

**SUYA DOYGUN KİL ZEMİNLERE
İNŞA EDİLEN İSTİNAT DUVARLARININ
DİNAMİK YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI**

Onur YAVAN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2015

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Onur Yavan'ın "Suya Doygun Kil Zeminlere İnşa Edilen İstinat Duvarlarının Dinamik Yükler Altında Davranışı" başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi ... / ... /2015 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı):	Prof. Dr. Ahmet TUNCAN
Üye :	Prof. Dr. Mustafa TUNCAN
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Nazile URAL

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SUYA DOYGUN KİL ZEMİNLERE İNŞA EDİLEN İSTİNAT DUVARLARININ DİNAMİK YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞI

Onur YAVAN

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2015, 116 sayfa

Bu çalışmada farklı kohezyon değerlerine sahip suya doygun kil zeminlere inşa edilmesi düşünülen farklı boyutlardaki istinat duvarlarının statik ve dinamik yükler altındaki davranışları belirlenmiştir. Statik ve dinamik yük analizleri Plaxis 2D paket programı kullanılarak yapılmıştır. İstinat duvarları; ağırlıklı ve konsol olmak üzere 2 farklı türde ve yükseklikleri 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 farklı yükseklikte tasarlanmıştır. Duvarlara etki edecek olan aktif basınç değeri Rankine Aktif Basınç Teorisi ile bulunmuştur. İstinat duvarlarının devrilmeye karşı, kaymaya karşı ve taşımaya karşı güvenlik sayıları sırasıyla 2.0, 1.5 ve 3.0 olarak alınmıştır. Statik yükler altında dengede olan istinat duvarlarının dinamik yükler altında nasıl davrandığını anlamak için 3 farklı büyüklüğe sahip olan Van, Türkiye, Petrolia-California, ABD ve Volcano-Hawai, ABD depremleri kullanılmıştır. Deprem kayıtları “United States Geological Survey” (USGS) sitesinden alınmıştır. Bu kayıtlar Plaxis 2D paket programında kullanılması için “strong motion CD” (.smc) uzantısına sahiptirler. Analiz sonucunda, 7.0 büyüklüğüne kadar deprem olma riski olan bölgelerde, 5.0 m ve 10 m yüksekliğinde ağırlıklı ve konsol istinat duvarların güvenli bir şekilde yapılması uygun olup 15.0 m yüksekliğinde her iki istinat duvarının yapılmasının uygun olmadığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Konsol İstinat Duvarı, Ağırlıklı İstinat Duvarı, İstinat Duvarı Tasarımı, Dinamik Yük, Deprem, Plaxis 2D

ABSTRACT

Master of Science Thesis

BEHAVIOUR of RETAINING WALLS WHICH ARE CONSTRUCTED in SATURATED CLAY SOIL UNDER DYNAMIC LOADS

Onur YAVAN

**Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program**

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet TUNCAN

2015, 116 pages

In this study, behavior of retaining walls constructed in clay soil has been determined under static and dynamic loads. Analyses of static and dynamic behavior of gravity and cantilever walls have been done by Plaxis 2D software packet program. The heights of the walls are selected such as 5 m, 10 m and 15 m. Active earth pressure are calculated by Rankine Active Earth Pressure Theory. Factor of safeties such as overturning, sliding and bearing capacity are selected 2.0, 1.5 and 3.0, respectively. Three different earthquake loads such as Van, Turkey, Petrolia-California, ABD and Volcano-Hawaii, ABD are chosen to determine the dynamic behavior of walls. Records of earthquake loads were taken “United States Geological Survey” (USGS) official web site. Format of earthquake records is “strong motion CD” (.smc) due to Plaxis 2D software packet program. As a result of analyses, 5.0 m and 10 m heights of retaining walls can be safely constructed in the earthquake zones having the magnitude up to 7.0. 15 m height of retaining walls can not be safely constructed due to the insufficient wall dimensions.

Key Words: Cantilever Retaining Wall, Gravity Retaining Wall, Design of Retaining Wall, Dynamic Load, Earthquake, Plaxis 2D

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimin boyunca birçok kişinin desteğinin aldığım için onlara bir teşekkürü borç bilirim. Bu kişilerin benim yüksek lisans eğitim öğretim hayatımda değerli bir yere sahip oldukları için bu tezin başlangıcında onlara teşekkür edeceğim.

Öncelikle, bana desteğini esirgmeden özgüven depolayan ve bana danışmanlık yapan Prof. Dr. Sayın Ahmet Tuncan'a çok teşekkür ederim. Onun liderliğinde yüksek lisans tezimi en güzel bir şekilde tamamlamış oluyorum. Teşekkürler Sayın hocam.

Sonra, tezimde ve izleyeceğim yol hakkında bilgi veren ve bana yol gösteren ve samimiyet içinde bana yardımcı olan Araştırma Görevlisi M.İnanç Onur'a, Araştırma Görevlisi Burak Evirgen'e ve Araştırma Görevlisi Onur Tunaboyu'na en içten saygılarımı iletip teşekkür ederim.

Sonra, bana eğitim hayatımda olmasa da sürekli arkamda durarak bana olan güvenlerini ve desteklerini her zaman sergileyen en başta hayattaki en önemli varlığım olan aileme en içten saygılarımla çok ama çok teşekkür ederim.

Son olarak, bana olan güvenini hiçbir zaman kaybetmeyen sürekli olarak yanımda olan sürekli beni ve hayatımızı düşünen ve ilerde hayat arkadaşım olacak kişi olan Tuğçe Gülçiçek'e teşekkür ederim.

İyiki varsınız iyiki hayatımdasınız.

Sizleri herşeyden çok seviyorum.

Onur YAVAN

Herseyden Değerli Aileme;

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI	2
2.1. Konsol İstinat Duvarları ile ilgili Çalışmalar	2
2.2 Ağırlıklı İstinat Duvarları ile ilgili Çalışmalar	11
3. İSTİNAT DUVARLARI	16
3.1. Giriş.....	16
3.2. İstinat Duvarlarının Kullanıldığı Yerler	17
3.3. İstinat Yapılarının Sınıflandırılması.....	19
3.3.1. Ağırlık (Masif) İstinat Duvarları.....	20
3.3.2. Yarı Ağırlık İstinat Duvarları.....	21
3.3.3. Betonarme İstinat Duvarları	21
3.3.3.1. Konsol İstinat Duvarları	21
3.3.3.2. Payandalı (önde veya arkada) İstinat Duvarları	22
3.4. Dinamik Yükler.....	23
3.4.1. Çalışmada Kullanılan Deprem Kayıtları	26

4. YANAL ZEMİN BASINCI	28
4.1. Aktif, Pasif ve Sükunetteki Zemin Basınçları.....	29
4.2. Sükunetteki Zemin Basıncı	31
4.3. Rankine Aktif Zemin Basınç Teorisi	34
4.4. Rankine Pasif Basınç Teorisi	36
4.5. İstinat Duvarının Arkasında Kalan Kohezyonlu Zeminin Basıncı	37
4.5.1. Aktif Basınç Durumu	37
4.5.2. Pasif Basınç Durumu	39
4.6. Coulomb Zemin Basınç Teorisi	41
4.6.1. Coulomb Aktif Zemin Basınç Teorisi.....	41
4.6.2. Coulomb Pasif Zemin Basınç Teorisi	42
4.7. İstinat Duvarlarının Stabilitesi	44
4.7.1. Devrilme Kontrolü	44
4.7.2. Kayma Kontrolü.....	46
4.7.3. Taşıma Kapasitesi Kontrolü.....	47
4.7.4. Toptan Göçme Kontrolü	48
4.7.5. Oturma Kontrolü	52
4.8. İstinat Duvarı Arkasında Kalan Zemine Drenaj Uygulaması	55
5. DEPREMDEN KAYNAKLANAN İSTİNAT DUVARLARINA ETKİ EDEN AKTİF KUVVETLER	56
5.1. Mononobe-Okabe Yöntemi.....	56
5.2. Seed ve Whitman Yöntemi	57
5.3. Toplam Kuvvet, P_{ae} 'nin Duvara Etki Ettiği Yer	58

6. İSTİNAT DUVARI DİZAYN PARAMETRELERİNİN ELİRLLENMESİ	60
6.1. İstinat Duvarlarına Etki Edecek Aktif Basıncın Hesaplanması	60
6.2. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 5 m olan Konsol Tipi İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri	67
6.3. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 10 m olan Konsol Tipi İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri	68
6.4. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 15 m olan Konsol Tipi İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri	70
6.5. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 5 m olan Ağırlıklı İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri	71
6.6. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 10 m olan Ağırlıklı İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri	72
6.7. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 15 m olan Ağırlıklı İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri	74
7. PLAXIS 2D PROGRAMI ile STATİK ve DİNAMİK ANALİZ	76
7.1. Konsol İstinat Duvarlarının Statik Yükler Altındaki Deformasyonlar	77
7.2. Ağırlıklı İstinat Duvarlarının Statik Yükler Altındaki Deformasyonlar	80
7.3. Konsol İstinat Duvarları ve Ağırlıklı İstinat Duvarlarının Statik Yükler Altındaki Deformasyonlarının Karşılaştırılması	83
7.4. Dinamik Yükler Altında İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar	88
7.4.1. $M_w=5.0$ Büyüklüğündeki Depremde Konsol İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar	88
7.4.2. $M_w=6.0$ Büyüklüğündeki Depremde Konsol İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar	90
7.4.3. $M_w=7.0$ Büyüklüğündeki Depremde Konsol İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar	91

7.4.4. $M_w=5.0$ Büyüklüğündeki Depremde Ağırlık İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar	92
7.4.5. $M_w=6.0$ Büyüklüğündeki Depremde Ağırlık İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar	95
7.4.6. $M_w=7.0$ Büyüklüğündeki Depremde Ağırlık İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar	96
7.5. Depremlerin Farklı Tip İstinat Duvarlarına Etkisinin Karşılaştırılması	97
7.5.1. İstinat Duvarlarının Arkasında Kalan Killi Zeminin Kohezyon Değeri 10 kN/m^2 iken Depremlerin Meydana Getirdiği Deformasyonlar	97
7.5.2. İstinat Duvarlarının Arkasında Kalan Killi Zeminin Kohezyon Değeri 20 kN/m^2 iken Depremlerin Meydana Getirdiği Deformasyonlar	100
7.5.3. İstinat Duvarlarının Arkasında Kalan Killi Zeminin Kohezyon Değeri 40 kN/m^2 iken Depremlerin Meydana Getirdiği Deformasyonlar	103
8. ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ	106
KAYNAKLAR	114

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Deney numunelerine ait sayısal veriler	3
2.2. Deney Düzeneği	4
2.3. FLAC 2D programı ile modellenen geofoamlı ve geofoamsız modeller.....	4
2.4. İçsel sürtünme açısı 30° olan ve farklı eğimlere sahip yapılar için yatay ve düşey aktif basınç katsayılarının değişimi	5
2.5. İçsel sürtünme açısı 40° olan ve farklı eğimlere sahip yapılar için yatay ve düşey aktif basınç katsayılarının değişimi	6
2.6. Laboratuvar modelin yandan görünümü	7
2.7. Modelin şematik görünümü	7
2.8. Konsol istinat duvarının farklı yüklemeler için temel oturmaları	8
2.9. Farklı yüklemeler sonucu zeminde oturmalar ve istinat yapısı arkasında kalan zemine etkisi	8
2.10. Dinamik yük $q=17\text{kN/m}^2$ ve statik yük yok iken hesaplanan kaymaya karşı güvenlik değerleri	9
2.11. Konsol istinat yapılarına etki eden yükler a) Eğimi 0° olan konsol istinat duvarına etki eden yükler b) İstinat duvarının arkasında eğimli olan zemin kütlesi ve istinat duvarına etki eden yükler.....	10
2.12. Konsol istinat duvarların zamana bağlı kaymaya karşı güvenlik faktörünün değişimi	10
2.13. Farklı tarihi depremlerin oluşturduğu deformasyonların hesaplanma yöntemleriyle kıyaslanması	12
2.14. Analiz modeli ile kullanılan malzemeler ve çalışmada kullanılan deprem ivmesi.....	12
2.15. Ölçülen dinamik itki ile su basıncının zamana bağlı değişimi.....	13
2.16. Duvarlardaki kuvvetler ve ivmeler (sırasıyla Mononobe-Okabe ve Caltabiano Yön.).....	13

2.17. FLAC 2D ile nümerik model	14
2.18. FLAC 2D ile yapılan analiz sonuçları a) Panelsiz duvarda oluşan deformasyon b) Panelli duvarda oluşan deformasyon.....	15
3.1. İstinat duvarlarının kullanım alanları	19
3.2. Ağırlıklı istinat duvarı	20
3.3. Yarı ağırlık istinat duvarı tipi en kesiti	21
3.4. Konsol istinat duvarı	22
3.5. Payandalı istinat duvarı	23
3.6. Türkiye deprem haritası	24
3.7. 1900'den günümüze kadar Türkiye ve yakın çevresinde meydana gelen büyüklüğü 5.0 veya 5.0'den büyük olan depremlerin dağılımı	25
3.8. Volcano-Hawaii, ABD'de meydana gelen depremin .smc kaydı	26
3.9. Petrolia-California, ABD'de meydana gelen depremin .smc kaydı.....	27
3.10. Van, Türkiye'de meydana gelen depremin .smc kaydı.....	27
4.1. Aktif, Pasif ve Sükunetteki zemin basıncının gösterimi	29
4.2. Duvar hareketi ile yanal zemin basıncının büyüklüğünün değişimi	31
4.3. Sükunetteki zemin basıncı	32
4.4. Sükunetteki zeminin yanal basınç dağılımı	33
4.5. Sükunet halinde farklı zemin ve yer altı su seviyesi bulunan zeminin yanal basınç dağılımı a) sadece zeminden kaynaklanan basınçlar b) yer altı suyu basıncı c) toplam basınç.....	33
4.6. Rankine Aktif Zemin Basıncı	34
4.7. Rankine Pasif Zemin Basıncı	36
4.8. Rankine istinat duvarının arkasındaki kohezyonlu zemin için aktif basınç dağılımı	38
4.9. İstinat duvarının arkasındaki kohezyonlu zemin için Rankine pasif basınç dağılımı	40

4.10. (a) Coulomb teorisinde aktif durumda zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve (b) kuvvet poligonu.....	42
4.11. (a) Coulomb teorisinde pasif durumda zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve (b) kuvvet poligonu	43
4.12. (a) Konsol istinat duvarında devrilmeye karşı güvenlik kontrolü yapılırken moment alınacak M noktası (b) Ağırlık istinat duvarında devrilmeye karşı güvenlik kontrolü yapılırken moment alınacak M noktası.....	45
4.13. İstinat duvarında taşıma gücü göçmesi	49
4.14. İstinat duvarlarının toptan göçmesi	50
4.15. İstinat duvarının toptan göçme analizi	51
4.16. Rijit ve esnek temelin elastik oturması	53
4.17. α , α_{av} ve a_r değerleri.....	54
4.18. İstinat duvarını koruma amaçlı yapılan drenaj uygulamaları.....	55
5.1. Deprem yüklerinin istinat duvarı üzerindeki aktif kuvveti	56
5.2. Toplam kuvvet, Pae 'nin istinat duvarına etki ettiği yeri	59
6.1. Konsol istinat duvarı ve duvara etki edecek yükler	63
6.2. Ağırlık istinat duvarı ve duvara etki edecek yükler	64
6.3. Yüksekliği 5 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri (a) 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü (b) 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü (c) 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü	68
6.4. Yüksekliği 10 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri (a) 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü (b) 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü (c) 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü	69

6.5. Yüksekliği 15 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri (a) 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü (b) 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü (c) 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü	70
6.6. Yüksekliği 5 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri (a) 5 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü (b) 5 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü (c) 5 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü.....	72
6.7. Yüksekliği 10 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri (a) 10 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü (b) 10 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü (c) 10 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü.....	73
6.8. Yüksekliği 15 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri (a) 15 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü (b) 15 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü (c) 15 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü.....	75
7.1. 5 m yükseklikteki konsol istinat duvarının deformasyonu (a) Konsol istinat duvarının Plaxis 2D paket programı modeli (b) Konsol istinat duvarının yatay yöndeki deformasyonu (c) Konsol istinat duvarının düşey yöndeki deformasyonu	78
7.2. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının deformasyonu (a) Ağırlıklı istinat duvarının Plaxis 2D paket programı modeli (b) Ağırlıklı istinat duvarının yatay yöndeki deformasyonu (c) Ağırlıklı istinat duvarının düşey yöndeki deformasyonu	81

- 7.3. 5 m yükseklikteki konsol istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan deformasyonları (a) Konsol istinat duvarının Plaxis 2D paket programı dinamik yükler altındaki modeli (b) Konsol istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan yatay yöndeki deformasyonu (c) Konsol istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan düşey yöndeki deformasyonu .89
- 7.4. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan deformasyonları (a) Ağırlıklı istinat duvarının Plaxis 2D paket programı dinamik yükler altındaki modeli (b) Ağırlıklı istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan yatay yöndeki deformasyonu (c) Ağırlıklı istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan düşey yöndeki deformasyonu .93

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1. Analizlerde kullanılan depremlerin genel özellikleri	28
6.1. İstinat duvarlarına etki edecek olan killi zeminin özellikleri	61
6.2. İstinat duvarı yüksekliğine bağlı olarak değişen aktif basınç ve konsol istinat duvarı tasarım parametreleri	65
6.3. İstinat duvarı yüksekliğine bağlı olarak değişen aktif basınç ve ağırlıklı istinat duvarı tasarım parametreleri	66
7.1. İstinat duvarlarının deprem ivmelerine göre yatay yönde limit deformasyonları	77
7.2. İstinat duvarlarının yüksekliğine göre yatay yönde limit deformasyonları	77
7.3. 5 m yükseklikteki konsol istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar.....	79
7.4. 10 m yükseklikteki konsol istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar.....	79
7.5. 15 m yükseklikteki konsol istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar.....	80
7.6. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar.....	82
7.7. 10 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar...	82
7.8. 15 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar...	83
7.9. Duvarların arkasındaki killi zeminin kohezyonu 10 kN/m^2 olduğunda duvarlarda meydana gelen deformasyonlar	84
7.10. Duvarların arkasındaki killi zeminin kohezyonu 20 kN/m^2 olduğunda duvarlarda meydana gelen deformasyonlar	85

7.11. Duvarların arkasındaki killi zeminin kohezyonu 40 kN/m^2 olduğunda duvarlarda meydana gelen deformasyonlar	86
7.12. Duvarların arkasındaki killi zeminin özelliğinin değişiminin deformasyonlara etkisi.....	87
7.13. Konsol istinat duvarlarında Volcano-Hawaii, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar.....	89
7.14. Konsol istinat duvarlarında Petrolia-California, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar.....	90
7.15. Konsol istinat duvarlarında Van, Türkiye depreminden dolayı oluşan deformasyonlar	91
7.16. Ağırlıklı istinat duvarlarında Volcano-Hawaii, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar.....	94
7.17. Ağırlıklı istinat duvarlarında Petrolia-California, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar.....	95
7.18. Ağırlıklı istinat duvarlarında Van, Türkiye depreminden dolayı oluşan deformasyonla.....	96
7.19. 5 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	97
7.20. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	98
7.21. 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	98
7.22. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri $c=10 \text{ kN/m}^2$ olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar	99

7.23. 5 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m ² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	100
7.24. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m ² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	101
7.25. 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m ² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	101
7.26. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri c=20 kN/m ² olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar	102
7.27. 5 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m ² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	103
7.28. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m ² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	104
7.29. 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m ² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları	104
7.30. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri c=40 kN/m ² olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar	105
8.1. Statik yükler altında duvarların arkasındaki killi zeminin özelliğinin değişiminin deformasyonlara etkisi	107
8.2. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri c=10 kN/m ² olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar	111
8.3. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri c=20 kN/m ² olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar	112
8.4. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri c=40 kN/m ² olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar	113

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a_h	: Maksimum yatay zemin ivmesi
a_v	: Maksimum düşey zemin ivmesi
a_y	: Duvar arka dolgu sisteminin yenilme ivmesi
c	: Zeminin kohezyon değeri
B	: Temel derinliği
C_h	: Yatay zemin ivmesi katsayısı
C_v	: Düşey zemin ivmesi katsayısı
C_w	: Zemin kütlelerinin duvara yapışma kuvveti
D_f	: Temel Derinliği
D'	: Konsol istinat duvarlarında dış derinliği
E_{AE}	: Maksimum dinamik aktif toprak basıncı
E	: Yük eksantrikliği
E_s	: Elastisite modülü
g	: Yerçekimi ivmesi
GS	Güvenlik sayısı
$GS_{devrilme}$: Devrilme için güvenlik katsayısı
GS_{kayma}	: Kayma için güvenlik katsayısı
$GS_{taşıma}$: Zeminin yapıyı taşıması için güvenlik katsayısı
H	: İstinat duvarının yüksekliği
K	: Toprak basıncı katsayısı
K_0	: Sükunetteki zemin basınç katsayısı
K_a	: Rankine aktif basınç sabiti
K_p	: Rankine pasif basınç sabiti
k_h	: Yatay yöndeki dinamik yük katsayısı
k_v	: Düşey yöndeki dinamik yük katsayısı
$k_h W$: Yatay yöndeki atalet kuvveti
$k_v W$: Düşey yöndeki atalet kuvveti
L	: Temel uzunluğu
M	: Moment
M_w	: Deprem büyüklüğü

N_{G1}	: Duvar gövdesinin ağırlığı
N_{G2}	: Duvar temelinin ağırlığı
N_z	: Duvar tabanı üzerindeki zemin ağırlığı
P_a	: Statik aktif zemin basıncı
P_{ae}	: Toplam dinamik aktif basınç
P_{su}	: Yer altı suyundan kaynaklanan su basıncı
P_T	: Toplam statik aktif zemin basıncı
P_h	: Aktif Duvar Basıncının yatay bileşkesi
P_v	: Aktif Duvar Basıncının düşey bileşkesi
P_p	: Toplam statik pasif zemin basıncı
P_{at}	: Toplam aktif zemin basıncının
P_{ad}	: Toplam deprem yükü
S_e	: Elastik oturma
S_c	: Konsolidasyon oturması
u	: Toplam deformasyon
u_x	: Yatay yöndeki deformasyon
u_y	: Düşey yöndeki deformasyon
v_{max}	: Pik yer hızı
YASS	: Yer altı su seviyesi
W	: Zemin kamasının ağırlığı
W_c	: Beton kütlelerinin ağırlığı
W_s	: Zemin kütlelerinin ağırlığı
ΣF_z	: Duvara etkiyen düşey kuvvetler toplamı
ΣF_R	: Kaymaya karşı koyan toplam kuvvet
ΣM_d	: Döndürücü moment toplamı
ΣM_o	: Duvara tesir eden yüklerin O noktasına göre toplam momenti
ΣN	: Duvara tesir eden düşey yüklerin toplamı
ΔP_{ae}	: Ek dinamik itki
γ'	: Zeminin batık birim hacim ağırlığı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
β	: Duvar arkası zemin yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açı
ϕ	: Zeminin içsel sürtünme açısı

θ	: Duvar yüzünün yatayla yapmış olduğu açı
μ	: Taban zemini için sürtünme katsayısı
μ_s	: Poison Oranı
α	: Duvar arka yüzeyinin düşey ile yaptığı açı
α_{av}	: Esnek temeller için ortalama elastik oturma katsayısı
α_r	: Rijit temeller için elastik oturma katsayısı
δ	: Duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme açısı
σ	: Zeminden kaynaklanan ve istinat duvarı üzerine etkileyen zemin basıncı

1.GİRİŞ

Bu çalışmada, öncelikle istinat duvarları ve çeşitleri, genel özellikleriyle birlikte yapıma amaçları verilmiştir. İstinat duvarlarına etki eden tekil veya sürşarj yüklerin istinat duvarlarına nasıl etki ettiği gösterilmiştir. Bunlarla birlikte farklı zeminlerde farklı türde istinat duvarların davranışları hakkında kısa bilgiler verilmiştir. Bu bilgiler ışığında, 5 m, 10 m ve 15 m yüksekliklere sahip ağırlıklı ve konsol istinat duvarlarının ön boyutlandırma koşulları ile tasarımları yapılmıştır. Ön boyutlandırılması yapılan duvarların gerekli stabilite kontrolleri yapıldıktan sonra statik yükler altında gerekli şartları sağlayan yapılar, farklı büyüklükteki depremlere Plaxis 2D paket programının yardımıyla maruz bırakılmıştır. Oluşan deformasyonlar kaydedilmiş ve iki duvar arasındaki deformasyon farkları verilmiştir. Son olarak da stabilite koşulları iyileştirilmiş ve yeni yapılar dizayn edilmiştir. Yeni dizaynları yapılan duvarlar tekrar önceki duvarların maruz kaldığı depremlere maruz bırakılarak oluşan deformasyonların kıyaslanması yapılmıştır. Bu çalışma ile birlikte, deprem bölgelerde –istinat duvarlarına ihtiyaç duyulursa-stabilite kontrol güvenlik sayılarının minimum seçilmesi gereken sayılar verilmiştir.

Çalışmada farklı kohezyon değerlerine sahip zeminlere inşa edilmesi düşünülen farklı boyutlardaki farklı türde istinat duvarları tasarlanmıştır. İstinat duvarı arkasında kalan zeminin kohezyon değerleri 1.0 t/m², 2.0 t/m², 4.0 t/m² olarak seçilmiştir. Aynı zamanda bu kohezyon özelliğine sahip zeminlerde istinat duvarı boyunca yer altı su seviyesinin var olduğu ve yer altı suyundan başka yapıma herhangi bir tekil yük ya da yayılı yük etki etmediği düşünülmüştür. Bu durumda olan zemine, istinat duvarlarının yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere ağırlıklı istinat duvarı ve konsol istinat duvarları tasarlanmıştır.

İstinat duvarı arkasında kalacak zeminin yoğunluğu (γ) 1,7 t/m³ olup istinat duvarının oturacağı zemin özelliğinde içsel sürtünme açısı değeri (ϕ) 30° , yoğunluğu 2.0 t/m³ ve kohezyon değeri 1.0 t/m² olarak düşünülmüştür.

Bu istinat duvarlarının statik yükler altında davranış ve modelleri Plaxis 2D programında analizleri yaptırılıp yapılara etki eden moment değerleri ve

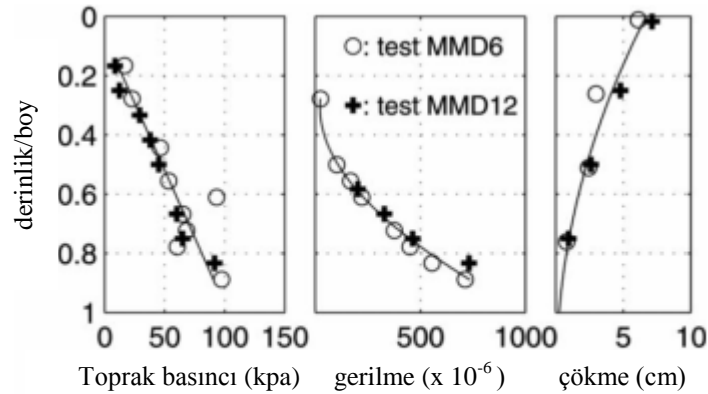
deformasyon verileri elde edilmiştir. Statik yükler altında dengede olan İstinat duvarlarının depremlerde nasıl bir davranış sergilediğini görmek için 3 farklı büyüklüğe sahip olan Van, Türkiye, Petrolia-California, ABD ve Volcano-Hawaii, ABD depremlerinin büyüklükleri kullanılmıştır.

2.LİTERATÜR TARAMASI

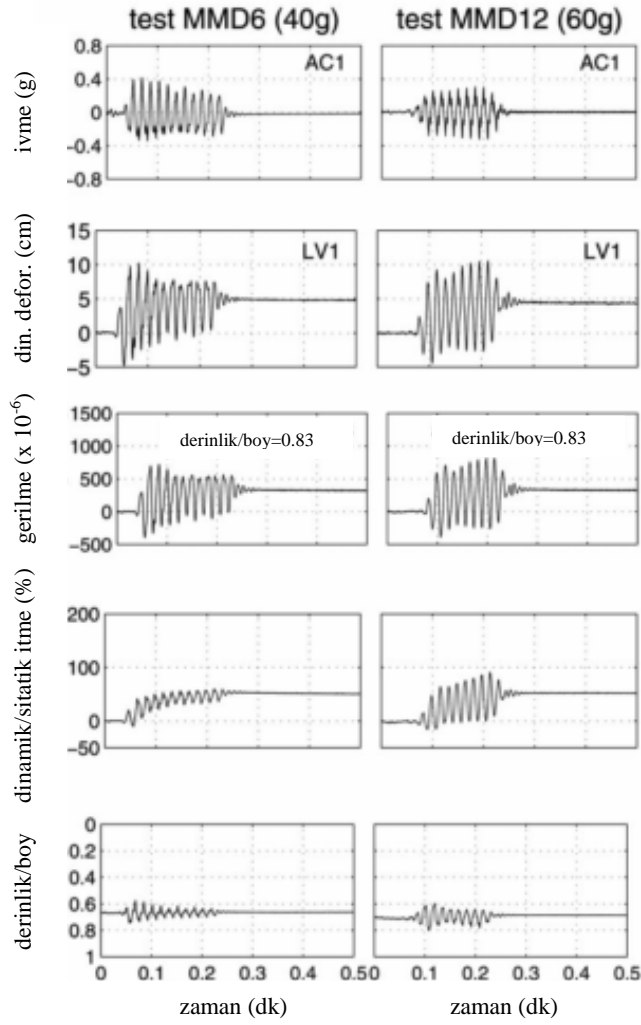
İstinat duvarlarının çeşitleri ve yapıldığı ortam koşullarıyla ilgili bir çok yayın yapılmış olup halen bu çalışmalar devam etmektedir. İstinat duvarlarının arkasında bulunan zemin eğiminin veya türünün değişiminden kaynaklanan yük değişimleri veya dinamik yük altında davranışlarıyla ilişkili araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir.

2.1. Konsol İstinat Duvarları ile ilgili Çalışmalar

Dewoolkar ve ark. (2000) depremlerin konsol istinat duvarı arkasında kalan sıvılaştırılabilir zeminin üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada tasarlanan konsol istinat yapıların arkasında kalan kohezyonsuz zeminin statik ve dinamik yükler altında yapıya etkisini, yapının temel derinliğinin yapının boyu oranına göre değişimini grafiklerle açıklamıştır. İki farklı tasarıma sahip istinat yapılarının statik ve dinamik yükler altında temel derinliğinin yüksekliğe oranına ilişkin grafikler Şekil 2.1’de verilmiştir.



a) Modellerin statik yük altında davranışları



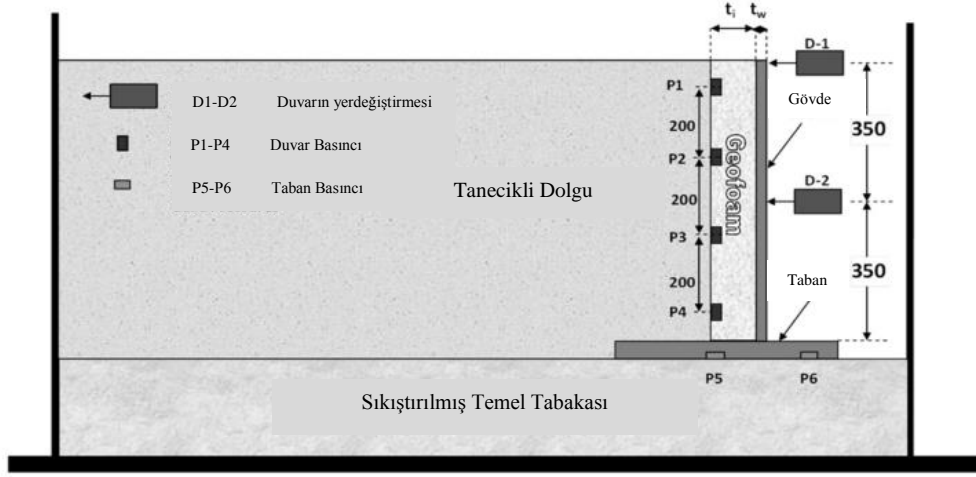
b) Modellerin dinamik yük altında davranışları

Şekil 2.1. Deney numunelerine ait sayısal veriler

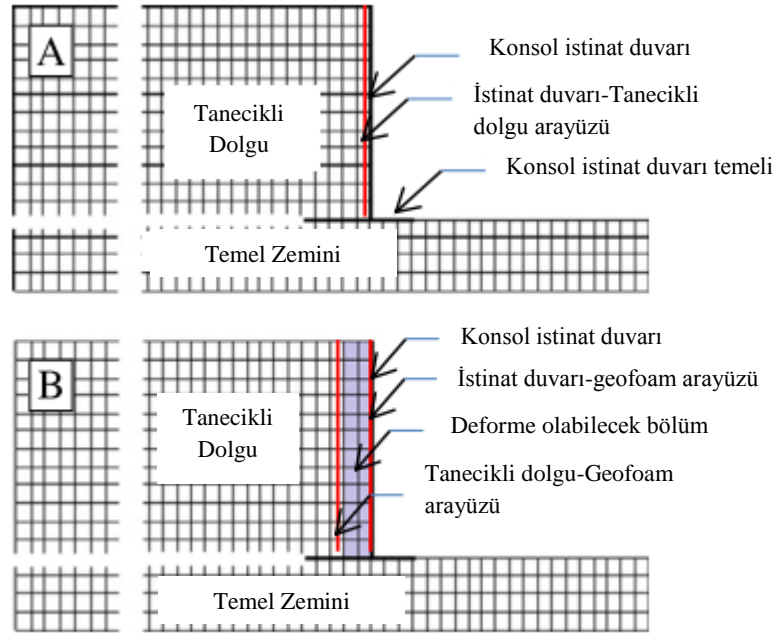
Deneyler sonucunda, tasarımları yapılan numunelere etki edecek deprem ivmelerinden kaynaklanan, boşluk suyu basıncındaki artış, yapıdaki çökmeler ve duvardaki burkulma değerleri belirlenmiştir. Nevada bölgesinde bulunan suya doymun zeminde oluşan veriler ile deneysel olarak alınan veriler sağlıklı olduğu ve bu bölgede olabilecek olan depremler için bu çalışmanın kullanılabileceği söylenmiştir.

Özgür ve ark. (2013) konsol istinat yapısının arkasında bulunan granüler zeminin yanal basıncını azaltmak amacıyla çalışmalar yapmışlardır. Bu amaçla

istinat yapısı ile arkasında bulunan zemin arasına geofoam adında bir malzeme koymuşlardır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Deney Düzenegi

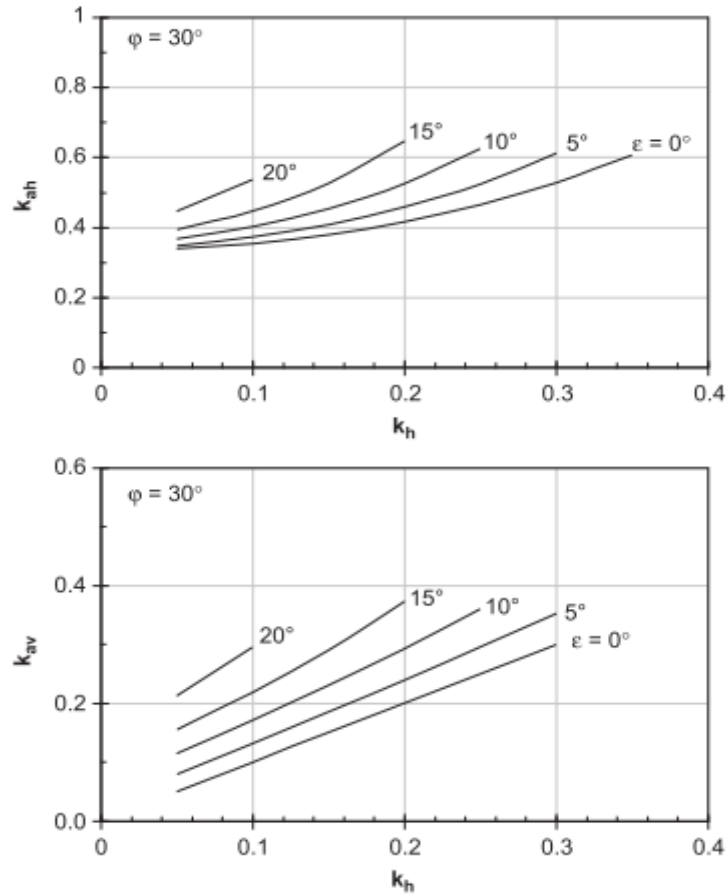


Şekil 2.3. FLAC 2D programı ile modellenen geofoamli ve geofoamsız modeller

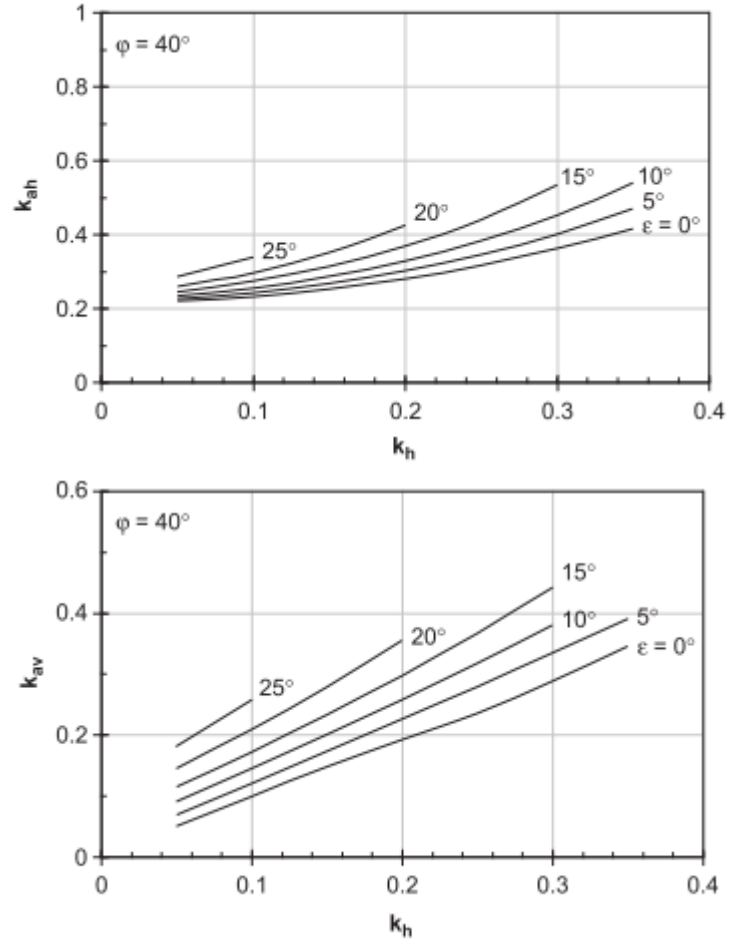
Bu çalışma hem laboratuvar ortamında alınan veriler ile hem de FLAC 2D paket programında yapılan analizlerin sonuçları kıyaslanmıştır. Farklı türde kullanılan geofomlar ve yapıda meydana gelen deformasyonlar makalede verilmiştir.

Sonuç olarak, Özgür ve ark. (2013) bu çalışmada istinat yapısının arkasında kalan farklı içsel sürtünme açılarında sahip granüler zeminin, kullanılan geofoamlar ile yanal aktif basıncının azaltıldığını makalede vermişlerdir.

Evangelista ve ark. (2010) aktif zemin basıncının bazı özelliklerine bağlı olarak güvenlik faktörlerin değişimini incelemişlerdir. Analizlerinde zeminin içsel sürtünmesi, duvarın pürüzlülüğü ve dolgu malzemesinin özellikleri ile düşey ve yatay aktif basınç sabitlerini dikkate almışlardır. Ayrıca bu yatay ve düşey aktif basınç sabitlerinden kaynaklanan kırılma eğrileri makalede verilmiştir. Analizler FLAC 2D programında yapılmış olup Şekil 2.4'de içsel sürtünme açısı 30° olan zeminin yatay ve düşey aktif basınç sabitlerinin ve Şekil 2.5'de içsel sürtünme açısı 30° olan zeminin yatay ve düşey aktif basınç sabitleri istinat yapısının arkasında kalan zeminin eğimine bağlı değişimi verilmiştir.



Şekil 2.4. İçsel sürtünme açısı 30° olan ve farklı eğimlere sahip yapılar için yatay ve düşey aktif basınç katsayılarının değişimi

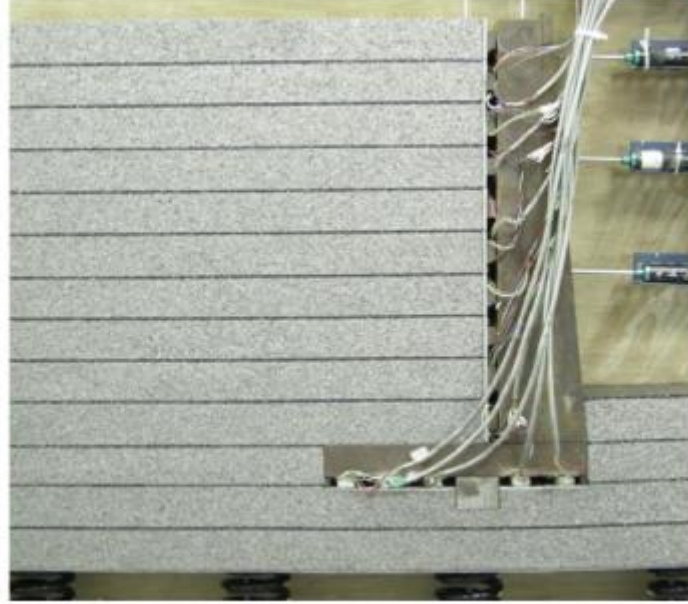


Şekil 2.5. İçsel sürtünme açısı 40° olan ve farklı eğimlere sahip yapılar için yatay ve düşey aktif basınç katsayılarının değişimi

Sonuç olarak aktif basıncın yatay ve düşey sabitlerinin değişiminin, istinat yapısının arkasında bulunan zeminin eğimine ve duvarın pürüzlüğüne bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Ayrıca dinamik etkilerin de zemin özelliğine bağlı olmayan duvar arkasında kalan zeminin eğiminden etkilendiği ve nümerik hesaplamaların FLAC 2D programı ile yapılan analizlerle desteklendiğini göstermişlerdir. Dinamik yük yönünün bilinemeyeceğini belirterek yatay ve düşey aktif basınç sabitlerinin değişebileceğini söylemişlerdir.

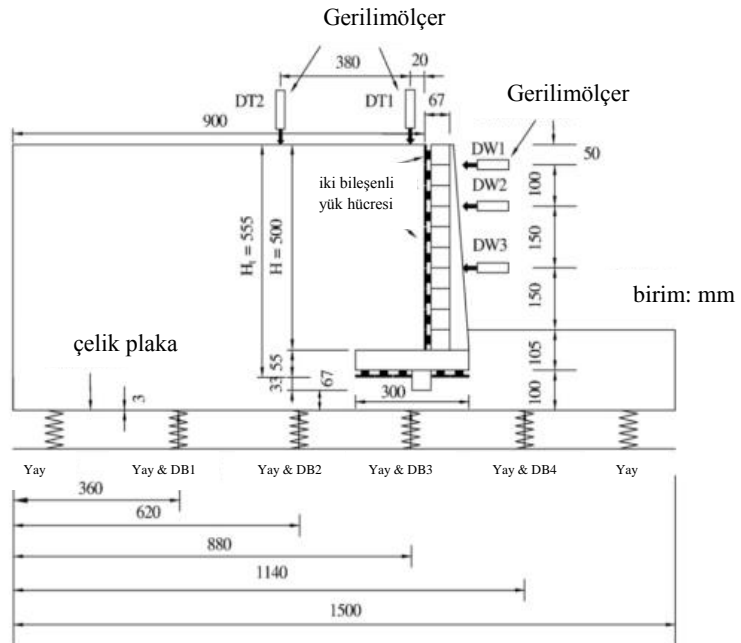
Huang ve Luo (2009) deforme olabilecek zeminlere inşa edilen istinat duvarlarında zeminin etkisini incelemişlerdir. Laboratuvar ortamında hazırlamış

oldukları modellerin zeminlerine farklı yay sabitlerine sahip yaylar yerleştirip dinamik analizlerini yapmışlardır (Şekil 2.6).



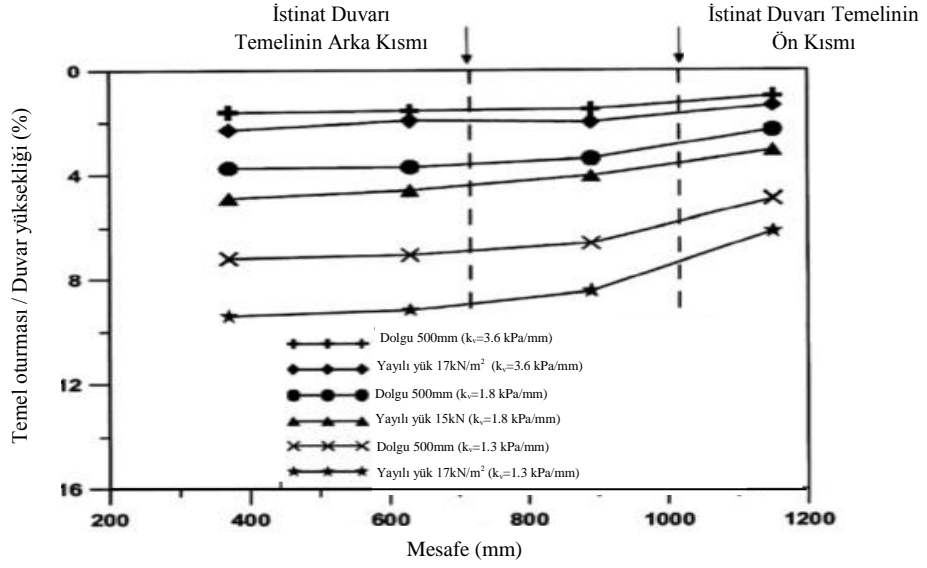
Şekil 2.6. Laboratuvar modelin yandan görünümü

Şekil 2.7’de modelin şematik görünümü verilmiştir.



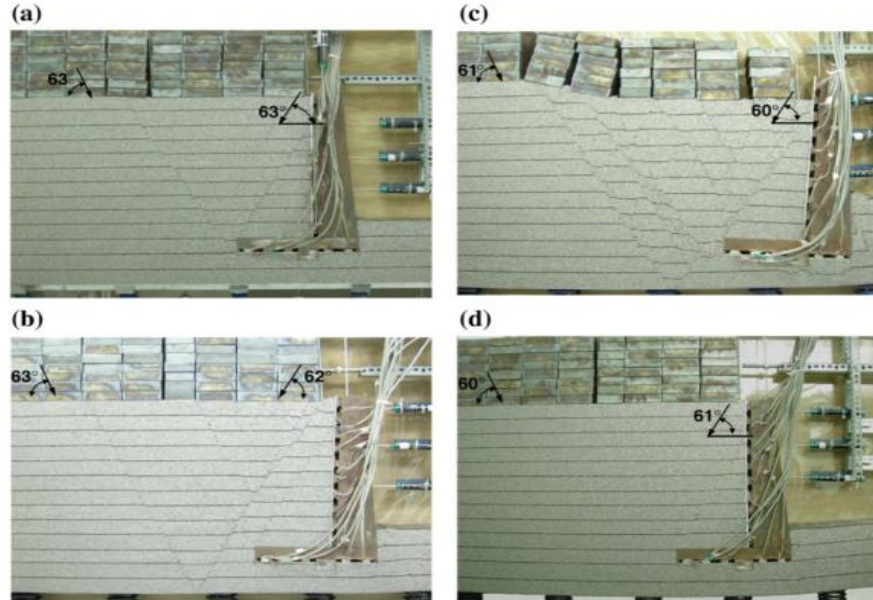
Şekil 2.7. Modelin şematik görünümü

Yapılan modelin farklı yüklemeler sonucu oturmaları Şekil 2.8’de verilmiştir.



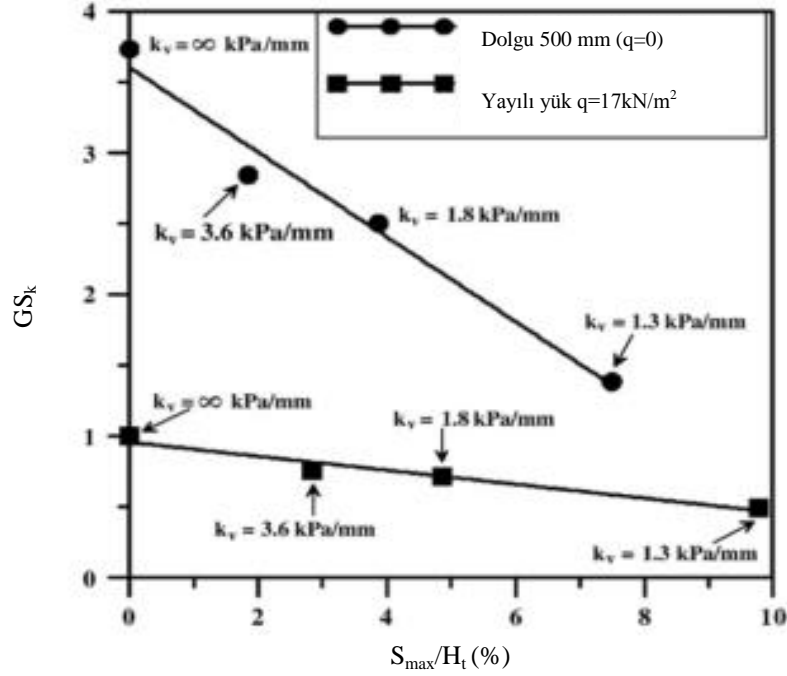
Şekil 2.8. Konsol istinat duvarının farklı yüklemeler için temel oturmaları

Huang ve Luo (2009) bu çalışmada konsol istinat duvarına farklı dinamik yüklemeler sonunda temelde oluşan oturmalardan meydana gelen istinat yapısının arkasındaki zeminin değişimini Şekil 2.9’da vermiştir.



Şekil 2.9. Farklı yüklemeler sonucu zeminde oturmalar ve istinat yapısı arkasında kalan zemine etkisi

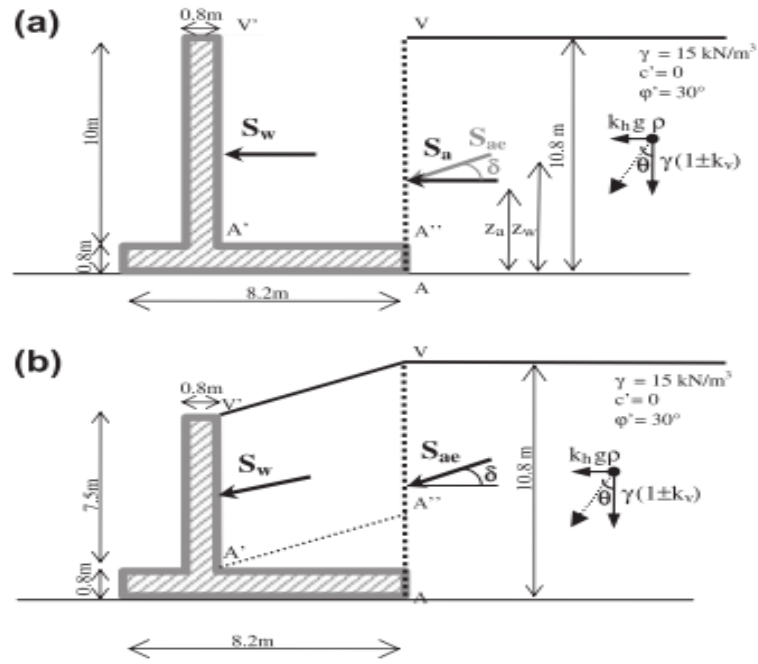
Çalışma sonunda maksimum oturmaya karşılık gelecek kaymaya karşı güvenlik sayılarını grafik üzerinde göstermişlerdir (Şekil 2.10).



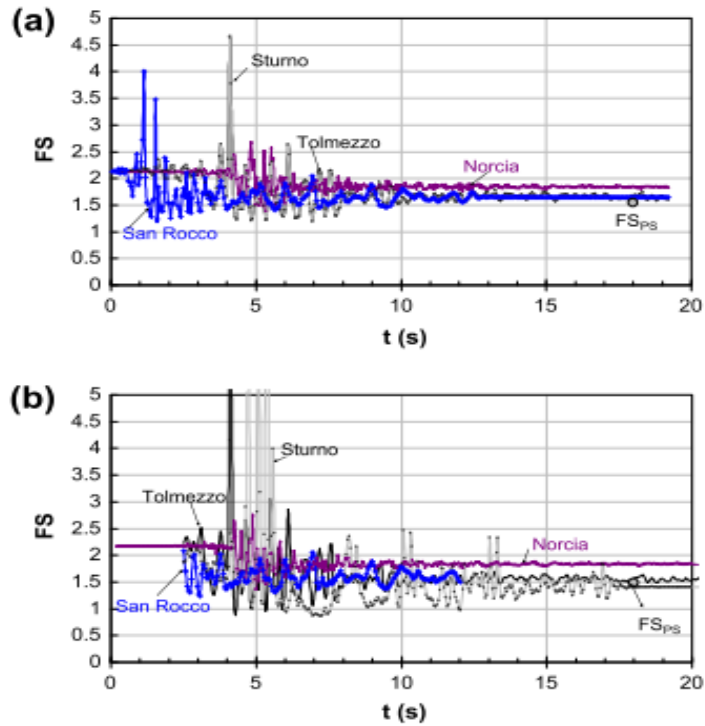
Şekil 2.10. Dinamik yük $q=17\text{kN/m}^2$ ve statik yük yok iken hesaplanan kaymaya karşı güvenlik değerleri

Santolo ve Evangelista (2012) ise iki farklı yüksekliğe sahip konsol istinat duvarlarında dinamik yüklerin etkilerini NSPPS ve FLAC 2D olmak üzere farklı metodlarda incelemişlerdir. Çalışmalarında, istinat duvarlarından birinin arkasında kalan zeminin eğimi 0° değerini ise eğimli olarak düşünmüşlerdir (Şekil 2.11).

Çalışmalarını İtalya'da çeşitli ivmelere sahip depremleri kullanarak tasarımını yapmış oldukları konsol istinat duvarlarında kaymaya karşı güvenlik değerinin değişimini vermişlerdir (Şekil 2.12).



Şekil 2.11. Konsol istinat yapılarına etki eden yükler a) Eğimi 0° olan konsol istinat duvarına etki eden yükler b) İstinat duvarının arkasında eğimli olan zemin kütle ve istinat duvarına etki eden yükler



Şekil 2.12. Konsol istinat duvarların zamana bağlı kaymaya karşı güvenlik faktörünün değişimi

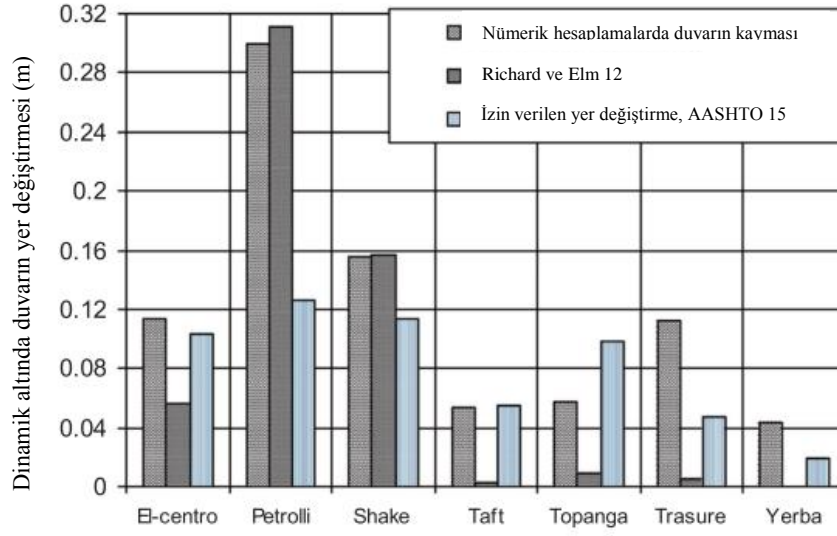
Tang ve Yeh (2011) rijit konsol istinat duvarının dinamik yük altındaki davranışını incelemişlerdir. Literatürde bulunan üç adet analitik yaklaşım ve hareket denklemleri baz alınarak bu çalışma yapılmıştır. Tang ve Yeh'in bu çalışması nümerik bir çalışmadır. Bu çalışmada sabit frekanslı hareketler incelenmiş ve hareket denklemleri gözden geçirilmiştir. Çeşitli frekans aralıklarının kullanımını değerlendirmek için bu analitik yaklaşımlar kullanılmıştır. Sonuç olarak, düşük frekans aralıkları için dikkate değer veriler elde edilmiştir. Modellerin birinde yatay yöndeki salınımı sonunda alınan tepkilerin cevap fonksiyonları hareket denklemlerine bağlı kalınarak hesaplanmış ve sayısal veriler de düşük frekans aralıkları için makalede sunulmuştur. Düşük frekanslar da yapılan çalışmalar iyi korelasyon sağladığı için, frekans spektrumu bu nümerik yaklaşımlar ile bulunan sonuçlar ile kesin sonuçlar makalede verilmiştir.

2.2 Ağırlıklı İstinat Duvarları ile ilgili Çalışmalar

İbrahim (2014) çalışmasında ağırlıklı istinat duvarının dinamik yükler altında yer değiştirmesini incelemiştir. Çalışmada, ağırlıklı istinat duvarının temel derinliği ile duvar yüksekliği arasındaki oranın 1,4'den küçük iken dinamik yükler altında duvarın kayması dikkate alınırken devrilmesi ihmal edilmiştir. Oranın 1,4'den fazla olması istinat yapısının daha esnek olduğu gözlenmiştir. Dinamik yükler altındaki deformasyonlar klasik yöntemlerden farklı olarak Plaxis paket programıyla bulunmuş ve nümerik methodlarla bulunan sonuçlar kıyaslanmıştır.

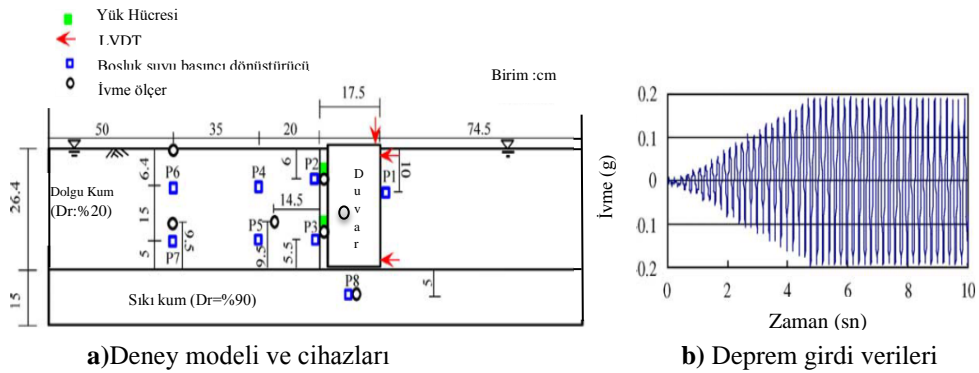
Çalışmada kullanılan tarihi depremlerden dolayı oluşan deformasyonlar Plaxis programı ve sayısal yöntemlerle hesaplandıktan sonra izin verilen deformasyon limitleri şekil 2.13'de gösterilmiştir.

Çalışmanın sonunda programdan alınan sonuçlar nümerik hesaplar ile bulunan sonuçları yaklaşık olarak vermiştir. Ağırlık istinat duvarlarında dinamik yüklerin uygulama zamanı ile deformasyonlar arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. Ayrıca duvarın esnekliğinin artması deformasyonların arttığını göstermiştir.



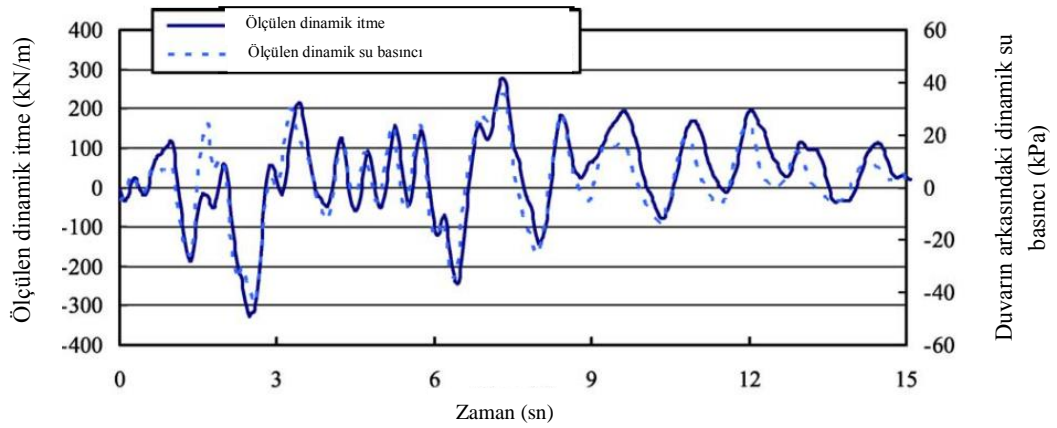
Şekil 2.13. Farklı tarihi depremlerin oluşturduğu deformasyonların hesaplanma yöntemleriyle kıyaslanması

Kim ve ark. (2004) deprem sırasında deniz kıyısında yapılmış olan ağırlıklı istinat yapılarına etki edecek olan yüklerin bileşenleri ile ilgili çalışmışlardır. Deprem sırasında gelecek ilave yükler ile diğer yüklerin değişimi incelenmiştir. Ağırlıklı istinat yapısına, su kıyısında kendi ağırlığı, yanal zemin basıncı ve su basınçları etki etmektedir. Yapıya etki eden bu yüklerin zamana bağlı değişimi de bu duvar arkasında kalan zemin özelliklerine ve su seviyesine bağlıdır. Yapılan sayısal derece de analizler sonucu yüklerin rijit duvara nasıl etki ettikleri doğrulanmıştır. Çalışma için yapılan model ve verilen ivme zaman grafiği Şekil 2.14’de verilmiştir.



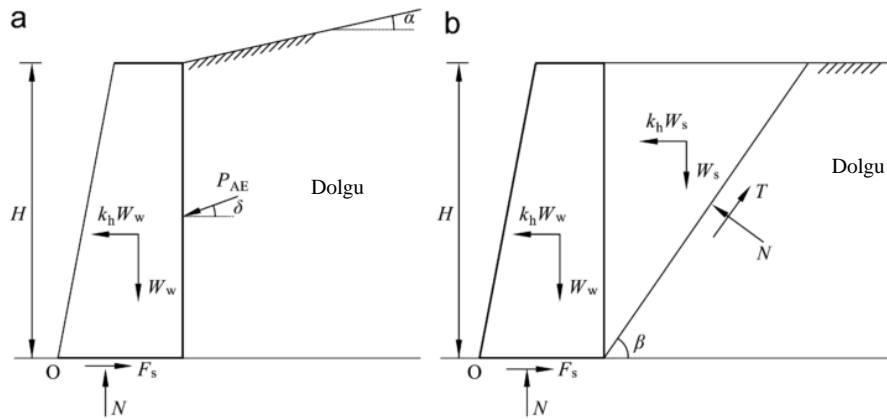
Şekil 2.14. Analiz modeli ile kullanılan malzemeler ve çalışmada kullanılan deprem ivmesi

Çalışmada ilk olarak istinat yapısının arkasında bulunan zeminde bulunan dinamik su basıncı ve dinamik zemin basıncı ile dinamik yüklerin etkileri belirlenmiş olup, boşluk suyu basıncının değişimi lineer kabul edilmiştir. Ayrıca suyun olmadığı kabulü de yapılarak dinamik yüklerin etkileri Westergaard çözümü ile bulunmuştur. Son olarak da duvara etki eden yük bileşenlerin dinamik yük altında iken ve başlangıç durumu ile son durum arasında boşluk suyu basıncının artması veya azalması arasında bir oran olduğunu göstermişlerdir (Şekil 2.15).



Şekil 2.15. Ölçülen dinamik itki ile su basıncının zamana bağlı değişimi

Li ve ark. (2010) ağırlıklı istinat duvarlarının dinamik yükler altında stabilitesi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada, yeni bir çalışma alanı olan üst sınırı belli limit analizleri kullanılmıştır. Çalışmada model ve istinat yapısının arkasında kalan zeminin eğimi ile yapıya etki edecek kuvvetler örneklerle verilmiştir (Şekil 2.16).

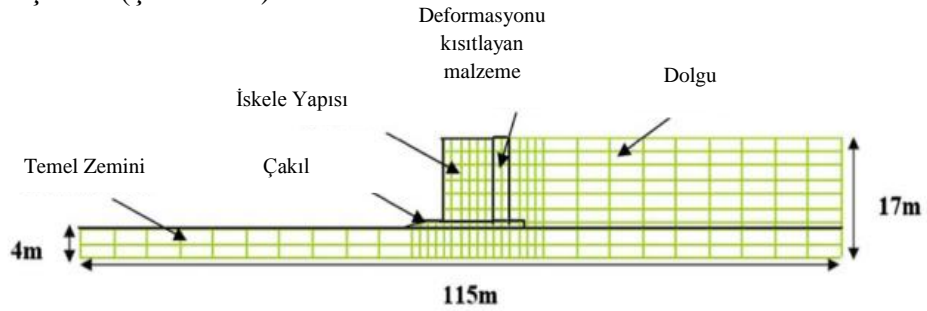


Şekil 2.16. Duvarlardaki kuvvetler ve ivmeler (sırasıyla Mononobe-Okabe ve Caltabiano Yön.)

Çalışmada limit denge methodu ile sonuçlar karşılaştırılmıştır. Duvarın pürüzlülüğünün dikkate değer bir etkiye sahip olduğu makalede açıklanmıştır. Üst sınırı belli limit analizlerin, ağırlıklı istinat duvarlarının dinamik yükler altında stabilite hesaplarında kullanımını geliştirmek amacı başarı kazanmıştır. Çalışmada kullanılan method ile klasik method olan Mononobe-Okabe metodu arasındaki bağlantı açıklanmıştır. Verilerin gösterdiği üzere bu yeni methodun doğruluğu kanıtlandıktan sonra basitliğinden dolayı kullanılmasının doğru olacağı öngörülmüştür.

Moghadam ve ark. (2009) deforme olabilecek panellerin deniz kıyısına yapılan ağırlıklı istinat duvarların dinamik yükler altındaki deformasyonuna etkisini araştırmışlardır. Bu panellerin, deniz yapılarındaki yer değiştirme, oturma ve devrilme hareketleri incelenmiş ve panellerin etkisi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bu amaçla keson ayaklı temellere sahip ağırlıklı istinat yapıları yapıp sarsma tablasında sarsıntıya uğratılmışlardır. İki farklı türde denenen deforme olabilen panel duvar ile duvar arkasında kalacak zemin arasına konularak sabit frekans ve genliklere sahip hareketler numunelere uygulanmıştır.

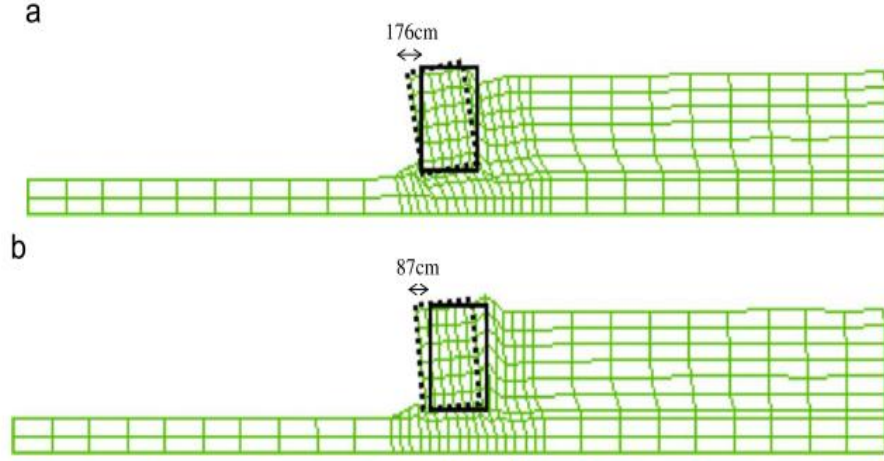
Laboratuvar ortamında deformasyonları bulan Moghadam ve ark. (2009) birde FLAC 2D paket programı ile duvarı modelleyip deformasyonları hesaplanmışlardır (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. FLAC 2D ile nümerik model

Analizler sonucunda panellerin duvarda meydana gelecek deformasyonları ve devrilmeyi azalttığı görülmüştür. Dinamik yük altında deformasyonları azaltan bu panellerin iskele veya deniz kıyısında yapılacak olan yapılar için kullanılabileceği öngörülmüştür. Daha yüksek hareketler veya kuvvetler için

analizler yapılmamış ancak paneller kırılana kadar pozitif anlamda iyi bir performans gösterdiği belirtilmiştir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18. FLAC 2D ile yapılan analiz sonuçları a) Panelsiz duvarda oluşan deformasyon b) Panelli duvarda oluşan deformasyon

Tiznado ve Roa (2011) granüler zeminde bulunan ağırlıklı istinat duvarının dinamik yükler altında hareketlerini tahmin edebilmek amacıyla çalışmışlardır. Duvarların tasarımı yapılırken dinamik yükler altında izin verilen deformasyonlar ile yapının temelinde bulunan zemin ile yapının arkasında bulunan zeminin özellikleri baz alınmıştır. Bu sebepten dolayı, kırılma yüzeyi ve bunun sebep olduğu yatay yer değiştirme tahmin edilemez. Bunu tahmin edebilmek amacıyla Tiznado ve Roa, 2D sonlu elemanlar metodunu kullanıp yapıların tasarımlarını yapıp Şili de meydana gelen yer hareketlerini yapılarına uygulamışlardır. Bu durumda yükleme boşaltma yaparak meydana gelen kayma gerilmeleri ile lineer olmayan kesme kuvvetlerini dikkate almışlardır. Nümerik veriler alınarak Şili bölgesinde meydana gelebilecek yer hareketlerinden dolayı istinat yapılarının en alt noktasından en üst noktasına kadar oluşabilecek deformasyonlar tahmin edilebilecektir. Sayısız analizler sonucu, duvarın arkasında kalan zemin ile temelin rolü kalıcı deformasyonlar açısından çok önemli bir yeri olduğu görülmüştür. Aynı zamanda ana kayaya etki edecek olan yer hareketinin

karakteri de kalıcı deformasyonun büyüklüğünde ana etmendir. Makalede, Şili bölgesinde yapılacak olan ağırlıklı istinat yapılarının özelliklerine bağlı olarak oluşabilecek deformasyon tahminleri verilmiştir.

Trandafir ve ark. (2009) ağırlıklı istinat duvarları ve ankrajlı betonarme iksa sistemlerde depremden dolayı oluşacak deformasyonları araştırmışlardır. Asıl amaç depreme eyilli bölgelerdeki istinat duvarlarına karşın ankraj sistemlerinin performans ve etkilerinin incelenmesidir. Kuru ve homojen zeminler baz alınıp analizler yapmışlardır. Hareket denklemlerini kullanarak depremden dolayı oluşacak deformasyonları hesaplamışlar ve istinat yapısına bağlı kayma yüzeyi ve kırılma yüzeyi ile ankraj sistemlerin kayma kütlelerin eğimi hesaplamalarına katmışlardır. Her iki sistemde oluşan deformasyonları ve yer hareketlerini deneyler sonucu bulup hesaplamalarla kıyaslamışlardır. Sonuç olarak, iki sistemin dinamik yükler altında davranışları ve dolgu şev performansları incelenmiştir. Ankrajlı sistemlerin daha etkili olduğu görülmüş ve deprem ivmesinin 0,5g'den fazla olabilecek bölgelerde ankrajlı sistemlerin ağırlıklı istinat yapılarına oranla daha sağlıklı olacağı belirtilmiştir.

3. İSTİNAT DUVARLARI

3.1. Giriş

Zeminin iki farklı seviyede tutulması ya da çeşitli malzemelerin doğal eğimlerini almaması dayanma yapıları ile sağlanır. Dayanma yapıları, yapıların çevre güvenliğinin sağlanması, düşey kazıların güvenliğinin geçiçi ya da uzun süreli sağlanması ve toprak basıncının karşılanması amacıyla dizayn edilirler (Genç 2008). Dayanma yapıları esnek dayanma yapıları ve rijit dayanma yapıları olarak iki ana gruba ayrılabilir. Esnek dayanma yapılarının eğilmeye karşı rijitlikleri az olup, görel olarak rijit dayanma yapılarına göre daha büyük deformasyon yaparlar. Palplanş perdeleri ve kazı kaplamaları (kaplanmış kazılar) bunlara örnek olarak verilebilir. Rijit dayanma yapıları ise eğilme rijitlikleri büyük olup, çok az deformasyona uğrarlar. Dayanma (istinat) duvarları bunlara örnek olarak gösterilebilir.

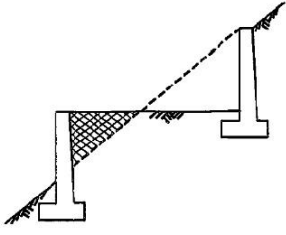
Eğimli arazilerde araziden yararlanmak üzere zemini doğal Şev açısından daha dik açıyla tutmak, kayma göçme ihtimali olan zeminlerin yıkılmasını engellemek, bir binanın bodrum duvarlarını oluŐturmak, kıyıların erozyondan ve taŐkınlardan korunmasını sağlamak, köprülerde kenar ayak görevi yapmak, derin çukurların yan duvarlarını tutmak gibi amaçlara hizmet vermek için düşey veya düŐeye yakın açılarla inşa edilen yapılara istinat duvarları denilir (zaydın, 2010).

3.2. İstinat Duvarlarının Kullanıldığı Yerler

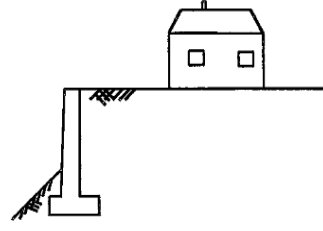
İstinat duvarları çeşitli amaçlara hizmet vermek için inşa edilen düşey ya da düŐeye yakın toprak tutucu yapılardır. İstinat duvarlarının kullanıldığı yerler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Eğimli arazilerde araziden yararlanmak üzere zemini tabii Şev açısından daha dik açıyla tutmak,
- Kayma göçme ihtimali olan zeminlerin yıkılmasını engellemek,
- Bir binanın bodrum duvarlarını oluŐturmak,
- Kanal ve su deposu kenarlarını oluŐturmak,
- Köprülerde kenar ayak görevi yapmak,
- Derin çukurların yan duvarlarını tutmak,
- Yol inŐaatlarında Şev düzenlemesi yapılırken kullanmak,
- Malzeme deposu olarak kullanmak,
- Büyük dolgu ve yarma gerektiren yollarda, yamaç yollarında kullanmak,

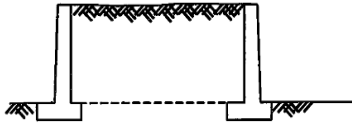
gibi amaçlara hizmet vermek için istinat duvarları kullanılır. İstinat duvarlarının kullanım alanlarına ilişkin rnekler Şekil 3.1'de verilmiŐir (Düzgün 1989).



a) Ulaşım yolu kazı ve dolgusu



b) Bina güvenliği



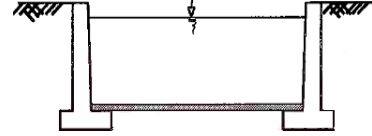
c) Dolgu gerektiren yollar



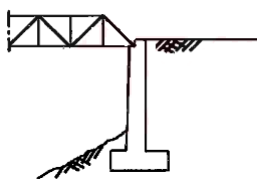
d) Kazı gerektiren yollar



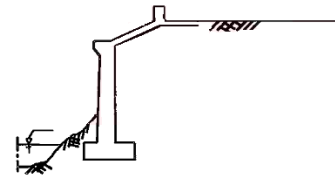
e) Cevher depolanması



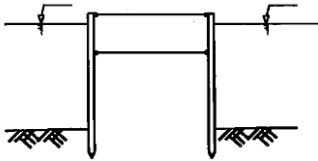
f) Kanal ve su deposu



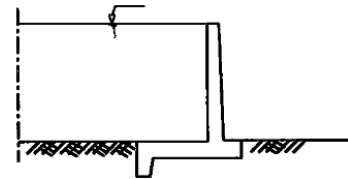
g) Köprü kenar ayakları



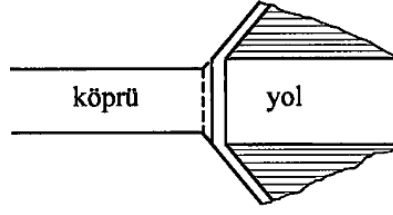
h) Erozyyon önleme



i) Rıhtım duvarları



j) Taşkın önleme duvarları



k) Köprü yaklaşım yapısı

Şekil 3.1. İstinat duvarlarının kullanım alanları (Gürsoy 2000)

3.3. İstinat Yapılarının Sınıflandırılması

Günümüzde yapılan ve kullanılan istinat duvarlarının türleri; istenilen yükseklik elde bulunan yapı malzemeleri, yeraltı suyu durumu, dolguda kullanılacak zemin türü ve kullanma amacına bağlı olarak seçilir. Diğer konularda olduğu gibi istinat duvarlarında da maliyet en önemli faktördür. Uzunluğu yüzlerce metreyi bulabilen projelerde yanlış tip seçimi veya ekonomik olmayan kesitlerin kullanılması önemli maddi kayıplara neden olabilmektedir (Önalp 1992).

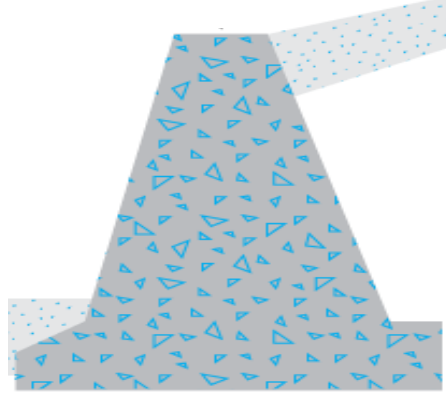
Kullanılan yapı malzemesi ve sistemi bakımından dayanma duvarları şu türlere ayrılabilir (Özaydın 2010):

1. Ağırılık (Masif) İstinat Duvarları
 - a. Taş Ağırılık İstinat Duvarları
 - b. Beton Ağırılık İstinat Duvarları
2. Yarı Ağırılık İstinat Duvarları
3. Betonarme İstinat Duvarları
 - a. Konsol İstinat Duvarları
 - b. Payandalı (önde veya arkada) İstinat Duvarları

İstinat duvarının tipi yapılacak olan araziye, yapılacak türün uygunluğuna bağlı olarak kullanılma amacı ve yapacak olan kişinin elinde olan malzemeye bağlı olarak tercih edilir.

3.3.1. Ağırlık (Masif) İstinat Duvarları

Yanal toprak itkilerini öz ağırlığı ile karşılayan ve kendi ağırlıklarına göre boyutlandırılan ağırlık dayanma duvarları; harçlı ve harçsız taş örgü, tuğla, briket veya betondan yapılırlar.



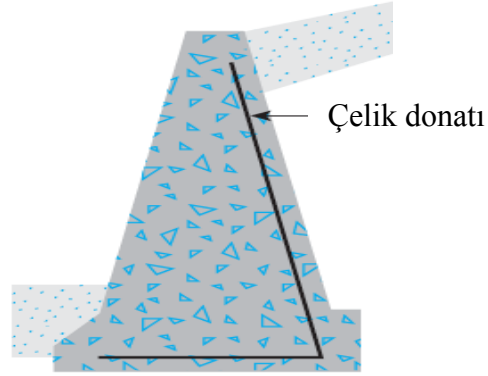
Şekil 3.2. Ağırlıklı istinat duvarı (Das 2007)

Kargir dayanma duvarı olarak da bilinir. Taşların arasına harç kullanılırsa “harçlı dayanma duvarı”, harç kullanılmazsa “kuru dayanma duvarı” veya “kuru duvar” olarak adlandırılır. Taş ağırlık dayanma duvarları için kullanılacak taşın fiziksel ve geometrik nitelikleri, şartnamelerde belirtilmiştir. Bu taşlar genellikle homojen, sağlam, sık kristalli, sert, aşınmaya ve donmaya, ya da başka hava etkilerine karşı da dayanıklı olmalıdır (Epsiseli 1996). Bu tür dayanma duvarları, yanal toprak basıncına, kendi ağırlıkları ile direnirler. Bu yüzden belirli yükseklikleri aşmamalıdır.

Beton dayanma duvarları ile taş ağırlık dayanma duvarlarının kullanılma yerlerinde herhangi bir farklılık yoktur. Bazı bölgelerde istenilen nitelikte taş sağlanması olanağı yoktur. Kum, çakıl, çimento sağlamak daha kolay olabilir. Bu gibi durumlarda beton dayanma duvarı yapmak, taş dayanma duvarına göre daha çok tercih edilmelidir (Epsiseli 1996). Şekil 3.2’de beton ağırlık dayanma duvarı görülmektedir.

3.3.2. Yarı Ağırlık İstinat Duvarları

İstinat yapısının gövdesinde meydana gelebilecek çekme gerilmelerine karşılık donatı kullanılabilir. Bu durumda yapının gövde en kesiti küçülerek stabilitenin sağlanabilmesi için temel kesiti büyür. Bu tipteki istinat yapılarına yarı ağırlıklı istinat duvarları denir. Şekil 3.3’de yarı ağırlık istinat duvarı verilmiştir.



Şekil 3.3. Yarı ağırlık istinat duvarı tipi en kesiti (Das 2007)

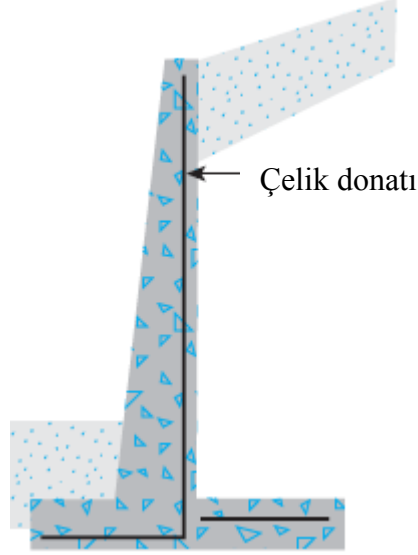
3.3.3. Betonarme İstinat Duvarları

Eğilme mukavemetlerine göre boyutlandırılan betonarme istinat duvarları; daha ince kesitli olup, donatılı betondan inşa edilirler. Betonarme istinat duvarları; arsa sınırları, temel ve dolgu zemini özellikleri, duvar yüksekliği, H, gibi faktörlere bağlı olarak çeşitli en kesitlerde gruplandırılabilir (Özaydın 2010).

3.3.3.1. Konsol İstinat Duvarları

Konsol istinat duvarları genellikle betonarme olarak inşa edilir ve yatay basınçlarda dengeyi bir konsol gibi çalışarak sağlarlar. Bu tip duvarlarla denge sağlanmaya çalışılırken; dolgunun kendi ağırlığından yararlanır (Gülde 2014). Direnen kuvvetlerin yeterli olmaması durumunda, toprak itkisinin duvarı öne doğru kaydırmasını engellemek amacıyla temele dış yapılabilir.

Konsol istinat duvarlarında kullanılacak olan donatının çekmeye dayanımı, betonun da basmaya karşı olan dayanımlarının yüksekliği nedeniyle günümüzde yapılmak için tercih edilen istinat duvarları arasında en çok olarak göze batandır. Şekil 3.4’de konsol istinat duvarı verilmiştir.



Şekil 3.4. Konsol istinat duvarı (Das 2007)

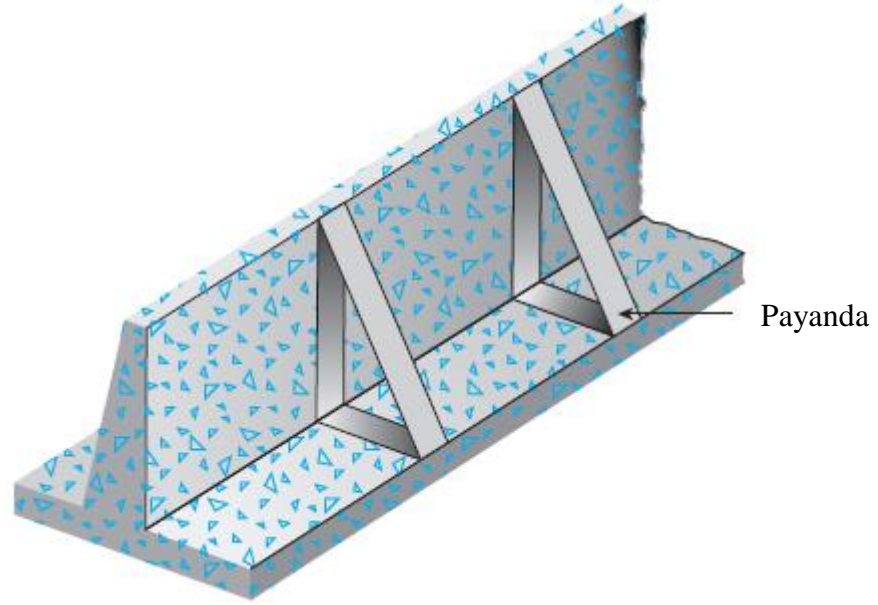
Konsol istinat duvarlarının tasarımlarında gerekli olan kayma direncine karşılık güvenlik faktörü sağlanamazsa temelde dış yapılabilir. Bu yapı da donatının kullanılması dolayısıyla yapı diğer istinat duvarları türlerine göre daha hafif bir yapıdır. Yapının hafif olması kaymaya karşı direnci yetersiz kalabilir. Bu nedenle eğer temel genişliğini arttırmıyorsak istinat duvarının türünü değiştirmek yerine temel de gerekli olan dışı yaparak yapımızı kaymaya karşı daha dirençli hale getirebiliriz.

3.3.3.2. Payandalı (önde veya arkada) İstinat Duvarları

Payandalı istinat duvarları, konsol istinat duvarlarına benzerdir. Ancak yüklerin artması ve yüksekliğin (8 m-10 m) konsol istinat duvarları için fazla olması durumunda payandalı istinat duvarları uygun görülmektedir. Bu

durumlarda taban ve gövde elemanları konsol duvarlarda olduğu gibi yapılır ve duvarın ön veya genellikle arka kısmında, aralıklarla payandalar (destekler) yapılır.

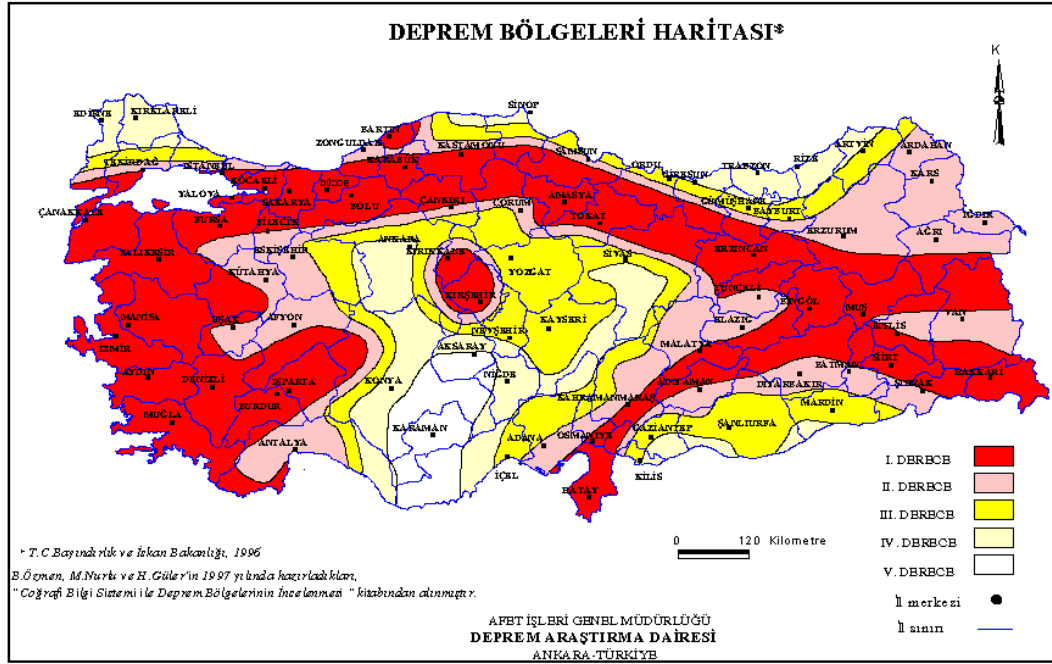
Payandalı istinat duvarlarına nervürlü (kontrfor) istinat duvarları da denilmektedir ve Şekil 3.5’de payandalı istinat duvarı görülmektedir.



Şekil 3.5. Payandalı istinat duvarı (Das 2007)

3.4. Dinamik Yükler

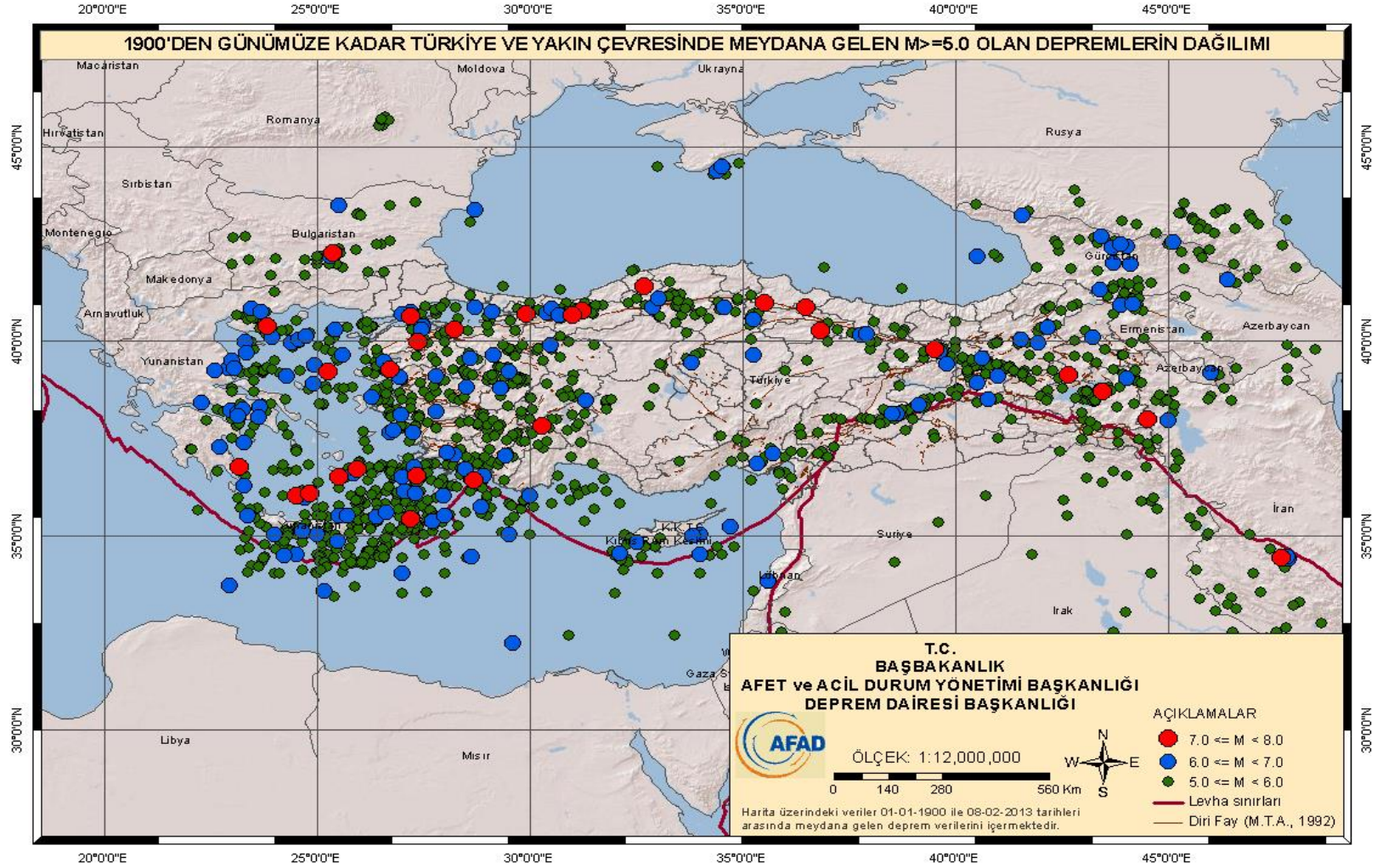
Türkiye’de Kuzey Anadolu Fay Hattı (KAF), Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) ve Batı Anadolu Fay Hattı (BAF) olmak üzere önemli fay hatları bulunur. Bu fay hatları zaman zaman tehlikeli depremlere neden olurlar. Şekil 3.6’da Türkiye deprem haritası verilmiştir. Tasarımı yapılacak olan yapıların boyutlarında deprem haritası dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.6. Türkiye deprem haritası (AFAD)

Türkiye’de kayda geçmiş en büyük deprem 1939 yılında Erzincan’da meydana gelen 7.9 büyüklüğündeki Erzincan depremidir. Samsun’un Ladik ilçesinde 1943 yılında 7.6 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. 1942’de Niksar depremi olarak bilinen ve Tokat iline hasar veren deprem büyüklüğü 7.0’dir (tr.wikipedia.org).

Yakın tarihimize baktığımızda 1999 yılında Gölçük’te meydana gelen deprem büyüklüğü 7.8’dir. En son ve Van’da 2011 yılında meydana gelen deprem büyüklüğü ise 7.2’dir. Bu depremler sadece mal değil binlerce insanında hayatına mal olmuştur. 1900 yılından günümüze kadar Türkiye’de meydana gelmiş büyüklükleri 5.0 veya 5.0’den büyük olan depremler şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. 1900'den günümüze kadar Türkiye ve yakın çevresinde meydana gelen büyüklüğü 5.0 veya 5.0'den büyük olan depremlerin dağılımı (AFAD)

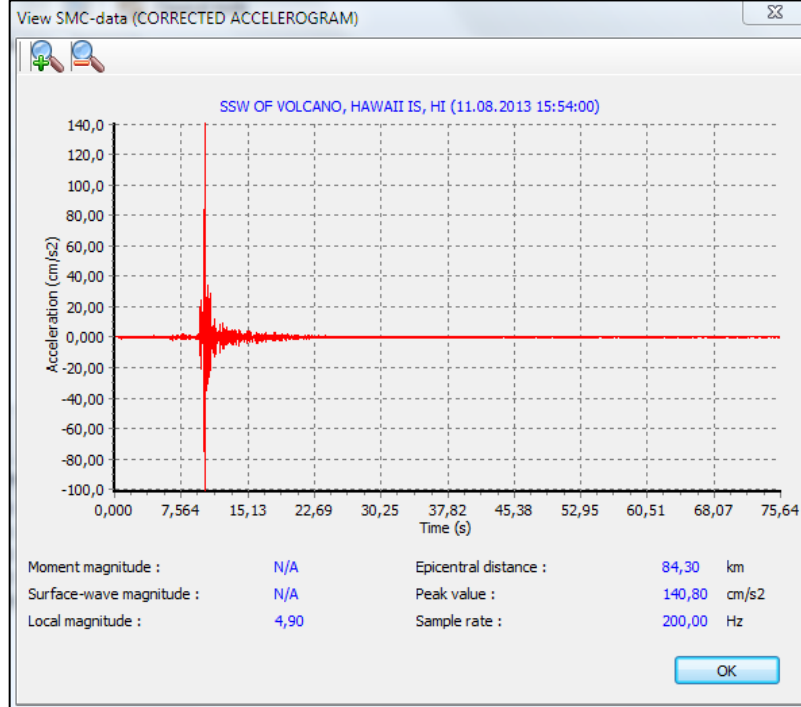
3.4.1. Çalışmada Kullanılan Deprem Kayıtları

Türkiye'nin genelinde deprem riski vardır. Şekil 3.7'de verildiği üzere Türkiye'de sayısı azınmayacak kadar büyüklüğü 5.0 ve 5.0'den büyük deprem meydana gelmiştir.

Türkiye'de veya dünya üzerinde deprem riski olan bölgelerde tasarımı yapılacak olan yapılarda sadece statik yükler dikkate alınmamalıdır. Bölgelerin deprem riskine göre dinamik yükler altında davranışları da incelenmelidir.

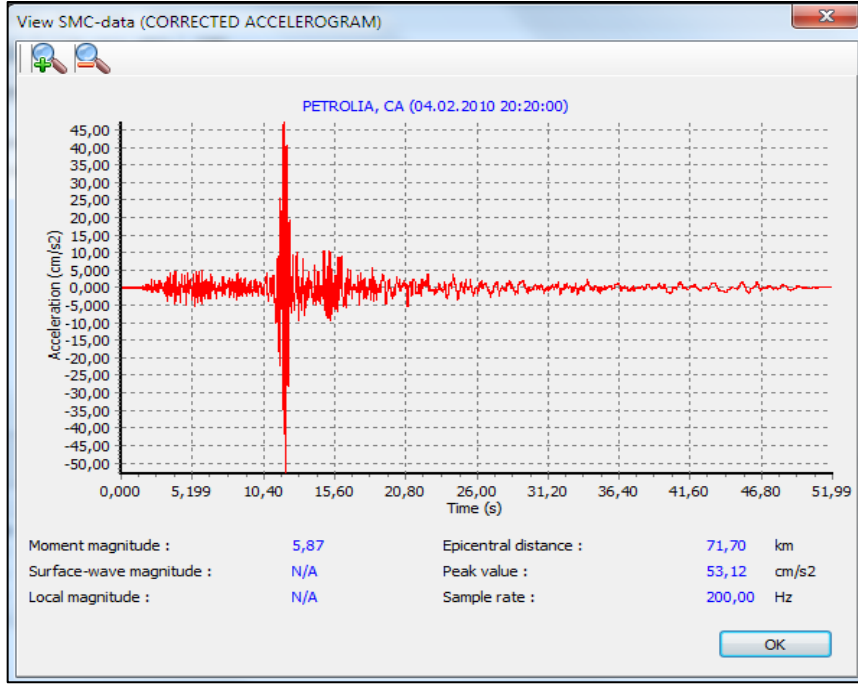
Bu çalışmada, büyüklükleri 5.0, 6.0 ve 7.0 olan 3 farklı büyüklükteki depremler istinat duvarlarına etki ettirildi. Bu depremler; Van, Türkiye, Petrolia-California, ABD ve Volcano-Hawaii, ABD depremleridir. Deprem kayıtları "United States Geological Survey" (USGS) resmi sitesinden alınan "strong motion CD" (.smc) kayıtlarıdır.

Şekil 3.8'de USGS'den alınan Volcano-Hawaii, ABD'de meydana gelen depremin .smc kaydı verilmiştir.

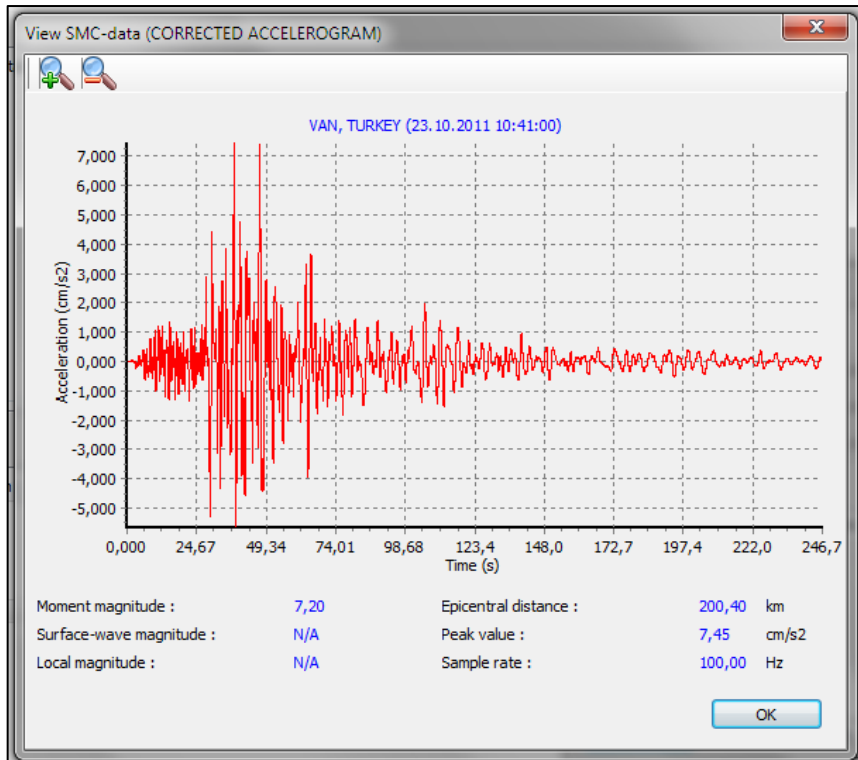


Şekil 3.8. Volcano-Hawaii, ABD'de meydana gelen depremin .smc kaydı

Şekil 3.9'da USGS'den alınan Petrolia-California, ABD ve Şekil 3.10'da Van, Türkiye'de meydana gelen depremlerin .smc kayıtları verilmiştir.



Şekil 3.9. Petrolia-California, ABD'de meydana gelen depremin .smc kaydı



Şekil 3.10. Van, Türkiye'de meydana gelen depremin .smc kaydı

Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 da verilen depremlerin genel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Analizlerde kullanılan depremlerin genel özellikleri

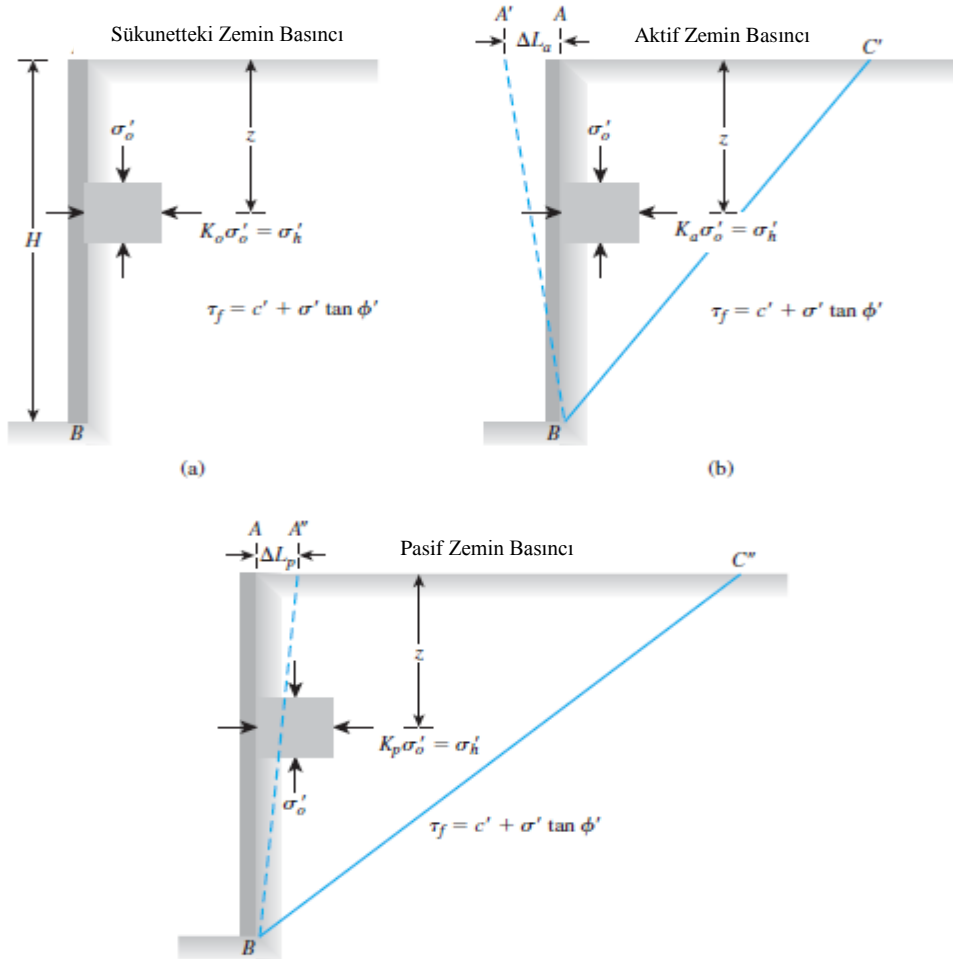
Deprem	Volcano- Hawaii, ABD	Petrolia- California,ABD	Van, Türkiye
Depremin Büyüklüğü (M_w)	4.90	5.87	7.20
Episantr mesafesi(km)	84.3	71.7	200.0
Meydana geldiği tarih	08/2013	02/2010	10/2011
Meydana geldiği yer	Hawaii	Kaliforniya	Van

4. YANAL ZEMİN BASINCI

Dayanma yapıları olarak bilinen istinat duvarları genellikle zemin kütlelerini tutmak amacıyla inşa edilirler. İnşaa edilecek olan bu destek yapıları yapılmadan önce tutması gereken kütlenin özellikleri bilinmesi gerekir. Bu özellikler; kütlenin yapıya etki edecek olan basınç büyüklüğü ile bu kütlenin yapılacak olan yapı ile olacak ilişkisidir. Yapı arkasında kalan zemin kütlelerinden dolayı oluşan yüklere yanal zemin basıncı denir.

4.1. Aktif, Pasif ve Sükunetteki Zemin Basınçları

Şekil 4.1a'da zemin kütlesi dikkate alınmıştır. Zemin kütlesi duvar yüksekliği AB olan sürtünmesiz duvarın yüksekliğindedir.



Şekil 4.1. Aktif, Pasif ve Sükunetteki zemin basıncının gösterimi (Das 2007)

z derinliğindeki zemin parçası σ'_o düşey basıncına, σ'_h yatay basıncına maruz kalmaktadır. Bu durumda zemin sabiti olan K ;

$$K = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o} \quad (4.1)$$

olarak ifade edilir.

Durum 1; AB duvarı sabit ise, yani ne sağ tarafa ne de sol tarafa herhangi bir hareketi yok ise, zemin kütlesi statik dengededir. Bu durumda, sükunetteki zemin basıncı; σ'_h , olarak tanımlanabilir veya;

$$K = K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o} \quad (4.2)$$

olarak ifade edilebilir.

K_0 ; sükunetteki zemin basınç katsayısı.

Durum 2; Eğer sürtünmesiz duvar AB şekil 13.1b'de gösterildiği üzere hareket edip $A'B$ pozisyonuna geliyor ise, duvara etki eden zemin kütlesi ABC' plastik dengeye ulaşır ve BC' kayarak duvara etki eder. Bu durumda, efektif yatay gerilme; $\sigma'_h = \sigma'_a$, aktif zemin basıncı olarak adlandırılır.

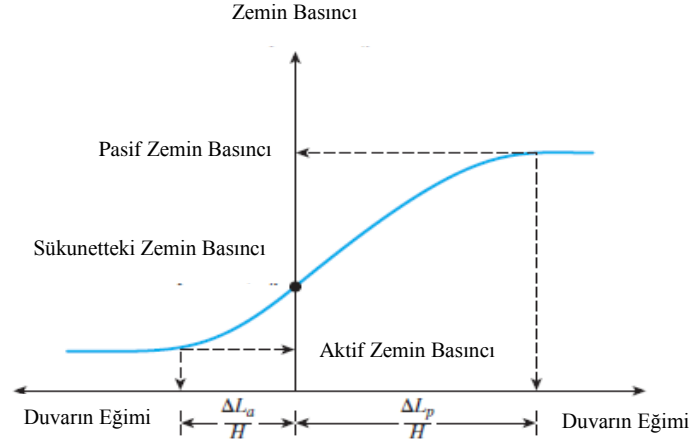
$$K = K_a = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o} = \frac{\sigma'_a}{\sigma'_o} \quad (4.3)$$

K_a ; aktif zemin basıncı katsayısı.

Durum 3; Eğer sürtünmesiz duvar AB Şekil 13.1c'de gösterildiği üzere hareket edip $A''B$ pozisyonuna geliyor ise, duvara etki eden zemin kütlesi ABC'' plastik dengeye ulaşır ve BC'' kayarak duvara etki eder. Bu durumda, efektif yatay gerilme, $\sigma'_h = \sigma'_p$, pasif zemin basıncı olarak adlandırılır.

$$K = K_p = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_o} = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_o} \quad (4.4)$$

K_p ; pasif zemin basıncı katsayısı.



Şekil 4.2. Duvar hareketi ile yanal zemin basıncının büyüklüğünün değişimi (Das 2006)

Şekil 4.2’de duvar hareketine bağlı olarak zeminin duvara ne zaman aktif veya pasif olarak etki edeceği verilmiştir.

4.2. Sükunetteki Zemin Basıncı

Sükunet halindeki zeminin basıncı sabiti, K_0 ’ı tanımlamak için, şekil 4.3’de gösterilen AB istinat duvarı ve arkasında kalan zeminin birim hacim ağırlığı γ , ile gösterilmiştir. Duvar durağan haldedir. Bu durumda z derinliğindeki;

$$\text{Efektif düşey gerilme} = \sigma'_0 = \gamma z$$

$$\text{Efektif yatay gerilme} = \sigma'_h = K_0 \gamma z$$

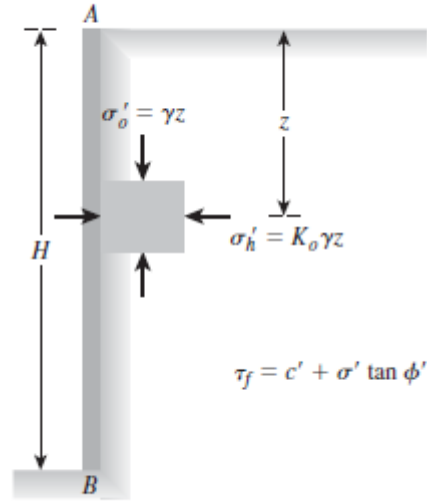
olur. Dolayısıyla;

$$K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_0} \quad (4.5)$$

Jaky (1944) granüler zemin için sükunetteki zemin basıncı sabitini,

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (4.6)$$

olduğunu belirtmiştir.



Şekil 4.3. Sükunetteki zemin basıncı (Das 2007)

Jack'in bulduğu (4.6)'daki eşitlik sükunetteki zeminin basınç katsayısı gevşek zeminler için iyi sonuçlar verirken sıkı zeminler için iyi sonuçlar vermemiştir. Bundan yola çıkarak yapılan çalışmalar sonucunda Mayne ve Kulhawy (1982) denklemi geliştirerek;

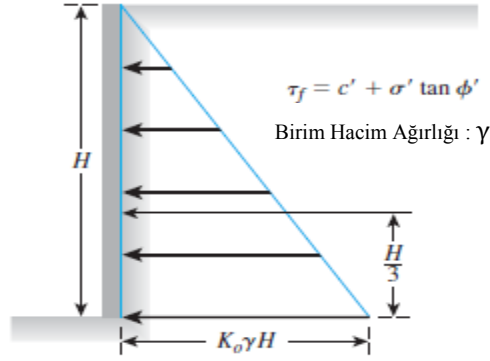
$$K_0 = (1 - \sin \phi')(OCR)^{\sin \phi'} \quad (4.7)$$

olarak vermişlerdir. Bu denklem kil zeminlerden çakıl zeminlere kadar uygun olduğu da belirtilmiştir.

Şekil 4.4'de, kuru birim hacim yoğunluğu γ olan zeminin H yüksekliğine sahip istinat duvarına sükunet halinde iken yapmış olduğu basınç ve etkime noktası verilmiştir. Sükunetteki zemin basıncı;

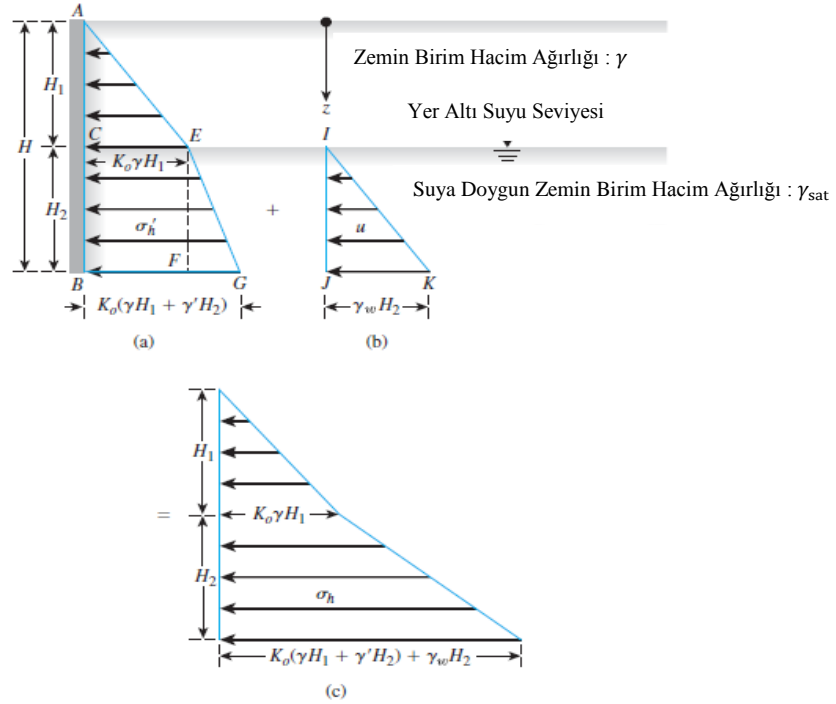
$$P_0 = \frac{1}{2} K_0 \gamma H^2 \quad (4.8)$$

olur.



Şekil 4.4. Sükunetteki zeminin yanal basınç dağılımı (Das 2007)

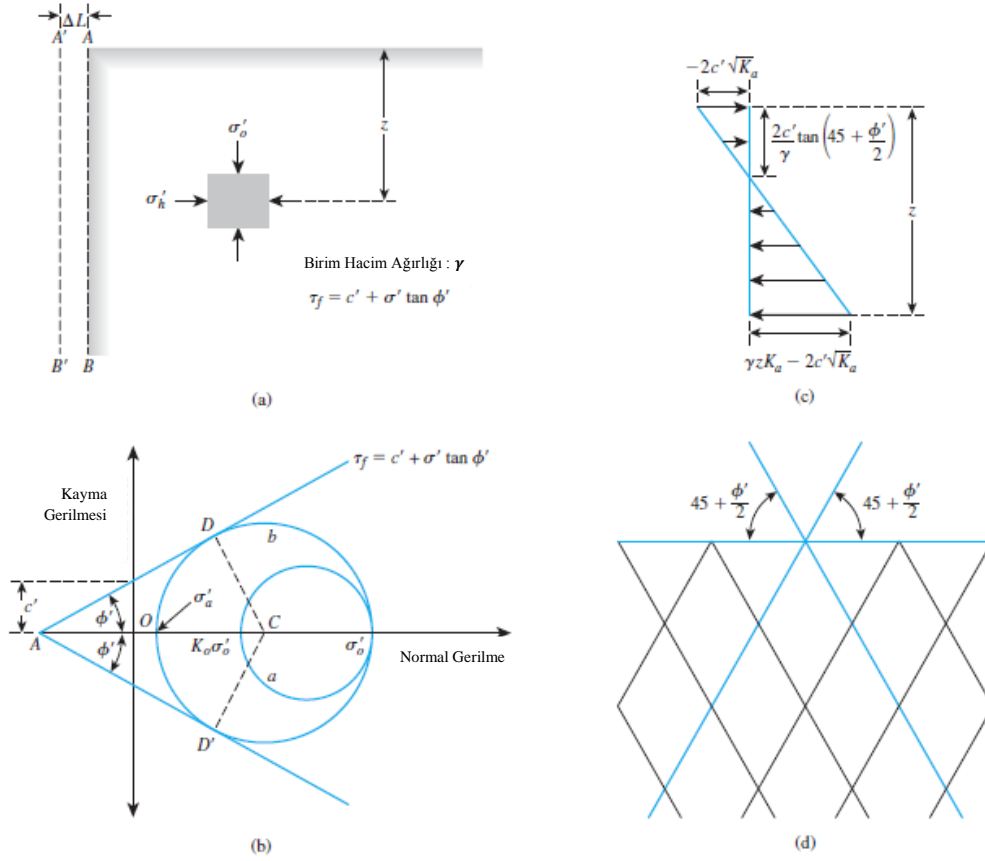
Şekil 4.4'de istinat yapısının arkasında kalan tek çeşit ve yer altı suyu olmayan bölgeler için geçerli olan sükunetteki zemin basınç dağılımı gösterilmiştir. Şekil 4.5'de ise yer altı su seviyesi H_2 olan ve bu noktadan itibaren farklı zemin bulunan bölgeler için sükunetteki zemin basınç dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Sükunet halinde farklı zemin ve yer altı su seviyesi bulunan zeminin yanal basınç dağılımı **a)** sadece zeminden kaynaklanan basınçlar **b)** yer altı suyu basıncı **c)** toplam basınç (Das 2007)

4.3. Rankine Aktif Zemin Basıncı Teorisi

Zemindeki plastik denge durumu zemin kütesinin her noktasında kırılmaya sebep olur. Bu bölümde duvarın hareketinden kaynaklanan aktif yanal basıncı Rankine Teorisiyle açıklanmıştır. Şekil 4.6a'da sürtünmesiz AB duvarının arkasında kalan zemin kütesi sonsuz derinliğe uzanmaktadır. z derinliğinde zemin kütesine etki eden yatay ve düşey efektif gerilmeler; σ'_h ve σ'_o , gösterilmiştir. Duvarın hareketi engellendiğinde, $\sigma'_h = K_0\sigma'_o$ formülü sükunetteki gerilmeyi vermektedir. Zemin kütesindeki gerilme ise şekil 4.6b'deki Mohr daireleri ile verilmiştir.



Şekil 4.6. Rankine Aktif Zemin Basıncı (Das 2007)

AB duvarı zemin kütesinden uzaklaşmasına izin verilmesiyle beraber prensipte yatay gerilme azalır. Mohr dairesinde gösterildiği üzere zemin kütesinde meydana gelebilecek maksimum gerilmeye ulaşıldığında yani plastik denge durumunda zemin kırılması meydana gelir. Bu duruma Rankine aktif

durumu denir. Yatay düzlemde bulunan efektif gerilme σ'_a , Rankine aktif basıncıdır.

$$\sigma'_a = \sigma'_0 \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} - 2c' \frac{\cos \phi'}{1 + \sin \phi'} \quad (4.9)$$

σ'_0 = yatay efektif gerilme yani γz ise,

$$\sigma'_a = \gamma z \tan^2(45 - \frac{\phi'}{2}) - 2c' \tan(45 - \frac{\phi'}{2}) \quad (4.10)$$

Rankine'nin aktif basınç denklemini düzenleyebiliriz.

Şekil 4.6c'de kohezyonsuz zeminler için σ'_a ;

$$\sigma'_a = \gamma z \tan^2(45 - \frac{\phi'}{2}) \quad (4.11)$$

olarak verilmiştir.

σ'_a ve σ'_0 'ın oranı ise Rankine aktif basıncının katsayısı olarak adlandırılır.

$$K_a = \frac{\sigma'_a}{\sigma'_0} = \tan^2(45 - \frac{\phi'}{2}) \quad (4.12)$$

Şekil 4.6b'de, zemindeki kırılma bölgesinin merkez düzlemle yatayda yaptığı açının $\pm(45 + \phi'/2)$ derece olduğu görülmektedir. Bu durumdaki bölgeye kayma potansiyeli olan bölge olarak adlandırılabilir (Şekil 4.6d).

Rankine aktif basıncı;

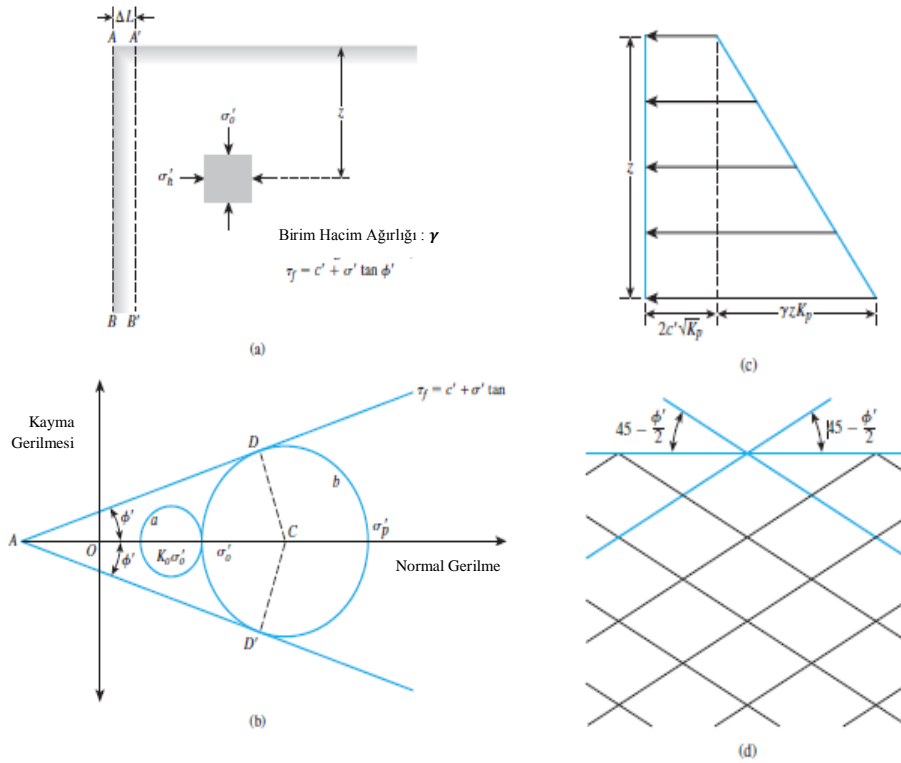
$$\sigma_a = \gamma z \tan^2(45 - \frac{\phi}{2}) - 2c \tan(45 - \frac{\phi}{2}) \quad (4.13)$$

denkleminle ifade edilir.

4.4. Rankine Pasif Basınç Teorisi

Rankine pasif basınç durumu Şekil 4.7'de verilmiştir. AB yüksekliğindeki sürtünmesiz yüzeye sahip istinat yapısının derinliği sonsuz olarak düşünülmüştür (Şekil 4.7a). Zemin kütleğinde ilk anda oluşan gerilmeler Mohr dairesi ile Şekil 4.7b'de verilmiştir. AB yüksekliğindeki sürtünmesiz duvar, istinat duvarına doğru hareket ettiğinde efektif gerilme; σ'_h , artacaktır. Zemin kütleisindeki gerilme ise Şekil 4.7c'deki gibi olacaktır. Bu anda zemin kütleisinde kırılma meydana gelir. Bu duruma Rankine'nin pasif durumu denir. Bu duruma aynı zamanda Rankine'nin pasif basınç; σ'_p adı verilir.

$$\begin{aligned}\sigma'_p &= \sigma'_0 \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) + 2c' \tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) \\ &= \gamma z \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) + 2c' \tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)\end{aligned}\quad (4.14)$$



Şekil 4.7. Rankine Pasif Zemin Basıncı (Das 2007)

Şekil 7.7c kohezyonsuz zeminler için derinliğe bağlı pasif basınç değişimini göstermektedir.

$$\sigma'_p = \sigma'_0 \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) \quad (4.15)$$

veya;

$$K_p = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right) \quad (4.16)$$

K_p , efektif gerilmelerin oranı olarak denklem 4.16'dan elde edilir ve Rankine'nin pasif basınç sabiti olarak adlandırılır.

Şekil 4.7b'deki D ve D' zemindeki kırılma bölgesinin işaret etmektedir. Rankine pasif zemin basınç durumu için, kayan zemin düzlem açısı $\pm(45 + \phi'/2)$ olduğu görülmektedir. Bu durumdaki bölgeye zemin kütlesi içerisinde kaymaya potansiyeli olan bölge diye adlandırılır (Şekil 4.7d).

4.5. İstinat Duvarının Arkasında Kalan Kohezyonlu Zeminin Basıncı

4.5.1. Aktif Basınç Durumu

Şekil 4.8a sürtünmesiz istinat yapısının arkasında kalan kohezyonlu zemini göstermektedir. Yeryüzünden herhangi bir derinlikteki mesafede olan aktif gerilme aşağıdaki denklem ile bulunur.

$$\sigma'_a = K_a \gamma z - 2\sqrt{K_a c'} \quad (4.17)$$

4.17 denkleminde; $K_a \gamma z$ derinliğe bağlı değişimi şekil 4.8b'de, $2\sqrt{K_a c'}$ derinlik ile değişimi ise şekil 4.8c'de verilmiştir. $2\sqrt{K_a c'}$ bir fonksiyon olmamasına rağmen, şekil 4.8c diktörtgenseldir. Derinliğe bağlı kesin aktif gerilme verisi, σ'_a şekil 4.8d'de verilmiştir. Ayrıca z_0 derinliğine kadar kohezyondan dolayı aktif basınç negatiftir. z_0 derinliğinde aktif basınç değeri sıfıra eşittir ve denklem 4.18 ile bulunur.

$$K_a \gamma z_0 - 2\sqrt{K_a} c' = 0 \quad (4.18)$$

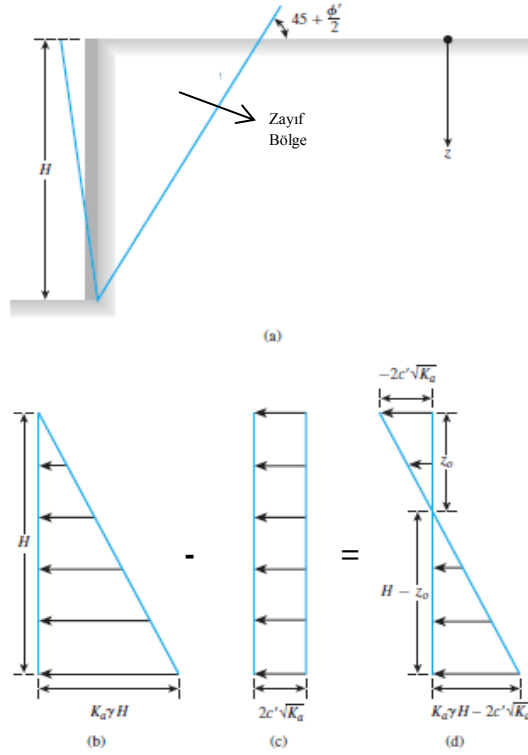
veya,

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} \quad (4.19)$$

Drenajsız durum için, $\phi = 0$, $K_a = \tan^2 45 = 1$ ve $c = c_u$ durumu için,

$$z_0 = \frac{2c_u}{\gamma} \quad (4.20)$$

olur.



Şekil 4.8. Rankine istinat duvarının arkasındaki kohezyonlu zemin için aktif basınç dağılımı (Das 2007)

Duvar ile zemin arasında kalan bölgede oluşacak çekme çatlakları z_0 derinliğine kadar ulaşır ve bu durumda oluşacak toplam basınç diyagramı 4.8d'de verildiği gibidir ve bu durumda aktif basınç,

$$P_a = \frac{1}{2}K_a\gamma H^2 - 2\sqrt{K_a}c'H \quad (4.21)$$

formülü ile bulunur. $\emptyset = 0$ şartı için denklem;

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 - 2c_u H \quad (4.22)$$

olur.

Toplam aktif basınç hesaplanırken çekme çatlakları dikkate alınmalıdır. Çünkü z_0 derinliği ile çekme çatlaklarının başladığı kısma kadar duvar ile zemin arasında herhangi bir bağlantı yoktur. Duvara uygulanacak aktif basınç dağılımı $z = 2c'/\gamma\sqrt{K_a}$ ve H arasında olacaktır (Şekil 4.8d). Bu durumda aktif basınç;

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{1}{2}(K_a\gamma H - 2\sqrt{K_a}c')(H - \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}}) \\ &= \frac{1}{2}K_a\gamma H^2 - 2\sqrt{K_a}c'H + 2\frac{c'^2}{\gamma} \end{aligned} \quad (4.23)$$

olacaktır. $\emptyset = 0$ şartı için aktif basınç denklemi;

$$P_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 - 2c_u H + 2\frac{c^2}{\gamma} \quad (4.24)$$

olacaktır.

4.5.2. Pasif Basınç Durumu

Şekil 4.9a sürtünmesiz istinat yapısının arkasında kalan kohezyonlu zemini göstermektedir. Yeryüzünden herhangi bir derinlikteki mesafede olan pasif gerilme aşağıdaki denklem ile bulunmaktadır.

$$\sigma'_p = K_p\gamma z + 2\sqrt{K_p}c' \quad (4.25)$$

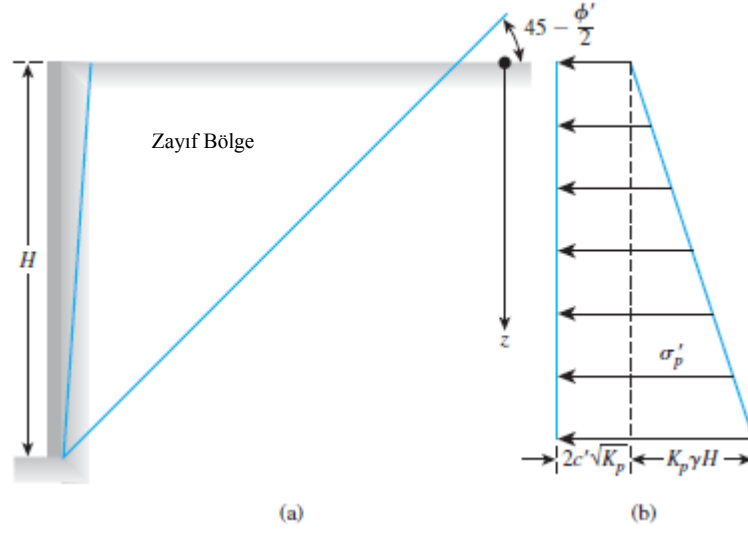
$z = 0$ iken;

$$\sigma'_p = 2\sqrt{K_p}c' \quad (4.26)$$

$z = H$ iken;

$$\sigma'_p = K_p \gamma z + 2\sqrt{K_p} c' \quad (4.27)$$

olur.



Şekil 4.9. İstinat duvarının arkasındaki kohezyonlu zemin için Rankine pasif basınç dağılımı
(Das 2007)

Derinliğe bağlı pasif gerilme σ' dağılımı şekil 4.9b'de verilmiştir. Duvarın birim uzunluğuna etki edecek pasif basınç büyüklüğü,

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 + 2\sqrt{K_p} c' H \quad (4.28)$$

formülü ile bulunur. $\phi = 0$ şartı ve $K_p = 1$ için denklem;

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 + 2c_u H \quad (4.29)$$

olur.

4.6. Coulomb Zemin Basınç Teorisi

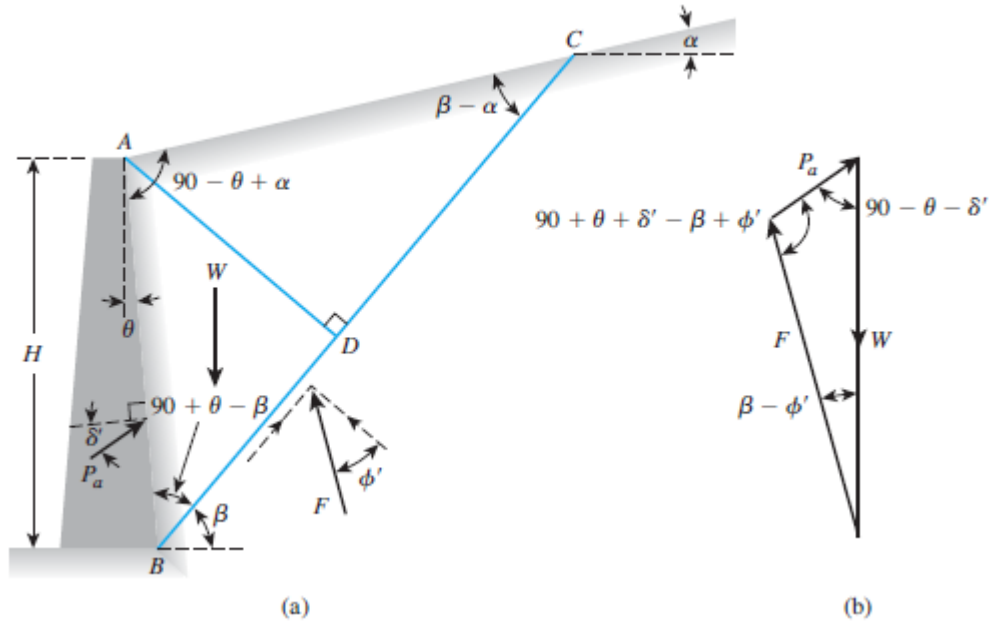
Coulomb (1776), istinat yapılarının hareketinden yola çıkarak duvar arkasında bulunan zeminin kayma durumunu incelemiştir. Coulomb'un bu çalışması Coulomb Kama Teorisi olarak adlandırılır. Coulomb'un bu teorisinin özelliği zemin ile duvar arka yüzeyi arasındaki sürtünmeyi hesaplamalara katmasıdır.

Rankine Teorisinde sadece zemin ağırlığından dolayı meydana gelen gerilmeler incelenirken Coulomb istinat yapısının arkasında kalan zemin kamasının duvarın hareketinden dolayı oluşturduğu kayan zemin kütesinin dengesi incelenir. Kayan toprak kamasının incelenmesi için bazı kabuller yapılır.

- Duvar arkasındaki zemin homojen, kohezyonsuz, kuru ve izotropdur.
- Dolguda kayma yüzeyi, istinat duvarının hareketi ile oluşur.
- Gerçekte eğri olan kayma yüzeyinin düzlem olduğu kabul edilir.
- Birim yüzeydeki kayma direnci, kayma yüzeyi boyunca aynıdır.
- Kayma kama kütesini oluşturan granüler malzeme, kayma yüzeyinin her tarafında ve aynı zamanda bir hareket oluşturur.
- Duvarın arka kısmı ile zemin arasında sürtünme olduğu kabul edilir.

4.6.1. Coulomb Aktif Zemin Basınç Teorisi

Aktif durumda istinat yapısı öne doğru hareket eder ve duvar arkasında oluşan zemin kamasıda aşağı yöndeki hareket eder. Şekil 4.10'da aktif durumda oluşan üçgen zemin kaması ve meydana gelen kuvvetler gösterilmektedir.



Şekil 4.10. (a) Coulomb teorisinde aktif durumda zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve (b) kuvvet poligonu

Coulomb yönteminde statik aktif zemin katsayısı,

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta) \left[1 + \frac{\sin(\delta' + \phi') \sin(\phi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta) \cos(\theta - \alpha)} \right]^2} \quad (4.30)$$

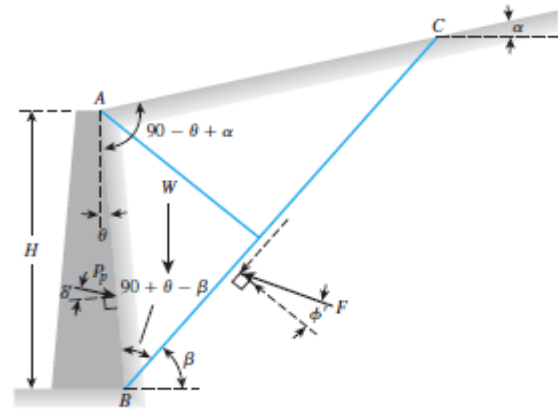
olmak üzere bulunur. Coulomb aktif basınç denklemi ise;

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (4.31)$$

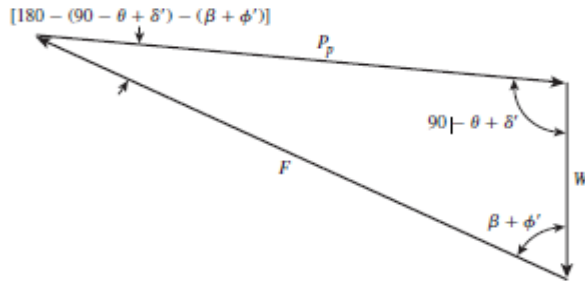
şeklinde ifade edilir ve temel tabanından itibaren H/3 yüksekliğinden etki eder.

4.6.2. Coulomb Pasif Zemin Basınç Teorisi

Pasif durumda istinat yapısı arkaya doğru hareket eder ve duvar arkasındaki sıkışır ve yukarı yöndeki bir hareket eder. Şekil 4.11'de pasif durumda oluşan üçgen zemin kaması ve meydana gelen kuvvetler verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.11. (a) Coulomb teorisinde pasif durumda zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve (b) kuvvet poligonu (Das 2007)

Coulomb yönteminde pasif zemin sabiti,

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi' + \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\delta' - \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \phi') \sin(\phi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta) \cos(\alpha - \theta)}} \right]^2} \quad (4.32)$$

olmak üzere bulunur. Coulomb aktif basınç denklemi ise;

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (4.33)$$

şeklinde ifade edilir.

Rankine aktif basınç teorisinde duvar ve zemin arasındaki sürtünme hesaba katılmazken, Coulomb Kama Teorisinde hesaplara katılır.

4.7. İstinat Duvarlarının Stabilitesi

İstinat duvarlarına etki edecek olan aktif basınç bulunduktan sonra yapının ön boyutlandırılması yapılır. Ön boyutlandırılması yapılan yapının güvenli olup olmadığı bazı stabilite kontrollerinden sonra öğrenilir. Bu stabilite kontrolleri,

- Devrilme kontrolü,
- Kayma kontrolü,
- Temelin tabanında kalan zeminin yapıyı taşıması kontrolü,
- Toptan göçme kontrolü,
- Oturma kontrolüdür.

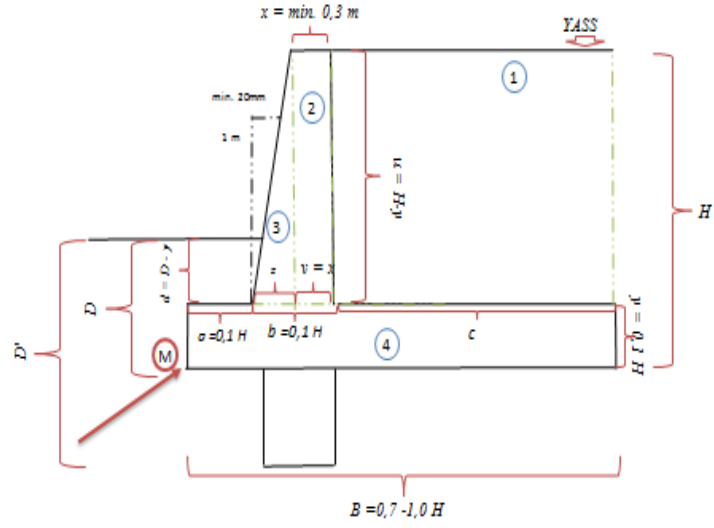
Yapımıza etki edecek aktif basınçtan başka olarak dinamik yükler etki edebilir. Bu yüklerden en etkili ve tehlikeli olanı deprem yükleridir. Yapımızın güvenliğini sadece statik durumlar için kontrol etmememiz gerekir. Deprem ülkesinde yaşadığımızı unutmadan yapımızın tasarımı yapılmalıdır.

Yapımıza etki edecek aktif basıncı bulabilmek için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Rankine Aktif Basınç Teorisi ve Coulomb Kama Teorisi günümüzde en çok kullanılan teorilerdir. Rankine Aktif Basınç Teorisi, Coulomb Kama Teorisi'ne göre daha kaba hesapları içerdiği için yapıya etki eden aktif basınç daha büyük bulunur. Dolayısıyla yapımızın tasarımı daha güvenli olur. Ayrıca Rankine hesapları daha pratik olduğu için genellikle tercih edilen yöntemdir. Rankine ve Coulomb teorilerinden başka Steedman ve Zeng yöntemi ve Mononobe – Okabe yöntemi hesaplamalarıyla da yapımıza etki edebilecek dinamik yüklerin büyüklükleri bulunur.

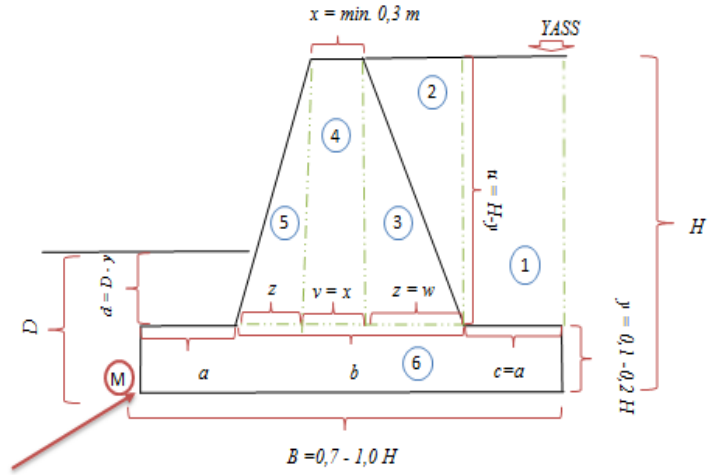
4.7.1. Devrilme Kontrolü

Ön boyutlandırılması yapılan yapımıza etki edecek yüklere karşı sağlam durup durmadığı kontrolüdür. Yapıya etki edecek bütün yükler belirlenir. İstinat duvarının türüne bakılmaksızın bütün ağırlıklar bulunur. Örneğin; duvarın ağırlığı ve duvarın arkasında kalacak zemin ağırlığı vs. Bunlar bulunduktan sonra temel ucuna göre moment noktası belirlenir ve moment alınarak yapının devrilmeye

karşı sağlam olup olmadığı kontrolü yapılır. Şekil 4.12’de dizaynı yapılan istinat duvarının devrilme kontrolü yapılırken moment alınacak nokta; M, gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.12. (a) Konsol istinat duvarında devrilmeye karşı güvenlik kontrolü yapılırken moment alınacak M noktası (b) Ağırlık istinat duvarında devrilmeye karşı güvenlik kontrolü yapılırken moment alınacak M noktası

Ağırlıklı istinat duvarları yanal toprak basıncını ve diğer etki edecek kuvvetleri kendi ağırlıkları ile taşırlar. Konsol istinat duvarları ise yanal toprak basıncını zeminin kendi ağırlığı ile taşımasını sağlarlar. Bu sebepten dolayı tasarımı yapılacak olan istinat yapısının türünü seçerken dikkat etmek gerekir. Ayrıca istinat yapısının ön boyutlandırılması yapılırken kesit büyüklüklerine ekonomiklikten ziyade güvenli olması gerektiği düşünülmelidir.

Das (2007) istinat duvarlarının stabilite kontrolleri konusunda devrilmeye karşı olan güvenliği yapının türüne göre zeminin kendi ağırlığı veya istinat duvarının ağırlığı ile sağlamayı göstermiştir. Devrilmeye karşı olan faktörde, yapının uç noktasına göre moment alınarak, devrilmeye karşı olan koruyucu toplam moment bulunur. Sonra yapıya dik etki eden aktif basınç kuvvetleri yani devrilmeye zorlayan kuvvetler ve bunların oluşturacağı momentler hesaplanır.

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi_1}{2} \right) \quad (4.34)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (4.35)$$

$$P_s = \frac{1}{2} \gamma H^2 \quad (4.36)$$

$$GS_{devrilme} = \frac{\sum M_R}{\sum P} \quad (4.37)$$

Formülleri yardımıyla zeminden kaynaklanan ve yer altı suyundan kaynaklanan yapıya etki edecek olan aktif basınçlar bulunur. Bulunan bu aktif basınçların oluşturacağı momentler hesaplanarak yapı ve arkasında bulunan zeminin oluşturacağı kuvvetin momentleri oranı devrilmeye karşı güvenlik sayısını verir.

4.7.2. Kayma Kontrolü

İstinat yapısının arkasında bulunan zeminden ve yapının bulunduğu çevreden kaynaklanan kuvvetlerden dolayı istinat yapısı kaymaya meyil gösterir. Yapının kaymaya karşı mukavemeti; zemin ve yapının temeli arasındaki sürtünme açısı, yapının önünde bulunan zemin ve yapının temel derinliği ile sağlanır.

İstinat duvarlarında; özellikle konsol istinat duvarlarında yapının kaymaya karşı güvenliğini sağlamak amacıyla duvar dişli olarak dizayn edilebilir. Duvarın zemin ile temas yüzeyi olan temel boyunu genişletilemiyorsa veya yapının temelini daha derine inşa edilemiyorsa bu yöntem tercih edilir. Şekil 6.1a'da dişli konsol istinat duvarı modeli verilmiştir.

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\Phi_2}{2} \right) \quad (4.38)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma_2 D^2 K_p + 2c_2 D \sqrt{K_p} \quad (4.39)$$

$$\Sigma F_d = P_t \cos \alpha \quad (4.40)$$

$$\Sigma F_R = \Sigma V \tan k_1 \Phi_2 + B k_2 c_2 + P_p \quad (4.41)$$

$$GS_{kayma} = \frac{\Sigma F_R}{\Sigma F_d} \quad (4.42)$$

Das (2007) kaymaya karşı olan mukavemeti, yapının temel genişliği ve zemin yapı arasındaki sürtünme kuvvetleri ile sağlamıştır. Yukarıda verilen denklemler ile istinat duvarını kaymaya zorlayacak kuvvetler ve kaymaya karşı koyacak kuvvetler bulunur. İstinat duvarı dizaynının kaymaya karşı güvenliği, duvarın kaymaya karşı koyacak kuvvetleri ile kaymaya neden olacak kuvvetlerin oranı ile bulunur.

4.7.3. Taşıma Kapasitesi Kontrolü

İstinat duvarları şevli arazilerde yatay yükleri tutma amaçlı yapılıır. Yatay yükleri tutan istinat duvarlarının yapılacağı zemin dayanımı yapının ağırlığından dolayı oluşan gerilmeleri taşımalıdır. Özellikle ağırlıklı istinat duvarları temele büyük kuvvetler iletir. Ağırlıklı istinat duvarlarının yapılacağı bölgelerde zemin taşıma kapasiteleri iyi incelenmeli ve yetersiz kalınan durumlarda gerekli tedbirler alınır. İstinat duvarının temelinde taşıma gücü sağlanmalıdır. Sağlanmadığı durumlarda göçme meydana gelir.

Temel zemini, eksantrik yüklü duvarı güvenle taşımalıdır. Bunun sağlanması için; geleneksel yöntem, azaltılmış genişlik (Meyerhof) yöntemi, azaltma katsayıları yöntemi gibi yöntemler kullanılarak temel taban basınç

değerleri belirlenir. Zeminlerin taşıma gücünü belirlemek için, yaygın olarak Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi kullanılır.

$$q_{max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (4.43)$$

$$q_u = cN_c F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (4.44)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\Sigma M_{net}}{\Sigma V} \quad (4.45)$$

$$B' = B - 2e \quad (4.46)$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \frac{D}{B'} \quad (4.47)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \Phi_2 (1 - \sin \Phi_2)^2 \frac{D}{B'} \quad (4.48)$$

$$F_{\gamma d} = 1$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\Psi^\circ}{90^\circ} \right)^2 \quad (4.49)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\Psi^\circ}{\Phi^\circ} \right)^2 \quad (4.50)$$

$$\Psi^\circ = \tan^{-1} \left(\frac{P_t \cos \alpha}{\Sigma V} \right) \quad (4.51)$$

$$GS_{taşıma} = \frac{q_u}{q_{max}} \quad (4.52)$$

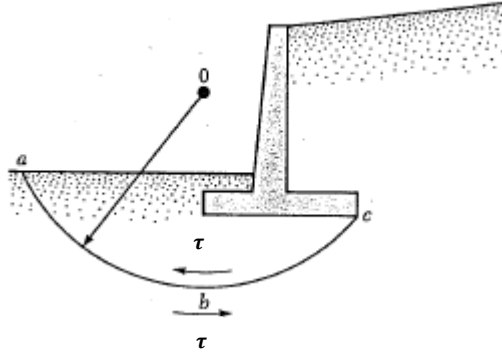
Das (2007) istinat duvarınının yapılacağı zeminin taşıma kapasitesi kontrolündeki güvenlik sayısını yukarıdaki formüllerle gerçekleştirir.

4.7.4. Toptan Göçme Kontrolü

Zayıf zemine sahip bölgelere inşa edilecek istinat yapılarının göçmesi kontrolü yapılır. Yapı göçme bölgesi içerisinde kalmamalıdır. Bu durumdan kalmamak için yapının konsol kısımları şev eğrisi içerisine inşa edilir ya da bu durum ankraj sistemlerle kontrol altına alınır.

İstinat duvarının içinde bulunduğu şevin belli bir güvenlik içinde olmasını sağlamak için, çeşitli yöntemlerle şevin stabilite analizi yapılır. Bunun için günümüzde genellikle İsveç Dilim Yöntemi veya Bishop Dilim Yöntemi kullanılır.

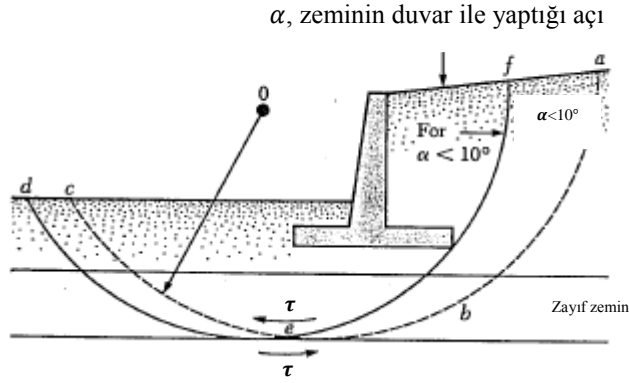
İsveç Dilim Yöntemi, göçme kontrolünde kullanılan bir yöntemdir. Homojen, tabakalı, tamamen veya kısmen su altındaki zemin ve su akımı durumlarının tamamında kullanılabilir.



Şekil 4.13. İstinat duvarında taşıma gücü göçmesi (Das 2007)

İsveç dilim yönteminde, zemin O merkezi etrafında dönen dairesel bir yüzey olarak kabul edilir ve istinat yapısını da bu bölgenin içine alarak yapının arkasından geçtiği kabul edilir (Şekil 4.13). İlk olarak kritik daire belirlenir ve daha sonra daire içerisinde kalan bölge belirli aralıklarla dilimlere ayrılır. Ne kadar sık aralıklarla yapılırsa o kadar hassas sonuçlar elde edilir. Her bir dilimin ağırlığı bulunur ve ağırlık merkezlerinin O noktasına olan uzaklıkları belirlenir. Sonuç olarak O merkez noktasına göre göçmeye sebep olacak moment bulunur.

İstinat duvarı altında kalan zayıf zeminin kaymasından dolayı toptan göçme meydana gelir. Toptan göçme Şekil 4.14’de verildiği gibi istinat duvarı yüksekliğinin 1.5 katı mesafe kadar istinat duvarının altında; *abc* yayında, meydana gelebilir. Bu durumu bilmek için deneme yanılma yöntemiyle *abc* yayı ve O merkezi bulunur. İstinat duvarı arkasında bulunan dolgu zeminin eğimi 10°’den küçük olduğu durumlarda, kırılacak kritik zemin istinat duvarı temelini ucundan geçer. Bu bilgiyle, kırılacak zemin kütlesi ve yayın merkezi O noktası deneme yanılma yöntemiyle daha rahat bulunur.



Şekil 4.14. İstinat duvarlarının toptan göçmesi (Das 2007)

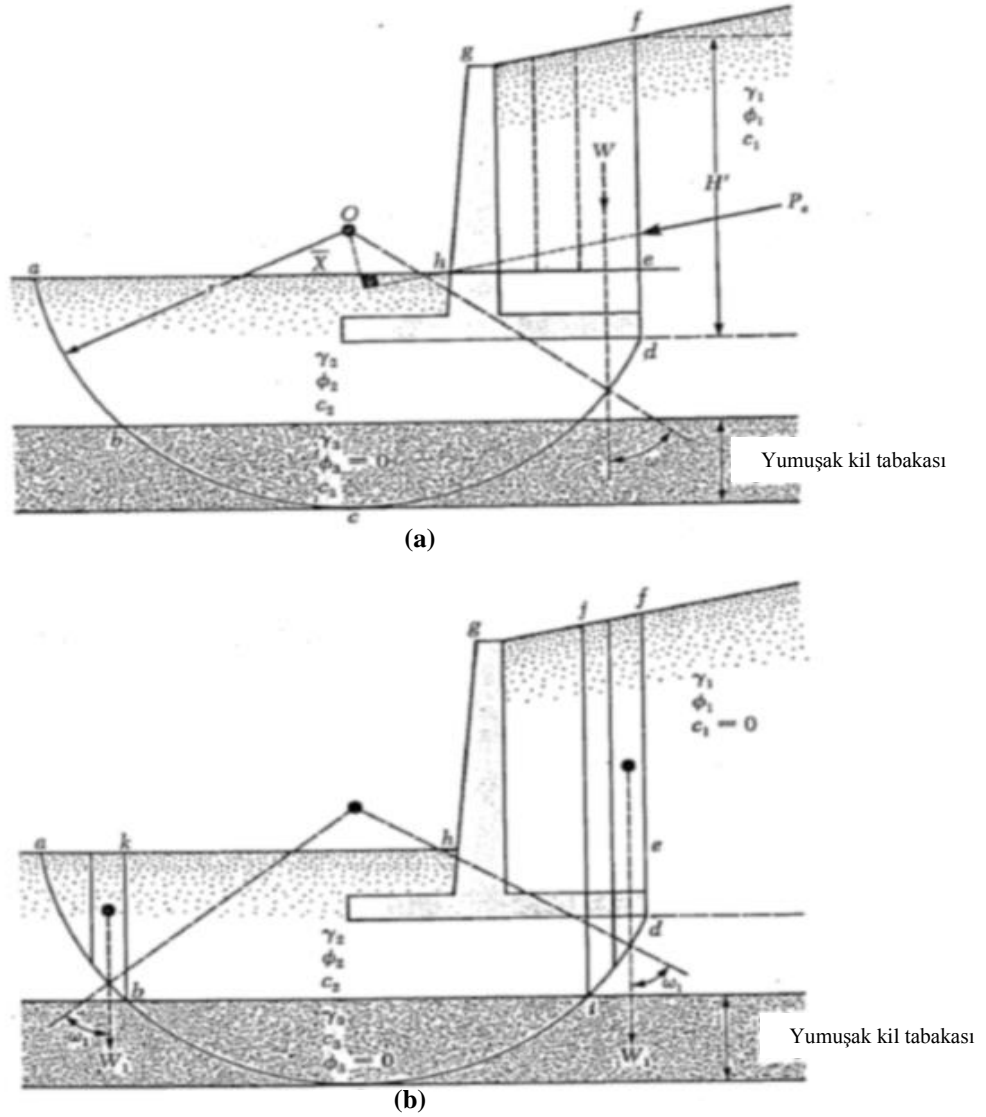
İstinat duvarlarının toptan göçmeye karşı en uygun güvenlik sayısı aşağıdaki adımları izleyerek bulunur.

1. İstinat duvarı ve istinat duvarı altında kalacak zemin kütlesi uygun ölçekte çizilir.
2. Üçgen merkezi O için, abc yayı çizilir. Pratik denemeler için, O merkezinden $abcde$ çember yayına dikine çizilecek doğrular simetrik kabul edilebilir. Çizilen bu doğrular çemberin yarıçapı olur; r .
3. Şekil 4.15a'da verildiği üzere, istinat duvarını itmeye çalışan yükü bulmak için zemin arkasında kalan zemin kütlesi; $efgh$, parçalara ayrılır. Bu parçalar diktörtgen veya üçgen parçalar olabilir.
4. Bu parçaların ağırlığı bulunur.
5. Her parçanın merkezine düşey doğrular çizilir ve her doğrunun kırılacak bölgeyle kesişim noktası bulunur.
6. Bu noktalar O noktasıyla birleştirilir.
7. Kırılacak zemin ile O noktasının birleştiği noktalarla arasında kalan açı; ω , bulunur.
8. W ve $\sin(\omega)$ hesaplanır.
9. df yüzeyine etki edecek aktif kuvvet; P_a , hesaplanır ($P_a = \frac{1}{2} \gamma_1 H^2 K_a$).
10. İtici kuvvet bulunur; $\sum(W \sin \omega) + \frac{P_a \bar{X}}{r}$ (\bar{X} = Merkez O noktası ve P_a aktif kuvveti arasında kalan dik mesafedir).
11. Göçmeye engel olacak yükler bulunur (Şekil 4.15b). abk alanı parçalara ayrılır ve her parçanın ağırlığı bulunur.

12. Her parçanın merkezinden düşey yöndeki doğrular çizilir ve kırılma yayı üzerinde kesişme noktaları belirlenir.
13. Kesişme noktalarından O merkezine doğrular çizilir ve oluşan açı; (ω_1) , belirlenir.
14. Her parçanın; $W_1 \tan(\phi_2) \cos(\omega_1)$ değerleri hesaplanır.
15. Zemin özelliklerine ve ab , bi ve id yay uzunlukları olan l_1 , l_2 ve l_3 'e bağlı olarak,

$$c_2 l_1 + c_3 l_2 + c_2 l_3$$

değeri hesaplanır.



Şekil 4.15. İstinat duvarının toptan göçme analizi (Das 2007)

16. Toptan göçmeye karşı maksimum direnen kuvvet;

$$\Sigma W_1 \tan(\phi_2) \cos(\omega_1) + c_2 l_1 + c_3 l_2 + c_2 l_3 \quad (4.53)$$

hesaplanır.

17. Toptan göçmeye karşı güvenlik faktörü;

$$GS = \frac{\Sigma(W_1 \tan(\phi_2) \cos(\omega_1)) + c_2 l_1 + c_3 l_2 + c_2 l_3}{\Sigma(W \sin \omega) + \frac{PaX}{r}} \quad (4.54)$$

hesaplanır.

Betonarme istinat yapılarında yanal zemin basıncı ile temel basınç kuvveti belirlendikten sonra donatı projesi yapılır ve inşa edilir. İstinat duvarının güvenlik faktör değerleri yeterli olduğu halde kesiti donatısı için yetersiz olabilir. Bu durumda yapının kesitleri büyütülmelidir.

Ağırlık istinat duvarları yatay yöndeki kesme kuvvetlerine karşı dayanımlı olmalıdır. Temel ve gövdesi farklı malzemelerle inşa edilen ağırlıklı istinat duvarlarında bu duruma daha çok dikkat etmek gerekir. Temel-gövde birleşim bölgesinde farklı malzeme oldukları için kesme kuvvetine dayanımı kontrolü yapılır.

Ağırlık istinat duvarlarında yanal kuvvetlerden dolayı eğilme momentleri meydana gelir. Donatısız olan ağırlıklı istinat duvarlarında bu durum duvar arkasında çekme çatlaklarına neden olur.

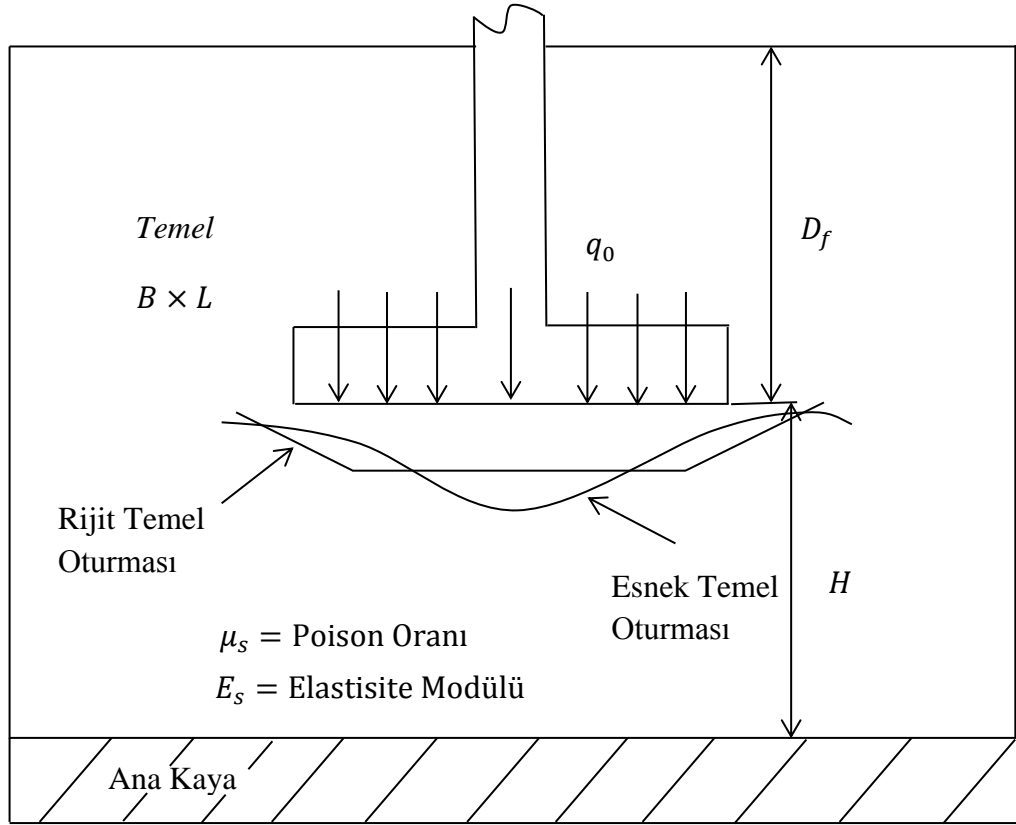
4.7.5. Oturma Kontrolü

Temel oturmaları, elastik oturma (hızlı oturma); S_e , ve konsolidasyon oturması; S_c , olmak üzere ikiye ayrılır. Temelin elastik oturması, yapının bitmesinden hemen sonra tamamlanır. Konsolidasyon oturmasının süresi ise zeminde bulunan boşluk suyunun ne kadar sürede boşluklardan çıkmasına bağlı olarak değişir.

Elastik oturma yapının kum zeminlerde inşası durumunda gerçekleşir. Kum daneleri arasında su veya hava bulunur. Üzerine gelen yükten dolayı da sıkışan kum danelerinde su veya hava boşluklardan giderek ani oturma meydana gelir. İnşaatın bitmesinden sonra da herhangi bir oturma meydana gelmez.

Konsolidasyon oturması kil zeminlerde görülür. Bu tür oturmada zamana bağlı oturma miktarı değişir. Kil, suyu kimyasal bağ ile tutar. Kil tipine göre suyu daha kuvvetli bağ ile veya daha zayıf bağ ile tutulur. Üzerine yük geldiğinde ise suyun boşluklardan çıkması kilin tipine göre farklı sürelerde meydana gelir. Bu süre, su ile kil arasındaki bağın kuvvetine göre değişir.

Şekil 4.16'da temelin birim alanına etki eden yük; q_0 , gösterilmiştir. Poisson oranı (μ_s) ve elastise modülü (E_s) zemin özellikleridir. Harr (1966) teoride $D_f = 0$, $H = \infty$ olduğunu ve dolayısıyla temelin çok iyi esnekliğe sahip olduğunu kabul eder. Harr bu durumda elastik oturmayı aşağıdaki formüllerle vermiştir.



Şekil 4.16. Rijit ve esnek temelin elastik oturması

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \frac{\alpha}{2} \text{ (Esnek temelin köşe noktası)} \quad (4.55)$$

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha \text{ (Esnek temelin merkezi)} \quad (4.56)$$

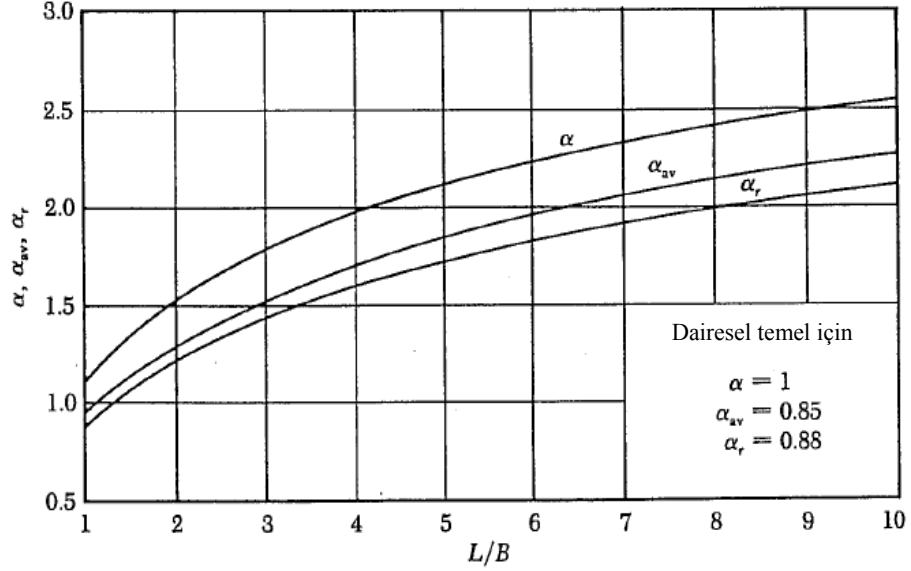
$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left[\ln \left(\frac{\sqrt{1+m^2}+m}{\sqrt{1+m^2}-m} \right) + m \ln \left(\frac{\sqrt{1+m^2}+1}{\sqrt{1+m^2}-1} \right) \right] \quad (4.57)$$

$$m = B/L \quad (4.58)$$

B = temelin genişliği

L = temelin uzunluğu

α değeri B/L oranına göre değişim grafiği Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17. α , α_{av} ve α_r değerleri

Esnek temeller için ortalama elastik oturma;

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha_{av} \quad (4.59)$$

olur.

Rijit temeller için elastik oturma;

$$S_e = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha_r \quad (4.60)$$

olur.

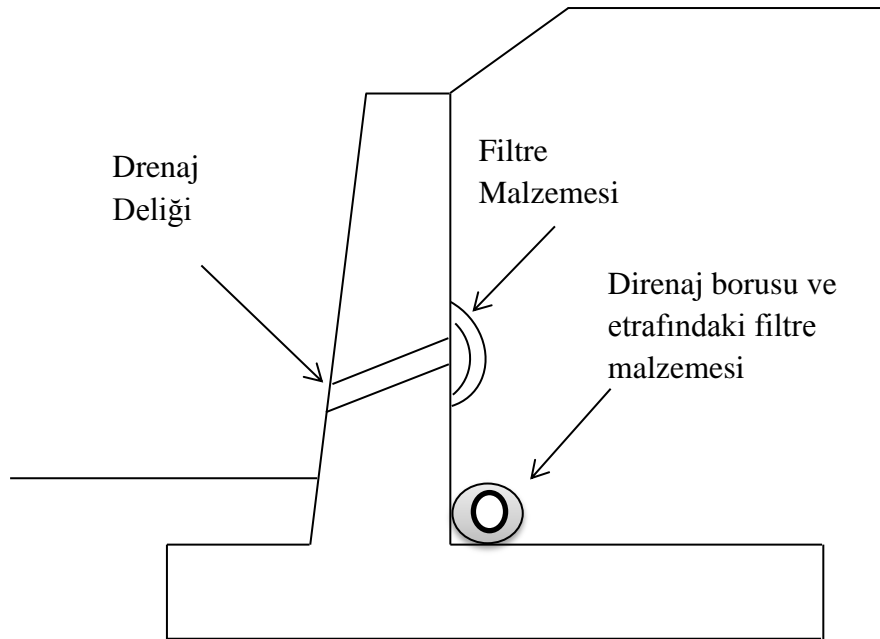
Anakaya zemin tabakası temele yakın ise yukarıda verilen formüller yardımıyla hesaplanan ani oturma değeri daha küçük olur. Şekil 4.16'da gösterilen H derinliği, $2B$ ile $3B$ değerleri arasındaki değerden büyük ise, formüller

yardımıyla bulunan sonuç ile gerçek oturma değeri arasında dikkate değer bir fark olmaz. Temel derinliği; D_f , ne kadar fazla olursa toplam elastik oturma daha az olur.

4.8. İstinat Duvarı Arkasında Kalan Zemin Drenaj Uygulaması

Yağmur, kar, olası su taşkınları ve diğer sebeplerden dolayı istinat duvarı arkasında kalan zemin suya doymuşlaşır. İstinat duvarının arkasında kalan zeminin suya doymuş hale gelmesi, duvara etki edecek basıncın artmasına neden olur. Bu nedenle, istinat duvarına uygun drenaj boruları yerleştirilir veya drenaj delikleri açılır (Şekil 4.18).

Drenaj borularının çapı minimum 0.1 m olur ve sabit aralıklarla yerleştirilir. İstinat duvarı arkasında kalan zeminin bu drenaj borularına geçmesi her zaman mümkündür. Bu durum drenaj borularının düzgün çalışmasına engel olur. Bu durumu önlemek için, drenaj borusunun çevresine ve arkasına filtre malzemeleri kullanılır.



Şekil 4.18. İstinat duvarını koruma amaçlı yapılan drenaj uygulamaları

5. DEPREMDEN KAYNAKLANAN İSTİNAT DUVARLARINA ETKİ EDEN AKTİF KUVVETLER

5.1. Mononobe-Okabe Yöntemi

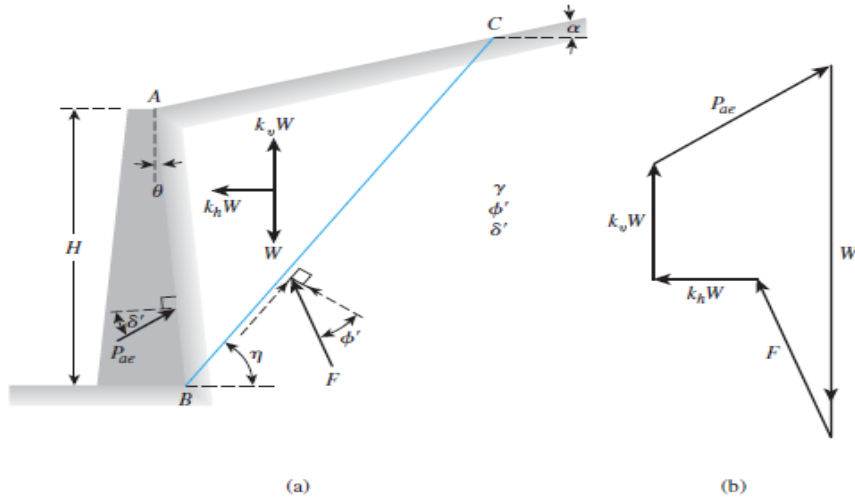
Coulomb'un istinat yapıları için aktif kuvvet analizi deprem kuvvetlerini de içerir. Şekil 5.1a'da; istinat duvarının boyu H ve arkasındaki zemini granüler zemin, zeminin birim hacim ağırlığını γ ve içsel sürtünme açısını ϕ' olarak belirtilmiştir. İstinat duvarı ile arkasındaki zemin arasında oluşacak sürtünme açısını da δ' olduğunu varsayalım. ABC üçgen kırılma gamasıdır. Kamaya etki edecek kuvvet şu sıralamayı takip eder.

1. Zemin kamasının ağırlığı; W
2. Kırılma yüzeyi BC meydana gelen toplam kesme ve normal kuvvetler, F
3. Duvarın birim uzunluğuna etki eden aktif kuvvet, P_{ae}
4. Yatay yöndeki atalet kuvveti, $k_h W$
5. Düşey yöndeki atalet kuvveti, $k_v W$

$$k_h = \frac{\text{deprem ivmesinin yatay bileşimi}}{g} \quad (5.1)$$

$$k_v = \frac{\text{deprem ivmesinin düşey bileşimi}}{g} \quad (5.2)$$

g =yer çekimi ivmesi.



Şekil 5.1. Deprem yüklerinin istinat duvarı üzerindeki aktif kuvveti (Das 2007)

Şekil 5.2b’de kuvvetlerin poligon şekli gösterilmiştir. Duvara etki edecek maksimum dinamik aktif kuvvet, P_{ae} herhangi bir zemin kamasına uygulanabilir. Bu dinamik aktif kuvvet,

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{\ddot{a}} \quad (5.3)$$

$$K_{\ddot{a}} = \frac{\cos^2(\phi' - \theta - \bar{\beta})}{\cos^2 \theta \cos \bar{\beta} \cos(\delta' + \theta + \bar{\beta}) \left\{ 1 + \left[\frac{\sin(\delta' + \phi') \sin(\phi' - \alpha - \bar{\beta})}{\cos(\delta' + \theta + \bar{\beta}) \cos(\theta - \alpha)} \right]^{1/2} \right\}^2} \quad (5.4)$$

ve

$$\bar{\beta} = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right) \quad (5.5)$$

denklemleri yardımıyla bulunur. Depremden gelen kuvvetler olmasa $\bar{\beta} = 0$ olur. Aynı zamanda $K_{\ddot{a}} = K_a$ olacak ve (4.30)’da verilen denkleme dönüşür. Denklem (5.3) ve (5.4) Mononobe-Okabe eşitliği olarak bilinir (Mononobe,1929; Okabe,1926).

5.2. Seed ve Whitman Yöntemi

Seed ve Whitman (1970) basit yöntemlerle $K_{\ddot{a}}$ verisini elde etmişler. $K_{\ddot{a}}$ verisini elde ederken standart K_a veri çizelgesi kullanılmış. Denklem (4.30) ve (4.31) tekrar kullanarak yazacak olursak;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a = \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 \right) \left(\frac{1}{\cos^2 \theta} \right) (A_c) \quad (5.6)$$

$$A_c = K_a \cos^2 \theta = \frac{\cos^2(\phi' - \theta)}{\cos^2(\delta' + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \phi') \sin(\phi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (5.7)$$

denklem (5.3) ve (5.4) dikkate alındığında;

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{\ddot{a}}'' = \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 \right) (1 - k_v) \left(\frac{1}{\cos^2 \theta \cos \bar{\beta}} \right) (A_m) \quad (5.8)$$

$$A_m = K_{\ddot{a}}'' \cos^2 \theta \cos \bar{\beta} = \frac{\cos^2(\phi' - \theta - \bar{\beta})}{\cos^2(\delta' + \theta + \bar{\beta}) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \phi') \sin(\phi' - \alpha - \bar{\beta})}{\cos(\delta' + \theta + \bar{\beta}) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (5.9)$$

belirtmek gerekirse;

$$\theta^* = \theta + \bar{\beta} \quad (5.10)$$

ve

$$\alpha^* = \theta + \bar{\beta} \quad (5.11)$$

denklem (5.10) ve (5.11)'i birleştirip A_m denklemini yazacak olursak;

$$A_m = \frac{\cos^2(\theta' - \theta^*)}{\cos(\delta' + \theta^*) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \theta') \sin(\theta' - \alpha^*)}{\cos(\delta' + \theta^*) \cos(\theta^* - \alpha^*)}} \right]^2} \quad (5.12)$$

elde edilir. Denklem (5.7) ve (5.12) kullanılarak;

$$A_m = A_c(\theta^*, \alpha^*) = K_a(\theta^*, \alpha^*) \cos^2 \theta^*$$

elde edilir.

Aktif basınç kuvveti;

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) \frac{1}{\cos^2 \theta \cos \bar{\beta}} K_a(\theta^*, \alpha^*) \cos^2 \theta^* \quad (5.13)$$

olarak bulunur.

$P_a(\theta^*, \alpha^*)$ terimi, duvar eğiminin; θ^* , olduğu ve duvar arkasındaki zeminin eğiminin; α^* , olduğu durumlarda aktif zemin basıncıdır. K_a değeri standart çizelgelerden alınır.

5.3. Toplam Kuvvet, P_{ae} 'nin Duvara Etki Ettiği Yer

Seed ve Whitman basit bir yöntemle toplam kuvvet, P_{ae} 'nin etki ettiği yerin duvarda nerede olacağını göstermişlerdir. Seed ve Whitman'ın önerdiği method;

1. İlk olarak

$$P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae} \quad (5.14)$$

hesaplanır.

P_a = Coulomb'un aktif kuvvet denklemi ile bulunan kuvvet

ΔP_{ae} = Deprem etkisinden dolayı oluşacak ilave aktif kuvvet

2. P_a (4.31) ile hesaplanır.

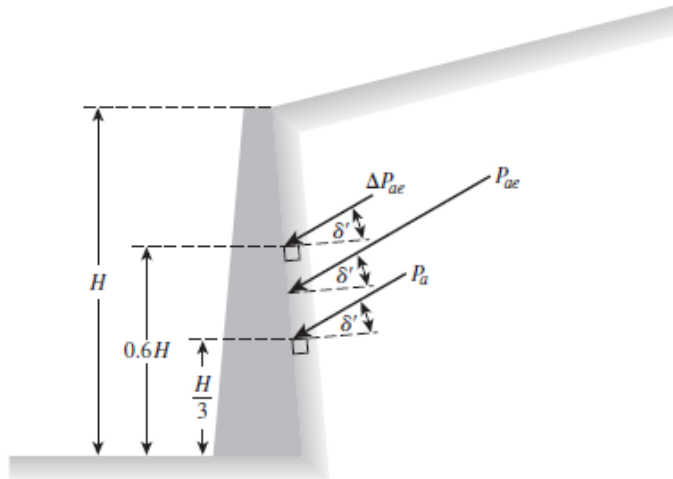
3. P_{ae} (5.3) ile hesaplanır.

4. $\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a$ sonucu hesaplanır.

5. Şekil 5.2'de gösterildiği üzere P_a duvara temelden itibaren $H/3$ mesafeden etki eder. Aynı zaman da ΔP_{ae} duvara temelden itibaren $H/6$ mesafeden etki eder.

6. Aşağıdaki denklemden de P_{ae} 'nin de etki edeceği yer bulunur.

$$\bar{z} = \frac{P_a \left(\frac{H}{3}\right) + \Delta P_{ae} (0.6H)}{P_{ae}} \quad (5.15)$$



Şekil 5.2. Toplam kuvvet, P_{ae} 'nin istinat duvarına etki ettiği yeri (Das 2007)

6. İSTİNAT DUVARI DİZAYN PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

Çalışmada, öncelikle istinat duvarları için doğal şartlar belirlenmiştir. Şev yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 farklı yüksekliğe sahip istinat duvarları tasarımı yapılmıştır. Ayrıca, istinat duvarlarına etki edecek su seviyesi, istinat duvarı yüksekliğinde göz önüne alınmıştır. Yer altı su seviyesi şev yüksekliğindedir. Bu durumda istinat duvarlarına zemin basıncı ve su basıncı olmak üzere iki farklı basınç etki ettirilmiştir.

İstinat duvarlarının arkasında granüler dolgudan sonra kil zemin olduğu kabul edilmiştir. Kil zeminin kohezyon (c) değerleri 10 kN/m^2 , 20 kN/m^2 ve 40 kN/m^2 olmak üzere 3 farklı kil tabakası ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu kil tabakaların birim hacim ağırlığı (γ) 17 kN/m^3 ve içerisinde bulunan kum daneciklerinin içsel sürtünme açısı (ϕ) 5° olarak kabul edilmiştir. İstinat duvarının temelini oturacağı zemin sıkı kum ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 30° , birim hacim ağırlığı 20 kN/m^2 ve kohezyon değeri 10 kN/m^2 olarak kabul edilmiştir.

Bu kabuller ile ağırlıklı istinat duvarı ve konsol istinat duvarı olmak üzere 2 farklı türde istinat duvarları tasarlanmıştır. Bu tasarımlara Van, Türkiye, Petrolia-California, ABD ve Volcano-Hawaii, ABD depremlerinin büyüklükleri Plaxis 2D paket programıyla etki ettirilmiştir. İstinat duvarlarının yükseklik farklarıyla beraber farklı depremlerde oluşturdukları deformasyonları karşılaştırılmıştır.

6.1. İstinat Duvarlarına Etki Edecek Aktif Basıncın Hesaplanması

Çalışmada istinat duvarlarına etki edecek aktif basınç, Rankine aktif basınç teoremiyle bulundu. Konsol ve Ağırlıklı istinat duvarlarına etki edecek olan yükler ve zemin özellikleri sırasıyla Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de verilmiştir. İstinat duvarlarına etki edecek olan zemin özellikleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. İstinat duvarlarına etki edecek olan killi zeminin özellikleri

Zemin Özellikleri	Zemin-I	Zemin-II	Zemin-III
Tanımı	Çok yumuşak kil	Yumuşak kil	Orta katı kil
Birim Hacim Ağırlık (γ_{doymun}) (kN/m^3)	17,0	17,0	17,0
Poison Oranı (ν)	0,2	0,25	0,3
Elastisite Modülü (E) (kN/m^2)	2050	4050	5500
İçsel sürtünme açısı (\emptyset) ($^\circ$)	5	5	5
Kohezyon (c) (kN/m^2)	10	20	40
Doymunluk Derecesi (S) (%)	100	100	100

Bu özelliklere göre yüksekliği 5 m olan konsol istinat duvarına etki edecek toplam basınç;

Rankine Aktif Basınç Sabiti: $K_a = \tan^2 (45 - \frac{5}{2}) = 0,84$

Aktif Zemin Basıncı :
$$P_a = \frac{1}{2} \gamma' H^2 K_a - 2 \sqrt{K_a} c H$$
$$= \left[\frac{1}{2} (17 - 10) (5^2) (0,84) \right] - \left[(2) (\sqrt{0,84}) (10) (5) \right] = -18,15 \text{ kN/m}$$

Su Basıncı : $P_{su} = \frac{1}{2} \gamma H^2 = \frac{1}{2} (10) (5^2) = 125,0 \text{ kN/m}$

Toplam Basınç : $P_T = (-18,5) + 125,0 = 106,85 \text{ kN/m}$

olarak hesaplanır.

Yüksekliği 10 m olan konsol istinat duvarına etki edecek toplam basınç;

$$\text{Rankine Aktif Basınç Sabiti: } K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{5}{2} \right) = 0,84$$

$$\begin{aligned} \text{Aktif Zemin Basıncı : } P_a &= \frac{1}{2} \gamma' H^2 K_a - 2\sqrt{K_a} c H \\ &= \left[\frac{1}{2} (17 - 10) (10^2) (0,84) \right] - [(2)(\sqrt{0,84})(10)(10)] = 110,7 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Su Basıncı : } P_{su} = \frac{1}{2} \gamma H^2 = \frac{1}{2} (10) (10^2) = 500,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{Toplam Basınç : } P_T = 110,7 + 500,0 = 610,7 \text{ kN/m}$$

olarak hesaplanır.

Yüksekliği 15 m olan konsol istinat duvarına etki edecek toplam basınç;

$$\text{Rankine Aktif Basınç Sabiti: } K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{5}{2} \right) = 0,84$$

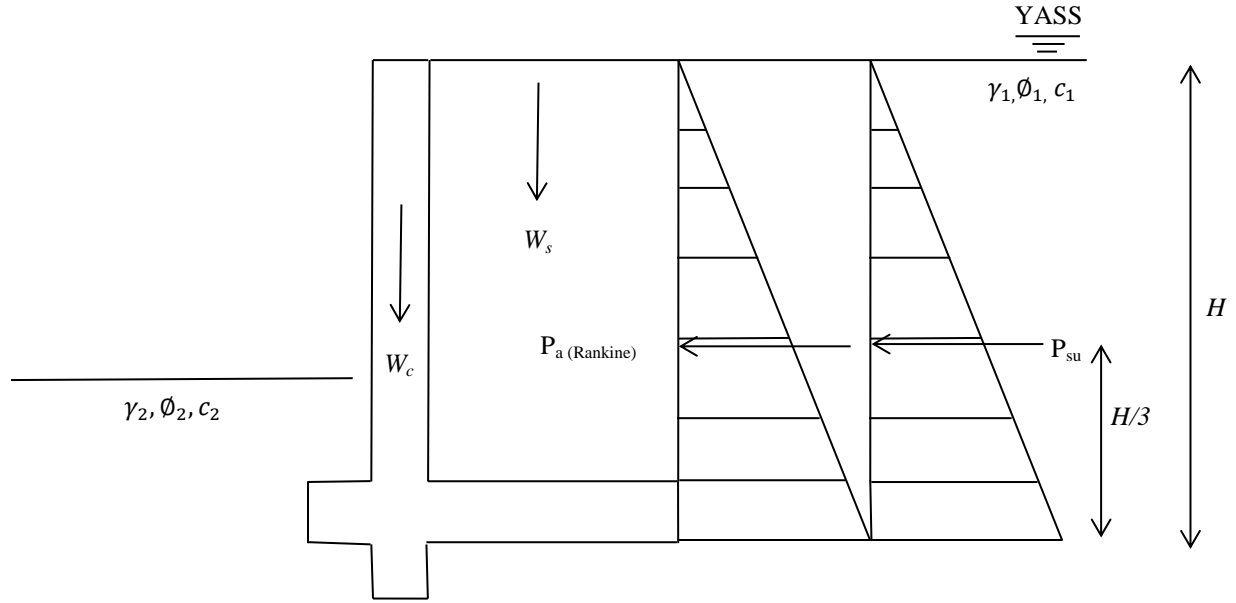
$$\begin{aligned} \text{Aktif Zemin Basıncı : } P_a &= \frac{1}{2} \gamma' H^2 K_a - 2\sqrt{K_a} c H \\ &= \left[\frac{1}{2} (17 - 10) (15^2) (0,84) \right] - [(2)(\sqrt{0,84})(10)(15)] = 386,5 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Su Basıncı : } P_{su} = \frac{1}{2} \gamma H^2 = \frac{1}{2} (10) (15^2) = 1125,0 \text{ kN/m}$$

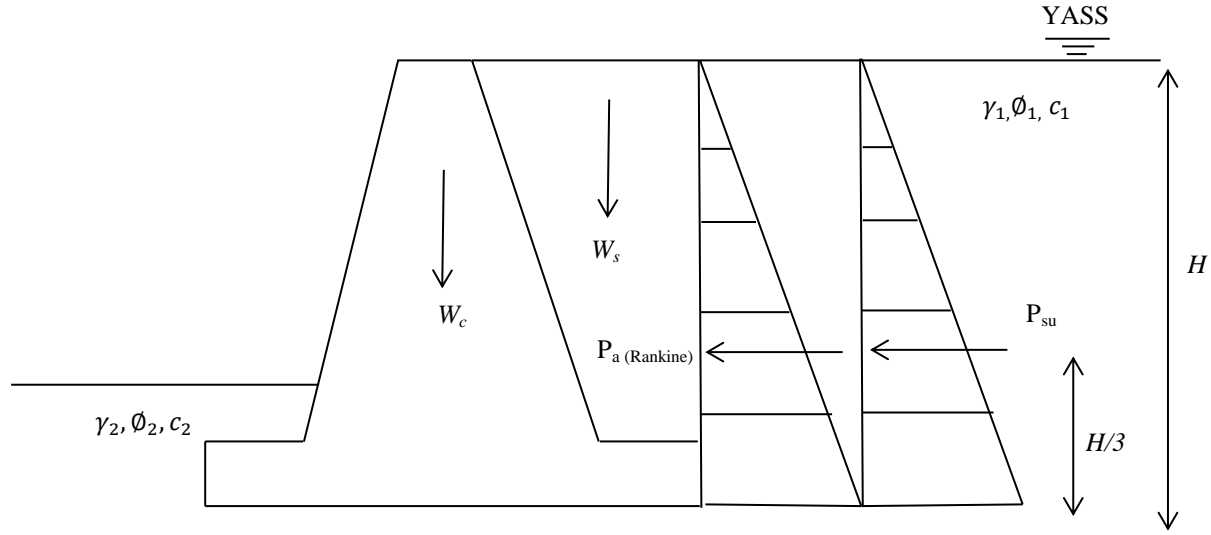
$$\text{Toplam Basınç : } P_T = 386,5 + 1125,0 = 1511,5 \text{ kN/m}$$

olarak hesaplanır.

Ağırlıklı istinat duvarına da aynı özellikte zemin etki edeceği kabul edilmiştir. Bundan dolayı, hesaplanan bu toplam basınç değerleri, ağırlıklı istinat duvarları tasarımı için de kullanılmıştır.



Şekil 6.1. Konsol istinat duvarı ve duvara etki edecek yükler



Şekil 6.2. Ağırlık istinat duvarı ve duvara etki edecek yükler

Şekil 6.1’de şematik görünümü verilen konsol tipi istinat duvarlarının yüksekliklerine bağlı olarak değişen aktif basınç yükleri, yapılan dizaynlar ve güvenlik faktör sayıları Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. İstinat duvarı yüksekliğine bağlı olarak değişen aktif basınç ve konsol istinat duvarı tasarım parametreleri

Model No	1	2	3
Yükseklik H (m)	5,0	10,0	15,0
Temel Uzunluğu B (m)	4,0	9,5	12,5
Diş Derinliği D'(m)	1,85	4,0	6,75
Temel Derinliği D (m)	0,75	1,5	2,5
x (m)	0,5	1,0	1,5
a (m)	0,5	1,0	1,5
b (m)	0,5	1,0	1,5
c (m)	3,0	7,5	9,5
d (m)	0,25	0,5	1,0
u (m)	4,5	9,0	13,5
v (m)	0,5	1,0	1,5
y (m)	0,5	1,0	1,5
z (m)	0,0	0,0	0,0
P_a (kN/m)	106,85	610,7	1511,5
GS_{devrilme}	2,15	3,03	2,33
GS_{kayma}	1,5	1,5	1,5
GS_{taşıma}	8,31	9,26	8,22

Şekil 6.2’de şematik görünümü verilen ağırlıklı istinat duvarlarının yüksekliklerine bağlı olarak değişen aktif basınç yükleri, yapılan dizaynlar ve güvenlik faktör sayıları Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çizelge 6.3. İstinat duvarı yüksekliğine bağlı olarak değişen aktif basınç ve ağırlıklı istinat duvarı tasarım parametreleri

Model No	1	2	3
Yükseklik H (m)	5,0	10,0	15,0
Temel Uzunluğu B (m)	5,0	10,0	15,0
Temel Derinliği D (m)	1,4	3,5	5,5
x (m)	1,0	3,0	5,0
a (m)	0,4	0,5	0,5
b (m)	4,2	9,0	14,0
c (m)	0,4	0,5	0,5
d (m)	0,6	1,5	1,5
u (m)	4,2	8,0	11,0
v (m)	1,0	3,0	5,0
w (m)	1,6	3,0	4,5
y (m)	0,8	2,0	4,0
z (m)	1,6	3,0	4,5
P_a (kN/m)	106,85	610,7	1511,5
GS_{devrilme}	3,7	3,9	4,1
GS_{kayma}	1,5	1,5	1,5
GS_{taşıma}	3,7	3,2	3,0

KAYMAYA KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ	
K_p	3,00
P_p (t/m)	16,68
P_t (t/m)	19,85
ΣF_d (t)	19,85
ΣF_R (t)	29,85

GS_{kayma} : 1.50 ✓

(b)

TAŞIMA GÜCÜNE GÖRE GÜVENLİK KONTROLÜ					
ϕ	N_c	N_q	N_y	N_q/N_c	$\tan\phi$
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58

q (t/m ²)	3,500	F_{qd}	1,095
q_{max} (t/m ²)	18,920	F_{yd}	1,000
B' (m)	2,289	$F_{ci} = F_{qi}$	0,431
ψ°	30,913	F_{yi}	4,373
e (m)	0,855	q_u (t/m ²)	157,143
F_{cd}	1,125		

GS_{taşıma} : 8.31 ✓

(c)

Şekil 6.3. Yüksekliği 5 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri
 (a) 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü
 (b) 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü
 (c) 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü

6.3. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 10 m olan Konsol Tipi İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri

Yüksekliği 10 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri Şekil 6.4'de verilmiştir.

DEVRİLMEME KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ				
Kısım	Alan (m ²)	Ağırlık (ton)	Moment Kolu (m)	Moment (tm)
1	67,50	114,75	5,75	659,81
2	9,00	21,60	1,50	32,40
3	0,00	0,00	1,00	0,00
4	9,50	22,80	4,75	108,30
	ΣV	159,15	ΣM _d	800,51

<p style="text-align: center;">K_s 0,84</p> <p style="text-align: center;">P_s (t/m) 29,39</p> <p style="text-align: center;">P_s (t/m) 50,00</p> <p style="text-align: center;">z (m) 3,33</p> <p style="text-align: center;">ΣM_{dv} (t.m) 264,63</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>GS_{devrilme} : 3.03 ✓</p> </div>
---	--

(a)

KAYMAYA KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ	
<p style="text-align: center;">K_p 3,00</p> <p style="text-align: center;">P_p (t/m) 61,86</p> <p style="text-align: center;">P_t (t/m) 79,39</p> <p style="text-align: center;">ΣF_d (t) 79,39</p> <p style="text-align: center;">ΣF_r (t) 119,27</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>GS_{kayma} : 1.50 ✓</p> </div>

(b)

TAŞIMA GÜCÜNE GÖRE GÜVENLİK KONTROLÜ					
φ	N _c	N _q	N _γ	N _q /N _c	tanφ
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58

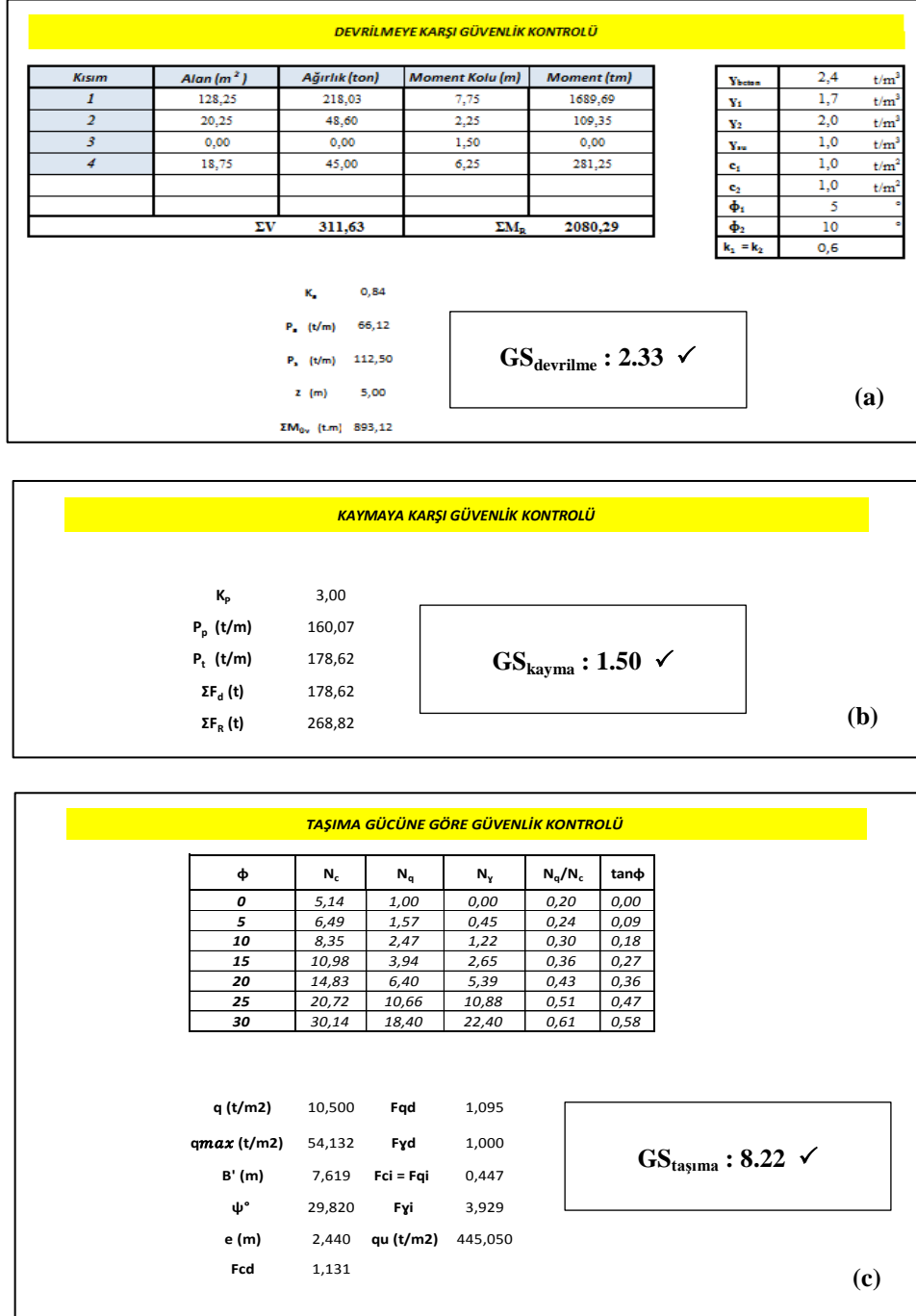
<p style="text-align: center;">q (t/m²) 7,000 F_{qd} 1,064</p> <p style="text-align: center;">q_{max} (t/m²) 31,384 F_{yd} 1,000</p> <p style="text-align: center;">B' (m) 6,734 F_{ci} = F_{qi} 0,498</p> <p style="text-align: center;">ψ° 26,512 F_{yi} 2,726</p> <p style="text-align: center;">e (m) 1,383 q_u (t/m²) 290,729</p> <p style="text-align: center;">F_{cd} 1,125</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; display: inline-block;"> <p>GS_{taşımaya} : 9.26 ✓</p> </div>
--	--

(c)

Şekil 6.4. Yüksekliği 10 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri
(a) 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü
(b) 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü
(c) 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü

6.4. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 15 m olan Konsol Tipi İstinat Duvarının Stabilité Kontrolleri

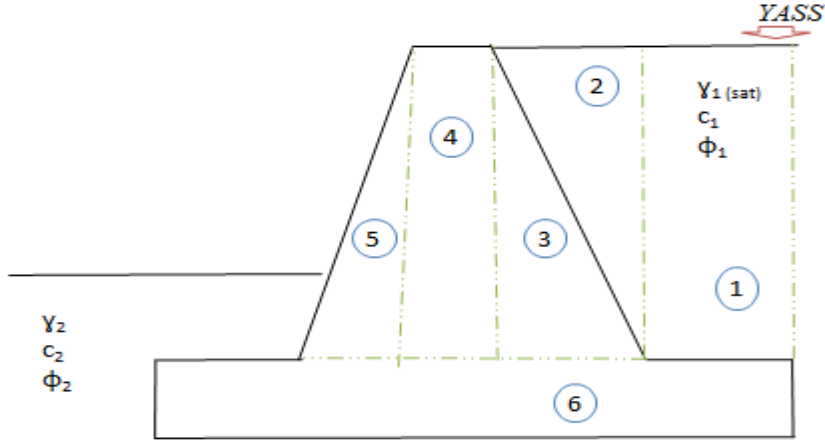
Yüksekliği 15 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri Şekil 6.5’de verilmiştir.



Şekil 6.5. Yüksekliği 15 m olan konsol istinat duvarının stabilite kontrolleri
 (a) 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü
 (b) 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü
 (c) 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü

6.5. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 5 m olan Ağırlıklı İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri

Yüksekliği 5 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri Şekil 6.6'da verilmiştir.



DEVİRLMEYE KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ

Kısım	Alan (m ²)	Ağırlık (ton)	Moment Kolu (m)	Moment (tm)
1	1,68	2,86	4,80	13,71
2	3,36	5,71	3,47	19,80
3	3,36	8,06	2,73	22,04
4	3,36	8,06	1,80	14,52
5	2,10	5,04	1,07	5,38
6	8,00	19,20	2,50	48,00
ΣV		48,94	ΣM_R 123,44	

γ_{sat}	2,4	t/m ³
γ_1	1,7	t/m ³
γ_2	2,0	t/m ³
γ_{sat}	1,0	t/m ³
c_1	1,0	t/m ²
c_2	1,0	t/m ²
ϕ_1	5	°
ϕ_2	10	°
$k_1 = k_2$	0,6	

$$K_a = 0,84$$

$$P_a \text{ (t/m)} = 7,35$$

$$P_a \text{ (t/m)} = 12,50$$

$$z \text{ (m)} = 1,67$$

$$\Sigma M_{0v} \text{ (t-m)} = 33,08$$

$$GS_{devrilme} : 3.73 \checkmark$$

(a)

KAYMAYA KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ

$$K_p = 3,00$$

$$P_p \text{ (t/m)} = 10,73$$

$$P_t \text{ (t/m)} = 19,85$$

$$\Sigma F_d \text{ (t)} = 19,85$$

$$\Sigma F_R \text{ (t)} = 29,63$$

$$GS_{kayma} : 1.50 \checkmark$$

(b)

TAŞIMA GÜCÜNE GÖRE GÜVENLİK KONTROLÜ					
ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan\phi$
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58

q (t/m ²)	3,500	F_{qd}	1,109
q_{max} (t/m ²)	17,461	F_{yd}	1,000
B' (m)	3,693	$F_{ci} = F_{qi}$	0,574
ψ°	21,815	$F_{\gamma i}$	0,074
e (m)	0,653	q_u (t/m ²)	64,010
F_{cd}	1,152		

GS_{taşıma} : 3.67 ✓

(c)

Şekil 6.6. Yüksekliği 5 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri
 (a) 5 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü
 (b) 5 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü
 (c) 5 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü

6.6. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 10 m olan Ağırlıklı İstinat Duvarının Stabilite Kontrolleri

Yüksekliği 10 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri Şekil 6.7'de verilmiştir.

DEVRİLMEME KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ				
Kısım	Alan (m ²)	Ağırlık (ton)	Moment Kolu (m)	Moment (tm)
1	4,00	6,80	9,75	66,30
2	12,00	20,40	8,50	173,40
3	12,00	28,80	6,50	187,20
4	16,00	38,40	4,50	172,80
5	12,00	28,80	2,50	72,00
6	30,00	72,00	5,00	360,00
ΣV		195,20	ΣM_2	1031,70

V_{kmin}	2,4	t/m ³
V_1	1,7	t/m ³
V_2	2,0	t/m ³
V_{su}	1,0	t/m ³
e_1	1,0	t/m ²
e_2	1,0	t/m ²
ϕ_1	5	°
ϕ_2	10	°
$k_1 = k_2$	0,6	

K_s	0,84
P_s (t/m)	29,39
P_s (t/m)	50,00
z (m)	3,33
ΣM_{0v} (t.m)	264,63

GS_{devrilme} : 3.90 ✓

(a)

KAYMAYA KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ	
K_p	3,00
P_p (t/m)	48,87
P_t (t/m)	79,39
ΣF_d (t)	79,39
ΣF_R (t)	118,30

GS_{kayma} : 1.50 ✓

(b)

TAŞIMA GÜCÜNE GÖRE GÜVENLİK KONTROLÜ					
ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan\phi$
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58

q (t/m ²)	7,000	F_{qd}	1,129
q_{max} (t/m ²)	32,056	F_{yd}	1,000
B' (m)	7,859	$F_{ci} = F_{qi}$	0,549
ψ°	23,333	F_{yi}	0,049
e (m)	1,070	q_u (t/m ²)	103,590
F_{cd}	1,178		

GS_{taşıma} : 3.23 ✓

(c)

Şekil 6.7. Yüksekliği 10 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri
 (a) 10 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü
 (b) 10 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü
 (c) 10 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü

6.7. Dizaynı Yapılmış Yüksekliği 15 m olan Ağırlıklı İstinat Duvarının Stabilité Kontrolleri

Yüksekliği 15 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri Şekil 6.8'de verilmiştir.

DEVİRİLMEME KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ				
Kısım	Alan (m ²)	Ağırlık (ton)	Moment Kolu (m)	Moment (tm)
1	5,50	9,35	14,75	137,91
2	24,75	42,08	13,50	568,01
3	24,75	59,40	11,00	653,40
4	44,00	105,60	7,50	792,00
5	27,50	66,00	3,83	253,00
6	67,50	162,00	7,50	1215,00
ΣV		444,43	ΣM_R	3619,33

Y _{beton}	2,4	t/m ³
Y _t	1,7	t/m ³
Y _z	2,0	t/m ³
Y _{su}	1,0	t/m ³
c ₁	1,0	t/m ²
c ₂	1,0	t/m ²
φ ₁	5	°
φ ₂	10	°
k ₁ = k ₂	0,6	

K_s 0,84
 P_s (t/m) 65,12
 P_t (t/m) 112,50
 z (m) 5,00
 ΣM_{0v} (t.m) 893,12

GS_{devrilme} : 4.05 ✓

(a)

KAYMAYA KARŞI GÜVENLİK KONTROLÜ	
K _p	3,00
P _p (t/m)	109,80
P _t (t/m)	178,62
ΣF _d (t)	178,62
ΣF _R (t)	263,20

GS_{kayma} : 1.50 ✓

(b)

TAŞIMA GÜCÜNE GÖRE GÜVENLİK KONTROLÜ					
ϕ	N_c	N_q	N_γ	N_q/N_c	$\tan\phi$
0	5,14	1,00	0,00	0,20	0,00
5	6,49	1,57	0,45	0,24	0,09
10	8,35	2,47	1,22	0,30	0,18
15	10,98	3,94	2,65	0,36	0,27
20	14,83	6,40	5,39	0,43	0,36
25	20,72	10,66	10,88	0,51	0,47
30	30,14	18,40	22,40	0,61	0,58

q (t/m ²)	10,500	F_{qd}	1,129
q_{max} (t/m ²)	45,814	F_{yd}	1,000
B' (m)	12,268	$F_{ci} = F_{qi}$	0,525
ψ°	24,759	$F_{\gamma i}$	0,031
e (m)	1,366	q_u (t/m ²)	137,531
F_{cd}	1,179		

GS_{taşıma} : 3.00✓

(c)

Şekil 6.8. Yüksekliği 15 m olan ağırlıklı istinat duvarının stabilite kontrolleri
 (a) 15 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının devrilmeye karşı kontrolü
 (b) 15 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarı tasarımının kaymaya karşı kontrolü
 (c) 15 m yüksekliğe sahip ağırlıklı istinat duvarının zeminin taşımaya karşı kontrolü

Çalışmada, konsol istinat duvarı için kohezyon değeri 10 kN/m² olan zeminde yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 adet konsol istinat duvarı tasarımı yapılmıştır. Kohezyon değeri 20 kN/m² olan zeminde yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 adet konsol istinat duvarı tasarımı ve kohezyon değeri 40 kN/m² olan zeminde de yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 adet konsol istinat duvarı tasarımı yapılmıştır. Toplamda 9 adet konsol istinat duvarı tasarımı yapılmıştır.

Çalışmada, ağırlıklı istinat duvarı için kohezyon değeri 10 kN/m² olan zeminde yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 adet ağırlıklı istinat duvarı tasarımı yapılmıştır. Kohezyon değeri 20 kN/m² olan zeminde yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 adet ağırlıklı istinat duvarı tasarımı ve kohezyon değeri 40 kN/m² olan zeminde yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olmak üzere 3 adet ağırlıklı istinat duvarı tasarımı yapılmıştır. Toplamda 9 adet ağırlıklı istinat duvarı tasarımı yapılmıştır.

Çalışmada, toplam 6 farklı kesitte istinat duvarı tasarımı vardır. Bu istinat duvarlarının tasarımı, ekonomiklik açısından minimum stabilite koşullarına göre yapılmıştır. Ancak konsol istinat duvarlarının ağırlıklı istinat duvarlarına göre daha hafif olması ve duvarların temellerinin oturacağı zeminin sağlamlığından dolayı zeminin taşıması stabilite kontrolünde büyük değerler ortaya çıkmıştır.

Tasarımı ve stabilite kontrolleri yapılmış istinat duvarlarının deformasyon verileri, Plaxis 2D paket programıyla yapılan analizler sonucu bulunmuştur. Statik yükler altında stabil olan istinat duvarlarına farklı deprem kuvvetleri etki ettirilmiştir.

7. PLAXIS 2D PROGRAMI ile STATİK ve DİNAMİK ANALİZ

Çalışmada statik analizleri yapılan istinat duvarların dinamik yükler altında yapmış olduğu deformasyonlar bu bölümde verilmiştir. Depremlerin değişmesinden kaynaklanan farklı deformasyonlar ile statik yükler altında oluşan deformasyonların karşılaştırılmaları yapılmıştır.

İstinat duvarlarının deprem süresi boyunca yıkılmaması için limit deformasyon verileri bazı kitaplarda verilmiştir (Huang 2005). Eurocode (1994)'a göre yatay yönde limit deformasyon $300 \cdot a_{max}$ (mm), AASHTO (2002)'ya göre yatay yönde limit deformasyon ise $250 \cdot a_{max}$ (mm) olarak verilmiştir, a_{max} maksimum deprem ivmesidir. . Wu ve Prakash yatay yönde limit deformasyonu $0.02 H$ olarak vermişler ve bu deformasyonunun $0.1 H$ olduğu zaman kırılmanın meydana geleceğini açıklamışlardır, H duvar yüksekliğidir. (1999).

Sürekli temellerdeki oturma miktarları için birçok çalışma vardır. Das sürekli temeller için maksimum oturma miktarını 5-7 cm ve JRA temellerde maksimum farklı oturmaların 10-20 cm arasında olması gerektiğini açıklamışlardır (1996).

İstinat duvarlarının dinamik yükler altında yatay yönde limit deformasyon verileri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. İstinat duvarlarının deprem ivmelerine göre yatay yönde limit deformasyonları

Deprem Adı ve Maksimum İvmesi	Volcano-Hawaii $M_w = 5.0$ $a_{max} = 140 \text{ cm/sn}^2$	Petrolia-California $M_w = 6.0$ $a_{max} = 45 \text{ cm/sn}^2$	Van $M_w = 7.0$ $a_{max} = 180 \text{ cm/sn}^2$
Eurocode	4,2 cm	1,3 cm	5.4 cm
AASHTO	3,5 cm	1.1 cm	4.5 cm

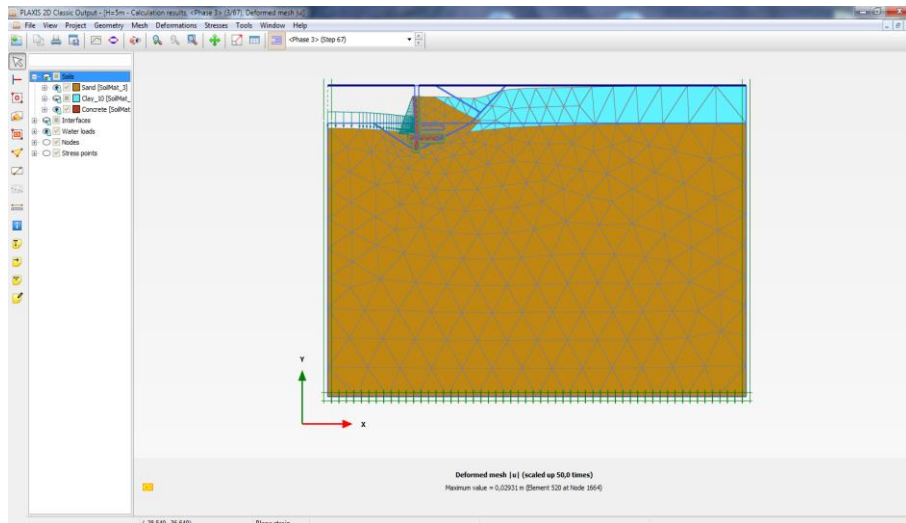
İstinat duvarlarının yüksekliğine bağlı olarak yatay yönde limit ve maksimum deformasyonları Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2. İstinat duvarlarının yüksekliğine göre yatay yönde limit deformasyonları

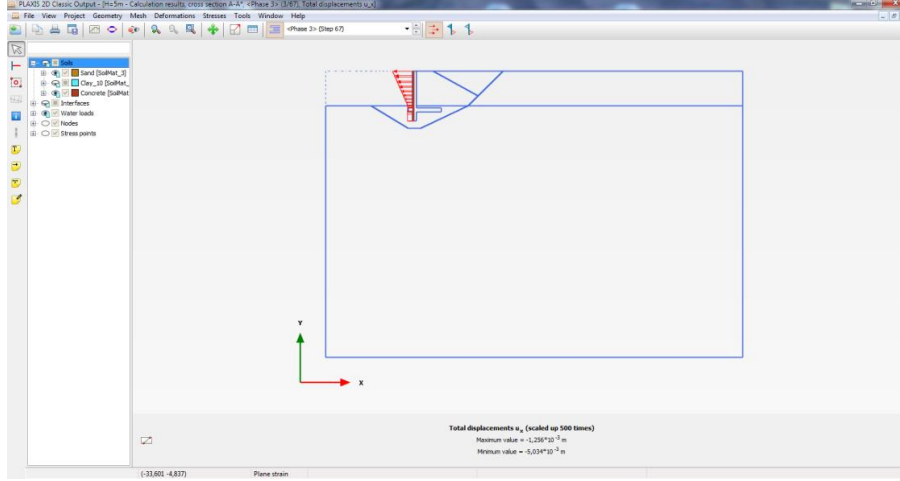
Duvar yüksekliği (m)	Limit Deformasyon $0.02H$ (cm)	Maksimum Deformasyon $0.1H$ (cm)
5.0	10.0	50.0
10.0	20.0	100.0
15.0	30.0	150.0

7.1. Konsol İstinat Duvarlarının Statik Yükler Altındaki Deformasyonlar

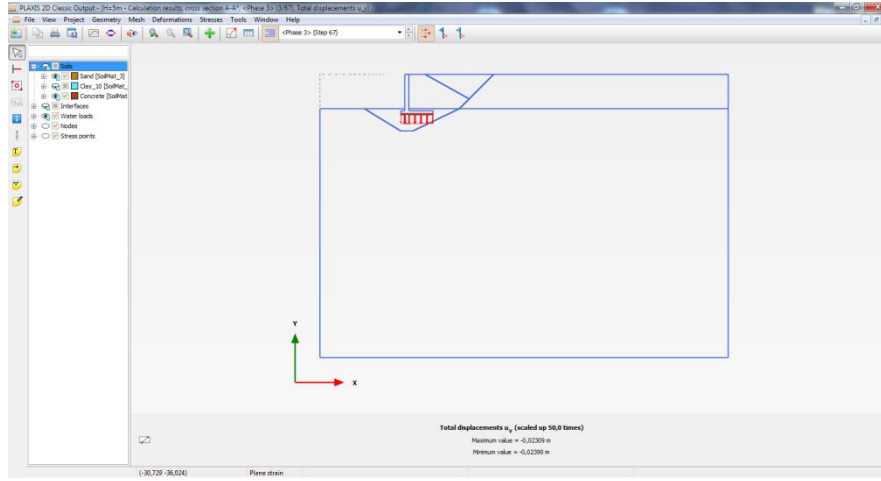
Konsol istinat duvarının Plaxis 2D paket programında modellenmesi ve deformasyon verileri Şekil 7.1’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.1. 5 m yükseklikteki konsol istinat duvarının deformasyonu (a) Konsol istinat duvarının Plaxis 2D paket programı modeli (b) Konsol istinat duvarının yatay yöndeki deformasyonu (c) Konsol istinat duvarının düşey yöndeki deformasyonu

Farklı kohezyon değerlerine sahip kil zeminin 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarında meydana getirdiği deformasyonlar Çizelge 7.3’de verilmiştir.

Çizelge 7.3. 5 m yükseklikteki konsol istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar

Kohezyon (c) kN/m ²	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)
10.0	0,50	2,39
20.0	0,60	2,40
40.0	0,65	2,41

Farklı kohezyon değerlerine sahip kil zeminin 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarında meydana getirdiği deformasyonlar Çizelge 7.4’de verilmiştir.

Çizelge 7.4. 10 m yükseklikteki konsol istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar

Kohezyon (c) kN/m ²	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)
10.0	2,26	5,95
20.0	2,71	5,97
40.0	2,84	5,98

Farklı kohezyon değerlerine sahip kil zeminin 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarında meydana getirdiği deformasyonlar Çizelge 7.5’de verilmiştir.

Çizelge 7.5. 15 m yükseklikteki konsol istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar

Kohezyon (c) kN/m ²	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)
10.0	6,84	12,85
20.0	7,01	12,81
40.0	7,49	12,82

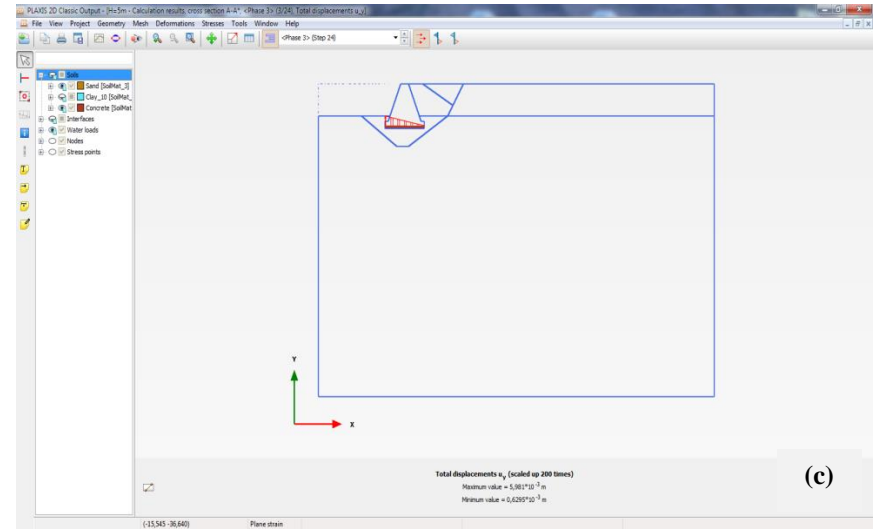
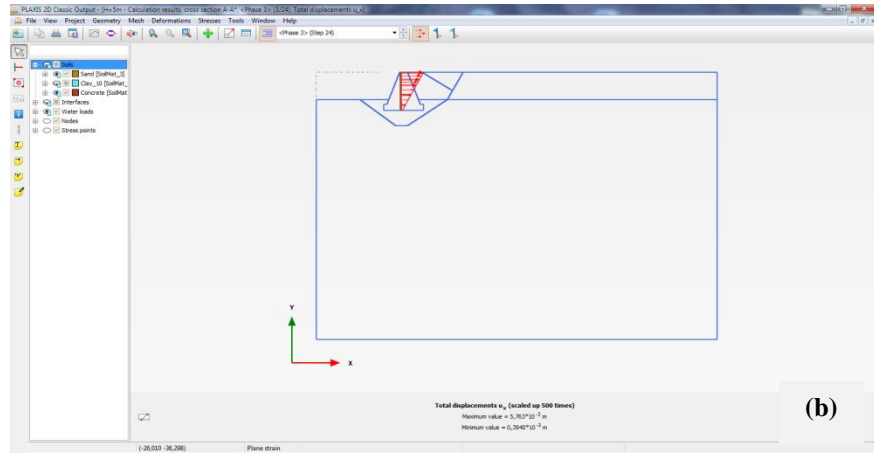
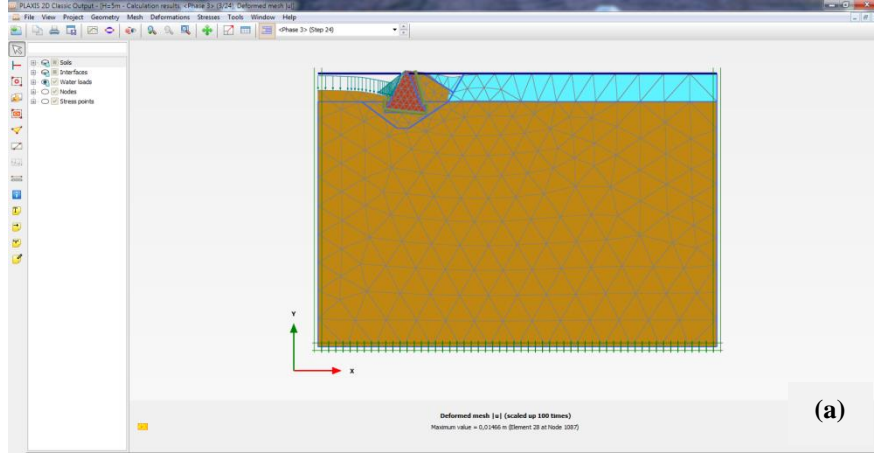
Çizelge 7.3 Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5 verilerine göre konsol istinat duvarının arkasında kalan zeminin kohezyon değerinin farklılığının deformasyonlar üzerinde etkisinin fazla olmadığı görülmüştür. Fakat istinat duvarının yüksekliğinin artması deformasyonlar üzerinde etkili olmuştur.

Yatay yönde duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyonlar göz önüne alındığında yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olan konsol istinat duvarları stabildirler. Deformasyon verilerine göre konsol istinat duvarları yatay yönde güvenlidirler.

Sürekli temellerde limit oturma miktarları dikkate alındığında 5 m ve 10 m yüksekliğindeki istinat duvarları emniyetlidirler. Ancak, 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarlarında düşey yönde fazla deformasyon meydana gelmiştir. Bu şartlarda inşa edilebilmeleri için uygun zemin iyileştirme yöntemlerinden birisi seçilmelidir.

7.2. Ağırlıklı İstinat Duvarlarının Statik Yükler Altındaki Deformasyonlar

Ağırlıklı istinat duvarının Plaxis 2D paket programında modellenmesi ve deformasyon verileri Şekil 7.2'de verilmiştir.



Şekil 7.2. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının deformasyonu (a) Ağırlıklı istinat duvarının Plaxis 2D paket programı modeli (b) Ağırlıklı istinat duvarının yatay yöndeki deformasyonu (c) Ağırlıklı istinat duvarının düşey yöndeki deformasyonu

5 m yüksekliğe sahip tasarımı yapılmış ağırlıklı istinat duvarlarının arkasında kalan kil zeminin farklılığından dolayı meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.6’da verilmiştir.

Çizelge 7.6. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar

Kohezyon (c) kN/m ²	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)
10.0	0,58	0,60
20.0	0,55	0,59
40.0	0,53	0,58

10 m yüksekliğe sahip tasarımı yapılmış ağırlıklı istinat duvarlarının arkasında kalan kil zeminin farklılığından dolayı meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.7’de verilmiştir.

Çizelge 7.7. 10 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar

Kohezyon (c) kN/m ²	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)
10.0	1,34	1,38
20.0	1,26	1,37
40.0	1,22	1,36

15 m yüksekliğe sahip tasarımı yapılmış ağırlıklı istinat duvarlarının arkasında kalan kil zeminin farklılığından dolayı meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Çizelge 7.8. 15 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının arkasında bulunan kil zeminin kohezyon değerlerine bağlı olarak oluşan statik deformasyonlar

Kohezyon (c) kN/m ²	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)
10.0	2,27	1,89
20.0	2,14	1,82
40.0	2,08	1,79

Ağırlıklı istinat duvarları, yatay yönde duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerlerine göre ve düşey yönde sürekli temellerde olması gereken limit deformasyonlar değerlerine göre stabildir ve statik yükler altında emniyetlidirler. Deformasyonlar istinat duvarının arkasında kalan kil zeminin özelliğine bağlı olarak azalma çok önemli bir azalma göstermemektedir. Ağırlıklı istinat duvarları bu statik koşullarda 5 m, 10 m ve 15 m yükseklikte inşa edilebilirler.

7.3. Konsol İstinat Duvarları ve Ağırlıklı İstinat Duvarlarının Statik Yükler Altındaki Deformasyonlarının Karşılaştırılması

Konsol ve ağırlıklı istinat duvarlarının arkasında kalan killi zemin kohezyon değerinin 10 kN/m² tasarımlarında, duvar yüksekliklerine bağlı olarak statik yükler altında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.9'da verilmiştir.

İstinat duvarlarının arkasında kalan killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m² olan durumlarda yapılan analizlere göre ağırlıklı istinat duvarında konsol istinat duvarına göre daha az deformasyon meydana geldiği görülmüştür. Limit deformasyon değerleri dikkate alındığında, istinat duvarının yüksekliğinin 5 m veya 10 m olması istenildiği durumlarda iki tip istinat duvarı güvenli bir şekilde yapılabilir. Ancak, istinat duvarının yüksekliğinin 15 m olması durumunda emniyet açısından ağırlıklı istinat duvarı daha uygundur. Diğer bir uygulama

olarak da temel zemini iyileştirmesi yapılarak konsol istinat duvarı da güvenli bir şekilde yapılabilir.

Çizelge 7.9. Duvarların arkasındaki killi zeminin kohezyonu 10 kN/m^2 olduğunda duvarlarda meydana gelen deformasyonlar

$c = 10.0 \text{ kN/m}^2$			
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5m	Konsol	0,50	2,39
	Ağırlıklı	0,58	0,60
10m	Konsol	2,26	5,95
	Ağırlıklı	1,34	1,38
15m	Konsol	6,84	12,85
	Ağırlıklı	2,27	1,89

Konsol ve ağırlıklı istinat duvarlarının arkasında kalan killi zemin kohezyon değerinin 20 kN/m^2 tasarımlarında, duvar yüksekliklerine bağı olarak statik yükler altında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.10'da verilmiştir.

Çizelge 7.10. Duvarların arkasındaki killi zeminin kohezyonu 20 kN/m^2 olduğunda duvarlarda meydana gelen deformasyonlar

$c = 20.0 \text{ kN/m}^2$			
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	Yatay Deformasyon (ux)(cm)	Düşey Deformasyon (uy)(cm)
5m	Konsol	0,60	2,40
	Ağırlıklı	0,55	0,59
10m	Konsol	2,71	5,97
	Ağırlıklı	1,26	1,37
15m	Konsol	7,01	12,81
	Ağırlıklı	2,14	1,82

İstinat duvarlarının arkasında kalan killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m^2 olan durumlarda yapılan analizlere göre ağırlıklı istinat duvarında konsol istinat duvarına göre daha az deformasyon meydana geldiği görülmüştür. Limit deformasyon değerleri dikkate alındığında, istinat duvarının yüksekliğinin 5 m veya 10 m olması istenildiği durumlarda iki tip istinat duvarı güvenli bir şekilde yapılabilir. Ancak, istinat duvarının yüksekliğinin 15 m olması durumunda emniyet açısından ağırlıklı istinat duvarı daha uygundur. Diğer bir uygulama olarak da temel zemini iyileştirmesi yapılarak konsol istinat duvarı da güvenli bir şekilde yapılabilir.

Konsol ve ağırlıklı istinat duvarlarının arkasında kalan killi zemin kohezyon değerinin 40 kN/m^2 tasarımlarında, duvar yüksekliklerine bağlı olarak statik yükler altında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.11’de verilmiştir.

Çizelge 7.11. Duvarların arkasındaki killi zeminin kohezyonu 40 kN/m^2 olduğunda duvarlarda meydana gelen deformasyonlar

$c = 40.0 \text{ kN/m}^2$			
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5m	Konsol	0,65	2,41
	Ağırlıklı	0,53	0,58
10m	Konsol	2,84	5,98
	Ağırlıklı	1,22	1,36
15m	Konsol	7,49	12,82
	Ağırlıklı	2,08	1,79

İstinat duvarlarının arkasında kalan killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m^2 olan durumlarda yapılan analizlere göre ağırlıklı istinat duvarında konsol istinat duvarına göre daha az deformasyon meydana geldiği görülmüştür. Limit deformasyon değerleri dikkate alındığında, istinat duvarının yüksekliğinin 5 m veya 10 m olması istenildiği durumlarda iki tip istinat duvarı güvenli bir şekilde yapılabilir. Ancak, istinat duvarının yüksekliğinin 15 m olması durumunda emniyet açısından ağırlıklı istinat duvarı daha uygundur. Diğer bir uygulama olarak da temel zemini iyileştirmesi yapılarak konsol istinat duvarı da güvenli bir şekilde yapılabilir.

Bu yorumlar statik yükler için geçerlidir. Fakat dinamik yükler altında istinat duvarlarının deformasyonlarında artma olacaktır. Dolayısıyla istinat duvarlarının yapılacağı bölgeler önemlidir ve deprem bölgelerine yapılacak istinat duvarlarında dinamik yükler mutlaka göz önüne alınmalıdır.

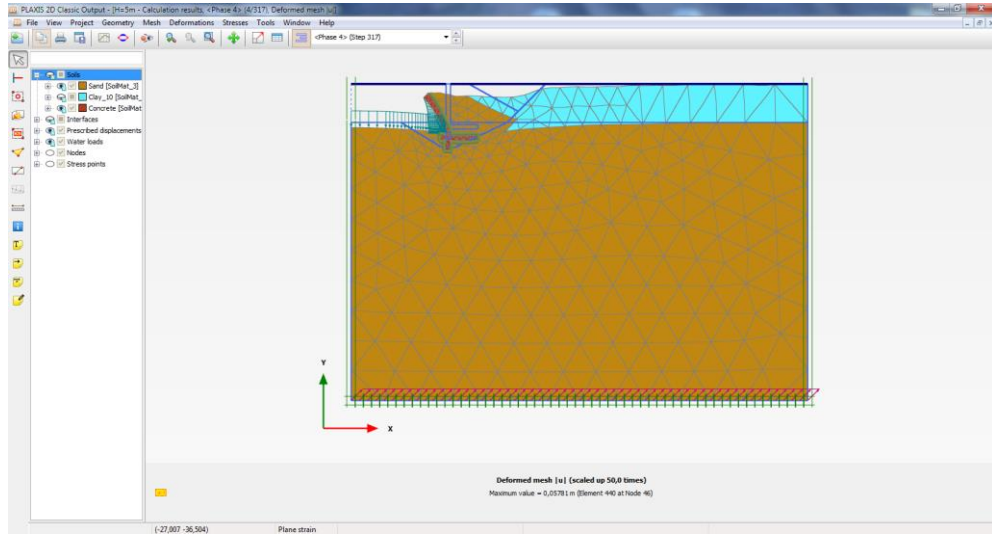
Çizelge 7.12. Duvarların arkasındaki killi zeminin özelliğinin değişiminin deformasyonlara etkisi

		$c = 10.0 \text{ kN/m}^2$		$c = 20.0 \text{ kN/m}^2$		$c = 40.0 \text{ kN/m}^2$	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5m	Konsol	0,50	2,39	0,60	2,40	0,65	2,41
	Ağırlıklı	0,58	0,60	0,55	0,59	0,53	0,58
10m	Konsol	2,26	5,95	2,71	5,97	2,84	5,98
	Ağırlıklı	1,34	1,38	1,26	1,37	1,22	1,36
15m	Konsol	6,84	12,85	7,01	12,81	7,49	12,82
	Ağırlıklı	2,27	1,89	2,14	1,82	2,08	1,79

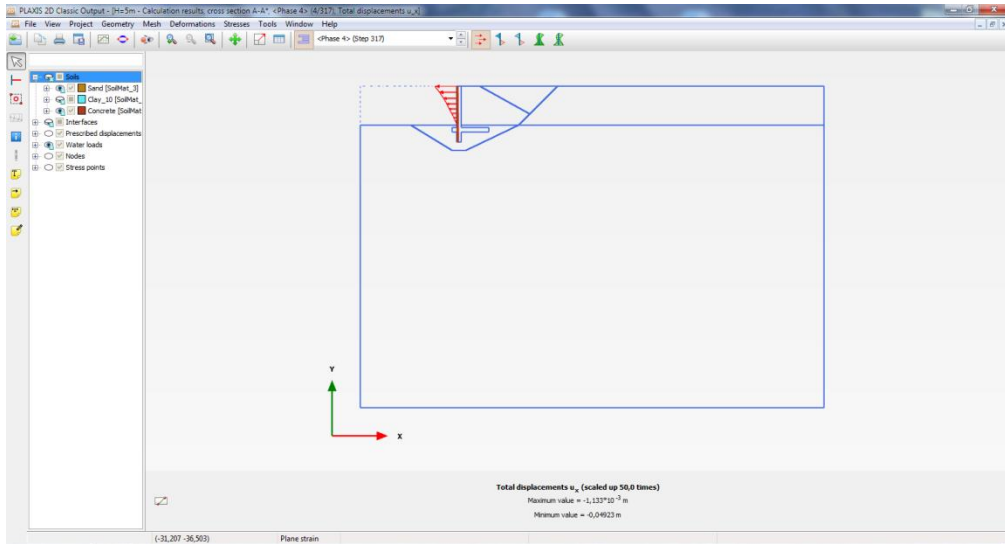
7.4 Dinamik Yükler Altında İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar

7.4.1. $M_w=5.0$ Büyüklüğündeki Depremde Konsol İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar

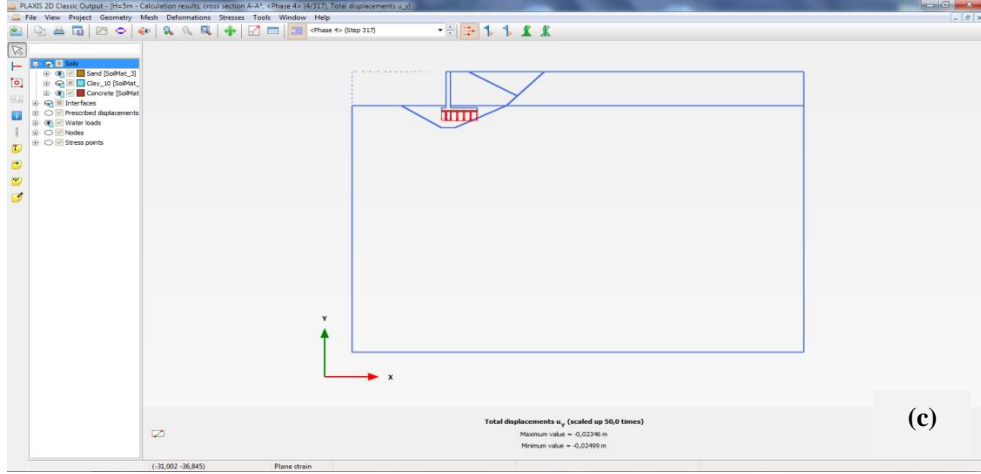
Konsol istinat duvarının Plaxis 2D paket programında modellenmesi ve dinamik yük altında deformasyon verileri Şekil 7.3’de verilmiştir.



(a)



(b)



Şekil 7.3. 5 m yükseklikteki konsol istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan deformasyonları (a) Konsol istinat duvarının Plaxis 2D paket programı dinamik yükler altındaki modeli (b) Konsol istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan yatay yöndeki deformasyonu (c) Konsol istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan düşey yöndeki deformasyonu

Volcano-Hawaii, ABD depreminden dolayı konsol istinat duvarlarında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.13’de verilmiştir.

Çizelge 7.13. Konsol istinat duvarlarında Volcano-Hawaii, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar

$M_w=5.0$			
Yükseklik (m)	Kohezyon (c) kN/m^2	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5.0	10.0	2,63	3,09
	20.0	2,51	3,04
	40.0	2,10	3,03
10.0	10.0	5,06	6,09
	20.0	6,47	6,15
	40.0	6,35	6,13
15.0	10.0	11,94	12,81
	20.0	12,89	12,71
	40.0	12,77	12,71

Konsol istinat duvarlarının, Volcano-Hawaii, ABD depremi gibi deprem büyüklüğü 5.0 civarında olan deprem yükleri altında yaptığı deformasyonlar Çizelge 7.13’de verilmiştir. Deprem ivmesine bağlı limit deformasyon verilerine göre yatay yönde yüksekliği 5 m olan konsol istinat duvarları 5.0 büyüklüğünde deprem riski olan bölgelere güvenli olarak inşa edilmesi uygun iken 10 m ve 15 m yüksekliğe sahip duvarlarda limit deformasyonlar aşılmıştır. Düşey yönde ise sürekli temellerin limit deformasyon değerine göre ise 5 m ve 10 m yüksekliğindeki duvarlar stabil iken 15 m konsol istinat duvarı stabil değildir.

7.4.2. $M_w=6.0$ Büyüklüğündeki Depremde Konsol İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar

Petrolia-California, ABD depreminden dolayı konsol istinat duvarlarında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.14’de verilmiştir.

Çizelge 7.14. Konsol istinat duvarlarında Petrolia-California, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar

$M_w=6.0$			
Yükseklik (m)	Kohezyon (c) kN/m^2	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5.0	10.0	4,92	2,50
	20.0	5,29	2,54
	40.0	4,64	2,48
10.0	10.0	6,83	6,14
	20.0	8,57	6,16
	40.0	8,45	6,17
15.0	10.0	12,34	12,88
	20.0	13,04	12,77
	40.0	13,36	12,76

Konsol istinat duvarlarının, Petrolia-California, ABD depremi gibi deprem büyüklüğü 6.0 civarında olan deprem yükleri altında deformasyonları Çizelge 7.14’de verilmiştir. İstinat duvarı arkasında kalan kil zeminin değişimi deformasyonlara etkisi az olduğu saptanmıştır. Deprem ivmesine bağlı limit deformasyon verilerine göre yüksekliği 5 m, 10 m ve 15 m olan duvarlar yatay yönde güvenli değillerdir. Düşey yönde ise, sürekli temellerin limit oturma değerleri için yüksekliği 5 m ve 10 m olan konsol istinat duvarları stabil iken 15 m yüksekliğindeki konsol istinat duvarı ise limit değerleri aşmıştır.

7.4.3. $M_w=7.0$ Büyüklüğündeki Depremde Konsol İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar

Van, Türkiye depreminden dolayı konsol istinat duvarlarında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.15’de verilmiştir.

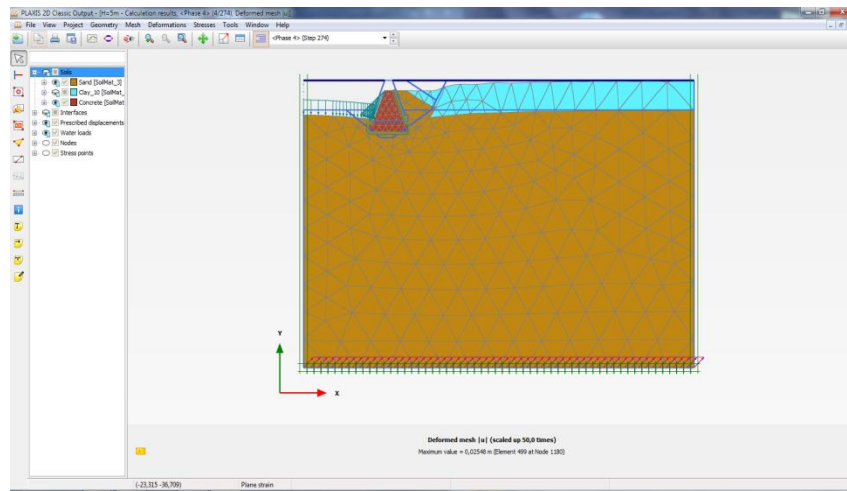
Çizelge 7.15. Konsol istinat duvarlarında Van, Türkiye depreminden dolayı oluşan deformasyonlar

$M_w=7.0$			
Yükseklik (m)	Kohezyon (c) kN/m^2	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5.0	10.0	24,07	9,95
	20.0	22,09	10,00
	40.0	23,53	10,05
10.0	10.0	29,25	12,43
	20.0	28,81	12,53
	40.0	28,23	12,59
15.0	10.0	30,54	19,32
	20.0	30,93	19,30
	40.0	30,36	19,30

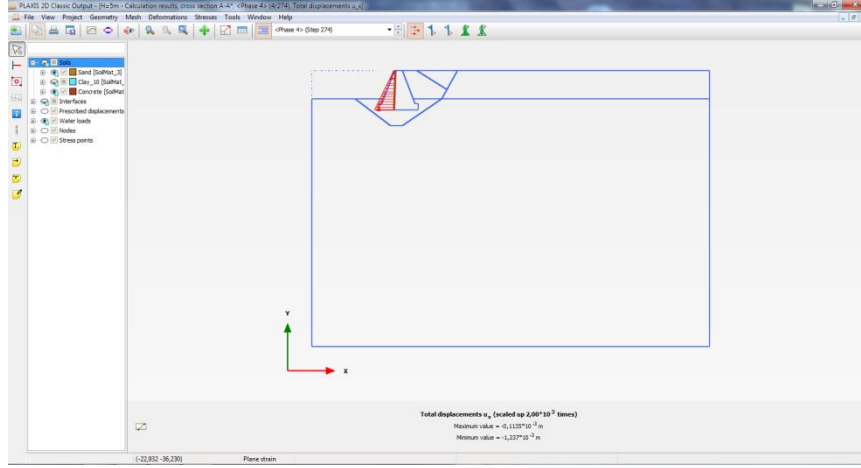
Van, Türkiye depremi gibi deprem büyüklüğü 7.0 civarında deprem riski olan bölgelerde konsol istinat duvarı tasarımlarında çok dikkat edilmelidir. Depremden dolayı istinat duvarının yüksekliğine bağlı olarak meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.15’de verilmiştir. Bu verilere göre istinat duvarlarında oluşan deformasyon değerleri yatay ve düşey yönde limit deformasyon değerlerinden büyüktürler. Bu bölgelere yapılması düşünülen istinat duvarlarının tasarımında Das’ın (2007) belirtmiş olduğu minimum tasarım koşulları yetersiz kalabilir. Bu bölgelere yapılacak olan konsol istinat duvarlarının kesitleri büyütülerek güvenlik sayısı değerleri yükseltilmelidir. Sonuç olarak, 7.0 büyüklüğünde deprem olabilecek bölgelere 5 m, 10 m ve 15 m yüksekliklere sahip konsol istinat duvarları minimum tasarım koşullarına göre tasarlanmamalıdır.

7.4.4. $M_w=5.0$ Büyüklüğündeki Depremde Ağırlık İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar

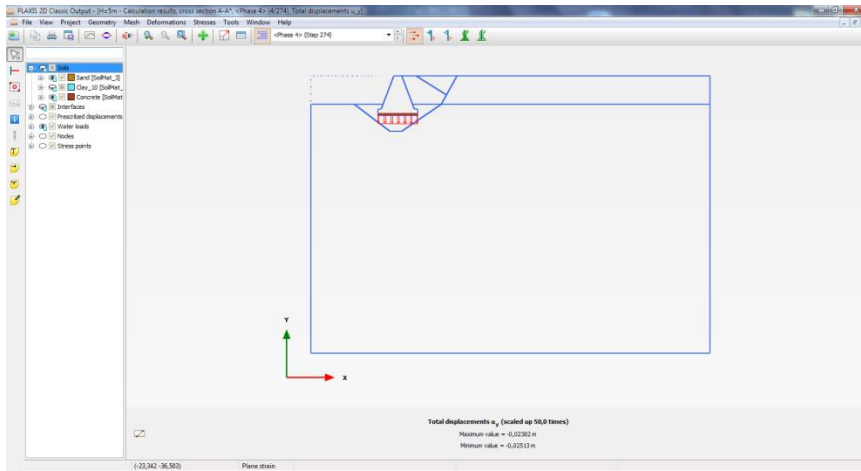
Ağırlıklı istinat duvarının Plaxis 2D paket programında modellenmesi ve dinamik yük altında deformasyon verileri Şekil 7.4’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 7.4. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan deformasyonları (a) Ağırlıklı istinat duvarının Plaxis 2D paket programı dinamik yükler altındaki modeli (b) Ağırlıklı istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan yatay yöndeki deformasyonu (c) Ağırlıklı istinat duvarının dinamik yüklerden dolayı oluşan düşey yöndeki deformasyonu

Volcano-Hawaii, ABD depreminden dolayı ağırlıklı istinat duvarlarında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.16’da verilmiştir.

Çizelge 7.16. Ağırlıklı istinat duvarlarında Volcano-Hawaii, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar

$M_w=5.0$			
Yükseklik (m)	Kohezyon (c) kN/m^2	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5.0	10.0	0,70	2,51
	20.0	0.65	2,54
	40.0	0.65	2,55
10.0	10.0	1.63	6,77
	20.0	1,37	6,80
	40.0	1,56	6,82
15.0	10.0	2,69	14,18
	20.0	2,67	14,14
	40.0	2,42	14,11

Ağırlıklı istinat duvarlarının, Volcano-Hawaii, ABD depremi gibi deprem büyüklüğü 5.0 civarında olan deprem yükleri altında yaptığı deformasyonlar Çizelge 7.16'de verilmiştir. Deprem ivmesine bağlı limit deformasyon verilerine göre yatay yönde yüksekliği 5 m, 10m ve 15 m olan ağırlıklı istinat duvarları 5.0 büyüklüğünde deprem riski olan bölgelere güvenli olarak inşa edilmesi uygundur. Düşey yönde ise sürekli temellerin limit deformasyon değerine göre ise 5 m ve 10 m yüksekliğindeki duvarlar stabil iken 15 m konsol istinat duvarı stabil değildir. Duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre de ağırlıklı istinat duvarları yatay yönde güvenlidirler.

7.4.5. $M_w=6.0$ Büyüklüğündeki Depremde Ağırlık İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar

Petrolia-California, ABD depreminden dolayı ağırlıklı istinat duvarlarında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.17’de verilmiştir.

Çizelge 7.17. Ağırlıklı istinat duvarlarında Petrolia-California, ABD depreminden dolayı oluşan deformasyonlar

$M_w=6.0$			
Yükseklik (m)	Kohezyon (c) kN/m^2	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5.0	10.0	0,64	3,03
	20.0	0,66	3,00
	40.0	0,63	3,00
10.0	10.0	1,60	7,12
	20.0	1,62	6,80
	40.0	1,47	7,05
15.0	10.0	2,82	14,06
	20.0	2,70	14,06
	40.0	2,60	14,02

Ağırlıklı istinat duvarlarında Petrolia-California, ABD depreminde olduğu gibi büyüklüğü 6.0 olan depremlerde olası deformasyonlar çizelge 7.17’de verilmiştir. Deprem ivmesine bağlı limit deformasyon verilerine göre yatay yönde yüksekliği 5 m olan konsol istinat duvarı yatayda güvenlidir ancak 10 m ve 15 m yükseklikteki istinat duvarları güvenli değildir. Düşey yönde ise sürekli temellerin limit deformasyon değerine göre 5m ve 10 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarları güvenli iken 15 m yükseklikteki istinat duvarı güvenlidir.

7.4.6. $M_w=7.0$ Büyüklüğündeki Depremde Ağırlık İstinat Duvarlarında Oluşan Deformasyonlar

Van, Türkiye depreminden dolayı ağırlıklı istinat duvarlarında meydana gelen deformasyonlar Çizelge 7.18’de verilmiştir.

Çizelge 7.18. Ağırlıklı istinat duvarlarında Van, Türkiye depreminden dolayı oluşan deformasyonlar

$M_w=7.0$			
Yükseklik (m)	Kohezyon (c) kN/m^2	Yatay Deformasyon (u_x)(cm)	Düşey Deformasyon (u_y)(cm)
5.0	10.0	1,47	9,51
	20.0	1,38	9,55
	40.0	1,38	9,58
10.0	10.0	3,14	13,01
	20.0	3,17	13,02
	40.0	2,07	12,95
15.0	10.0	5,19	21,91
	20.0	5,02	22,03
	40.0	4,83	21,91

Ağırlıklı istinat duvarlarının yüksekliklerine bağlı olarak Van, Türkiye depreminden kaynaklanan deformasyonlar Çizelge 7.18’de verilmiştir. Yatay yönde deprem ivmesine bağlı limit değerleri ve duvar yüksekliğine bağlı limit değerler dikkate alındığında 5 m, 10 m ve 15 m yüksekliğindeki ağırlıklı istinat duvarları güvenlidirler. Düşey yönde ise sürekli temellerin limit deformasyon değeri aşılmıştır ve ağırlıklı istinat duvarları güvenli değildirler. Bu bölgelere yapılmaları durumunda temel zemini iyileştirmesi gerekmektedir.

7.5. Depremlerin Farklı Tip İstinat Duvarlarına Etkisinin Karşılaştırılması

7.5.1. İstinat Duvarlarının Arkasında Kalan Killi Zeminin Kohezyon Değeri 10 kN/m^2 iken Depremlerin Meydana Getirdiği Deformasyonlar

5 m yüksekliğe sahip konsol ve ağırlıklı istinat duvarlarının farklı depremler altındaki deformasyonları Çizelge 7.19’da verilmiştir. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının deprem yükleri altında davranışı Çizelge 7.20’de ve 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının deprem yükleri altında vermiş oldukları deformasyonları Çizelge 7.21’de verilmiştir.

Çizelge 7.19. 5 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m^2)	İstinat Duvarı Tipi	u_x (cm)	u_y (cm)
$M_w=5.0$	5.0	10.0	Konsol	2,63	3,09
			Ağırlıklı	0,70	2,51
$M_w=6.0$			Konsol	4,92	2,50
			Ağırlıklı	0,64	3,03
$M_w=7.0$			Konsol	24,07	9,95
			Ağırlıklı	1,47	9,51

Çizelge 7.20. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m^2)	İstinat Duvarı Tipi	u_x (cm)	u_y (cm)
$M_w=5.0$	10.0	10.0	Konsol	5,06	6,09
			Ağırlıklı	1,63	6,77
$M_w=6.0$			Konsol	6,83	6,14
			Ağırlıklı	1,60	7,12
$M_w=7.0$			Konsol	29,25	12,43
			Ağırlıklı	3,14	13,01

Çizelge 7.21. 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m^2)	İstinat Duvarı Tipi	u_x (cm)	u_y (cm)
$M_w=5.0$	15.0	10.0	Konsol	11,94	12,81
			Ağırlıklı	2,69	14,18
$M_w=6.0$			Konsol	12,34	12,88
			Ağırlıklı	2,82	14,06
$M_w=7.0$			Konsol	30,54	19,32
			Ağırlıklı	5,19	21,91

Çizelge 7.22. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri $c=10 \text{ kN/m}^2$ olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar

c=10 kN/m ²							
		M _w =5.0		M _w =6.0		M _w =7.0	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)
5.0	Konsol	2,63	3,09	4,92	2,50	24,07	9,95
	Ağırlıklı	0,70	2,51	0,64	3,03	1,47	9,51
10.0	Konsol	5,06	6,09	6,83	6,14	29,25	12,43
	Ağırlıklı	1,63	6,77	1,60	7,12	3,14	13,01
15.0	Konsol	11,94	12,81	12,34	12,88	30,54	19,32
	Ağırlıklı	2,69	14,18	2,82	14,06	5,19	21,91

Farklı yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasında bulunan killi zeminin kohezyon değeri 10 kN/m^2 olduğu durumda, duvarlara etki ettirilen deprem yüklerinin deformasyon verileri Çizelge 7.22’de birlikte verilmiştir.

7.5.2. İstinat Duvarlarının Arkasında Kalan Killi Zeminin Kohezyon Değeri 20 kN/m² iken Depremlerin Meydana Getirdiği Deformasyonlar

İstinat duvarlarının arkasında kalan killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m² olduğunda, 5 m yüksekliğe sahip konsol ve ağırlıklı istinat duvarlarının farklı depremler altındaki deformasyonları Çizelge 7.23’de verilmiştir. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının deprem yükleri altında davranışı Çizelge 7.24’de ve 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının deprem yükleri altında vermiş oldukları deformasyonları Çizelge 7.25’de verilmiştir.

Çizelge 7.23. 5 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m ²)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)
M _w =5.0	5.0	20.0	Konsol	2,51	3,04
			Ağırlık	0,65	2,54
M _w =6.0			Konsol	5,29	2,54
			Ağırlık	0,66	3,00
M _w =7.0			Konsol	22,09	10,00
			Ağırlık	1,38	9,55

Çizelge 7.24. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m^2)	İstinat Duvarı Tipi	u_x (cm)	u_y (cm)
$M_w=5.0$	10.0	20.0	Konsol	6,47	6,15
			Ağırlık	1,37	6,80
$M_w=6.0$			Konsol	8,57	6,16
			Ağırlık	1,62	6,80
$M_w=7.0$			Konsol	28,81	12,53
			Ağırlık	3,17	13,02

Çizelge 7.25. 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m^2)	İstinat Duvarı Tipi	u_x (cm)	u_y (cm)
$M_w=5.0$	15.0	20.0	Konsol	12,89	12,71
			Ağırlık	2,67	14,14
$M_w=6.0$			Konsol	13,04	12,77
			Ağırlık	2,70	14,06
$M_w=7.0$			Konsol	30,93	19,30
			Ağırlık	5,02	22,03

Çizelge 7.26. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri $c=20 \text{ kN/m}^2$ olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar

c=20 kN/m ²							
		M _w =5.0		M _w =6.0		M _w =7.0	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)
5.0	Konsol	2,51	3,04	5,29	2,54	22,09	10,00
	Ağırlıklı	0,65	2,54	0,66	3,00	1,38	9,55
10.0	Konsol	6,47	6,15	8,57	6,16	28,81	12,53
	Ağırlıklı	1,37	6,80	1,62	6,80	3,17	13,02
15.0	Konsol	12,89	12,71	13,04	12,77	30,93	19,30
	Ağırlıklı	2,67	14,14	2,70	14,06	5,02	22,03

Farklı yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasında bulunan killi zeminin kohezyon değeri 20 kN/m^2 olduğu durumda, duvarlara etki ettirilen deprem yüklerinin deformasyon verileri Çizelge 7.26’da birlikte verilmiştir.

7.5.3. İstinat Duvarlarının Arkasında Kalan Killi Zeminin Kohezyon Değeri 40 kN/m² iken Depremlerin Meydana Getirdiği Deformasyonlar

İstinat duvarlarının arkasında kalan killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m² olduğunda, 5 m yüksekliğe sahip konsol ve ağırlıklı istinat duvarlarının farklı depremler altındaki deformasyonları Çizelge 7.27’de verilmiştir. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının deprem yükleri altında davranışı Çizelge 7.28’de ve 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının deprem yükleri altında vermiş oldukları deformasyonları Çizelge 7.29’da verilmiştir.

Çizelge 7.27. 5 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m² olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m ²)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)
M _w =5.0	5.0	40.0	Konsol	2,10	3,03
			Ağırlıklı	0,65	2,55
M _w =6.0			Konsol	4,64	2,48
			Ağırlıklı	0,63	3,00
M _w =7.0			Konsol	23,53	10,05
			Ağırlıklı	1,38	9,58

Çizelge 7.28. 10 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m ²)	İstinat Duvarı Tipi	u_x (cm)	u_y (cm)
$M_w=5.0$	10.0	40.0	Konsol	6,35	6,13
			Ağırlık	1,56	6,82
$M_w=6.0$			Konsol	8,45	6,17
			Ağırlık	1,47	7,05
$M_w=7.0$			Konsol	28,23	12,59
			Ağırlık	2,07	12,95

Çizelge 7.29. 15 m yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasındaki killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m^2 olduğu durumda duvarların farklı depremler altında deformasyonları

Deprem	H (m)	c (kN/m ²)	İstinat Duvarı Tipi	u_x (cm)	u_y (cm)
$M_w=5.0$	15.0	40.0	Konsol	12,77	12,71
			Ağırlık	2,42	14,11
$M_w=6.0$			Konsol	13,36	12,76
			Ağırlık	2,60	14,02
$M_w=7.0$			Konsol	30,36	19,30
			Ağırlık	4,83	21,91

Çizelge 7.30. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri $c=40 \text{ kN/m}^2$ olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar

c=40 kN/m ²							
		M _w =5.0		M _w =6.0		M _w =7.0	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)
5.0	Konsol	2,10	3,03	4,64	2,48	23,53	10,05
	Ağırlıklı	0,65	2,55	0,63	3,00	1,38	9,58
10.0	Konsol	6,35	6,13	8,45	6,17	28,23	12,59
	Ağırlıklı	1,56	6,82	1,47	7,05	2,07	12,95
15.0	Konsol	12,77	12,71	13,36	12,76	30,36	19,30
	Ağırlıklı	2,42	14,11	2,60	14,02	4,83	21,91

Farklı yüksekliğe sahip istinat duvarlarının arkasında bulunan killi zeminin kohezyon değeri 40 kN/m^2 olduğu durumda, duvarlara etki ettirilen deprem yüklerinin deformasyon verileri Çizelge 7.30'da birlikte verilmiştir.

8. ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Yapılacağı bölgenin şartları belirlenmiş olan istinat duvarları ağırlıklı ve konsol istinat duvarları olarak minimum tasarım koşullarına göre dizaynları yapılmıştır. Analitik stabilite kontrolleri yapılan istinat duvarlarının Plaxis 2D paket programıyla statik yükler altında deformasyonları kontrol edilmiştir.

Statik yükler altında her iki istinat duvarının arkasında kalan killi zeminin özelliğine bağlı deformasyonları Çizelge 8.1’de verilmiştir. Bu verilere göre;

İstinat duvarlarının arkasında kalan kil zeminin kohezyon değerinin değişimi deformasyonlarda çok etkili olmamıştır.

5 m yüksekliğindeki konsol ve ağırlıklı istinat duvarları, yatay yönde duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine (Çizelge 7.2) göre ve düşey yönde sürekli temellerin limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Statik yükler altında emniyetli şekilde inşa edilebilirler.

10 m yüksekliğindeki konsol ve ağırlıklı istinat duvarları, yatay yönde duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine (Çizelge 7.2) göre ve düşey yönde sürekli temellerin limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Statik yükler altında emniyetli şekilde inşa edilebilirler.

15 m yüksekliğindeki konsol ve ağırlıklı istinat duvarları, yatay yönde duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine (Çizelge 7.2) göre emniyetlidir. Ancak, düşey yönde sürekli temellerin limit deformasyon değerine göre konsol istinat duvarları emniyetli değildir. Düşey yönde ağırlıklı istinat duvarlarında konsol istinat duvarlarına göre daha az deformasyon meydana gelmiş ve limit değerlerin altında kalmıştır. 15 m yüksekliğindeki ağırlıklı istinat duvarları konsol istinat duvarlarına göre daha emniyetlidir. Bu şartlar altında konsol istinat duvarlarının inşa edilebilmesi için temel zemini iyileştirilmesi gerekmektedir.

Çizelge 8.1. Statik yükler altında duvarların arkasındaki killi zeminin özelliğinin değişiminin deformasyonlara etkisi

		c = 10.0 kN/m ²		c = 20.0 kN/m ²		c = 40.0 kN/m ²	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)	Yatay Deformasyon (u _x)(cm)	Düşey Deformasyon (u _y)(cm)
5m	Konsol	0,50	2,39	0,60	2,40	0,65	2,41
	Ağırlıklı	0,58	0,60	0,55	0,59	0,53	0,58
10m	Konsol	2,26	5,95	2,71	5,97	2,84	5,98
	Ağırlıklı	1,34	1,38	1,26	1,37	1,22	1,36
15m	Konsol	6,84	12,85	7,01	12,81	7,49	12,82
	Ağırlıklı	2,27	1,89	2,14	1,82	2,08	1,79

Dinamik yükler altında her iki istinat duvarının arkasında kalan killi zeminin özelliğine bağlı deformasyonları Çizelge 8.2, Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4'de verilmiştir. Bu verilere göre;

İstinat duvarlarının arkasında kalan kil zeminin kohezyon değerinin değişimi deformasyonlarda çok etkili olmamıştır.

5.0 büyüklüğünde deprem olma riski olan bölgelerde, 5 m yüksekliğe sahip konsol ve ağırlıklı istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine (Çizelge 7.1) göre ve duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine (Çizelge 7.2) göre emniyetlidir. Düşey yönde, 5 m yüksekliğe sahip konsol ve ağırlıklı istinat duvarları sürekli temel deformasyon limit değerine göre emniyetlidir. 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Ancak, 10 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey yönde ise, 10 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 15 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarı ise deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey yönde ise, 15 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir.

6.0 büyüklüğünde deprem olma riski olan bölgelerde, 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey yönde ise, 5 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 10 m yüksekliğe sahip ağırlıklı ve konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey

yönde ise, 10 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 15 m yüksekliğe sahip ağırlıklı ve konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey yönde, 15 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir.

7.0 büyüklüğünde deprem olma riski olan bölgelerde, 5 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 5 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey yönde ise, 5 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. 10 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 10 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey yönde ise, 10 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. 15 m yüksekliğe sahip konsol istinat duvarları yatay yönde deprem ivme limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir. Ancak, duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. 15 m yükseklikteki ağırlıklı istinat duvarı limit deformasyon değerine göre emniyetlidir. Düşey yönde ise, 15 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları sürekli temel limit deformasyon değerine göre emniyetli değildir.

Sonuç olarak yatay yönde duvar yüksekliğine bağlı limit deformasyon değerleri ile düşey yönde sürekli temel limit deformasyon değerleri dikkate alındığında :

- 5 m ve 10 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları 5,0 ve 6,0 büyüklüğünde deprem riski olan bölgelere emniyetli şekilde inşa edilebilirler.

- 5 m ve 10 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları 7,0 büyüklüğünde deprem riski olan bölgelere düşey yönde limit deformasyon değerleri aşıldığı için emniyetli şekilde inşa edilemezler.
- 15 m yükseklikteki ağırlıklı ve konsol istinat duvarları 5,0, 6,0 ve 7,0 büyüklüğünde deprem riski olan bölgelere düşey yönde limit deformasyon değerleri aşıldığından inşa edilemezler.

Çizelge 8.2. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri $c=10 \text{ kN/m}^2$ olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar

c=10 kN/m ²							
		M _w =5.0		M _w =6.0		M _w =7.0	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)
5.0	Konsol	2,63	3,09	4,92	2,50	24,07	9,95
	Ağırlıklı	0,70	2,51	0,64	3,03	1,47	9,51
10.0	Konsol	5,06	6,09	6,83	6,14	29,25	12,43
	Ağırlıklı	1,63	6,77	1,60	7,12	3,14	13,01
15.0	Konsol	11,94	12,81	12,34	12,88	30,54	19,32
	Ağırlıklı	2,69	14,18	2,82	14,06	5,19	21,91

Çizelge 8.3. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri $c=20 \text{ kN/m}^2$ olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar

c=20 kN/m ²							
		M _w =5.0		M _w =6.0		M _w =7.0	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)
5.0	Konsol	2,51	3,04	5,29	2,54	22,09	10,00
	Ağırlıklı	0,65	2,54	0,66	3,00	1,38	9,55
10.0	Konsol	6,47	6,15	8,57	6,16	28,81	12,53
	Ağırlıklı	1,37	6,80	1,62	6,80	3,17	13,02
15.0	Konsol	12,89	12,71	13,04	12,77	30,93	19,30
	Ağırlıklı	2,67	14,14	2,70	14,06	5,02	22,03

Çizelge 8.4. İstinat duvarları arkasındaki killi zeminin değeri $c=40 \text{ kN/m}^2$ olduğu durumda depremlerin yapmış olduğu deformasyonlar

c=40 kN/m ²							
		M _w =5.0		M _w =6.0		M _w =7.0	
Yükseklik (m)	İstinat Duvarı Tipi	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)
5.0	Konsol	2,10	3,03	4,64	2,48	23,53	10,05
	Ağırlıklı	0,65	2,55	0,63	3,00	1,38	9,58
10.0	Konsol	6,35	6,13	8,45	6,17	28,23	12,59
	Ağırlıklı	1,56	6,82	1,47	7,05	2,07	12,95
15.0	Konsol	12,77	12,71	13,36	12,76	30,36	19,30
	Ağırlıklı	2,42	14,11	2,60	14,02	4,83	21,91

KAYNAKLAR

- American Association of State Highway and Transportation Officials, Standard Specifications for Highway Bridges, (AASHTO) Sections 3 and 7, 2002.
- Anonim, AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi, 2015.
http://www.deprem.gov.tr/sarbis/images/TURKIYE_1900_20XX_M58.png
- Anonim, AFAD Türkiye Deprem Veri Merkezi, 2015.
<http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Shared/DepremHaritalari.aspx>
- Çetin, Z., Onur, M.İ., Tuncan, M. ve Tuncan, A., “Derin Kazı Destek Sistemlerinde Yanal Deformasyonun Belirlenmesi”, *Temeller, Derin Kazılar, Şevler, Heyelanlar*, (Ed: Çinicioğlu, Ö.), Isparta, 14, 2-7, 2012.
- Das, B.M., *Principles of Geotechnical Engineering*, Global Engineering, Stamford, United States of America, 2006.
- Das, B.M., *Principles of Foundation Engineering*, Global engineering, Stamford, United States of America, 2007.
- Dewoolkar, M.M., Ko, H.-Y. ve Pak, R.Y.S., “Experimental Developments for Studying Static and Seismic Behavior of Retaining Walls with Liquefiable Backfills,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 19, 583-593, 2000.
- Düzgün, M., “İstinad Yapıları,” TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, İzmir, 1989.
- Epsiseli, S.E., *İstinat Duvarlarının Bilgisayar Yardımı ile Projelendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 1996.
- Ertugrul, O.L. ve Trandafir, A.C., “Lateral Earth Pressure on Flexible Cantilever Retaining Walls with Deformable Geofom Inclusions,” *Engineering Geology*, 158, 23-33, 2013.
- EUROCODE 8 (European pre-standart), Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 5: Foundations Retaining Structures and Geotechnical Aspects, The Commission of the European Communities, 1994.
- Evangelista, A., Santolo, A.S. ve Simonelli, A.L., “Evaluation of Pseudostatic Active Earth Pressure Coefficient of Centilever Retaining Walls,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 1119-1128, 2010.

- Genç, D., “Zemin Mekaniği ve Temeller,” TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 2008.
- Güliden, N., *İstinat Duvarlarının Farklı Yükleme ve Koşullar Altında Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.
- Gürsoy, Ş., *Deprem Bölgelerindeki Betonarme İstinat Duvarlarının Analitik ve Sayısal Yöntemleri Kullanan Bilgisayar Yardımıyla Projelendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
- Harr, M.E., *Foundations of Theoretical Soil Mechanics*, McGraw Hill Book Co., Inc., New York, N.Y., 1966.
- Huang, C.C., “Seismic displacement of Soil Retaining Walls Situated on Slope,” *J.Geotechn. Geo-Environ. Eng.*, ASCE 31 (9), 1108-1117, 2005.
- Huang, C.C. ve Luo, W.-M., “Behavior of Soil Retaining Walls on Deformable Foundation,” *Engineering Geology*, 105, 1-10, 2009.
- Ibrahim, K.M.H.I., “Seismic Displacement of Gravity Retaining Walls,” *Housing and Building National Research Center*, xxx, xxx-xxx, 2014.
- JRA, *Seismic Design Specifications and Construction of Highway Bridges*, Japan Road Association, 1996.
- Kim, S.-R., Kwon, O.-S. ve Kim, M.M., “Evaluation of Force Components Acting on Gravity Type Quay Walls During Earthquakes,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24, 853-866, 2004.
- Li, X., Wu, Y. ve He, S., “Seismic Stability Analysis of Gravity Retaining Walls,” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 875-878, 2010.
- Moghadam, A.M., Ghalandarzadeh, A., Towhata, I., Moradi, M., Ebrahimian, B. ve Hajialikhani, P., “Studying The Effects of Deformable Panels on Seismic Displacement of Gravity Quay Walls,” *Ocean Engineering*, 36, 1129-1148, 2009.
- Önalp, A., “İnşaat Mühendisleri Geoteknik Bilgisi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Trabzon, 2, 730-778, 1992.
- Özaydın, A., *Arkasında Geotekstil İle Güçlendirilmiş Donatılı Kum Zemin Bulunan İstinat Duvarı Davranışının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2010.

- Santolo, A.S. ve Evangelista, A., "Dynamic Active Earth Pressure on Cantilever Retaining Walls," *Computer and Geotechnics*, 38, 1041-1051, 2011.
- Tang, Y. ve Yeh, C.-S., "A Note on the Seismic Response of Rigid Cantilever Retaining Walls," *Nuclear Engineering And Desing*, 241, 693-699, 2011.
- Tiznado, J.C. ve Roa, F.R., "Seismic Lateral Movement Prediction for Gravity Retaining Walls on Granular Soils," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 31, 391-400, 2011.
- Trandafir, A.C., Kamai, T. ve Sidle, R.C., "Earthquake-Induced Displacements of Gravity Retaining Walls and Anchor-Reinforced Slopes," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29, 428-437, 2009.
- Tunç, A., "Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları," Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2002.
- Uzuner, B.A., *Temel Zemin Mekaniği*, Derya Kitabevi, Trabzon, 2007.
- Y. Wu, S.Prakash, "Effect of Submergence on Seismic Displacement of Rigid Walls," *Earthquake Geotechnical Engineering*, 1999 Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5809 1163, 1999.