.80 s'dir.

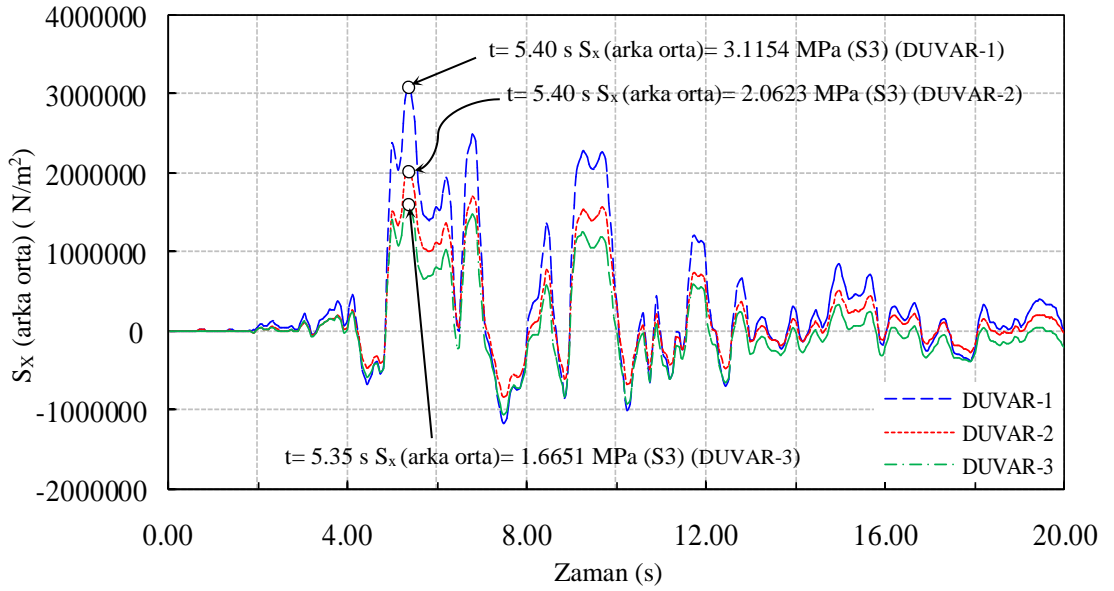
2.5.2. S3 Zemin Sistemi İçin Duvar Geometrisi Etkilerinin İrdelenmesi

S2 zemin sistemi için yapılan irdellemeler diğer zemin sistemleri için de yapılabilir. S3 temel zemin sisteminde üç farklı duvar geometrisi için duvar ön ve arka yüzlerinde x ve z doğrultularındaki gerilme değerlerinin zamanla değişimleri Şekil 2.43~2.46'da gösterilmektedir.

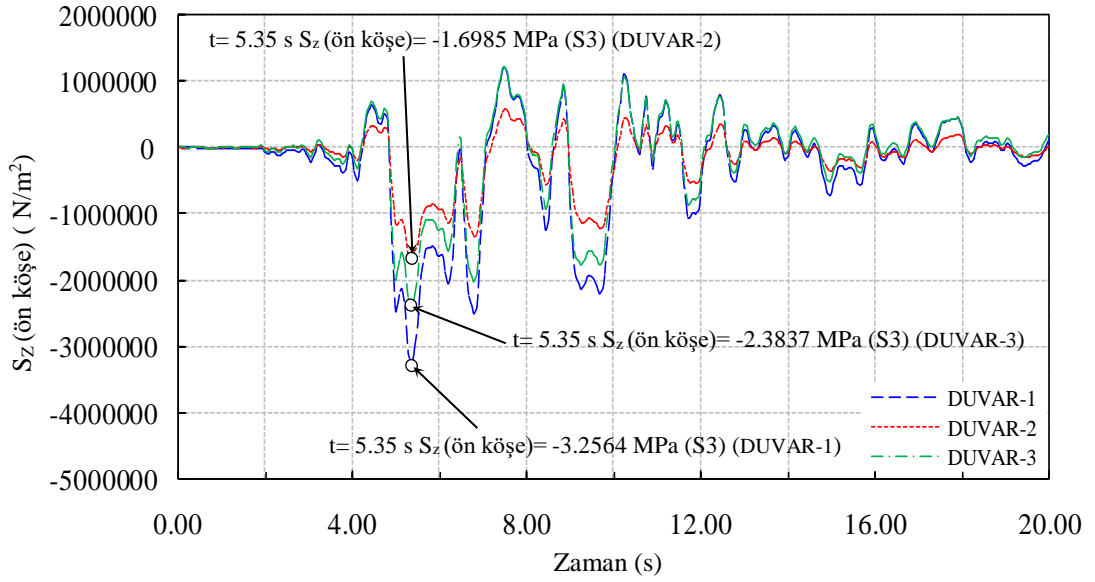
Yapılan incelemeler duvar geometrisindeki değişime bağlı olarak meydana gelen gerilme değerlerinde büyük farklılıklar olduğunu göstermektedir. Şekil 2.43'den görüldüğü üzere, duvar ön yüz orta noktada x doğrultusunda, DUVAR-1 için en büyük gerilme değeri basınç olarak 0.8354 MPa iken, bu değer DUVAR-3 için %24 oranında bir azalmayla basınç olarak 0.6395 MPa, DUVAR-2 için ise yön değiştirerek çekme olarak 0.1998 MPa olmaktadır. Duvar arka yüz orta noktada x doğrultusunda ise en büyük gerilme değeri DUVAR-1 için çekme olarak 3.1154 MPa, DUVAR-2 için %34 oranında bir azalmayla çekme olarak 2.0623 MPa, DUVAR-3 için ise %47 azalışla çekme olarak 1.6651 MPa'dır (Şekil 2.44). Duvar geometrisine bağlı olarak ortaya çıkan bu tepki değişimini z doğrultusunda elde edilen gerilmelerden de gözlemlemek mümkündür. Örneğin; duvar ön yüz köşe noktada en büyük gerilme değeri DUVAR-2 için basınç olarak 1.6985 MPa iken, bu değer DUVAR-3 için yaklaşık % 40 artışla basınç olarak 2.3837 MPa, DUVAR-1 için ise yaklaşık %92 oranında bir artışla 3.2564 MPa olarak gerçekleşmektedir (Şekil 2.45).



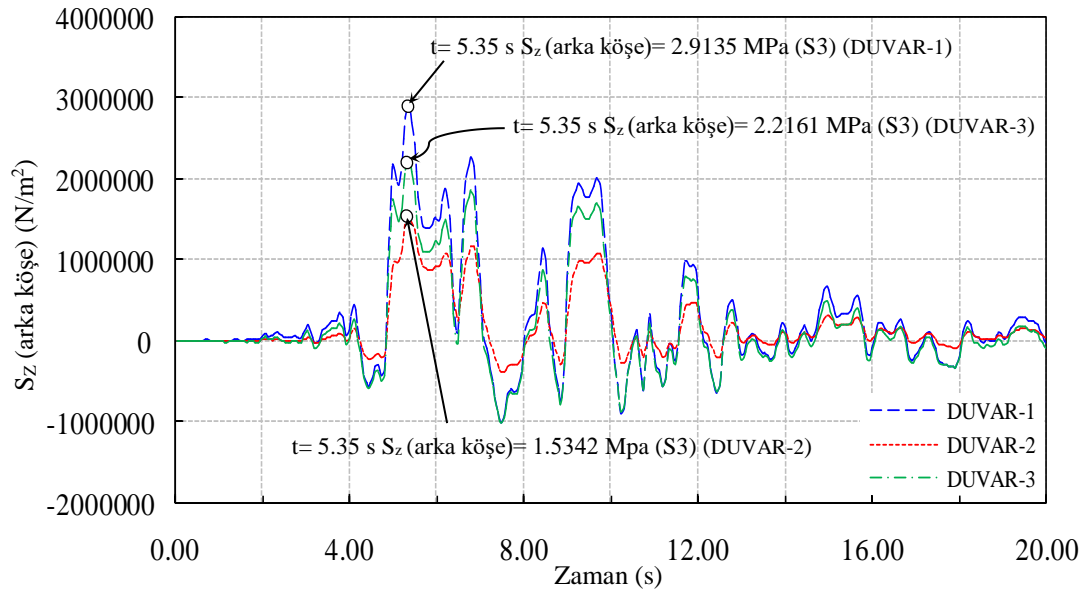
Şekil 2.43. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.44. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi



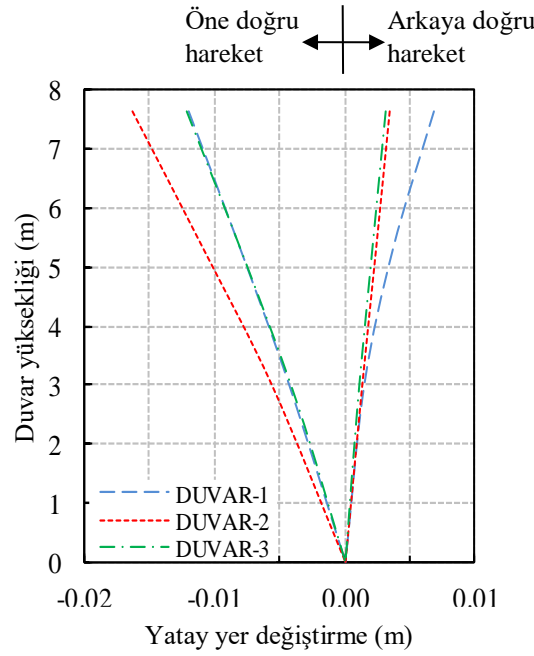
Şekil 2.45. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi



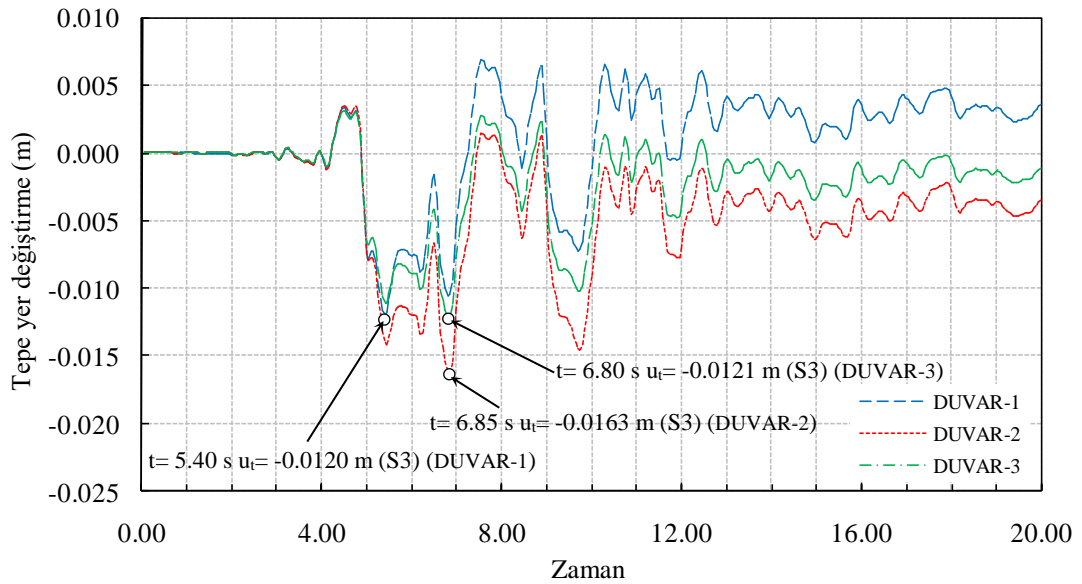
Şekil 2.46. S3 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi

Gerilmelere ek olarak S3 zemin sistemi koşullarında duvar yatay yer değiştirmeleri de irdelenmiştir. Şekil 2.47’de S3 zemini koşullarında duvar geometrisine bağlı olarak yatay yer değiştirmelerin duvar yükseklikleri boyunca değişimleri, Şekil 2.48’de görelî tepe yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi gösterilmektedir.

Şekil 2.47’de tüm duvar geometrileri için dolgudan uzağa doğru harekette (öne doğru hareket) en büyük görelî yatay yer değıştirmelerin oluştuğu görölmektedir. En büyük yer değıştirmeler bakımından en rijit davranış DUVAR-1, en esnek davranış DUVAR-2 göstermektedir.



Şekil 2.47. S3 zemin sistemi için yatay yer değıştirmelerin yükseklik boyunca değışimi



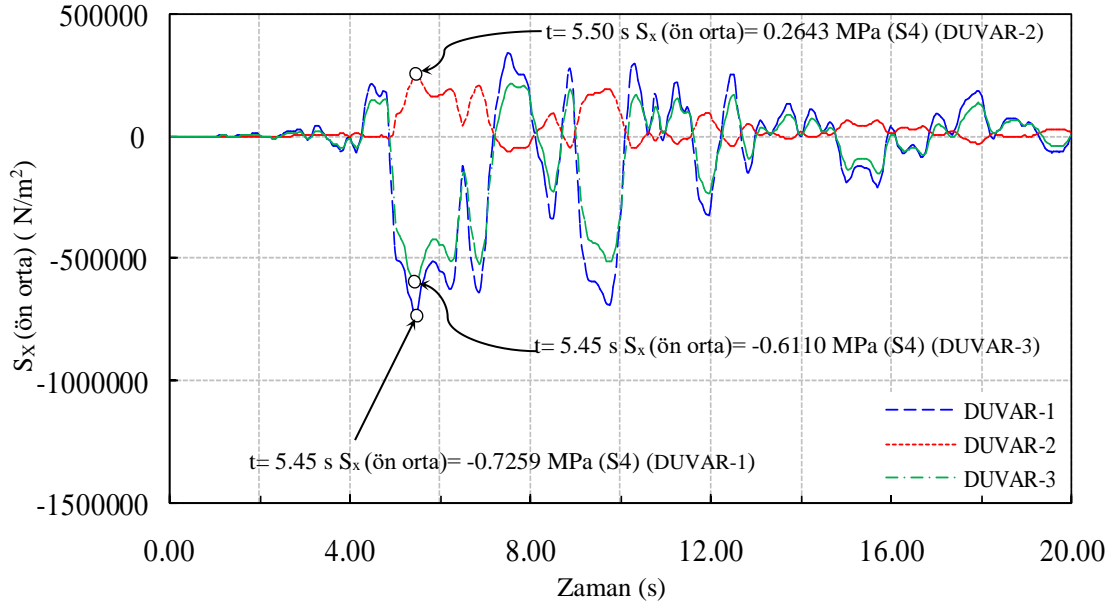
Şekil 2.48. S3 zemin sistemi için duvar tepe yer değıştirmelerinin zamanla değışimi

Şekil 2.48’de diğer duvar geometrilerine kıyasla en büyük tepe yer değiştirme değeri DUVAR-2’de 0.0163 m iken, aynı nicelik DUVAR-1 ve DUVAR-3 için yaklaşık %26 azalarak 0.0120~0.0121 m mertebelerinde gerçekleşmektedir. Bu zemin sistemi için çözümlemede de DUVAR-1 ve DUVAR-2 için hemen hemen aynı yer değiştirme değerleri elde edilmektedir. Ancak yine yapı rijitliğinin zemin rijitliğine oranına bir diğer ifadeyle etkileşimin mertebesine bağlı olarak bu durumun değişebileceği bir kez daha hatırlanmalıdır. Ayrıca en büyük tepkiler DUVAR-3 ve DUVAR-2 için 6.80~6.85 s civarında, DUVAR-1 için 5.40 s’de gerçekleşmektedir.

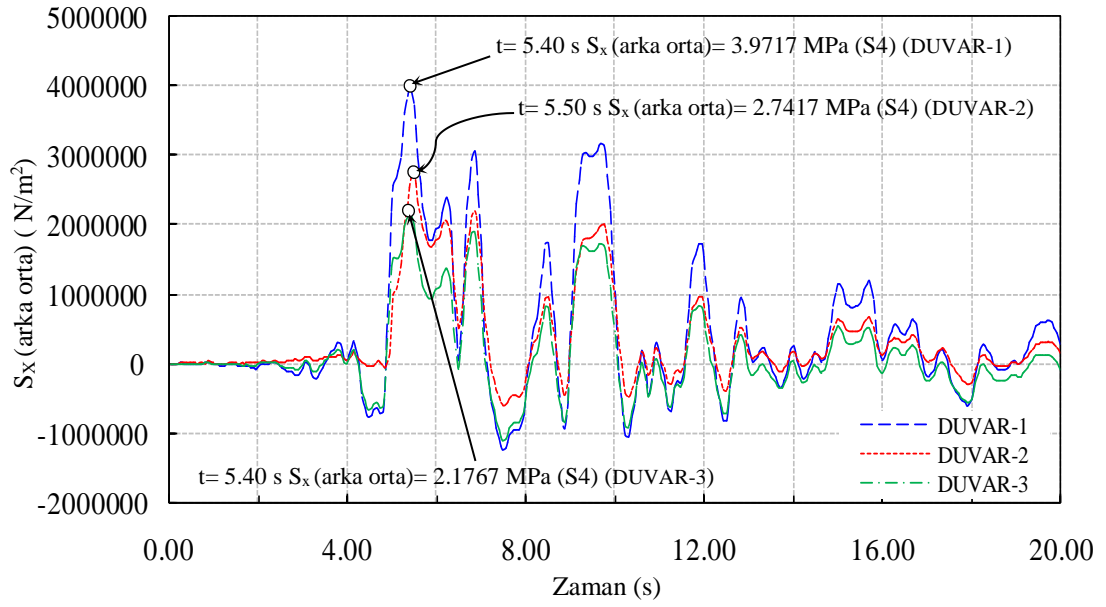
2.5.3. S4 Zemin Sistemi İçin Duvar Geometrisi Etkilerinin İrdelenmesi

Şekil 2.49~2.52’de en az rijitliğe sahip S4 zemin sisteminde üç farklı duvar geometrisi için x ve z doğrultularında duvar kritik kesitlerinde meydana gelen gerilmelerin zamanla değişimleri verilmektedir. Bu şekillerdeki değişimlerden görülebileceği gibi dikkate alınan duvar sistemlerine bağlı olarak oldukça farklı gerilme değişimleri elde edilebilmektedir. Araştırmaya konu olan farklı durumlar için gerilme şiddetlerinin değişebildiği ve gerilmelerin yön dahi değiştirebildiği hesaplamalardan elde edilen bulgulardır.

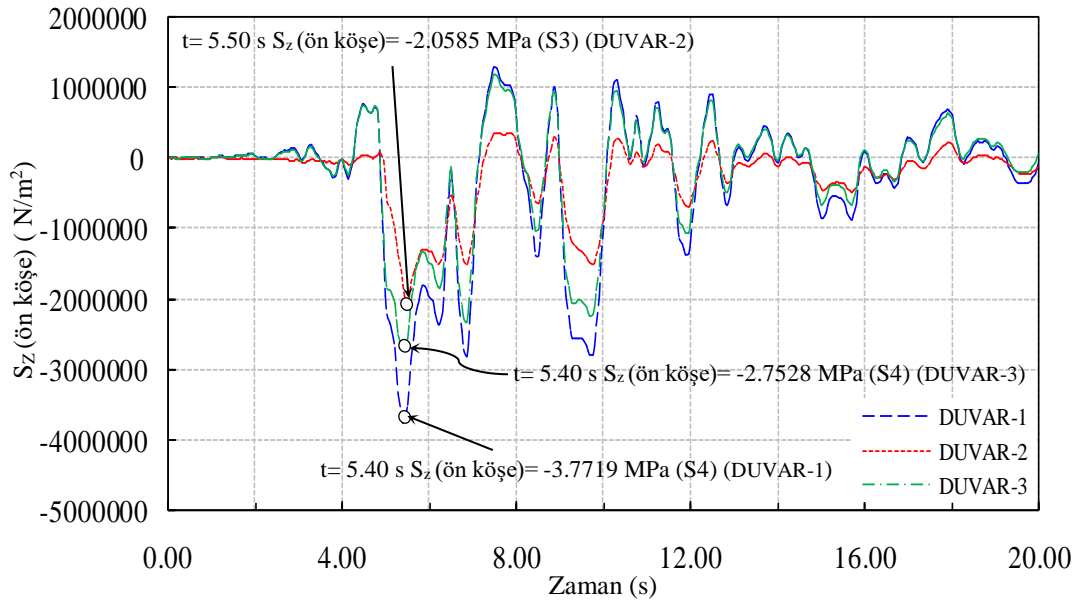
Davranış değişikliğini net olarak ortaya koyabilmek için meydana gelen gerilmeleri karşılaştırmalı olarak irdelemek gerekmektedir. Örneğin Şekil 2.49’dan, ön yüz orta noktada x doğrultusundaki en büyük gerilmenin DUVAR-3 için basınç olarak 0.6110 MPa, DUVAR-1 için %19 oranında bir artışla basınç olarak 0.7259 MPa, DUVAR-2 için ise yön değiştirerek çekme olarak 0.2643 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Duvar kesitinin değişimine bağlı olarak x doğrultusunda meydana gelen en büyük tepki değerlerinin karşılaştırılmasına bir başka örnek Şekil 2.50’de verilmektedir. Bu şekilden de en büyük gerilmenin DUVAR-3 için 2.1767 MPa, DUVAR-2 için %26 artışla 2.7417 MPa, DUVAR-1 için ise %82 artışla çekme olarak 3.9717 MPa olduğu görülmektedir. Benzer karşılaştırmalar z doğrultusundaki gerilmeler için yapıldığında değerlerdeki değişimler bir kez daha göze çarpmaktadır. Bu bağlamda Şekil 2.51 incelendiğinde, en büyük gerilme değerinin DUVAR-2 için basınç olarak 2.0585 MPa, DUVAR-3 için %34 artışla basınç olarak 2.7528 MPa, DUVAR-1 için %83 artışla basınç olarak 3.7719 MPa olduğu görülmektedir. Ayrıca S4 zemin sistemi için tüm duvar tiplerinde en büyük tepkilerin gerçekleşme zamanlarında kayda değer bir fark bulunmamakta ve tüm tepkiler 5.40~5.50 s civarında meydana gelmektedir.



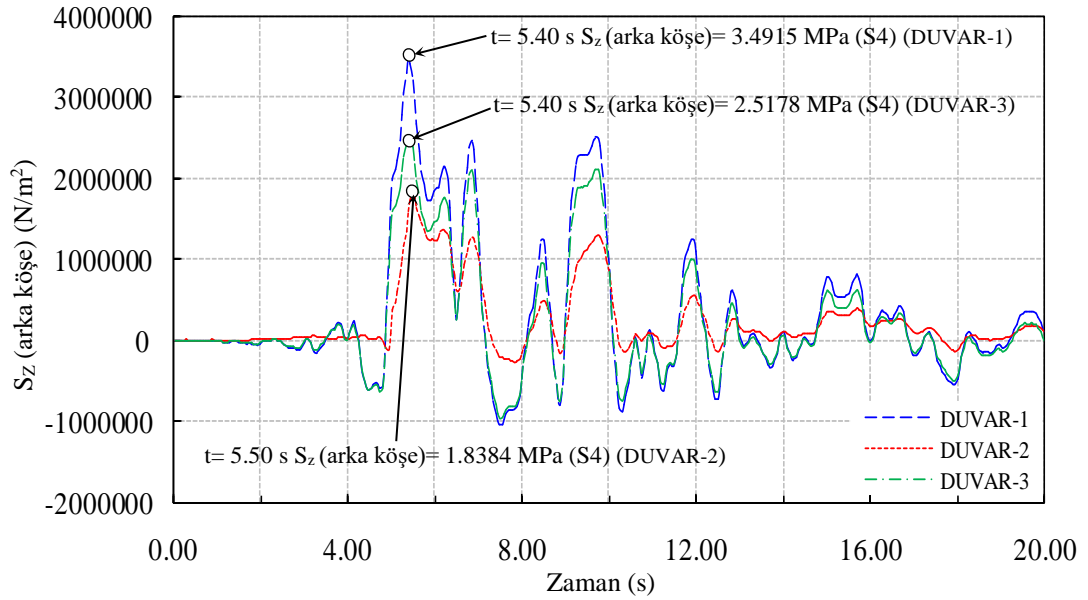
Şekil 2.49. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.50. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz orta noktasında x doğrultusunda elde edilen gerilme değerlerinin zamana bağlı değişimi



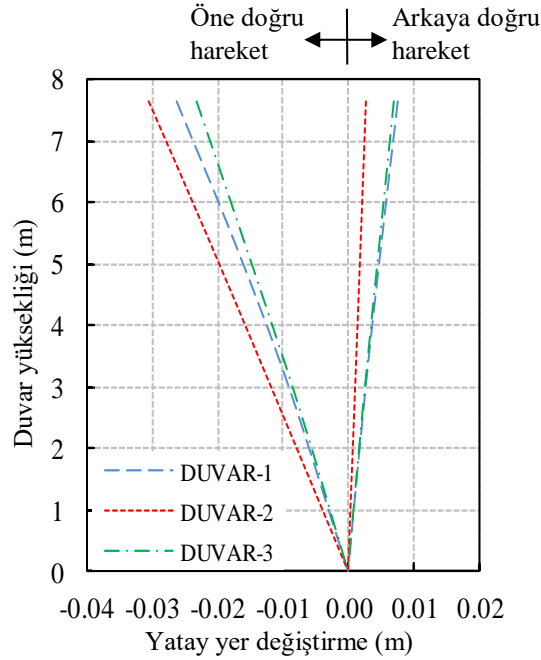
Şekil 2.51. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının ön yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi



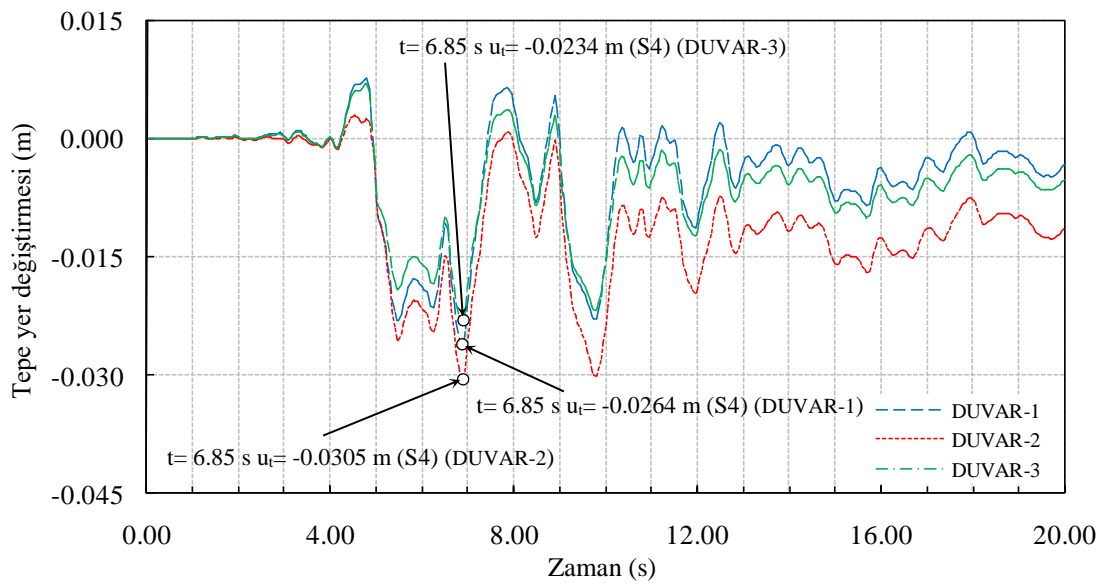
Şekil 2.52. S4 zemin sistemi için konsol istinat duvarlarının arka yüz köşe noktasında z doğrultusunda elde edilen gerilmelerin zamana bağlı değişimi

S4 zemin sistemi için duvar yüksekliği boyunca göreceli yatay yer değiştirmeler ve duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi sırasıyla Şekil 2.53 ve 2.54'de verilmektedir.

Şekil 2.53’den görülebileceği üzere en büyük tepe yer değiştirmesi öne doğru harekette ortaya çıkmaktadır. Ayrıca duvar yüksekliği boyunca en büyük yer değiştirmeler sırasıyla DUVAR-2, DUVAR-1 ve DUVAR-3 durumlarında meydana gelmektedir. Diğer bir ifadeyle en rijit davranışı DUVAR-3, en esnek davranışı DUVAR-2 sergilemektedir.



Şekil 2.53. S4 zemin sistemi için yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi



Şekil 2.54. S4 zemin sistemi için duvar tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

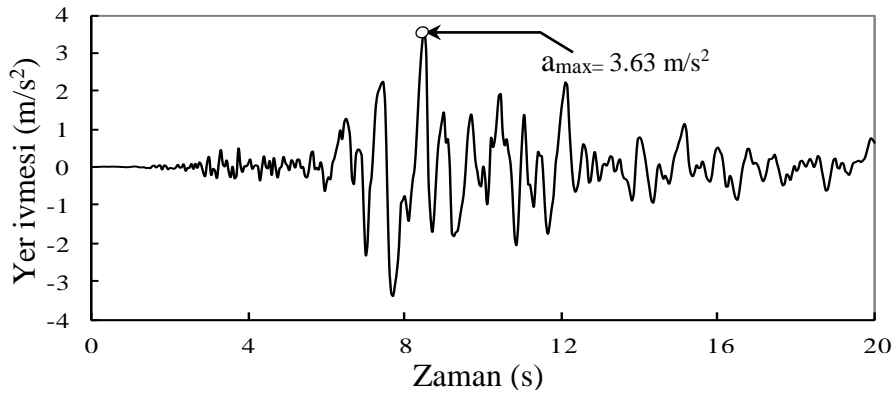
Şekil 2.54'den tepe yer değiştirmelerinin zamana bağlı değişim incelendiğinde eşlenik bir davranışın ortaya çıktığı görülmektedir. En büyük tepe yer değiştirmesi DUVAR-2 için 6.85 s'de 0.0305 m, DUVAR-1 için %13 azalmayla 6.85 s'de 0.0264 m, DUVAR-3 için %23 azalmayla yine 6.85 s'de 0.0234 m olarak elde edilmektedir. Burada etkileşimin mertebesinin artışına diğer bir ifadeyle duvar rijitliğinin zemin rijitliğine oranının artmasına bağlı olarak duvar kesitine bağlı değişim daha belirgin bir hal almaktadır. Ayrıca duvar kesitine bağlı olarak zeminin ötelenme hareketi duvar davranışını oldukça etkilemekte, dönme rijitliğindeki azalma ise duvar yer değiştirmelerini artırmaktadır.

Burada farklı bir değerlendirme duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmesi ile duvar yüksekliği arasındaki ilişki üzerinden yürütülebilir. Zira yürürlükte olan birçok yönetmelik veya şartname duvarların zemin etkisi nedeniyle deformasyona uğrayacaklarını dikkate alarak dinamik zemin basınçlarını değerlendirmektedir. Örneğin; Yunanistan'da yürürlükte olan Regulatory Guide E39/93 (1998) duvar tepe yer değiştirmesinin (u_t) duvar yüksekliğine (H) oranına bağlı olarak dinamik zemin basınçlarının hesabı için üç farklı durum önermektedir (Gazetas vd., 2004). Buna göre $u_t/H > \%0.10$ olması durumunda minimum dinamik zemin basınçlarının oluşacağı, $u_t/H < \%0.05$ olması durumunda dinamik zemin basınçlarının 2.5 kat büyüyeceği, bu iki değer arasında da dinamik zemin basınçlarının maksimum ve minimum değerler arasında bir değer alacağı ifade edilmektedir. Bu bağlamda yer değiştirmeye dayalı tüm çözümleme sonuçları incelendiğinde en küçük tepe yatay yer değiştirmesi S1 zemin sistemi koşullarında ters T kesitli duvarda (DUVAR-3) 0.0008 m olarak elde edilmektedir. Buna göre yukarıda ifade edilen oran $\%0.011$ olarak hesaplandığından dinamik zemin basınçlarının büyük oranlarda artacağı ve maksimum değere ulaşabileceği söylenebilir. Öte yandan en büyük tepe yatay yer değiştirmesi S4 zemin sistemi koşullarında L kesitli duvarda (DUVAR-2) 0.0305 m olarak hesaplanmaktadır. Buna göre yukarıda ifade edilen oran $\%0.44$ olarak hesaplandığından dinamik zemin basınçlarının minimum düzeylerde kalacağı söylenebilir.

2.6. Konsol İstinat Duvarlarının Sismik Davranışı Üzerinde Farklı Yer Hareketi Etkilerinin Değerlendirilmesi

Bilindiği üzere yapıların dinamik davranışlarını; depremin süresi ve frekans içeriği, yapı ve zemin sistemlerinin mekanik özellikleri, sismik dalgaların geliş açısı gibi birçok parametre etkilemektedir. Aynı yapı farklı frekans içeriğine sahip bir yer hareketi etkisi

altında farklı davranış sergileyebilmektedir. Çalışmanın bu alt bölümünde, 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi etkisi altındaki çözümlemelere ek olarak farklı bir deprem kaydı dikkate alınarak çözümlemeler gerçekleştirilmekte ve sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Bu maksatla önceki çözümlemelerde kullanılan yapı ve zemin özellikleri dikkate alınarak 1989 Loma Prieta Depremi HSP000 bileşeni (Şekil 2.55) etkisi altında çözümlemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.5~2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.55. 1989 Loma Prieta depremi HSP000 bileşeni

Tablo 2.5. Loma Prieta depremi etkisi altında DUVAR-1 için elde edilen en büyük yatay tepe yer değiştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değerleri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları

Zemin Sistemi	S1		S2		S3		S4	
Tepkiler	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
u_t (m)	7.85	-0.0014	7.95	-0.0082	8.20	-0.0138	8.25	-0.0248
S_z (arka köşe) (MPa)	7.80	6.6062	7.90	2.9826	7.90	4.0606	7.95	4.1638
S_y (arka köşe) (MPa)	7.80	0.1172	7.85	0.5977	7.90	0.8846	7.95	1.0013
S_x (arka köşe) (MPa)	7.80	0.5298	7.85	2.6830	7.90	4.1212	7.95	4.8816
S_z (arka orta) (MPa)	7.85	0.4951	7.90	3.0411	7.90	4.1766	8.00	4.3791
S_y (arka orta) (MPa)	7.85	0.2101	7.90	1.2733	7.90	1.8789	7.95	2.1243
S_x (arka orta) (MPa)	7.85	0.4133	7.90	2.9643	7.90	4.5518	7.95	5.3272
S_z (ön köşe) (MPa)	7.80	-0.6679	7.90	-3.2189	7.90	-4.4511	7.95	-4.6524
S_y (ön köşe) (MPa)	7.80	-0.0304	7.85	-0.1148	7.90	-0.1421	7.90	-0.1386
S_x (ön köşe) (MPa)	7.80	-0.3003	7.85	-1.1678	7.90	-1.4582	7.90	-1.4568
S_z (ön orta) (MPa)	7.85	-0.4699	7.90	-2.9296	7.90	-3.9629	8.00	-4.0814
S_y (ön orta) (MPa)	7.80	-0.1021	7.85	-0.5108	7.90	-0.6345	7.95	-0.5910
S_x (ön orta) (MPa)	7.85	-0.1285	7.90	-0.9378	7.90	-1.0934	8.00	-0.9218

u_t : İstinat duvarı tepe noktasındaki yatay yer değiştirme; t: Zaman; S_z , S_y , S_x (arka köşe): Duvar arka yüzü(dolgu tarafı) köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (arka orta): Duvar arka yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön köşe): Duvar ön yüzü köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön orta): Duvar ön yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler

Tablo 2.6. Loma Prieta depremi etkisi altında DUVAR-2 için elde edilen en büyük yatay tepe yer değıştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değeri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları

Zemin Sistemi	S1		S2		S3		S4	
Tepkiler	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
u_t (m)	7.85	-0.0015	8.20	-0.0085	8.20	-0.0161	8.25	-0.0286
S_z (arka köşe) (MPa)	7.80	0.4212	7.90	1.6352	7.95	1.8759	8.20	1.6972
S_y (arka köşe) (MPa)	7.80	0.1010	7.90	0.4685	7.90	0.5927	7.95	0.5826
S_x (arka köşe) (MPa)	7.80	0.5302	7.85	2.3738	7.90	3.1502	7.95	3.2250
S_z (arka orta) (MPa)	7.85	0.3736	7.90	1.7896	7.90	2.1414	8.00	1.9847
S_y (arka orta) (MPa)	7.85	0.1869	7.90	0.9903	7.90	1.3095	7.95	1.3306
S_x (arka orta) (MPa)	7.85	0.3391	7.90	2.2772	7.90	3.0691	7.95	3.1595
S_z (ön köşe) (MPa)	7.80	-0.4675	7.90	-1.7790	7.90	-2.1165	8.05	-1.9245
S_y (ön köşe) (MPa)	8.55	0.0136	7.95	0.0302	7.95	0.0541	8.00	0.0666
S_x (ön köşe) (MPa)	8.55	-0.0565	7.85	0.2360	7.90	0.3112	7.95	0.3142
S_z (ön orta) (MPa)	7.85	-0.3157	7.90	-1.4756	7.95	-1.7310	8.05	-1.5748
S_y (ön orta) (MPa)	8.55	0.1567	7.85	-0.2328	7.85	-0.2418	7.85	-0.2222
S_x (ön orta) (MPa)	7.85	0.0303	7.90	0.2232	7.90	0.3027	7.95	0.3070

u_t : İstinat duvarı tepe noktasındaki yatay yer değıştirme; t: Zaman; S_z , S_y , S_x (arka köşe): Duvar arka yüzü(dolgu tarafı) köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (arka orta): Duvar arka yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön köşe): Duvar ön yüzü köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön orta): Duvar ön yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler

Tablo 2.7. Loma Prieta depremi etkisi altında DUVAR-3 için elde edilen en büyük yatay tepe yer değıştirmeleri ve duvar kritik kesitlerindeki gerilme değeri ile bu tepkilerin gerçekleşme zamanları

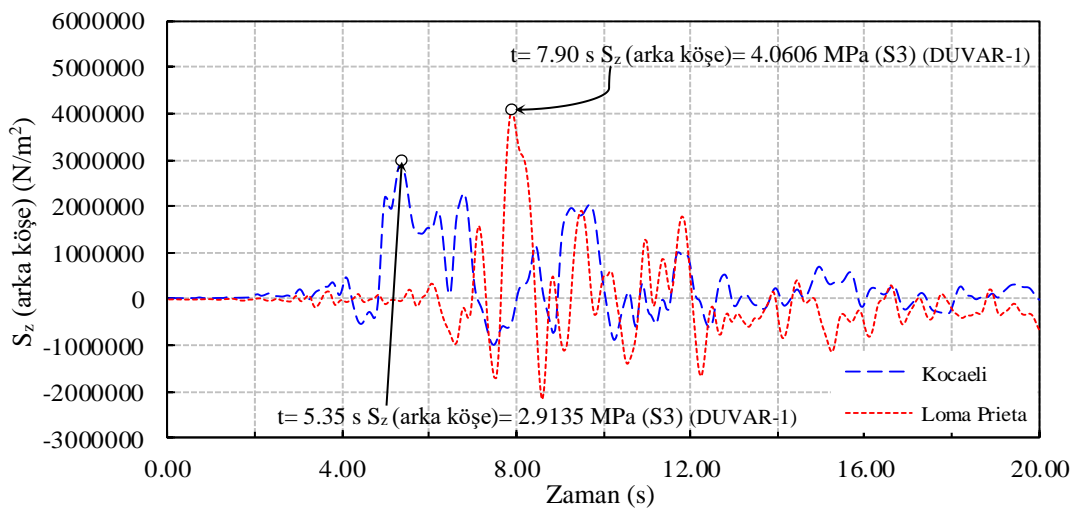
Zemin Sistemi	S1		S2		S3		S4	
Tepkiler	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer	t (s)	Değer
u_t (m)	7.80	-0.0011	7.90	-0.0065	7.55	0.0120	7.60	0.0206
S_z (arka köşe) (MPa)	7.80	0.4178	7.90	2.2333	7.90	3.3934	7.95	2.6647
S_y (arka köşe) (MPa)	7.80	0.0620	7.90	0.3178	7.90	0.6107	7.95	0.4383
S_x (arka köşe) (MPa)	7.80	0.2572	8.60	-1.3209	7.90	2.5352	8.00	1.7835
S_z (arka orta) (MPa)	7.80	0.3239	7.90	2.4391	7.90	3.3241	7.95	3.1618
S_y (arka orta) (MPa)	7.80	0.1268	7.90	0.8349	7.90	1.3254	7.95	1.2867
S_x (arka orta) (MPa)	7.85	0.1825	7.90	1.7382	7.90	2.8131	7.95	2.8995
S_z (ön köşe) (MPa)	7.80	-0.4894	7.90	-2.4530	7.90	-3.6851	7.95	-3.1207
S_y (ön köşe) (MPa)	7.80	-0.0230	7.85	-0.0849	7.90	-0.1238	7.90	-0.0863
S_x (ön köşe) (MPa)	7.80	-0.2310	7.85	-0.9015	7.90	-1.3620	7.90	-0.9751
S_z (ön orta) (MPa)	7.80	-0.2948	7.90	-2.2883	7.90	-3.0940	7.95	-2.8238
S_y (ön orta) (MPa)	8.55	-0.0790	7.90	-0.3677	7.90	-0.4921	7.95	-0.3465
S_x (ön orta) (MPa)	7.80	-0.0747	7.90	-0.7565	7.90	-0.8740	7.95	-0.7185

u_t : İstinat duvarı tepe noktasındaki yatay yer değıştirme; t: Zaman; S_z , S_y , S_x (arka köşe): Duvar arka yüzü(dolgu tarafı) köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (arka orta): Duvar arka yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön köşe): Duvar ön yüzü köşe noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler; S_z , S_y , S_x (ön orta): Duvar ön yüzü orta noktasında z, y ve x doğrultularındaki en büyük gerilmeler

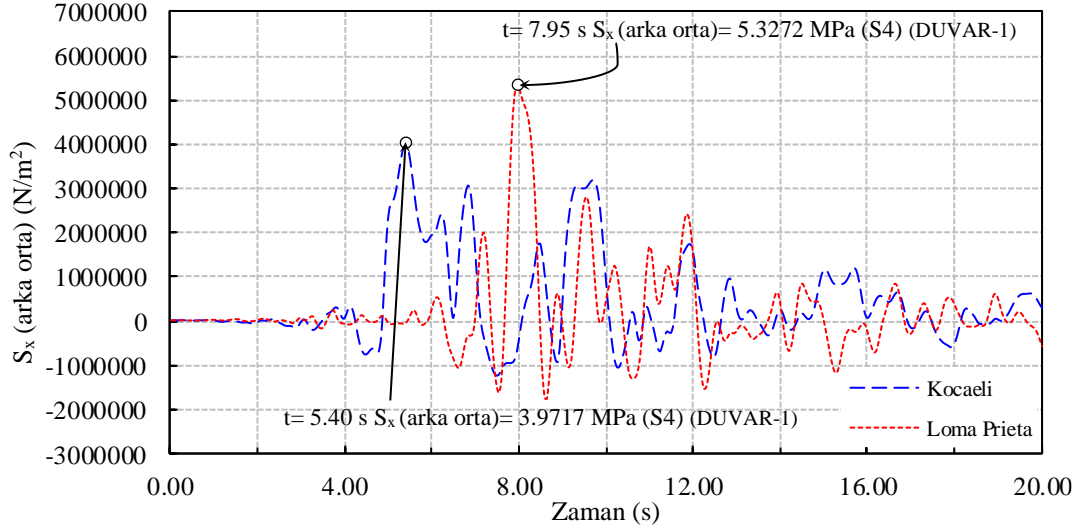
Tablo 2.5~2.7 incelendiğinde önceki deprem kaydı etkisi altındaki çözümlemelere benzer şekilde farklı zemin sistemleri için en büyük tepe yer değiştirmesi ve kritik kesitlerde elde edilen gerilme değerlerindeki değişim açıkça görülmektedir. Ayrıca en büyük tepkilerin gerçekleşme zamanları farklı duvar geometrileri ile zemin rijitliğindeki azalışla değişmektedir. Tüm zemin sistemleri için yatay yer değiştirmeler bakımından en büyük değerler DUVAR-2 koşullarında meydana gelirken, en küçük değerler DUVAR-3 koşullarında oluşmaktadır. Burada dikkate değer bir diğer husus da; DUVAR-3 için en büyük yer değiştirmeler S1 ve S2 zemin sistemlerinde öne doğru hareket şeklinde ortaya çıkarken, S3 ve S4 zemin sistemleri için tersinir bir hal alarak arkaya doğru hareket şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu tepkilerin 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi etkisi altında yapılan çözümlemelerde tümüyle öne doğru harekette ortaya çıktığını belirtmekte yarar görülmektedir.

2.6.1. DUVAR-1 İçin Farklı Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi

Çalışmanın bu bölümünde dişli istinat duvarı (DUVAR-1) için farklı yer hareketinin sismik davranış üzerindeki etkileri gerilme ve yer değiştirme tabanlı irdelenmektedir. Şekil 2.56'da S3 zemin koşullarında duvar arka yüz köşe noktasında z doğrultusundaki, Şekil 2.57'de S4 zemin koşullarında duvar arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimi verilmektedir.



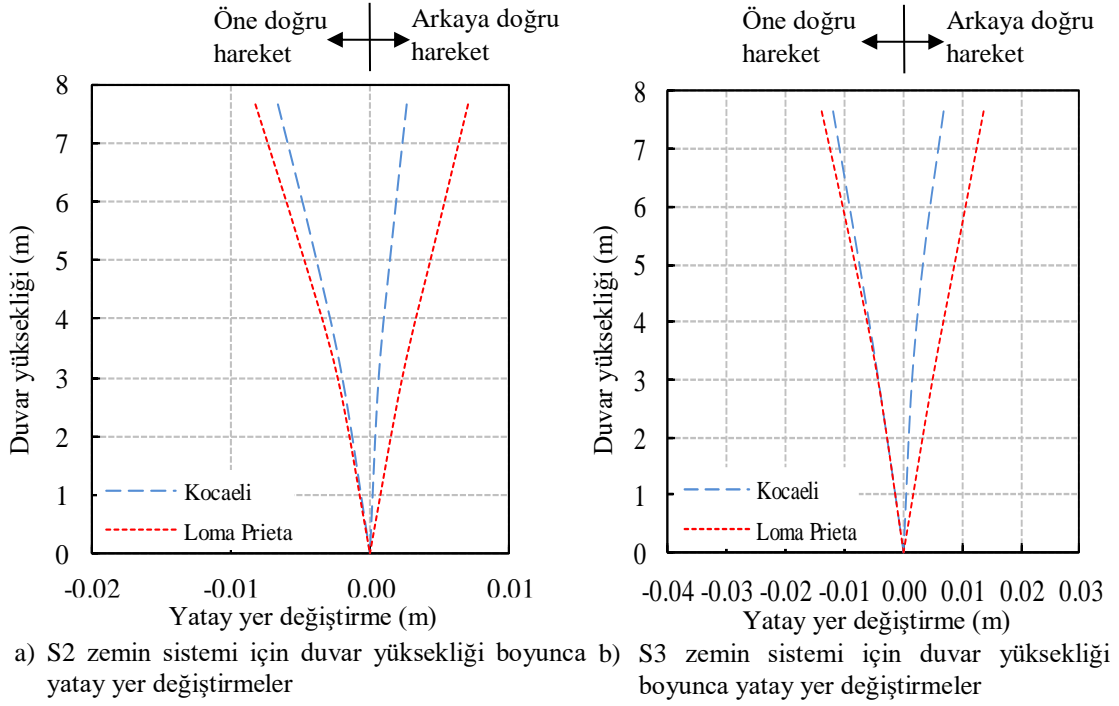
Şekil 2.56. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-1 için arka yüz köşe noktada z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.57. S4 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-1 için arka yüz orta noktada x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

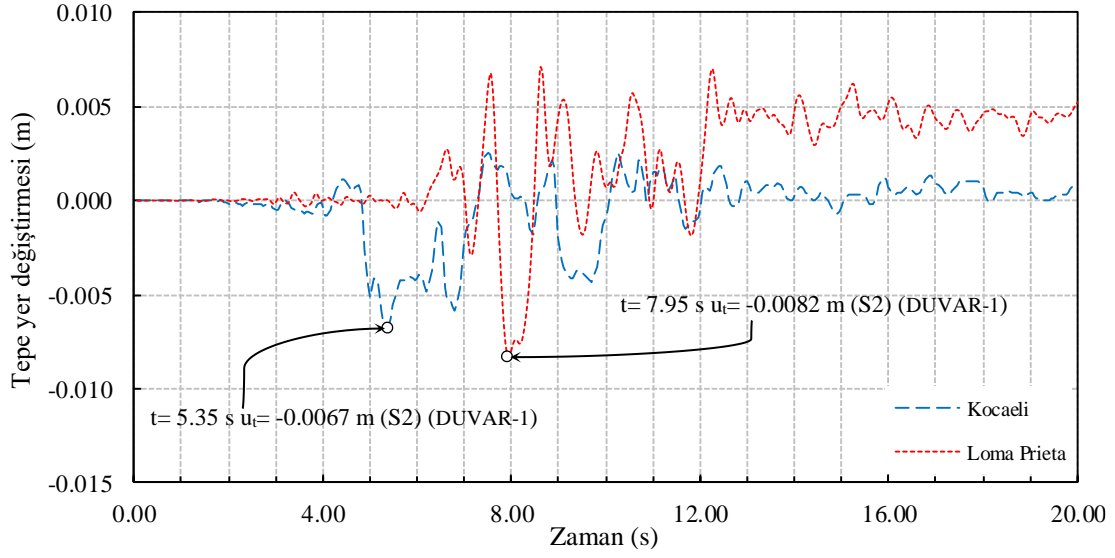
Şekil 2.56~2.57'nin incelenmesinden yer hareketi değişiminin duvar sismik davranışı üzerindeki etkileri açıkça görülmektedir. Örneğin; Şekil 2.56'da S3 zemin sistemi için arka yüz köşe noktada z doğrultusunda en büyük gerilme değeri Kocaeli depremi için çekme olarak 2.9135 MPa iken, bu değer Loma Prieta depremi için %39 oranında bir artışla çekme olarak 4.0606 MPa mertebelerinde gerçekleşmektedir. Bu değişime bir başka örnek olarak Şekil 2.57 verilebilir. Bu şekilden S4 zemin sistemi için duvar arka yüz orta noktasında x doğrultusunda en büyük gerilme değerinin Kocaeli depremi için çekme olarak 3.9717 MPa, Loma Prieta depremi için %34 artışla yine çekme olarak 5.3272 MPa değerine ulaştığı görülmektedir. En büyük tepkilerin gerçekleşme zamanı ise Kocaeli depremi için 5.35~5.40 s, Loma Prieta depremi için 7.90~7.95 s'dir.

Şekil 2.58'de S2 ve S3 zemin sistemlerinde DUVAR-1 için yükseklik boyunca göreceli yatay yer değiştirmelerin değişimi gösterilmektedir. Şekil 2.58 incelendiğinde gerek S2 gerekse S3 zemin sisteminde söz konusu duvar Loma Prieta depremi etkisi altında Kocaeli depremine göre yükseklik boyunca daha büyük yer değiştirmeye maruz kaldığı görülmektedir. Ayrıca zemin rijitlik azalışına bağlı olarak S3 zemin sisteminde S2 zemin sistemine kıyasla her iki kayıt için de yatay yer değiştirmelerde artış gözlemlenmektedir.

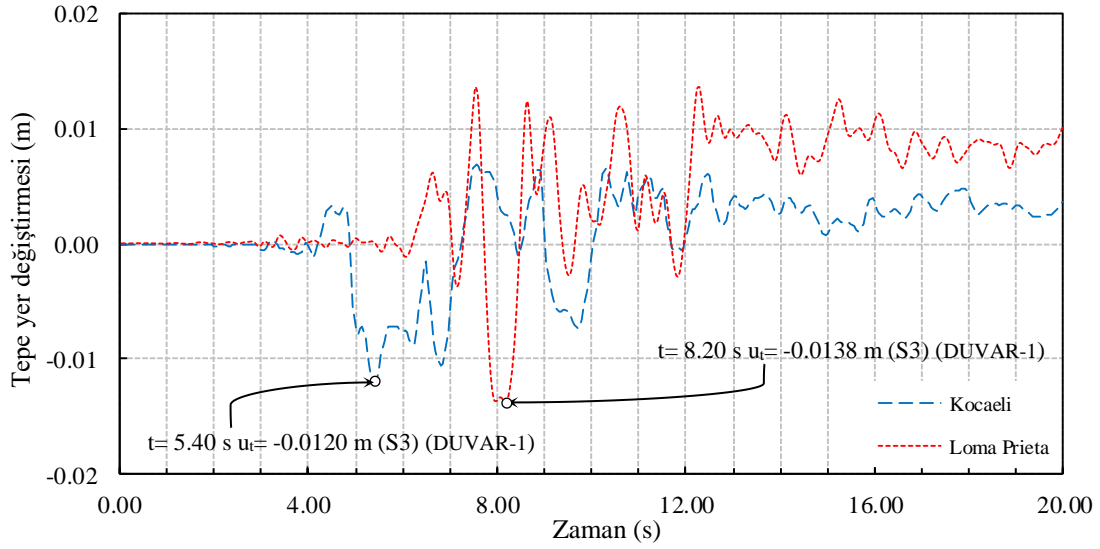


Şekil 2.58. DUVAR-1 için iki farklı yer hareketi etkisi altında a) S2 zemin sisteminde, b) S3 zemin sisteminde yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi

Şekil 2.59~2.60’da sırasıyla S2 ve S3 zemin sistemlerinde DUVAR-1 için duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi gösterilmektedir. Şekil 2.59’un incelenmesinden, S2 zemin sisteminde en büyük tepe yer değiştirmesi Kocaeli depremi etkisi altında 5.35 s’de 0.0067 m mertebelerinde gerçekleşirken, bu değer Loma Prieta depremi etkisi altında %22 oranında artışla 7.95 s’de öne doğru hareketle 0.0082 m olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bu tepkinin farklı deprem kayıtları etkisi altında değişebildiğine bir başka örnek olarak Şekil 2.60 verilebilir. Burada da S3 zemin sisteminde en büyük tepe yer değiştirmesi Kocaeli depremi etkisi altında 5.40 s’de 0.0120 m iken, Loma Prieta depremi için %15 artışla 8.20 s’de 0.0138 m olarak gerçekleşmektedir. Yapılan bu değerlendirmelerden, deprem frekans içeriği ile yerel zemin koşulları arasındaki karmaşık ve karşılıklı etkileşime bağlı olarak istinat duvarının sismik davranışında, tepkilerin şiddetlerinde ve gerçekleşme zamanlarında büyük oranlarda değişim olabileceği rahatlıkla söylenebilir.



Şekil 2.59. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-1 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

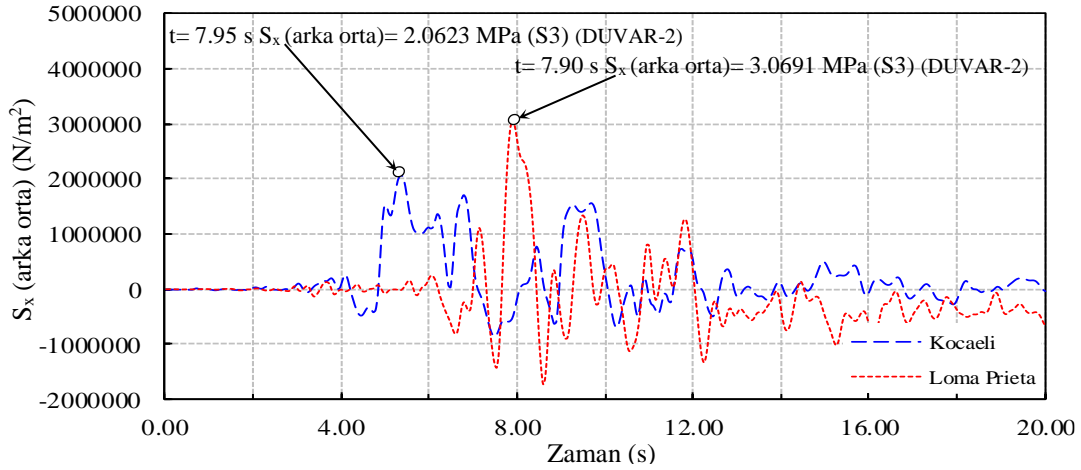


Şekil 2.60. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-1 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

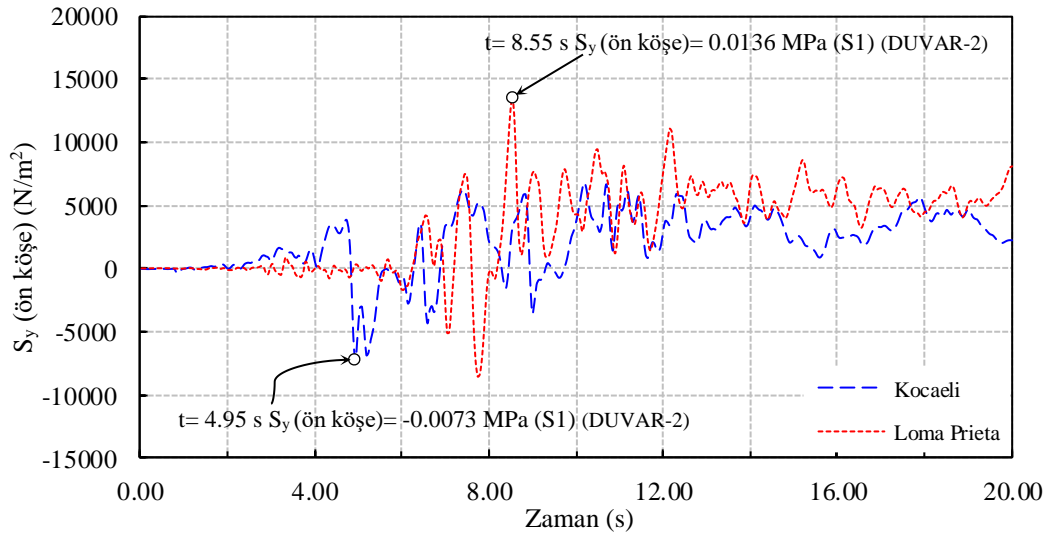
2.6.2. DUVAR-2 İçin Farklı Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi

Bu alt bölümde DUVAR-2 için farklı yer hareketinin sismik davranış üzerindeki etkileri yine gerilme ve yer değiştirme tabanlı irdelenmektedir. Şekil 2.61’de S3 zemin sisteminde duvar arka yüz orta noktasında x doğrultusundaki, Şekil 2.62’de S1 zemin

sisteminde duvar ön yüz köşe noktasında y doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimi verilmektedir.



Şekil 2.61. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-2 için arka yüz orta noktada x doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

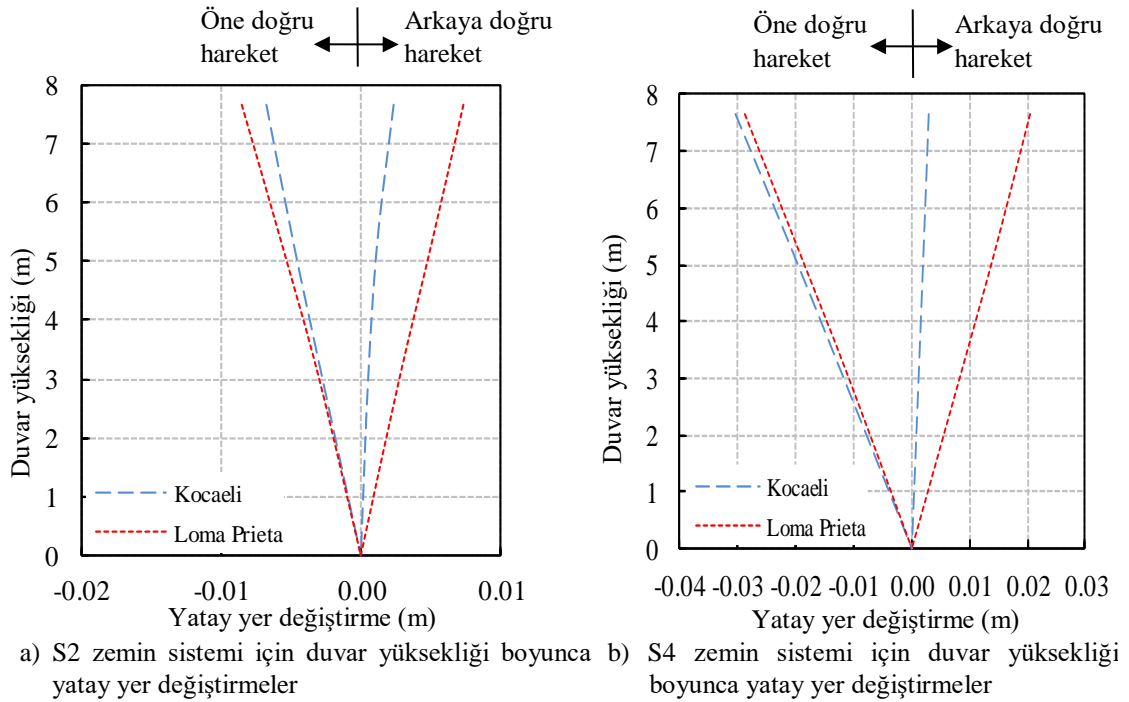


Şekil 2.62. S1 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-2 için ön yüz köşe noktasında y doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

Şekil 2.61’de S3 zemin sistemi için arka yüz orta noktada x doğrultusunda en büyük gerilme değeri Kocaeli deprem kaydı için çekme olarak 2.0623 MPa iken, Loma Prieta deprem kaydı için %49 oranında bir artışla çekme olarak 3.0691 MPa değerine ulaşmaktadır. Yer hareketine ve zemin etkileşimine bağlı olarak gerilmelerin yön değiştirebildiği önceki irdelemelerden bilinen bir husustur. Burada bu duruma bir örnek olarak Şekil 2.62 verilebilir.

Bu şekilden S1 zemin sistemi için duvar ön yüz köşe noktasında y doğrultusunda en büyük gerilme Kocaeli depremi için basınç olarak 0.0073 MPa iken, Loma Prieta depremi için mutlak değerce %86 oranında artışla çekme olarak 0.0136 MPa olduğu görülmektedir.

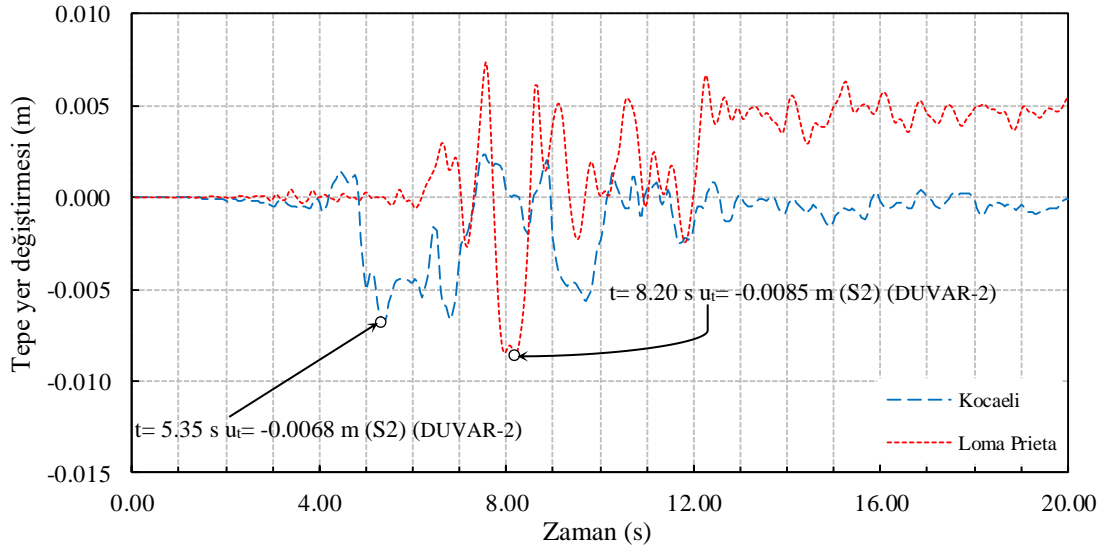
Şekil 2.63’de S2 ve S4 zemin sistemlerinde DUVAR-2 için yükseklik boyunca görelî yatay yer değiştirmelerin değişimi gösterilmektedir. Şekil 2.63 incelendiğinde S2 zemin sisteminde söz konusu duvar Loma Prieta depremi etkisi altında Kocaeli depremine göre yükseklik boyunca daha büyük yer değiştirmeye maruz kalırken, S4 zemin sisteminde tam tersi durum söz konusu olmaktadır. Ayrıca zemin rijitlik azalışına bağlı olarak S4 zemin sisteminde S2 zemin sistemine kıyasla her iki kayıt için de yatay yer değiştirmelerde artış net olarak göze çarpmaktadır.



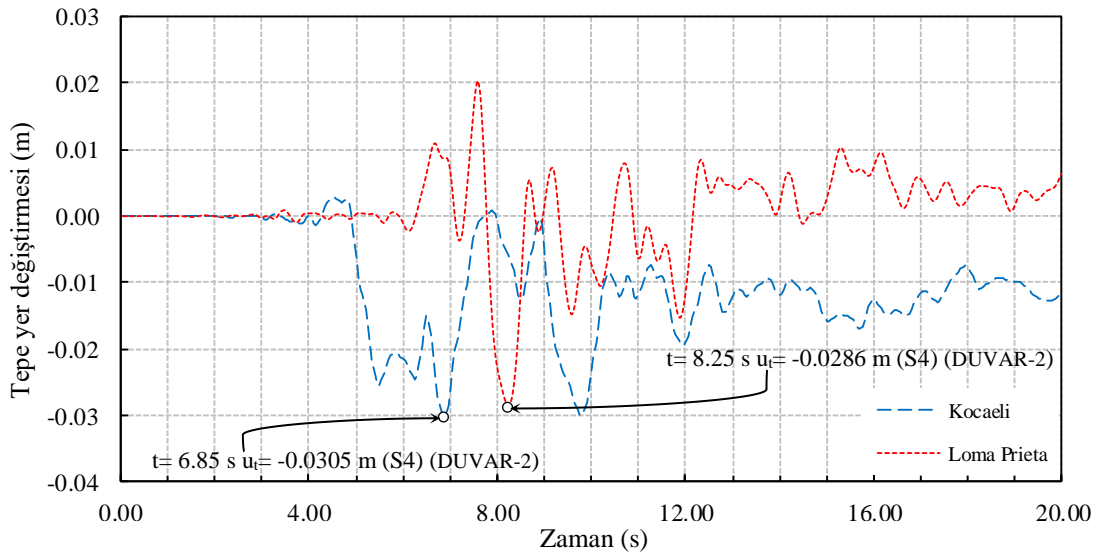
Şekil 2.63. DUVAR-2 için iki farklı yer hareketi etkisi altında a) S2 zemin sisteminde, b) S4 zemin sisteminde yatay yer değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi

Şekil 2.64~2.65’de sırasıyla S2 ve S4 zemin sistemlerinde DUVAR-2 için duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi gösterilmektedir. Yer hareketi değişimine bağlı olarak tepkilerde ve bu tepkilerin gerçekleşme zamanlarında farklılıklar olduğu aşikârdır. Şekil 2.64 incelendiğinde, S2 zemin sisteminde en büyük tepe yer değiştirmesi Kocaeli depremi için 5.35 s’de 0.0068 m mertebelerinde iken, bu değer Loma Prieta depremi için %25 oranında bir artışla 8.20 s’de 0.0085 m olarak gerçekleştiği

görülmektedir. Şekil 2.65 incelendiğinde ise S4 zemin sisteminde en büyük tepe yer değiştirmesi değeri Loma Prieta depremi etkisi altında 8.25 s’de 0.0286 m mertebelerinde iken, bu değer Kocaeli depremi etkisi altında yaklaşık %7 artarak 6.85 s’de 0.0305 m olarak gerçekleşmektedir. Burada S2 zemin sistemindeki aksine Kocaeli depremi daha büyük tepki üretmektedir.



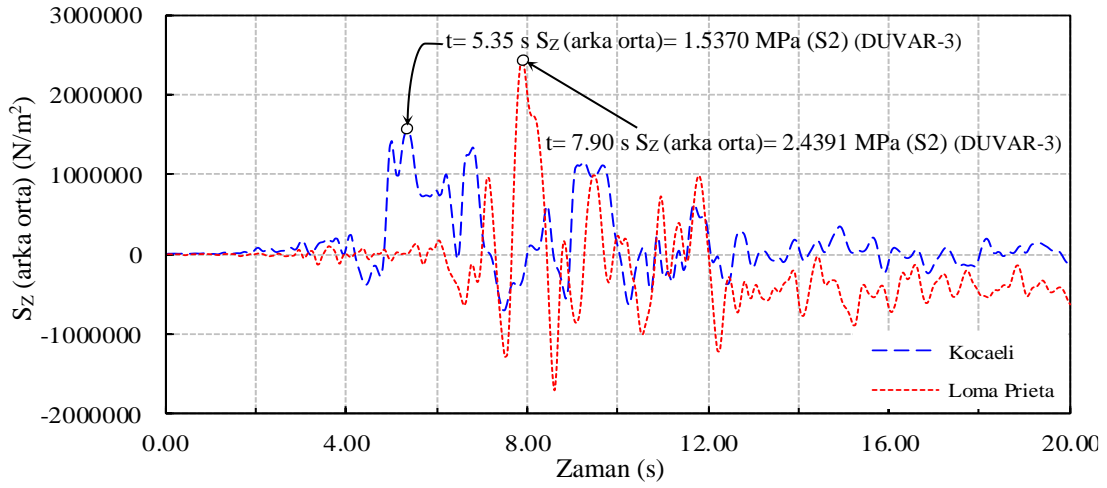
Şekil 2.64. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-2 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi



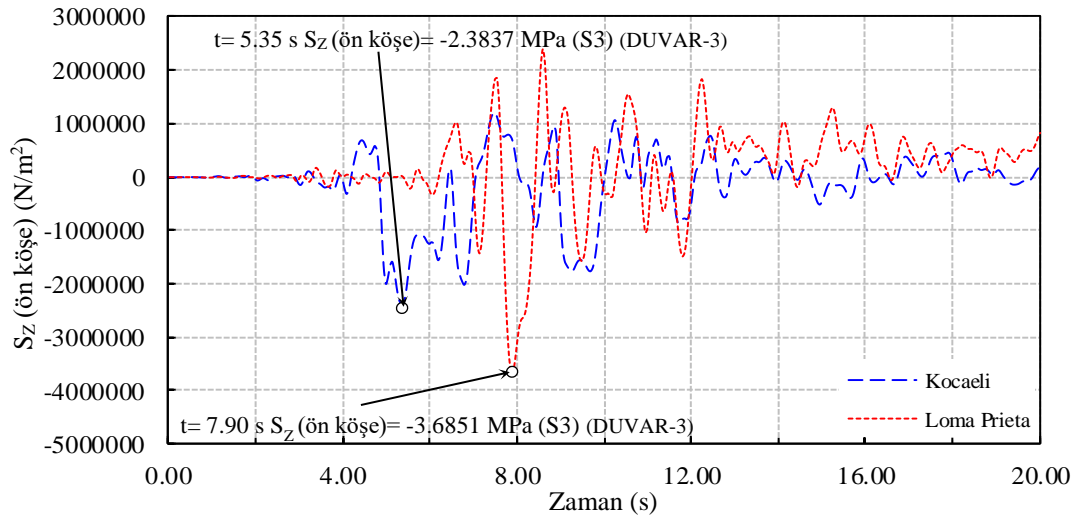
Şekil 2.65. S4 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-2 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

2.6.3. DUVAR-3 İçin Farklı Yer Hareketi Etkilerinin İrdelenmesi

Bu alt bölümde DUVAR-3 için farklı yer hareketinin sismik davranış üzerindeki etkilerini değerlendirebilmek için yine gerilme ve yer değiştirmeye dayalı irdelemeler yapılmaktadır. Şekil 2.66'da S2 zemin sisteminde duvar arka yüz orta noktasında z doğrultusundaki, Şekil 2.67'de S3 zemin sisteminde duvar ön yüz köşe noktasında z doğrultusundaki gerilmelerin zamanla değişimi verilmektedir.



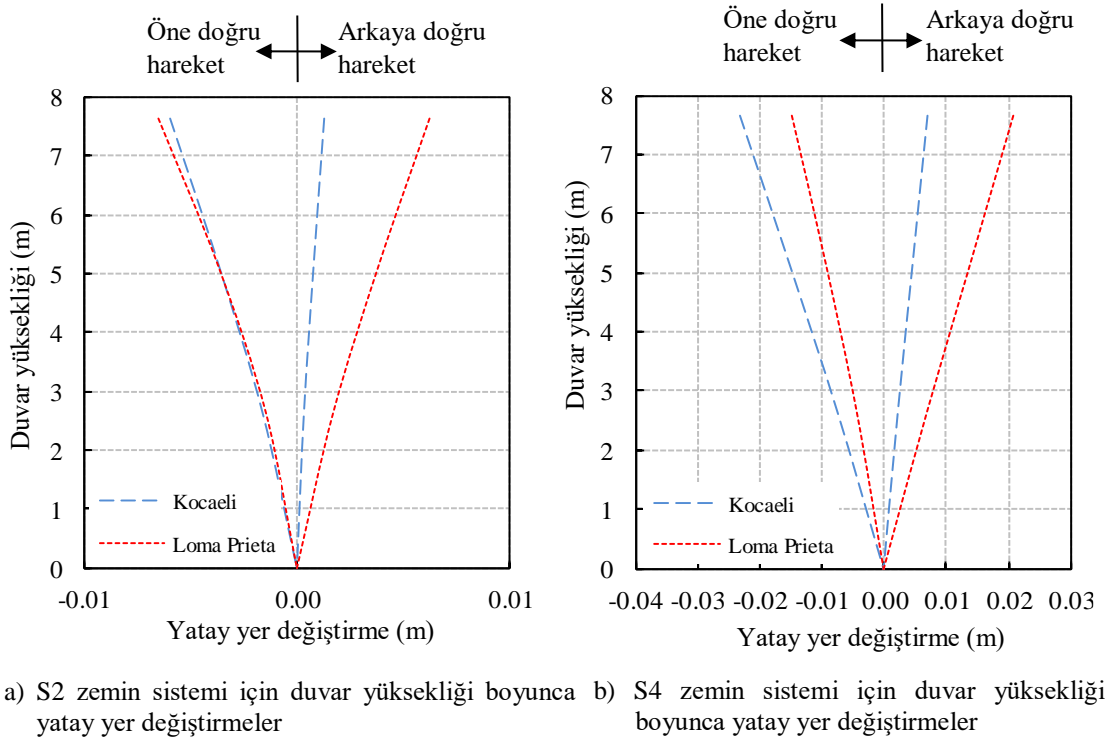
Şekil 2.66. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-3 için arka yüz orta noktada z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi



Şekil 2.67. S3 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altındaki DUVAR-3 için ön yüz köşe noktada z doğrultusundaki gerilmelerin zamana bağlı değişimi

Şekil 2.66 incelendiğinde Kocaeli deprem kaydı için en büyük gerilme değeri çekme olarak 1.5370 MPa iken, bu değer Loma Prieta deprem kaydı için yaklaşık %59 oranında bir artış ile çekme olarak 2.4391 MPa mertebelerinde gerçekleştiği ifade edilebilir. Benzer şekilde Şekil 2.67’den Kocaeli deprem kaydı için en büyük gerilme değerinin basınç olarak 2.3837 MPa, Loma Prieta deprem kaydı için yaklaşık %55 artış ile basınç olarak 3.6851 MPa olduğu görülmektedir. Ayrıca en büyük tepkilerin gerçekleşme zamanı; Kocaeli kaydı için 5.35 s, Loma Prieta kaydı için 7.90 s’dir.

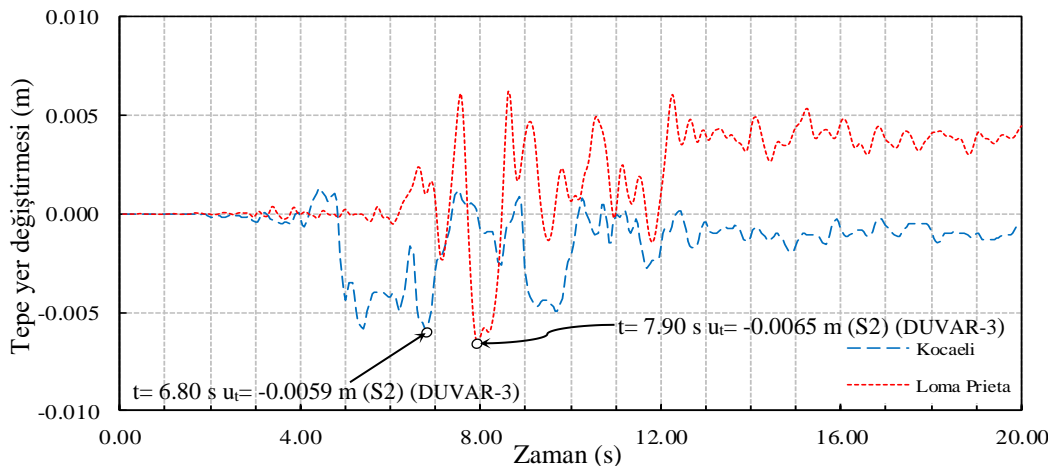
Şekil 2.68’de S2 ve S4 zemin sistemlerinde DUVAR-3 için iki farklı yer hareketi etkisi altında yükseklik boyunca görelî yatay yer değiştirmeler verilmektedir. Şekil 2.68 incelendiğinde S2 zemin sistemi için Kocaeli deprem kaydına kıyasla Loma Prieta deprem kaydı altında duvar yatay yer değiştirmelerinin daha büyük elde edildiği, S4 zemin sistemi için ise Kocaeli depremi etkisinde duvarın daha büyük yer değiştirmelere maruz kaldığı görülmektedir.



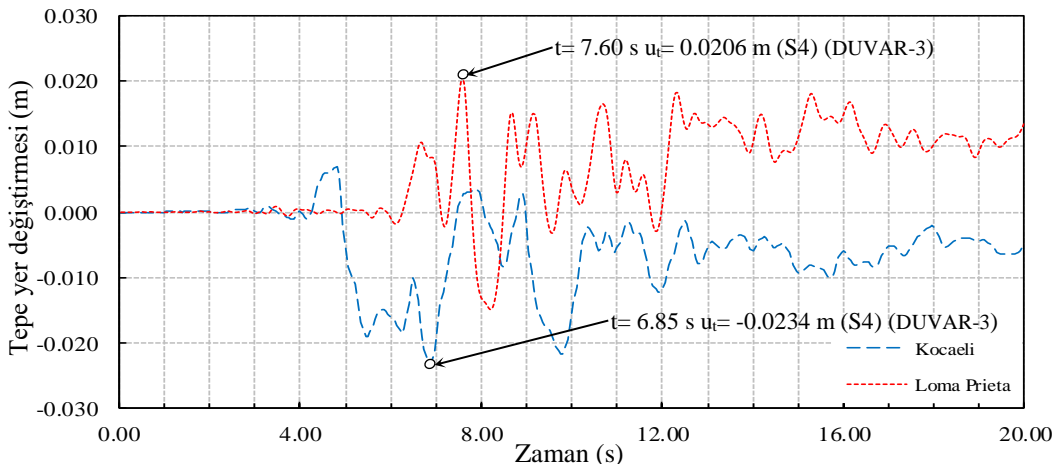
Şekil 2.68. DUVAR-3 için iki farklı yer hareketi etkisi altında a) S2 zemin sisteminde, b) S4 zemin sisteminde yatay değiştirmelerin yükseklik boyunca değişimi

Şekil 2.69~2.70’de iki farklı deprem kaydı için sırasıyla S2 ve S4 zemin sistemlerinde DUVAR-3 için duvar tepe noktasının yatay yer değiştirmelerinin zamanla değişimi

verilmektedir. Bu şekillerden yararlanarak yer hareketi değişimine bağlı olarak farklı yer değiştirme davranışının sergilenebileceği söylenebilir. Örneğin Şekil 2.69'dan, S2 zemin sisteminde en büyük tepe yer değiştirmesinin Kocaeli depremi etkisi altında 0.0059 m, Loma Prieta depremi etkisi altında %10 oranında bir artışla 0.0065 m olarak gerçekleştiği görülmektedir. Bir başka örnek olarak Şekil 2.70'den, S4 zemin sisteminde Kocaeli depremi için en büyük tepe yer değiştirmesinin 0.0234 m, Loma Prieta depremi için %12 oranında bir azalmayla 0.0206 m olarak elde edildiği görülmektedir. Tüm bu karşılaştırmalar istinat duvarlarının dinamik davranışının yer hareketinin karakteristiklerinden oldukça etkilenebileceğini ortaya koymaktadır.



Şekil 2.69. S2 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-3 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişimi



Şekil 2.70. S4 zemin sisteminde iki farklı yer hareketi etkisi altında DUVAR-3 için tepe yer değiştirmelerinin zamanla değişim

3. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

İstinat duvarlarının sismik davranışının belirlenmesi ve yanal zemin basınçlarını güvenli bir şekilde karşılayabilecek yapısal tasarım, zemin-yapı etkileşimi açısından geoteknik deprem mühendisliği uygulamaları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Topraklarının hemen hemen tamamı aktif deprem kuşaklarında bulunan ülkemizde, inşa edilecek olan istinat duvarlarına gelen dinamik kuvvetlerin tasarım aşamasında dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca zemin özelliklerinin ve zeminle ilgili problemlerden kaynaklanabilecek risklerin belirlenmesi yapı tasarımı için oldukça önemli bir husustur. Bu çalışmada dört farklı temel zemini koşulu, üç farklı konsol duvar geometrisi (ters T kesitli, L kesitli ve dişli) ve iki farklı deprem kaydı dikkate alınarak dolgu-konsol istinat duvarı-temel/zemin etkileşim sistemlerinin zaman tanım alanında dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Zemin-yapı modellerinin deprem etkisi altındaki davranışı, istinat duvarının tepe noktasının yatay yer değiştirmeleri ile ön ve arka yüzlerinde meydana gelen gerilmelerin maksimum değerlerine göre değerlendirilmiştir. İstinat duvarı yüksekliği boyunca yatay yer değiştirmelerin değişimleri, tepe noktasının yere göre rölatif yer değiştirmelerinin zamanla değişimleri ve oluşan gerilmelerin zamanla değişimleri grafikler halinde sunulmuştur. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- İstinat duvarlarının sismik davranışı; duvar tipi, duvar geometrisi, duvarın zemine göre konumu, deprem frekans içeriği, zemin koşulları ve zeminin mekanik özellikleri ile yakından ilişkilidir. Zemin ve istinat duvarının karşılıklı etkileşimi, duvar ve yerel zeminin dinamik karakteristiklerini etkilemektedir. Bu etkileşim duvarda kütle ve rijitlik dağılımını etkilediğinden sistemin bütününde periyot ve mod şekillerinin değişimine neden olmakta ve yapıların sismik performansları ile deprem hasarları üzerinde çok önemli bir rol oynamaktadır.
- Önerilen sonlu eleman modelleriyle istinat duvarlarının sismik davranışları; elastoplastik zemin davranışı ve dolgu-duvar etkileşim yüzeyinde doğrusal olmayan ilişki belirli bir yaklaşıklıkla dikkate alınarak incelenebilmektedir. Bu modellerle, zemin etkileşimini ve dalga yayılımı etkilerini hesaba katabilmek mümkün olmaktadır.

- Çözümü yapılan sistemlerde zemin-yapı etkileşiminin doğrultusu, etki oranı ve mertebesi önerilen modeller arasında farklı olmakla birlikte, bu etkileşim duvar sismik davranışını önemli ölçüde değiştirebilmektedir.
- Temel zemini rijitliği azaldıkça duvar yatay yer değiştirmelerinin arttığı gözlenmektedir. Burada etkileşim sebebiyle izin verilebilir sınırların ötesinde yer değiştirmelerin oluşabileceği ve bu yer değiştirmelerin çok büyük olması durumunda, iç kuvvetler küçük mertebelerde olsa dahi, duvarın stabilitesini kaybedebileceği söylenebilir. Ayrıca farklı duvar tiplerinin farklı davranış sergileme olasılığına bağlı olarak, yer değiştirme sınırlarının belirlenmesi ve analizlerin plastik denge mekanizmasına ek olarak yer değiştirmeye dayalı da yapılması gerekebilmektedir. Zira yer değiştirmelerin büyüklüğünün artmasıyla zemin içerisindeki gerilmeler elastik durumdan elasto-plastik duruma ve nihai olarak da limit duruma doğru ilerlemektedir. Bu nedenle duvar basınçlarının büyüklüğü ve dağılımı duvar hareket modlarından etkilenmektedir. Ancak çoğu durumda, kinematik sınırlamalar limit denge koşullarının oluşmasını engellemekte ve artan dinamik zemin basınçları meydana gelebilmektedir. Bu gerekçelerle, yer değiştirmeler üzerinde oldukça etkin bir parametre olarak görünen zemin etkileşiminin tasarım aşamasında mutlaka hesaba katılması gerekmektedir.
- Duvar tepe yer değiştirmesinin (u_t) duvar yüksekliğine (H) oranına bağlı olarak dinamik zemin basınçlarının büyüklüğü hakkında fikir sahibi olmak mümkündür. Buna göre $u_t/H > 0.10$ olması durumunda minimum dinamik zemin basınçlarının oluşacağı, $u_t/H < 0.05$ olması durumunda dinamik zemin basınçlarının 2.5 kat büyüyeceği, bu iki değer arasında da dinamik zemin basınçlarının maksimum ve minimum değerler arasında bir değer alacağı ifade edilmektedir. Bu bağlamda yer değiştirmeye dayalı tüm çözümleme sonuçları incelendiğinde, en küçük tepe yatay yer değiştirmesi S1 zemin sistemi koşullarında ters T kesitli duvarda (DUVAR-3) 0.0008 m olarak elde edilmektedir. Buna göre yukarıda ifade edilen oran 0.011 olarak hesaplandığından dinamik zemin basınçlarının büyük oranlarda artacağı ve maksimum değere ulaşabileceği söylenebilir. Öte yandan en büyük tepe yatay yer değiştirmesi S4 zemin sistemi koşullarında L kesitli duvarda (DUVAR-2) 0.0305 m olarak hesaplanmaktadır. Buna göre yukarıda ifade edilen oran 0.44 olarak hesaplandığından dinamik zemin basınçlarının minimum düzeylerde kalacağı söylenebilir.

- Temel zemini rijitliğinin değişimine bağlı olarak duvar kritik kesitlerinde meydana gelen gerilmelerin şiddetlerinin ve gerçekleşme zamanlarının değiştiği ve hatta gerilmelerin etkileşime bağlı olarak yön değiştirebildiği görülmektedir.
- Üç farklı duvar kesiti dikkate alınarak yapılan çözümlemelerden, duvar geometrisindeki değişim bağlı olarak yer değiştirme ve gerilme tepkilerinin önemli oranlarda değiştiği görülmektedir. Burada etkileşimin mertebesinin artışına diğer bir ifadeyle duvar rijitliğinin zemin rijitliğine oranının artmasına bağlı olarak duvar kesitine bağlı değişim daha belirgin bir hal almaktadır. Ayrıca duvar kesiti değişimine bağlı olarak zeminin ötelenme hareketi duvar davranışını oldukça etkilemekte, dönme rijitliğindeki azalma ise duvar yer değiştirmelerini artırmaktadır.
- Farklı deprem kayıtlarına göre yapılan çözümlemelerden, deprem ile yerel zemin koşulları arasındaki karmaşık ve karşılıklı etkileşime bağlı olarak istinat duvarının sismik davranışında, tepkilerin şiddetlerinde ve gerçekleşme zamanlarında farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu karmaşık ve karşılıklı etkileşim nedeniyle duvar yatay yer değiştirmeleri tersinir bir hal alabilmektedir. Bu durum Loma Prieta depremi etkisi altında DUVAR-3 için yapılan analizlerde maksimum yer değiştirmelerin yön değiştirmesinden görülmektedir. Ancak buradaki değerlendirmeler iki deprem kaydı üzerinden yapıldığından elde edilen sonuçların genelleştirilebilmesi için değişik frekans içeriğine ve karaktere sahip farklı deprem kayıtları etkisi altında incelemelerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Üzerine oturduğu zeminden bağımsız olarak, tip projelere göre inşa edilen istinat duvarlarının her yer için uygun olması mümkün değildir. Zira bölgesel zemin koşulları zemin büyütmelerine yol açabilmektedir. Bu bakımdan yapının inşa edildiği zemine de uygun olacak şekilde istinat duvarı tasarlanması mühendislik açısından daha gerçekçi ve doğru bir çözüm olacaktır. Bu durum da, emniyetli bir tasarım için, zemin incelemelerinin yeteri kadar detaylı, olabildiğince doğru ve güvenilir olmasını zorunlu kılmaktadır.
- Bu tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalara ek olarak; anakaya derinliğinin, dolgu uzunluğunun, duvar kalınlığının, dolgu zemini yüzeyi eğim açısının, dolgu ve temel zeminine ait kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerindeki değişimin ve arka dolgu üzerindeki sürşarj yüklerinin istinat yapılarının sismik davranışları üzerindeki etkileri incelenebilir.

4. KAYNAKLAR

- Akkan, S., 2008. Türkiye’de Sismik Aktivite ve Tasarım Spektrumları, Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H. ve Wasti, S.T. (eds.), ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, Türkiye, pp. 17-34.
- Al Atik, L. ve Sitar, N., (2010). Seismic Earth Pressures on Cantilever Retaining Structures, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 136, 2 , 1324-1333.
- Ansal, A., Erken, A., Yıldırım, H., İyisan, R., Okur, V., Güllü, H., Bayraklı, Y. ve Özçimen, N., 1999. Zeminlerin Tekrarlı Gerilmeler Altında Davranışları ve 17 Ağustos Kocaeli Depremi, Türkiye Mühendislik Haberleri, 44, 404, 23-33.
- ANSYS 13, 2010. ANSYS Inc., Canonsburg, PA.
- Aydinoğlu, M. N., 1977. Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Bathe, J.K, 1996. Finite Element Procedures, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1050 s.
- Birand, A., 2006. Duvarlar, Teknik Yayınevi, Ankara
- Brandenberg, S.J., Mylonakis, G. ve Stewart, J.P., 2017. Approximate Solution for Seismic Earth Pressures on Rigid Walls Retaining Inhomogeneous Elastic Soil, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 97, 468-477.
- Callisto, L. ve Soccodato, F.M., 2010. Seismic Design of Flexible Cantilevered Retaining Wall, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 136, 2,344-354.
- Candia, G., Mikola, R.G. ve Sitar, N., 2016. Seismic Response of Retaining Walls with Cohesive Backfill: Centrifuge Model Studies, Soil Dynamics and Earthquake Engineering , 90, 411-419.
- Celep, Z., 2017. Deprem Mühendisliğine Giriş, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 739 s
- Chen, W. F. ve Mizuno, E., 1990. Nonlinear Analysis in Soil Mechanics, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 661 s.
- Çakır, T., 2010. Zemin-Depo Dış Duvarı-Sıvı Sistemlerinin Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Çakır, T., 2013. Evaluation of The Effect of Earthquake Frequency Content on Seismic Behavior of Cantilever Retaining Wall Including Soil-Structure Interaction, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 45, 96-111.
- Çakır, T., 2014a. Influence of Wall Flexibility on Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls, Structural Engineering and Mechanics, 49, 1, 1-22.
- Çakır, T., 2014b. Backfill and Subsoil Interaction Effects on Seismic Behavior of a Cantilever Wall, Geomechanics and Engineering, An International Journal, 6, 2, 117-138.
- Çakır, T. ve Kara, O., 2015. Dolgu Zeminine Ait Birim Hacim Ağırlık Değeri Değişiminin Konsol Bir İstinat Duvarının Sismik Davranışı Üzerindeki Etkileri., Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 5, 2, 87-100.
- Çakır, T., 2017. Assessment of Effect of Material Properties on Seismic Response of a Cantilever Wall”, Geomechanics and Engineering, An International Journal, 13, 4, 601-619.
- Çakıroğlu, A. ve Özer, E., 1980. Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler I, Matbaa Teknisyenler Basımevi, İstanbul, 215 s
- Callisto, L. ve Soccodato, F.M., 2010. Seismic Design of Flexible Cantilevered Retaining Wall, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 136 , 2, 344-354.
- Çelebi, M., 1998. Turkish Earthquakes: Two reports. Lessons from the Adana-Ceyhan Quake and Dinar aftershock EERI newsletter, 32, 9, 8.
- DBYBHY, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.
- di Santolo, A.S. ve Evangelista, A., 2011. Dynamic Active Earth Pressure on Cantilever Retaining Walls, Computers and Geotechnics, 38, 1041-1051.
- EAK-2000, 2003. Greek Seismic Code, Earthquake Planning and Protection Organization, Athens.
- Eurocode-8, 2003. Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 5: Foundations, Retaining Structures and Geotechnical Aspects, Final draft, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- Evangelista, A., di Santolo, A.S. ve Simonelli, A.L., 2010. Evaluation of Pseudostatic Active Earth Pressure Coefficient of Cantilever Retaining Walls, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 30, 1119-1128.
- Filho, F.V., De Barros, F.C.P., Almeida, M.C.F. ve Ferreira, W.G., 1997. Soil-Structure Interaction Analysis of NPP Containments: Substructure and Frequency Domain Methods, Nuclear Engineering and Design, 174, 165-176.

- Gazetas, G., Psarropoulos, P.N., Anastasopoulos, I. ve Gerolymos, N., 2004. Seismic Behaviour of Flexible Retaining Systems Subjected to Short-Duration Moderately Strong Excitation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 537-550.
- Giarlelis, C. ve Mylonakis, G., 2011. Interpretation of Dynamic Retaining Wall Model Tests in Light of Elastic and Plastic Solutions, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 16-24.
- Gillies, A. G., Anderson, D.L., Mitchell, D., Tinawi, R., Saatcioglu, M., Gardner, N.J., Ghoborah, A. vd., 2001. The August 17, 1999, Kocaeli (Turkey) Earthquake-Lifelines and Preparedness, Can. J. Civ. Eng., 28, 881-890.
- Hadjian, A.H., Niehoff, D. ve Guss, J., 1974. Simplified Soil-Structure Interaction Analysis with Strain Dependent Soil Properties, Nuclear Engineering and Design, 31, 218-233.
- Halbritter, A.L., Krutzik, N.J., Boyadjiev, Z. ve Katona, T., 1998. Dynamic Analysis of VVER Type Nuclear Power Plants Using Different Procedures for Consideration of Soil-Structure Interaction Effects, Nuclear Engineering and Design, 182, 73-92.
- IS-1893, 2002. Indian Standard Criteria for Earthquake Resistant Design of Structures, Part 1, General Provisions and Buildings.
- İnan, M., 1996. Cisimlerin Mukavemeti, İ.T.Ü Vakfı Yayınları, İstanbul, 560 s.
- Jo, S.B., Ha, J.G., Lee, J.S. ve Kim, D.S., 2017. Evaluation of The Seismic Earth Pressure for Inverted T-shape Stiff Retaining Wall in Cohesionless Soils via Dynamic Centrifuge, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 92, 345-357.
- Kloukinas, P., Santalo, A.S., Penna A., Dietz, M., Evangelista, A., Simonelli, A.L., Taylor, C. ve Mylonakis, G., 2015. Investigation of Seismic Response of Cantilever Retaining Walls: Limit Analysis vs Shaking Table Testing, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 77, 432-445.
- Koçak, A., 1999. Tarihi Yapıların Statik ve Dinamik Yükler Altında Lineer ve Non-Lineer Analizi: Küçük Ayasofya Cami Örneği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koseki, J., Tsutsumi, Y., Kiyota, T., Nakajima, S. ve Maqbool, S., 2005. Damage to Earth Structures Caused by The 2004 Niigata-Ken Chuetsu Earthquake, Bulletin of ERS, No.38, 2005.3.
- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Lin, Y.L., Leng, W. M., Yang, G.L., Zhao, L.H., Li, L. ve Yang, J.S., 2015. Seismic Active Earth Pressure of Cohesive-Frictional Soil on Retaining Wall Based on a Slice Analysis Method, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 70, 133-147.

- Liu, Q., Tian, Y. ve Deng, F., 2014. Dynamic Analysis of Flexible Cantilever Wall Retaining Elastic Soil by a Modified Vlasov–Leontiev Model, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 63, 217-225.
- Livaoğlu, R., 2005. Ayaklı Depoların Sıvı-Yapı-Zemin Etkileşimleri Dikkate Alınarak Deprem Davranışlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Lysmer, J. ve Kuhlemeyer, R.L., 1969. Finite Dynamic Model for Infinite Media, Engineering Mechanics Division Journal, 95, 859-877.
- Madabhushi, S. P. G. ve Zeng, X., 2007. Simulating Seismic Response of Cantilever Retaining Walls, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133, 539-549.
- Mononobe, N. ve Matsuo, H., 1929. On The Determination of Earth Pressures during Earthquakes, Proceedings of World Engineering Congress, 9, Japan. pp.179-187.
- Mylonakis, G. ve Gazetas, G., 2000. Seismic Soil-Structure Interaction: Beneficial or Detrimental, Journal of Earthquake Engineering, ASCE, 4, 277-301.
- Mylonakis, G., Kloukinas, P., Papantonopoulos, C., 2007. An Alternative to The Monobe-Okabe Equations for Seismic Earth Pressures, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 27, 957-969.
- Nakamura, S., 2006. Re-Examination of Mononobe-Okabe Theory of Gravity Retaining Walls Using Centrifuge Model Tests, Soils and Foundations, 46, 2, 135–146.
- Nazarian, H. N. ve Hadjian, A.H., 1979. Earthquake-Induced Lateral Soil Pressures on Structures, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 105, 1049-1066.
- Nofal, E.M.H., 1998. Analysis of Non-linear Soil-Pile Interaction under Dynamic Lateral Loading, PhD Thesis, University Of California Irvine.
- Okabe, S., 1924. General Theory of Earth Pressure and Seismic Stability of Retaining Wall and Dam, Journal of Japanese Society of Civil Engineering, 10, 1277-1323.
- Osouli, A. ve Zamiran, S., 2017. The Effect of Backfill Cohesion on Seismic Response of Cantilever Retaining Walls Using Fully Dynamic Analysis, Computers and Geotechnics, 89, 143-152.
- Özaydın K., 2016, Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 317 s
- Öztürk, K. F., Çakır, T., 2017, Farklı Temel Zemini Özelliklerine Bağlı Olarak Konsol Bir İstinat Duvarının Deprem Davranışının İrdelenmesi, Third International Soil-Structure Interaction Symposium, 18-19 October 2017, İzmir, Türkiye, s. 487-497.

- Psarropoulos, P. N., Klonaris, G. ve Gazetas, G., 2005. Seismic Earth Pressures on Rigid and Flexible Retaining Walls, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 25, 795-809.
- Rainieri, C., Dey, A., Fabbrocino, G. ve de Magistris, F. S., 2017. Interpretation of The Experimentally Measured Dynamic Response of an Embedded Retaining Wall by Finite Element Models, Measurement, 104, 316-325.
- Regulatory Guide E39/93 for the seismic analysis of bridges (Ministry of Public Works), Bulletin of Greek Technical Chamber, 1998, No.2040
- Sandhya Rani, R., Nagendra Prasad, K. ve Sai Krishna, T., 2014. Applicability of Mohr-Coulomb and Drucker Prager Models for Assessment of Undrained Shear Behaviour of Clayey Soils, International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCET), 5, 10, 104-123.
- Santhoshkumar, G. ve Ghosh, P., 2018. Seismic Passive Earth Pressure on a Inclined Cantilever Retaining Wall Using Method of Stress Characteristics- A New Approach, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 107,77-82.
- Seed, H.B. ve Whitman, R.V., 1970. Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads, In: Proceedings of Speciality Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures. Ithaca, New York: ASCE, 103-147.
- Shukla, S.K. ve Bathurst, R.J., 2012. An Analytical Expression for The Dynamic Active Thrust from $c-\phi$ Soil Backfill on Retaining Walls With Wall Friction and Adhesion, Geomechanics and Engineering, 4, 3, 209-218.
- Siyahi, B., Akbaş, B. ve Fahjan, Y., 2011. Türkiye’de Deprem Mühendisliği Alanında Beklentiler ve İhtiyaçlar Doğrultusunda Sorunlara Çözüm Arayışları: 5N1K Yaklaşımı., Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 30 Mayıs-3 Haziran 2011, s. 315-332.
- Sucuoğlu, H., 2008. Türkiye’de Sismik Aktivite ve Tasarım Spektrumları, Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H. ve Wasti, S.T. (eds.), ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, Türkiye. pp. 35-56.
- Theodorakopoulos, D. D., Chassiakos, A.P. ve Beskos, D.E., 2001. Dynamic Pressures on Rigid Cantilever Walls Retaining Poroelastic Soil Media. Part I: First Method of Solution, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, 315-338.
- Tiznado, J. C. ve Rodriguez-Roa, F., 2011. Seismic Lateral Movement Prediction for Gravity Retaining Walss on Granular Soils, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 391-400.
- Torres, L., Santulli, C., Eschenasy, D. vd., 2007. Inquiry Report / Castle Village Retaining Wall Collapse.

- T.S.E., 1990. Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları, TS-7994, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL-1, 2009. <http://wbztv.com/local/barnstable.bulkhead.collapse.2.673158.html>.
- Veletsos, A. S. ve Younan, A.H., 1994. Dynamic Soil Pressures on Rigid Vertical Walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 23, 3, 275-301.
- Veletsos, A. S. ve Younan, A.H., 1997. Dynamic Response of Cantilever Walls, ASCE Journal of Geotechnical Engineering, 123, 2, 161-172.
- Vrettos, C., Beskos, D. E. ve Triantafyllidis, T., 2016. Seismic Pressures on Rigid Cantilever Walls Retaining Elastic Continuously Non-Homogeneous Soil: An Exact Solution, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 82, 142-153.
- Vojoudi, M., 2003. Retaining Wall Collapse in Earthquake, Earthquake Effect on Retaining Walls, IIEES, http://www.vojoudi.com/earthquake/article/docs/earthquake_1_presentation.pdf, March.
- Wilson, P. ve Elgamal, A., 2015. Shake Table Lateral Earth Pressure Testing with Dense c- ϕ Backfill, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 71, 13-26.
- Wolf, J.P., 1988. Soil-Structure Interaction Analysis in Time Domain, Englewoods Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 446 s.
- Wolf, J.P. ve Song, C., 1996a. Finite Element Modelling of Unbounded Media, Chichester: John Wiley & Sons, 331 s.
- Wolf, J.P. ve Song, C., 1996b. Finite Element Modelling of Unbounded Media, 11th World Conference on Earthquake Engineering, paper no:70, 1-8.
- Xu, S.Y., Shamsabadi, A. ve Taciroglu, E., 2015. Evaluation of Active and Passive Seismic Earth Pressures Considering Internal Friction and Cohesion, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 70, 30-47.
- Youssef, A., 1998. Seismic Response of Inelastic Structures on Compliant Foundations, PhD Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, Northeastern University Boston, Massachusetts.
- Younan, A.H. ve Veletsos, A.S., 2000. Dynamic Response of Flexible Retaining Walls, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 29, 1815-1844.

ÖZGEÇMİŞ

Kaşif Furkan ÖZTÜRK, 1991 yılında Gümüşhane' de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Sinop Fatih İlköğretim okulunda tamamladı. 2009 yılında Sinop Anadolu Öğretmen Lisesinden mezun oldu ve aynı yıl girdiği ÖSS sınavı ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü' nde okumaya hak kazandı. 2013 yılında İnşaat Mühendisliği Bölümü' nden mezun olduktan sonra saha mühendisi olarak çalışmaya başlayan Öztürk, aynı yılın güz döneminde Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği tezsiz yüksek lisans programına başladı. 2015 yılında 4.00 ortalamaıyla yüksek lisans programını birincilikle bitiren Öztürk, girmeye hak kazandığı B sınıfı İş Güvenliği Uzmanlığı Sınavı'nda Türkiye 5.' si olarak uzman olmaya hak kazandı. 2015 yılı Güz Dönemi' nde Eskişehir Osmangazi Üniversitesi' nde Geoteknik Anabilim Dalı' nda tezli yüksek lisansa başlayan Öztürk, 2016 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atanmıştır. Öztürk aynı yıl yüksek lisans öğrencilik kaydını Gümüşhane üniversitesine almıştır. Öztürk evli ve iyi derecede ingilizce bilmektedir.