



**İSTİNAT DUVARLARININ
FARKLI DEPREM TASARIM
KOŞULLARI İÇİN DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Tolga AKKUŞ

ESKİŞEHİR, 2024

**İSTİNAT DUVARLARININ FARKLI DEPREM TASARIM
KOŞULLARI İÇİN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Tolga AKKUŞ

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Eren BALABAN

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Temmuz 2024

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Tolga AKKUŞ'un 'İstinat Duvarlarının Farklı Deprem Tasarım Koşulları İçin Davranışlarının İncelenmesi' başlıklı tezi 01/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Üye (Tez Danışmanı)

Üye

Üye

Unvanı Adı Soyadı

Dr. Öğr. Üyesi Eren BALABAN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet İnanç ONUR

Dr. Öğr. Üyesi Burak GÖRGÜN

İmza

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Tolga AKKUş, İSTİNAT DUVARLARININ FARKLI DEPREM TASARIM KOşULLARI İÇİN DAVRANIşLARININ İNCELENMESİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun grlmştr.



ÖZET

İSTİNAT DUVARLARININ FARKLI DEPREM TASARIM KOŞULLARI İÇİN DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Tolga AKKUŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Haziran 2024

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Eren Balaban

İstinat duvarları; yapılan bir kazının, mevcut bir şevin veya yapılacak bir dolgu alanının desteklenmesinde, zeminin tutulmasında ya da farklı kotlarda yapıların yapılması gerektiğinde kullanılan mühendislik yapılarıdır. İstinat yapılarının tasarımında stabilite ve yapısal dayanım ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak ülkemiz bilindiği üzere birçok fay hattının geçtiği bir bölgede bulunmaktadır. Bu fay hatlarının hareketliliği, Türkiye’yi yüksek deprem riskli bölge riskine sokmaktadır. Bu nedenle ülkemizde yapılan yapılarda statik etkiler dışında dinamik etkilerinde büyük etkisi bulunmaktadır. Bu nedenden dolayı ülkemizde gerçekleştirilen istinat duvarı tasarımlarında dinamik etkilerinde göz önünde bulunarak tasarımının tamamlanması gerekmektedir.

Bu çalışma da ülkemizde oluşan deprem riski nedeniyle farklı deprem koşullarında istinat duvarlarının davranışının incelenmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma için 4 farklı depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Deprem kayıtlarının seçiminde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018’de tanımlanan yer hareketi düzeyleri dikkate alınmıştır. Bu depremler; 23 Ekim 2011 Van depremi (7.0), 20 Şubat 2023 Hatay depremi (6.4), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi (7.6) ve 13 Mart 1992 Erzincan (6.6) depremleridir. Bu depremler Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) üzerinden alınan değerler ile TBDY 2018’de tarif edilen ampirik yöntem yardımıyla istinat duvarlarına uygulanmış ve davranışları incelenmiştir. Ayrıca ampirik yöntem yardımıyla incelenen modellemeler Plaxis 2D programı üzerinde modellenmiş ve analizi yapılmıştır. Toplam 8 farklı modelin hesapları yapılarak davranışları incelenmiştir ve ampirik yöntem ile Plaxis 2D sonuçları karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İstinat Duvarı, TBDY 2018, Deprem etkileri, Plaxis 2D

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE BEHAVIOR OF RETAINING WALLS FOR DIFFERENT EARTHQUAKE DESIGN CONDITIONS

Tolga AKKUŞ

Department of Civil Engineering

Programme of Geotechnical

Eskisehir Technical University, Institute of Graduate Programs, June 2024

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Eren BALABAN

Retaining walls are engineering structures used to support an excavation, an existing slope or a filling area to be built, to hold the ground or when structures need to be built at different elevations. Stability and structural strength needs should be taken into consideration in the design of retaining structures. However, as is known, our country is located in a region where many fault lines pass. The mobility of these fault lines puts Turkey at high earthquake risk. For this reason, in addition to static effects, dynamic effects have a great effect on the structures built in our country. For this reason, in retaining wall designs carried out in our country, the design should be completed by considering dynamic effects.

This study was conducted to investigate the behavior of retaining walls under different earthquake conditions due to the earthquake risk in our country. The acceleration and spectral acceleration values of 4 different earthquakes were used for the study. In the selection of earthquake records, the ground motion levels defined in the Turkish Building Earthquake Code (TBDY) 2018 were taken into account. These earthquakes are; 23 October 2011 Van earthquake (7.0), 20 February 2023 Hatay earthquake (6.4), 6 February 2023 Kahramanmaraş earthquake (7.6) and 13 March 1992 Erzincan (6.6). These earthquakes were applied to the retaining walls with the empirical method described in TBDY 2018 with the values obtained from the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD) and their behaviors were examined. In addition, the models examined with the empirical method were modeled and analyzed on the Plaxis 2D program. A total of 8 different models were calculated and their behaviors were examined, and the empirical method and Plaxis 2D results were compared.

Key Words: *Retaining Wall, TBDY 2018, Earthquake effects, Plaxis 2D*

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tezi çalışmam sırasında çalışmamın her aşamasında bilgi ve hoşgörü ile yardımını esirgemeyen ve beni mutlak sonuca ulaştıran danışmanlığımı yürüten Dr. Öğr. Üyesi Eren BALABAN’a teşekkür ederim. En önemlisi, her zaman maddi ve manevi olarak yanımda olan aileme de teşekkür ederim.



01/08/2024

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Tolga AKKUŞ

İÇİNDEKİLER

BAŞLIK SAYFASI.....	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
TABLolar DİZİNİ.....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür taraması	2
2. İSTİNAT DUVARLARI	7
2.1 İstinat Duvarı Tipleri.....	7
2.1.1 Ağırlık istinat duvarları.....	8
2.1.2 Yarı ağırlık istinat duvarları	8
2.1.3 Konsol istinat duvarları	9
2.1.4 Payandalı istinat duvarları	9
2.1.5 Hafifletme konsollu istinat duvarları.....	10
2.1.6 Ankrajlı istinat duvarları.....	11
2.1.7 Zemine ankastre istinat duvarları	11
2.1.8 Kademeli istinat duvarları.....	12
2.1.9 Prefabrik istinat duvarları	12
2.2 İstinat Duvarı Tasarımı.....	13
3. İSTİNAT DUVARLARINA ETKİYEN YANAL ZEMİN BASINÇLARI VE STABİLİTE KONTROLLERİ	14
3.1 Coulomb Teorisi	15
3.2 Rankine Teorisi.....	17
3.3 İstinat Duvarlarında Stabilitate Kontrolleri.....	19
3.3.1 Devrilme tahkiki	19

3.3.2 Kayma tahkiki	20
3.3.3 Taban basıncı tahkiki	21
3.3.4 Toptan göçme tahkiki	22
3.3.5 Oturma tahkiki	23
4. TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE 2018'E GÖRE DEPREM ETKİSİ ALTINDA İSTİNAT DUVARI TASARIMI	24
4.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine 2018'e Göre Yanal Toprak Basınçlarının Hesabı	24
4.2 Devrilmeye Karşı Stabilitate Kontrolü	26
4.3 Kaymaya Karşı Stabilitate Kontrolü.....	27
4.4 Temel Taşıma Gücü Açısından Stabilitate Kontrolü.....	28
5. KULLANILAN DEPREM VERİLERİ	29
5.1 Deprem Tepki Spektrumları	29
5.1.1 Van depremi	29
5.1.2 Hatay depremi.....	30
5.1.3 Elbistan depremi	30
5.1.4 Erzincan depremi	31
6. TBDY 2018'E GÖRE İSTİNAT DUVARLARININ YANAL TOPRAK BASINCI VE STABİLİTE TAHKİKİ ANALİZLERİ.....	32
6.1 Model-1	33
6.1.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	35
6.1.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	35
6.1.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	36
6.2 Model-2	36
6.2.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	38
6.2.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	39
6.2.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	39
6.3 Model-3	40
6.3.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	42
6.3.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	42
6.3.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	43
6.4 Model-4	43
6.4.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	45
6.4.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	45

6.4.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	46
6.5 Model-5	46
6.5.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	48
6.5.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	48
6.5.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	49
6.6 Model-6	49
6.6.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	51
6.6.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	52
6.6.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	52
6.7 Model-7	53
6.7.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	54
6.7.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	55
6.7.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	55
6.8 Model-8	56
6.8.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması.....	58
6.8.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması	58
6.8.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması	59
7. İSTİNAT DUVARLARININ PLAXIS PROGRAMINDA MODELLENMESİ VE ANALİZİ	60
7.1 Model-1	60
7.2 Model-2	65
7.3 Model-3	70
7.4 Model-4	75
7.5 Model-5	80
7.6 Model-6	85
7.7 Model-7	90
7.8 Model-8	95
8. BULGULAR	100
9. SONUÇLAR	119
KAYNAKÇA	122
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. İstinat (Dayanma) Yapı Tipleri	8
Tablo 4.1. Kısa periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları	25
Tablo 4.2. Dayanma yapıların için r katsayıları	25
Tablo 4.3. Yüzeysel Temeller ile Zemin Arasındaki Sürtünme Katsayısı	27
Tablo 4.4. Yüzeysel Temeller İçin Dayanım Katsayıları	28
Tablo 6.1. İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)	32
Tablo 6.2. Modeller İçin Gerekli Özet Bilgiler	33
Tablo 7.1. Model-1 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	60
Tablo 7.2. Model-2 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	66
Tablo 7.3. Model-3 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	71
Tablo 7.4. Model-4 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	76
Tablo 7.5. Model-5 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	81
Tablo 7.6. Model-6 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	86
Tablo 7.7. Model-7 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	91
Tablo 7.8. Model-8 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları	96
Tablo 8.1. Ampirik yöntem hesap sonuçları	100

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası	1
Şekil 2.1. İstinat duvarlarının çeşitli kullanılma amaçlarına örnekler	6
Şekil 2.2. Ağırlık İstinat Duvarı	8
Şekil 2.3. Yarı Ağırlık İstinat Duvarı	9
Şekil 2.4. Betonarme Konsol İstinat Duvarı	9
Şekil 2.5. Payandalı İstinat Duvarı	10
Şekil 2.6. Hafifletme Konsollu İstinat Duvarı	10
Şekil 2.7. Ankrajlı İstinat Duvarı	11
Şekil 2.8. Zemine Ankastre İstinat Duvarı	11
Şekil 2.9. Kademeli İstinat Duvarı	12
Şekil 2.10. Prefabrike İstinat Duvarı	12
Şekil 2.11. Konsol İstinat Duvarlarında Ön Boyutlandırma	13
Şekil 3.1. Sükunet durumu	14
Şekil 3.2. Aktif durum için Coulomb teorisi ve oluşan kuvvet poligonu	15
Şekil 3.3. Pasif durum için Coulomb teorisi ve oluşan kuvvet poligonu	17
Şekil 3.4. Devrilme momentit uygulanmış istinat duvarı (Kanit, 2003)	20
Şekil 3.5. Kayma momenti uygulanmış istinat duvarı (Brooks,2010)	21
Şekil 3.6. Duvar tabanındaki gerilmelerin dağılımı (Brooks,2010)	22
Şekil 3.7. İstinat duvarında toptan göçme kontrolü	22
Şekil 4.1. Konsol İstinat Duvarına Etkiyen Yükler (İnş. Müh. Gürcan BERBEROĞLU TBDY 2018 istinat duvarı hesabı)	24
Şekil 5.1. AFAD verilerine bağlı olarak oluşan tasarım spektrumu	29
Şekil 5.2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası tasarım spektrumu (DD-2)	29
Şekil 5.3. AFAD verilerine bağlı olarak oluşan tasarım spektrumu	30
Şekil 5.4. Türkiye deprem tehlike haritası tasarım spektrumu (DD-1)	30
Şekil 5.5. AFAD verilerine bağlı olarak oluşan tasarım spektrumu	30
Şekil 5.6. Türkiye deprem tehlike haritası tasarım spektrumu (DD-1)	30
Şekil 5.7. AFAD verilerine bağlı olarak oluşan tasarım spektrumu	31
Şekil 5.8. Türkiye deprem tehlike haritası tasarım spektrumu (DD-2)	31
Şekil 6.1. Model-1 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)	33
Şekil 6.2. Model-2 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)	37

Şekil 6.3. Model-3 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.).....	40
Şekil 6.4. Model-4 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.).....	43
Şekil 6.5. Model-5 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.).....	46
Şekil 6.6. Model-6 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.).....	50
Şekil 6.7. Model-7 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.).....	53
Şekil 6.8. Model-8 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.).....	56
Şekil 7.1. Model-1 için Plaxis 2D modellemesi.....	61
Şekil 7.2. Model-1 için zemin parametreleri.....	61
Şekil 7.3. Model-1 için zemin parametreleri.....	62
Şekil 7.4. Model-1 için İstinat duvarı parametreleri.....	62
Şekil 7.5. Model-1 için İstinat duvarı parametreleri.....	62
Şekil 7.6. Model-1 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	63
Şekil 7.7. Model-1 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	63
Şekil 7.8. Model-1 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	64
Şekil 7.9. Model-1 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği.....	61
Şekil 7.10. Model-2 için Plaxis 2D modellemesi.....	66
Şekil 7.11. Model-2 için zemin parametreleri.....	66
Şekil 7.12. Model-2 için zemin parametreleri.....	67
Şekil 7.13. Model-2 için İstinat duvarı parametreleri.....	67
Şekil 7.14. Model-2 için İstinat duvarı parametreleri.....	67
Şekil 7.15. Model-2 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	68
Şekil 7.16. Model-2 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	68
Şekil 7.17. Model-2 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	69
Şekil 7.18. Model-2 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği.....	66
Şekil 7.19. Model-3 için Plaxis 2D modellemesi.....	71
Şekil 7.20. Model-3 için zemin parametreleri.....	71
Şekil 7.21. Model-3 için zemin parametreleri.....	72
Şekil 7.22. Model-3 için İstinat duvarı parametreleri.....	72
Şekil 7.23. Model-3 için İstinat duvarı parametreleri.....	72
Şekil 7.24. Model-3 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	73
Şekil 7.25. Model-3 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	73

Şekil 7.26. Model-3 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	74
Şekil 7.27. Model-3 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği	71
Şekil 7.28. Model-4 için Plaxis 2D modellemesi.....	76
Şekil 7.29. Model-4 için zemin parametreleri.....	76
Şekil 7.30. Model-4 için zemin parametreleri.....	77
Şekil 7.31. Model-4 için İstinat duvarı parametreleri.....	77
Şekil 7.32. Model-4 için İstinat duvarı parametreleri.....	77
Şekil 7.33. Model-4 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	78
Şekil 7.34. Model-4 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	78
Şekil 7.35. Model-4 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	79
Şekil 7.36. Model-4 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği	76
Şekil 7.37. Model-5 için Plaxis 2D modellemesi.....	81
Şekil 7.38. Model-5 için zemin parametreleri.....	81
Şekil 7.39. Model-5 için zemin parametreleri.....	82
Şekil 7.40. Model-5 için İstinat duvarı parametreleri.....	82
Şekil 7.41. Model-5 için İstinat duvarı parametreleri.....	82
Şekil 7.42. Model-5 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	83
Şekil 7.43. Model-5 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	83
Şekil 7.44. Model-5 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	84
Şekil 7.45. Model-5 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği	81
Şekil 7.46. Model-6 için Plaxis 2D modellemesi.....	86
Şekil 7.47. Model-6 için zemin parametreleri.....	86
Şekil 7.48. Model-6 için zemin parametreleri.....	87
Şekil 7.49. Model-6 için İstinat duvarı parametreleri.....	87
Şekil 7.50. Model-6 için İstinat duvarı parametreleri.....	87
Şekil 7.51. Model-6 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	88
Şekil 7.52. Model-6 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	88
Şekil 7.53. Model-6 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	89
Şekil 7.54. Model-6 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği	86

Şekil 7.55. Model-7 için Plaxis 2D modellemesi.....	91
Şekil 7.56. Model-7 için zemin parametreleri.....	91
Şekil 7.57. Model-7 için zemin parametreleri.....	92
Şekil 7.58. Model-7 için İstinat duvarı parametreleri.....	92
Şekil 7.59. Model-7 için İstinat duvarı parametreleri.....	92
Şekil 7.60. Model-7 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	93
Şekil 7.61. Model-7 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	93
Şekil 7.62. Model-7 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	94
Şekil 7.63. Model-7 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği	91
Şekil 7.64. Model-8 için Plaxis 2D modellemesi.....	96
Şekil 7.65. Model-8 için zemin parametreleri.....	96
Şekil 7.66. Model-8 için zemin parametreleri.....	97
Şekil 7.67. Model-8 için İstinat duvarı parametreleri.....	97
Şekil 7.68. Model-8 için İstinat duvarı parametreleri.....	97
Şekil 7.69. Model-8 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	98
Şekil 7.70. Model-8 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	98
Şekil 7.71. Model-8 için Plaxis 2D analiz ayarları.....	99
Şekil 7.72. Model-8 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği	96
Şekil 8.1. Model-1 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	101
Şekil 8.2. Model-1 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	101
Şekil 8.3. Model-1 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için).....	98
Şekil 8.4. Model-1 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)	99
Şekil 8.5. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	102
Şekil 8.6. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	102
Şekil 8.7. Model-2 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	103
Şekil 8.8. Model-2 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	103
Şekil 8.9. Model-2 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için).....	100
Şekil 8.10. Model-2 için zaman ve principal effective stresses grafiği	

(köşe noktası için)	101
Şekil 8.11. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği.....	104
Şekil 8.12. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	104
Şekil 8.13. Model-3 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	105
Şekil 8.14. Model-3 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	105
Şekil 8.15. Model-3 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için).....	103
Şekil 8.16. Model-3 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)	103
Şekil 8.17. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	107
Şekil 8.18. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	107
Şekil 8.19. Model-4 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	107
Şekil 8.20. Model-4 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	108
Şekil 8.21. Model-4 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için).....	108
Şekil 8.22. Model-4 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)	105
Şekil 8.23. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	109
Şekil 8.24. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	109
Şekil 8.25. Model-5 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	110
Şekil 8.26. Model-5 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	110
Şekil 8.27. Model-5 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)	107
Şekil 8.28. Model-5 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)	108
Şekil 8.29. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	111
Şekil 8.30. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	111
Şekil 8.31. Model-6 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	112
Şekil 8.32. Model-6 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	112
Şekil 8.33. Model-6 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için).....	109
Şekil 8.34. Model-6 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)	110

Şekil 8.35. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	113
Şekil 8.36. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	113
Şekil 8.37. Model-7 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	114
Şekil 8.38. Model-7 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	114
Şekil 8.39. Model-7 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için).....	112
Şekil 8.40. Model-7 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)	112
Şekil 8.41. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	116
Şekil 8.42. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	116
Şekil 8.43. Model-8 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu	116
Şekil 8.44. Model-8 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu	117
Şekil 8.45. Model-8 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)	114
Şekil 8.46. Model-8 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)	114
Şekil 8.47. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	118
Şekil 8.48. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği	118

1. GİRİŞ

Bilindiği üzere Türkiye birçok fay hattının geçtiği bir bölgede bulunmaktadır(Şekil 1.1). Bu fay hatlarının hareketliliği, Türkiye’yi yüksek deprem riskli bölge statüsüne sokmaktadır. Yüksek deprem riskine sahip olan Türkiye’de yapı tasarım ve uygulamalarının büyük bir titizlik ile yapılması gerekmektedir. Deprem anında can kaybı yaşanmasını engelleyecek yapıların yapılmasında uygulama kadar tasarımda çok büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle, tasarım yapılırken dinamik etkilerde göz önünde bulundurulmaktadır. Geoteknik yapıların tasarımlarında da yukarıda bahsedilen yaklaşımın uygulanması oldukça önemlidir. Geoteknik yapılar içerisinde en çok kullanılan türlerden birisi de istinat duvarlarıdır. İstinat duvarları, arkasında kalan zemin kütlelerini tutmak amacıyla yapılan dayanma yapılarıdır. İstinat duvarlarının, arkasında kalan zemin hacmini güvenli bir şekilde tutacak, kayma ve devrilmeye karşı güvenli, yapıdaki ve zemindeki gerilmeleri sınırlayacak ve tüm göçme modları için gerekli güvenlik şartlarını sağlayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir.



Şekil 1.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası

İstinat duvarının tiplerinden biri olan Betonarme konsol istinat duvarları en yaygın inşa edilen istinat yapılarıdır. Deprem etkisi altında, istinat duvarına etkiyen dinamik kuvvetlerden dolayı tasarım daha komplike hale gelmektedir.

TBDY 2018’de dört farklı deprem düzeyi tanımlanmıştır. Tanımlanan bu deprem düzeylerine bağlı olarak istinat duvarlarının dinamik tasarım parametreleri değişmektedir. Bu çalışmada, farklı deprem büyüklükleri ile birlikte farklı deprem düzeyleri gözetilerek istinat duvar tasarımı TBDY 2018’e ve Plaxis programına göre yapılarak; deprem büyüklük ile deprem düzeyi arasındaki ilişki ortaya konmuştur ve istinat duvarı tasarımına olan etkileri incelenmiştir. Oluşturulan 8 model istinat duvarı

modeli ile TBDY 2018 yönetmeliğine göre dinamik durumlarda istinat duvarlarına etkiyen aktif kuvvet, zeminde oluşan gerilmeler incelenerek yerel zemin sınıfının etkisi ile deprem düzeylerinin tasarımıdaki etkileri ortaya konulmuştur. Ardından aynı modellemeler Plaxis programı üzerinde modellenmiş ve analizi yapılmış, TBDY 2018’ de tarif edilen ampirik yöntem ile karşılaştırılması yapılmıştır.

1.1. Literatür taraması

Literatürde, dinamik zemin etkilerini göz önüne alarak tasarlanan istinat duvarlarına etkileyen faktörleri inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır.

Temür ve Bekdaş, [1] yapılan çalışmada betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımı incelenmiştir. Yapısal sistemlerin güvenlik kısıtlamalarını sağlarken ekonomik tasarımının da bulunması amaçlanmaktadır. Betonarme istinat duvarları optimum tasarımı için yapılan çalışmalar, en uygun duvar şekli, duvar stabilitesi, duvar eğilme momentinin minimize edilmesi, optimum yerleşim konu başlıkları altında toplanabilir. Bu çalışmada da statik ve dinamik yükler altında betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımının elde edilmesi amacıyla bir yöntem önerilmiştir. Optimizasyon işleminde “ Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon algoritması” (ÖÖTO) kullanılmıştır. Çalışmanın sonucuna gelecek olursak ÖÖTO algoritmasının diğer kıyaslanan algoritmalara göre daha güvenilir sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Çalışmanın diğer kısmındaki sonuçlara göre ise en düşük maliyetli betonarme konsol istinat duvarı tasarımı, gövde kalınlığının değişken olması ve ön ampatmanla ilgili kısıtlama bulunmaması durumunda elde edilmiştir.

Sharma ve Baradiya, [2] yapılan çalışmada zemin özelliklerinin değişmesi ile birlikte yanal zemin basıncının konsol istinat duvarı üzerindeki etkileri anlatılmıştır. İstinat duvarı, temel amacı yanal hareketi önlemek, dolguyu veya suyu tutmak amacı ile tasarlanan ve düşey yükleri destekleme görevi görebilen destek yapılarıdır. İstinat duvarlarında en önemli etki yanal toprak basıncı nedeniyle oluşmaktadır. Yanal toprak basıncı istinat duvarını devirme, kayma gibi etkilere maruz bırakmaktadır. Bu çalışma da istinat duvarının topuk, uç kısmının uzunlukları ve dolgu malzemesinin yoğunluğu değiştirilerek moment sonuçlarına bakılmıştır. Dolgu malzemesinin yoğunluğu arttıkça uç ve topuk kısımda da moment değerinin net bir şekilde arttığı görülmüştür.

Zamiran ve Osouli, [3] yapılan çalışmada dinamik zemin basınçlarını değerlendirmek için Mononobe Okabe yöntemi ile sayısal yöntem arasında kapsamlı bir

karşılaştırma yapılmıştır. Mononobe-Okabe (MO) yöntemi, depremler sırasında istinat duvarları üzerindeki zemin basıncını değerlendirmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem limit denge yöntemine dayanmakta ve Coulomb'un zemin basıncı teorisinin bir açılımı olarak görülmektedir. Mevcut çalışmada, sismik koşullar sırasında oluşan zemin basıncı oluşumunu değerlendirmek için düşük sürtünme açılı dolgu malzemesine sahip bir konsol istinat duvarı modellenmiştir. Dinamik yüklemeyi indüklemek için Loma Prieta (1989), Kobe (1995) ve Chi-Chi (1999) olmak üzere üç farklı deprem yer hareketi ivmesi kullanılmıştır. Bu çalışma da, üç farklı deprem sırasında üretilen yanal toprak basınç katsayısı, 6 m'lik konsol istinat duvarı için Mononobe Okabe yöntemiyle önerilen değerlerle karşılaştırılması yapılmıştır. Depremler sırasında MO yöntemi ile yanal toprak basınç katsayısının %70 oranında doğru tahmin edildiğini sonuç olarak görülmüştür.

Chakraborty ve Choudhury, [4] yapılan çalışmanın amacı eğimli dolguyu destekleyen, deprem ve tsunaminin birleşik etkisine maruz kalan dikey olmayan su kenarı istinat duvarlarının stabilitesini incelemek ve bununla ilgili bir metod sunmaktır. Çalışma da deprem ve tsunami kuvvetlerinin birleşik olarak etkisinde kalan eğimli dolguyu destekleyen ve dikey olmayan istinat duvarının stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Hidrostatik ve hidrodinamik etkilere maruz kalan istinat duvarının kayma stabilitesinin incelenmesi için pseudo statik yöntem ve limit denge yöntemleri kullanılmıştır. İki farklı yöntemle de çalışma yapılarak kayma güvenlik faktörü belirlenmiş ve bir karşılaştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucu olarak, deprem kuvvetlerinin ve tsunami dalga basınçlarının birleşik etkisi altında, duvarın stabilitesinin sadece deprem kuvvetlerinin uygulanmasına göre büyük ölçüde azaldığı görülmüştür. Ayrıca sismik ivme, periyot, zemin ve duvar sürtünme açıları, duvar zemin eğimi, boşluk basıncı oranı, tsunami dalga büyüklüğü gibi parametrelerin istinat duvarının kayma faktöründe önemli etkisi olduğu görülmüştür.

Hafez İsmail İbrahim, [5] yapılan çalışma ağırlık istinat duvarlarının sismik yer değiştirmesini incelemek amacı ile yapılmıştır. Bu yapılan çalışmada istinat duvarına sismik yükü modellemek için Plaxis programı kullanılmış ve buna bağlı sayısal analiz gerçekleştirilmiştir. Dolgu zemini olarak yoğun taneli kum seçilmiştir ve modelleme yapılırken Mohr-Coulomb kriterlerine göre elasto-plastik malzeme kullanılmıştır. Çalışma için Pseudo-statik analiz çeşidi kullanılarak hesaplar yapılmıştır. Sismik modellemeyi tamamlamak için 6 farklı deprem verisi alınmış ve kullanılmıştır. Plaxis

üzerinden yapılan sismik yer değiştirmeler, pseudo-statik yöntemle yapılan hesaplarla neredeyse eşit gelmiştir. Yapılan çalışmanın sonucu olarak, Sismik duvar dönmesi, kademeli olarak artar ve deprem sonunda maksimuma ulaşır, Eğimli yüzeye sahip ağırlık istinat duvarları, daha fazla toplam kayma ve yer değiştirmeye maruz kalır sonuçları görölmüştür.

Dalyan, Selahaddin Akın, Arama, [6] yapılan çalışmada istinat duvarının dinamik tasarımında zemin birim hacim ağırlığının, kayma mukavemeti açısının, kazı derinliğinin ve sürşarj yükünün istinat duvarının boyutlarına etkisi incelenmiştir. İstinat duvarları, arkasında kalan zemin kütlesini tutmak amacıyla yapılan dayanma yapılarıdır. Bu yapılar zemin kütlesini güvenli şekilde tutmak, kayma ve devrilmeye karşı güvenliği sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. İstinat yapıları tasarlanırken statik zemin etkileri ile birlikte dinamik etkilerde göz önüne alınmalı ve buna göre tasarım yapılmalıdır. Bu alışma da istinat duvarlarının dinamik etki ile tasarımında Türk Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY2018) uygulamaları esasları kullanılmış ve istinat duvarının tasarımında zemin özelliklerinin etkileri, dolgu birim hacim ağırlığı ve kayma mukavemeti açısı değiştirilerek inceleme yapılmıştır. Çalışma da ekstra olarak kazı derinliği, sürşarj yükünün etkileri de araştırılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak, İstinat duvarının depreme dayanıklı tasarımında, en önemli etkenin kazı derinliği olduğu görölmüştür. Dolgu zeminin kayma mukavemeti açısı arttıkça, yanal toprak basıncının azaldığı görölmüştür. Dolgu zemini birim hacim ağırlığının artması, duvar kesitine etkileyen zemin gerilmesinin artışına sebep olmuştur. Sürşarj yükünün artması, kurgulanan modellerde temel taban genişliğinin artışına sebep olmuştur.

akır, [7] yapılan çalışma dolgu zemin özelliklerinin değişiminin, dolgu ve zemin altı etkileşimlere maruz kalan istinat duvarlarının dinamik davranışını incelemek için yapılmıştır. İstinat yapıları görünüşte basit yapılar olarak görölse de dinamik etkiler ile birlikte tasarımı komplike yapılardır. Literatür araştırmaları, istinat duvarlarının sismik davranışına ilişkin birçok çalışma yapıldığını göstermektedir. Bununla birlikte, çok sayıda yapılan araştırmaya rağmen zemin yapı etkileşimi üzerine sınırlı çalışma bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada dolgu malzemesinin özellik değişiminin konsol istinat duvarının dinamik davranışına etkisi incelenmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS üzerinden 3 boyutlu modelleme yapılmıştır.

Salem vd. , [8] yapılan çalışmada sonlu eleman sayısal yaklaşım metotları kullanılarak konsol istinat duvarının sismik davranışı gösterilmiştir. Sekiz farklı deprem yer hareketi PLAXIS sonlu eleman analizi ve SHAKE2000 yazılımı kullanılarak konsol istinat duvarına etki ettirilmiş ve elde edilen moment, yanal yer değiştirme, yanal toprak basıncı katsayısı değerlerinin kullanılan model ve programlara göre karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın sonucu olarak zemin basıncı katsayısı ve devrilme momentinin, depremin moment büyüklüğü ile doğru orantılı, depremin kaynak noktasına mesafesi ile ters orantılı olduğu ve sismik yüklerin kaya zeminlerde arttığı, normal zeminlerde azaldığı sonucuna varılmıştır. PLAXIS programı içerisinde kullanılan farklı gerilme – şekil değiştirme modellerinin de birbirleriyle karşılaştırılması sonucu elde edilen sonuçlar çalışmada sunulmuştur.

Scotto di Santolo vd. [9] tarafından, düz ve eğimli yüzeylere sahip dolgu tabakalarını destekleyen iki farklı konsol istinat duvarının pseudo-statik analiz metoduyla sismik tepkilerinin analiz edilmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada FLAC geoteknik yazılımı kullanılmıştır ve İtalyan Bina Yönetmeliği (The New Italian Building Code) esas alınmıştır. Duvar arka yüzeyi eğim değeri arttıkça yatay yer değiştirme miktarının arttığı görülmüştür. Yazarlar tarafından geliştirilen yeni pseudo-statik yöntem ile elde edilen sonuçlar FLAC yazılımı ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırıldığında, FLAC programında bulunan kuvvetler büyük değerlere sahip olduğu için güvenlik sayısının daha küçük çıkmasına sebep olmuşlardır. Bu da İtalyan Bina Yönetmeliğinin her zaman güvenli tarafta kalmadığını çünkü varsaydıkları sismik parametrelerin çok düşük olduğunu göstermektedir.

Rajesh vd. [10] tarafından, su altındaki bir dolguyu destekleyecek şekilde tasarlanan ağırlık tipi istinat duvarının deprem etkisi altında kayma yer değiştirmeleri incelenmiştir. Çalışmada kayma yerdeğiştirmelerinin değerlendirilmesinde Newmark kayan blok yöntemi ve limit denge analiz yöntemi kullanılmıştır. Kaymanın başlaması için gerekli olan eşik sismik ivme katsayısının, içsel sürtünme açısına, duvar geometrisine (duvarın üst genişliği, duvar yüksekliği, duvar eğimi açısı) ve aşırı boşluk suyu basıncı oranına duyarlı olduğu bulunmuştur. İçsel sürtünme açısı değeri arttıkça kayma 6 yerdeğiştirmesinin azalması, duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı değeri arttıkça kayma yerdeğiştirmesinin azalması, duvar üst genişliği arttıkça kayma yerdeğiştirmesinin azalması, düşey ivme katsayısı azaldıkça kayma yerdeğiştirmesinin azalması, duvar arka

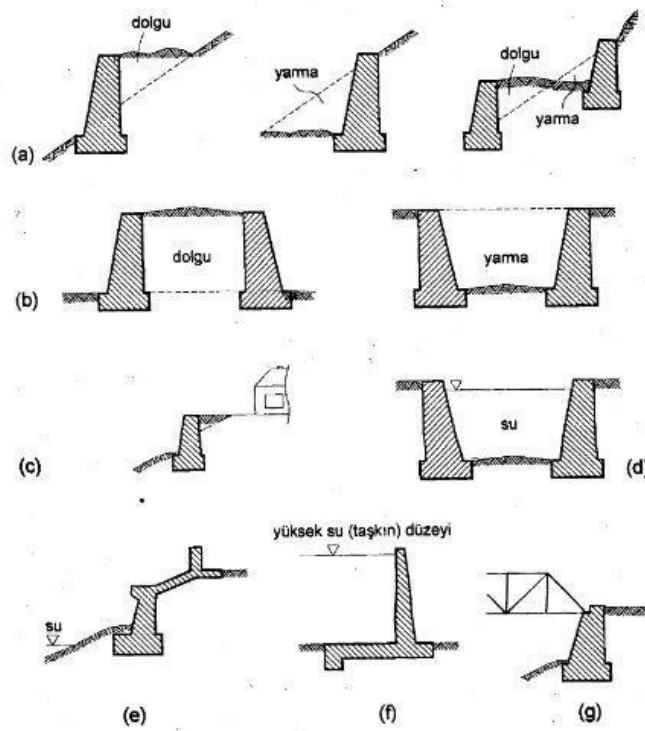
yüzeyinin eğimi arttıkça kayma yerdeğıştirmesinin azalması ve aşırı boşluk suyu basıncı oranı azaldıkça kayma yerdeğıştirmesi değerinin azalması bulunan sonuçlar arasındadır. Ayrıca duvar önündeki su yüksekliğı azaldıkça da kayma yerdeğıştirmesinin değeri artmaktadır.



2. İSTİNAT DUVARLARI

İstinat duvarları, yapılan bir kazının, mevcut bir şevin veya yapılacak bir dolgu çalışmasının desteklenmesinde, zeminin tutulmasında ya da farklı kotta yapıların yapılması durumunda kullanılan geoteknik yapılardır.

İstinat duvarları, derin kazıların yanal kısımlarını tutmak, köprü kenar ayaklarında, bodrum kat perdelerinde, heyelan önleme alanlarında, rıhtım duvarlarında, ulaşım sistemlerinin yarma ve dolgu şevlerinde, maden malzemelerinin tutulması gibi farklı alanlarda kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. İstinat duvarlarının çeşitli kullanılma amaçlarına örnekler

- (a) Yamaç yolları
- (b) Büyük dolgu ve yarma gerektiren yollar
- (c) Zemin tutma
- (d) Kanal ve eklüzler
- (e) Kıyıların erozyondan korunması
- (f) Taşkın duvarları
- (g) Köprü kenar ayakları [11]

2.1 İstinat Duvarı Tipleri

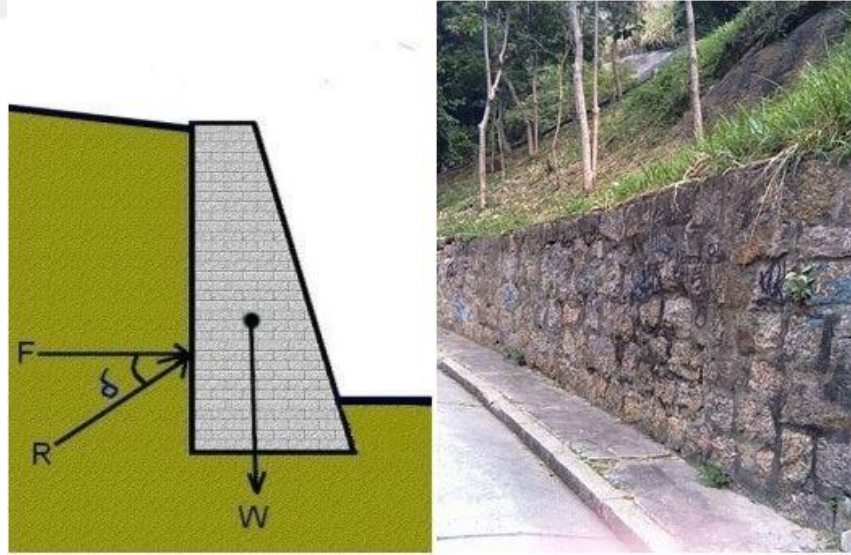
İstinat (dayanma) yapıları tipleri aşağıda tabloda gösterildiği gibi sınıflara ayrılabilirler.

Tablo 2.1 İstinat (Dayanma) Yapı Tipleri

*Ağırlık İstinat Duvarları
*Yarı Ağırlık İstinat Duvarları
*Konsol İstinat Duvarları
*Payandalı İstinat Duvarları
*Hafifletme Konsollu İstinat Duvarları
*Ankrajlı İstinat Duvarları
*Zemine Ankastre İstinat Duvarları
*Kademeli İstinat Duvarları
*Prefabrike İstinat Duvarları

2.1.1 Ağırlık istinat duvarları

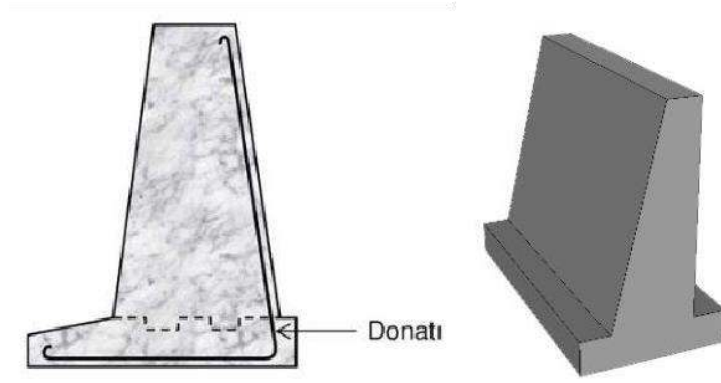
Yanal etkileri engellemek için kendi ağırlıklarını kullanan istinat duvarı tipleridir. Genellikle taş ya da donatısız betondan yapılırlar. En kesit boyutlarında farklılıklar olabilir. 3-4 m yüksekliğe kadar yapılabilecek olan Ağırlık İstinat duvarları ekonomik dayanma yapılarıdır. Ancak daha yüksek yapılar için yanal etkiler büyüyeceği için tercih edilmemektedir. Donatısız yapıldıklarından dolayı bu tip istinat duvarlarında çekme dayanımı oluşmaz.



Şekil 2.2. Ağırlık İstinat Duvarı [12]

2.1.2 Yarı ağırlık istinat duvarları

Yüksekliği fazla olan ağırlık istinat duvarlarında, çekme gerilmesinin yoğun olduğu kısımlara çelik donatı konularak duvar kütlesi azaltılır ve yarı ağırlık istinat duvarları oluşturulur. Genelde 4,5m – 6 m yükseklikli dayanma yapılarında tercih edilir.



Şekil 2.3. Yarı Ağırlık İstinat Duvarı [13]

2.1.3 Konsol istinat duvarları

Konsol istinat duvarları davranış ve yük taşıma bakımından konsol kirişlere benzemektedir. Betonarme olarak inşa edilirler ve betonarme konsol istinat duvarı olarak da adlandırılırlar. 7-8 m yükseklikteki dayanma yapıları için ekonomiktirler. L, ters L ve ters T şeklinde yapılabilirler. Konsol istinat duvarlarında yanal kuvvetlere karşı dengeyi kurmak için konsol üzerindeki dolgu malzemesi kullanılır.



Şekil 2.4. Betonarme Konsol İstinat Duvarı [14]

2.1.4 Payandalı istinat duvarları

Konsol İstinat Duvarlarının yüksekliğinin artması durumunda, payandalarla güçlendirilerek Payandalı İstinat Duvarları oluşturulmaktadır. 8m – 12m yükseklikleri

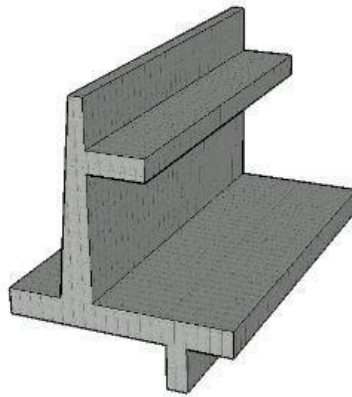
arasında ekonomik olarak inşa edilebilmektedir. Payanda aralarındaki mesafeler $1/3H$ ile $1/2H$ arasında değişmektedir.



Şekil 2.5. Payandalı İstinat Duvarı [15]

2.1.5 Hafifletme konsollu istinat duvarları

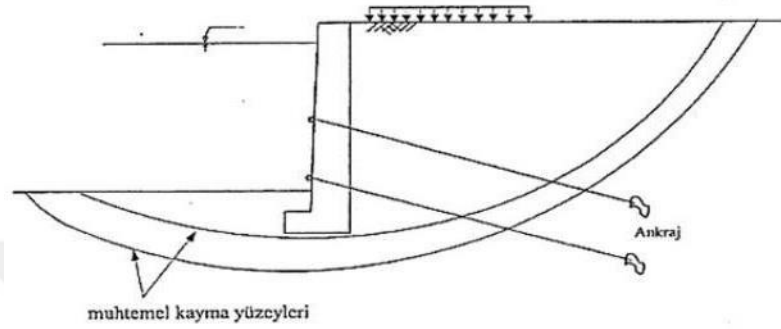
Konsol istinat duvarlarında yükseklik fazla olduğunda gövdeye etki eden yanal kuvvet ve moment dağılımını azaltmak için gövdeden yatay çıkmalar yapılarak Hafifletme konsollu istinat duvarları oluşturulur. Bu tür istinat duvarları yatay konsol plaklı istinat duvarları olarakda adlandırılır.



Şekil 2.6. Hafifletme Konsollu İstinat Duvarı [16]

2.1.6 Ankrajlı istinat duvarları

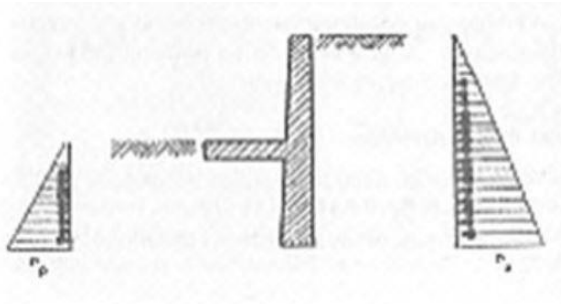
Dayanma yapısının arkasında sağlam zemin bulunması durumunda, sağlam zemine yapılan ankraj ile istinat duvarı sağlam tabakaya bağlanır. Buradaki amaç ankraj kullanarak istinat duvarının boyutlarının küçültülmesidir.



Şekil 2.7. Ankrajlı İstinat Duvarı

2.1.7 Zemine ankastre istinat duvarları

Dayanma yapısının taban kısmının, dolgu tarafında yapılması mümkün olmadığında duvarın stabilitesini sağlamak amacıyla daha derinlere inşa edilir. Alt kısımda oluşan pasif zemin basıncının lehte olan etkisi kullanılarak yapılan dayanma yapılarıdır.



Şekil 2.8. Zemine Ankastre İstinat Duvarı

2.1.8 Kademeli istinat duvarları

Dayanma yapısının hesap sonucunda temel taban genişliğinin fazla, eğimli yüzeyde duvar yüksekliği çok ise taban genişliğini gizlemek ve görüntüyü iyileştirmek amacıyla kademeli istinat duvarları inşa edilir.



Şekil 2.9. Kademeli İstinat Duvarı

2.1.9 Prefabrik istinat duvarları

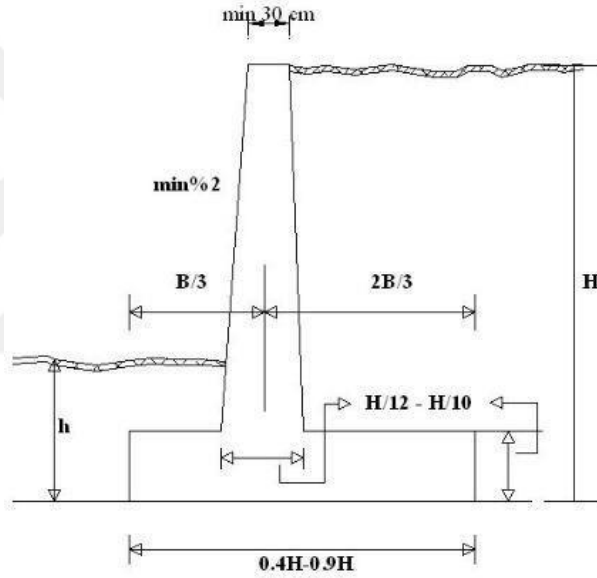
Hızlı inşa edilmesi, duvar arkasında kazı alanına gerekmemesi ve ekonomik olması nedeniyle uygun durumlarda tercih edilen dayanma yapılarıdır.



Şekil 2.10. Prefabrike İstinat Duvarı

2.2 İstinat Duvarı Tasarımı

Dayanma yapılarının tasarlanmasında bazı oranlar kullanılarak ön boyutlandırma yapmak gerekmektedir. İlk olarak tasarıma başlamadan, ön boyutlandırılma yapılmadan duvar yüksekliğine ve zemin etüd değerlerine göre dayanma yapısının malzemesi ve tipi seçilmelidir. Malzeme ve duvar tipi seçildikten sonra ön boyutlandırma yapılmakta ve genel hatlarıyla dayanma yapısı oluşturulmaktadır. Ardından yapılan ön boyutlandırılmalara göre stabilite kontrolleri yapılmalıdır. Stabilite kontrollerinde istenmeyen sonuçlar ortaya çıkarsa yeni bir boyutlandırma yapılarak tasarıma devam edilmelidir. Konsol istinat duvarları için yüksekliğe bağlı olarak ön boyutlar Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Konsol İstinat Duvarlarında Ön Boyutlandırma

Ön boyutlandırma ve tasarım dışında dikkat edilmesi gereken başka konularda bulunmaktadır. Dayanma yapısının temelinin donma seviyesi altında inşa edilmesi gerekmekte ve farklı oturmalarının olmaması için temel zemininin özelliklerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Duvar arkasındaki dolgu malzemesinin etkisinin uniform olarak dağılması gerekmekte, dolgu malzemesinin uygun bir şekilde sıkıştırılması gerekmektedir. Duvar etrafında uygun drenaj sistemi uygun seçilmeli ve birikecek suların uzaklaştırılması gerekmektedir.

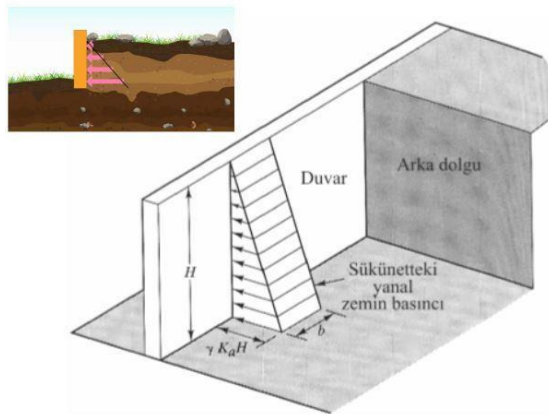
3. İSTİNAT DUVARLARINA ETKİYEN YANAL ZEMİN BASINÇLARI VE STABİLİTE KONTROLLERİ

İstinat (dayanma) yapılarına statik durumda iken kendi duvar kütlesi dolayısıyla oluşan kuvvet ve zemin gerilmeleri etki etmektedir. Tasarımı ve boyutlandırılması doğru yapılmış istinat duvarları; devrilmeye, kaymaya ve oturmaya karşı kuvvetleri dengelemektedir. Duvara arkasında oluşacak olan yanal basınçların ve duvar kütlesi nedeniyle oluşacak kuvvetlerin doğru hesaplanması bu kuvvetlerin doğru şekilde dengelenmesini sağlayacaktır.

Ancak ülkemizin yüksek deprem riskli bölgede olması nedeniyle statik kuvvetlere ek olarak dinamik kuvvetlerinde etkisi göz önünde bulundurularak tasarım yapılması gerekmektedir. Deprem sırasında oluşacak olan atalet kuvvetleri ve zemindeki değişimler, istinat yapısının beklenmeyen şekilde hareket etmesine sebep olabilmektedir. Depremden önce istinat yapısında mevcut olan statik gerilmelere ek olarak deprem esnasında oluşan dinamik gerilmelerde göz önünde bulundurularak yanal zemin gerilmelerinin hesabının yapılması gerekmektedir.

Zemin kütlelerini tutan istinat duvarlarının maruz kalabileceği üç sınır değeri bulunmaktadır. Bunlar;

- Zemin ortamında, herhangi bir hareketin olmadığı sükunet durum,
- Zeminin duvar ile aynı yönlü hareketi sonucu oluşan aktif durum,
- Duvarın zemine doğru hareketi sonucu oluşan pasif durum.



Şekil 3.1. Sükunet durumu

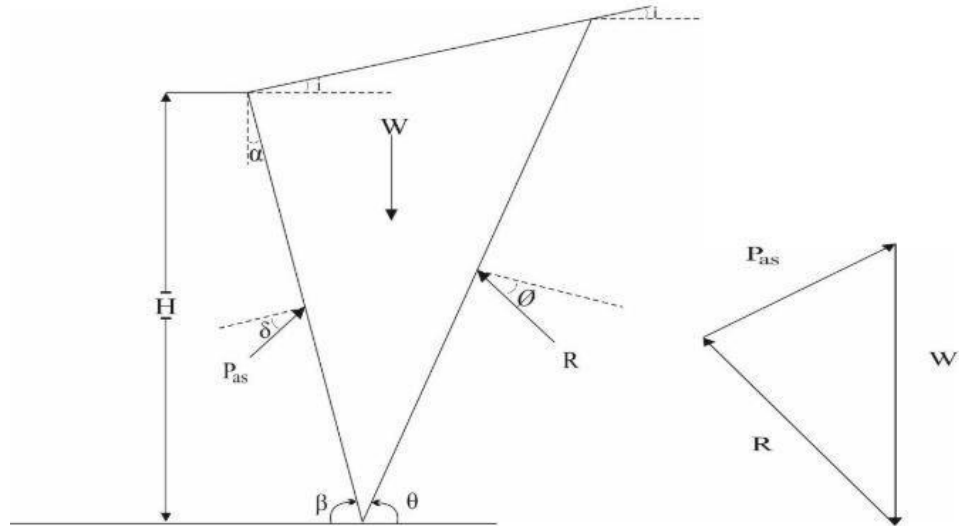
İstinat yapılarına etkiyen yanal zemin basınçları ile ilgili olarak ana iki teori bulunmaktadır. Bunlar Rankine Teorisi ve Coulomb Teorisidir.

3.1 Coulomb Teorisi

İstinat (dayanma) yapılarına etkiyen yanal zemin basınçları ile ilgili olarak ilk çalışmayı Charles-Augustin de Coulomb (1776) yapmıştır. Rankine teorisinin tersine istinat duvarının sürtünmeli bir yapısı olduğunu ve zemin dolgu malzemesi olarak granüler zemin tercih edilmesi gerektiğini düşünerek birim uzunluğa gelen yanal toprak basınçlarını hesaplamıştır. Kama teorisi olarak bilinen Coulomb teorisi, istinat duvarı arkasındaki bir eğik düzlem üzerinde kayma olduğunu ve bir kama oluştuğunu varsayarak bu kamanın dengesini kurma ile yanal zemin basınçlarını saptamaktadır. Coulomb teorisi bazı kabullere dayanmaktadır. Bu kabuller aşağıda bulunmaktadır.

- İstinat duvarı arkasındaki zemin eğimli olabilir.
- Duvar ile zemin arasında sürtünme olduğu hesaba katılmaktadır.
- Duvar arkasındaki zemin farklı tabakalardan oluşabilir.
- İstinat duvarının hareket etmesiyle birlikte kayma yüzeyi oluşabilir.
- Dolgu alanındaki yük uniformdur.
- Eğrisel olması gereken kayma yüzeyi düzlemsel kabul edilmiştir.

Yanal basınçlarda aktif durum için kohezyonsuz zeminlerde, istinat duvarının öne doğru hareket etmesi sırasında, duvar arkasında oluşacak olan üçgen zemin kaması aşağı doğru hareket eder ve oluşan üçgen kamanın duvara yapmış olduğu en yüksek basınç değerine statik aktif zemin basıncı ismi verilmektedir.



Şekil 3.2. Aktif durum için Coulomb teorisi ve oluşan kuvvet poligonu

Şekil 3.2’de görülen kuvvetler üçgen kamaya etki eden kuvvetleri göstermektedir. Burada gösterilen,

P_{as} = Statik aktif zemin basıncı

W = Zemin kamasının ağırlığı

α = Duvar arka yüzünün düşey ile yapmış olduğu açı

R = Göçme yüzeyinde doğan sürtünme ve normal kuvvetlerin bileşkesi

ϕ = Zeminin kayma mukavemeti açısı

δ = P_{as} ile duvar arasında duvar – zemin sürtünme açısı

φ = Zeminin içsel sürtünme açısı

β = Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açı değeri

ifadelerini temsil etmektedir.

Şekil 3.2’te yer alan P_{as} bileşke kuvveti aşağıdaki formül ile elde edilmektedir.

$$F_{as} = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * K_{as} \quad (3.1)$$

Formülde kullanılan statik aktif zemin basıncı katsayısı K_{as} ise aşağıdaki formül ile bulunmaktadır.

$$K_{as} = \frac{\sin^2(\beta + \varphi')}{\sin^2\beta * \sin(\beta - \delta') * [1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi' + \delta') * \sin(\varphi' - \alpha)}{\sin(\beta - \delta') * \sin(\alpha + \beta)}}]^2} \quad (3.2)$$

Pasif durumda Coulomb teorisine etkiyen kuvvetler Şekil 3.3’ te gösterilmiştir. Şekil 3.3’te görülen duvar arkasında oluşan üçgen kama yukarı doğru hareket eder ve zemin kamasının duvara yapmış olduğu basıncın minimum değerine statik pasif zemin basıncı denilmektedir.

bulunarak, yanal zemin basıncı problemini tanımlanabilir hale getirmiş ve istinat duvarları üzerine etkiyen statik basınçları doğrudan hesaplamıştır.

Rankine, minimum aktif şartlarda istinat duvarının arkasında bir noktadaki basıncı,

$$P_a = K_A * \sigma'_v - 2c\sqrt{K_A} \quad (3.5)$$

şeklinde ifade etmiştir.

K_A = minimum aktif zemin basınç katsayısı

σ'_v = noktadaki düşey efektif gerilme

c = zeminin kohezyon değeri

Asal gerilme düzlemleri düşey ve yatay olduğu zaman (yatay bir arka dolguyu tutan düz bir düşey duvar durumunda olduğu gibi), minimum aktif zemin basınç katsayısı aşağıdaki bağıntı ile ifade edilir.;

$$K_A = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.6)$$

Yatay ile β açısı yapan kohezyonsuz arka dolgu durumunda K_A 'yı hesaplamada $\beta \leq \phi$ için sonsuz şev çözümleri (Terzaghi, 1943; Taylor, 1948) kullanılabilir.

$$K_A = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \quad (3.7)$$

Kuru, homojen, kohezyonsuz dolgularda Rankine teorisi arka dolgu yüzeyine paralel yönelimli üçgen bir basınç dağılımı verir. Aktif zemin basınç bileşkesi P_A 'nın etkidiği nokta, yüksekliği H olan duvarın tabanından $H/3$ kadar yukarıdadır ve büyüklüğü de aşağıda verildiği gibidir;

$$P_A = \frac{1}{2} * K_A * \gamma * H^2 \quad (3.8)$$

Pasif durumlarda ise Rankine teorisi duvar basınçlarını aşağıdaki şekilde ifade eder;

$$P_P = K_P * \sigma_V + 2 * c * \sqrt{K_P} \quad (3.9)$$

Buradaki K_P ifadesi maksimum pasif zemin basınç katsayısını ifade etmektedir. Yatay arka dolguları tutan düz yüzeyli düşey duvarlarda,

$$K_P = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (3.10)$$

ve yatayla β açısı yapan arka dolgular için;

$$K_P = \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \quad (3.11)$$

şeklindedir.

Kuru, homojen arka dolgu için Rankine teorisi arka dolgu yüzeyine paralel yönelimli üçgen bir pasif basınç dağılımı verir. Pasif zemin basınç bileşkesi veya pasif itki P_P 'nin etki ettiği nokta, yüksekliği H olan duvarın tabanından H/3 kadar yukarıdadır ve büyüklüğü de aşağıdaki verildiği gibidir;

$$P_P = \frac{1}{2} * K_P * \gamma * H^2 \quad (3.12)$$

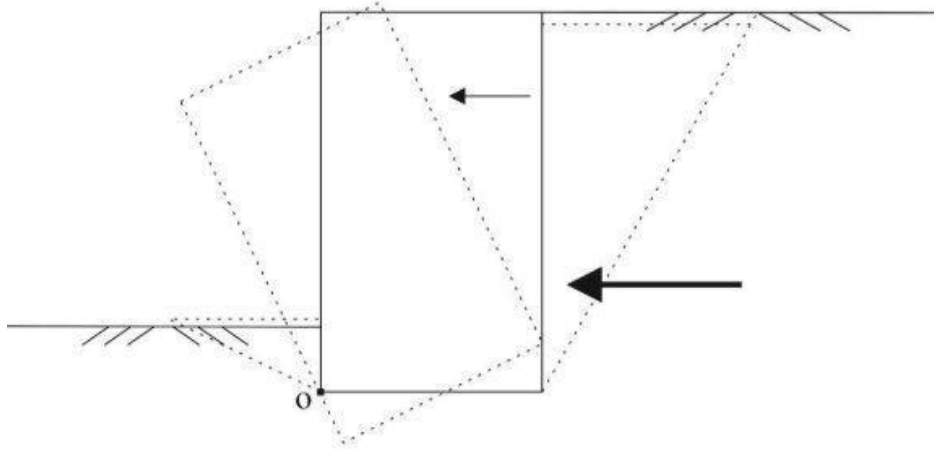
İstinat duvarının arkasındaki dolguda suyun varlığı efektif gerilmeleri ve dolayısıyla da duvar üzerine etkileyen yanal zemin basıncını etkiler. Sudan kaynaklanan hidrostatik basınç, duvar tasarımında yanal zemin basıncına eklenmelidir.

3.3 İstinat Duvarlarında Stabilite Kontrolleri

İstinat duvarlarının ön boyutlandırılması ve tasarımı yapıldıktan sonra istinat duvarına etkileyen statik ve dinamik kuvvetler belirlenir. İstinat duvarları, etkileyen bu kuvvetler ile farklı şekilde göçebilirler. Bu göçme durumlarını engellemek için duvarın öne doğru temel etrafında devrilme tahkiki, temel boyunca öne doğru kayma tahkiki, temelde taşıma gücü tahkiki ve oturmalara karşı yeterli güvenlikte olması gerekmektedir. Yapılan bu stabilite kontrollerinin ardından olumlu sonuçlar alınır ise uygulamaya devam edilmelidir. Aşağıda sırasıyla istinat duvarının stabilite kontrolleri gösterilmiştir.

3.3.1 Devrilme tahkiki

İstinat duvarının arkasında oluşan yanal zemin basınç ve diğer yüklerden dolayı temelin sol alt köşesinden devrilmeye meyillidir. Bu devirici moment, duvar ağırlığı ve duvar tabanı üzerindeki zemin ağırlığı ile karşılanır. İstinat duvarının ön kısmında sıkışma nedeniyle pasif durum oluşacağı düşünülse bile; aktif duruma göre pasif durum oluşturmak için daha fazla hareketin gerekeceği vb. nedenlerle, ön kısımdaki pasif durum veya pasif yanal basın etkisi bazen hesaplara dahil edilmeyebilir.



Şekil 3.4. Devrilme momentit uygulanmış istinat duvarı (Kanıt, 2003).

Devrilmeye karşı güvenlik sayısı, devrilmeye karşı koyan momentler toplamının, deviren momentlerin toplamlarının oranı olarak tanımlanır.

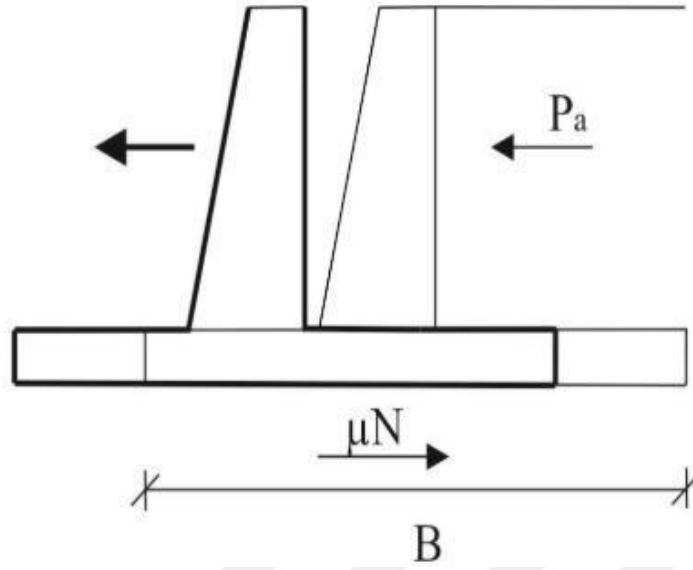
$$FS(\text{devrilme}) = \frac{\sum MD(\text{karşı koyan})}{\sum MD(\text{deviren})} > 1 \quad (3.13)$$

Devrilmeye karşılık güvenlik katsayısının yukarıdaki formülde görüldüğü 1 değerinden büyük olması gerekmektedir. Ancak uygulamada bu değerin 2 ya da 3 olması gerekmektedir.

3.3.2 Kayma tahkiki

Dolgu zemini ve ek sürsaj yükünden dolayı gelen kuvvetler istinat yapısının tabanını temel üzerinde kaymaya zorlar. Kayma kuvveti, taban ile zemin arasındaki sürtünme kuvvetiyle, taban ile zemin arasındaki adezyon kuvvetiyle ve duvar önündeki zeminin pasif etkisiyle karşılanacaktır. İstinat duvarının kaymaya karşı güvenlik katsayısı kaymaya karşı koyan kuvvetlerin, kaydıran kuvvetlere oranı olarak tanımlanır.

$$F_S = \frac{\sum F(\text{KAYMAYA KARŞI KOYAN})}{\sum F(\text{KAYDIRAN})} \quad (3.14)$$



Şekil 3.5. Kayma momenti uygulanmış istinat duvarı (Brooks,2010)

Kaymaya karşı koyan kuvvetler, tabanda oluşan sürtünme kuvvetleri ile ihmal edilmeyecek ise öndeki pasif dirençtir (P_p). Sürtünme kuvveti duvar tabanına etkiyen tüm düşey ağırlıkların ($\sum N$) sürtünme katsayısı (μ) ile çarpılmasına eşittir.

$$\sum(\text{karşı koyan}) = \sum N\mu + P_p \quad (3.15)$$

$$\mu = \tan\delta \quad (3.16)$$

Burada δ taban sürtünme açısı olup, duvar tabanının pürüzlülüğüne ve zemin cinsine göre $\phi/3$ ile ϕ arasında değişir. ϕ temel taban zemininin içsel sürtünme açısı değeridir. δ açısı tipik olarak 15-30 arasında değer alabilir. Kaymaya karşı güvenlik sayısı değeri en az 1.5 olmalıdır.)

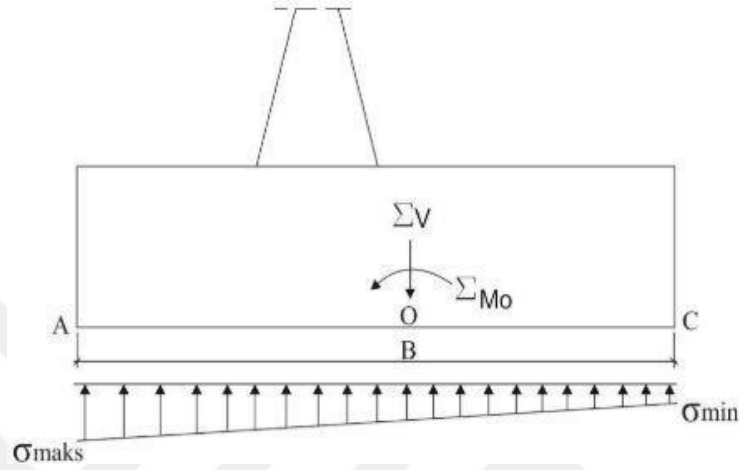
3.3.3 Taban basıncı tahkiki

Zemin yatay etkisi ve ağırlığı altında duvarın taban plağı altındaki gerilmeler kontrol edilerek bunların zemin emniyet gerilmesini geçmediğinin belirlenmesi gerekir. Ayrıca, çekme gerilmesinin meydana gelmemesi de tavsiye edilir. İstinat duvarlarının ön ampatmanında en büyük, arka ampatmanında ise en küçük zemin basıncı oluşmaktadır.

Birim uzunluk için, duvarın taban ortasına göre, düşey kuvvetlerin toplamı $\sum N_o$, yine duvar tabanı ortasına göre tüm kuvvetlerin momentlerinin toplamı $\sum M_o$ olmak üzere enine eksantriste (e) aşağıdaki denkleme göre belirlenir.

$$e = \frac{\sum M_o}{\sum N_o} \quad (3.17)$$

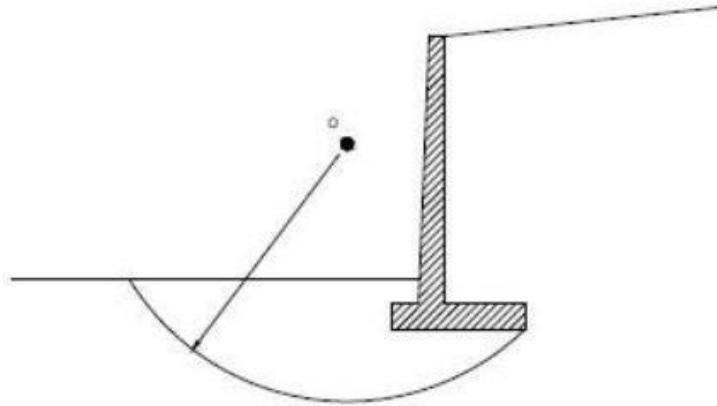
Tabanda oluşacak gerilme dağılışının en büyük değeri, zeminin emin taşıma gücünü aşmamalıdır.



Şekil 3.6. Duvar tabanındaki gerilmelerin dağılımı (Brooks,2010)

3.3.4 Toptan göçme tahkiki

Zeminin zayıf olduğu durumlarda istinat duvarı ile beraber zemin kütlelerinin alt zemin üzerinde kayması ile toptan göçme durumu gerçekleşebilir. Bu durumda kayma yüzeyinin silindirik olduğu kabul edilir. Genel olarak, göçme dairesinin istinat duvarı dairesi içinde kalacak şekilde, duvar arka ucundan geçtiği kabul edilir.



Şekil 3.7. İstinat duvarında toptan göçme kontrolü

İstinat duvarının içinde bulunduğu şevde, istinat duvarını da içine alacak şekilde kayma meydana gelmemelidir ve kaymaya karşı belirli bir güvenlik olmalıdır. Bunun için seçilen yöntemle şevin stabilite analizi yapılır. Çok sayıda dönme merkezi ve yarıçap denenir, bunlardan bulunan en küçük güvenlik sayısı, istinat duvarının tasarımı için seçilen güvenlik sayısı ile karşılaştırılır. Yapılacak analizlerde güvenlik sayısının en az 2 olduğu gösterilmelidir.

3.3.5 Oturma tahkiki

İstinat duvarları diğer inşa edilen yapılar gibi altındaki zeminin yükleme altında sıkışması nedeniyle oturmaya uğrayabilir. İstinat duvarının oturma miktarı uygun hesap yöntemleri ile hesaplanarak oturma değerinin izin verilebilir değerde olduğu gösterilmesi gerekmektedir. Turan (2006), dayanma yapıları için izin verilebilir oturmayı, istinat duvarlarının kaba yapılar olmasını gerekçe göstererek killerde; betonarme binaların şerit temelleri için verilen değer (65 mm) 2 katı olarak; Çolak (2007), istinat duvarları için mutlak oturmayı kohezyonsuz zeminlerde, betonarme binaların şerit temelleri için verilen değer (40 mm) 2 katı olarak önermiştir.

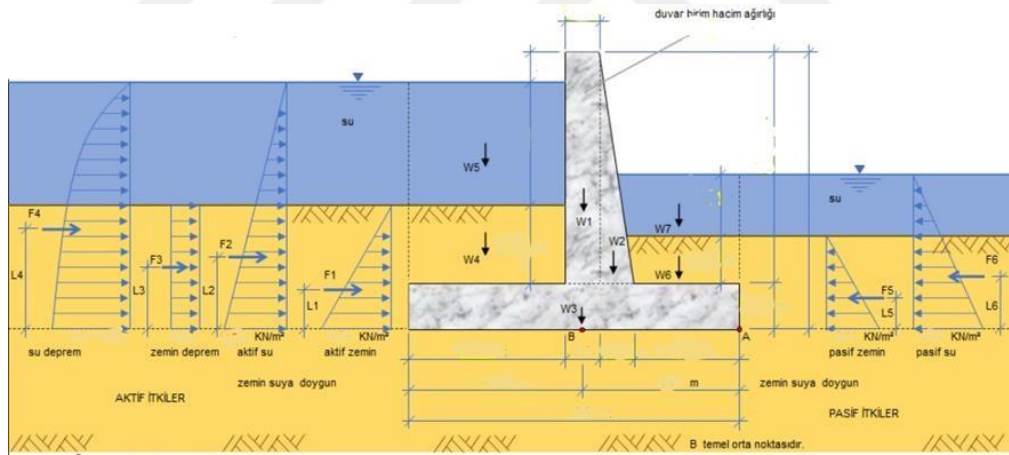
4. TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİNE 2018'E GÖRE DEPREM ETKİSİ ALTINDA İSTİNAT DUVARI TASARIMI

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 ile birlikte istinat yapılarının tasarımı ile ilgili eski yönetmeliklere göre önemli değişiklikler yapılmıştır. TBDY 2018'e göre istinat yapılarının deprem sonrasında, işlevlerine zarar vermeyecek şekilde yer değiştirmelerine izin verilecek tasarımlar yapılmasına olanak sağlamıştır.

Dayanma yapılarının stabilite kontrollerinde TBDY 2018'e göre, devrilmeye zorlayan momentler ile yatayda kaymaya zorlayan kuvvetlerin ve bunlara karşı koyan etkilerin dengeleri kıyaslanmıştır

4.1 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine 2018'e Göre Yanal Toprak Basınçlarının Hesabı

Bir istinat duvarının tasarımının ilk aşaması, deprem sırasında bu istinat duvarına etkiyen yüklerin doğru bir şekilde belirlenebilmesidir. Dolayısıyla aşağıda verilen Şekil 4.1'de deprem altında bir istinat duvarında oluşan dinamik kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Konsol İstinat Duvarına Etkiyen Yükler (İnş. Müh. Gürçan BERBEROĞLU TBDY 2018 istinat duvarı hesabı) [17]

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayılarının denklemler TBDY 2018 Denklem 16.22'den alınmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 * S_{DS}}{r} \quad (4.1)$$

$$k_v = 0.5 * k_h \quad (4.2)$$

Eşitlik de yer alan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (S_{DS}) Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilen kısa periyot harita spektral ivme katsayısına (S_s) ve yerel zemin sınıfına bağlı olarak hesaplanmıştır.

$$S_{DS} = S_s * F_s \quad (4.3)$$

F_s katsayısı yerel zemin sınıfına ve S_s değerine bağlı olarak Tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Kısa periyot için Yerel Zemin Etki Katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_s					
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$	$S_s = 1.00$	$S_s = 1.25$	$S_s \geq 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2
ZD	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0
ZE	2.4	1.7	1.3	1.1	0.9	0.8
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır (Bkz.16.5).					

Eşitlik de yer alan r katsayısı, farklı istinat duvarları için Tablo 4.2.'de verilmiştir. (TBDY 2018)

Tablo 4.2. Dayanma yapıların için r katsayıları

Dayanma Yapısının Tipi	r
En fazla $120S_{DS}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	2.0
En fazla $80S_{DS}$ (mm) yerdeğiştirmeye izin verilen ağırlık tipi duvarlar	1.5
Ankrajlı duvarlar, yerdeğiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar	1.0

İstinat duvarlarının deprem etkileri altında tasarımında kullanılan sismik açığı yer altı su seviyesine bağlı olarak TBDY 2018'e göre 3 şekilde hesaplanabilmektedir.

(a) Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda;

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (4.4)$$

(b) Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimsiz olması durumunda (permeabilite katsayısının 5×10^{-4} m/s'den küçük olduğu zeminlerde);

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_d}{\gamma_d - \gamma_{su}} * \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (4.5)$$

- (c) Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimli olması durumunda;

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma}{\gamma_d - \gamma_{su}} * \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (4.6)$$

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

- (a) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (4.7)$$

- (b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (4.8)$$

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (4.9)$$

4.2 Devrilmeye Karşı Stabilité Kontrolü

Dinamik etkilerin yani depremli durumlarda istinat duvarının devrilmeye karşı güvenli olması için aşağıdaki denklemdeki koşulu sağlaması gerekmektedir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (4.10)$$

R_{dev} devrilmeye karşı kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin toplamını temsil etmektedir. E_{dev} ise devrilmeye neden olan kuvvetlerin oluşturduğu momentlerin toplamını ifade etmektedir.

4.3 Kaymaya Karşı Stabilité Kontrolü

TBDY 2018'e göre diğér bir kontrol edilmesi gereken koşul ise istinat duvarının kaymaya karşı güvenliğinin sağlanmasıdır. Depremlí durumlarda duvarın kaymaya karşı güvenliğinin olması için aşağıdaki koşulu sağlaması gerekmektedir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (4.11)$$

Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini göstermektedir.

Tasarım sürtünme direnci R_{th} aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır.

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (4.12)$$

Burada, P_{tv} temel tabanına etkiyen tasarım düşey basınç kuvvetini, δ ise temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısını ifade etmektedir.

Sürtünme katsayısı $\tan \delta$, saha deneyleri ile aksi belirlenmedikçe aşağıda verilen tablodaki değerlerden daha büyük alınmayacaktır.

Tablo 4.3. Yüzeysele Temeller ile Zemin Arasındaki Sürtünme Katsayısı

Sürtünme Ara Yüzeyi	$\tan \delta$
Yerinde dökme beton – Sıkıştırılmış temel taban zemini	0.6
Önüretimli beton – Sıkıştırılmış temel taban zemini	0.4
Yerinde dökme beton – Beton	0.5
Beton – Taban kayası	0.5

Tasarım pasif direnci R_{pt} , karakteristik pasif direncinin dayanım katsayısına bölünmesi ile hesaplanmaktadır.

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (4.13)$$

Dayanım katsayıları ise TBDY 2018 tablo 16.2'ye göre belirlenmiştir.

Tablo 4.4 *Yüzeyel Temeller İçin Dayanım Katsayıları*

Dayanımın Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1.4
Sürtünme Direnci	γ_{Rh}	1.1
Pasif Direnç	γ_{Rp}	1.4

4.4 Temel Taşıma Gücü Açısından Stabilité Kontrolü

İstinat duvarlarının tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi ise istinat duvarı tarafından zemine aktarılan yüklerin belirlenmesidir. Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (4.14)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. q_{max} ve q_{min} aşağıdaki denklem ile hesaplanmaktadır. Burada e eksantrisiteyi, ΣV düşey yükler toplamını, B ise temel genişliğini ifade etmektedir.

$$q_{max,min} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (4.15)$$

Eksantrisite istinat duvarı temel tabanına etkiyen net momentin toplan düşey kuvvete bölünmesiyle bulunabilmektedir. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_R - \Sigma M_0}{\Sigma V} \quad (4.16)$$

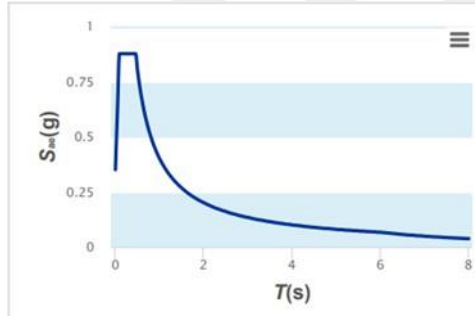
5. KULLANILAN DEPREM VERİLERİ

5.1 Deprem Tepki Spektrumları

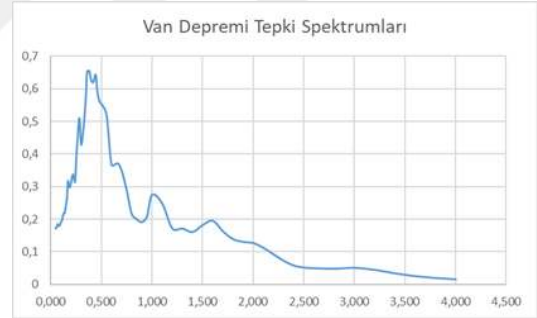
Yapılan bu çalışmada TBDY 2018’de tanımlanan farklı yer hareketi düzeylerine karşılık gelen 4 adet deprem ivme kaydı seçilmiştir. Seçilen deprem kayıtlarının ivme ve tepki spektrumları Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi (AFAD-TADAS) üzerinden alınmıştır. İvme ve tepki spektrumları AFAD üzerinden alınmıştır. Bu depremler; 23 Ekim 2011 Van depremi (7.0), 20 Şubat 2023 Hatay depremi (6.4), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremi (7.6) ve 13 Mart 1992 Erzincan (6.6) depremleridir. En yüksek PGA değerine sahip istasyonlardan tepki spektrum değerleri alınmış ve grafikleri oluşturulmuştur.

5.1.1 Van depremi

Van Muradiye merkezli deprem verileri 6503 kodlu istasyon üzerinden değerleri alınmıştır. 23 Ekim 2011 tarihli depremin büyüklüğü 7.0 olarak belirlenmiştir. Daha sonra aynı konum üzerinden Türkiye deprem tehlike haritası interaktif web uygulamasından DD-1 ve DD-2 tasarım spektrumları elde edilmiştir.



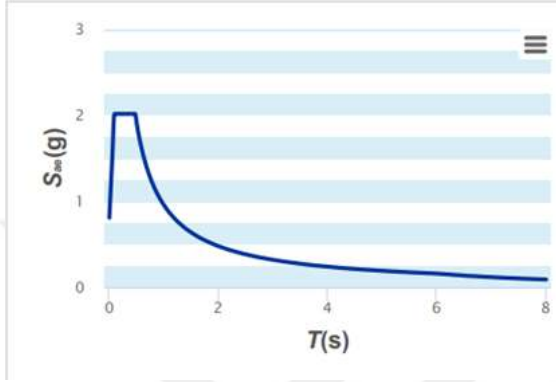
Şekil 5.1. Türkiye Deprem Tehlike Haritası tasarım spektrumu (DD-2)



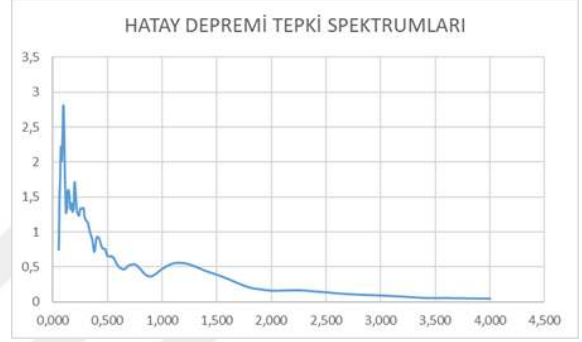
Şekil 5.2. AFAD verilerine bağlı olarak oluşan tasarım spektrumu

5.1.2 Hatay depremi

Depremi, Hatay’da kaydedilen verileri 3125 kodlu istasyon üzerinden değerleri alınmıştır. 20 şubat 2023 tarihli depremin büyüklüğü 6.4 olarak belirlenmiştir. Daha sonra aynı konum üzerinden Türkiye deprem tehlike haritası interaktif web uygulamasından DD-1 ve DD-2 tasarım spektrumları elde edilmiştir.



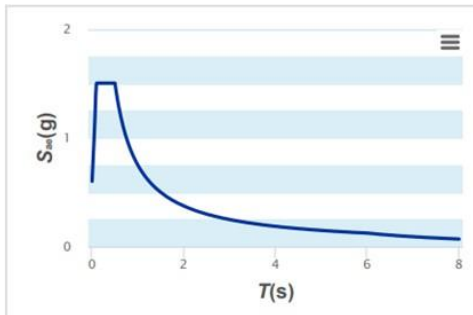
şekil 5.3. Türkiye deprem tehlike haritası tasarım spektrumu (DD-1)



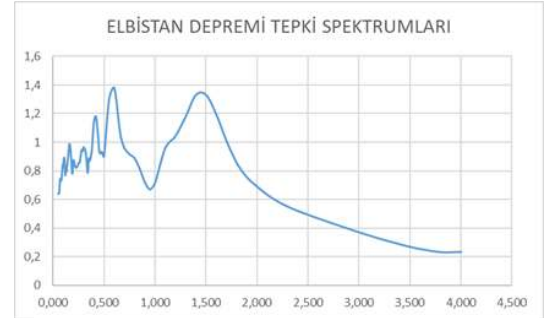
şekil 5.4. AFAD verilerine bağlı olarak oluşan tasarım spektrumu

5.1.3 Elbistan depremi

Kahramanmaraş Elbistan merkezli deprem verileri 4612 kodlu istasyon üzerinden değerleri alınmıştır. 6 şubat 2023 tarihli depremin büyüklüğü 7.6 olarak belirlenmiştir.



şekil 5.5. Türkiye deprem tehlike haritası tasarım spektrumu (DD-1)

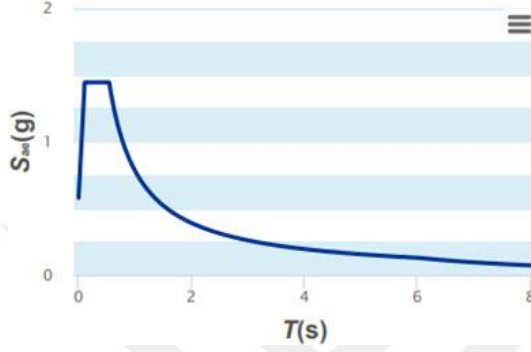


şekil 5.6. AFAD verilerine bağlı olarak oluşan tasarım spektrumu

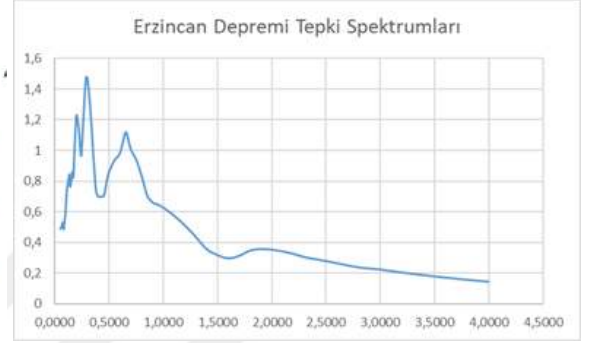
Daha sonra aynı konum üzerinden Türkiye deprem tehlike haritası interaktif web uygulamasından DD-1 ve DD-2 tasarım spektrumları elde edilmiştir.

5.1.4 Erzincan depremi

Erzincan merkezli deprem verileri 2402 kodlu istasyon üzerinden değerleri alınmıştır. 13 Mart 1992 tarihli depremin büyüklüğü 6.6 olarak belirlenmiştir. Daha sonra aynı konum üzerinden Türkiye deprem tehlike haritası interaktif web uygulamasından DD-1 ve DD-2 tasarım spektrumları elde edilmiştir.



şekil 5.7. Türkiye deprem tehlike haritası tasarım spektrumu (DD-2)



şekil 5.8. AFAD verilerine bağlı olarak . oluşan tasarım spektrumu

6. TBDY 2018'E GÖRE İSTİNAT DUVARLARININ YANAL TOPRAK BASINCI VE STABİLİTE TAHKİKİ ANALİZLERİ

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında farklı boyutlarda ölçülendirilmiş ve duvar arkası zemin tabakaları farklı özelliklerde olan modellerin, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre açıklanan hususlar çerçevesinde yanal toprak basıncı ve stabilite tahkiklerinin nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Ayrıca Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'de belirtilen hususlara göre konsol istinat duvarının devrilme ve kayma tahkiki analizlerinin nasıl yapıldığı ve hesaplamalar gösterilmiştir. Ayrıca temel taşıma gücü açısından stabilite tahkiki yapılmıştır.

Dinamik yanal zemin basınçlarının hesabında kullanılan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri (S_{DS}), AFAD tarafından hazırlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınmıştır.

Aşağıda İstinat Duvarı modellerinin boyutları Tablo 6.1'de ve farklı zemin koşulları için özet bilgiler Tablo 6.2'de gösterilmiştir.

Tablo 6.1. İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

	İstinat Duvarı Üst Genişliği (m)	İstinat Duvarı Yüksekliği (m)	Temel Tabanı Kalınlığı (m)	Temel Tabanı Genişliği (m)	Temel Sol Pabuç Uzunluğu (m)	Temel Sağ Pabuç Uzunluğu (m)	Pasif Taraf Zemin Yüksekliği (m)
MODEL-1	0,5	6	1	6	1	4	2,5
MODEL-2	0,5	6	1	5,4	1	3,4	2,5
MODEL-3	0,5	6	1	9	1,2	6,8	2,5
MODEL-4	0,5	6	1	10	1,3	7,7	2,5
MODEL-5	0,5	6	1	8	1,2	5,8	2,5
MODEL-6	0,5	6	1	8,8	1,2	6,6	2,5
MODEL-7	0,5	6	1	7,5	1	5,5	2,5

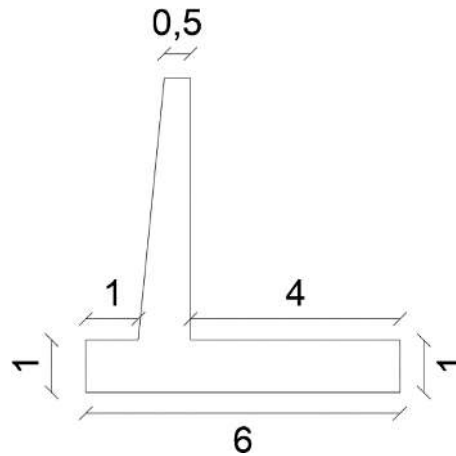
MODEL-8	0,7	6	1	8	1	6	2,5
---------	-----	---	---	---	---	---	-----

Tablo 6.2. Modeller İçin Gerekli Özet Bilgiler

	δ_d	δ	$\tan \delta$	ψ	γ_d	ϕ	r	S_{DS}	β
MODEL-1	0	31	0,6	90	18	34	1	0,876	0
MODEL-2	0	31	0,6	90	24	34	1	0,876	0
MODEL-3	0	31	0,6	90	18	34	1	2,014	0
MODEL-4	0	31	0,6	90	24	34	1	2,014	0
MODEL-5	0	31	0,6	90	18	34	1	1,503	0
MODEL-6	0	31	0,6	90	24	34	1	1,503	0
MODEL-7	0	31	0,6	90	18	34	1	1,444	0
MODEL-8	0	31	0,6	90	24	34	1	1,444	0

6.1 Model-1

Model-1 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.1’de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Model-1 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018'e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-1 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeysel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0,6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$, statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 0,876$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.1 ve 6.2' de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 \cdot S_{DS}}{r} \quad (6.1)$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h \quad (6.2)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7'ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0.35$, $k_v = 0.1752$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.3'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (6.3)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 16.60 ve 23.02 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(a) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.4)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.5)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.49 ve 0.63 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.6)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2.61 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.1.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1’de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denklem 6.7). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev} = 1885.08$, $E_{dev} = 464.31$ verileri elde edilmiştir. $R_{dev}/E_{dev} = 4.06$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.7)$$

6.1.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denklem 6.8’deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında

etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.9 ve 6.10'da belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.8)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.9)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.10)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 348.23 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.4 olarak belirlendikten sonra 498.84 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 185.30 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.8'de yerine koyduğumuzda $185.30 \leq 348.23 + 0.3 \cdot 498.84$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.1.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

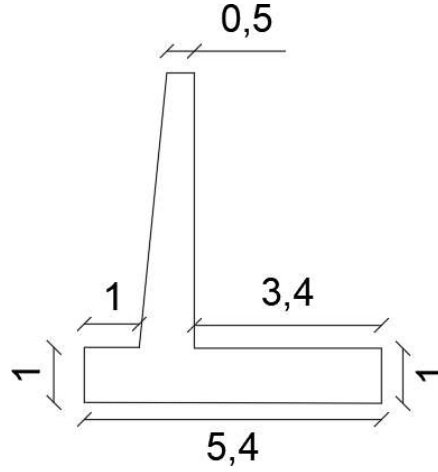
Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (6.11)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-1 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 35.34 kN/m², maksimum gerilmeyi ise 177.16 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-1 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

6.2 Model-2

Model-2 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.2'de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.2. Model-2 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal zemin basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018'e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-2 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeysel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0,6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 24 \text{ kN/m}^3$, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$, statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 0,876$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.12 ve 6.13' de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0,4 \cdot S_{DS}}{r} \quad (6.12)$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h \quad (6.13)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7'ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0,35$, $k_v = 0,1752$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.14'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (6.14)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 16.60 ve 23.02 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(b) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.15)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.16)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.49 ve 0.63 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.17)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2,61 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.2.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1'de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denklem 6.18). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev} = 1791.14$, $E_{dev} = 619.08$ verileri elde edilmiştir.

$R_{dev}/E_{dev}= 2.89$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.18)$$

6.2.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denklem 6.19'deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.20 ve 6.21'da belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.19)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.20)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.21)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 372.40 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.4 olarak belirlendikten sonra 665.13 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 247.07 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.19'da yerine koyduğumuzda $247.07 \leq 372.40 + 0.3 \cdot 665.13$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.2.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

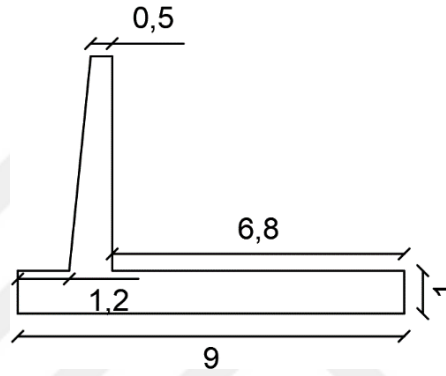
$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (6.22)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-2 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 4.17 kN/m²,

maksimum gerilmeyi ise 248.33 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-2 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

6.3 Model-3

Model-3 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.3’de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.3. Model-3 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018’e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-3 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeysel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0.6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 18$ kN/m³, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$, statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 2.014$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.23 ve 6.24’ de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 * S_{DS}}{r} \quad (6.23)$$

$$k_v = 0.5 * k_h \quad (6.24)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7'ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0.81$, $k_v = 0.40$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.25'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (6.25)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 29.87 ve 53.45 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(c) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.26)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.27)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.90 ve 2.51 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.28)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2.15 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.3.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1’de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denklem 6.29). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev}= 4191.72$, $E_{dev}= 1474.38$ verileri elde edilmiştir. $R_{dev}/E_{dev}= 2.84$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.29)$$

6.3.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denklem 6.30’deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.31 ve 6.32’de belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.30)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.31)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.32)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 529.80 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.4 olarak belirlendikten sonra 297.13 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 521.99 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.30’de yerine koyduğumuzda $521.99 \leq 529.80 + 0.3 \cdot 297.13$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.3.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

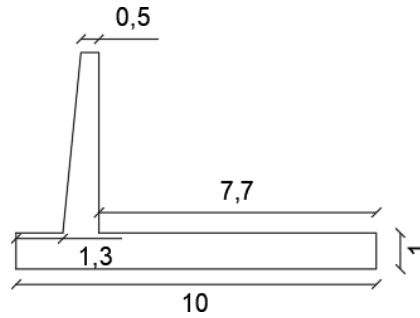
Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (6.33)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-3 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 4.83 kN/m², maksimum gerilmeyi ise 210.70 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-3 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

6.4 Model-4

Model-4 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.4’de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.4. Model-4 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018’e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-4 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeyel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0.6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 24$ kN/m³, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$,

statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 2.014$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.34 ve 6.35' de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 * S_{DS}}{r} \quad (6.34)$$

$$k_v = 0.5 * k_h \quad (6.35)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7'ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0.81$, $k_v = 0.40$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.36'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 + k_v} \right] \quad (6.36)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 29.87 ve 53.45 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(d) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.37)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.38)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.90 ve 2.51 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.39)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2.15 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.4.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1'de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denklem 6.40). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev} = 6214.48$, $E_{dev} = 1965.84$ verileri elde edilmiştir. $R_{dev}/E_{dev} = 3.16$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.40)$$

6.4.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denklem 6.41'deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.42 ve 6.43'da belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.41)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.42)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.43)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 722.97 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.4 olarak belirlendikten sonra 396.17 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 695.99 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.41'de yerine koyduğumuzda $695.99 \leq 722.97 + 0.3 \cdot 396.17$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.4.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

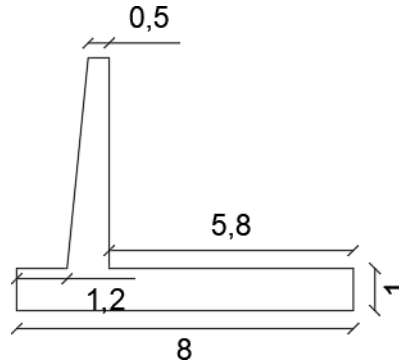
Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (6.44)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-4 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 0.44 kN/m², maksimum gerilmeyi ise 264.27 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-4 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

6.5 Model-5

Model-5 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.5'de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Model-5 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018'e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-5 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeysel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0.6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$, statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 1.503$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.45 ve 6.46' de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 * S_{DS}}{r} \quad (6.45)$$

$$k_v = 0.5 * k_h \quad (6.46)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7'ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0.60$, $k_v = 0.30$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.47'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (6.47)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 24.81 ve 40.68 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(e) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.48)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.49)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.69 ve 1.72 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}])^2} \quad (6.50)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2.51 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.5.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1'de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denkleme 6.51). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev} = 3296.24$, $E_{dev} = 1157.13$ verileri elde edilmiştir. $R_{dev}/E_{dev} = 2.85$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.51)$$

6.5.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denkleme 6.52'deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım

pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.53 ve 6.54’de belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.52)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.53)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.54)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 466.98 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.4 olarak belirlendikten sonra 406.43 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 416.24 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.52’de yerine koyduğumuzda $416.24 \leq 466.98 + 0.3 \cdot 406.43$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.5.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

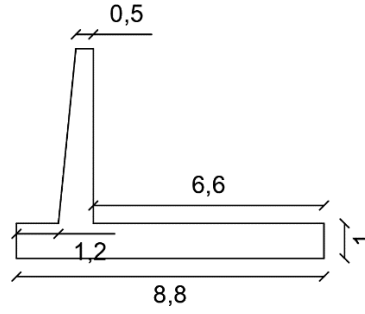
Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (6.55)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-5 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 5.69 kN/m², maksimum gerilmeyi ise 208.04 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-5 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

6.6 Model-6

Model-6 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.6’de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.6. Model-6 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018'e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-6 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeysel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0.6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 24 \text{ kN/m}^3$, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$, statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 1.503$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.56 ve 6.57' de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 \cdot S_{DS}}{r} \quad (6.56)$$

$$k_v = 0.5 \cdot k_h \quad (6.57)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7'ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0.60$, $k_v = 0.30$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.58'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (6.58)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 24.81 ve 40.68 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(f) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.59)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.60)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.69 ve 1.72 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.61)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2.51 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.6.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1'de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denklem 6.62). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev} = 4814.88$, $E_{dev} = 1542.84$ verileri elde edilmiştir. $R_{dev}/E_{dev} = 3.12$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.62)$$

6.6.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018'e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denklem 6.63'deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.64 ve 6.66'de belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.63)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.54)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.65)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 632.52 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2'den 1.4 olarak belirlendikten sonra 541.90 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 554.99 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.63'de yerine koyduğumuzda $554.99 \leq 632.52 + 0.3 \cdot 541.90$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.6.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

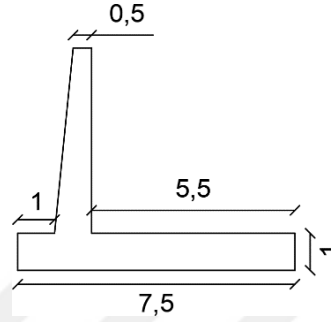
$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (6.66)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-6 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 2.18 kN/m², maksimum gerilmeyi ise 260.99 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında

temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-6 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

6.7 Model-7

Model-7 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.7’de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Model-7 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018’e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-7 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeysel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0.6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 18 \text{ kN/m}^3$, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$, statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 1.444$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.67 ve 6.68’ de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 * S_{DS}}{r} \quad (6.67)$$

$$k_v = 0.5 * k_h \quad (6.68)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7’ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0.58$, $k_v = 0.29$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.69'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (6.69)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 24.14 ve 39.08 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(g) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.70)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.71)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.67 ve 1.65 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.72)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2.55 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.7.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını

devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1’de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denklem 6.73). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev}= 2967.75$, $E_{dev}= 1126$ verileri elde edilmiştir. $R_{dev}/E_{dev}= 2.64$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.73)$$

6.7.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denklem 6.74’deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.75 ve 6.76’de belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.74)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.75)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.76)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 442.45 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.4 olarak belirlendikten sonra 419.75 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 405.87 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.74’de yerine koyduğumuzda $405.87 \leq 442.45 + 0.3 \cdot 419.75$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.7.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

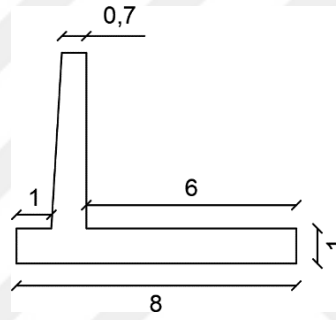
Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

$$0 < q_{min} ; q_{max} < q_a \quad (6.77)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-7 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 6.53 kN/m², maksimum gerilmeyi ise 209.47 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-7 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

6.8 Model-8

Model-8 için gerekli istinat duvarı boyutları Şekil 6.8’de, zemin özellik değerleri Tablo 6.2’de gösterilmiştir.



Şekil 6.8. Model-8 İstinat Duvarı Boyutları (Ölçüler m cinsindendir.)

İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının hesabı için ilk olarak TBDY-2018’e göre toplam, statik ve dinamik aktif zemin basıncı katsayılarının hesabı yapılmıştır.

Bu bölümde model-8 için zemin şev açısı $\beta=0$, duvar arka yüzeyinin yatayla açısı $\psi=90$, zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı $\delta_d=0$, yüzeysel temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı $\tan \delta = 0.6$, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı $\delta = 31$, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma_d = 24$ kN/m³, zemin kayma direnci açısı $\phi = 34$, statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı $r = 1$, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı değerleri $S_{DS} = 1.444$ olarak belirlenmiştir.

Zemin basınçlarının hesabında kullanılacak yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları Denklem 6.78 ve 6.79’ de tanımlanmıştır.

$$k_h = \frac{0.4 * S_{DS}}{r} \quad (6.78)$$

$$k_v = 0.5 * k_h \quad (6.79)$$

Statik eşdeğer deprem azaltma katsayısı (r), TBDY 2018 Tablo 16.7'ye göre Ankrajlı duvarlar, yer değiştirmesine izin verilmeyen ağırlık tipi duvarlar kategorisinden 1 olarak seçilmiştir. Denklem sonuçları ise $k_h = 0.58$, $k_v = 0.29$ olarak hesaplanmıştır.

Statik-eşdeğer deprem katsayısına bağlı açı değeri (Θ) ise TBDY 2018 16.12.3.2'deki açıklanan ilkeler doğrultusunda su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması nedeniyle Denklem 6.80'e göre hesaplanmıştır.

$$\Theta = \tan^{-1} \left[\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right] \quad (6.80)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu iki farklı açı değeri elde edilmiştir. Bunlar 24.14 ve 39.08 değerleridir.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018 Denklem 16.24'e göre hesaplanmaktadır.

(h) $\beta \leq \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d) [1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \Theta)}{\sin(\psi - \Theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.81)$$

(b) $\beta > \phi'_d - \Theta$ olması durumunda:

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \Theta - \delta_d)} \quad (6.82)$$

Yapılan hesaplamalar sonucu K_a değerleri 0.67 ve 1.65 olarak hesaplanmıştır.

Toplam pasif basınç katsayıları ise zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı varsayılarak TBDY 2018 Denkleme göre hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \Theta)}{(\cos \Theta \sin^2 \psi \sin(\psi + \Theta) [1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \sin(\phi'_d + \beta - \Theta)}{\sin(\psi + \Theta) \sin(\psi + \beta)}}]^2} \quad (6.83)$$

Toplam pasif basınç katsayısı değeri K_p değeri ise 2.55 olarak hesaplanmıştır.

Dinamik durumundaki stabilite tahkikleri olarak ise devrilme ve kayma tahkiki ayrıca temel taşıma gücü bakımından tahkik yapılmıştır.

6.8.1 Devrilme tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda istinat duvarının devrilmesine karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı R_{dev} , ve istinat duvarını devirmeye zorlayan momentlerin toplamı E_{dev} hesaplanmış ve bunların oranları ile TBDY 2018 16.12.1.1’de verilen 1.3 oranına göre kıyaslanmıştır (Denklem 6.84). Yapılan hesaplamalar sonucu $R_{dev}= 4109.77$, $E_{dev}= 1501.35$ verileri elde edilmiştir. $R_{dev}/E_{dev}= 2.74$ oranı 1.3 değerinden büyük olduğu ve istinat duvarının devrilme tahkiki açısından güvenli olduğu belirlenmiştir.

$$\gamma_{Rdev} = \frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1.3 \quad (6.84)$$

6.8.2 Kayma tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’e göre bir istinat duvarının yatayda kayma ile ilgili olarak statik ve depremi içeren yükleme durumlarının her birinde Denklem 6.85’deki güvenlik şartını sağlaması gerekmektedir. Burada V_{th} temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvvetini, R_{th} tasarım sürtünme direncini, R_{pt} ise tasarım pasif direncini ifade etmektedir. Yönetmelik maddelerince bu parametrelerin nasıl hesaplandığı Denklem 6.86 ve 6.87’de belirtilmiştir.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (6.85)$$

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (6.86)$$

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (6.87)$$

R_{th} değerini hesaplamak için sürtünme direnci değerini (γ_{Rh}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.1 olarak alınmıştır. R_{th} değeri hesaplamalar sonucu 583.19 olarak belirlenmiştir. R_{pt} değeri ise pasif direnç (γ_{Rp}) TBDY 2018 Tablo 16.2’den 1.4 olarak belirlendikten sonra 559.66 olarak hesaplanmıştır. Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti (V_{th}) ise 541.16 olarak hesaplanmıştır. Denklem 6.85’de yerine koyduğumuzda $541.16 \leq 583.19 + 0.3 \cdot 559.66$ şartını sağladığı görülmektedir. Buda kayma tahkiki açısından modelin güvenli olduğunu belirtmektedir.

6.8.3 Temel taşıma gücü tahkiki parametrelerinin hesaplanması

Burada dikkat edilmesi gereken kriter ise zemine aktarılan yüklerin zemin emniyet gerilmesinden fazla olmamasıdır. Burada temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi ve temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi hesaplamak gerekmektedir.

$$0 < q_{min} ; \quad q_{max} < q_a \quad (6.88)$$

Burada q_{min} temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi, q_{max} temel tabanında oluşacak maksimum gerilmeyi, q_a ise zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücünü göstermektedir. Model-8 için temel tabanında oluşacak minimum gerilmeyi 1.83 kN/m², maksimum gerilmeyi ise 265.08 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Zeminin izin verilebilir güvenli taşıma gücü (q_a) ise 300 kN/m² olarak belirlenmiştir. Değerlere bakıldığında temel taşıma gücü tahkiki bakımında model-8 istinat duvarının güvenli olduğu görülmektedir.

7. İSTİNAT DUVARLARININ PLAXIS PROGRAMINDA MODELLENMESİ VE ANALİZİ

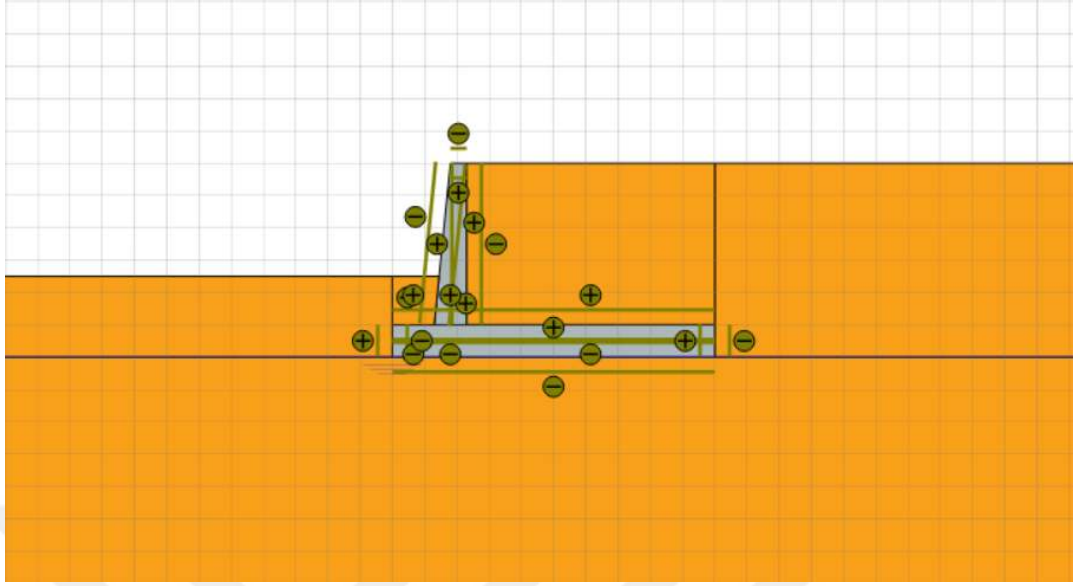
Bu bölümde, tez çalışması için oluşturulan 8 model için Plaxis 2D programında modellemenin nasıl yapıldığı, hangi değerlerinin kullanıldığı ve analizinin nasıl yapıldığı açıklanmıştır. Her model için farklı özellik ve boyutlar kullanılarak alt başlıklarda bu boyutlar ve özellikler gösterilmiştir. Modellemelerin analizi için kullanılan deprem verileri İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'nün (AFAD) Türkiye İvme Veritabanı ve Analiz Sistemi (TADAS) sitesi üzerinden alınmıştır. Model 1-2 için 23 Ekim 2011 Van (7.0), Model 3-4 için 20 Şubat 2023 Hatay (6.4), Model 5 -6 için 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Elbistan (7.6) ve Model 7-8 için 13 Mart 1992 (6.6) Erzincan depremlerinin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır.

7.1 Model-1

Model 1 için 23 Ekim 2011'de Van'da gerçekleşen 7.0 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-1 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.1'de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.2'de ve 7.3'de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.4 ve 7.5'de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.6, 7.7, 7.8 ve 7.9'da gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Model-1 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-1
TG (m)	6
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1
SĞT (m)	4
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m3)	18
Uygulanan Deprem	VAN



Şekil 7.1. Model-1 için Plaxis 2D modellemesi

Soil - Mohr-Coulomb - Z1			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Material set			
Identification		Z1	
Material model		Mohr-Coulomb	
Drainage type		Undrained (B)	
Colour		RGB 249, 160, 26	
Comments			
General properties			
V_{unsat}	kN/m ³	18,00	
V_{sat}	kN/m ³	18,00	

Şekil 7.2. Model-1 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E'	kN/m ²	15,00E3	
ν' (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	6250	
E _{oed}	kN/m ²	16,67E3	
Strength			
s _{u,ref}	kN/m ²	150,0	
φ _u (phi)	°	0,000	
ψ (psi)	°	0,000	
Velocities			
V _s	m/s	58,36	
V _p	m/s	95,31	

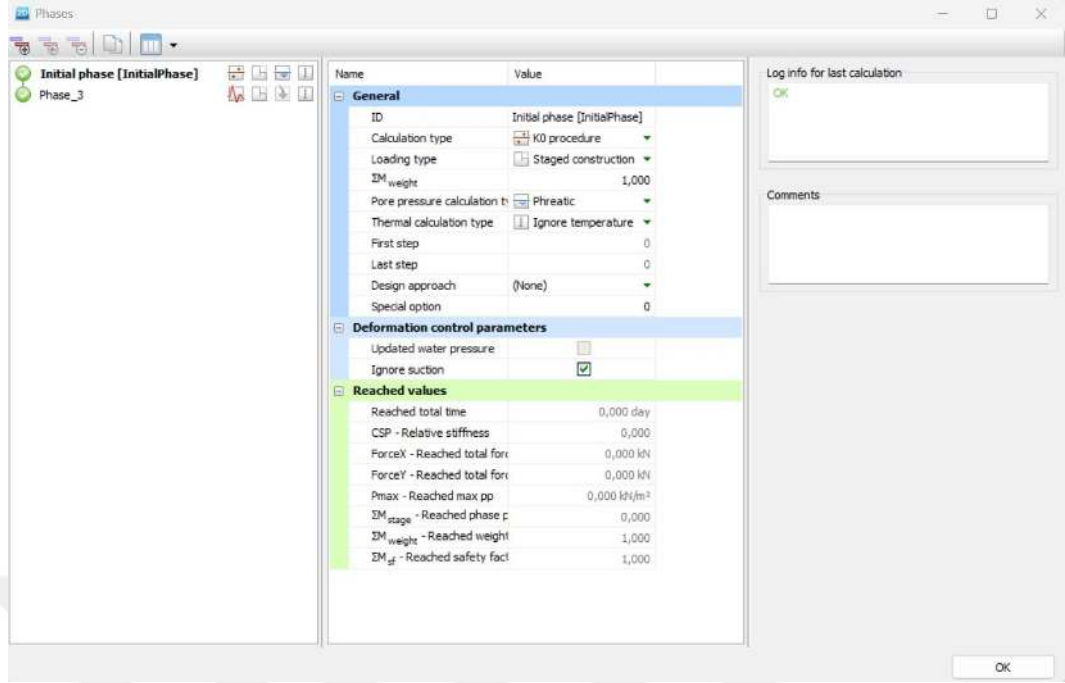
Şekil 7.3. Model-1 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Material set			
Identification		BETON	
Material model		Linear elastic	
Drainage type		Non-porous	
Colour		RGB 172, 184, 185	
Comments			
General properties			
Y _{unsat}	kN/m ³	25,00	
Y _{sat}	kN/m ³	25,00	

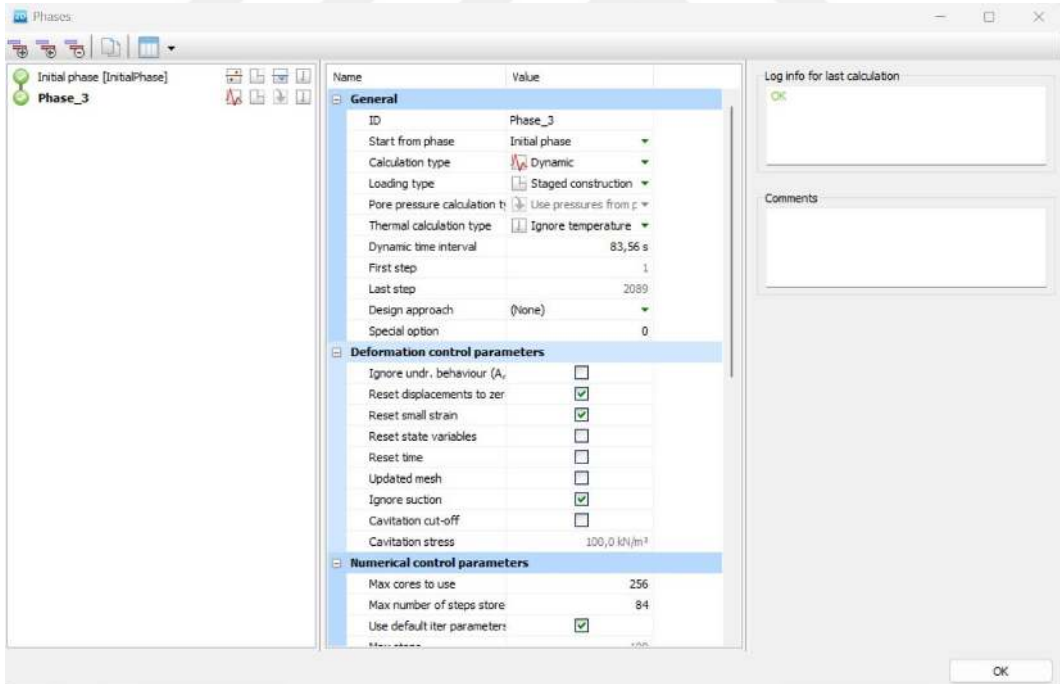
Şekil 7.4. Model-1 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E	kN/m ²	30,00E6	
ν (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	12,50E6	
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6	
Velocities			
V _s	m/s	2215	
V _p	m/s	3617	

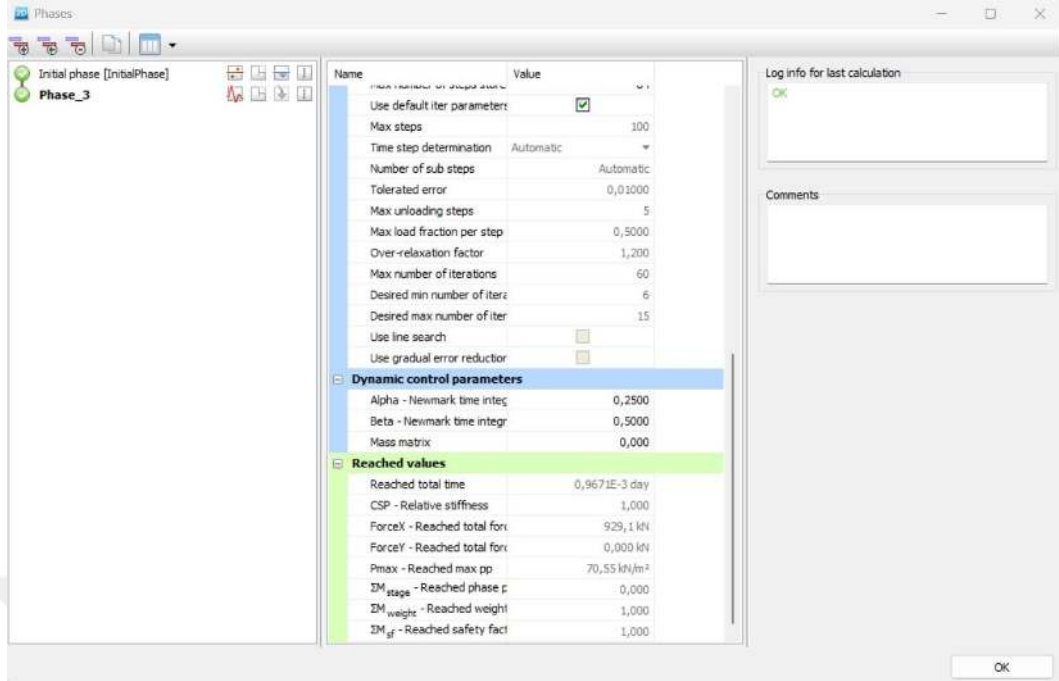
Şekil 7.5. Model-1 için İstinat duvarı parametreleri



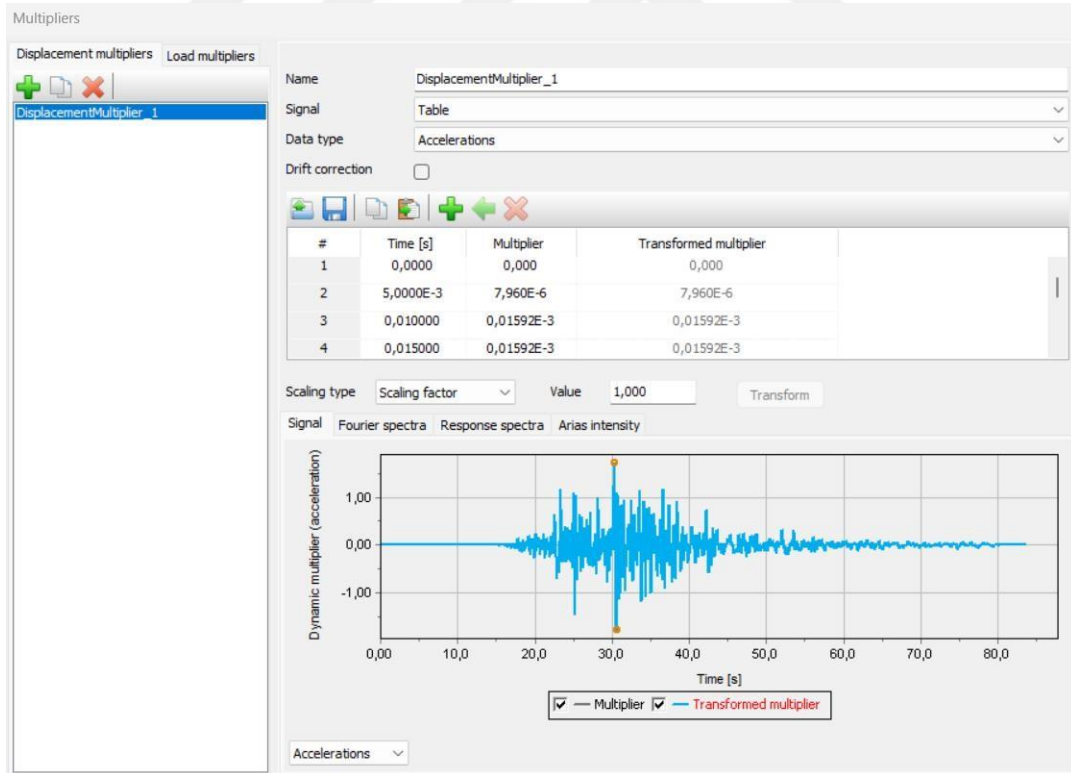
Şekil 7.6. Model-1 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.7. Model-1 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.8. Model-1 için Plaxis 2D analiz ayarları



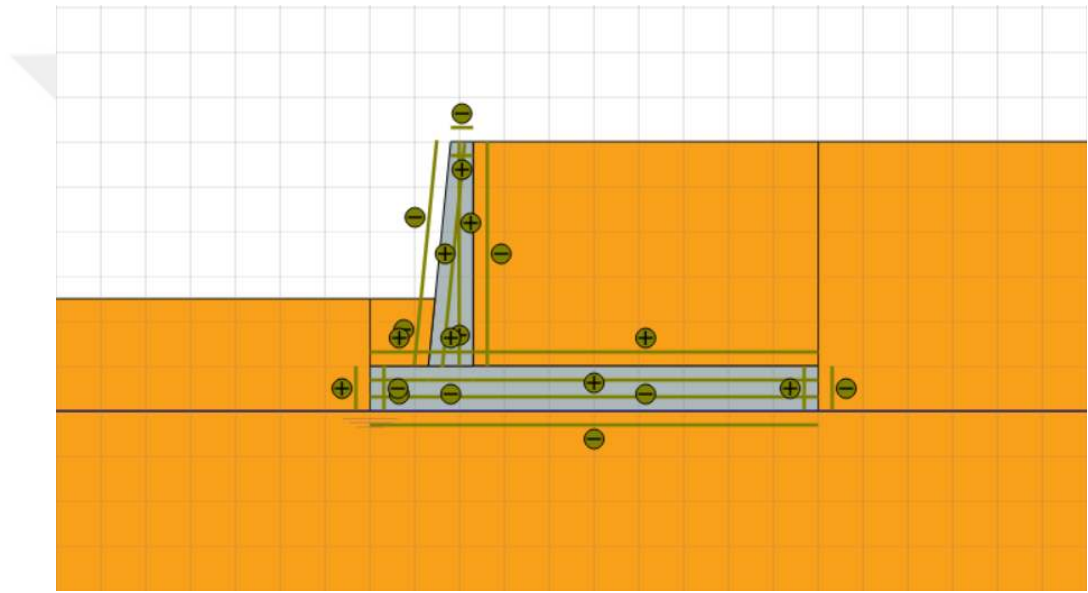
Şekil 7.9. Model-1 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

7.2 Model-2

Model 2 için 23 Ekim 2011’de Van’da gerçekleşen 7.0 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-2 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.2’de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.10’de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.11’de ve 7.12’de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.13 ve 7.14’de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.15, 7.16, 7.17 ve 7.18’de gösterilmiştir.

Tablo 7.2. Model-2 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-2
TG (m)	5.4
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1
SĞT (m)	3.4
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m3)	24
Uygulanan Deprem	VAN



Şekil 7.10. Model-2 için Plaxis 2D modellemesi

iOil - Mohr-Coulomb - Z1		
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial		
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Z1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (B)
Colour		RGB 249, 160, 26
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	24,00
γ_{sat}	kN/m ³	24,00

Şekil 7.11. Model-2 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E'	kN/m ²	15,00E3	
v' (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	6250	
E _{oed}	kN/m ²	16,67E3	
Strength			
s _{w,ref}	kN/m ²	150,0	
φ _w (phi)	°	0,000	
ψ (psi)	°	0,000	
Velocities			
V _s	m/s	50,54	
V _p	m/s	82,54	

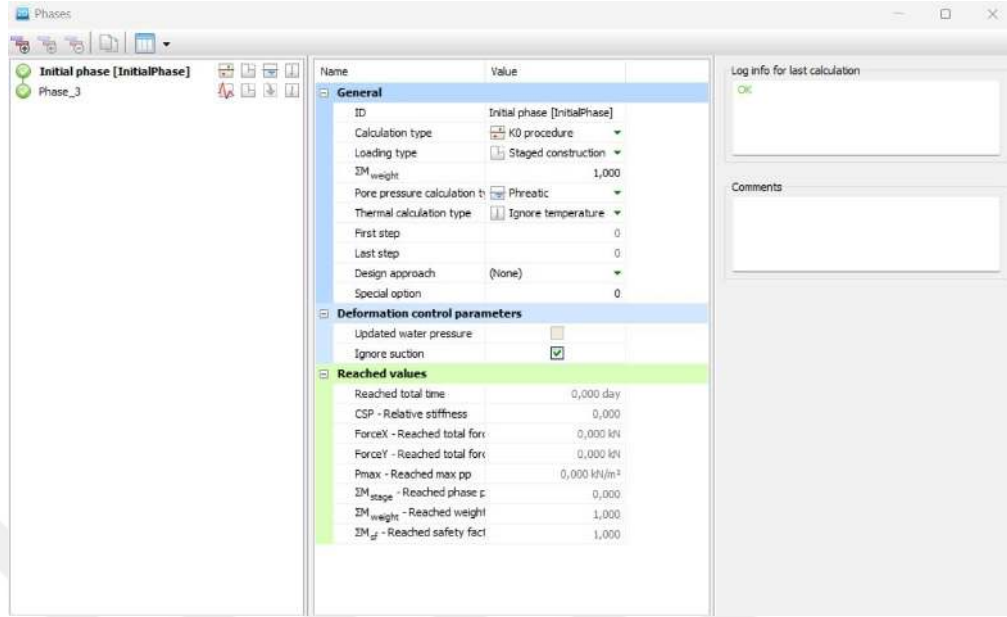
Şekil 7.12. Model-2 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Material set			
Identification		BETON	
Material model		Linear elastic	
Drainage type		Non-porous	
Colour		RGB 172, 184, 185	
Comments			
General properties			
Y _{unsat}	kN/m ³	25,00	
Y _{sat}	kN/m ³	25,00	

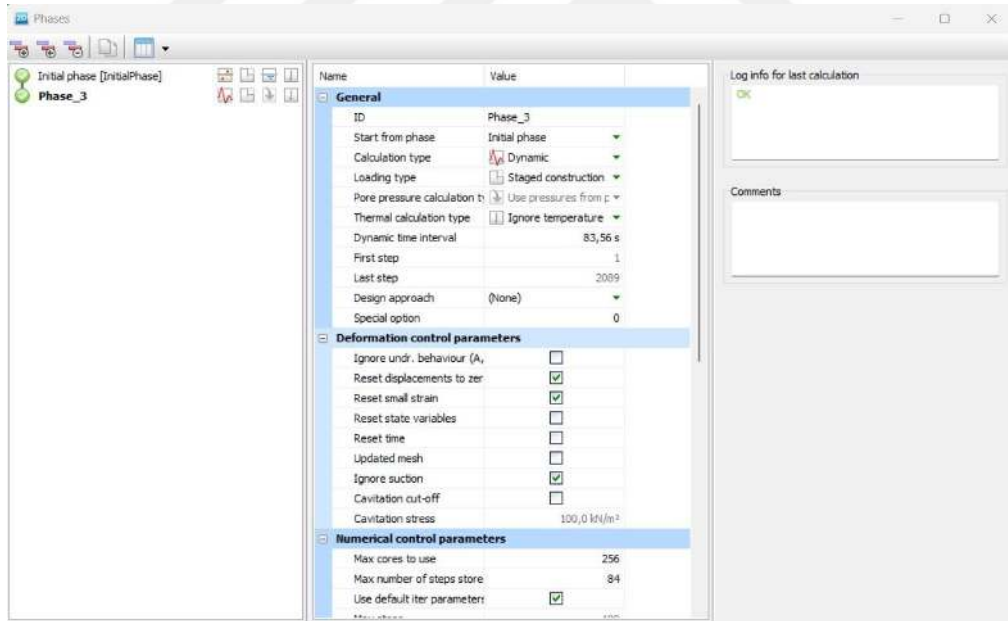
Şekil 7.13. Model-2 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E	kN/m ²	30,00E6	
v (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	12,50E6	
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6	
Velocities			
V _s	m/s	2215	
V _p	m/s	3617	

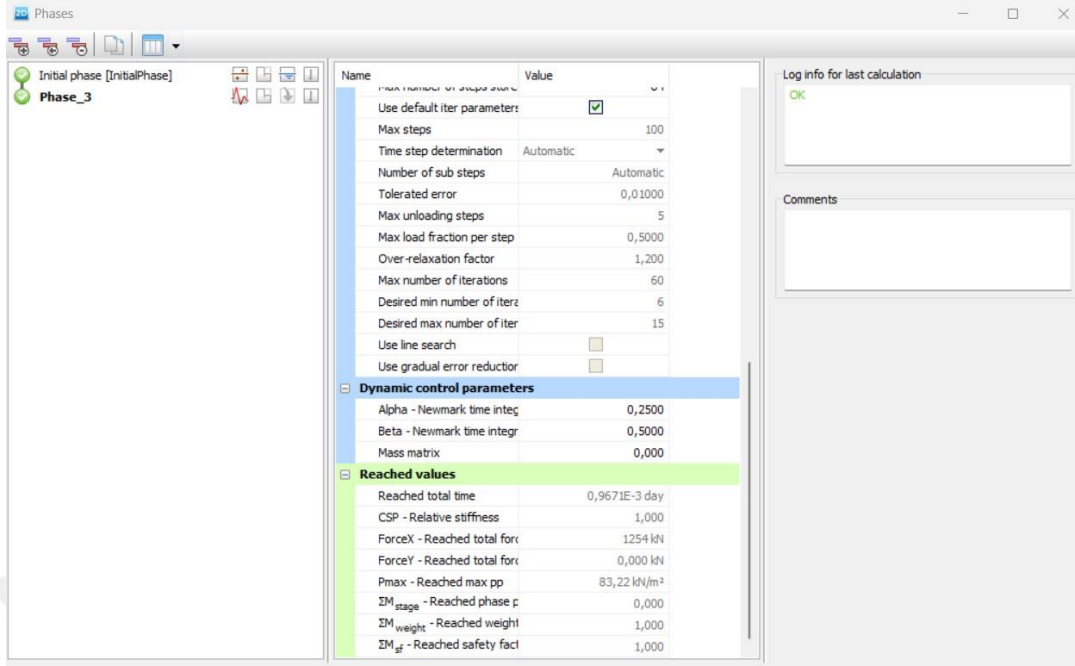
Şekil 7.14. Model-2 için İstinat duvarı parametreleri



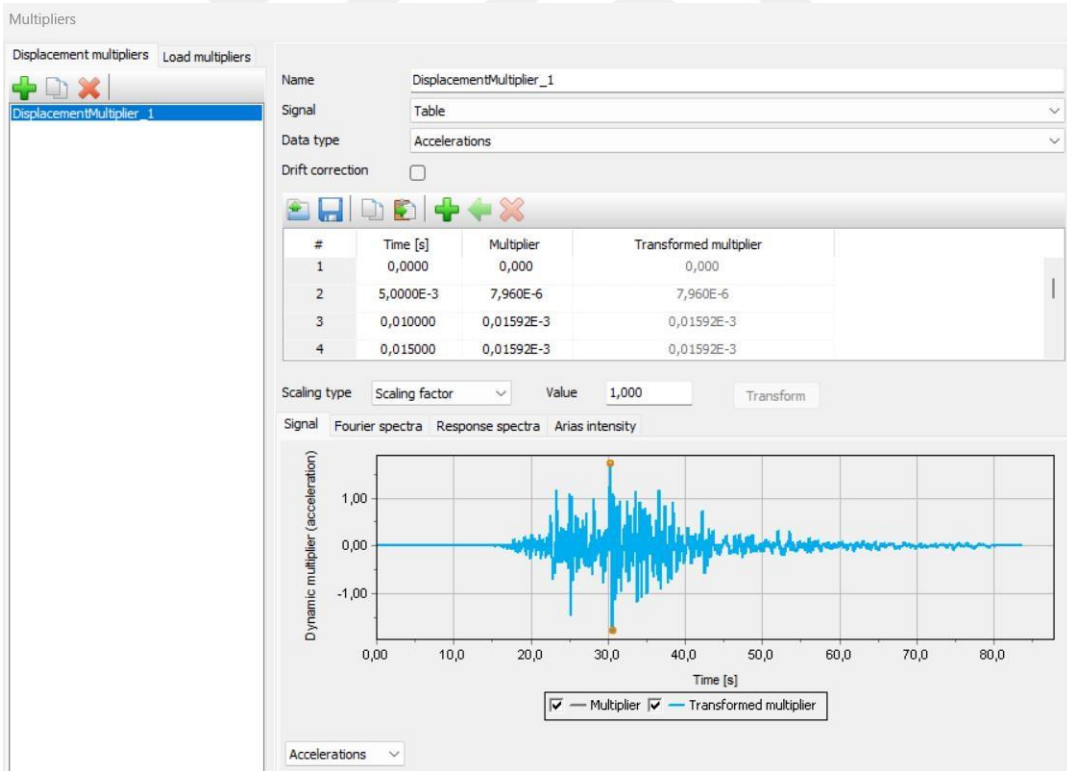
Şekil 7.15. Model-2 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.16. Model-2 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.17. Model-2 için Plaxis 2D analiz ayarları



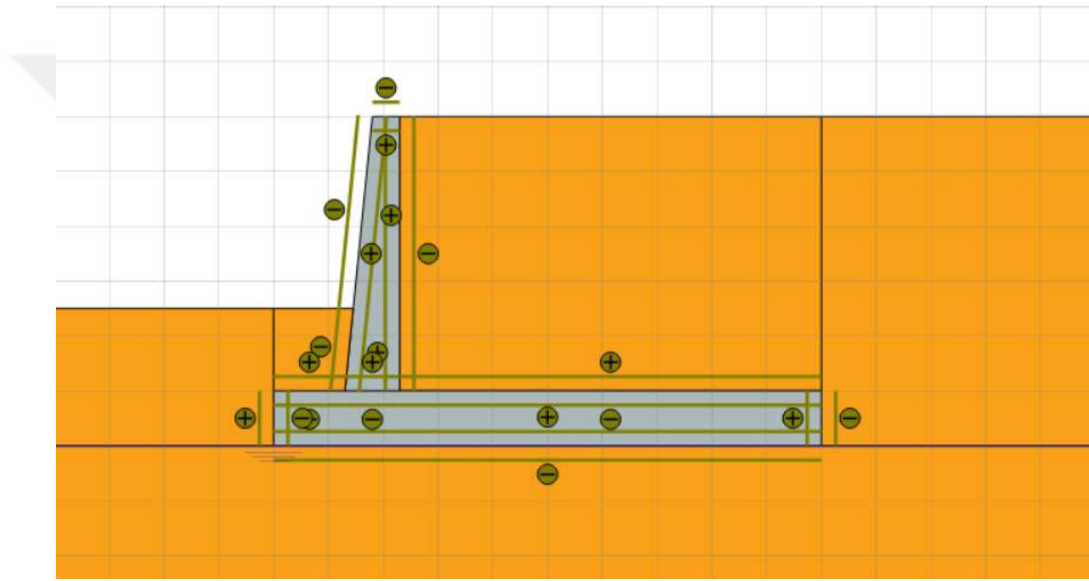
Şekil 7.18. Model-2 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

7.3 Model-3

Model 3 için 20 Şubat 2023'de Hatay'da gerçekleşen 6.4 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-3 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.3'de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.19'de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.20'de ve 7.21'de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.22 ve 7.23'de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.24, 7.25, 7.26 ve 7.27'da gösterilmiştir.

Tablo 7.3. Model-3 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-3
TG (m)	9
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1.2
SĞT (m)	6.8
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m3)	18
Uygulanan Deprem	HATAY



Şekil 7.19. Model-3 için Plaxis 2D modellemesi

sil - Mohr-Coulomb - Z1		
		
General	Parameters	Groundwater Thermal Interfaces Initial
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Z1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (B)
Colour		RGB 249, 160, 26
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	18,00
γ_{sat}	kN/m ³	18,00

Şekil 7.20. Model-3 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E'	kN/m ²	15,00E3	
ν' (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	6250	
E _{oed}	kN/m ²	16,67E3	
Strength			
s _{u,ref}	kN/m ²	150,0	
φ _u (phi)	°	0,000	
ψ (psi)	°	0,000	
Velocities			
V _s	m/s	58,36	
V _p	m/s	95,31	

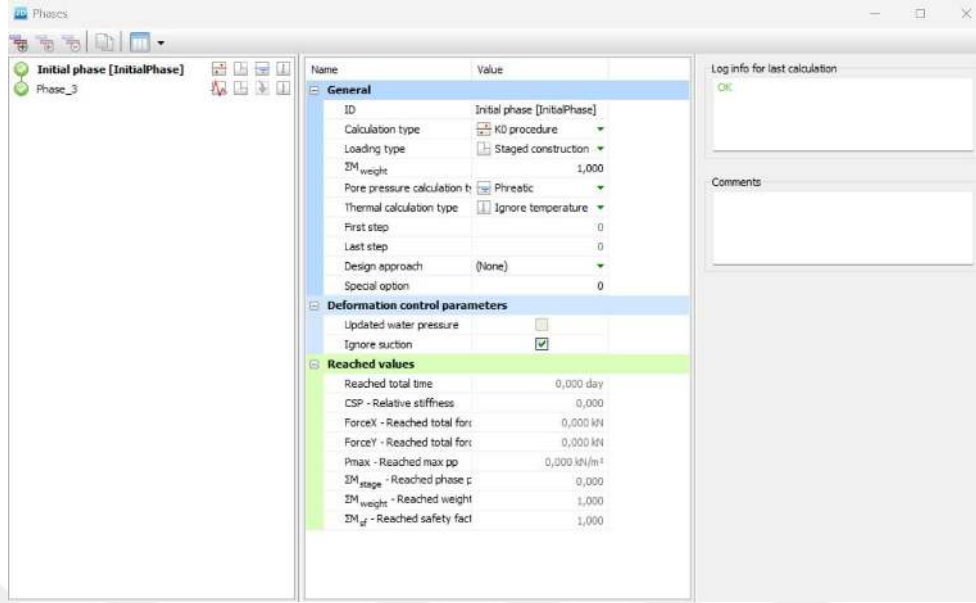
Şekil 7.21. Model-3 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Material set			
Identification		BETON	
Material model		Linear elastic	
Drainage type		Non-porous	
Colour		RGB 172, 184, 185	
Comments			
General properties			
Y _{unsat}	kN/m ³	25,00	
Y _{sat}	kN/m ³	25,00	

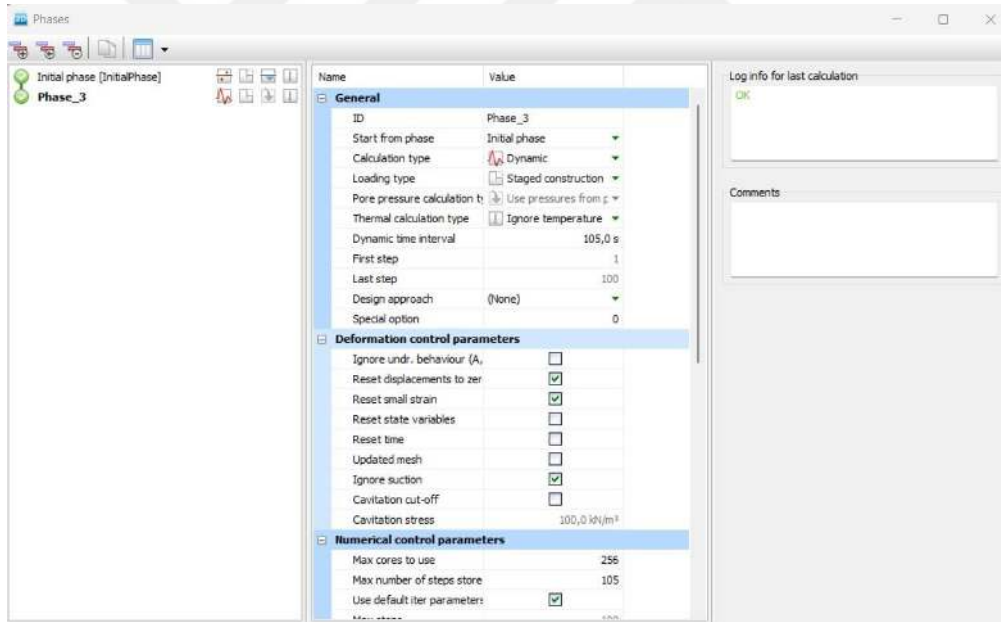
Şekil 7.22. Model-3 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E	kN/m ²	30,00E6	
ν (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	12,50E6	
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6	
Velocities			
V _s	m/s	2215	
V _p	m/s	3617	

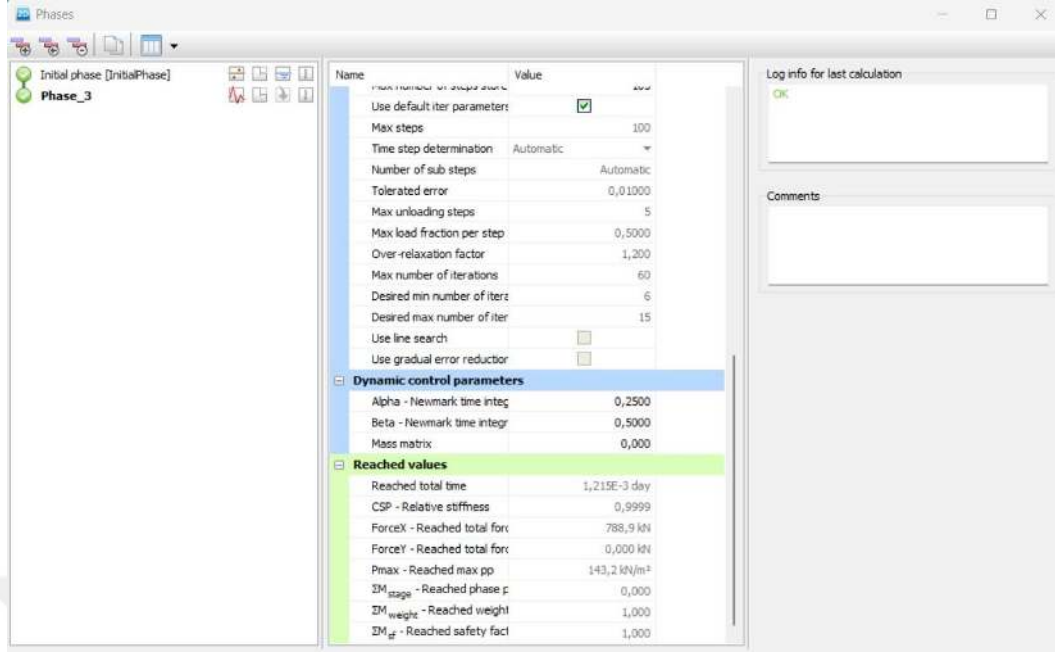
Şekil 7.23. Model-3 için İstinat duvarı parametreleri



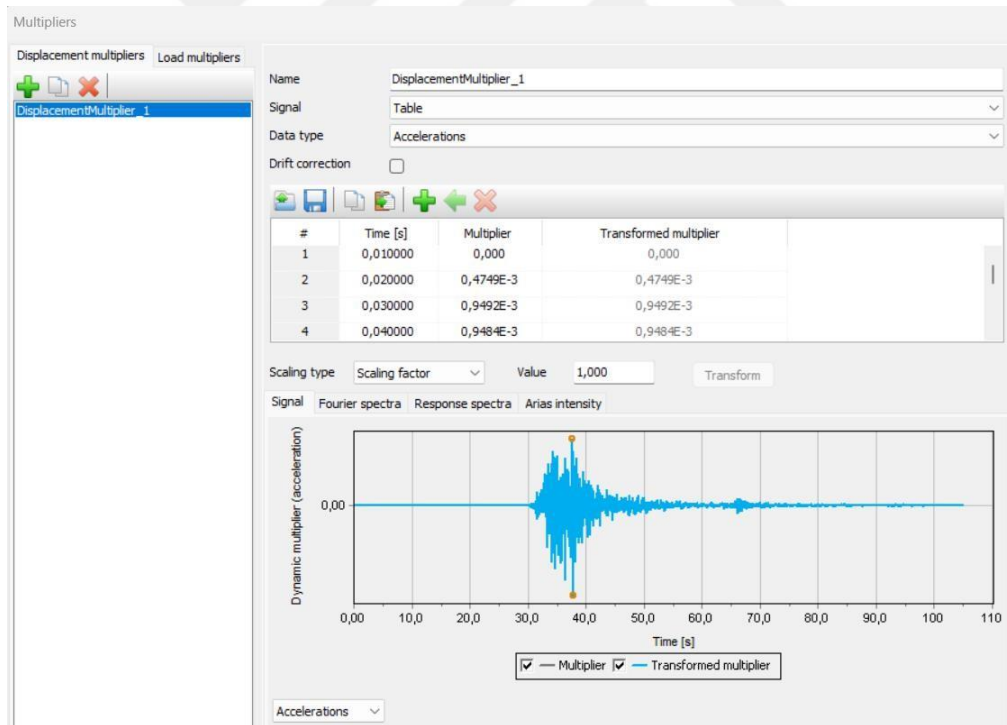
Şekil 7.24. Model-3 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.25. Model-3 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.26. Model-3 için Plaxis 2D analiz ayarları



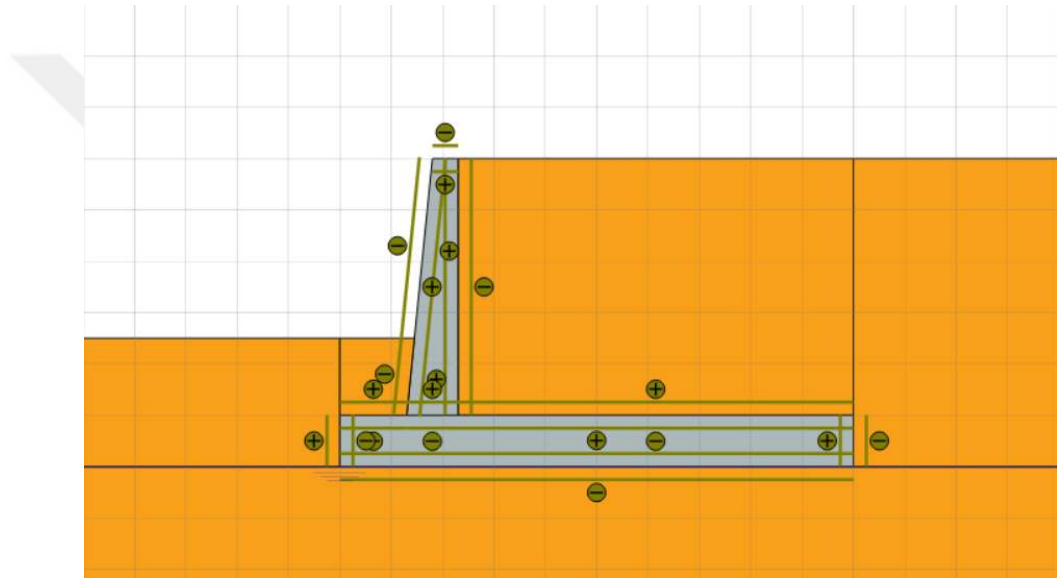
Şekil 7.27. Model-3 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

7.4 Model-4

Model 4 için 20 Şubat 2023'de Hatay'da gerçekleşen 6.4 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-3 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.4'de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.28'de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.29'de ve 7.30'de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.31 ve 7.32'de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.33, 7.34, 7.35 ve 7.36'da gösterilmiştir.

Tablo 7.4. Model-4 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-4
TG (m)	10
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1.3
SĞT (m)	7.7
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m3)	24
Uygulanan Deprem	HATAY



Şekil 7.28. Model-4 için Plaxis 2D modellemesi

Z1 - Mohr-Coulomb - Z1		
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial		
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Z1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (B)
Colour		RGB 249, 160, 26
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	24,00
γ_{sat}	kN/m ³	24,00

Şekil 7.29. Model-4 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E'	kN/m ²	15,00E3	
v' (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	6250	
E _{oed}	kN/m ²	16,67E3	
Strength			
s _{u,ref}	kN/m ²	150,0	
φ _u (phi)	°	0,000	
ψ (psi)	°	0,000	
Velocities			
V _s	m/s	50,54	
V _p	m/s	82,54	

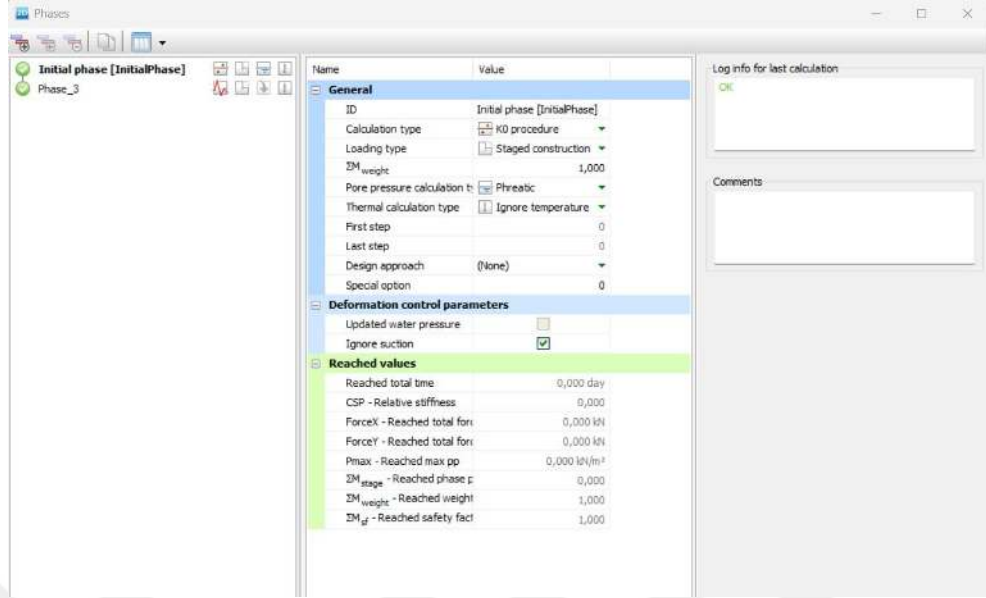
Şekil 7.30. Model-4 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Material set			
Identification		BETON	
Material model		Linear elastic	
Drainage type		Non-porous	
Colour		RGB 172, 184, 185	
Comments			
General properties			
Y _{unsat}	kN/m ³	25,00	
Y _{sat}	kN/m ³	25,00	

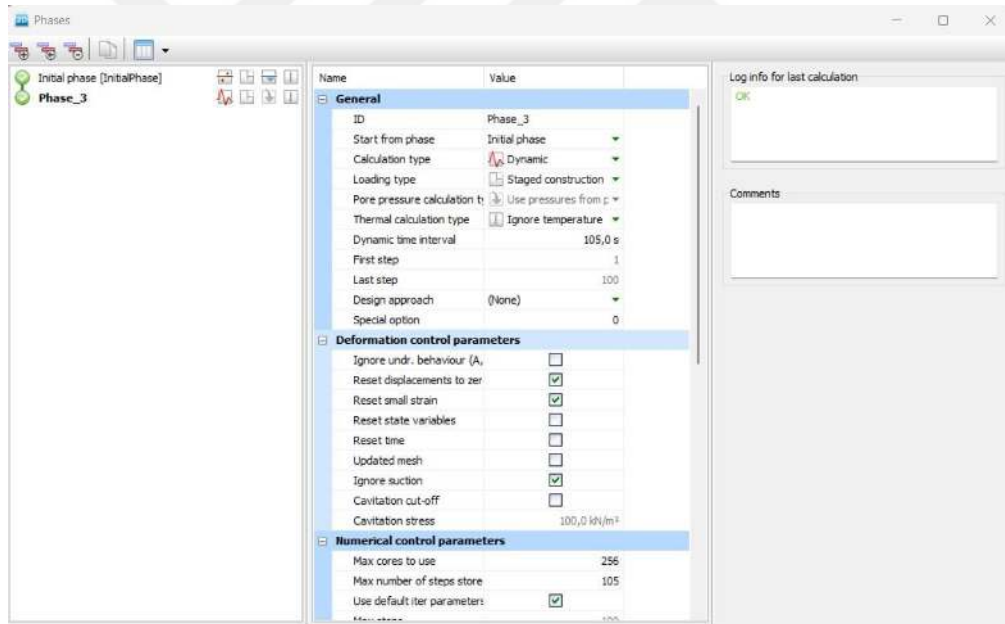
Şekil 7.31. Model-4 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E	kN/m ²	30,00E6	
v (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	12,50E6	
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6	
Velocities			
V _s	m/s	2215	
V _p	m/s	3617	

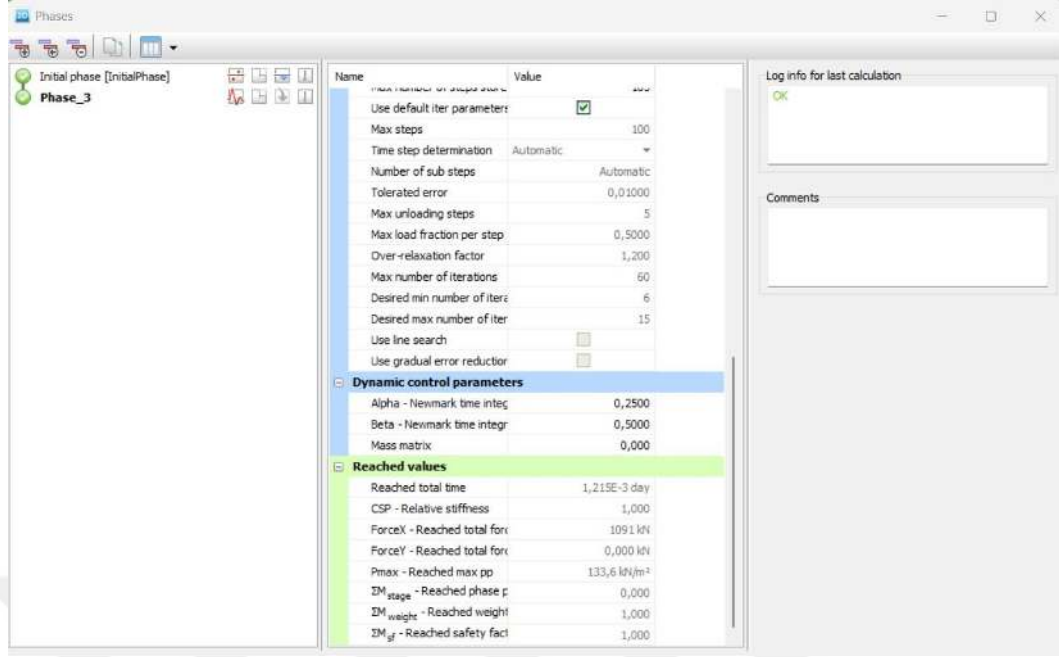
Şekil 7.32. Model-4 için İstinat duvarı parametreleri



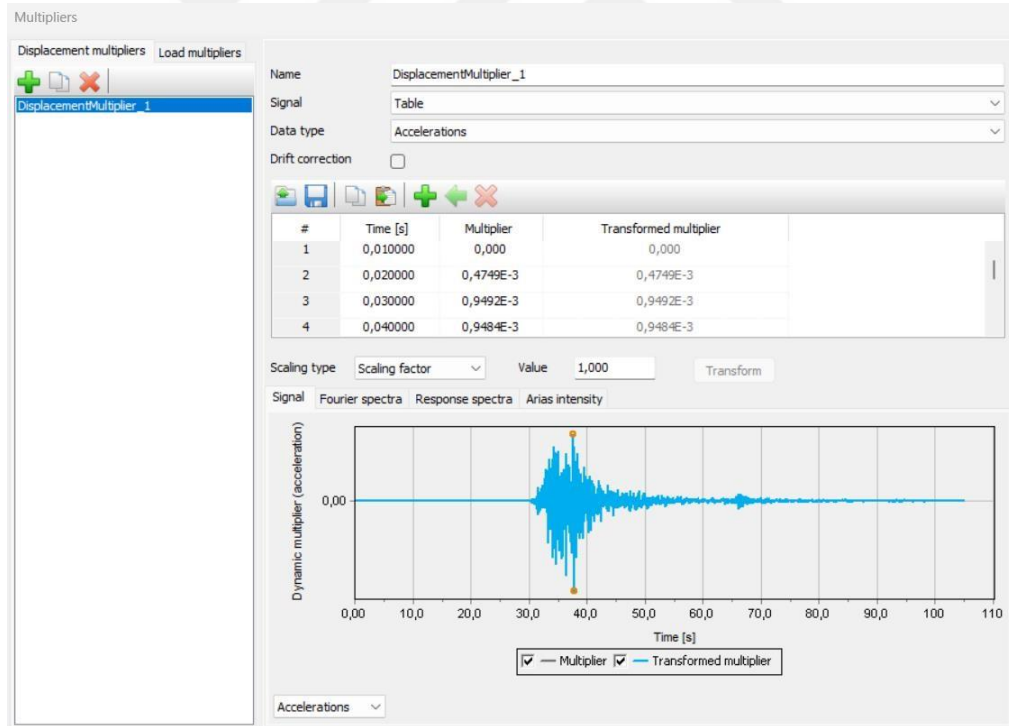
Şekil 7.33. Model-4 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.34. Model-4 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.35. Model-4 için Plaxis 2D analiz ayarları



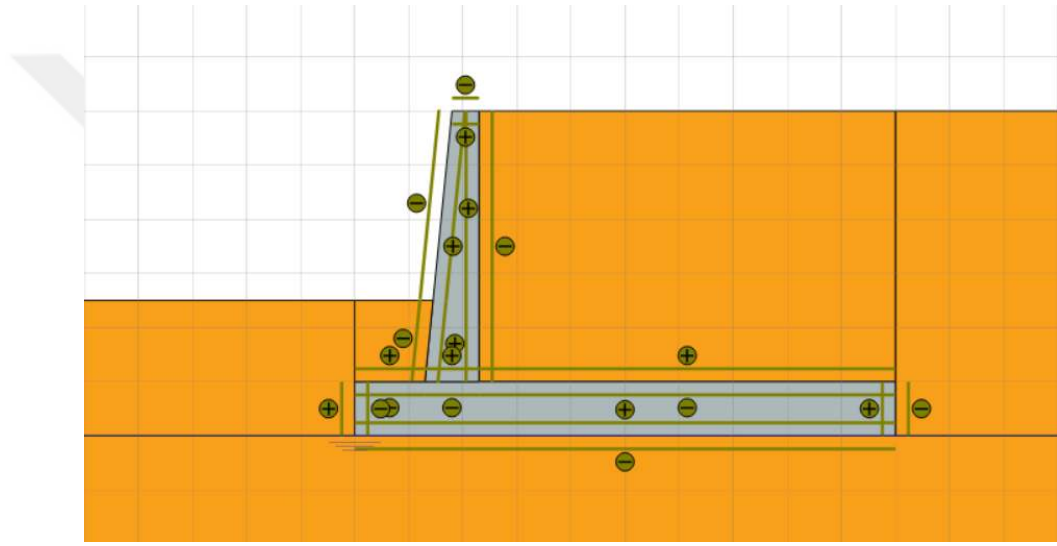
Şekil 7.36. Model-4 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

7.5 Model-5

Model 5 için 6 Şubat 2023'de Kahramanmaraş Elbistan'da gerçekleşen 7.6 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-5 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.5'de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.37'de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.38'de ve 7.39'de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.40 ve 7.41'de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.42, 7.43, 7.44 ve 7.45'da gösterilmiştir.

Tablo 7.5. Model-5 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-5
TG (m)	8
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1.2
SĞT (m)	5.8
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m3)	18
Uygulanan Deprem	ELBİSTAN



Şekil 7.37. Model-5 için Plaxis 2D modellemesi

iOil - Mohr-Coulomb - Z1		
  		
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial		
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Z1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (B)
Colour		RGB 249, 160, 26
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	18,00
γ_{sat}	kN/m ³	18,00

Şekil 7.38. Model-5 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1



GeneralParametersGroundwaterThermalInterfacesInitial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m²	15,00E3
ν' (nu)		0,2000
Alternatives		
G	kN/m²	6250
E _{oed}	kN/m²	16,67E3
Strength		
s _{u,ref}	kN/m²	150,0
φ _u (phi)	°	0,000
ψ (psi)	°	0,000
Velocities		
V _s	m/s	58,36
V _p	m/s	95,31

Şekil 7.39. Model-5 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON

GeneralParametersGroundwaterThermalInterfacesInitial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		BETON
Material model		Linear elastic
Drainage type		Non-porous
Colour		RGB 172, 184, 185
Comments		
General properties		
Y _{unsat}	kN/m³	25,00
Y _{sat}	kN/m³	25,00

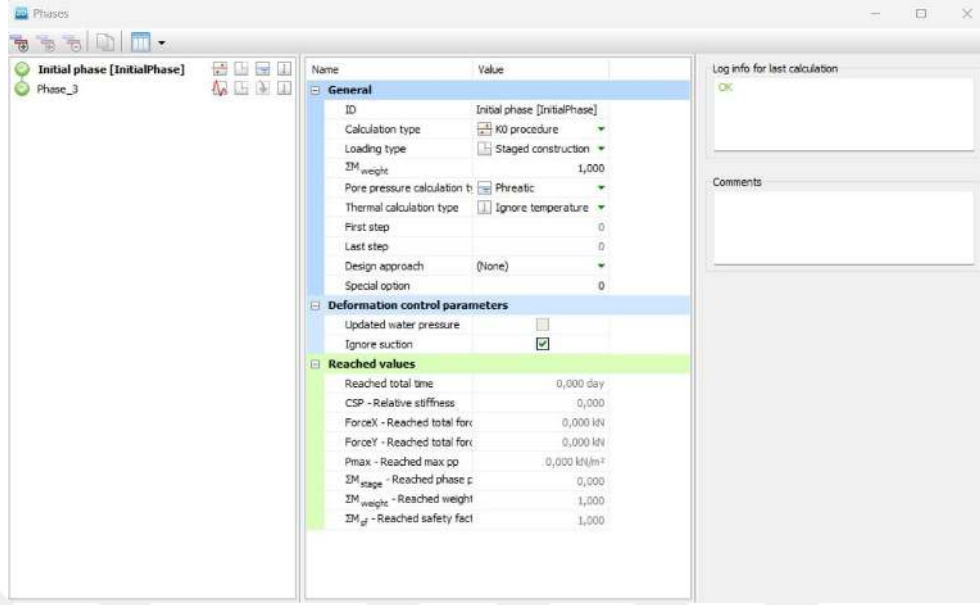
Şekil 7.40. Model-5 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON

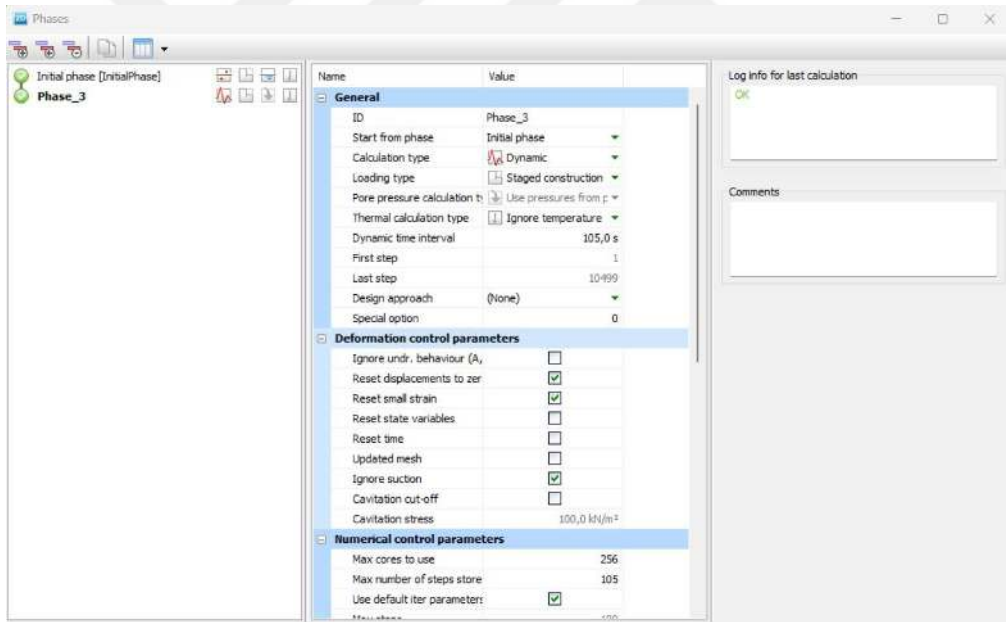
GeneralParametersGroundwaterThermalInterfacesInitial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E	kN/m ²	30,00E6
ν (nu)		0,2000
Alternatives		
G	kN/m ²	12,50E6
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6
Velocities		
V _s	m/s	2215
V _p	m/s	3617

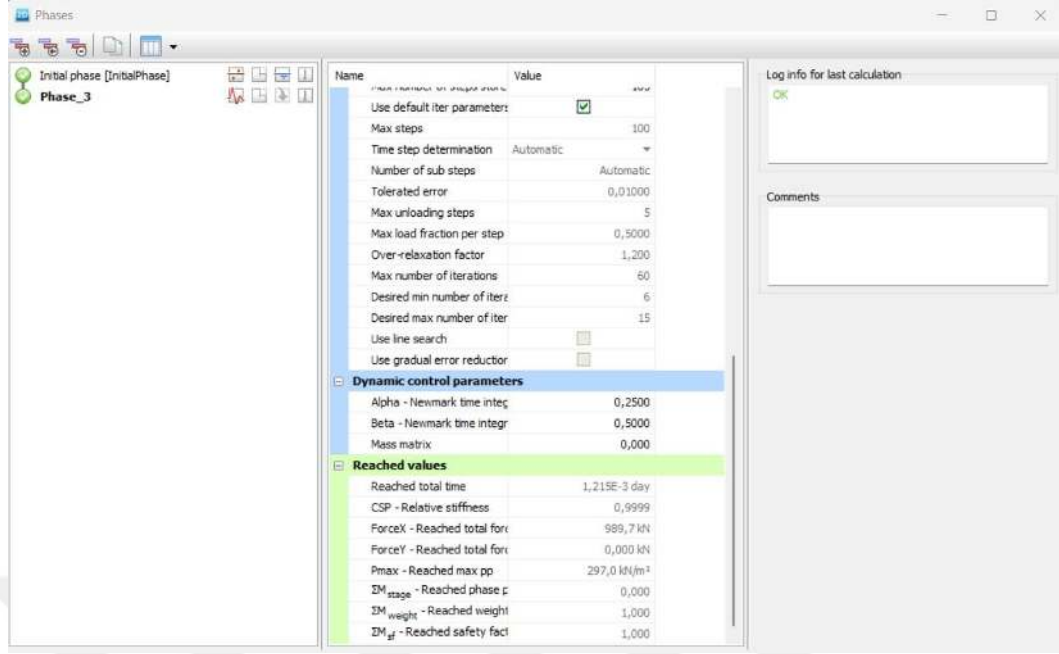
Şekil 7.41. Model-5 için İstinat duvarı parametreleri



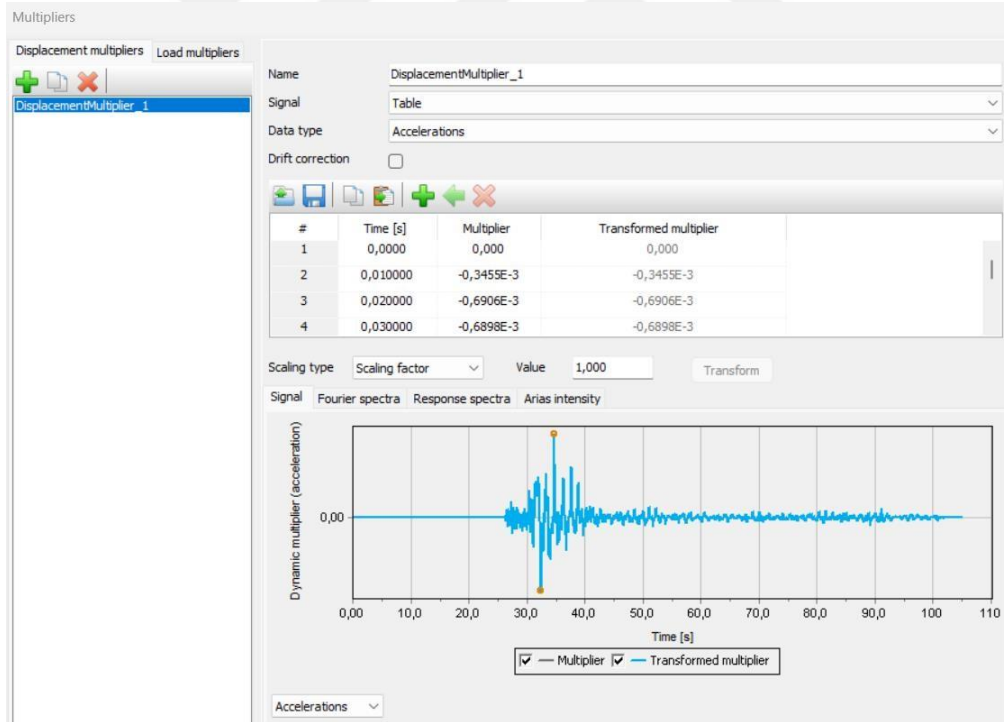
Şekil 7.42. Model-5 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.43. Model-5 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.44. Model-5 için Plaxis 2D analiz ayarları



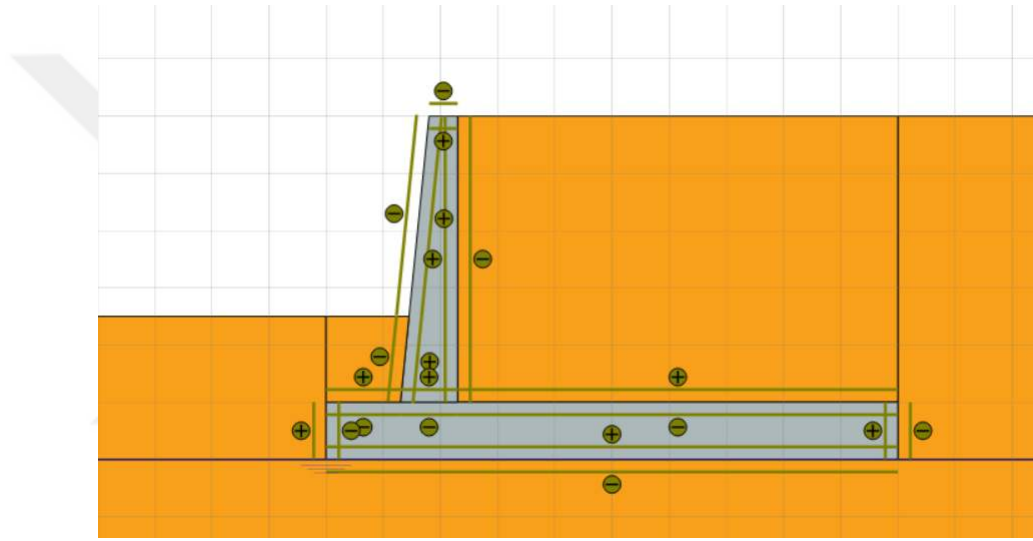
Şekil 7.45. Model-5 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

7.6 Model-6

Model 6 için 6 Şubat 2023'de Kahramanmaraş Elbistan'da gerçekleşen 7.6 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-6 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.6'de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.46'de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.47'de ve 7.48'de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.49 ve 7.50'de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.51, 7.52, 7.53 ve 7.54'de gösterilmiştir.

Tablo 7.6. Model-6 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-6
TG (m)	8.8
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1.2
SĞT (m)	6.6
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	24
Uygulanan Deprem	ELBİSTAN



Şekil 7.46. Model-6 için Plaxis 2D modellemesi

soil - Mohr-Coulomb - Z1		
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial		
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Z1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (B)
Colour		RGB 249, 160, 26
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	24,00
γ_{sat}	kN/m ³	24,00

Şekil 7.47. Model-6 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	15,00E3
v' (nu)		0,2000
Alternatives		
G	kN/m ²	6250
E _{oed}	kN/m ²	16,67E3
Strength		
s _{u,ref}	kN/m ²	150,0
φ _u (phi)	°	0,000
ψ (psi)	°	0,000
Velocities		
V _s	m/s	50,54
V _p	m/s	82,54

Şekil 7.48. Model-6 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		BETON
Material model		Linear elastic
Drainage type		Non-porous
Colour		RGB 172, 184, 185
Comments		
General properties		
Y _{unsat}	kN/m ³	25,00
Y _{sat}	kN/m ³	25,00

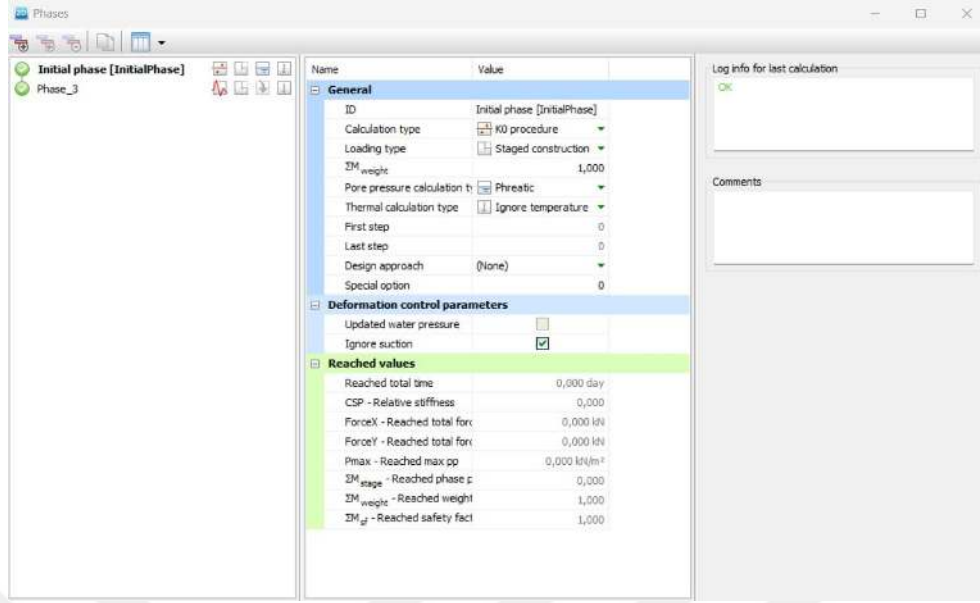
Şekil 7.49. Model-6 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON

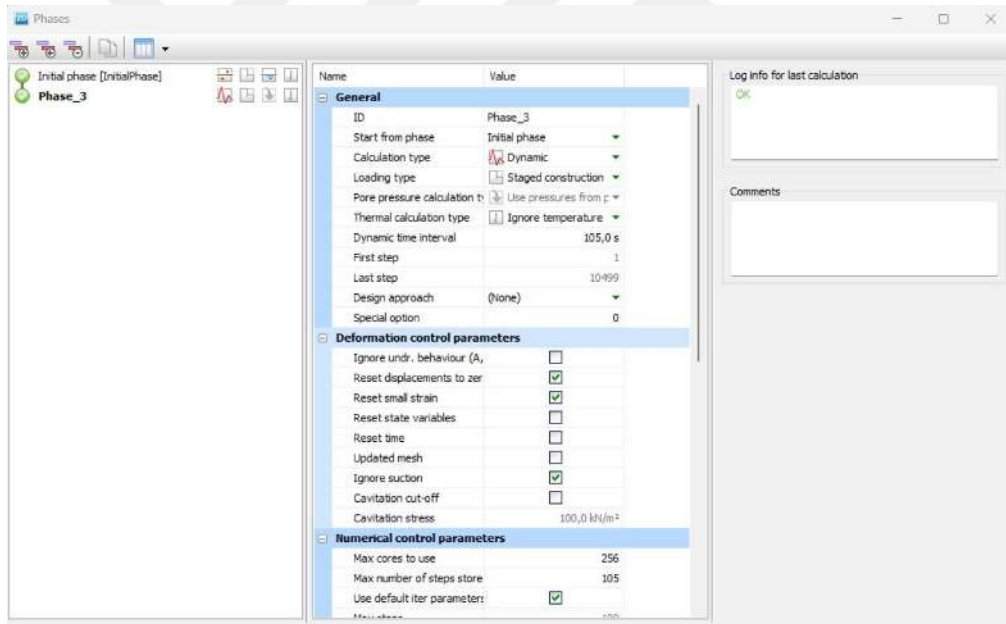
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E	kN/m ²	30,00E6
v (nu)		0,2000
Alternatives		
G	kN/m ²	12,50E6
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6
Velocities		
V _s	m/s	2215
V _p	m/s	3617

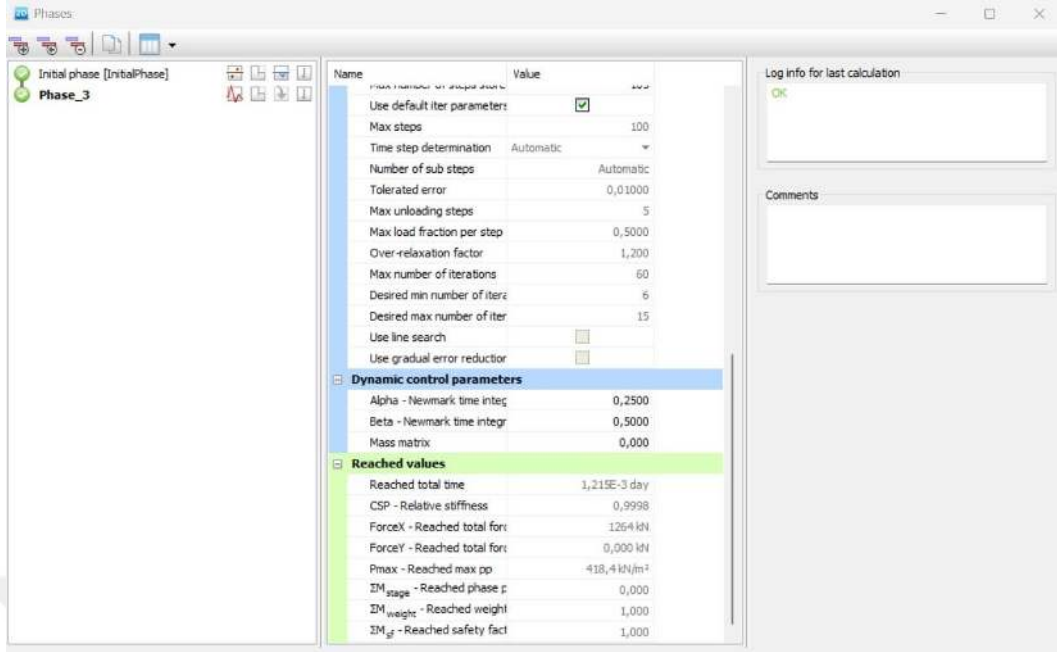
Şekil 7.50. Model-6 için İstinat duvarı parametreleri



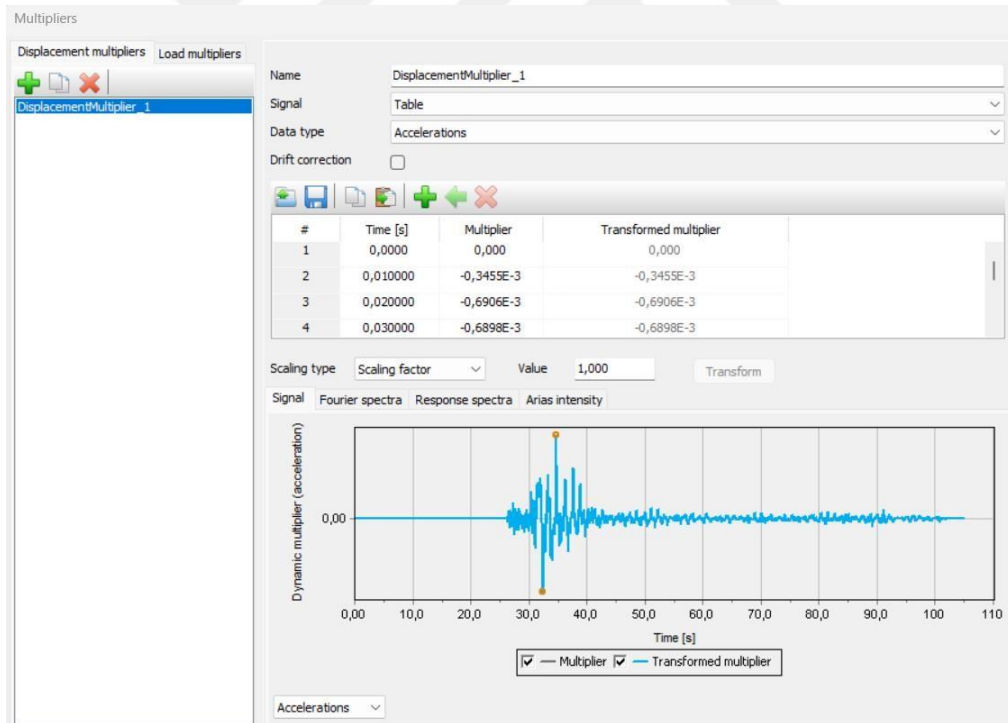
Şekil 7.51. Model-6 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.52. Model-6 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.53. Model-6 için Plaxis 2D analiz ayarları



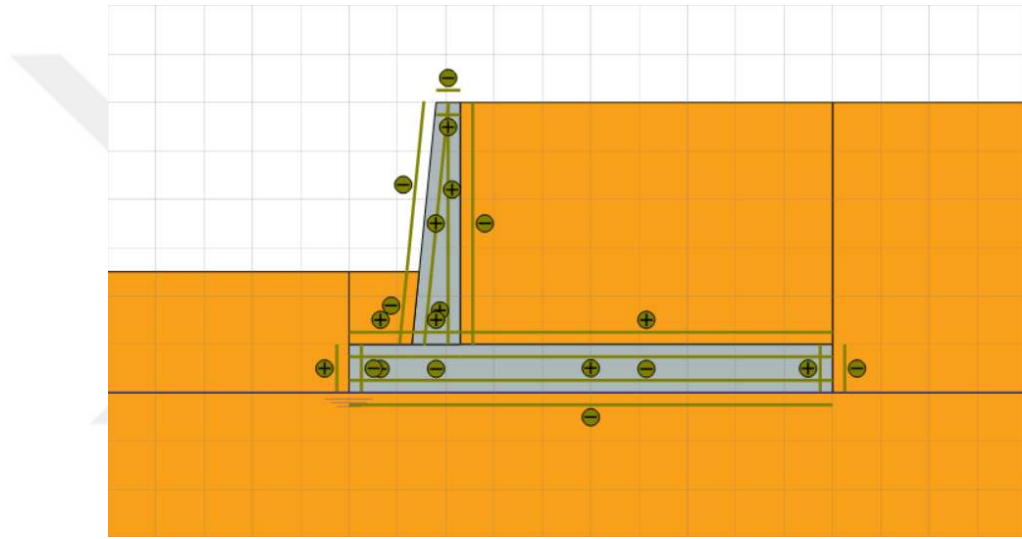
Şekil 7.54. Model-6 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

7.7 Model-7

Model 7 için 13 Mart 1992'de Erzincan'da gerçekleşen 6.6 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-7 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.7'de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.55'de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.56'de ve 7.57'de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.58 ve 7.59'de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.60, 7.61, 7.62 ve 7.63'de gösterilmiştir.

Tablo 7.7. Model-7 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-7
TG (m)	7.5
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1
SĞT (m)	5.5
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m3)	18
Uygulanan Deprem	ERZİNCAN



Şekil 7.55. Model-7 için Plaxis 2D modellemesi

Z1 - Mohr-Coulomb - Z1		
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial		
property	Unit	Value
Material set		
Identification		Z1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (B)
Colour		RGB 249, 160, 26
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	18,00
γ_{sat}	kN/m ³	18,00

Şekil 7.56. Model-7 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	15,00E3
ν' (nu)		0,2000
Alternatives		
G	kN/m ²	6250
E _{oed}	kN/m ²	16,67E3
Strength		
s _{w,ref}	kN/m ²	150,0
ϕ_u (phi)	°	0,000
ψ (psi)	°	0,000
Velocities		
V _s	m/s	58,36
V _p	m/s	95,31

Şekil 7.57. Model-7 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		BETON
Material model		Linear elastic
Drainage type		Non-porous
Colour		RGB 172, 184, 185
Comments		
General properties		
Y _{unsat}	kN/m ³	25,00
Y _{sat}	kN/m ³	25,00

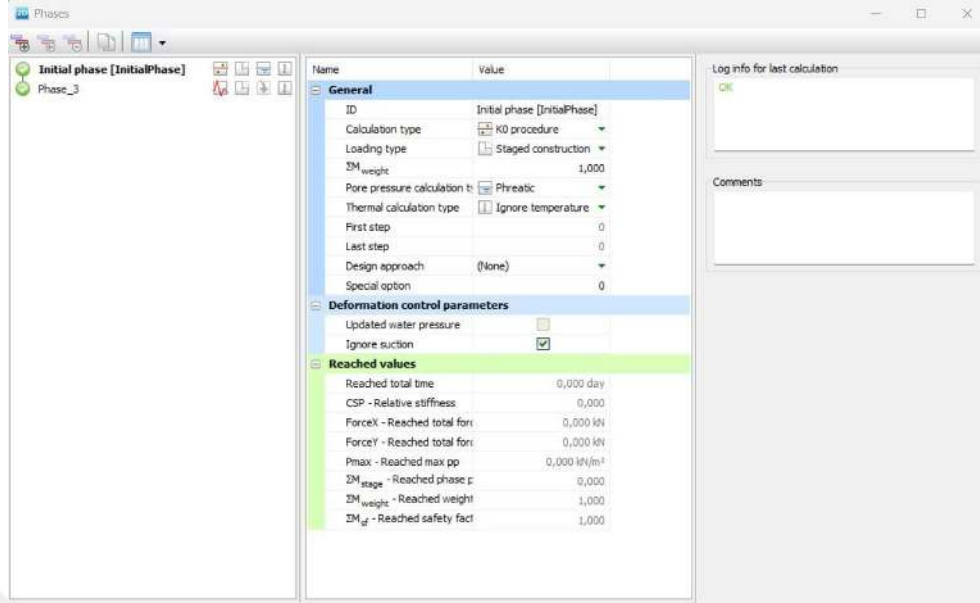
Şekil 7.58. Model-7 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON

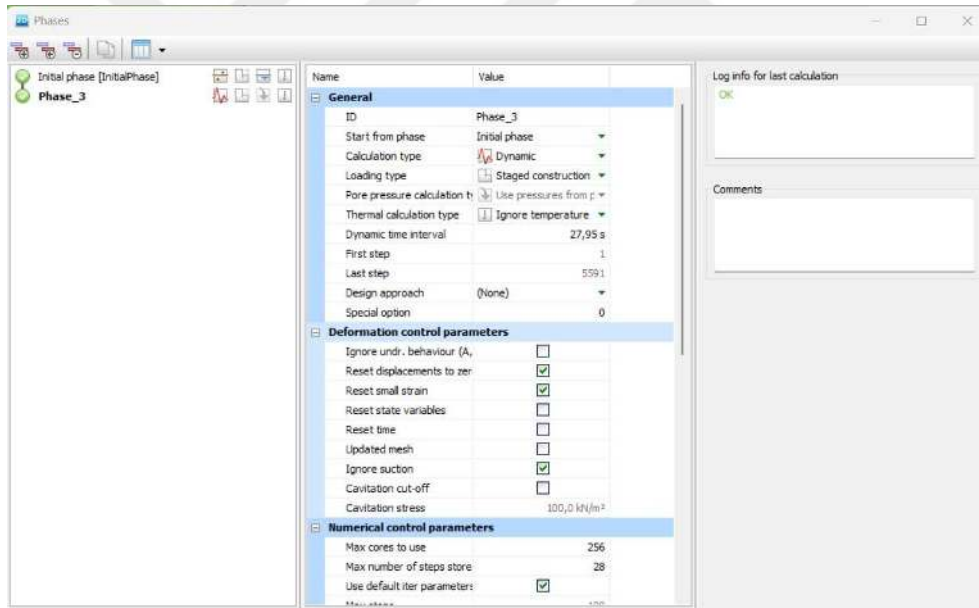
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E	kN/m ²	30,00E6
ν (nu)		0,2000
Alternatives		
G	kN/m ²	12,50E6
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6
Velocities		
V _s	m/s	2215
V _p	m/s	3617

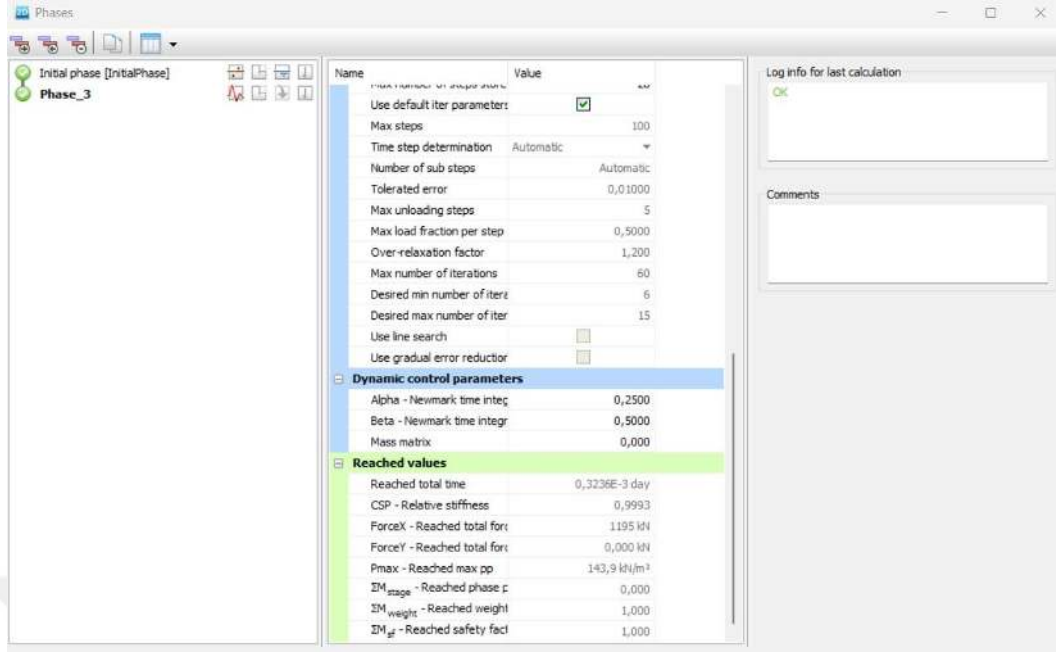
Şekil 7.59. Model-7 için İstinat duvarı parametreleri



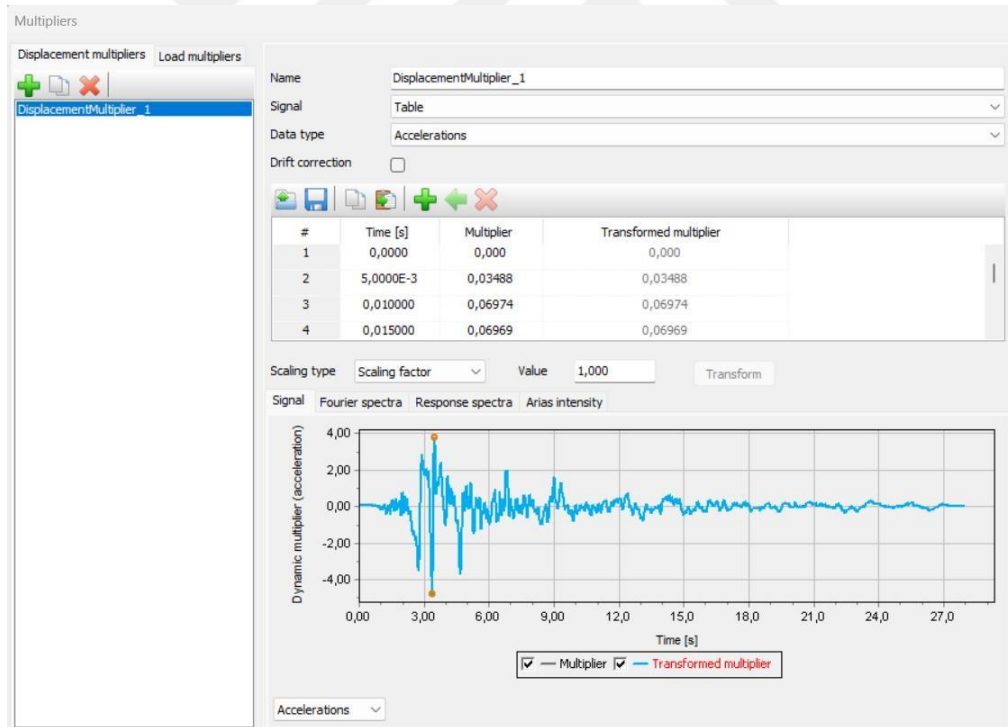
Şekil 7.60. Model-7 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.61. Model-7 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.62. Model-7 için Plaxis 2D analiz ayarları



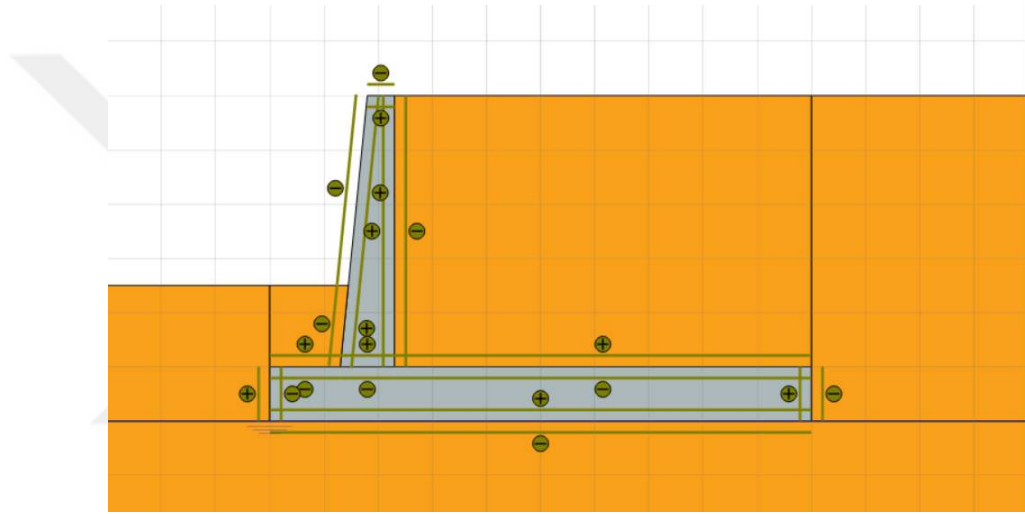
Şekil 7.63. Model-7 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

7.8 Model-8

Model 8 için 13 Mart 1992’de Erzincan’da gerçekleşen 6.6 büyüklüğündeki depremin ivme ve spektral ivme değerleri kullanılmıştır. Model-8 için kullanılan boyutlar aşağıda tablo 7.8’de gösterilmiştir. Plaxis 2D üzerinde yapılan modelleme Şekil 7.64’de gösterilmiştir. Modelde kullanılan zemin parametreleri Şekil 7.65’de ve 7.66’de gösterilmiştir. Zemini modellemek için Model malzemesi olarak Mohr-Coulomb seçilmiş ve su seviyesi İstinat duvarı altında olduğu için drenaj tipi olarak Undrained seçilmiştir. İstinat duvarı için kullanılan parametreler ise Şekil 7.67 ve 7.68’de belirtilmektedir. İstinat duvarı modellenirken ise Linear Elastic olarak modellenmiş Drenaj tipi olarak Non-porous seçilmiştir. Plaxis 2D modellemesi yapıp analiz kısmına geldikten sonra analiz aşaması 2 aşamalı şekilde yapılmıştır. İlk aşamada İstinat duvarının tek başına etkisi bulunurken ikinci aşamada dinamik etki ettirilmiştir. Analiz için kullanılan parametreler, ayarlamalar ve deprem dosyası yükledikten sonra oluşan ivme-zaman grafiği Şekil 7.69, 7.70, 7.71 ve 7.72’de gösterilmiştir.

Tablo 7.8. Model-8 için kullanılan İstinat Duvarı Boyutları

	MODEL-8
TG (m)	8
TK (m)	1
HS (m)	2.5
ST (m)	1
SĞT (m)	6
H (m)	6
ÜG (m)	0.5
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	24
Uygulanan Deprem	ERZİNCAN



Şekil 7.64. Model-8 için Plaxis 2D modellemesi

Soil - Mohr-Coulomb - Z1



GeneralParametersGroundwaterThermalInterfacesInitial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Z1
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Undrained (B)
Colour		 RGB 249, 160, 26
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	24,00
γ_{sat}	kN/m ³	24,00

Şekil 7.65. Model-8 için zemin parametreleri

Soil - Mohr-Coulomb - Z1			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E'	kN/m ²	15,00E3	
v' (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	6250	
E _{oed}	kN/m ²	16,67E3	
Strength			
s _{u,ref}	kN/m ²	150,0	
φ _u (phi)	°	0,000	
ψ (psi)	°	0,000	
Velocities			
V _s	m/s	50,54	
V _p	m/s	82,54	

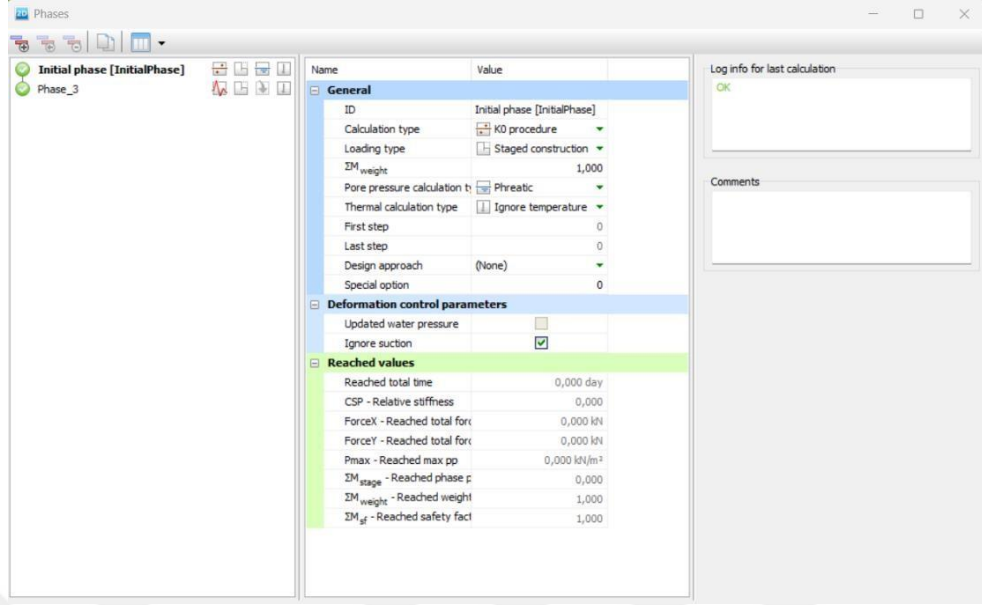
Şekil 7.66. Model-8 için zemin parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Material set			
Identification		BETON	
Material model		Linear elastic	
Drainage type		Non-porous	
Colour		RGB 172, 184, 185	
Comments			
General properties			
Y _{unsat}	kN/m ³	25,00	
Y _{sat}	kN/m ³	25,00	

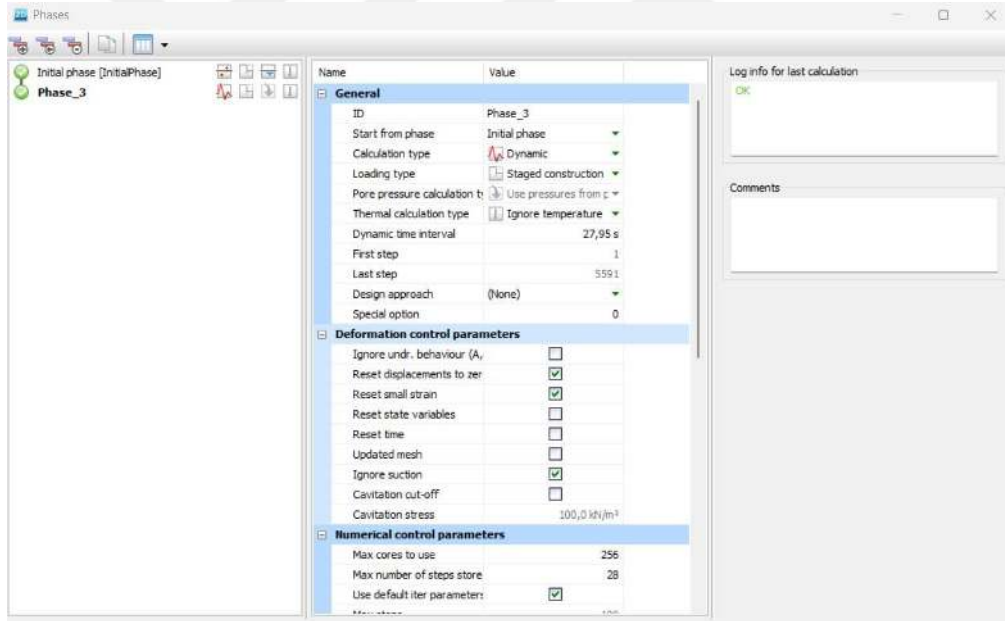
Şekil 7.67. Model-8 için İstinat duvarı parametreleri

Soil - Linear elastic - BETON			
General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial			
Property	Unit	Value	
Stiffness			
E	kN/m ²	30,00E6	
v (nu)		0,2000	
Alternatives			
G	kN/m ²	12,50E6	
E _{oed}	kN/m ²	33,33E6	
Velocities			
V _s	m/s	2215	
V _p	m/s	3617	

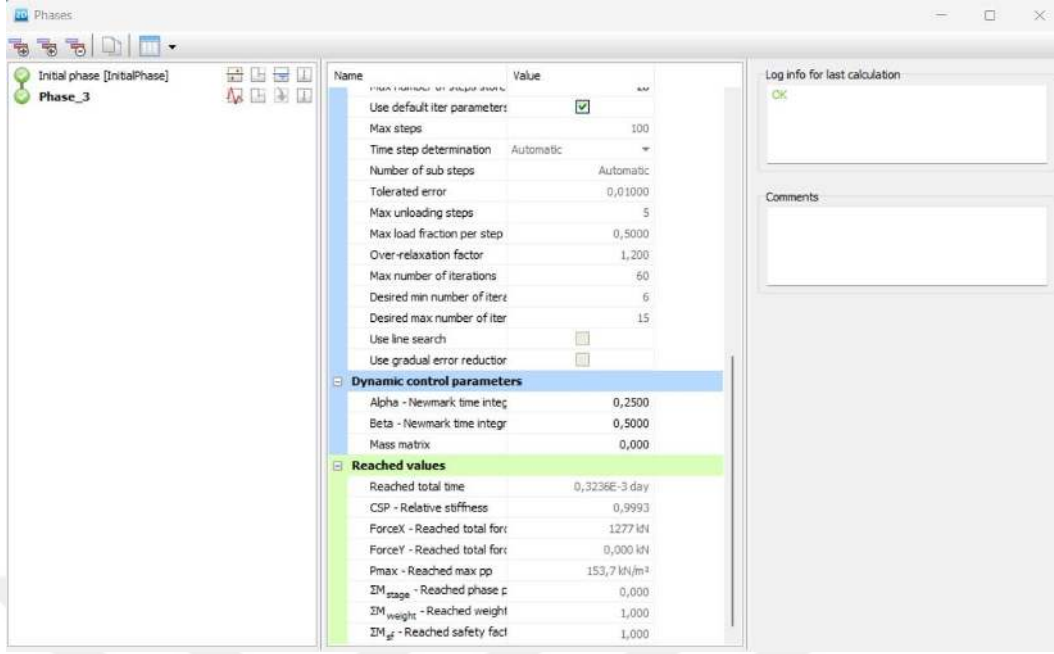
Şekil 7.68. Model-8 için İstinat duvarı parametreleri



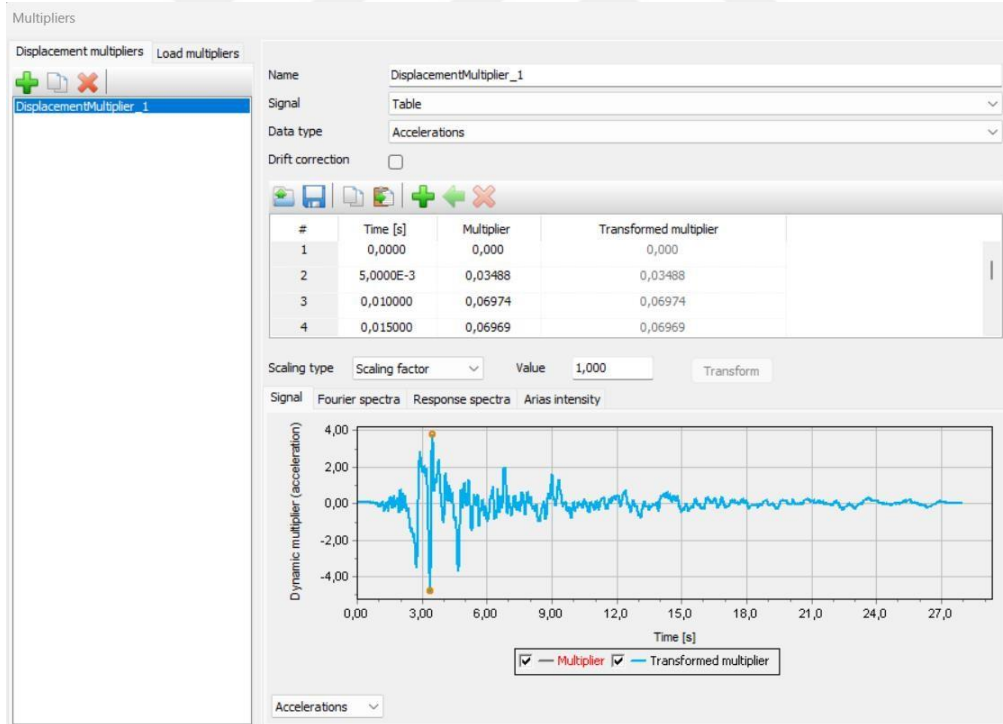
Şekil 7.69. Model-8 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.70. Model-8 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.71. Model-8 için Plaxis 2D analiz ayarları



Şekil 7.72. Model-8 için deprem dosyası yüklendikten sonra oluşan ivme zaman grafiği

8. BULGULAR

Tez çalışmasının bu kısmında ise belirlenen deprem büyüklükleri, zemin ve istinat duvar parametrelerine göre modellerin TBDY 2018’de belirtilen koşullar eşliğinde ampirik yöntem ile hesabı ve ayrıca aynı modellerin Plaxis 2D programında modellenmesi ve analizi yapılmış ve sonuçları gösterilmiştir. İlk olarak ampirik yöntem ile yapılan hesaplara baktığımızda modellerin devrilme, kayma ve temel taşıma gücü kontrolleri sağlanmış ve sonuçlar Tablo 8.1’de gösterilmiştir.

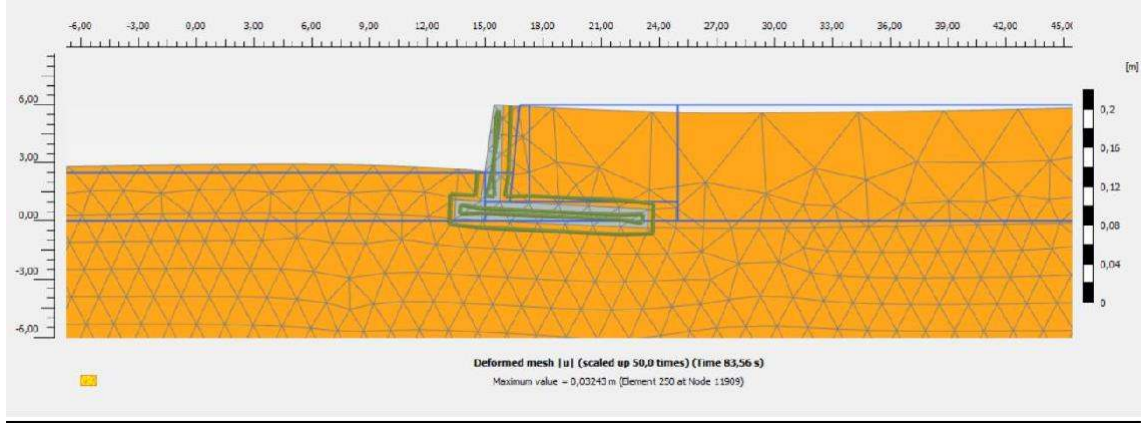
Tablo 8.1. Ampirik yöntem hesap sonuçları

	MODEL-1	MODEL-2	MODEL-3	MODEL-4	MODEL-5	MODEL-6	MODEL-7	MODEL-8
Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	18	24	18	24	18	24	18	24
q _{max} (kN/m ²)	177,15	248,33	210,7	264,26	208,03	260,99	209,47	265,08
q _{min} (kN/m ²)	35,34	4,17	4,83	0,44	5,69	2,18	6,53	1,83
q _a (kN/m ²)	300	300	300	300	300	300	300	300
R _{dev} /E _{dev}	4,06	2,89	2,84	3,16	2,85	3,12	2,64	2,74
V _{th} (kN)	185,3	247,07	521,99	695,99	416,24	554,99	405,87	541,16
R _{th} +0,3*R _{pt} (kN)	497,88	571,94	618,93	841,82	588,9	795,08	568,38	751,09

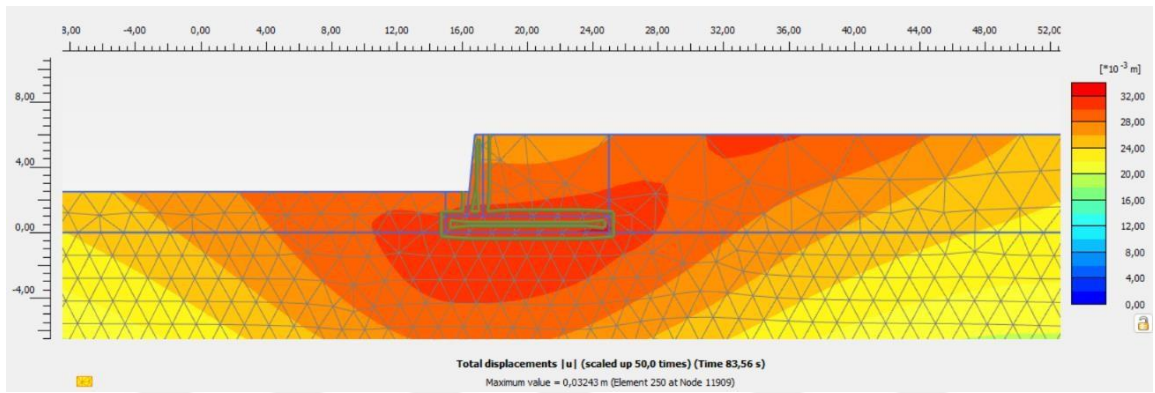
Ampirik yöntem ile hesaplamalar yapıp sonuç çıkarıldıktan sonra ise modeller Plaxis 2D programında modellenip analiz edilmiştir. Analiz ile ilgili sonuçlar aşağıda bölmede her model için ayrı ayrı verilmiştir.

MODEL-1

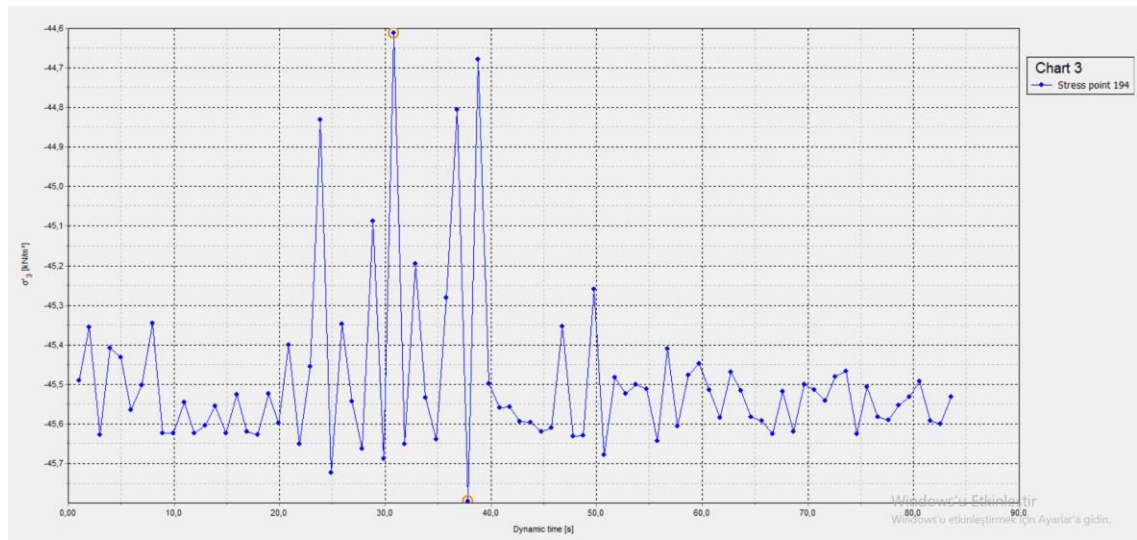
Model-1 ve Model-2 için yapılan Plaxis 2D modellemesinde 23 Ekim 2011’de gerçekleşen Van depreminin verileri kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda ortaya çıkan mesh görüntüleri Şekil 8.1 ve 8.7’de gösterilmektedir. Şekil 8.2 ve 8.8’de ise istinat duvarının deplasman sonuçları gösterilmektedir ve istinat duvarının maksimum Model-1 için 0,032 m, Model-2 için 0,042 m deplasman yaptığı görülmektedir. Şekil 8.3, 8.4, 8.9, 8.10’da ise istinat duvarının dinamik zamanda oluşan efektif stres grafikleri bulunmaktadır. Maksimum gerilmenin hangi dinamik zamanda oluştuğu grafikte gösterilmektedir. Şekil 8.5, 8.6, 8.11, 8.12’de ise dinamik zaman ve deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum deplasmanın oluştuğu dinamik zamanda maksimum ivmeye denk gelmesi sonuçlar kısmında irdelenmiştir.



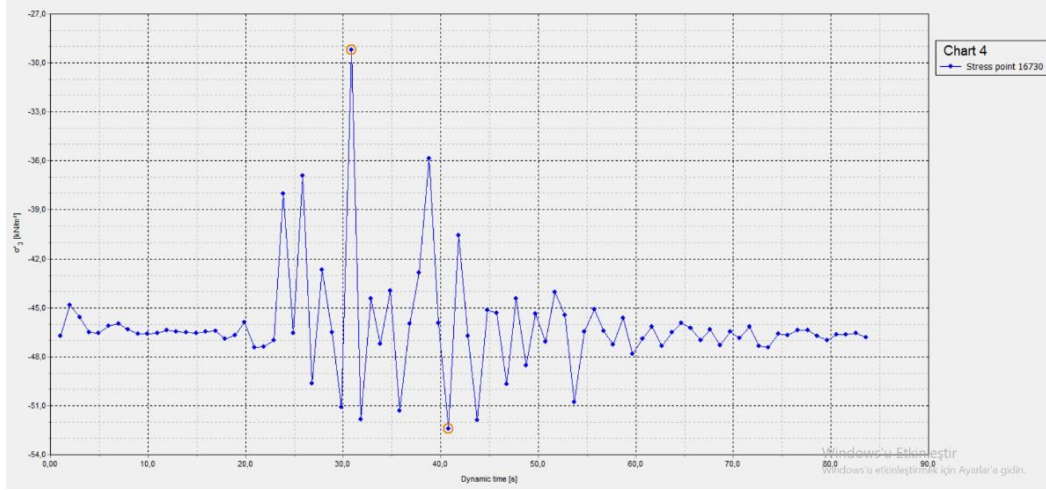
Şekil 8.1. Model-1 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



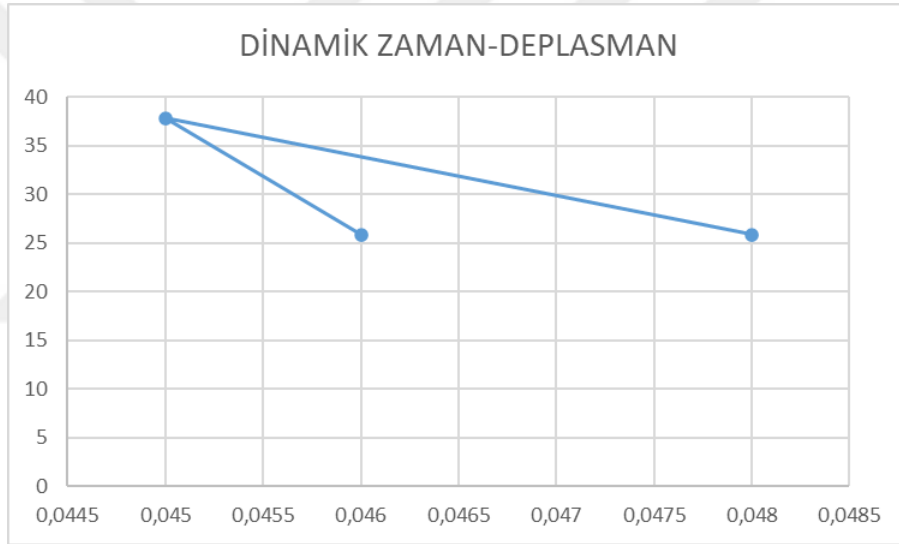
Şekil 8.2. Model-1 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



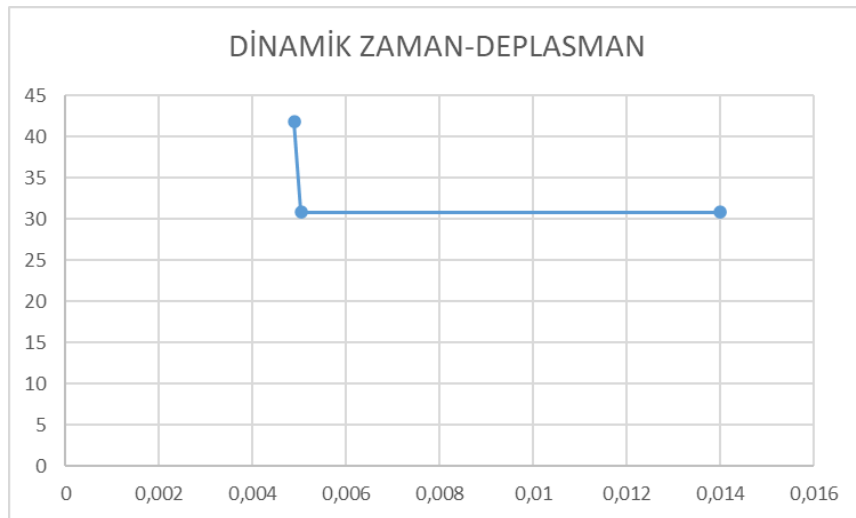
Şekil 8.3. Model-1 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.4. Model-1 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)

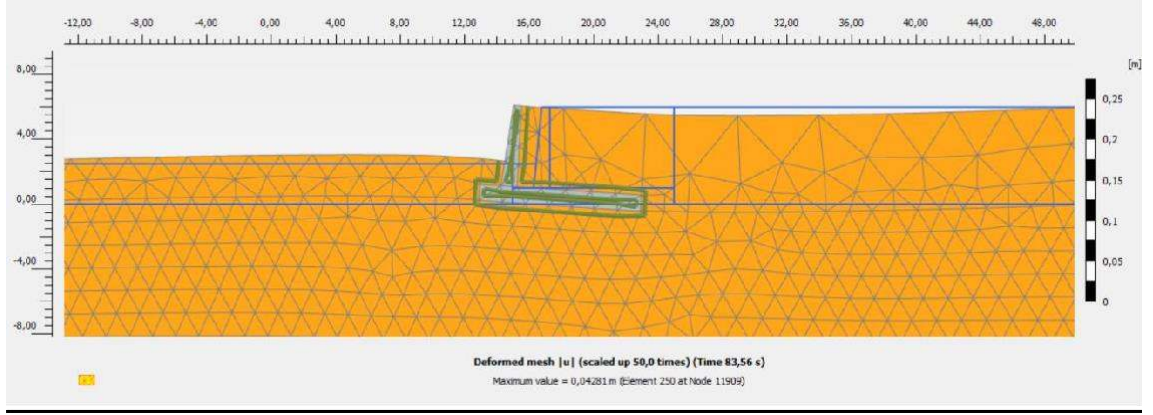


Şekil 8.5. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

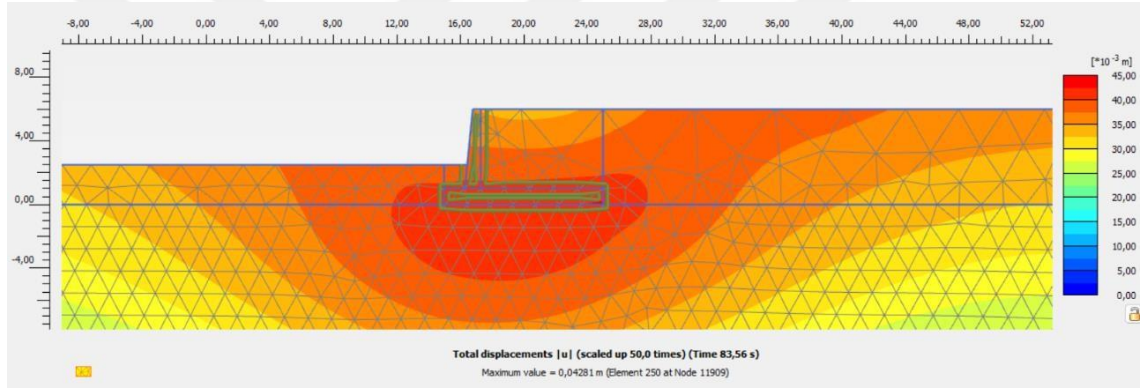


Şekil 8.6. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

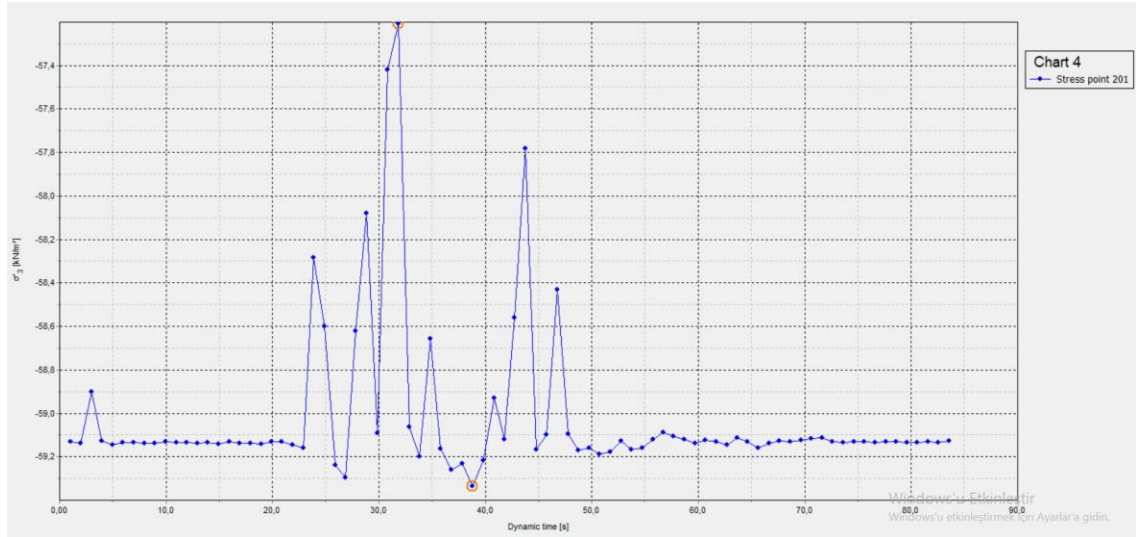
MODEL-2



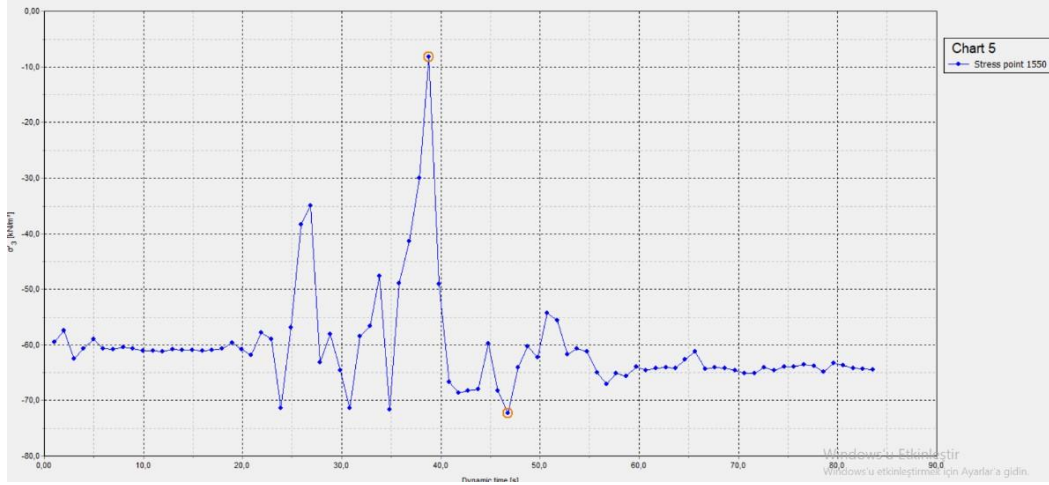
Şekil 8.7. Model-2 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



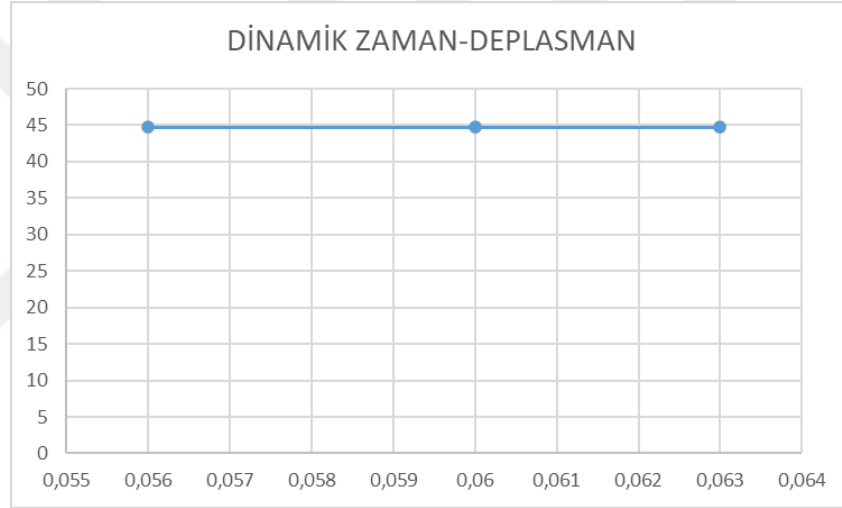
Şekil 8.8. Model-2 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



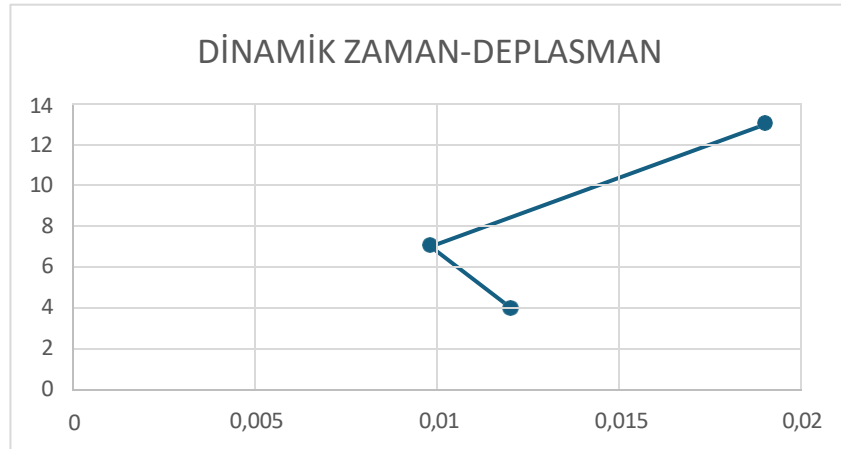
Şekil 8.9. Model-2 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.10. Model-2 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)



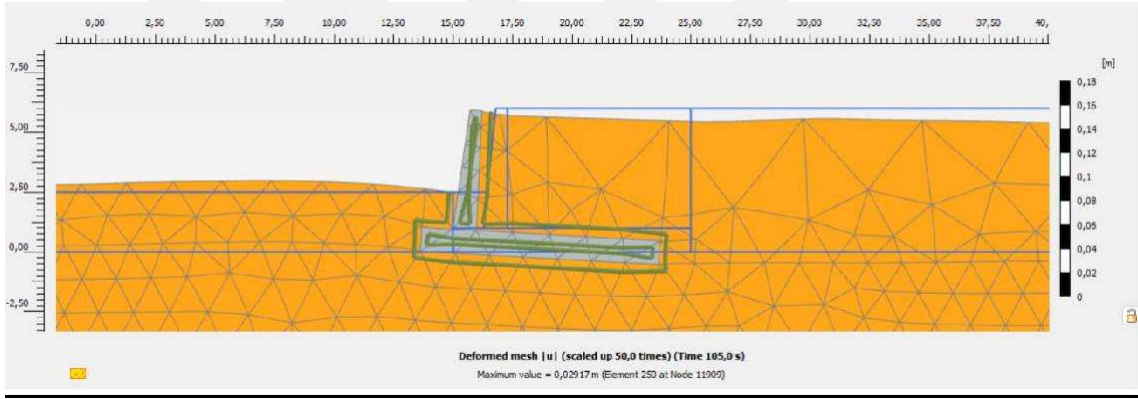
Şekil 8.11. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği



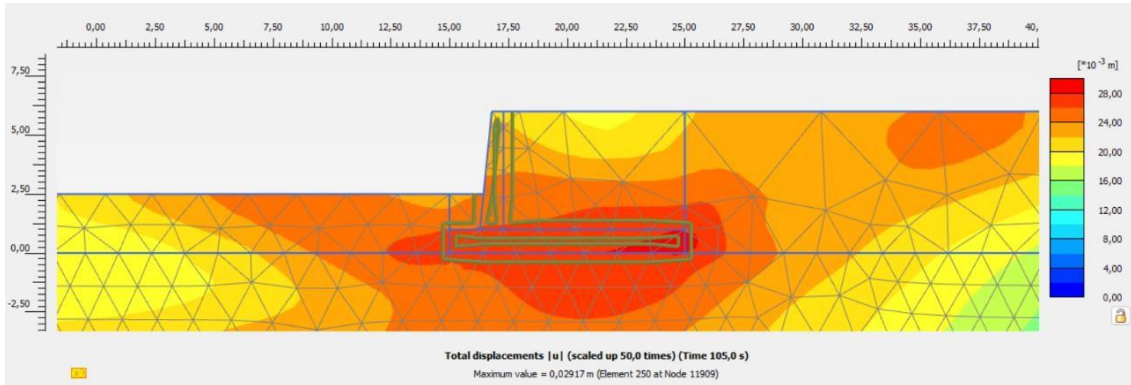
Şekil 8.12. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

MODEL-3

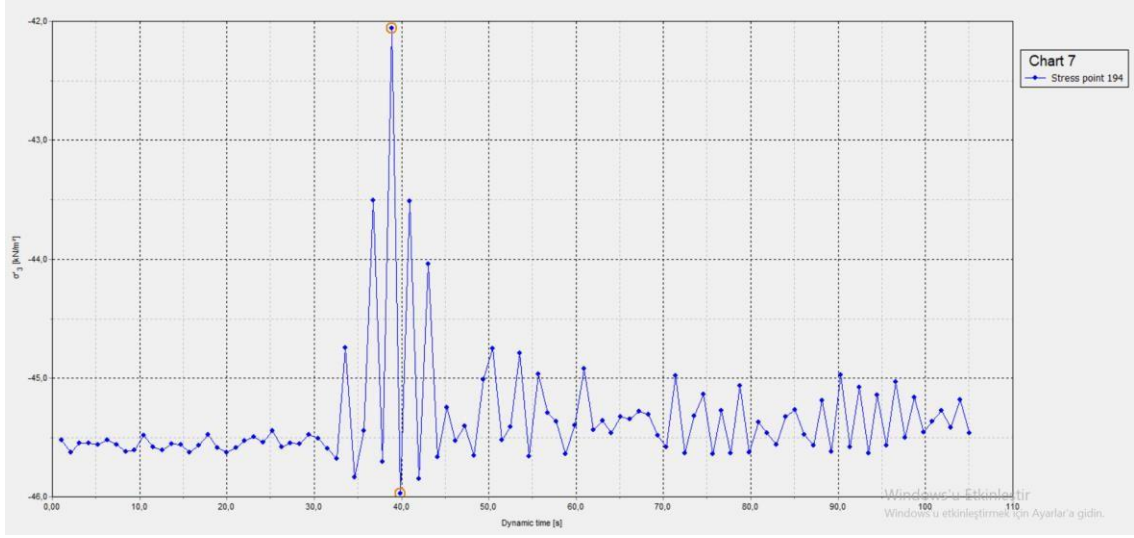
Model-3 ve Model-4 için yapılan Plaxis 2D modellemesinde 20 Şubat 2023’de gerçekleşen Hatay depreminin verileri kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda ortaya çıkan mesh görüntüleri Şekil 8.13 ve 8.19’de gösterilmektedir. Şekil 8.14 ve 8.20’de ise istinat duvarının deplasman sonuçları gösterilmektedir ve istinat duvarının maksimum Model-1 için 0,029 m, Model-2 için 0,038 m deplasman yaptığı görülmektedir. Şekil 8.15, 8.16, 8.21, 8.22’de ise istinat duvarının dinamik zamanda oluşan efektif stres grafikleri bulunmaktadır. Maksimum gerilmenin hangi dinamik zamanda oluştuğu grafikte gösterilmektedir. Şekil 8.17, 8.18, 8.23, 8.24’de ise dinamik zaman ve deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum deplasmanın oluştuğu dinamik zamanda maksimum ivmeye denk gelmesi sonuçlar kısmında irdelenmiştir.



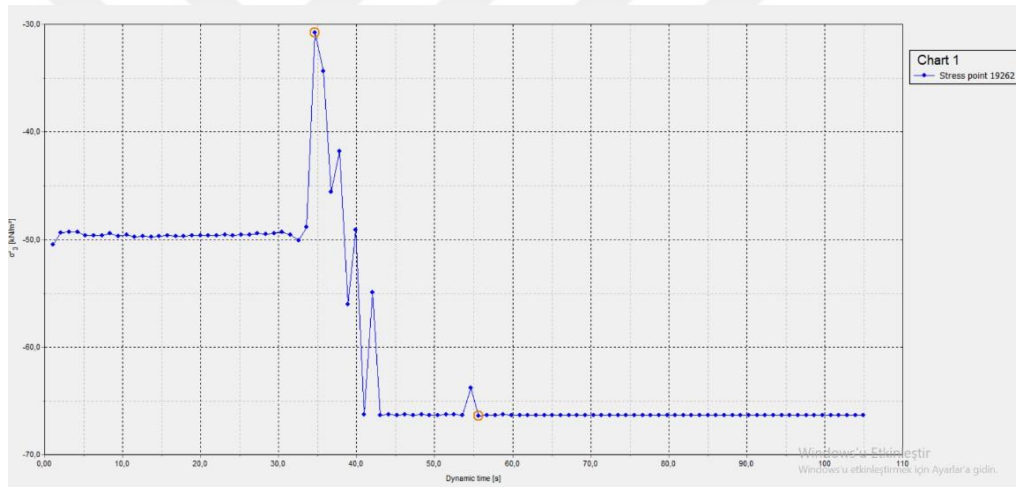
Şekil 8.13. Model-3 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



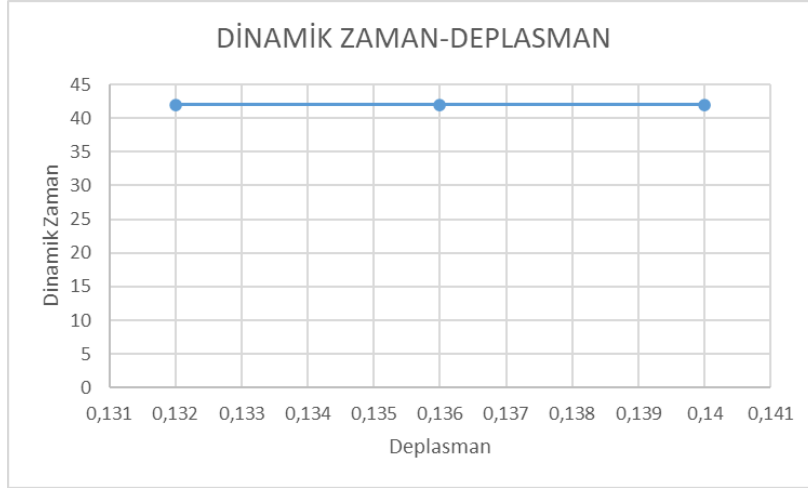
Şekil 8.14. Model-3 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



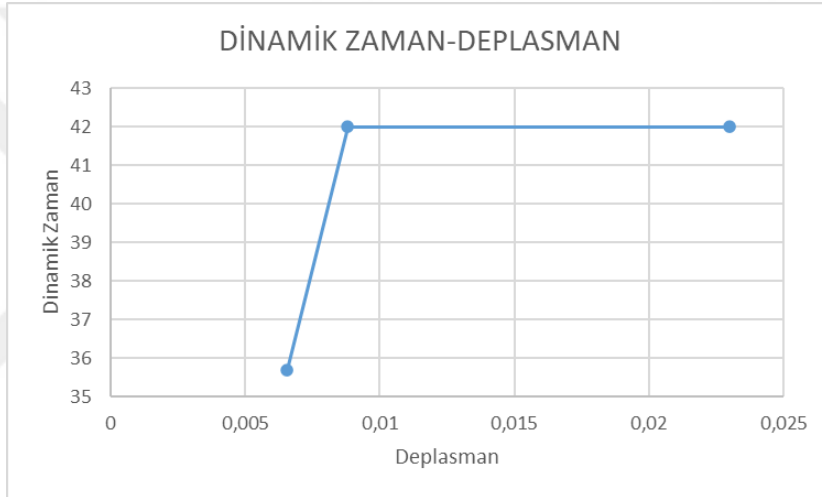
Şekil 8.15. Model-3 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.16. Model-3 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)

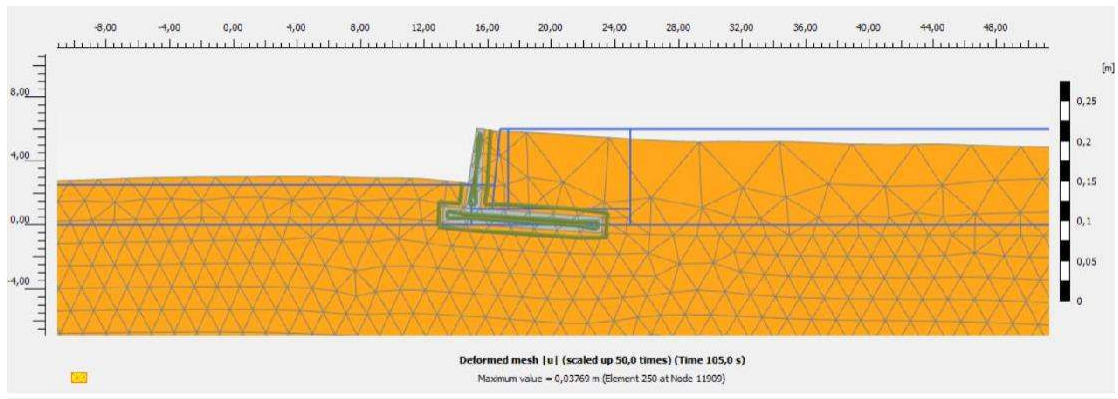


Şekil 8.17. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

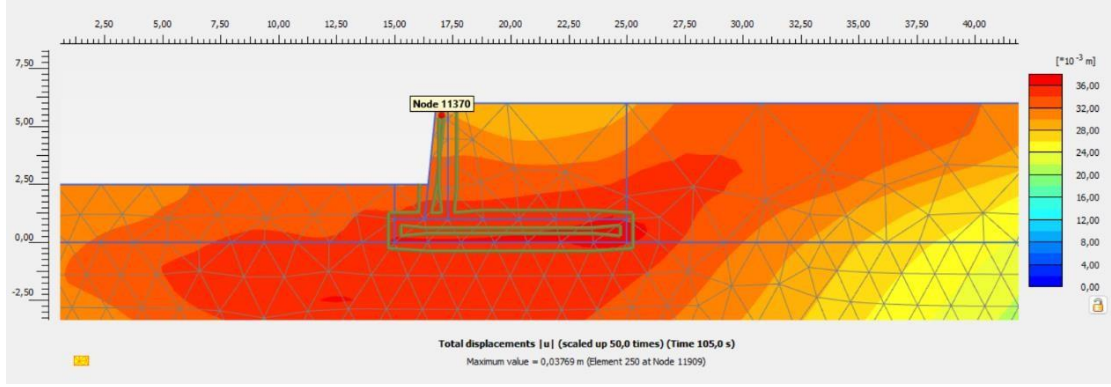


Şekil 8.18. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

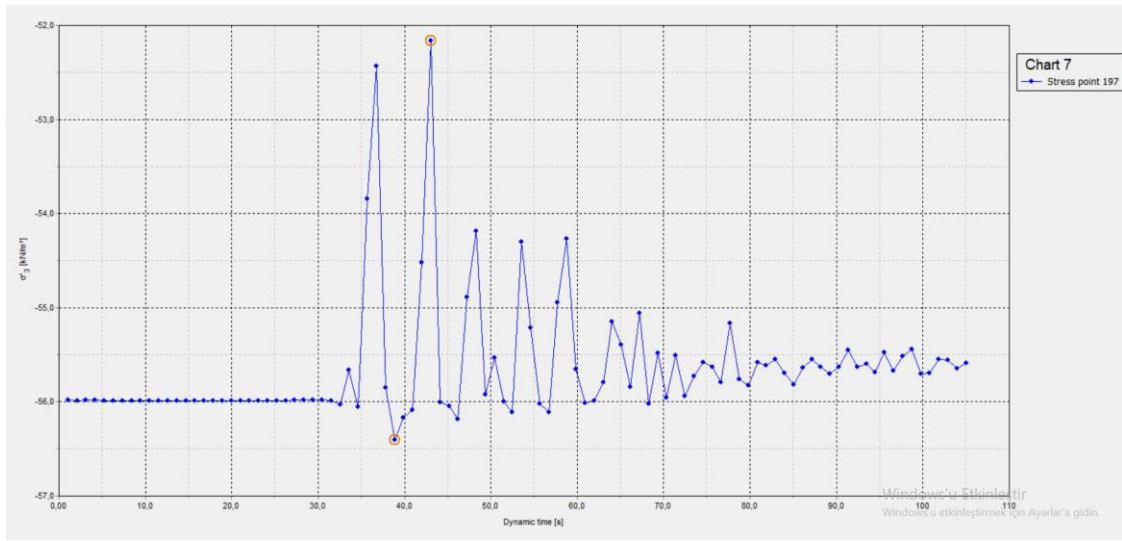
MODEL-4



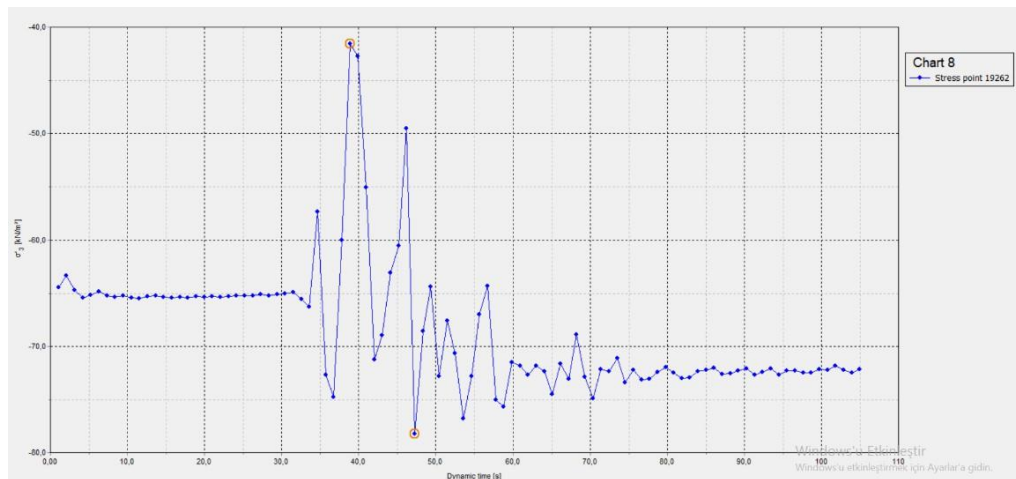
Şekil 8.19. Model-4 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



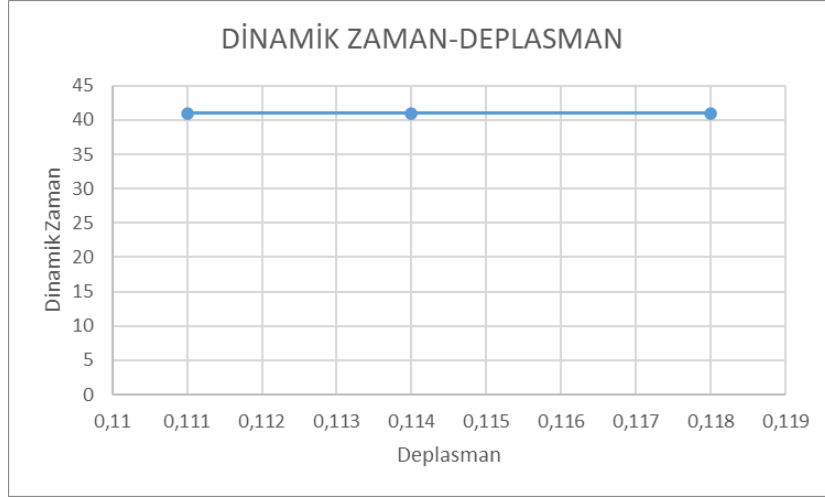
Şekil 8.20. Model-4 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



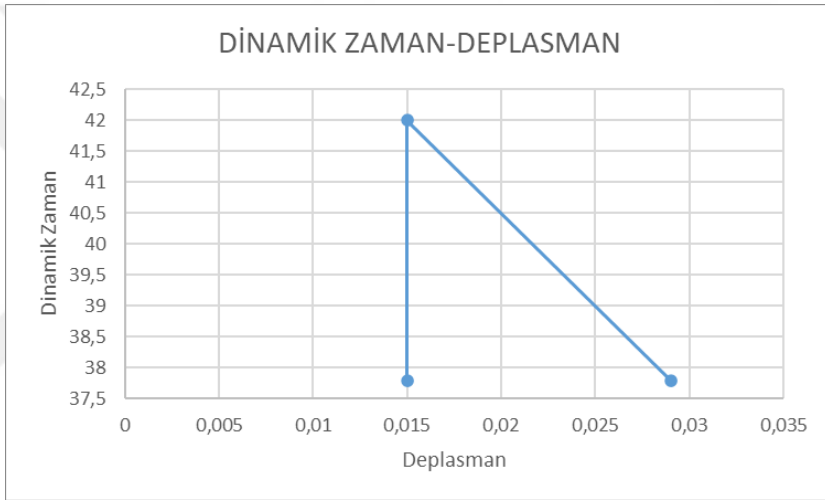
Şekil 8.21. Model-4 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.22. Model-4 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)



Şekil 8.23. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

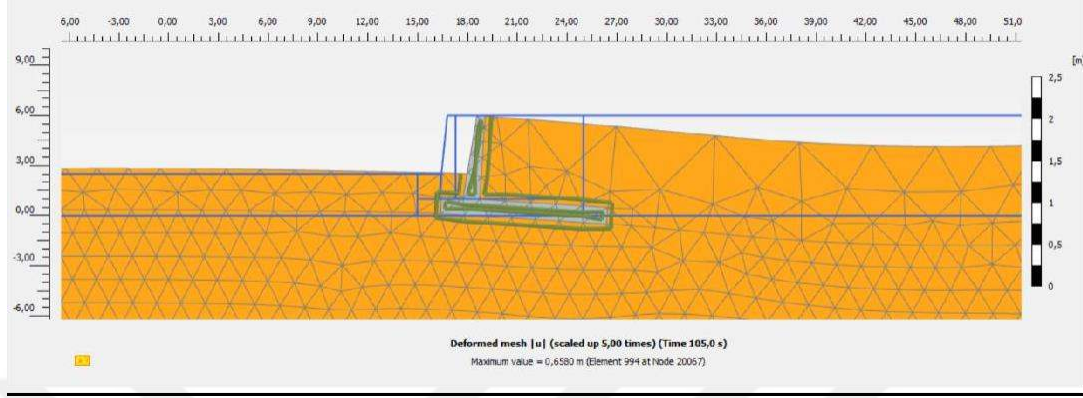


Şekil 8.24. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

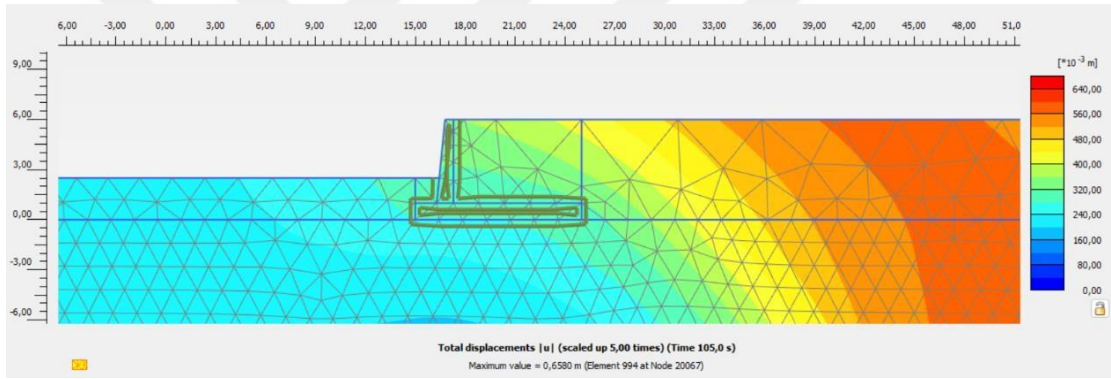
MODEL-5

Model-5 ve Model-6 için yapılan Plaxis 2D modellemesinde 6 Şubat 2023’de gerçekleşen Kahramanmaraş Elbistan depreminin verileri kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda ortaya çıkan mesh görüntüleri Şekil 8.25 ve 8.31’de gösterilmektedir. Şekil 8.26 ve 8.32’de ise istinat duvarının deplasman sonuçları gösterilmektedir ve istinat duvarının maksimum Model-1 için 0,66 m, Model-2 için 0,86 m deplasman yaptığı görülmektedir. Şekil 8.27, 8.28, 8.33, 8.34’da ise istinat duvarının dinamik zamanda oluşan efektif stres grafikleri bulunmaktadır. Maksimum gerilmenin hangi dinamik zamanda oluştuğu grafikte gösterilmektedir. Şekil 8.29, 8.30, 8.35, 8.36’de ise dinamik zaman ve deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum deplasmanın

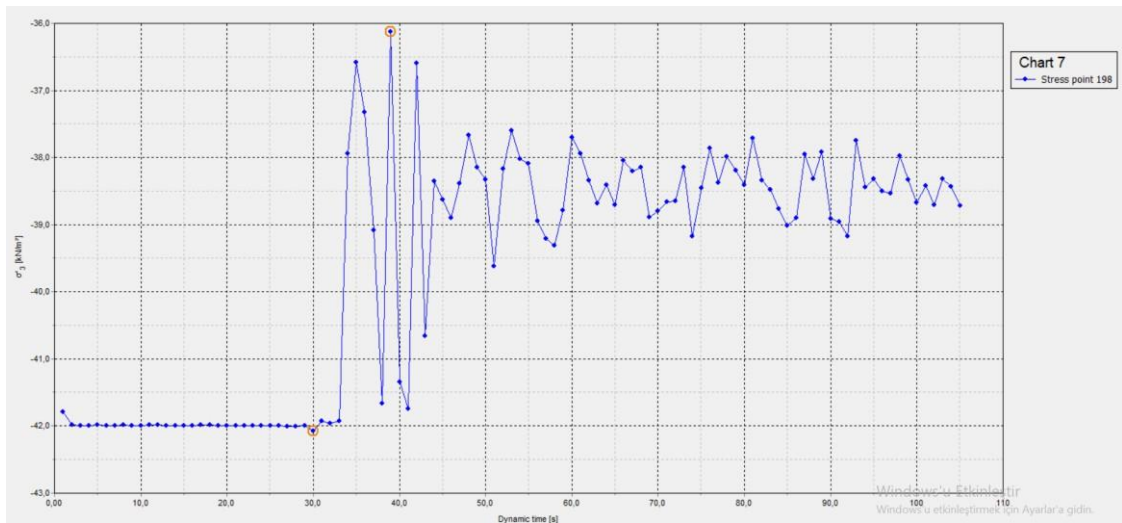
oluştugu dinamik zamanda maksimum ivmeye denk gelmesi sonuçlar kısmında irdelenmiştir.



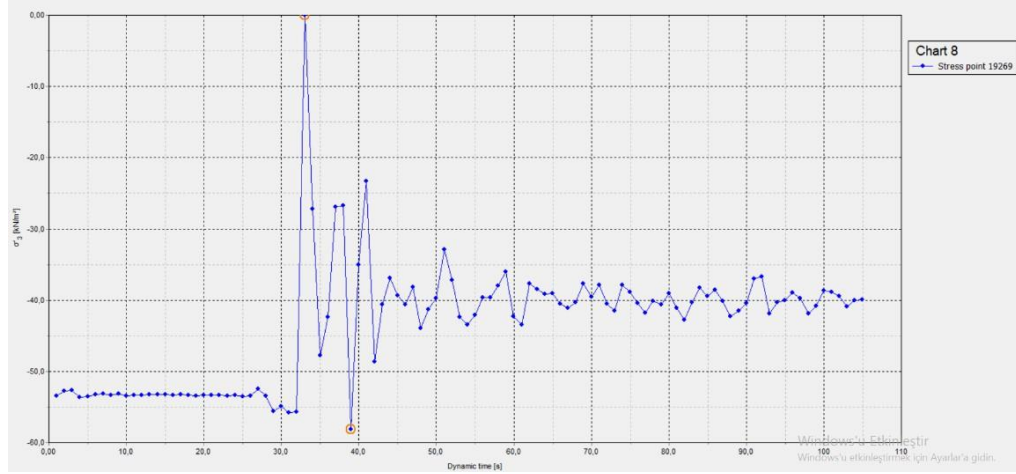
Şekil 8.25. Model-5 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



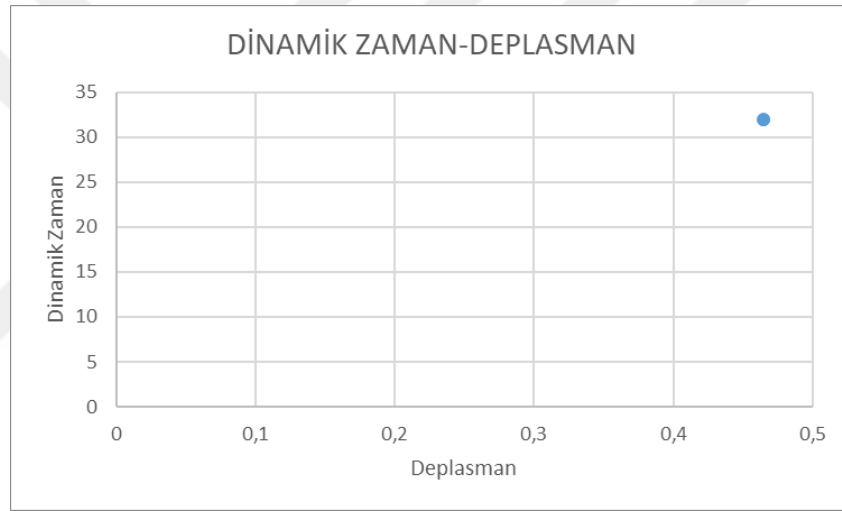
Şekil 8.26. Model-5 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



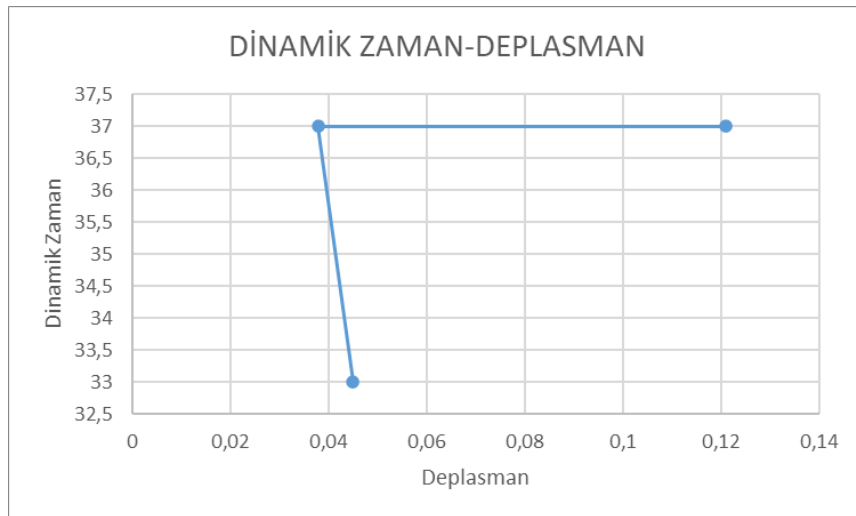
Şekil 8.27. Model-5 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.28. Model-5 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)

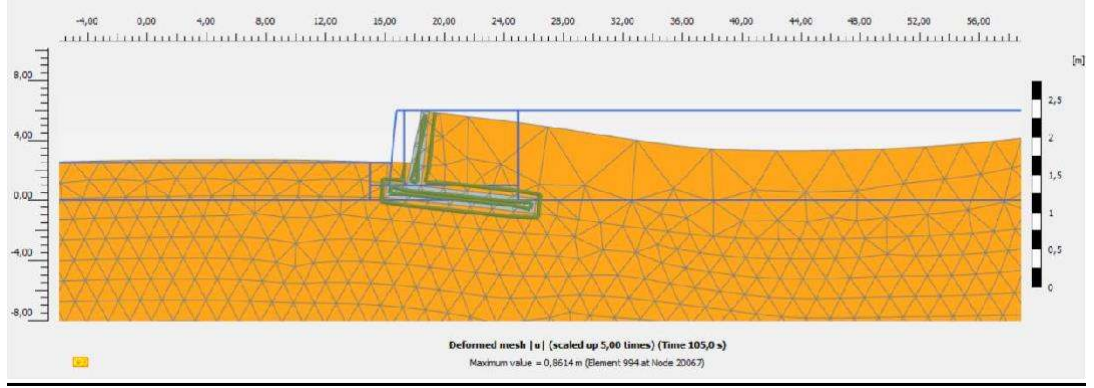


Şekil 8.29. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

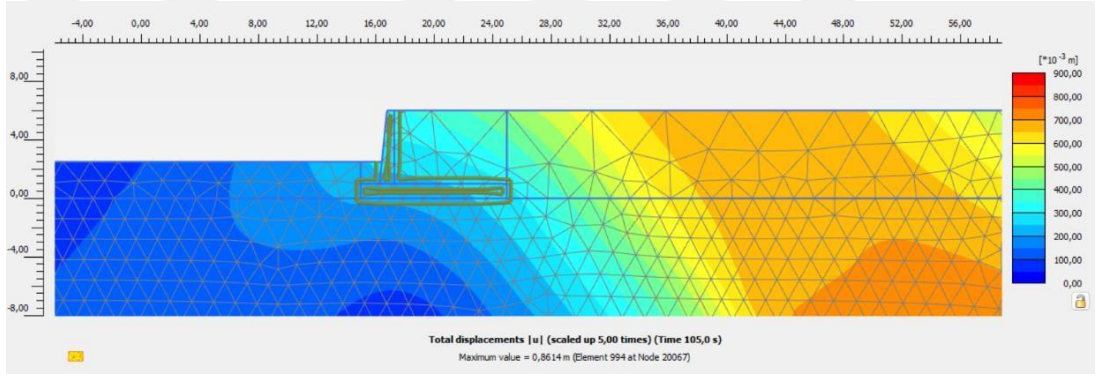


Şekil 8.30. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

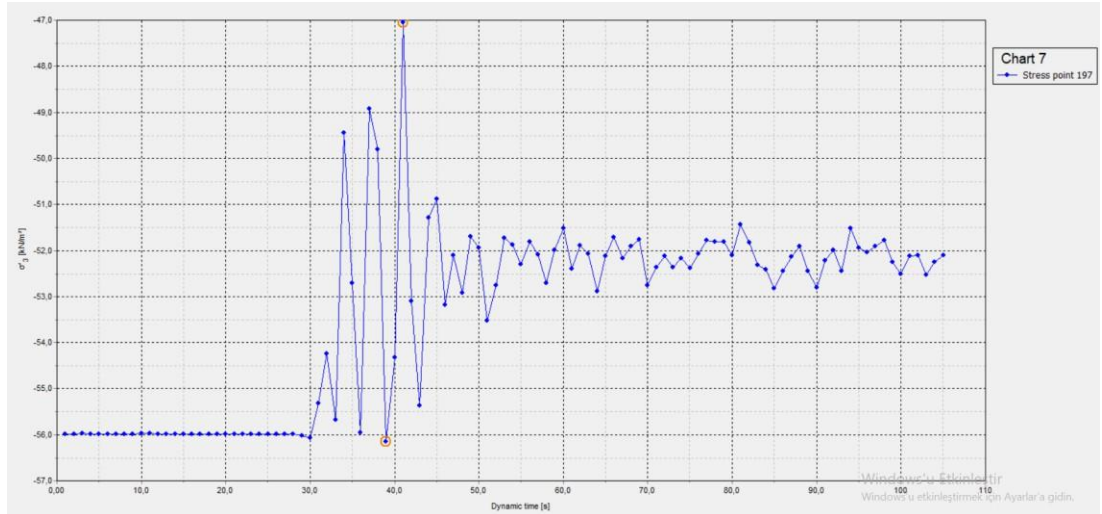
MODEL-6



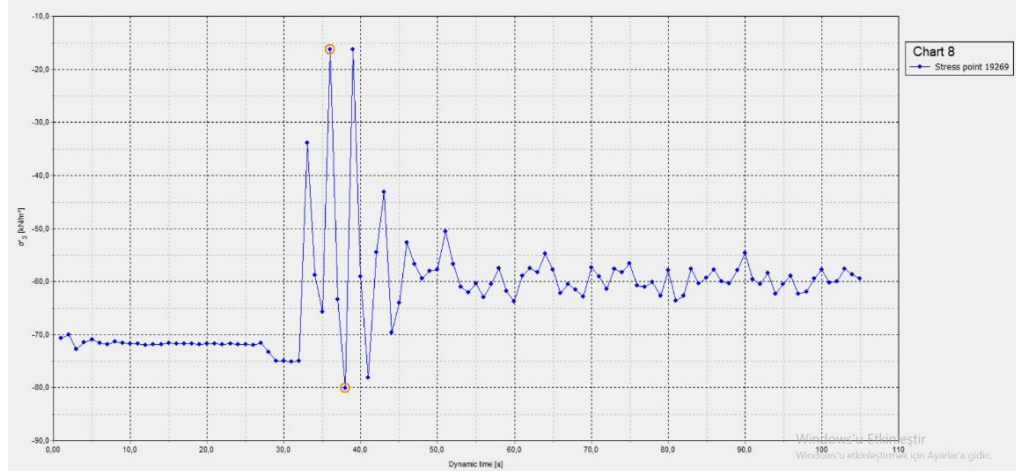
Şekil 8.31. Model-6 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



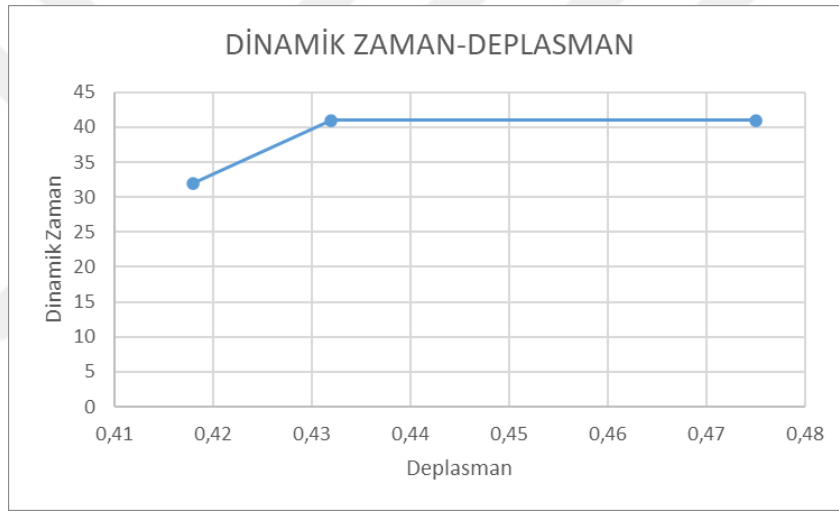
Şekil 8.32. Model-6 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



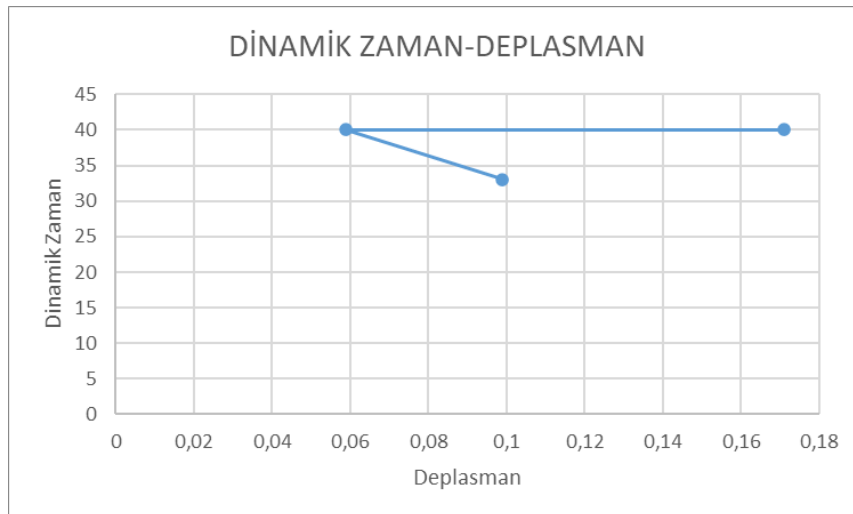
Şekil 8.33. Model-6 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.34. Model-6 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)



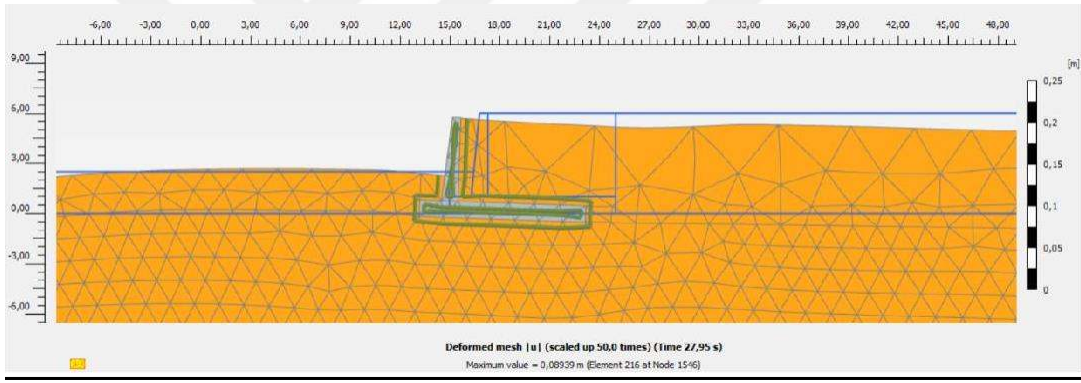
Şekil 8.35. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği



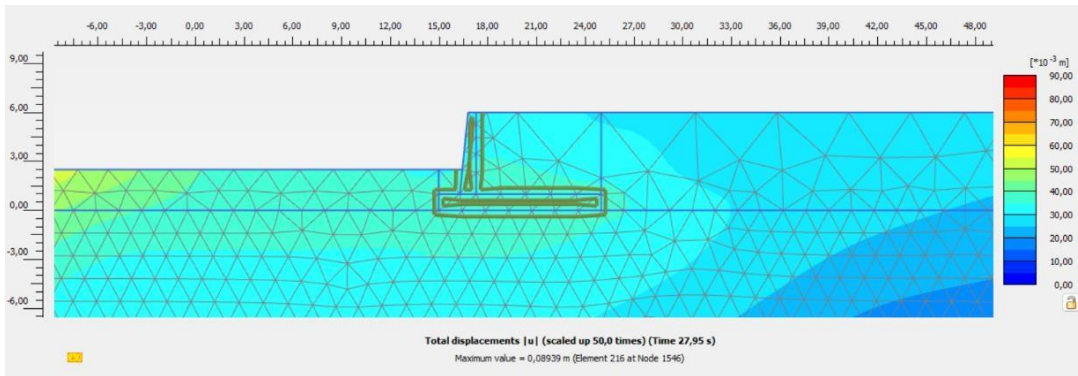
Şekil 8.36. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

MODEL-7

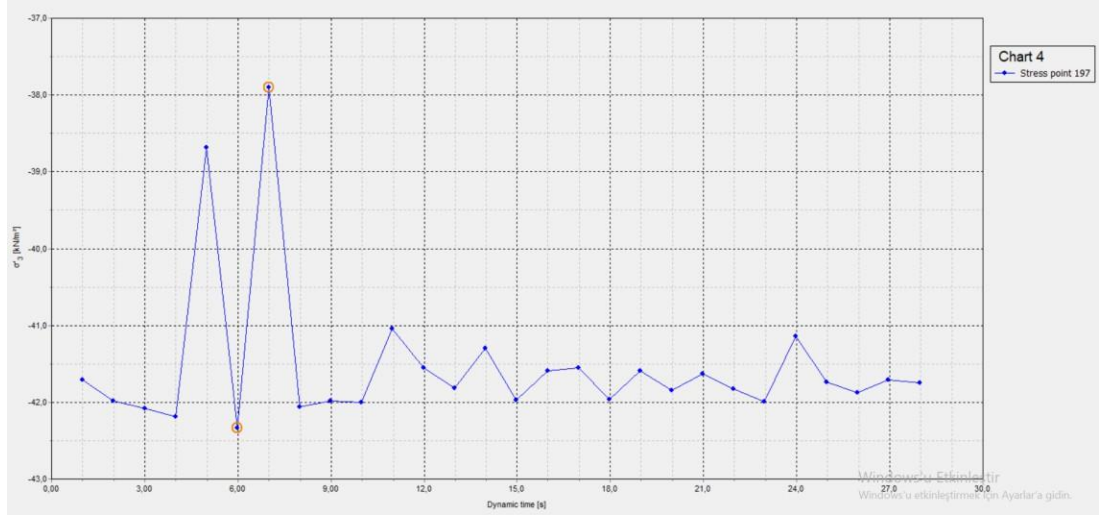
Model-7 ve Model-8 için yapılan Plaxis 2D modellemesinde 13 Mart 1992’de gerçekleşen Erzincan depreminin verileri kullanılmıştır. Yapılan modelleme sonucunda ortaya çıkan mesh görüntüleri Şekil 8.37 ve 8.43’de gösterilmektedir. Şekil 8.38 ve 8.44’de ise istinat duvarının deplasman sonuçları gösterilmektedir ve istinat duvarının maksimum Model-1 için 0,090 m, Model-2 için 0,15 m deplasman yaptığı görülmektedir. Şekil 8.39, 8.40, 8.45, 8.46’da ise istinat duvarının dinamik zamanda oluşan efektif stres grafikleri bulunmaktadır. Maksimum gerilmenin hangi dinamik zamanda oluştuğu grafikte gösterilmektedir. Şekil 8.41, 8.42, 8.47, 8.48’de ise dinamik zaman ve deplasman grafiği görülmektedir. Maksimum deplasmanın oluştuğu dinamik zamanda maksimum ivmeye denk gelmesi sonuçlar kısmında irdelenmiştir.



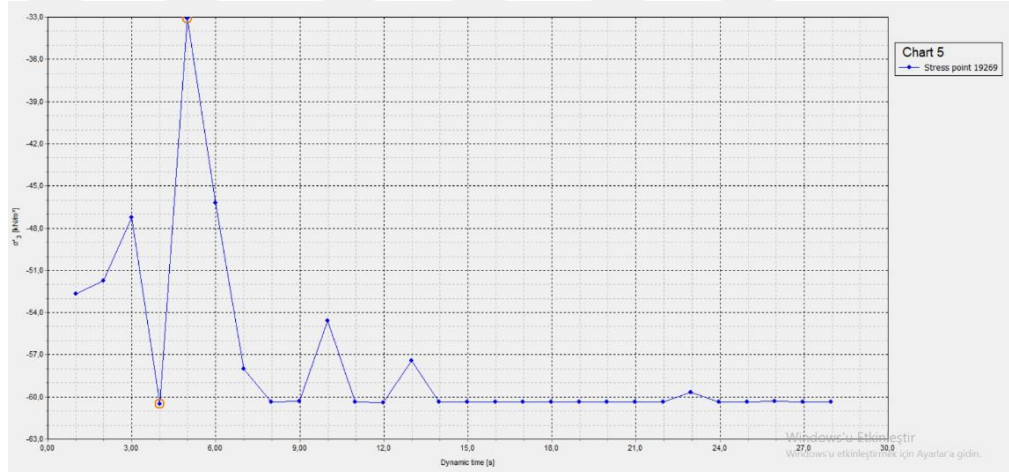
Şekil 8.37. Model-7 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



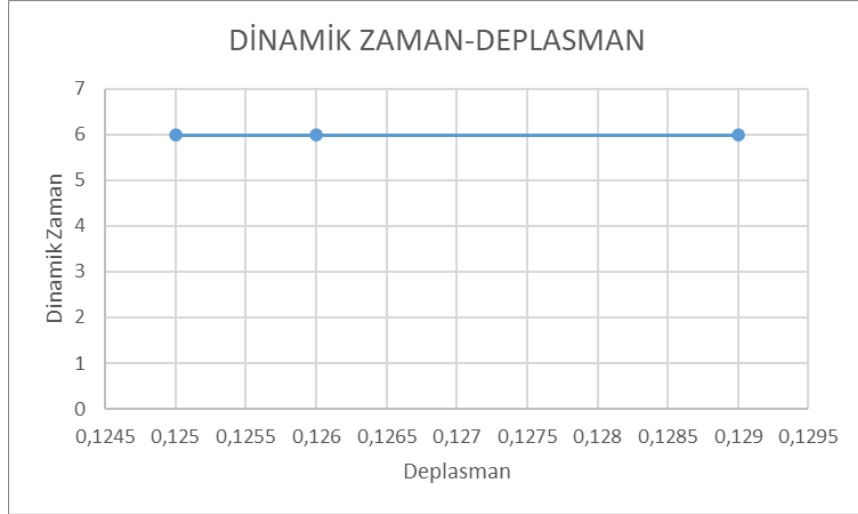
Şekil 8.38. Model-7 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



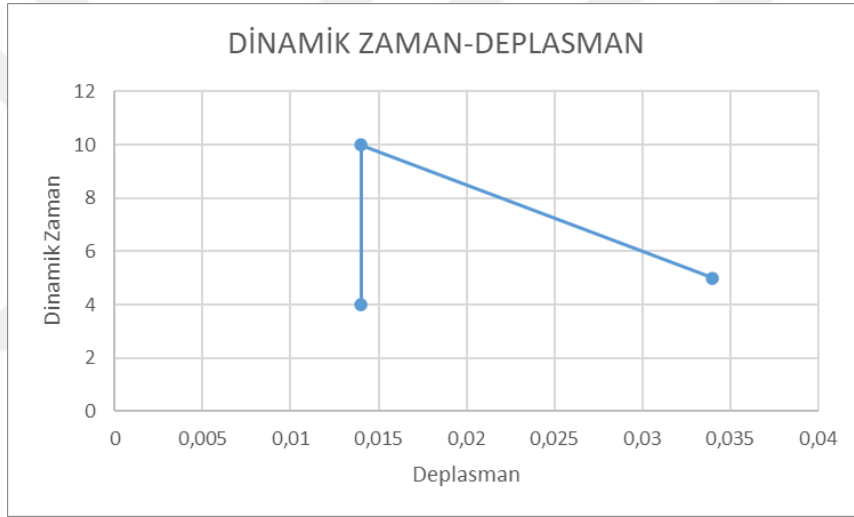
Şekil 8.39. Model-7 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.40. Model-7 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)

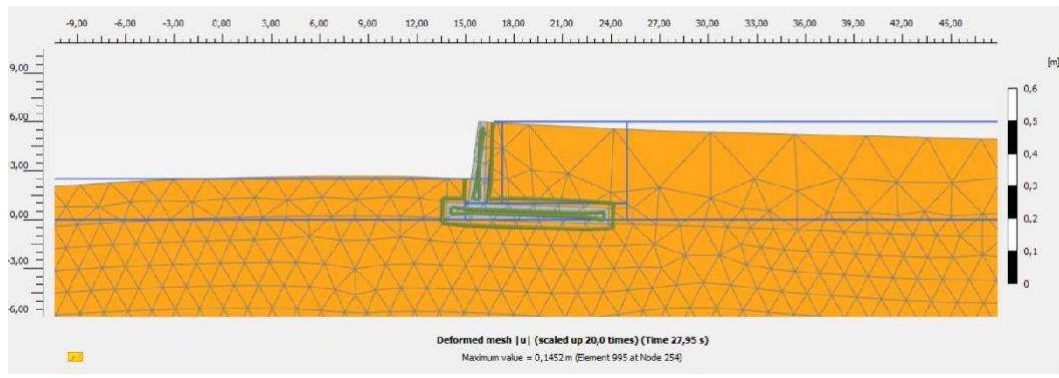


Şekil 8.41. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

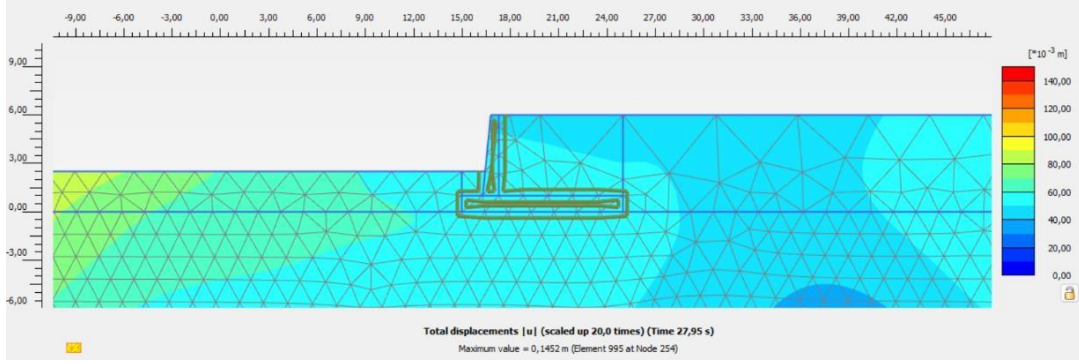


Şekil 8.42. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

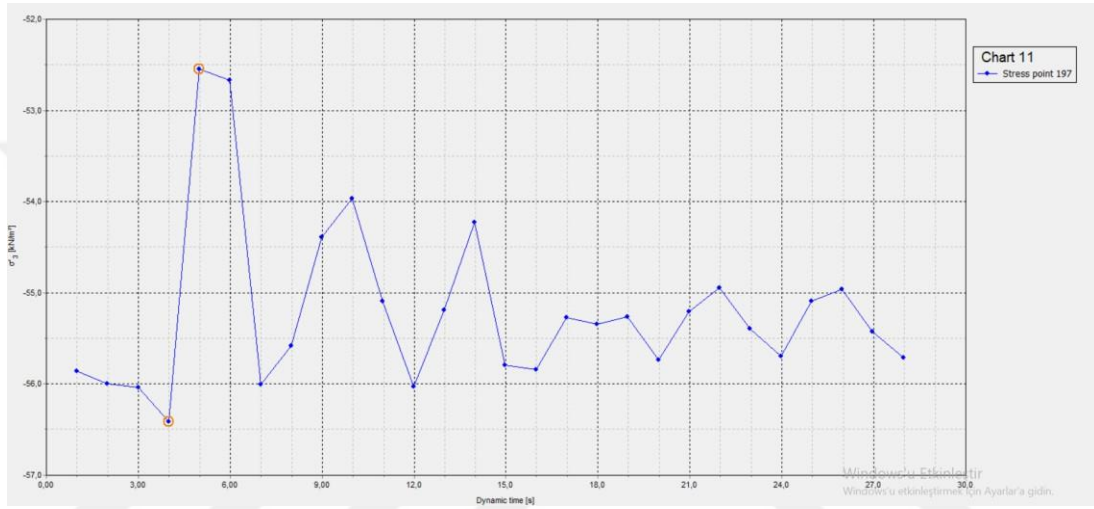
MODEL-8



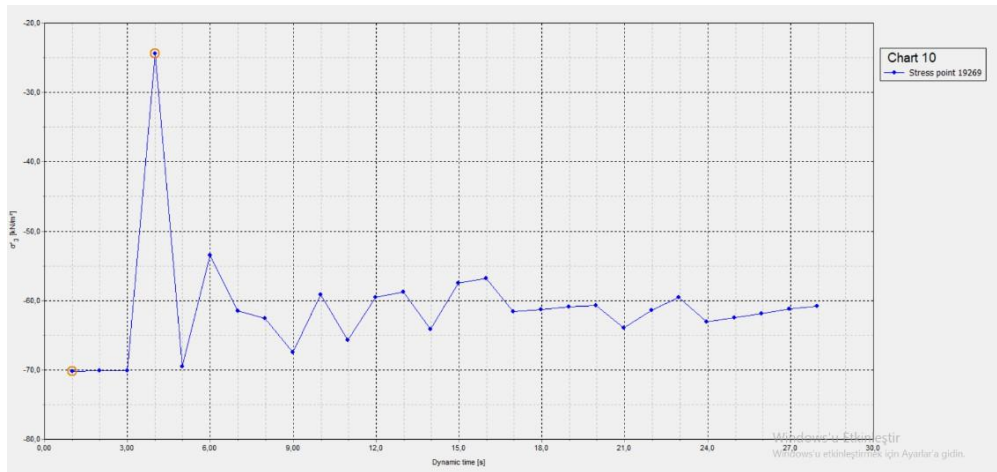
Şekil 8.43. Model-8 için Plaxis 2D analiz mesh sonucu



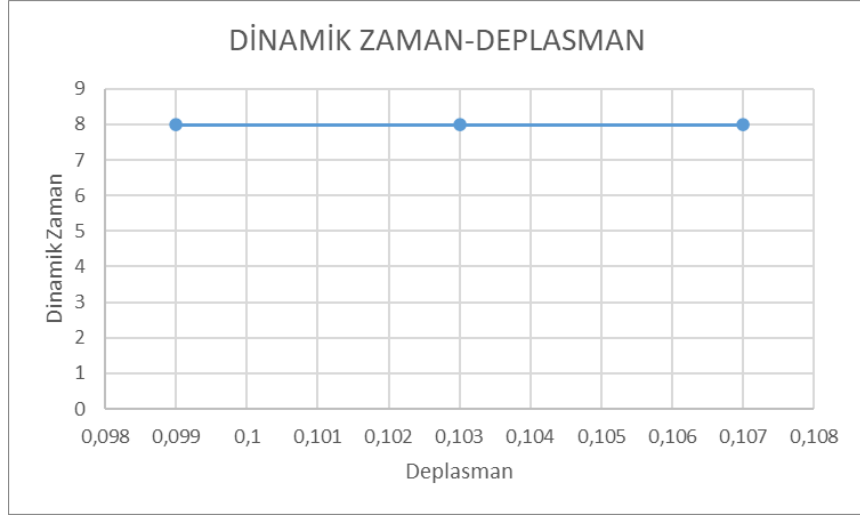
Şekil 8.44. Model-8 için Plaxis 2D programında yapılan analiz deplasman sonucu



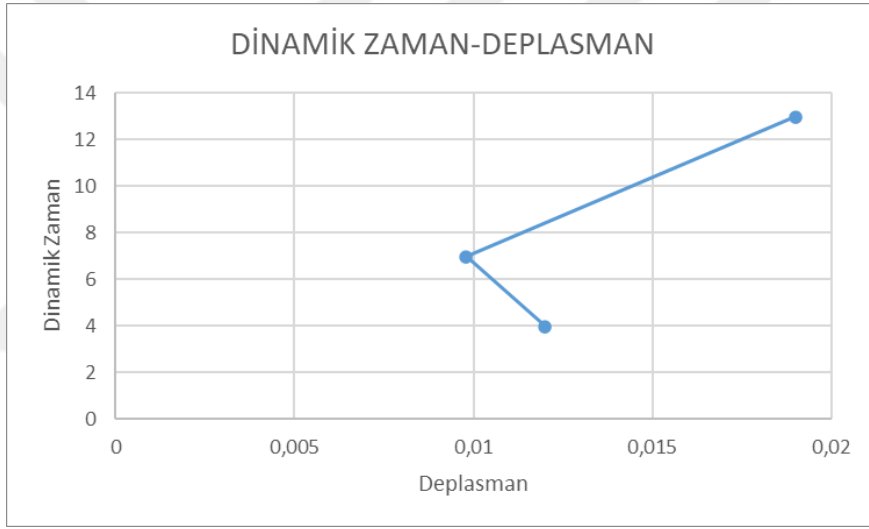
Şekil 8.45. Model-8 için Dinamik zaman ve principal effective stresses grafiği (birleşim noktası için)



Şekil 8.46. Model-8 için zaman ve principal effective stresses grafiği (köşe noktası için)



Şekil 8.47. İstinat duvarının x yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği



Şekil 8.48. İstinat duvarının y yönündeki dinamik zaman-deplasman grafiği

9. SONUÇLAR

Ampirik yöntem ile yapılan hesaplamaların sonuçlarına baktığımızda;

- Zeminde aktarılan en yüksek gerilme değerinin 265.08 kN/m² değeriyle Model-8'de olduğu hesaplanmıştır. Bütün modellerin zemine aktarılan en yüksek gerilmesi izin verilebilir güvenli taşıma gücü 300 kN/m²'den küçük olduğu için uygun olduğu görülmektedir.
- Devrilme güvenliği açısından baktığımızda bütün modellerin devrilme güvenlik sonuçları 1,3'ten büyük olduğu ve devrilme açısından modellerin güvenli olduğu görülmüştür.
- Kayma güvenliği açısından ise modellerin hepsinin TBDY 2018'de belirtilen koşulu ($V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt}$) sağladığı görülmüştür.

Plaxis 2D yapılan deplasman analiz sonuçlarına baktığımızda;

- Model-1 ve Model-2'ye baktığımızda birim hacim ağırlığın 18 kN/m³'den 24 kN/m³'e arttığında deplasman değerinin 0.032 m'den 0.043 m'ye %34.4 oranında arttığı görülmektedir.
- Model-3 ve Model-4'e baktığımızda birim hacim ağırlığın 18 kN/m³'den 24 kN/m³'e arttığında deplasman değerinin 0.029 m'den 0.038 m'ye %31 oranında arttığı görülmektedir.
- Model-5 ve Model-6'ya baktığımızda birim hacim ağırlığın 18 kN/m³'den 24 kN/m³'e arttığında deplasman değerinin 0.65 m'den 0.86 m'ye %32 oranında arttığı görülmektedir.
- Model-7 ve Model-8'e baktığımızda birim hacim ağırlığın 18 kN/m³'den 24 kN/m³'e arttığında deplasman değerinin 0,090 m'den 0.15 m'ye %67 oranında arttığı görülmektedir.

Diğer bir değerlendirme olan dinamik zaman ve en yüksek deplasman grafiği ile ivme-dinamik zaman grafiğine baktığımızda;

- Model-1 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 26. saniyede y yönünde ise 31. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 31. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.

- Model-2 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 45. saniyede y yönünde ise 13. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 31. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.
- Model-3 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 42. saniyede y yönünde ise 42. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 38. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.
- Model-4 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 41. saniyede y yönünde ise 38. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 38. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.
- Model-5 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 32. saniyede y yönünde ise 37. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 35. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.
- Model-6 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 41. saniyede y yönünde ise 40. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 35. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.
- Model-7 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 6. saniyede y yönünde ise 5. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 4. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.
- Model-8 için en yüksek deplasman dinamik zamanda x yönünde 13. saniyede y yönünde ise 8. saniyede gerçekleşmiştir. En yüksek ivme değeri ise 4. saniyede gerçekleştiği grafikte görülmektedir.

Plaxis 2D deplasman sonuçlarını değerlendirirken ‘Performance-based analysis of cantilever retaining walls subjected to near-fault ground shakings’ [20] adlı çalışmaya baktığımızda deplasman değeri İstinat duvarı yüksekliğinin %5’ini geçtiğinde istinat duvarının görevini yerine getiremediğini duvarın yıkıldığı kabul edilmiştir. Bu şekilde modelleri değerlendirdiğimizde, bütün istinat duvarlarının yüksekliği 6m olduğu için deplasman değeri 30 cm değerini geçenlerin yıkıldığı varsayılmıştır. Bu şekilde değerlendirdiğimizde Model-5 ve Model-6’nın yıkıldığı ve daha farklı çözümlerle modellenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Modellerimizin, uygulanması için temel tabanı genişliğini değerlendirdiğimiz de ise genişliklerin 5,4 m ile 10 m arasında değiştiği görölmektedir. Temel genişliğinin fazla olduğu durumlarda uygulamada uygun görölmediği düşünölmektedir ancak P. Rahbari, N. Ravichandran, C. H. Juang [21] çalışmasında temel genişliğinin 9 m olduğu modellemeler yapmış ve Plaxis 2D üzerinde bunun analizlerini yaparak çalışmalarına eklemiştir.



KAYNAKÇA

- [1] Rasim Temür, Gebrail Bekdaş (2018). Optimum design of reinforced concrete cantilever retaining walls. Pamukkale Üniversitesi Müh. Bilim Dergisi, 1043-1050.
- [2] Chetan Sharma, Vijay Baradiya (2014). Evaluation of the effect of lateral soil pressure on cantilever retaining wall with soil type variation. Journal of Mechanical and Civil Engineering, 36-42.
- [3] Siavash Zamiran, Abdolreza Osouli (2015). Seismic Performance of Cantilever Retaining Walls with Clayey Backfills. American Society of Civil Engineers, 1439-1448.
- [4] Deparghya Chakraborty, Deepankar Choudhury (2014). Stability of non-vertical waterfront retaining wall supporting inclined backfill under earthquake and tsunami. Ocean Engineering 78, 1-10.
- [5] Kamal Mohamed Hafez İsmail İbrahim (2015). Seismic displacement of gravity retaining walls. HBRC Journal, 224-230.
- [6] İlknur Dalyan, Muhammed Selahaddin Akın, Zulal Akbay Arama (2020). The Evaluation of the Effective Parameters on the Geotechnical Design of Reinforced Concrete Retaining Walls According to the Turkish Building Earthquake Code 2018. Turkish Journal of Earthquake Research, 176-192.
- [7] Tufan Çakır (2015). Finite Element Based Investigation of Backfill Effects on Seismic Behavior of a Cantilever Wall. Procedia Earth and Planetary Science 15, 231-236.
- [8] Salem, A.N., Ezzeldine, O.Y. and Amer, M.I. (2020). Seismic loading on cantilever retaining walls: Full-scale dynamic analysis. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 130, 105962.
- [9] Scotto di Santolo, A. and Evangelista, A. (2011). Dynamic active earth pressure on cantilever retaining walls. Computers and Geotechnics. 38 (8), 1041-1051.
- [10] Rajesh, B.G. and Choudhury, D. (2018). Computation of sliding displacements of seawalls under earthquake conditions. Natural Hazards. 96, 97-119.
- [11] http-1: <https://istinatduvari.com/makaleler/istinat-duvari-nedir>
- [12] http-2: <https://www.movea.com.tr/istinat-duvarlari-ve-tipleri-nelerdir/>
- [13] http-3: <https://www.gokozinsaat.com/istinat-duvari-nedir-hesabi-nasil-yapilir/>
- [14] http-4: <https://istinatduvari.com/makaleler/istinat-duvari-cesitleri>
- [15] http-5: <https://skyciv.com/tr/docs/skyciv-retaining-wall/articles/types-of-retaining-wall/>
- [16] http-6: <https://www.geoart.com.tr/istinat-duvarlari-ve-cesitleri.html>
- [17] http-7: http://betoncelik.com/TBDY_2018_konsol_istinat2.html
- [18] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (2019).

- [19] PLAXIS 2D
- [20] Milad Aghamolaei , Alireza Saeedi Azizkandi, Mohammad Hassan Baziar, Sadegh Ghavami (2021). Performance-based analysis of cantilever retaining walls subjected to near-fault ground shakings. Computers and Geotechnics 130.
- [21] Parishad Rahbari, Nadarajah Ravichandran and C. Hsein Juang (2017). Seismic Geotechnical Robust Design Of Cantilever Retaining Wall Using Response Surface Approach. Journal of GeoEngineering, 147-155.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tolga Akkuş

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2016-2021, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- 2021-2024, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans
- 2022-2023, Yardımcı Kontrol Elemanı, Mono Yapı Denetim