



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

ZEMİN ÇİVİLİ DESTEK SİSTEMLERİNİN EUROCODE
YAKLAŞIMLARI İLE TASARIMI

Sinan SOYLU

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 13.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliğı Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliğı Programı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ



Doç. Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU (Danışman)
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. İknur BOZBEY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Özer ÇİNİCİOĞLU
Boğaziçi Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımlarından dolayı değerli hocam Sayın Doç. Dr. M. Kubilay KELEŞOĞLU'na, en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli katkılarından dolayı emekli hocam Prof. Dr. S. Feyza ÇİNİCİOĞLU'na, Prof. Dr. İlknur Bozbey'e, Doç Dr. Sadık ÖZTOPRAK'a ve eğitimime katkıda bulunan tüm değerli İnşaat Bölümü hocalarıma en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Haziran 2019

Sinan SOYLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL KISIMLAR.....	2
2.1 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN BİLEŞENLERİ.....	2
2.1.1 Çiviler.....	2
2.1.2 Enjeksiyon.....	4
2.1.3 Korozyon Koruması.....	5
2.1.4 Kaplama.....	5
2.1.5 Bağlantı Bileşenleri.....	5
2.1.6 Drenaj Sistemi.....	6
2.1.7 Merkezleyiciler.....	6
2.2 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI.....	6
2.2.1 Avantajları.....	6
2.2.2 Dezavantajları.....	8
2.3 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN İMALATI.....	9
2.3.1 Kazı İşlemi.....	9
2.3.2 Delgi İşlemi.....	9
2.3.3 Çivilerin Yerleştirilmesi ile Enjeksiyonlanması ve Drenaj Sistemi Kurulması ...	9
2.3.4 İlk Püskürtme Beton Kaplamasının Yapılması.....	10
2.3.5 Sonraki Seviyelerin Yapılması.....	10
2.3.6 Kalıcı Kaplamanın Yapılması.....	11
2.4 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN DAVRANIŞI.....	12
2.4.1 Zemin Çivili Duvarlarda Yük Aktarım Mekanizması.....	13
2.4.2 Zemin - Çivi Etkileşimi.....	16
2.4.3 Zemin Çivili Duvarların Göçme Durumları.....	23

2.4.4	Zemin Çivili Duvarların Deformasyon Davranışı	25
2.5	ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARDA ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ.....	29
2.5.1	Elverişli Zemin Koşulları	29
2.5.2	Zor Zemin Koşulları	31
2.5.3	Elverişsiz Zemin Koşulları	31
2.6	ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARDA ÖZEL KONULAR	34
2.6.1	Sünme	34
2.6.2	Zemin Korozyon Potansiyeli	35
2.6.3	Zemin Donma Potansiyeli	37
2.7	ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARDA ZEMİN ETÜDÜ ÇALIŞMALARI	39
2.7.1	Sondaj Sayısı ve Konumunu Seçme	40
2.7.2	Saha Araştırmaları	41
2.7.3	Laboratuvar Araştırmaları	45
3.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	50
3.1	EUROCODE 7 TASARIM YÖNTEMLERİ.....	50
3.1.1	Geoteknik Tasarım Yöntemleri	51
3.1.2	Limit Durum	52
3.1.3	Nihai Sınır Durumu Yaklaşımları.....	58
3.2	SONLU ELEMANLARDA EUROCODE 7 KULLANIMI	61
3.2.1	Tasarım Yaklaşımlarının Plaxis'e Uygulanması	63
3.3	LİMİT DENGED E EUROCODE 7 KULLANIMI	67
3.4	REFERANS MODEL BİLGİLERİ	68
3.4.1	Referans Modelin Analiz Sonuçları	70
4.	BULGULAR.....	72
4.1	SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZLER	72
4.1.1	Hizmet Görebilirlik Sınır Durumu (SLS) Analizleri.....	72
4.1.2	Referans Model ve SLS Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması	76
4.1.3	ULS Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 1 ile Analizler.....	78
4.1.4	ULS Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2 ile Analizler.....	80
4.1.5	ULS Tasarım Yaklaşımı 2 ile Analizler	89
4.1.6	ULS Tasarım Yaklaşımı 3 ile Analizler	90
4.1.7	Tasarım Yaklaşımları Karşılaştırmaları.....	93
4.2	LİMİT DENG E YÖNTEMİ İLE ANALİZLER.....	101
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ.....	106

KAYNAKLAR.....	110
EKLER.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	120



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Zemin çivili duvarların tipik bir kesiti [15].	2
Şekil 2.2: Zemin çivili duvarların detaylı bir kesiti [15].	3
Şekil 2.3: Zemin çivili duvarların imalat aşamaları [14].	11
Şekil 2.4: İki boyutlu zemin çivili sistemin modeli [12].	13
Şekil 2.5: Potansiyel kayma yüzeyleri ve çivi çekme kuvvetleri [14].	14
Şekil 2.6: İmalat aşamasındaki potansiyel kritik stabilite durumu [14].	15
Şekil 2.7: Zemin çivisinde kuvvet mobilizasyonuna çivi eğiminin etkisi [12].	17
Şekil 2.8: Takviyeli zeminin kayma dayanımı artışında takviye yönlenmesinin etkisi [12].	17
Şekil 2.9: Kayma gerilmeleri ve çekme kuvvetleri dağılımı [14].	19
Şekil 2.10: Zemin çivilerinde maksimum çekme kuvvetlerinin lokasyonu [14].	20
Şekil 2.11: Zemin çivili duvarlarda ölçülen maksimum çivi çekme kuvvetlerinin özeti [14].	21
Şekil 2.12: Zemin çivili duvarlarda ölçülen kaplama çekme kuvvetlerinin özeti [14].	22
Şekil 2.13: Kuvvetlerin sınırlamaları: (a) sıyırılma direnci kontrolü, (b) çekme direnci kontrolü [14].	23
Şekil 2.14: Zemin Çivili Duvarların Göçme Biçimleri [7].	24
Şekil 2.15: Zemin Çivili Duvarların İç Göçme Biçimleri [7].	25
Şekil 2.16: Zemin Çivili Duvarların Deformasyonu [14].	28
Şekil 2.17: Sondajların önerilen maksimum aralıkları [15].	41
Şekil 2.18: Sondajların önerilen derinlikleri [15].	41
Şekil 3.1: Hesaplama ile tasarım özeti [2].	53
Şekil 3.2: Zemin çivilerinde nihai sınır durumları [8].	55
Şekil 3.3: Zemin çivilerinde hizmet görülebilirlik sınır durumları [8].	57
Şekil 3.4: Analiz Düzeni 1 analiz akış şekli [15].	63
Şekil 3.5: Analiz Düzeni 1'in Plaxis'e uygulanması.	63
Şekil 3.6: Analiz Düzeni 2 analiz akış şekli [15].	64
Şekil 3.7: Analiz Düzeni 2'nin Plaxis'e uygulanması.	64
Şekil 3.8: Tasarım Yaklaşımlarının programa tanımlanması.	65
Şekil 3.9: Zemin özelliklerine kısmi faktörler tanımlama.	65
Şekil 3.10: Zemin özelliklerine kısmi faktörler uygulanması.	65
Şekil 3.11: Yüklere kısmi faktör uygulanması.	66
Şekil 3.12: Analize Tasarım Yaklaşımı tanıtılması.	66
Şekil 3.13: Slope/W kısmi faktörler kullanımı.	67
Şekil 3.14: Slope/W tanımlı Eurocode 7 Tasarım Yaklaşımları.	68
Şekil 3.15: Tasarım modeli.	69
Şekil 3.16: Yapım aşamalarına göre güvenlik sayıları.	71
Şekil 3.17: Yapım aşamalarına göre duvar deplasman ve çivi eksenel kuvvet değerleri.	71
Şekil 3.18: Yapım aşamalarına göre çivi kesme kuvveti ve moment değerleri.	71
Şekil 4.1: Yapım aşamalarına göre güvenlik sayıları ve çivi max. eksenel kuvvetleri.	73
Şekil 4.2: İnşaatin tamamlanmasıyla çivi boyunca gelişen kuvvet dağılımları.	74
Şekil 4.3: Çivilerdeki maksimum momentler ve kesme kuvvetleri.	74
Şekil 4.4: Duvarın maksimum yanal deplasmanları ve eksenel kuvvetleri.	75

Şekil 4.5: Duvarın maksimum momentleri ve kesme kuvvetleri.....	75
Şekil 4.6: Güvenlik sayılarının karşılaştırılması.	76
Şekil 4.7: Duvar deplasmanları ile çivi eksenel kuvvetlerinin karşılaştırılması.	77
Şekil 4.8: Güvenlik sayılarının karşılaştırılması.	77
Şekil 4.9: Duvar deplasmanları ile çivi eksenel kuvvetlerinin karşılaştırılması.	77
Şekil 4.10: Çivi momentleri ile kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.	78
Şekil 4.11: SLS ve ULS durumlarında çivilerdeki mak. eksenel kuvvetler.....	79
Şekil 4.12: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile güvenlik sayıları ve çivi mak. eksenel kuvvetleri.	81
Şekil 4.13: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile çivinin mak. momentleri ve kesme kuvvetleri. .	81
Şekil 4.14: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile duvar mak. yanal deplasmanlar ve eksenel kuvvetler.	81
Şekil 4.15: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile duvar mak. kesme kuvvetler ve momentler.	82
Şekil 4.16: SLS ve ULS TY1-2 analizlerinde zemindeki göçme noktaları.	82
Şekil 4.17: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile güvenlik sayıları ve çivi mak. eksenel kuvvetleri.	84
Şekil 4.18: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile çivinin mak. momentleri ve kesme kuvvetleri. .	84
Şekil 4.19: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile duvar mak. yanal deplasmanlar ve eksenel kuvvetler.	84
Şekil 4.20: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile duvar mak. kesme kuvvetler ve momentler.	85
Şekil 4.21: Her iki analiz düzeninde güvenlik sayıları ile çivi mak. eksenel kuvvetleri.	86
Şekil 4.22: Her iki analiz düzeninde duvar mak. deplasmanlar ile eksenel kuvvetleri.....	86
Şekil 4.23: Her iki analiz düzeninde duvar mak. momentler ile kesme kuvvetleri.	87
Şekil 4.24: Her iki analiz düzeninde güvenlik sayıları ile çivi mak. eksenel kuvvetleri.	87
Şekil 4.25: Her iki analiz düzeninde çivi mak. momentleri ile kesme kuvvetleri.	87
Şekil 4.26: Her iki analiz düzeninde duvar mak. deplasmanlar ile eksenel kuvvetleri.....	88
Şekil 4.27: Her iki analiz düzeninde duvar mak. momentler ile kesme kuvvetleri.	88
Şekil 4.28: SLS ve ULS TY2 durumlarında çivilerdeki mak. eksenel kuvvetler.	90
Şekil 4.29: SLS ve ULS geogrid çivilerdeki maksimum eksenel kuvvetler.	95
Şekil 4.30: SLS ve ULS plaka çivilerdeki maksimum eksenel kuvvetler.....	95
Şekil 4.31: SLS ve ULS geogrid çivili duvardaki maksimum eksenel kuvvetler.	96
Şekil 4.32: SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum eksenel kuvvetler.	97
Şekil 4.33: SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum eksenel kuvvetler 2.	97
Şekil 4.34: SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum kesme kuvvetleri.	99
Şekil 4.35: SLS ve ULS geogrid çivili duvardaki maksimum kesme kuvvetleri.....	99
Şekil 4.36: SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum momentler.	100
Şekil 4.37: SLS ve ULS geogrid çivili duvardaki maksimum momentler.....	100
Şekil 4.38: Karakteristik parametreler ile elde edilen güvenlik sayısı.....	101
Şekil 4.39: TY1-1 ve TY1-2 ile elde edilen güvenlik sayısı.....	102
Şekil 4.40: Karakteristik ve TY1-1 ile çözümlerde oluşan dilim ağırlıkları.....	102
Şekil 4.41: Karakteristik ve TY1-2 ile çözümlerdeki zeminin sürtünme açısı.	103
Şekil 4.42: Karakteristik ve TY1-2 ile çözümlerdeki zeminin kohezyonu.	103
Şekil 4.43: TY2 ve TY3 ile elde edilen güvenlik sayısı.	104
Şekil 4.44: TY1-1 ve TY2 sonucunda zeminin kayma dayanımları.....	104

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No
Tablo 2.1: Zemin koşullarına göre C ve $(\delta h/H)_i$ değerleri.	27
Tablo 2.2: Saha deneyleri.	42
Tablo 2.3: Fiziksel Özellikleri Belirlemek İçin Laboratuvar Deneyleri Özeti [6].	46
Tablo 2.4: Mekanik Özellikleri Belirlemek İçin Laboratuvar Deneyleri Özeti [6].	46
Tablo 3.1: Tasarım Yaklaşımı 1’de kullanılan kısmi faktörler [2].	59
Tablo 3.2: Tasarım Yaklaşımı 2’de kullanılan kısmi faktörler [2].	59
Tablo 3.3: Tasarım Yaklaşımı 3’de kullanılan kısmi faktörler [2].	60
Tablo 3.4: Analizlerde kullanılan çeşitli parametreler ve değerleri.	69
Tablo 3.5: Yapım aşamalarına göre çeşitli parametrelerin sonuçları.	70
Tablo 4.1: Yapım aşamalarına göre çeşitli parametrelerin değerleri.	72
Tablo 4.2: Yapım aşamalarına göre duvarın çeşitli kuvvet değerleri.	72
Tablo 4.3: Güvenlik sayıları ile çivinin SLS ve ULS TY1-1 eksenel kuvvetleri.	79
Tablo 4.4: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile çeşitli parametrelerin değerleri.	80
Tablo 4.5: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile duvarın çeşitli parametrelerin değerleri.	81
Tablo 4.6: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile çeşitli parametrelerin değerleri.	83
Tablo 4.7: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile duvarın çeşitli parametrelerin değerleri.	83
Tablo 4.8: Güvenlik sayıları ile çivinin SLS ve ULS TY2 eksenel kuvvetleri.	90
Tablo 4.9: Duvar tasarım parametreleri.	91
Tablo 4.10: Kısa ve uzun mesafe moment katsayıları [5].	92
Tablo 4.11: Kaplama basınç faktörü (C_F) değerleri [8].	92
Tablo 4.12: SLS ve ULS’de geogrid çivinin maksimum eksenel kuvvetleri.	94
Tablo 4.13: SLS ve ULS’de plaka çivinin maksimum eksenel kuvvetleri.	94
Tablo 4.14: SLS ve ULS’de duvarın maksimum eksenel kuvvetleri.	96
Tablo 4.15: SLS ve ULS’de duvarın maksimum kesme kuvvetleri.	98
Tablo 4.16: SLS ve ULS’de duvarın maksimum momentleri.	100
Tablo 4.17: Limit denge yöntemiyle bulunan güvenlik sayıları.	105
Tablo 5.1: Limit denge yöntemiyle bulunan güvenlik sayıları.	109

SİMGE VE KISALTIMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
A_{Smin}	: Çelik Hasır Minimum Alanı
A_{Smax}	: Çelik Hasır Maksimum Alanı
c	: Kohezyon
c_h	: Yatay Konsolidasyon Katsayısı
C_c	: Sıkıştırma İndeksi
C_r	: Tekrar Sıkıştırma İndeksi
C_α	: İkincil Sıkıştırma İndeksi
C_v	: Düşey Konsolidasyon Katsayısı
D_r	: Bağlı Sıklık
D_{10}	: Efektif Tane Boyutu
D_{50}	: Ortalama Tane Çapı
D_{DEF}	: Çivili Duvar Arkasında Dikkate Alınan Zemin Deplasman Mesafesi
E	: Elastisite Modülü
EA	: Eksenel Sertlik
EI	: Bükülme Sertliği
E_{eq}	: Eşdeğer Elastisite Modülü
G	: Kayma Modülü
G_s	: Özgül Ağırlık
G_{SGS}	: Genel Stabilite Güvenlik Sayısı
$G_{S_{plaka}}$: Çivinin Plaka Tanımlı Sistemde Güvenlik Sayısı
$G_{S_{geogrid}}$: Çivinin Geogrid Tanımlı Sistemde Güvenlik Sayısı
H	: Duvar yüksekliği
k	: Hidrolik İletkenlik
k_h	: Yatay Hidrolik İletkenlik
K_a	: Aktif Toprak Basıncı
L	: Çivi Uzunluğu
L_p	: Kayma Yüzeyi Arkasında Kalan veya Sıyrılan Çivi Uzunluğu

LI	: Likitite İndeksi
LL	: Likit Limit
N	: Düzeltilmemiş SPT Değeri
N₆₀	: 60 Enerji Seviyesinde Düzeltilmiş N Değeri
PI	: Plastisite İndeksi
R_F	: Kaplama Direnci
R_{Fi}	: 'i' Çivisinde Kaplama Direnci
R_{PO}	: Çivinin Sıyrılma Direnci
R_T	: Çivinin Çekme Direnci
R_{Ti}	: 'i' Çivisinde Çivinin Çekme Direnci
S_H	: Çivi Yatay Aralığı
S_V	: Çivi Düşey Aralığı
S_t	: Duyarlılık
S_u	: Drenajsız Kayma Mukavemeti
T₁ ... T_N	: 1 ... N Çivilerinde Çekme Kuvveti
T_o	: Çivi Başındaki Çekme Kuvveti
T_{max}	: Çivi Maksimum Kuvveti
T_{max_i}	: 'i' Çivisinde Çivi Maksimum Kuvveti
w	: Su Muhtevası
w_{opt}	: Optimum Su Muhtevası
φ	: İçsel Sürtünme Açısı
φ'	: Efektif İçsel Sürtünme Açısı
φ'_{cs}	: Kritik Durum Sürtünme Açısı
φ'_p	: Pik Sürtünme Açısı
σ_{ho'}	: Arazi Yatay Efektif Gerilme
γ_n	: Zemin Birim Hacim Ağırlığı
(γ_d)_{max}	: Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık
δ_h	: Zemin Çivili Duvarın Tepesindeki Yatay Deplasman
δ_v	: Zemin Çivili Duvarın Tepesindeki Düşey Deplasman

Kısaltmalar	Açıklama
EC7-1	: Eurocode 7 Part 1
EC7-2	: Eurocode 7 Part 2
EQU	: Statik Denge Kaybı
GEO	: Geoteknik Dayanım
HYD	: Sızıntı
SLS	: Hizmet Görebilirlik Sınır Durumu
STR	: Yapısal Dayanım
TY1	: Tasarım Yaklaşımı 1
TY1-1	: Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 1
TY1-2	: Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2
TY2	: Tasarım Yaklaşımı 2
TY3	: Tasarım Yaklaşımı 3
ULS	: Nihai Sınır Durumu
UPL	: Kabarma

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sinan SOYLU

ZEMİN ÇİVİLİ DESTEK SİSTEMLERİNİN EUROCODE YAKLAŞIMLARI İLE ÇÖZÜMÜ

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU

Zemin çivili destek sistemleri, kazı ve şevlerin desteklenmesi amacıyla yapılan zemin takviye yöntemidir. Bu sistemin tasarımına yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Eurocode 7'nin açıklamasıyla birlikte Kısmi Katsayılar Yöntemi önem kazanmıştır. Bu çalışmada referans bir model üzerinde, Eurocode 7 yaklaşımlarıyla hizmet görebilirlik sınır durumu ve nihai sınır durumları analizleri yapılmıştır. Analizler sonlu elemanlar yöntemi ve limit denge yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Hizmet görebilirlik sınır durumu değerlendirmesi için, sonlu elemanlar ile deformasyon analizleri yapılmıştır. Nihai sınır durumu değerlendirmesi için, farklı kısmi faktörlerin kullanıldığı üç tasarım yaklaşımı ile hem sonlu elemanlar hem de limit denge analizleri yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerle kısmi faktörlerin sonlu elemanlarda ve limit dengede kullanımı açıklanmıştır. Analizler sonucunda referans alınan tasarım modelinin, Eurocode 7 Tasarım Yaklaşımlarına göre tasarıma uygun bulunmuştur.

Haziran 2019, 135 sayfa.

Anahtar kelimeler: Eurocode 7, Tasarım Yaklaşımları, zemin çivisi, limit denge yöntemi, sonlu elemanlar yöntemi

SUMMARY

M.Sc. THESIS

THE DESIGN OF SOIL NAILED SUPPORT SYSTEMS WITH EUROCODE APPROACHES

Sinan SOYLU

**Istanbul University-Cerrahpasa
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa Kubilay KELEŞOĞLU

Soil nail support systems are used to support the excavation and slopes. Various methods have been developed for the design of this system. After the release of Eurocode 7 the use of partial factors gained popularity in the design rather than allowable stress design. In this study, serviceability limit state and ultimate limit state analyzes were performed on a reference model according to Eurocode 7 approaches. The analysis was performed by the finite element and the limit equilibrium methods. For the evaluation of serviceability limit state, the deformation analysis with finite elements was performed. For the evaluation of ultimate limit state, both finite elements and limit equilibrium analyzes were performed with three design approaches using different partial factors as defined by the Eurocode7. The use of partial factors in finite element and limit equilibrium methods are discussed. As a result of the analyzes, the design model which was referenced was found suitable for design according to Eurocode 7 Design Approaches.

June 2019, 135 pages.

Keywords: Eurocode 7, Design Approaches, soil nail, limit equilibrium method, finite element method

1. GİRİŞ

Zemin çivili dayanma yapıları, kazı ve şevlerin desteklenmesi amacıyla yapılan zemin takviye yöntemidir. Diğer klasik sistemlere göre daha hızlı uygulanabilmesi ve ekonomik olması nedeniyle sıkça tercih edilen ve uygulanan bir yöntem olmuştur. Türkiye’de de derin kazılara talebin giderek artması sonucu derin kazı iksa sistemi olarak yaygın bir şekilde uygulanan bir yöntem olmuştur.

Bu sistemin tasarımına yönelik geçmişten bugüne çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden olan ‘Kısmi Katsayılar Yöntemi’, Eurocode 7’nin açıklamasıyla birlikte önem kazanmıştır. Ve günümüzde özellikle Avrupa ve Amerika’da bu yöntemi temel alan tasarım yaklaşımları kullanılmaktadır. Eurocode 7’ye göre tasarım yapılırken hizmet görebilirlik sınır durumu (SLS) ve nihai sınır durumları (ULS) kontrolleri yapılır. Hizmet görebilirlik sınır durumu tasarımın deformasyon sınırlamaları ile ilgilidir. Nihai sınır durumları; statik denge kaybı (EQU), geoteknik dayanım (GEO), yapısal dayanım (STR), kabarma (UPL) ve sızıntı (HYD) kontrollerini içermektedir. STR ve GEO kontrolleri, bu tezde de kullanılan kısmi katsayı faktörlerinin kullanıldığı Tasarım Yaklaşımları ile yapılır.

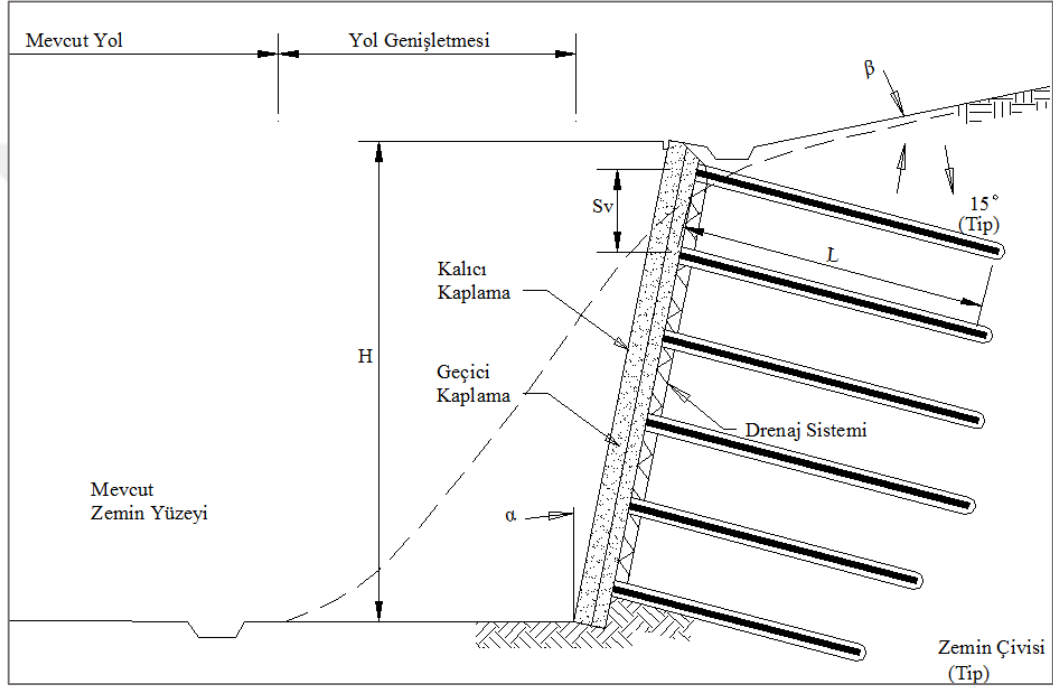
Eurocode 7’de üç Tasarım Yaklaşımı tanıtılmaktadır. İlâveten Tasarım Yaklaşımı 1 farklı kısmi faktörlerin kullanıldığı iki kombinasyondan oluşmaktadır. Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 1’de yüklere kısmi faktörler uygulanmaktadır. Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2’de ise yükler ile zeminin malzeme özelliklerine kısmi faktörler uygulanmaktadır. Tasarım Yaklaşımı 2’de yükler ile zeminin direnç özelliklerine, Tasarım Yaklaşımı 3’te ise yükler ile zeminin malzeme özelliklerine kısmi faktörler uygulanmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında, ikinci bölümde zemin çivili sistem genel olarak açıklanmıştır. Üçüncü bölümde, Eurocode 7 tasarım yöntemine dair açıklamalar yapılmıştır. Devamında da, Eurocode 7 yöntemiyle analizlerde kullanılan Plaxis ve Slope/W programlarının tasarım yaklaşımları ile kullanımları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise, sonlu elemanlar ve limit denge analizleri verilmiştir. Sonlu elemanlar analizleri Plaxis ile, limit denge analizleri ise Slope/W programı ile gerçekleştirilmiştir. Tez çalışması kapsamında, Plaxis bültende yayınlanan makale referans alınmıştır. Yapılan Plaxis analizleri ile makalede verilen sonuçlar doğrulanmıştır. Daha sonra doğrulanan tasarım modeli üzerinde hem Plaxis hem de Slope/W programları kullanılarak Eurocode 7 yöntemi ile tasarım değerlendirilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN BİLEŞENLERİ

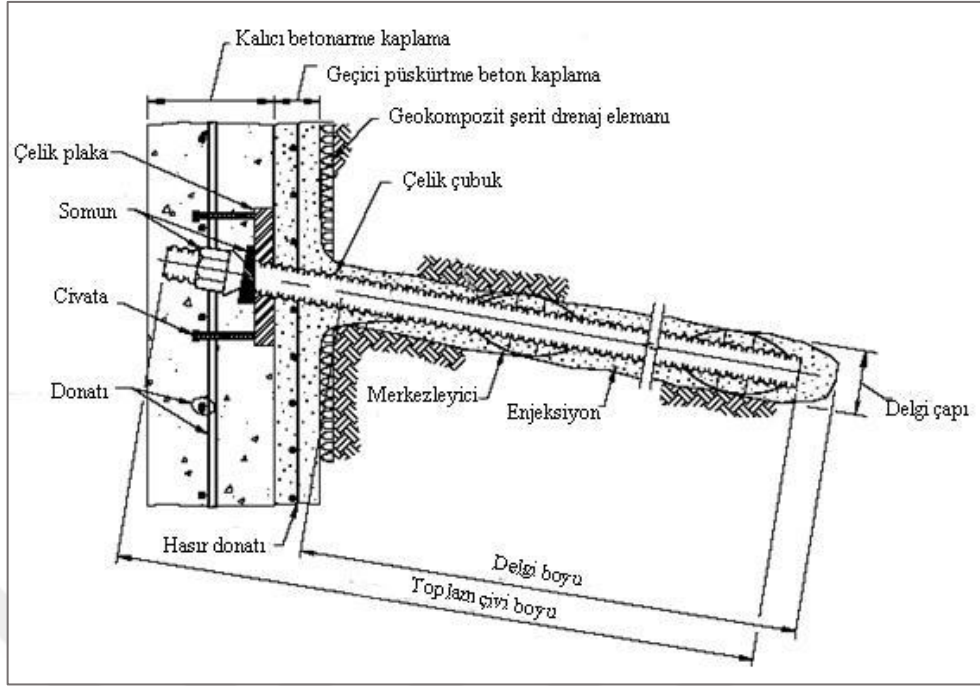
Zemin çivili duvarlar genel olarak; çiviler, enjeksiyon, korozyon koruması, kaplama, bağlantı bileşenleri, drenaj sistemi ve merkezleyici elemanlardan oluşmaktadır. Bu bölümde, zemin çivili duvarlarda kullanılan imalat malzemeleri açıklanmıştır. Şekil 2.1’de zemin çivili duvarın tipik bir kesiti gösterilmiş ve Şekil 2.2’de detaylı bir kesiti verilmiştir.



Şekil 2.1: Zemin çivili duvarların tipik bir kesiti [15].

2.1.1 Çiviler

Çiviler, zemin çivili duvarların temel bileşenlerindedir. Kazı yapıldığında sürsaj, trafik yükü, bina yükü gibi dış yükler ve zeminin kendi ağırlığının etkisiyle zemin deformasyonları meydana gelir. Zemin çivileri ise bu deformasyonların belli ölçüde engellenmesi ve yüklerin tutulması için kullanılan zemin takviye elemanıdır. Yöntem gereği her bir çivideki çekme gerilmesi, yanal hareket ve desteklenen zeminin deformasyonu sonucunda mobilize olmaktadır. Zemin çivileri; çakma, enjeksiyonlu, jet enjeksiyonlu ve korozyon korumalı kapsüllü çiviler başlıkları altında sınıflandırılabilir.



Şekil 2.2: Zemin çivili duvarların detaylı bir kesiti [15].

2.1.1.1 Çakma Çiviler

Bu şekilde tesis edilen çiviler geçici takviye uygulamaları için elverişlidirler. Çakma rijiditesini arttırmak için 15-46 mm çapındaki çelik çubuklardan oluşan bu çivilerin maliyeti düşüktür. Homojen, kompozit, takviye edilmiş zemin kütlelerinin oluşturulması için sık aralıklarla m²'de 2-4 adet olacak şekilde tesis edilirler. Çakma çiviler, havalı darbe-titreşimli veya hidrolik çekiçlerle zemine çakılırlar. Bu tesis tekniği hızlı ve ekonomiktir çünkü saatte 3-5 adet çivinin zemine tesisini sağlar. Ancak bloklardan, kaba danelerden ve aşınmış kayalardan yoksun zemin koşulları çivi uzunluğunu sınırlamaktadır [17].

2.1.1.2 Enjeksiyonlu Çiviler

Enjeksiyonlu çiviler hem sürekli hem de geçici uygulamalar için elverişlidir. Çapları 15-46 mm arasında değişen yüksek akma mukavemetine sahip çelik çubuklardan meydana gelirler. Zeminde açılan 10-15 cm çapındaki sondaj delikleri içinde imal edilirler. Sondaj delikleri zemine karotla sondaj, rotari sondaj, darbeleri sondaj, burgulu sondaj veya çakma kaplama borusu yöntemleri ile açılır. Enjeksiyon işlemi, sondaj deliği tabanında yerçekimi etkisiyle veya düşük bir basınç altında gerçekleştirilir. Çivilerin enjeksiyonu aşağıdan yukarıya doğru yapılmalıdır çünkü eğer sondaj deliği içinde bir su seviyesi söz konusu ise çimento ayrışabilir ve enjeksiyon işlemi başarısızlıkla sonuçlanabilir. Çiviler arası mesafe, merkezleri esas alınarak 1.2-1.8 m olacak şekilde tesis edilirler [17].

2.1.1.3 Jet Enjeksiyonlu Çiviler

Jet enjeksiyonlu çiviler, çelik çivi ile enjeksiyonlanmış zeminden oluşan ve birlikte tesis edilen birleşik bir yapıdır. Geçici uygulamalarda kullanılırlar ancak korozyon koruması gerekliliği düşük mertebelerde ise sürekli uygulamalarda da kullanılabilirler. Çiviler titreşimli darbe sürücüsü kullanılarak yüksek frekans (70 Hz'e kadar) ve yüksek enjeksiyon basınç değeri altında (>2000 psi) zemine tesis edilirler. Enjeksiyon işlemi, çivi boyunca uzanan küçük çaplı bir kanal yardımıyla ya da çiviye kaynaklanmış ince çelik bir tüp vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu şekilde uygulanan basınç çevre zeminde hidrolik kırılma meydana getirebilecek düzeydedir. Ek olarak, jet enjeksiyon tekniği çevre zemininin yeniden kompaksiyonu ve ıslahı için bir araçtır. Özellikle daneli zeminlerin kesme ve çekme direncini arttırdığı bilinmektedir [17].

2.1.1.4 Korozyon Korumalı Kapsüllü Çiviler

Kapsüllü çiviler, yüksek derecede korozyon korumasına ihtiyaç duyulan kalıcı uygulamalarda kullanılırlar. Bu tür çivilerde çelik çubuk; enjeksiyon, plastik veya çelik bir tüp aracılığıyla suya karşı korunmaktadır. Zemin çivisi sisteminin direnci, sistemin çevresel etkilere ve yer altı suyunun içeriğine gösterdiği dirence bağlıdır. Korozyon ilerlemesi genellikle uniformdur ve yumuşak çeliğin zemin ile temasında çelik yüzeyinin büyük bölümünde meydana gelmektedir. Bu nedenle, servis süresi ile ilgili esas parametre, korozyonun oranı ve yüzeydeki metal kaybıdır. Çünkü çelik çubukların çekme dayanımı, kalınlıkları ile orantılı olarak azalmaktadır. Yüksek mukavemetli çelik çubukların korozyonu, çekme gerilmeleri altında kristallerin ara yüzeyinde gelişir ve yüzeyden çeliğin içine doğru ilerler. Bu tip korozyona daneler arası korozyon denir ve bu tür korozyonun hızını tahmin etmek önceden zordur. Koruma kapsüllü çiviler geçici uygulamalar için de elverişlidir. Sürekli uygulamalar için çivi boyunca en az 4 cm kalınlığında şerbetlenmiş kaplama yapılması tavsiye edilmektedir [17].

2.1.2 Enjeksiyon

Delgisi yapılmış zeminin çivileri yerleştirildikten sonra enjeksiyon yapılır. Kullanılan enjeksiyon genellikle Portland çimentosu ve sudan oluşur. Çiviler ile deforme olan zemin arasındaki kayma gerilmelerini transfer etmek, çekme gerilmelerini çivilerden stabil zemine aktarmak ve çivilere bir miktar korozyon koruması sağlamak gibi enjeksiyonun fonksiyonları vardır. Enjeksiyonun özellikleri toplam bağ direnci için önemlidir. Delgi işlemi yapıldıktan sonra açılan delgide zeminin göçmemesi için kısa sürede zemin çivilerini yerleştirip enjeksiyon yapılmalıdır. Genellikle enjeksiyon, tremi yöntemiyle yerçekimi etkisi altında yapılır.

2.1.3 Korozyon Koruması

Tasarım ömrüne ve zemin agresifliğine göre zemin çivilerinde, korozyona karşı kimyasal ve/veya fiziksel koruma gerekir. Yüksek korozyon potansiyelli zeminlerde ve korozyon toleransı düşük projelerde korozyon korumasının önemi artmaktadır. Korozyon koruma seviyesinin düşük olduğu durumlarda sadece enjeksiyon ile de sağlanabilir. Koruyucu bir kılıf ekleyip çivilerin aşamalı şekilde enjeksiyonu yapılarak oluşturulan çivinin kapsüllenmesi yöntemi en etkili korozyon koruma yöntemidir. Epoksi kaplama ve galvanizleme gibi yöntemler de korozyon korumasına örnek verilebilir.

2.1.4 Kaplama

Kaplamanın temel fonksiyonu zemin çivilerinin arasındaki zeminin stabilitesini sağlamaktır. Aynı zamanda, kazı yapılmasıyla zemin yüzeyinde oluşan ayrışma ve erozyona karşı da koruma sağlamaktadır. Kaplama, ilk ve son olmak üzere iki aşamada yapılabilir. Kazıdan kısa bir süre sonra, ilk kaplama çivilerin yüklenmesinden veya yüklenmemişken geçici stabilite ve koruma sağlamak için her kazı kademesinde uygulanır. İlk kaplama en yaygın olarak püskürtme beton ile yapılır. Son kaplama ise ilk kaplama üzerine yapılır ve tasarım ömrü boyunca yapısal süreklilik sağlar. Son kaplama genellikle betonarme, püskürtme beton veya prekast beton panellerden yapılır.

Püskürtme beton kaplaması, projeye ve imalatta kullanılan ekipmanın durumuna göre hem yaş hem de kuru sistem ile uygulanmaktadır. Kuru sistemde karışım hazırlanırken su katılmaz. Karışım, makineden hortuma 3-6 atmosfer basınçla iletilmektedir. Püskürtme başlığında karışım çıkarken hızı yaklaşık 50-70 m/s olabilmektedir. Karışıma su ve bazen başka kimyasal sıvı maddeler püskürtme başlığında katılır. Dolayısıyla karışım sıvı madde ile püskürtme başlığında ve uygulanan yüzey üzerinde karışır. Yaş sistemde ise karışım ıslak hazırlanır. Malzeme yoğunluğu iletimine göre iki farklı şekilde uygulanabilir. Farklı özellikteki makineler ile farklı basınçlarda kullanılabilir. Püskürtme uygulaması yapılmadan önce uygulanan yüzeye çelik hasır serilir. İlaveten, betonun çekme dayanımını arttırmak için betonda ince çelik teller kullanılabilir.

2.1.5 Bağlantı Bileşenleri

Bağlantı bileşenleri zemin çivilerinin beton kaplamaya bağlanmasını sağlar. Somunlar, rondelalar, taşıyıcı plakalar ve başlı saplamalar bileşenlere örnektir. Başlı saplamalar taşıyıcı plakalara tutturularak kalıcı beton kaplama içine gömülür.

2.1.6 Drenaj Sistemi

Tünemiş yeraltı sularını veya kaplamanın arkasına sızmış yüzey sularını toplamak ve toplanan yeraltı suyunu duvardan uzağa yönlendirmek için zemin çivi duvarlarının arkasına drenaj sistemi yerleştirilir. Drenaj sistemi genellikle geo kompozit şerit drenleri olarak adlandırılan kompozit malzemeden yapılır. Drenaj sistemi, duvar alanının tam olarak örtülmesini sağlamaz, fakat seçilen şerit drenaj aralığına ve mevcut ticari genişliklere bağlı olarak kazı yüzeyinin genel olarak %10-20'sini veya daha fazlasını kapsar.

2.1.7 Merkezleyiciler

Merkezleyiciler, PVC veya çiviye zarar vermeyen sentetik malzemelerden yapılmaktadır. Genellikle başlangıç ve son ucuna 0.50 m uzaklıkta, çivi uzunluğu boyunca 2.50 m'yi geçmeyecek şekilde yerleştirilir. Minimum enjeksiyon kalınlığının çivileri tamamen kapladığından emin olmak için dikkatli ve özenli bir şekilde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Merkezleyiciler çivilere sıkıca tutturulmaları önemlidir.

2.2 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Diğer zemin destek sistemlerinde olduğu gibi zemin çivili destek sistemlerinin de bazı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Genel olarak, zemin çivisi yönteminin avantajlarını ve dezavantajlarını aşağıdaki bölümlerde bahsedildiği gibi açıklayabiliriz.

2.2.1 Avantajları

Zemin çivisi yönteminin avantajları; imalat, performans ve maliyet açısından üç ana başlıkta değerlendirilebilir.

2.2.1.1 İmalat

- Ankraja kıyasla genellikle daha kısa yapıldığından zemin çivisi için daha az bir kamulaştırma alanı yeterli olur.
- Özellikle içten destekli strutlu sistemlere kıyasla daha rahat kazı ortamı oluşmaktadır.
- Kazı sırasında meydana gelebilecek girinti ve çukurlara uyumlu, esnek bir imalat yapılabilir.
- Kazı tabanına, ankrajlı iksa sistemlerinde kullanılan H profilleri gibi, herhangi bir yapısal elemanı gömmeye gerek yoktur. H profillere gerek olmadığı için yapım sırasında ankrajlı iksa sistemlerinde olduğu gibi yukarıdan yapılması gereken çalışmalar daha azdır. Bu durum özellikle köprü altındaki uygulamalarda önem kazanır.
- Ankrajlı iksa sistemlere göre daha az malzeme kullanılır ve imalat süresi daha azdır.

- Ankrajlı iksa sistemlere göre çok fazla çivi kullanıldığı için arazideki güvenlik sınırları içindeki ayarlamalar daha kolay yapılır.
- Yük boşaltımı yapılmış özel iksa sistemlerinin rehabilitasyonu için kullanılabilir.
- Kullanılan makine ve ekipman küçük olduğundan şehir içindeki uygulamalarda ve sahanın dar olduğu projelerde avantaj sağlar. Trafığe daha az zarar verir ve diğer sistemlere göre daha az çevresel etkiye neden olur.
- Yöntemin uygulama bakımından esnek olması, farklı zemin ve kazı koşullarına kolaylıkla adapte edilmesini sağlamaktadır. Kayalar, kazıklar ve yer altı yapıları gibi engellerle karşılaşıldığında çivi eğiminde ve yerinde daha kolay ayarlamalar yapılabilir.
- Basit bir enjeksiyon cihazının yanı sıra, tesis için, sadece hafif bir imalat ekipmanına gereksinim duyulmaktadır. Açılan deliklerin enjeksiyonu, yerçekimi etkisinin sağladığı cazibeli akış ile mümkün olabilmektedir. Ulaşımın zor olduğu şantiyeler için bu hususlar, özellikle önem kazanmaktadır.
- Bu teknik yaygınlaşmakta ve buna bağlı olarak bu konudaki deneyim artmaktadır.

2.2.1.2 Performans

- Zemin çivi yönteminin diğer yöntemlere göre daha esnek özelliğe sahip olması nedeniyle çevre zemin ile daha kolay etkileşime girerler. Dolayısıyla tüm doğrultularda, daha fazla toplam ve farklı zemin hareketlerinin önüne geçerler.
- Zemin çivili duvarların ölçülen toplam dönme değeri genelde makul limitler içerisinde.
- Zemin çivili duvar sistemi esnekliği nedeniyle yüksek deformasyonlara dayanabilir ve sismik durumda performansı kanıtlanmıştır. Gerekli görüldüğü takdirde sistemde oluşan deformasyonlar ilave çivileri yapılarak kontrol altına alınabilmektedir.
- Çivi kuvvetleri diğer iksa sistemlerine göre kaplamaya daha uniform bir şekilde dağılır.
- Çiviler ankrajlı iksa sistemlere göre daha çok çivi yerleştirildiğinden tek bir çivinin taşıma özelliğini kaybetmesi ve göçmesi durumunda zarar bir ankrajın göçmesi durumuna göre çok daha az olur. Dolayısıyla tüm sistemin stabilitesinde önemli bir kayıp meydana gelmemektedir.

2.2.1.3 Maliyet

- Zemin çivili duvarlar, yapım prosedürüne uyulması durumunda geleneksel betonarme ağırlık duvarları ile ankrajlı sistemlere göre daha ekonomiktir.
- Püskürtme beton kaplama diğer duvar sistemleri için gerekli kaplamalara göre daha ekonomiktir.

- Geri dolgu yapılmasına gerek olmaması da tekniğin diğer istinat yapılarına göre ekonomik olmasını sağlar.
- Ulaşımı zor olan şantiyelerde önemi artmakla birlikte yöntemde hafif ve basit ekipmanların kullanılmasından dolayı maliyet düşüşü gerçekleşmektedir.
- Çiviler, zemin ankrajlarına oranla daha kısa ve ince şatkrit veya beton kaplamalı olarak imal edilirler. Dolayısıyla, gerilme uygulanmayan yapıım sürecinin hızlı olmasının da bir sonucu olarak, toplam imalat maliyeti düşüktür.

2.2.2 Dezavantajları

Zemin çivisi yönteminin dezavantajları genel olarak şu şekildedir:

- Zemin çivisi uygulaması yapılırken, ilk kazı kademesinde zeminin 1-2 m derinlik boyunca kendini desteklenmeden tutabilme yeteneğine sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle zeminde belli bir ölçüde kohezyon bulunmalıdır. Dolayısıyla zemin çivisi temiz kum ve çakıllarda elverişli bir yöntem değildir.
- Yumuşak killi zeminlerdeki kazılarda, zemin çivisi ile desteklemek uygun bir yöntem değildir. Çünkü yumuşak killerin düşük sürtünme direncinden dolayı stabilite problemleri meydana gelebilir. Ve yeterli düzeyde stabiliteyi sağlayabilmek için çok yoğun bir çivi uygulaması gerekli olabilir. Ankrajlı ve fore kazıklı iksa sistemleri bu tip zeminler için daha uygun bir yöntemdir.
- Sünme potansiyeli olan yumuşak killer gibi kohezyonlu zeminlerde, çiviler tam kapasiteye yüklenemeyebilir. Dolayısıyla maliyet artışına neden olmaktadır.
- Zemin çivili sistemler, deformasyon sınırlamalarının önemli olduğu ve duvar arkasından alt yapı hatlarının geçtiği uygulamalarda uygun olmayabilir. Çünkü zemin çivisinin direnç kazanabilmesi için belli bir deformasyon gerekmektedir. Ön germe bu durumlarda kullanılabilir ama proje maliyetini arttırır.
- Duvar arkasında çeşitli yeraltı yapılarının varlığı, özellikle üst sıralardaki çivilerin yerleşimi, açısı ve uzunluğuyla ilgili kısıtlamalar yaratabilir.
- Zemin çivisi yöntemi büyük miktarda yeraltı suyunun sızdığı yerlerde uygun değildir. İnşaat sırasında kaplamanın geçici olarak desteklenmesi gerekmektedir.
- Yeraltında kalıcı olarak kullanım izni gerektirmektedir.

2.3 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN İMALATI

Zemin çivili duvarlarda genellikle uygulanan yapım aşamaları adım adım aşağıdaki bölümlerde açıklanmış ve Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmiştir.

2.3.1 Kazı İşlemi

Kazı işleminde zemin, delgi ekipmanlarının da çalışabileceği ilk sıra zemin çivi kotundan daha derine kazılır. Bu kazı derinliği zemin türüne de bağlı olmakla beraber 1-2 metre arasında değişmektedir. Ancak bazı durumlarda daha derine de kazılabilir. Burada önemli olan çivinin ve kaplamanın imalatına kadar geçen sürede zeminin desteklenmeden kendini tutabilme yeteneğidir. Kazı yapılırken düzgün bir kazı yüzeyi oluşturulması püskürtme beton uygulamasında maliyeti azaltmak için önemlidir. Düşeydeki kazıyla beraber yatayda yapılan çalışma platformunun da delgi ekipmanlarının çalışması için yeterli genişlikte olmasına dikkat edilmelidir.

2.3.2 Delgi İşlemi

Çivilerin yerleştirileceği delikler, projesinde belirlendiği özelliklerde zemin türüne uygun olacak bir yöntem ile açılmalıdır. Delme yöntemi, açılan deliklerin bozulmadan kalabilme ve/veya yer altısı suyu durumuna göre kaplamalı ve veya kaplamasız olarak yapılabilir. Delgi yapılırken delik dibinde biriken malzemenin dışarı atılması ve deliğin temiz tutulması önemli olmaktadır. Bu uygulama için hava, su veya köpük kullanılmaktadır. Açılan delik kalitesinin çiviler yüklendiğinde takdirde çivinin geliştirebileceği sürtünme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi olmaktadır.

2.3.3 Çivilerin Yerleştirilmesi ile Enjeksiyon Yapılması ve Drenaj Sistemi Kurulması

Çivilerin tesisi, küçük bir titreşim darbeleri hidrolik çekiç ile çelik çubukları zemine sürmek sureti ile gerçekleştirilir. Eğer takviye elemanları yerinde enjeksiyonlanacak ise kullanılacak ekipman delme ve enjeksiyon ünitelerinin her ikisini birden üzerinde taşıyabilir. Sondaj deliği istenilen derinlikte açıldıktan sonra çiviler merkezleştirici kullanılarak deliğe yerleştirilirler. Çivi uzunlukları duvar yüksekliğinin yaklaşık %70-100’ü ve çivi eğimleri ise enjeksiyon işlemini kolaylaştırmak amacıyla yaklaşık olarak yatay ile 150 açı yapmaktadır. Şerbet yerçekimi etkisiyle cazibeli olarak ya da gerekirse düşük bir basınç uygulamak suretiyle pompalanarak çubuk etrafındaki halka şeklindeki boş ara yüzeye doldurulur. Enjeksiyon işlemi delik içinde tabandan yukarıya doğru yapılır. Delik temizlendikten sonra, delik içinde merkezinden kaçmasını önleyecek merkezleyiciler kullanılarak çivi ve enjeksiyon hortumu yerleştirilir.

Enjeksiyon hortumunun ucu, çivi deliğinin dibine erişine dek kapalı tutulur. Deliğin dip noktasında uç açılarak enjeksiyon işlemi başlatılır. Enjeksiyon deliği doldurdukça hortum yukarı çekilir. Çivi etrafındaki gerekli şerbet çevrelemesi için gerekli uygun minimum çap 10 cm'dir [17].

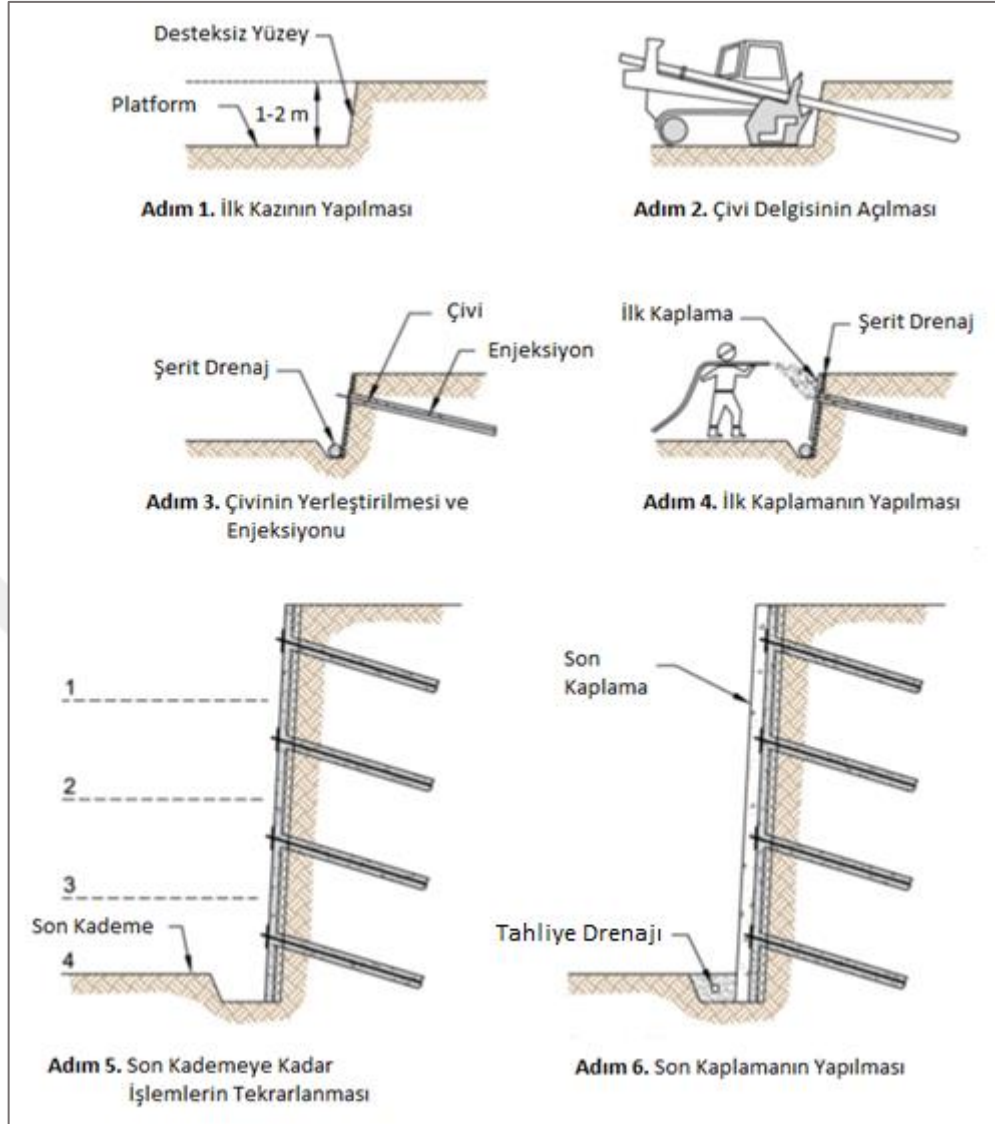
Zemin çivili sistemlerde zemin suyunun varlığı sistemi daha hassas bir duruma getirmektedir. Bu nedenle, kazı yüzeyi açıldığında suyun etkisi ile yüzeyin erozyona uğraması ve zeminde borulanma meydana gelmesi durumlarına dikkat edilmesi önemli olmaktadır. Drenajı sağlamak amacıyla püskürtme beton uygulanmadan önce geo kompozit drenaj şeritleri yerleştirilebilir. Drenaj şeritleri uygun aralıklarla yerleştirilmelidir. Kazı devam ettikçe yerleştirmeye devam edilerek son kazı kademesinde tahliye drenajına bağlanmalı ve bu şekilde su uzaklaştırılmalıdır. Sızıntı miktarı veya basıncı düşük olduğu durumlarda yapılan drenaj sistemiyle suyun kontrolü sağlanabilir. Ancak sızıntının yüksek olduğu durumlarda kazıdan önce yer altı suyu düşürülerek su kontrol altına alınabilir.

2.3.4 İlk Püskürtme Beton Kaplamasının Yapılması

Bir sonraki kazı kademesine geçilmeden önce, desteklenmemiş kazıya ilk kaplaması uygulanır. İlk püskürtme beton kaplaması genel olarak hafif güçlendirilmiş 10 cm kalınlıktan oluşur. Püskürtme betonu kalınlığının ortasına genelde kullanılan hasır donatı yerleştirilir. Kullanılan hasır donatının boyu bir sonraki kazının donatısıyla üst üste bindirme yapacak şekilde olmalıdır. Çivi kafalarında bükülmeye karşı direnç sağlaması için ayrıca yatay ve dikey çubuklar yerleştirilir. Püskürtme beton kürlenmeye başladığında çivinin üzerine delikten çıkıntı yapan çelik bir plaka yerleştirilir. Yatak plakası taze püskürtme betona hafifçe bastırılır. Altıgen somunlar ve rondelalar daha sonra çivi kafasını yatak plakasına oturtmak için monte edilir. Altıgen somun, ilk püskürtme betonun yerleştirilmesinden sonraki 24 saat içinde anahtarla sıkılır. Bir sonraki kazı kademesine geçmeden önce yüklenmiş bazı çivilerde kapasite kontrolü ile yük dayanım kriterleri doğrulanabilir. Bir sonraki kazı kademesine geçmek için püskürtme beton en az 3 günlük basınç dayanımına ulaşmış olmalıdır. Planlama amacıyla, püskürtme betonun kürlenme süresi 72 saat olarak düşünülmelidir.

2.3.5 Sonraki Seviyelerin Yapılması

Kalan kazı kademeleri yukarıda anlatıldığı gibi istenilen kazı derinliğine ulaşınca dek tekrarlanır.



Şekil 2.3: Zemin çivili duvarların imalat aşamaları [14].

2.3.6 Kalıcı Kaplamanın Yapılması

Kazı tabanına ulaşıldıktan ve çiviler yerleştirilip test edildikten sonra, son kaplama yapılır. Son kaplama, betonarme, güçlendirilmiş püskürtme beton veya prefabrik panellerden oluşabilir. Püskürtme beton öncesinde kazı yüzeyine yerleştirilen drenaj şeritlerinden dolayı, kazı tabanında sürekli toplanabilecek suyu tahliye etmek için kazı tabanına drenaj sistemi kurulur.

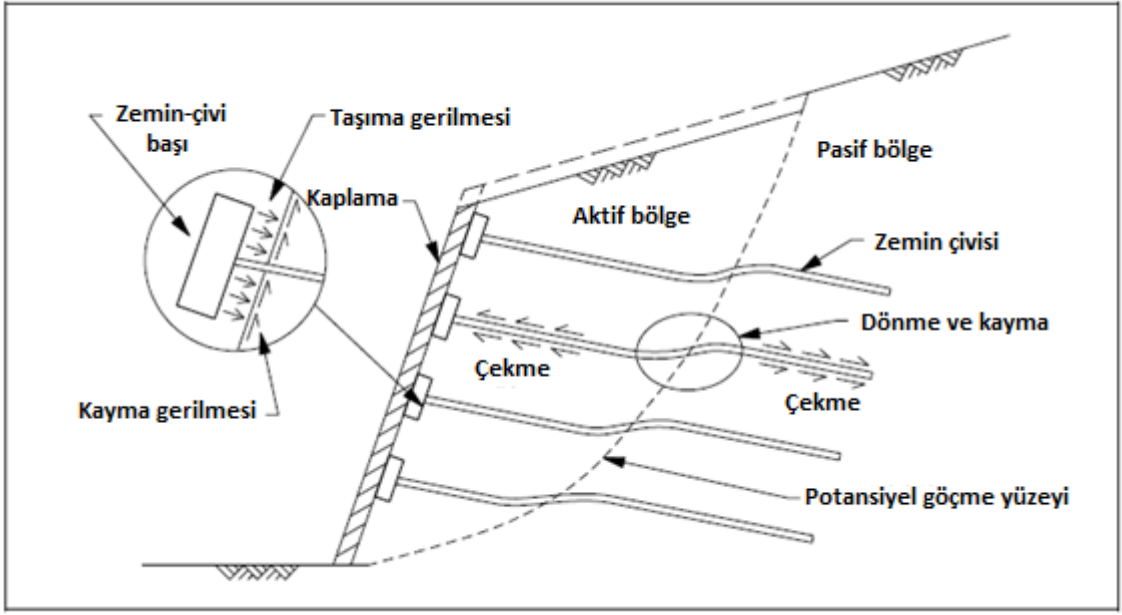
Belirli proje koşullarına uyum sağlamak için yukarıda açıklanan adımların çeşitlendirilmesi gerekebilir. Örneğin, özellikle kazı yüzeyinin stabilitesinin bir endişe kaynağı olduğu durumlarda, delgi işlemi ve çivi imalatından önce püskürtme beton uygulanabilir. Başka bir örnek, çivinin ıslak harç içine yerleştirilmesinden önce çivi deliğinin harçla doldurulması olabilir.

2.4 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARIN DAVRANIŞI

Zemin çivileme tekniği, esas olarak zemin çivilerindeki gerilmelerin mobilizasyonu yoluyla şevlerin, istinat duvarların ve kazıların desteklenmesini sağlar. Çekme kuvvetleri, öncelikle zemin çivileri ile zemin arasındaki sürtünme etkileşiminin yanı sıra, zemin çivi kafalarının/kaplamanın sağladığı reaksiyonlarla gelişir (Şekil 2.4). Zemin çivilerindeki çekme kuvvetleri, uygulanan bazı kayma yüklerini doğrudan destekleyerek ve zemindeki normal gerilmeleri potansiyel göçme yüzeyinde artırarak zemini güçlendirir. Ve böylece daha yüksek kayma direncinin mobilize olabildiğini sağlar. Zemin-çivi başları ve kaplama da şev yüzeyini normale yakın sınırlayarak zemin deformasyonunun sınırlandırılmasına katkı sağlar. Sonuç olarak, zemin çivisi başlarının arkasındaki zeminin kayma direnci ve ortalama efektif gerilmesi artacaktır. Ayrıca, şev yüzeyine yakın bölgelerde lokal göçmeleri önler ve zemin çivileri arasında kuvvetlerin yeniden dağıtılması yoluyla desteklenen zemin kütlelerinin bütünlüğünü sağlar. Zemin çivilerinin sıyrılmaya karşı direnci, zemin çivilerinin potansiyel göçme yüzeyinin arkasındaki zemine gömülen kısım tarafından sağlanır [12].

Zemin çivili sistemlerin iç stabilitesi genellikle zemini aktif ve pasif bölge şeklinde ikiye ayırarak değerlendirilir (Şekil 2.4). İki bölge arasındaki ayrımı potansiyel göçme yüzeyi belirlemektedir. Aktif bölge, potansiyel göçme yüzeyinin önündeki yani sistemi göçmeye götüren zemin külesidir. Aktif bölgede, çivilerdeki kayma gerilmeleri dışarı doğru yönlendirken çiviye de dışa doğru çekme eğilimindedir. Pasif bölge ise, potansiyel göçme yüzeyinin arkasındaki bölge olup, neredeyse hiç bozulmadan kalır. Zemin çivileri de aktif bölgeyi direnç sağlayan pasif bölgeye bağlama görevi görürler. Pasif bölgedeki kayma gerilmeleri ise içeri doğru yönlendirilerek çivilerin aktif bölgeye sıyrılmaya engeller.

Çiviler, bahsedildiği gibi zemindeki aktif bölgeyi direnç sağlayan pasif bölgeye bağlama görevi görmektedir. Dolayısıyla, çivi çekme dayanımı, aktif bölgeyi stabilize etmeyi sağlayan destek kuvvetlerini karşılayabilecek dayanımda olmalıdır. Çiviler ayrıca sıyrılarak göçmeyi engellemek için yeterli boyda pasif bölgenin içine uzatılmalıdır. İlaveten, kaplama ve bağlantı sisteminin belirlediği çivi baş dayanımı ile çivi sıyrılmaya dayanımı, kayma yüzeyinde gereken çivi çekme gerilmesini sağlayacak yeterlilikte olması gerekmektedir.



Şekil 2.4: İki boyutlu zemin çivili sistemin modeli [12].

Aktif ve pasif şekilde iki bölgeyi konfigürasyonun, yalnızca sistemin deformasyonunun hesaba katılmadığı limit denge analizi için basitleştirilmiş bir model olduğuna dikkat etmelidir. Çivi-zemin etkileşimi karmaşıktır ve zemin çivilerinde oluşan kuvvetler birçok faktörden etkilenir. Örnek vermek gerekirse bu faktörler:

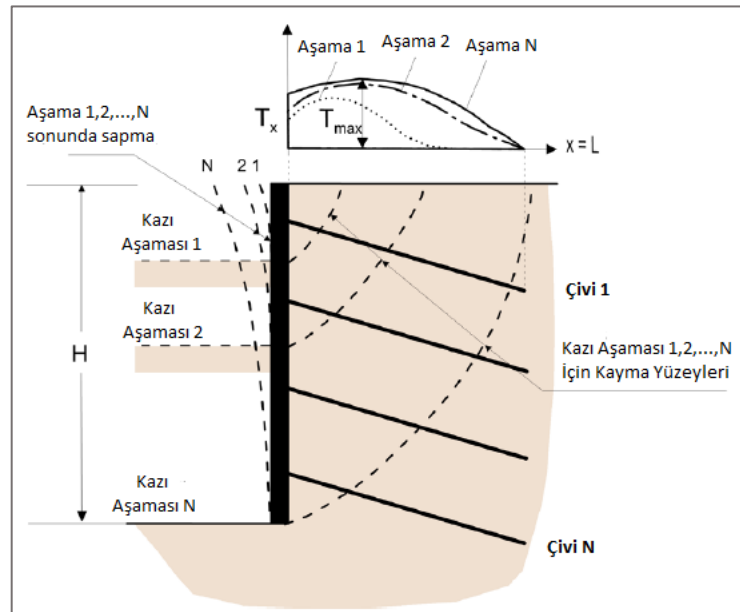
- zemin çivilerinin mekanik özellikleri (çekme dayanımı, kesme dayanımı ve eğilme kapasitesi)
- zemin çivilerinin eğim ve yönlenmesi
- zeminin kayma dayanımı
- zemin çivilerinin ve zeminin bağıl sertliği
- zemin çivileri ve zemin arasındaki sürtünme
- zemin-çivi kafalarının boyutu
- yamacın doğası

2.4.1 Zemin Çivili Duvarlarda Yük Aktarım Mekanizması

Zemin çivili duvarların imalatı tamamlanıncaya kadar meydana gelen yük aktarım mekanizması genel olarak aşağıda verildiği gibi gerçekleşmektedir:

- Kazı aşaması 1 gerçekleştirildiğinde kazı arkasındaki zemin stabildir ve herhangi bir çivileme yapılmadan önce zemin desteksiz kalabilir. Bu kazı kademesinde sadece potansiyel kayma yüzeyleri boyunca mobilize olan zemin direnç sağlar.

- İlk zemin çivisinin yerleştirilmesinden ve ilk kaplamanın yapılmasından sonra kazı arkasındaki üst zemin kazı aşaması 1 boyunca dışa doğru deforme olma eğilimindedir. Zemin deformasyonu, kaplama yüzeyinde yanal zemin basıncı oluşturur. Bu basınç, zemin çivilerine ve çivilerden zemine aktarılır. Aktarılan basınç enjeksiyon-zemin yüzeyi boyunca kayma gerilmelerinin mobilize olmasıyla taşınır.
- Çivi boyunca değişen büyüklükte aksenal çekme kuvveti (T_1) meydana gelir. T_1 , Çivi 1 boyunca (x) mesafesinin bir fonksiyonu olarak değişir (Şekil 2.5'in üst kısmı). T_1 kaplamadan ($x=0$) itibaren bu kazı aşaması için düşünülen kritik kayma yüzeyi yakınlıklarına kadar artarak maksimum değerine (T_{max}) ulaşır. Ve zemin çivisi sonuna doğru azalır ($x=L$, burada L , Çivi 1'in uzunluğu).
- Kazı Aşaması 2'de, kısmen tamamlanmış duvar ve zeminlerin üst kısmı daha da deforme olur. Bu kazı aşamasında kritik kayma yüzeyi, önceki kazı seviyesinden daha büyüktür. Çünkü deforme olmuş zeminin hacmi daha derin bir kazı ile büyür. Ek zemin deformasyonu; kaplama yüzeyinde ek basınçlara, daha büyük T_1 çekme kuvvetine ve çivi-zemin ara yüzünde daha büyük kayma gerilmelerine neden olur. Kritik kayma yüzeyi kazı yüzeyinden daha ileriye doğru ilerledikçe, T_{max} 'ın konumu da kaplama yüzeyinden ileriye doğru hareket eder.
- Kazı aşaması 2'de çivi 2 yüklendikten ve kaplama yapıldıktan sonraki zemin hareketi, çivi 1'e ek yüklerin aktarılmasına neden olur. Ve bu aşamada yeni yerleştirilen çivi 2'de yükler oluşur.

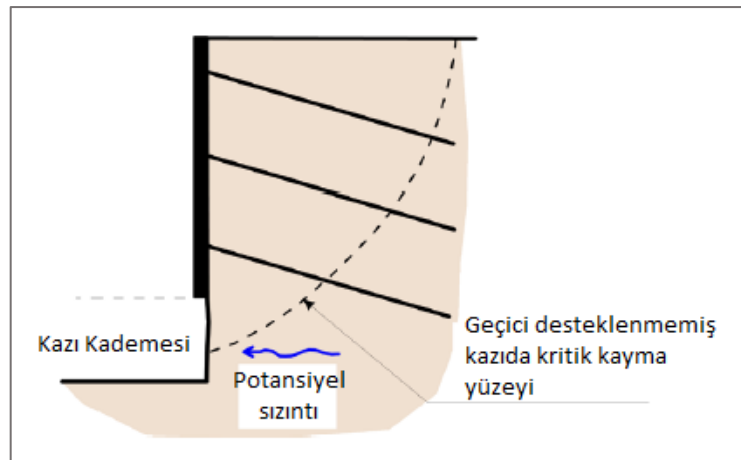


Şekil 2.5: Potansiyel kayma yüzeyleri ve çivi çekme kuvvetleri [14].

- Son kazı aşamasına gelinceye dek, kazı aşamalarında artan yanal deformasyonlar önceki aşamalarda olduğu gibi çivi-zemin ara yüzü boyunca kayma gerilmesinin ve eksenel kuvvetin artmaya devam etmesine neden olur. Bu çivilerdeki maksimum kuvvete muhtemelen son kazı aşamasında ulaşılabilir.
- Her bir kazı aşaması ile artan yanal deformasyon, üst çivilerdeki yüklerin yeniden dağılmasına ve muhtemelen azalmasına neden olabilir. Üst çivilerin daha büyük bir kayan kütle için stabilizasyonuna katkısı, kritik kayma yüzeyleri derinleştikçe azalır. Üst çiviler, bazı durumlarda tamamıyla pasif duruma geçebilir. Ancak üst çiviler lokal stabilitenin sağlanması bakımından hala önemlidir.

Çivi kuvvetleri, inşaatın sona ermesinden sonra, zaman içinde ve uzun dönem koşulları için yaklaşık yüzde 15'e kadar bir artış eğilimi göstermektedir. Çivilerdeki bu inşaat sonrası artışlar esas olarak zemin sünmesi ve gerilmelerin gevşemesi nedeniyle meydana gelmektedir. Zemin çivi tasarımında yükteki bu artışlar, zemin sünmesini hesaba katacak uygun bağ kuvveti değerleri seçilerek göz önünde bulundurulmalıdır.

Zemin çivili duvarların tasarımında, hem ara hem de son kazı aşamalarında her zemin çivisi seviyesinde en kritik durumu belirlemeyi göz önünde bulundurmalıdır. Çoğu tasarım için kritik durum; sabit yük, değişken yük ve deprem gibi aşırı yüklerin birlikte duvarda etkili olduğu durumlarda ortaya çıkar. Bununla birlikte, bir kazı aşaması tamamlandıktan sonra çiviler ve püskürtme beton bu seviyede uygulanmadan önce kritik bir durum ortaya çıkabilir (Şekil 2.6). Bu aşamada desteklenmeyen kesimin kararsızlık potansiyeli, sızıntı kuvvetlerinin açık yüzeye etki etmesiyle daha da şiddetlenebilir.



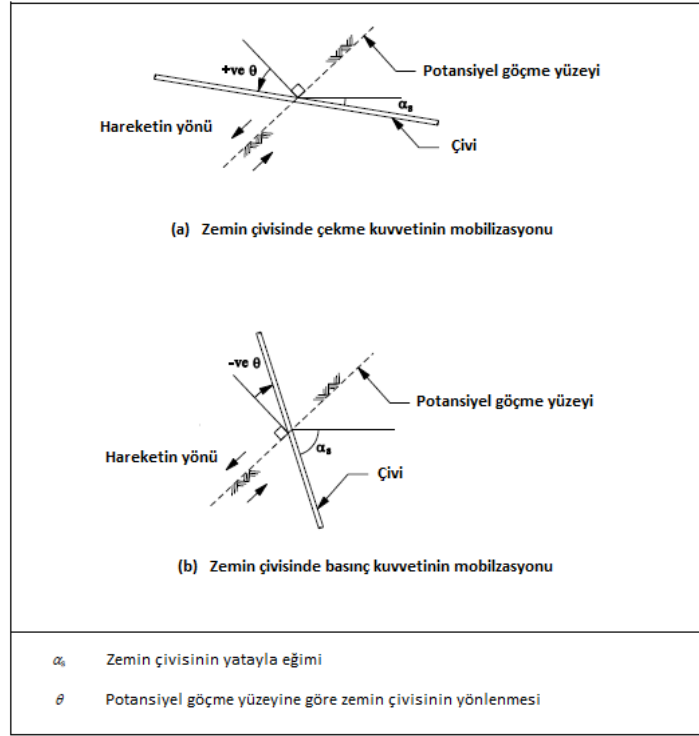
Şekil 2.6: İmalat aşamasındaki potansiyel kritik stabilite durumu [14].

2.4.2 Zemin - Çivi Etkileşimi

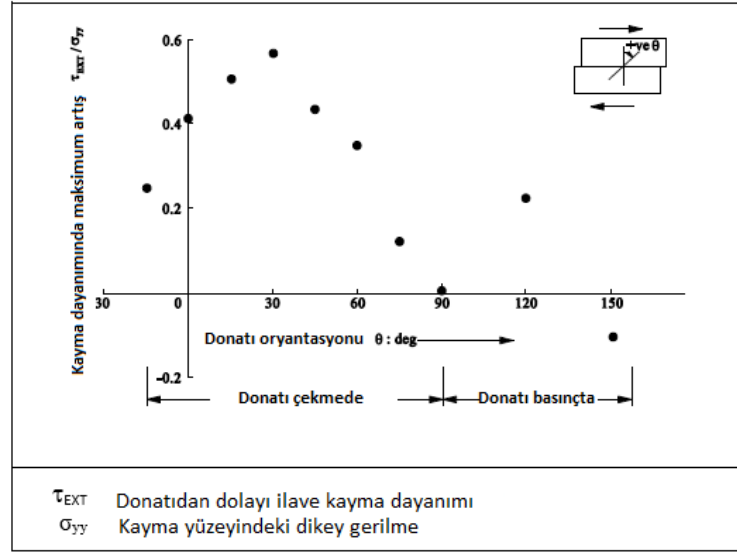
Aktif bölgede; zemin, zemin çivileri, çivi başları ve kaplama arasındaki etkileşim yoluyla zemin çivilerinde kuvvetler gelişir (Şekil 2.4). Çivi-zemin etkileşiminin iki temel mekanizması vardır. Bunlar; zemin çivilerinde aksenal çekme ya da basınç gelişmesine yol açan çivi-zemin sürtünmesi ile zemin çivilerinde kesme ve bükülme momentlerinin gelişmesine neden olan zemin çivilerinin kenarlarındaki çivi-zemin sürtünmesi ve zemin çivilerindeki zemin taşıma gerilmesidir.

Zemin çivileri, zeminin maksimum çekme birim deformasyon yönüne yakın hizalıysa, zemin çivilerindeki hareket aslında çivi-zemin sürtünme mekanizması vasıtasıyla geliştirilen gerilmedir. Kayma gerilmeleri ve bükülme momentleri; zemin çivilerinin kenarlarındaki çivi-zemin sürtünmesiyle beraber zemin taşıma gerilmelerinin sayesinde zemin çivilerinde gelişir. Homojen ve izotropik bir zemin kütleğinde, kayma gerilmelerinin mobilizasyonu ve zemin çivilerinin bükülme momentleri servis yükü koşulları altında küçük olmaktadır. Zemin çivileri, aksine zemindeki basınç birim deformasyonu yönünde hizalanırsa, zemin çivilerinde basınç kuvvetleri gelişecektir. Bu, zeminin potansiyel göçme yüzeyindeki normal gerilmelerin azalmasına yol açabilir ve bu da desteklenmiş zemin kütleğinin kayma direncini azaltır. Zemin çivileri sıfır aksenal birim deformasyon yönünde hizalanırsa, bunlar yalnızca kesmeye ve bükülmeye maruz kalırlar. Bununla birlikte, zemin çivilerinin nispeten ince boyutları nedeniyle, bu takviye edici katkılar genellikle ihmal edilebilir düzeydeki küçük eğilme dayanımı ile sınırlıdır [14].

Buraya kadar, zemin-çivi eğiminin, zemin çivilerindeki kuvvetlerin mobilizasyonu üzerindeki etkisine değindik. Genel olarak, bir zemin çivinin gerilme kuvvetini mobilize etme etkinliğı, zemin çivisinin yataya eğimi arttıkça, Şekil 2.7'de gösterildiğı gibi azalır. Zemin çivilerinin yatay olarak eğimli olduğı çoğı zemin için, bir zemin çivisinin tam bükülme ve kayma direncini mobilize etmek için gereken minimum deformasyon, tam çekme dayanımını mobilize etmek için gerekli olandan yaklaşık bir kat daha büyüktür. Ve bu nedenle zemin çivilerinin ana etkisi çekmededir [7]. Zemin çivileri dik bir şekilde eğimli ise, zemin çivilerinin bazıları basınç halinde olabileceğinden, zemin çivilerinin etkinliğı önemli ölçüde azalacaktır. Bu nedenle, dik eğimli zemin çivileri dikkatli kullanılmalıdır. Şekil 2.8, donatı oryantasyonunun zeminin kayma dayanımı üzerindeki etkisini göstermektedir.



Şekil 2.7: Zemin çivisinde kuvvet mobilizasyonuna çivi eğiminin etkisi [12].



Şekil 2.8: Takviyeli zeminin kayma dayanımı artışında takviye yönlenmesinin etkisi [12].

Aktif bölgedeki zemin deformasyonu nedeniyle zemin-çivi kafasındaki zeminde basınç ve kayma birim deformasyonu gelişir (Şekil 2.4). Ortaya çıkan birim deformasyon, zemin çivi kafasının tabanına dik yöne yakınsa, kafa-zemin etkileşimi bir taşıma mekanizması şeklinde baskın olacaktır. Bununla birlikte, ortaya çıkan birim deformasyon zemin-çivi kafasının tabanına önemli ölçüde normalden sapan bir yönde ise taşıma ve kayma mekanizmalarının bir

kombinasyonu olacaktır. Bu durumda, zemin çivi kafasının, zemin çivisindeki çekme kuvvetini mobilize etme etkinliği azaltılacaktır.

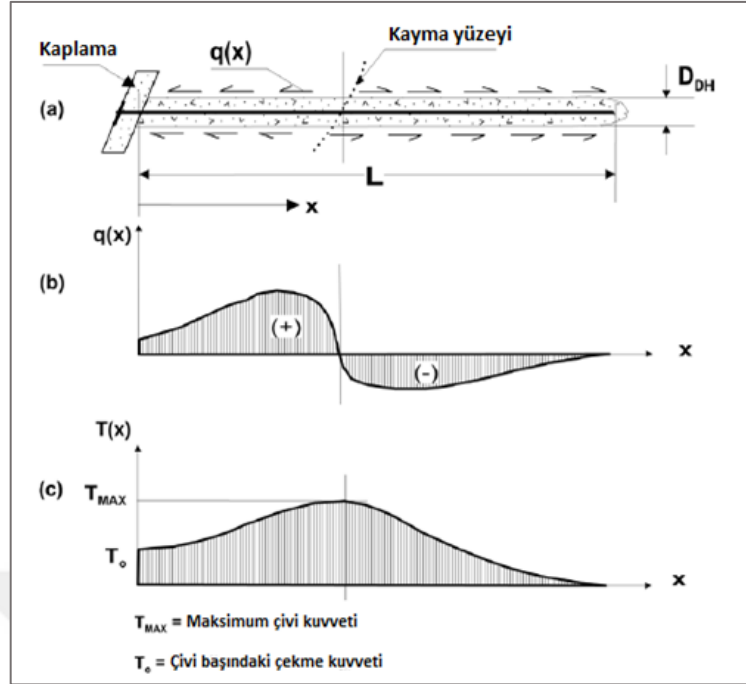
Zemin çivileri, zemin çivi başları ve kaplama, aktif bölgeyi pasif bölgeye bağlamak için birlikte hareket eder. Zemin çivisi başları ve zemin arasındaki etkileşim, özellikle taşıma mekanizması, zemin çivilerinin kafalarındaki çekme yüklerinin artmasına yol açar. Zemin-çivi başlarındaki çekme yükleri, zemin-çivi takviyesi ile alınır. Bir zemin çivisindeki çekme kuvveti, zemin çivisi başının boyutu ve kaplamaya bağlı olarak artabilmektedir.

Potansiyel göçme yüzeyinin arkasındaki pasif bölge, çivilerin sıyrılmasını önleyen bağ uzunluğuyla zemin çivilerinin uç bölgesini içerir. Aktif bölgede zemin deformasyonu olduğunda pasif bölgedeki zemin çivilerinde çekme kuvvetleri uyarılır (Şekil 2.4). Zemin-enjeksiyon ve enjeksiyon-çivi arasındaki bağ gerilmelerinin mobilize olmasıyla, sıyrılma kuvveti, zemin-çivi takviyesi ile transfer edilir. Bir zemin çivisinde geliştirilebilecek kuvvet, zemin ile enjeksiyon ve enjeksiyon ile çivi arasında mobilize edilebilecek bağ gerilmeleri ile sınırlıdır.

Teorik olarak enjeksiyon ile zemin arasındaki bağ dayanımı, temas gerilmesine ve enjeksiyon ile zemin arasındaki ara yüz sürtünme katsayısına bağlıdır. Delme işlemi, sondaj deliğinin çevresindeki radyal gerilmeyi önemli ölçüde azaltmaktadır. Gerçekte, genellikle delme ile oluşan matkap deliği yüzü oldukça düzensiz ve pürüzlüdür. Sürtünmeden ayrı olarak, enjeksiyon ile zemin arasındaki mekanik kilitleme, bağ dayanımının önemli bir kısmına katkı sağlar. Zemin çivisinin çekilmesi üzerine, zemin çivisiyle donatılmış sonlu bir bölgedeki zemin kütlesi içinde kesme meydana gelebilir. Eğer zemin dilatif ise, kısıtlanmış zemin dilatasyonunun etkisi devreye girecektir. Bu etki önemli olabilir çünkü zemin çivisi ile zemin arasında yüksek sürtünmeye neden olabilir.

2.4.2.1 Çekme kuvveti dağılımı

Zemin, çivi ve kaplama arasındaki etkileşim karmaşıktır ve çivilerdeki çekme kuvvetlerinin yeniden dağılımına neden olur. Enjeksiyon-zemin ara yüzü (q) boyunca mobilize edilen kayma gerilmesi genel olarak üniform değildir ve çivi uzunluğu boyunca değişir (Şekil 2.9a ve b). Çivi boyunca oluşan çekme kuvveti Şekil 2.9c'deki gibidir.

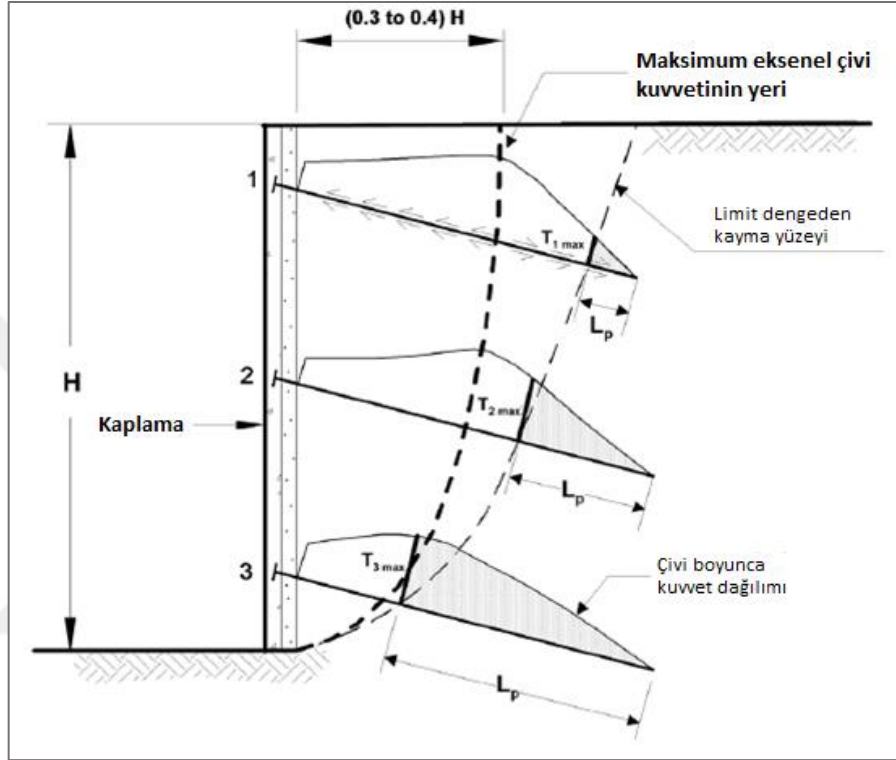


Şekil 2.9: Kayma gerilmeleri ve çekme kuvvetleri dağılımı [14].

Bir çivide gelişebilecek çekme kuvveti, çivinin kayma yüzeyinden geçtiği yere bağlıdır. Maksimum çivi çekme kuvvetlerinin konumu, kritik kayma yüzeyine yakındır ancak genel olarak çakışmaz. Şekil 2.10'da çekme kuvvetlerinin tipik bir zemin çivili sistemde stabiliteye katkısı gösterilmektedir. Gösterildiği gibi, yüklerin büyüklüğü çividen çiviye değişir. Aynı şekilde maksimum yükün yeri de çividen çiviye değişir. Bir zemin çivisinin kayma yüzeyi ile kesişimi, sıyrılma direnci geliştirebilecek olan zemin çivisinin uzunluğunu (L_p) belirler. Üst zemin çivisinin (T_1) stabiliteye katkısı nispeten küçüktür çünkü çivi uzunluğu (L_p) bu çivi için küçüktür. T_2 ve T_3 çivilerinin katkıları ise daha büyüktür çünkü çivi uzunluğu (L_p) bu çivilerde daha büyüktür. Kayma yüzeyindeki çivi 1, çivi 2 ve çivi 3'ün maksimum yükü Şekil 2.10'da gösterildiği gibi sırasıyla T_{1max} , T_{2max} , T_{3max} 'tır. Herhangi bir çivide meydana gelecek maksimum çekme kuvveti, sadece çivinin çekme dayanımı ile değil, aynı zamanda kaplamanın çeşitli dirençleriyle de ilgili olmaktadır.

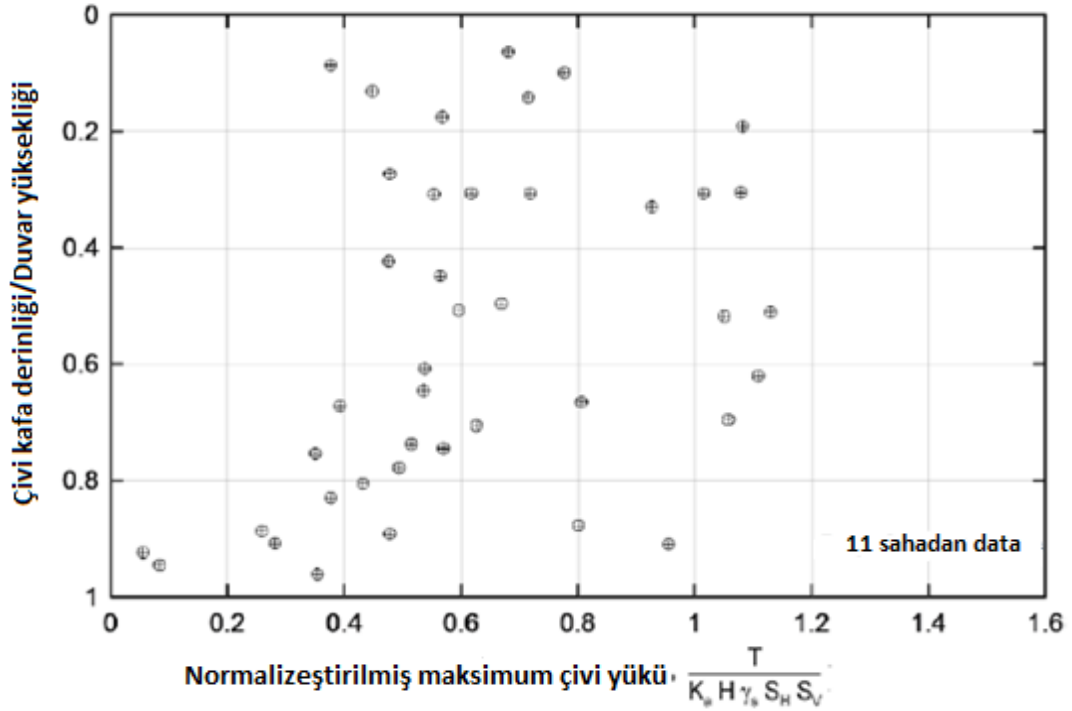
Şekil 2.11, tam ölçek aletli zemin çivi duvarlarından elde edilen maksimum çivi çekme kuvvetlerinin dağılımını göstermektedir. Şekil değiştirme ölçümleri, bu duvarların üst kısmındaki maksimum gerilme kuvvetinin, duvar yüzeyinin arkasında yaklaşık $0.3H$ ile $0.4H$ arasında gerçekleştiğini gösterilmiştir. Aynı şekilde bu aralıklar Şekil 2.10'da da görülmektedir. Duvarların alt kısmındaki maksimum gerilme kuvveti, duvar yüzeyinin arkasında yaklaşık $0.15H$ ile $0.2H$ arasında meydana gelmektedir. Ölçülen çivi kuvvetleri; zemin birim ağırlığı,

zemin çivisinin dikey ve yatay aralığı, duvar yüksekliği ve hesaplanan aktif zemin basınç katsayısı ile normalizeştirilmiştir. Duvarın yüksekliğinin bir fonksiyonu olarak gösterilen bu normalleştirilmiş kuvvetler, uzun dönemi ve servis zemin çivisi kuvvetlerini temsil etmektedir. Bu değerlere, don ve deprem yükü gibi yüzdeki çivi kuvvetleri üzerindeki diğer etkilerin dahil edilmediği belirtilmektedir.



Şekil 2.10: Zemin çivilerinde maksimum çekme kuvvetlerinin lokasyonu [14].

Çekme kuvvetleri, Şekil 2.11'in normalize edilmiş yükleri kullanılarak ve bireysel çivilerin ($S_v \times S_H$) etrafındaki bir etki alanı göz önüne alınarak tahmin edilebilir. Duvarın üst üçte ikisindeki maksimum çivi çekme kuvveti, yaklaşık $T_{max} = 0.50 K_a \gamma_s H S_v S_H$ ile $T_{max} = 1.1 K_a \gamma_s H S_v S_H$ arasında değişir. Duvarın üst üçte ikisinde normalize edilmiş ortalama 0,75 olduğu düşünüldüğünde, ortalama maksimum çekme kuvveti $T_{max} = 0.75 K_a \gamma_s H S_v S_H$ olarak tahmin edilebilir. Duvarın alt üçte birindeki maksimum çekme kuvveti, üst kısımdaki maksimum kuvvetin yaklaşık yüzde 50'sidir. Ayrıca zemin çivilerinde ortalama maksimum çekme kuvvetinin, üst çivi dizisi için $T_{max} = 0.65 K_a \gamma_s H S_v S_H$ ve daha düşük çivi sıraları için bu değer yarısının kullanılabileceğini de önerilmektedir.



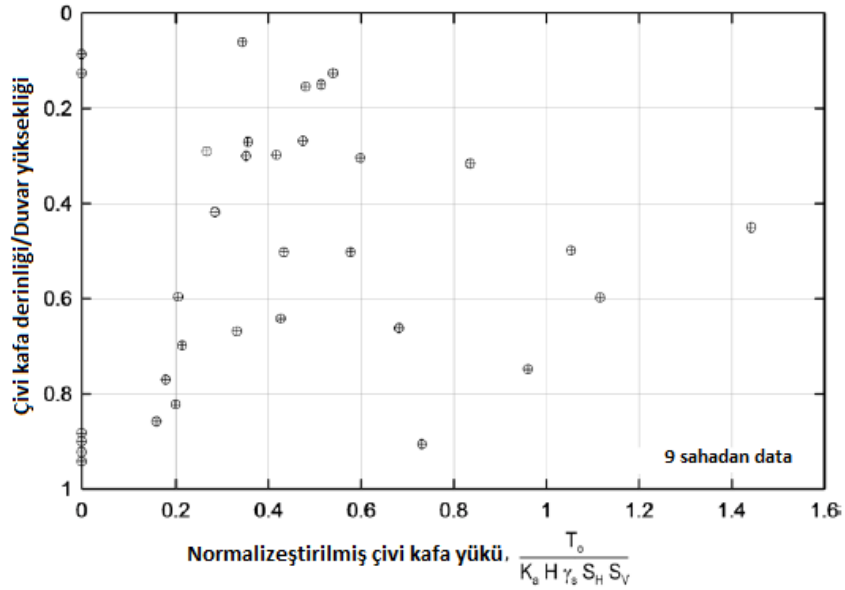
Şekil 2.11: Zemin çivili duvarlarda ölçülen maksimum çivi çekme kuvvetlerinin özeti [14].

2.4.2.2 Duvar Kaplamasındaki Çekme Kuvvetleri

Duvar kaplamasında çivi baş kuvveti olarak da adlandırılabilen çivi çekme kuvveti T_o , zemin çivisi üzerindeki kuvvetlerden daha küçüktür. Şekil 2.12, zemin çivili duvarların kaplamasında ölçülen normalize edilmiş çivi çekme kuvvetlerinin, hizmet durumundaki dağılımını göstermektedir. Bu kuvvetlere don ve diğer faktörlerin etkisi dahil edilmemiştir. Kuvvetlerin kaplamadaki genel dağılımı, Şekil 2.12’de gösterilen maksimum çivi kuvvetleriyle karşılaştırılabilir. Normalize edilmiş T_o değerleri yaklaşık 0.6 ile 1.0 arasında değişmektedir. Duvarın üst üçte ikisindeki normalleştirilmiş çivi başı çekme kuvveti, yaklaşık 0.40 ila 0.70 arasında olmaktadır. Çivi başındaki ortalama çekme kuvveti, yaklaşık olarak $T_o = 0.50 K_a \gamma_s H S_V S_H$ ile $T_o = 0.60 K_a \gamma_s H S_V S_H$ aralığında olduğu belirtilmektedir.

2.4.2.3 Tasarım Hususları

Bir zemin çivisindeki çekme yükü, çivinin sıyrılma direnci (R_{PO}), çivinin çekme direncinin (R_T) ve çivinin kaplama direncinin minimumu tarafından belirlenir veya sınırlanır (Şekil 2.13). Çivi yükleri, 1 ... N çivileri için sırasıyla $T_1 \dots T_N$ olarak tanımlanır. Burada N, bir duvardaki toplam çivi sırası sayısıdır. Her çivide ulaşılabilen maksimum yük, $T_{max,i}$, limit-denge stabilite analizlerinden türetilir ve yukarıda belirtilen şartlarla kontrol edilir.



Şekil 2.12: Zemin çivili duvarlarda ölçülen kaplama çekme kuvvetlerinin özeti [14].

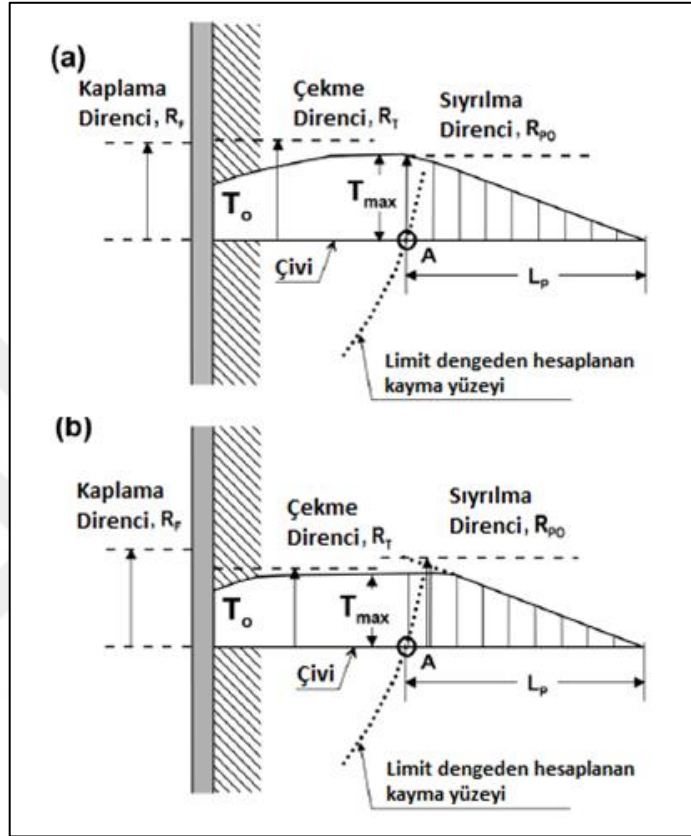
$R_{PO} < R_T$ ve R_F ise, sıyrılma T_{max_i} 'yi kontrol eder (Şekil 2.13a). $R_T < R_P$ ve R_F ise, çekme direnci kontrol eder (Şekil 2.13b). Son olarak, eğer $R_F < R_T$ ve R_P ise, zemin çivisi "i" deki T_o kaplama direnci kontrol eder.

Çoğu tasarım durumunda, tüm çiviler aynı çekme direncine ve aynı kaplama direncine sahiptir. Bu nedenle, $R_{Ti} = R_T$ ve $R_{Fi} = R_F$. Bununla birlikte, gelişen sıyrılma direnci her çivide farklıdır, çünkü bağ dayanımı ve matkap deliği çapı tüm çiviler için aynı olsa bile, sıyrılma direnci geliştirebilen uzunluk, L_p , genellikle farklıdır. Şekil 2.13'de gösterilen A noktasının konumu, L_p uzunluğunu tanımlar.

Pratikte tüm çiviler, daha önce de belirtildiği gibi, tüm çivilerin maksimum T_{max_i} 'si olan T_{max} esas alınarak tasarlanır. Çünkü en kritik yüklü çivi veya çivi sırası tasarımın temeli olduğundan, diğer çiviler en azından kritik kayma yüzeyi için fazla tasarlanmıştır. Bununla birlikte, diğer zemin çivi sıraları, diğer kayma yüzeyleri ve diğer kazı aşamaları için önemlidir. Bir tasarımcı, her bir çiviye T_{max_i} değerlendirerek tasarımı optimize etmeyi düşünebilse de, bu uygulamada nadiren yapılır.

Limit-denge stabilite analizleri, zemin çivilerindeki maksimum yüklerin doğru bir şekilde tahmin edilmesinde sınırlamalara sahiptir. Çünkü bu programlar yukarıdan aşağı imalat sisteminin bir sonucu olarak ortaya çıkan gerçek yük mobilizasyon etkileşimini ve karmaşık duvar deformasyonu dikkate alamaz. Ek olarak, limit-denge stabilite analizleri ile tahmin edilen yükler, seçilen zemin çivi düzenine (yani, zemin çivi uzunluğu, dikey aralık ve duvarın

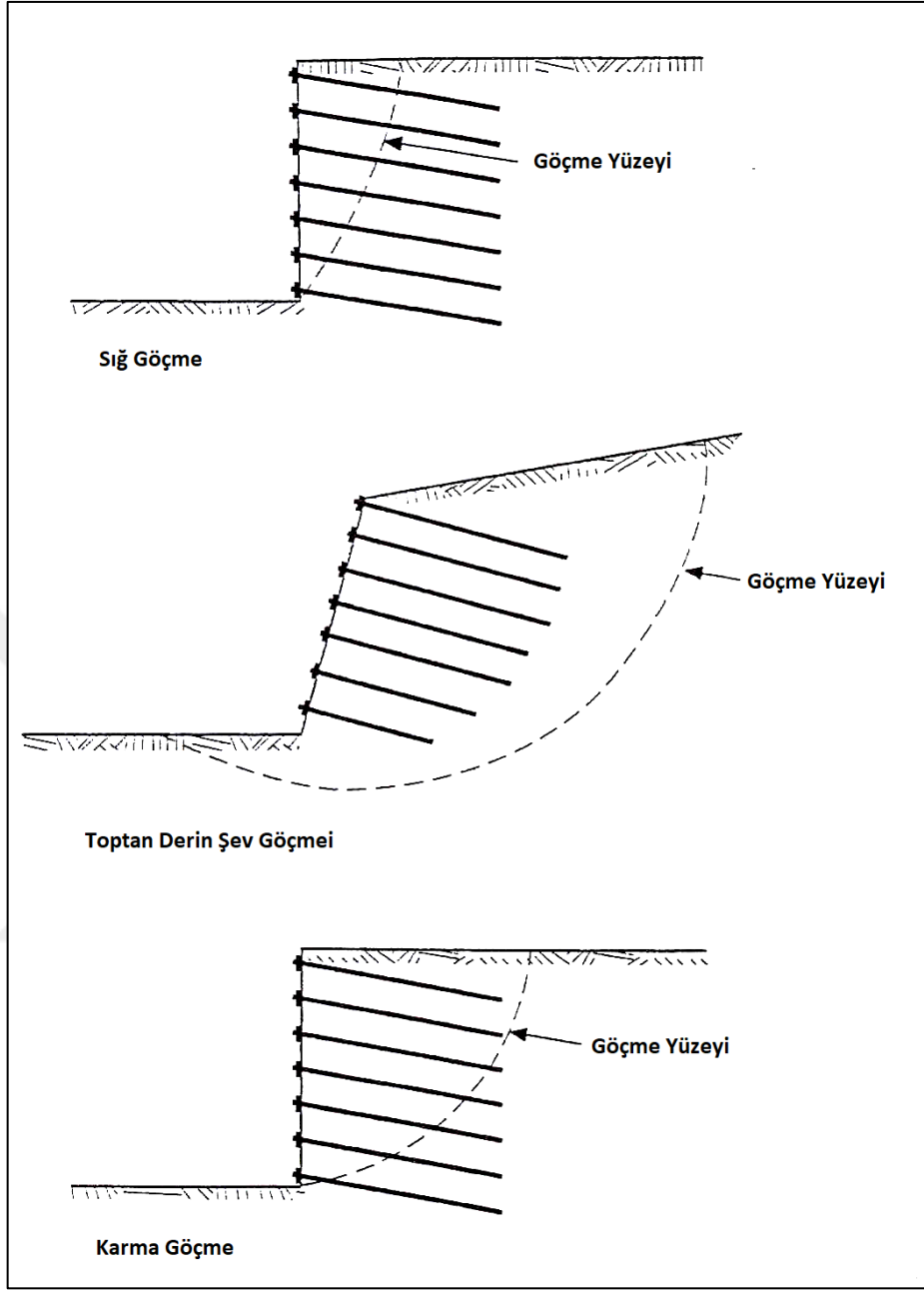
yüksekliğinin eğimi) bağlı olarak önemli ölçüde değişebilir. Her birinin limit-denge stabilite analizleri aynı güvenlik faktörünü sağladığında iki farklı zemin çivisi düzeneği eşdeğer görünebilir. Bununla birlikte, her düzen için hesaplanan maksimum zemin çivi yükleri büyük ölçüde değişebilir.



Şekil 2.13: Kuvvetlerine sınırlamalar: (a) sıyrılma direnci kontrolü, (b) çekme direnci kontrolü [14].

2.4.3 Zemin Çivili Duvarların Göçme Durumları

Zemin çivili duvarlarda göçme biçimleri, meydana gelen kayma yüzeyine göre üç şekilde oluşmaktadır. Birinci göçme biçiminde kayma yüzeyi tüm çivileri ile kaplamayı kesmektedir ve durum sığ veya yerel göçme olarak adlandırılmaktadır. İkinci göçme biçimi, kayma yüzeyinin çivilerle kesişmeden meydana geldiği derin veya genel göçmedir. Son göçme biçimi ise çivili bölgenin sığ göçmesi ile genel göçme biçimini de içeren karma göçmedir. Üç göçme biçimi de Şekil 2.14'de gösterilmektedir. Hem sığ hem de karma göçme biçimleri, çivinin kopması ve zeminden sıyrılması, kaplamanın ve kaplamanın çiviyle bağlantısının göçmesi etkisiyle meydana gelebilir.



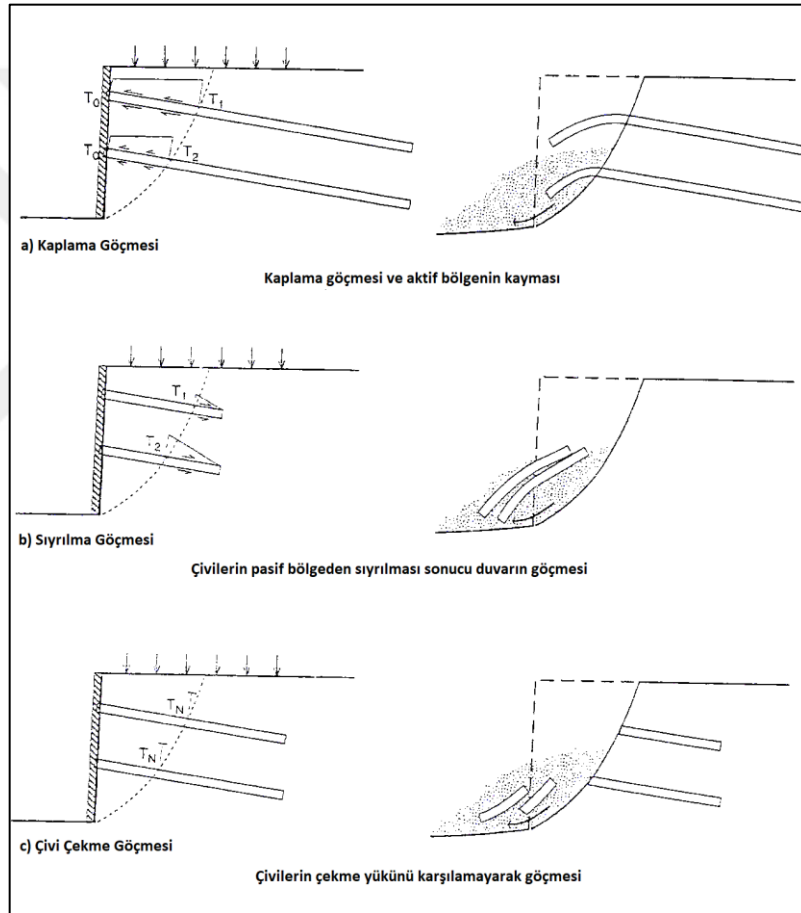
Şekil 2.14: Zemin Çivili Duvarların Göçme Biçimleri [7].

Zemin çivili duvarlardaki sığ göçmeye neden olan üç olasılık Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Şekil 2.15a'da yüksek çekme dayanımı sağlayan ve uzun boydaki çivilerle yapılmış bir zemin çivili duvar gösterilmektedir. Yüksek çekme dayanımına sahip çiviler, çivinin koparak göçmesini engellemektedir. Uzun çivi boyu sayesinde ise, çiviler pasif bölgeden sıyrılarak göçmemektedir. Aktif bölgenin göçmesi ise kaplama dayanımı veya çivi-kaplama bağlantısı yetersizliğinden meydana gelmektedir.

Şekil 2.15b'de zemin çivili duvar, yüksek çekme dayanımına sahip ancak daha kısa boydaki çivilerden oluşmaktadır. Aktif bölgenin desteklenmesi için gerekli olan çivi kuvveti, çivinin

potansiyel kayma yüzeyi arkasında kalan uzunluğuna ve çivi-zemin arasında meydana gelen nihai birim sıyrılmaya direncine bağlıdır. Bu göçme biçiminde; direnç sağlayan pasif bölgedeki çivi sıyrılmaya direnci, çivinin çekme dayanımı ve kaplama dayanımından daha küçüktür. Dolayısıyla göçme, çivilerinde dirençli bölgeden sıyrılmalarıyla oluşmaktadır.

Şekil 2.15c'de ise çiviler uzun boyda yapılmış ve yüksek dayanımlı kaplama ile oluşturulmuştur. Çivinin çekme dayanımı da makul seviyelerdedir. Bu durumdaki göçme, çivilerin dirençli bölgeden sıyrılmalarından önce veya kaplama dayanımı aşılmadan önce çivinin yeterli çekme dayanımı gösterememesinden meydana gelir.



Şekil 2.15: Zemin Çivili Duvarların İç Göçme Biçimleri [7].

2.4.4 Zemin Çivili Duvarların Deformasyon Davranışı

Zemin çivili duvarlar pasif bir takviye sistemidir ve hizmet ömrü boyunca bir miktar deformasyon beklenmelidir. Duvarın maksimum yatay ve düşey deformasyonları, zemin çivili duvarlarda tasarımın bir parçası olarak incelenmesi gereken bir konudur. Gerçekleşecek olan bu deformasyonlar, duvar için tolere edilebilir makul deformasyon sınırları içerisinde olmalıdır.

Bir zemin çivili duvar ve arkasında desteklediği zemin kütlesi, inşaat sırasında ve sonrasında kazı bölgesine doğru deforme olma eğilimindedir. Granüler zeminleri destekleyen zemin çivili duvarların deformasyonlarının çoğu, kazı sırasında veya kazıdan kısa bir süre sonra meydana gelmektedir. İnşaat sonrası deformasyonlar ise; duvar, temel veya desteklenen zeminde bozulma olmadığı sürece genellikle küçüktür. İnce taneli zeminleri destekleyen zemin çivili duvarlardaki deformasyonlar ise genellikle zeminin sünme davranışı nedeniyle zaman içerisinde tahmin edilenden daha büyük değerlere ulaşabilir. Zemin çivilerinin gerilme kuvvetleri sistem gereği zeminin deformasyonlarına bağlı olduğundan çivi kuvvetleri de deformasyona bağlı olarak zamanla artabilmektedir. Dolayısıyla ince taneli zeminlerde tasarım yaparken, zamana bağlı deformasyonların doğrudan ve dolaylı olarak etkilerinden dolayı daha dikkatli olunmalıdır.

Zemin çivili duvarlarda maksimum yatay deformasyonlar genellikle duvarın tepesinde meydana gelir. Maksimum düşey deformasyonlar ise genellikle kaplamaya yakın bölgelerde meydana gelmektedir ve duvarın tepesinde meydana gelen yatay deformasyonlarla ya aynı büyüklükte ya da çoğunlukla daha küçüktür. Şekil 2.16'da ise bu deformasyon şekli görülmektedir. Deformasyon şekline imalat süreci etkisi önemli olmaktadır. Kazı yapılarak inşa edilen sert kaplamalı sistemlerde deformasyon şekli belirtildiği gibi olmaktadır. Ancak kazı yapılarak inşa edilen esnek kaplamaya sahip sistemlerde ve hali hazırda mevcut olan şevler çivilerle desteklendiğinde sistemin deformasyon şekli değişmektedir ve maksimum deformasyonlar duvarın tepesinde değil tepeye yakın bölgelerde meydana gelebilmektedir.

Çivi aralıkları, çivi eğimi ve sürşarj yüklerinin artmasıyla yatay deplasmanlar artmaktadır. Aynı şekilde uzun duvarlarda da yatay deplasmanlar daha büyük olmaktadır. Zeminin ve kaplamanın sertliğinin artmasıyla ise yatay deplasmanlar daha küçük olmaktadır. Düşey deplasmanlar da benzer faktörlerden etkilenir. Genel olarak zemin çivili sistemlerin deformasyon özelliklerini doğrudan etkileyen faktörlere şunları örnek verebiliriz:

- jeolojik yapı ve profil
- zemin tipi ve sertliği
- geometri (örneğin eğim açısı, yataydan çivilerin eğimi, çivi uzunlukları ve aralığı)
- toprak güvenliği küresel faktörü
- kaplamanın sertliği
- zemin çivisinin elastik özellikleri

- alttaki zemin tabakasının taşıma kapasitesi ve deformasyon özellikleri
- ek yüklerin büyüklüğü
- boşluk suyu basınçları, drenaj sisteminin performansı ve boşluk basıncını dengelemesi
- kazının bazal kabarması
- kurulum (örneğin çivi kurulum yöntemi, geçici kazı yükseklikleri, destek yöntemi, inşaat oranı, fazla kazı ve çalışma platformu genişliği)

Duvarın üstündeki uzun dönem maksimum yatay ve düşey deplasmanlar, δ_h ve δ_v (Şekil 2.16), aşağıdaki formülle tahmin edilebilir.

$$\delta_v \approx \delta_h = (\delta_h/H)_i \times H$$

$(\delta_h/H)_i$, Tablo 2.1’de belirtildiği gibi, zemin koşullarına bağlı bir orandır.

Bu denklemin şu şartları sağladığı sürece geçerli olacağı belirtilmektedir:

- $L/H \geq 0.7$ oranı, burada L = zemin çivi uzunluğu, H = duvar yüksekliği
- Sürsarj yükünün ihmal edilebilir olması
- Genel stabilite için $GS_{GS} \geq 1.5$

Tablo 2.1: Zemin koşullarına göre C ve $(\delta_h/H)_i$ değerleri.

Değişken	Yıpranmış Kaya ve Sıkı Zeminler	Kumlu Zeminler	İnce Taneli Zeminler
$(\delta_h/H)_i$	1/1000	1/500	1/333
C	0.8	1.25	1.5

Zemin deformasyonu, duvarın arkasında D_{DEF} şeklinde belirttiğimiz bir mesafeye kadar önemli olabilir (Şekil 2.16).

$$D_{DEF} = C (1 - \tan\alpha) H$$

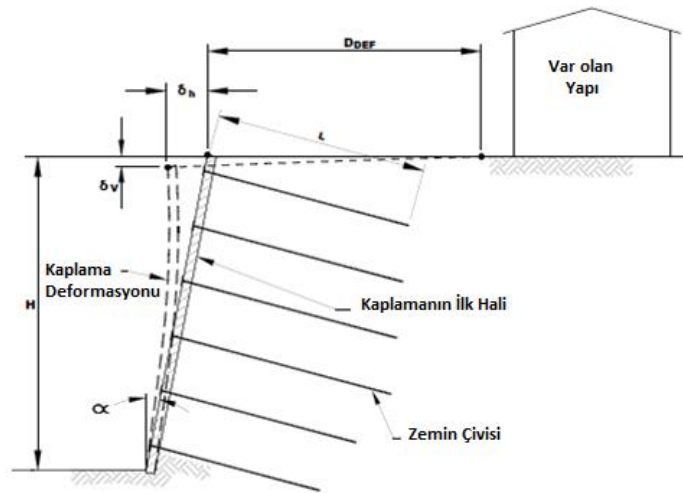
Maksimum yanal hareket, ince taneli zeminler için yaklaşık % 0.3H, granüler zeminler için % 0.2H, yıpranmış kayalarda ve sıkı zeminlerde % 0.1H ile sınırlandırılmalıdır. Yanal hareketten etkilenen bölge, ince taneli zeminlerde 1.5H’ye kadar olabilen bir D_{DEF} mesafesine artabilir.

İnşaat sırasında 0.005H’den daha yüksek yatay deplasmanlar meydana geldiğinde, genellikle kabul edilebilir performansın üst sınırını oluşturdukları için bu tür deplasmanları getiren

yerlerde dikkatli olunmalıdır. Gerektiğinde, yapısal olarak daha güçlü duvar kullanarak, duvarın üst kısmına daha uzun çiviler yerleştirerek veya duvarın birim alanı başına çivilerin toplam çelik bölümünü artırarak deformasyonları azaltmak mümkündür. Bazı durumlarda zemin ankrajlarının zemin çivileriyle birlikte kullanmak bile gerekebilir.

Zemin çivi duvarlarından yapılan inşaat sonrası izleme verileri, hareketlerin duvar yapımından sonra bazen 6 aya kadar bile devam etme eğiliminde olduğunu bilinmektedir. Zeminin sünme davranışı bu deplasmanların oluşmasında etkilidir. Uzun dönemde, inşaattan hemen sonra meydana gelenlerin ötesinde yüzde 15'e kadar yüksek deplasmanlar meydana gelebilir. Bu inşaat sonrası hareketin bir sonucu olarak çivilerde ilave çekme kuvvetleri geliştirilir. Yüksek plastisiteli ince taneli zeminler (yaklaşık $PI > 20$) ve yüksek su içeriği ($LI > 0.2$ gibi) sünme potansiyelleri nedeniyle daha uzun süre deformasyona neden olurlar.

Karmaşık geometrilerde veya D_{DEF} mesafesi içinde bulunan kritik veya hassas bir yapıya yakın olarak duvar inşa edildiğinde (Şekil 2.16), deplasmanların büyüklüğünü ve dağılımını değerlendirmek için sayısal yöntemler kullanılabilir. Bu şekilde projenin yapılar üzerindeki potansiyel etkisi de sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilir. En yaygın sayısal yöntemler sonlu elemanlar yöntemi (FEM) ve sonlu farklar yöntemidir (FDM). Nümerik yöntemler özellikle zemin çivi duvarının nispeten büyük sürşarj yüklerine maruz kaldığında faydalı olabilir. Zemin çivi duvarının arkasındaki zeminin dikey yer değiştirmesini tahmin etmek için elastik tabanlı modellere göre plastiklik tabanlı zemin modelleri tercih edilmelidir. Kazıların zemin içindeki boşluk basınçlarının drenajını sağladığı durumlarda, zeminin uzun süreli sıkıştırılması ve bunun sonucunda oluşan oturma ve yanıl hareket de analizde dikkate alınmalıdır.



Şekil 2.16: Zemin Çivili Duvarların Deformasyonu [14].

2.5 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARDA ZEMİN KOŞULLARININ ETKİSİ

Zemin çivili duvarlar çeşitli zemin türlerinde ve koşullarında uygulanabilir bir yöntemdir. Uygun zemin koşullarında, zemin çivisi yönteminin diğer yöntemlere göre daha uygun maliyetli olduğu bilinmektedir. Karışık bir stratigrafi, uygun zemin koşulları ve stabil malzemelerde genellikle komplikasyonlar olmadan inşa edilebilir. Ancak bazı olumsuz zemin koşullarında, uygulaması zor ve diğer yöntemlere göre daha maliyetli ve riskli olabilmektedir. Zemin çivisi tekniğinin uygulanışı Lazerte ve diğ. [14] tarafından elverişli, zor ve elverişsiz zemin koşulları şeklinde üç ana başlıkta incelenmiştir. Ve bu üç zemin koşulları aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

2.5.1 Elverişli Zemin Koşulları

Zemin çivisi yöntemi aşağıdaki koşullarda, ekonomik olarak cazip ve teknik olarak uygulanabilir olduğu kanıtlanmıştır:

- Kazılan toprağın 1-2 metre derinlik boyunca dikey veya neredeyse dikey olarak bir ila iki gün boyunca desteklenmeden kalabildiği.
- Zemin çivileri, yeraltı suyu tablasının üstüne ve nispeten geçirgen bir formasyona yerleştirildiğinde.
- Zemin koşullarının, çiviler yerleştirilene ve enjeksiyon yapıncaya kadar sürede muhafaza kullanmadan stabil kalmasını sağladığı.

Taşıyıcı zeminin yeraltı suyu tablasının üstünde bulunduğu durumlarda, zemin çivisi yönteminin uygun olduğu varsayılmaktadır. Yeraltı suyu tablasının altında olmasına rağmen düşük geçirgenlik gösteren ve çok az sızıntı üreten ince taneli zeminlere çiviler yerleştirilebilir. Ancak, maliyeti artışı ve/veya teknik olarak uygulanması gibi çeşitli nedenlerle tercih edilmeyebilir. Tasarım yapılırken, boşluk suyu basınçlarının uzun süreli değişimi ve bu etkilerin duvarın iç ve genel stabilitesine etkisi göz önünde bulundurulmalıdır. Bu koşullarda aşırı büyük duvar deplasmanları geliştirme potansiyeli değerlendirmelidir. Granüler zeminlerdeki deplasmanlara kıyasla düşük geçirgenliğe sahip (ve muhtemelen biraz plastisiteli) ince taneli doygun zeminlerde deplasmanlar daha büyük olma eğilimindedir. Aşağıda zemin tiplerine göre genellikle uygun görülen koşullar açıklanmaktadır:

- **Görünür kohezyonlu sıkı ila çok sıkı granüler zeminler.** Sıkı ila çok sıkı kum, çakıl veya bunların bir kombinasyonu, bazı ince taneli (tipik olarak yüzde 10 ila 15'ten az) veya

kohezyon sağlayan zayıf doğal çimentolu ve SPT N_{60} değerleri ayak başına darbesi 30'dan fazla zeminler bu tür zeminlerdir. Kapilarite kuvvetleri, ne kuru ne de doymuş faz halinde olmamak şartıyla, doymamış halde kaldığı sürece ince kumlarda görünür kohezyon sağlayabilir. Granül zeminlerde zemin çivisi için gerekli asgari görünür kohezyonu değerlendirmek için şu anda geniş çapta kabul görmüş kriterler bulunmadığından, bu zeminlerde zemin çivi duvarlarının uygunluğunu değerlendirirken yerel deneyimler önemli bir rol oynayacaktır. Ayrıca, saha çalışmaları sırasında test çukurları veya yüzey kesmeleri kazılarak zemin kendini tutabilme kabiliyeti anlaşılabilir. Takriben 1 metre gibi derinlikteki desteklenmeyen kazı yüzlerinin stabilitesi için 10-15 kPa arasında minimum görünür kohezyon gereklidir. Kapilarite kuvvetlerin aşırı kırılmasını ve dolayısıyla görünür kohezyonun önemli ölçüde azalmasını önlemek için bazı önlemler alınmalıdır. Bu önlemler şunları içerebilir: (i) zeminin kurumasını önlemek için kuru havalarda kazı yüzlerinin birkaç saatten fazla açık kalmaması; (ii) yüzey suyunun kazının hemen arkasındaki desteklenmeyen zemine sızmasını önlemek; ve (iii) kazı yüzeyine doğru sızıntının önlenmesi.

- ***Olumsuz zayıflık düzlemleri ile yıpranmış kaya.*** Yıpranmış kaya, eğer varsa, uygun yönlerde zayıflık düzlemleri meydana geldiği sürece zemin çivilerini yerleştirmek için uygun bir malzeme olabilir. Aynı zamanda, kayanın yıpranma derecesinin yaklaşık olarak üniform olması arzu edilir, böylece sadece bir delme ve montaj yöntemi gereklidir. Bir sahada çok değişken bir seviyede kaya ayrışması varsa, yüklenici, maliyete etkilerini de düşünerek ekipmanı yeniden düzenlemeden veya değiştirmeden çeşitli zemin koşullarında delgi işlemi için hazırlıklı olmalıdır.
- ***Katı ila sert ince taneli zeminler.*** Bu zeminler katı ila sert killer, killi siltler, siltli killer, kumlu killer ve kumlu siltlerdir. İnce taneli toprakların kıvamının karakterizasyonu, SPT N veya N_{60} değerleri otomatik olmayan çekiçlerle veya diğer antika yöntemlerle elde edildiğinde dikkatli yapılmalıdır. Tutarlılık karakterizasyonu, diğer saha ve/veya laboratuvar testleriyle desteklenmelidir. Plastiklik indeksi (PI) 15'ten daha düşük olan ince taneli zeminlerde, uzun dönem potansiyelinin (sünme gibi) yanal deplasmanlara etkisi düşüktür.
- ***Mühendislik dolgusu.*** Zemin çivileri uygun koşullarda mühendislik dolgularında uygulanabilir bir yöntemdir. Dolgular kabul edilebilir sıkıştırma yöntemleri ve sıkıştırma enerjisi seviyeleri ile yerleştirilmelidir. Dolguların, likit değerinin (LL) 40'tan ve plastisite değerinin (PI) 20'den düşük değerlerine sahip ince taneli zeminler ile iyi dereceli granüller

bir malzemeyle (tercihen karışımın yaklaşık yüzde 90'ı veya daha fazlası olması) oluşturulması önemlidir. Ayrıca, mühendislik dolgularının yaşı uygunluk ve stabilite için kritiktir. Genç dolgular sorunlu olabilmektedir.

- **Rezidüel zeminler.** Bazı rezidüel zeminler (yani, ana kaya malzemesinin yerinde yıpranmasından kaynaklanan topraklar) zemin çivisi yöntemi için kabul edilebilir bir malzeme olabilir. Benzer şekilde lateritik zemin (oldukça yıpranmış bir tropik zemin) kabul edilebilir. Bu tip zeminler için zeminin mekansal değişkenliği ve drenaj kabiliyetine özel önem verilmelidir.

2.5.2 Zor Zemin Koşulları

Zor zemin koşulları, bir önceki bölümden bahsedilen elverişli zemin koşullarına göre daha az elverişli durumdur. Zemin çivili duvarlar bu tür zeminlere başarıyla yerleştirilmektedir ancak en uygun maliyetli seçenek olmayabilir. Zorlu zemin koşullarına örnekler:

- **Mühendislik dışı dolgular.** Zemin çivileri, mühendislik dolguları ile benzer özelliklere sahip olduğu takdirde bu tür zeminlerde de başarıyla imalatı yapılabilir. Yeni yerleştirilmiş mühendislik dışı dolgularda, yetersiz sıkıştırma yöntemleri veya kabul edilemez seviyede enerji ile sıkıştırma düzensiz çivi kapasitesine ve aşırı deformasyonlara neden olabilir.
- **Stabil olmayan koşullarda rezidüel zeminler.** Bazı rezidüel zeminler, bu malzemelere düşük dayanım veya sertlik kazandırabilen malzemeler (örneğin mika, şeyl) içerebilir.

2.5.3 Elverişsiz Zemin Koşulları

Başka zemin destek sistemlerinde olduğu gibi zemin çivisi yöntemi de her koşulda ideal uygulanabilirliğe sahip değildir. Yine de uygun tasarım ve yapım yöntemleriyle belli ölçüde sorunların üstesinden gelinir. Ancak elverişsiz zemin koşullarında tasarlanması ve inşa edilmesi daha zor ve maliyetli olmaktadır. Yöntemin uygulanışına olumsuz etkisi olan elverişsiz zemin türleri ve koşulları aşağıda açıklanmaktadır:

- **Kuru, zayıf dereceli kohezyonsuz.** Kohezyonsuz zayıf dereceli zeminlerde, dikey veya neredeyse dikeye yakın eğimlerde kazıların yapılması zordur.
- **Yeraltı suyu seviyesi yüksek granüler zeminler.** Zemin çivili duvarların arkasında yeraltı suyu bulunduğu, bu bölgedeki toprak kütlelerinin stabilitesi için drenaj sistemi gerekebilir. Ayrıca, büyük miktarlardaki yeraltı suyu, özellikle gevşek granüler zeminlerde çivi deliklerinin kolayca çökmesine neden olabilir. Bu nedenle geçici kaplama gerekli

olmakta ve kurulum maliyetini arttırmaktadır. Kazı yüzeyine sızan aşırı yeraltı suyu püskürtme beton uygulaması için önemli zorluklara neden olabilir.

- **Taş ve kaya parçacıkları içerikli zeminler.** Zemindeki önemli miktarda taş ve kaya parçası delme işlemi için aşırı zorluğa neden olabilir ve önemli inşaat maliyetleri ile zaman sarfiyatı meydana gelebilir.
- **Yumuşak ila çok yumuşak ince taneli zeminler.** Bu tür zeminler oldukça plastik olabilirler. Çivide düşük bağ dirençleri ve sünme meydana gelebilmektedir. Düşük bağ dirençleri neticesinde yeterli çekme direnci ve stabilite sağlamak için makul olmayan seviyelerde çivi uzunlukları gerektirecektir. Uzun dönemde, sünme nedeniyle yüksek derecede plastik killerde yüksek deformasyonlar meydana gelebilir.
- **Çökebilir zeminler.** Bu tür zeminler uygulanabilir görülse bile doyumluğa ulaştıktan sonra büyük ve ani hacim değişimleri yaşayabilir. Bu değişiklikler ilave yük yokluğunda ortaya çıkabilir. Bu zeminlerin içsel yapısının çökmesi, kazı sırasında sorunlara neden olabilir ve enjeksiyon-zemin ara yüzünde uzun vadeli bağ direncini bozabilir.
- **Organik zeminler.** Organik silt, organik kil ve turba genellikle çok düşük kesme direncine sahiptir ve dolayısıyla düşük bağ dirençleri geliştirme eğilimindedir. Ayrıca bağ direncinin düşük olması sebebiyle ekonomik olmayan çivi boylarına ve/veya aşırı durumlarda uygun olmayan bir duvar tasarımına neden olabilir. Bazı organik zeminler kabul edilebilir ve az ya da çok tek biçimli kayma dirençleri sergileyebilse de, elyaflı turba gibi diğer organik zeminler oldukça heterojen ve yüksek oranda anizotropik olabilir. Bu durumda, zemin kayma direnci bazı bölgelerde makul olsa da, diğer bölgelerde önemli ölçüde daha düşük olabilir. Bu olumsuz yönler, duvarın stabilitesi üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabilir ve çok uzun zemin çivileri gerekli olacaktır. İlâveten, organik zeminler inorganik zeminlere göre daha aşındırıcı olma eğilimindedir.
- **Yüksek derecede aşındırıcı zemin veya yeraltı suyu.** Bu koşullar özellikle zemin çivili duvarların kalıcı uygulamaları için zararlıdır. Yüksek korozyon potansiyeli olan doğal olmayan zemin benzeri malzemelere kül ve cüruf (yani, metallerin erimesinden veya rafine edilmesinden elde edilen artıklar) örnek verilebilir.
- **Olumsuz zayıf düzlemlî yıpranmış kaya.** Eklemler, kırıklar, makaslar, faylar, yataklar, şistozite veya yarıma gibi elverişli zayıflık düzlemlerine sahip yıpranmış kaya, matkap deliğinin dengesini etkileyebilir ve derz yapmayı zorlaştırabilir. Süreksizliklerin varlığı, kazı sırasında duvarın arkasında tutulan toprak kütlelerinde potansiyel olarak dengesiz blokların oluşumuna neden olabilir. Blokların stabilitesi marjinal ise; eklemlerde oyuk

varlığı, kabarma, yanal hidrostatik basınçlar ve sızıntı kuvvetleri gibi çeşitli faktörler nedeniyle, kazıdan sonra stabilite hızla bozulabilir. Bazı durumlarda bireysel blokların stabilizasyonu gerekli olabilir. Ancak diğer geleneksel duvar tipleriyle karşılaştırıldığında bu çözüm ekonomik olmayabilir. Ek olarak, çok büyük açık derzli veya boşluklu kayaya derz dökülmesi, aşırı harç kaybı nedeniyle çok zor ve / veya pahalı olacaktır.

- **Karst oluşumları.** Aşırı harç kaybı potansiyeli nedeniyle karstik oluşumlarda derz dolgu uygun değildir.
- **Lös.** Kurduğunda kabul edilebilir dirençler sergileyebilirler. Ve böylece ekonomik zemin çivisi uygulaması yapılabilir. Bununla birlikte, zemin çivili duvarın arkasında önemli miktarda su toplandığında, oluk yapısı çökebilir ve önemli miktarda zemin mukavemeti kaybı meydana gelebilir. Bu nedenle, bu toprakların ıslanması üzerine çökme potansiyeli değerlendirilmelidir. Önemli bir çökme potansiyeli sergileyen löste, zemin çivisi bölgesine aşırı su geçişini önleyecek önlemler sağlanmalıdır. Ek olarak, ıslanan durum için oldukça düşük zemin kayma direnci oluşabilir. Bu durumlarda, geleneksel çivi kurulum yöntemlerinin kullanılmasından alışılmadık derecede uzun zemin çivi boyları ortaya çıkabilir.
- **Genişleyen zeminler.** Bu zeminler, sert olsalar bile, yüzey üzerinde yerel baskı oluşturabilir ve bağ direncini bozma eğiliminde olabilirler.

Yukarıda ayrı ayrı zemin türlerine göre ifade edilen zorluklara ilaveten, zemin çivisi yönteminin uygulanabilirliği değerlendirilirken aşağıdaki hususlar da dikkate alınması önemlidir.

- Doymuş, granüler zeminler ve siltlerde ortam donma sıcaklıklarına uzun süre maruz kalmak don etkisine neden olabilir. Sonuç olarak, geçici ve kalıcı kaplamaya ilave yerel baskılar etkileyecektir.
- Bir zemin çivili duvar tarafından tutulan zemindeki tekrarlanan donma-çözülme döngüleri, zemin yüzeyine yakın olan zemin çivilerinde harç-toprak ara yüzündeki bağ kuvvetini ve püskürtme beton ile zemin arasındaki adhezyonu azaltabilir. Bu zararlı etkileri en aza indirmek için, donmuş çözülme döngüleri püskürtme beton tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır.
- Çok gevşek ($N_{60} \leq 4$) ve gevşek ($4 < N_{60} \leq 10$) granüler zeminler, inşaat ekipmanlarının neden olduğu titreşimler nedeniyle aşırı oturmalar yaşayabilir.

- Gevşek ve çok gevşek doymuş granüler zeminler, sismik etkilerin görüldüğü bölgelerde sıvılaşmaya karşı hassas olabilir. Granüler zeminleri sıkılaştırmak için maliyete de neden olabilecek çeşitli zemin modifikasyon teknikleri kullanılabilir.
- Duvarın arkasındaki doğal zeminlerde bulunan zayıf malzeme bölgelerinin varlığı, dengesizliği artırabilir. Duvara paralel uzanan ve buna yakın uzanan sürekli kullanım hendekleri, zayıf sıkıştırılmış granül dolgu veya uygun olmayan ince taneli dolgu maddesi içerebilir.

Elverişsiz zemin koşullarına rağmen, zemin çivili duvarlar yine de inşa edilebilir. Ancak uygun zemin türlerinde yapılan geleneksel duvarlarla karşılaştırıldığında, tasarımı ve inşaatı daha maliyetli olacaktır. Ancak açıklanan zemin özelliklerinde, zemin çivisine alternatif düşünülen diğer sistemlerde de bu tür elverişsiz durumlar yaşanabilir. İlâveten, elverişsiz zemin koşullarında yapılan zemin çivili duvarlarda saha performans takibi yapılması önemlidir ve katı kriterde uzun dönem performans gereklilikleri olmalıdır.

2.6 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARDA ÖZEL KONULAR

2.6.1 Sünme

Zaman içinde, granüler zeminler bile dahil olmak üzere pasif bir yapı tarafından desteklenen bütün zeminler sürekli kayma gerilmesi altında sünme davranışı gösterme eğilimindedirler. Granüler zeminlerde etki oldukça küçükken, ince taneli zeminlerde ve önemli miktarda organik malzeme içeren zeminlerde sünme çok daha önemli olabilir. Sünme, desteklenen zemin kütesinin ve çivili duvarın deformasyonlarını artırma eğilimindedir. Ve ince taneli zeminlerde, zeminin kayma mukavemetinde bir miktar azalmaya neden olabilir. Kayma dayanımında, zeminin sergileyebileceği tam yumuşama davranışının dikkate alınması önemlidir. Ayrıca, zemin gerilmeleri sünme potansiyelini azaltmak için dayanım tepe değerlerinin çok altında tutulmalıdır.

Zamana bağlı yer değiştirme ayrıca enjeksiyon-zemin ara yüzeyinde de gerçekleşebilir. Sünme, sürekli etkili olan gerilme altında gerçekleşir ve duvarın zamana bağlı yanal deplasmanının aşırı artmasına neden olabilir. Hangi zemin çivilerinin sünme davranışı göstereceğini inşaattan önce tahmin edecek kesin kriterler olmamasına rağmen, aşağıdakilerden birini karşılayan zeminlerde sünme olabileceği belirtilmektedir:

- $LL \geq 50$

- $PI \geq 20$
- $Su \leq 50$ kPa
- Likitite indeksi (LI) ≥ 0.2
- Organik zemin

Bu zemin özelliklerine ilaveten sünme potansiyeli, inşaat sırasında yapılacak yük testi ile de değerlendirilebilir.

2.6.2 Zemin Korozyon Potansiyeli

Korozyon potansiyeli, zemin çivi uygulamalarında birincil öneme sahiptir ve her zemin çivi projesinde değerlendirilmelidir. Şu özelliklerin mutlaka değerlendirilmesi gerekmektedir:

- pH (hidrojen potansiyeli)
- Elektriksel direnç
- Klorür içeriği
- Sülfat içeriği
- Organik içerik

Listelenen tüm parametreler laboratuvarda ölçülebilir. Aynı zamanda sahada da elektriksel direnç ve pH ölçülebilir. Laboratuvar ve saha testlerinden ölçülen değerlerle korozyon potansiyeli değerlendirilir.

Zemin etüdü araştırmaları yapılırken korozyon potansiyelini değerlendirmek için zemin örneklerinin alınması önemlidir. Zemin çivilerinin ve duvarın metalik bileşenlerinin zeminle temas edebileceği yerlerden örnekler alınmalıdır. Örneklerin sayısı, projenin büyüklüğü ile malzemelerin agresifliğine ve değişkenliğine bağlıdır. Asgari olarak, her bir ana zemin tabakasından üç örnek önerilir. Sahadaki zeminlerin agresif ve/veya değişken olduğu bilindiğinde daha fazla numune alınabilir.

Zeminin korozyon potansiyeli ile ilişkili olan zemin direncinin saha ölçümleri ile de yapılması önerilir. Farklı ölçümler kullanılarak saha ölçümleri yapılabilir. Schlumberger Dızisini ve Wenner testlerini saha ölçümlerine örnek verebiliriz. Bu tür saha yöntemleri, yeraltı veya jeolojik profil içindeki potansiyel olarak sorunlu bölgelerin belirlenmesinde yardımcı olabilecek elektriksel direnç profilleri sağlar. Bu testler laboratuvarda elde edilenlerden bağımsız direnç ölçümleri sağlayabilir. Bu testler bir geoteknik araştırmadan önce yapılırsa,

laboratuvar elektrik direncinin testleri için zemin numunelerinin nereden alınacağını planlamaya yardımcı olabilirler. Bazı özel CPT problemleri zemin elektrik direncinin sürekli bir profilini elde etmeye izin verir. PH değerlerini sağlamak için sahada kullanılacak birkaç taşınabilir prob bulunmaktadır. Genel olarak, sahada ölçülen pH değerlerinin laboratuvar testleriyle doğrulanması uygun olacaktır.

Kaçak akımlar ayrıca zeminlerin korozyon potansiyeline katkıda bulunabilir. Kaçak akımlar, elektrikli raylı sistemler, elektriksel iletim sistemleri ve kaynak işlemleri gibi güç kaynaklarından kaynaklanabilir ve özellikle sahil ortamındaki uygulamalarda zarar verebilir. Kaynakların çivilerden uzaklığı yaklaşık 30 ila 60 m daha fazla olduğunda, kaçak akımın korozyon potansiyeli çok düşük olmaktadır. Kaçak akımlar ve zemin çivi duvarlarının aşınmasını etkileme potansiyelleri, jeofizik alan yöntemleri kullanılarak değerlendirilmelidir.

Bazı zeminlerde bulunan bazı ek çevresel ve/veya kimyasal koşullar onları daha agresif hale getirmektedir. Aşağıda agresif zeminlere örnekler verilmiş ve zemin korozyon potansiyelini artırabilecek diğer faktörleri belirtmiştir.

- **Asidik zeminler.** Bu zeminler doğal olarak düşük bir pH (5'ten az) gösterir. Asidik zeminler, pritik zeminler içeren alanlarda bulunur. Yüksek yağışlı tropik bölgelerin rezüdiel zeminleri, pH'ı düşüren ve korozyon potansiyelini artıran uzun dönemde çözünebilir tuzların sızmasına maruz kalabilir.
- **Sodik zeminler.** Bunlar kurak ortamlarda görülür. Düşük hidrolik iletkenlik sergilerler ve alkali zeminler olabilir ($\text{pH} > 7$ veya hatta $\text{pH} > 9$). Ayrıca sodyum katyonları ile çözülmüş tuzlar, klorür ve sülfat anyonları dahil yüksek çözünmüş içeriğe sahip olma eğilimindedir. Ve bu içerikler korozyona neden olmaktadır. Düşük çökme ve yoğun buharlaşma, çözünen tuzların (örneğin, sodyum, klorür ve sülfatlar) kılcal kuvvetlerle temel kayadan sığ zemin tabakalarına aşamalı olarak taşınmasına neden olur.
- **Kireçli zeminler.** Bu zeminler, yüksek konsantrasyonlarda sodyum, kalsiyum, kalsiyum-magnezyum karbonatlar ve sülfatlar içerebilen başka tür alkalın zeminlerdir ($7 < \text{pH} < 9$). Bunlar hafif aşındırıcıdır. Bu zeminlerin örnekleri arasında; kalsit, dolomit ve alçıtaşından meydana gelen zeminler bulunur.
- **Organik zeminler.** Zeminler organik madde içerdiğinde, sülfat indirgeyen bakterilerle kirlenebilecek anaerobik ceplerin oluşumunu başlatabilir. Böylece ciddi oyuklaşma başlatabilir. Organik içeriği testi, aşındırıcılığın belirlenmesinde önemli bir kriterdir.

Anaerobik ceplerin oluşumunu engellemek için toplam organik içerik, toplam zemin fraksiyonunun ağırlığı ile %1 ile sınırlandırılmalıdır. Potansiyel olarak organik zeminler arasında, tümü olağandışı yüksek su içeriği sergileyen turbalar, gübreler, cüruf ve bataklıklar ile hümik asitli zeminler bulunur.

- **Endüstriyel kökenli malzemeler.** Endüstriyel dolgular; cüruf, uçucu kül veya inşaat artıkları içeren dolgulardan oluşabilir. Endüstriyel atıklardan elde edilen bu dolguların bazıları pH'larını yükselten özelliklere sahip olabilir. Asit madeni artıkları ve asit madeni tortuları gibi diğer atık türleri düşük bir pH değerine sahip olabilir.
- **Kıyı Ortamları.** Deniz ortamlarındaki atmosferik tuzlar ve tuz yüklü zeminler korozyona neden olabilir.
- **Yol Çözücü Tuzlar.** Buz çözücü sıvı, zeminlere sızabilen ve aşınma potansiyeline katkıda bulunan tuzlar içerir.

Diğer çevresel faktörler korozyon potansiyelini etkileyebilir. Örneğin, granüler zeminlerin korozyon potansiyeli, bu zeminlerin % 60 ila 80 arasında bir doygunluk derecesine sahip olması durumunda arttığı belirtilmektedir. Buz çözücü tuzların kullanıldığı bölgelerde, zemin çivi duvarının arkasındaki 2 ila 2.50 m derinliğindeki zeminin daha yüksek konsantrasyonlarda klorid içerdiği varsayılması önerilir.

2.6.3 Zemin Donma Potansiyeli

Soğuk bölgelerde inşa edilen zemin çivi duvarları don oluşumundan dolayı çivi yüklerinde artış yaşamaya müsaittir. Sıcaklıklar donma derecesinin altına düşerse, zemin donmaya karşı hassas zeminleri içerirse ve tünemiş lensler veya yeraltı suyu gibi bir su kaynağı mevcutsa zeminde buz mercekleri oluşabilir. Zemindeki buz oluşumu, duvar kaplamasında büyük basınçlara ve zemin çivilerinde yüklere neden olabilir. Duvarın arkasındaki donmuş zemin çözüldüğünde zeminde oturmalar meydana gelebilir. Ayrıca duvar kaplamasına da zarar vermektedir.

Don etkisine maruz kalan zemin çivi duvarlarında çivi yükleri şu artışlarla beraber daha büyük olmaktadır:

- donma derinliği
- donma mevsiminin yoğunluğu ve süresi
- yeraltı suyu veya diğer su kaynaklarının duvara yakınlığı

Donma etkisiyle zemin çivi yüklerinde artış meydana gelebilmektedir. Donma mevsiminde inşaattan hemen sonra ölçüldüğünde yaklaşık iki kat arttığı belirtilmektedir. Hatta 2.5 katı arttığı da belirtilmektedir. En büyük kuvvet artışları, kaplama ve zemin çivi başı bağlantılarının yakınında, duvarın kaplamasından genellikle 1.5 m uzaklıkta meydana gelmektedir. Maksimum zemin çivi kuvvetleri genellikle donun gelişmesiyle aynı anda meydana gelmez.

Serbest drenajı gerçekleşebilen granüler malzemelerde don etkisi ya çok az ya da hiç meydana gelmemektedir. Çünkü malzemenin yapısından dolayı suyun ayrışma olmadan yerinde donmasına izin verir. Ayrıca bu malzemeler buz mercceklerinin genişlemesine daha iyi uyum sağlayabilir. Granüler malzemenin aksine, silitler genellikle dona karşı oldukça hassastır. Çünkü boşluklar nispeten küçüktür ve kapilerite potansiyeli nispeten yüksektir.

Don nüfuzu derinliği, zemin çivi duvarlarındaki don etkisini belirlemek için kritik bir parametredir. Enlem ve iklim faktörleriyle birlikte artar ve zeminin özelliklerine bağlıdır.

Isı kaybının yönü zemin çivi duvarlarını etkilemektedir. Duvarların arkasındaki termal etkilerin, hiçbir yalıtım sağlanamadığında üstte ve yüzün arkasında yoğun olmaktadır. Bu etkilerin üstesinden gelmek için yalıtım sağlanabilir. Yalıtım; donma derinliğine, donma ciddiyeti ve süresine bağlı olarak yapılmalıdır.

Zemin çivi duvarları her zaman maruz kalan kaplama yüzeyi nedeniyle don etkisine karşı hassastır. Bu nedenle, donmaya duyarlı zeminlerde zemin çivi duvarları inşa edilirken donmaya karşı korunma önlemlerinin alınması gerekmektedir. Don etkisinden kaynaklanan zemin çivi yüklerinin tasarımı, donun zemin çivi kuvvetleri üzerindeki etkisini değerlendirmek için mevcut sınırlı verilerden dolayı muhafazakar yapılmalıdır. Tasarım yapılırken şunların göz önünde bulundurulması önerilir:

- duvarın arkasında gözenekli dolgu malzemesi sağlayarak biriken nemi önlemek
- kaplamanın don derinliğinden biraz daha büyük olacak şekilde kalınlaştırılması
- daha büyük boyutlarda çivi kullanmak
- duvar yüzeyine yalıtım uygulamak

Isı yalıtımı, çekilmiş polistiren (EPS) köpük panellerinden yapılabilir. Bu malzeme hafif ve uygun maliyetlidir. Bu malzemenin nispeten ince bir katmanı ile önemli miktarda termal koruma elde edilebilir. Kalın EPS panelinin, termal olarak 0.30 m kalınlığındaki çakıl

katmanına eşdeğer olduğu kabul edilir. EPS panellerinin ve diğer yalıtkan malzemelerin kalınlığının seçimi, genellikle R değeri olarak adlandırılan malzemenin termal direncine göre olmalıdır. R değerleri, malzemenin belirli bir kalınlığı için, yalıtım malzemesi boyunca sıcaklık düşüşünün alan birimi başına ve zaman birimi başına aktarılan ısı miktarına oranını ifade eder. R değeri, malzemenin iletken ısıyı aktarmadaki gerçek termal direncine bağlıdır ve malzeme kalınlığı ile orantılıdır. Bir malzemenin R değeri ne kadar yüksek olursa, yalıtım yeteneği de o kadar yüksek olur.

Tasarımda diğer faktörler de düşünülebilir. Örneğin, duvarın yapıldığı yön, don nüfuz derinliğini etkileyebilir. Güneş ışığına bakmayan duvarlar bakan duvarlara göre 1.4 ila 2 kat daha fazla don nüfuz derinliğine sahip olabilir. Duvarın üstündeki zeminin drenajı, duvarın arkasına sızma ve donma potansiyelini azaltmak için sağlanmalıdır.

2.7 ZEMİN ÇİVİLİ DUVARLARDA ZEMİN ETÜDÜ ÇALIŞMALARI

Bir zemin etüdü çalışmalarının amaçlarına şunları örnek verebiliriz:

- Yeraltı stratigrafisini belirlemek
- Laboratuvar testleri için zemin örnekleri almak
- Saha testleriyle sahada zemin özelliklerini ölçmek
- Laboratuvardaki zemin özelliklerini ölçmek
- Zemin ve yeraltı suyu korozyon potansiyelini değerlendirmek
- Yeraltı suyu seviyesi yerlerini ve değişimlerini değerlendirmek

Etüd çalışması, projenin karmaşıklığına ve mevcut jeoteknik verilerin mevcudiyetine bağlı olarak, tek bir aşamada veya birden fazla aşamada gerçekleştirilebilir. Bir saha için jeoteknik bilgi çok az veya hiç mevcut değilse, araştırmayı iki aşamada yürütmek mantıklı bir yaklaşım olabilir. Birinci aşama, zemin tabakalarını ve temel özelliklerini tanımlama ve zeminin çiviler için uygun, zor veya elverişsiz olup olmadığını belirleme amacıyla yapılabilir. İkinci aşama ise, zemin çivi duvarının tasarımı ve inşası için gerekli olan belirlenmiş verilerin toplanmasına odaklanan son bir yeraltı araştırması olabilir.

Etüd çalışması, zemin çivi duvarının tasarımı ve inşası için yeterli bir saha karakterizasyonu sağlayacak kapsamda yapılmalıdır. Kapsamlı bir saha araştırmasının olmayışı; ekonomik olmayan tasarımlar, yeniden tasarımlar, inşaat zorlukları, ek inşaat maliyetleri, gecikmeler ve

yetersiz veya güvensiz performans dahil olmak üzere çeşitli istenmeyen sonuçlar oluşturmaktadır. Etüd çalışması, planlanan duvarın kapsamı boyunca gerçekleştirilmelidir. Proje sahasındaki zemin özelliklerinin değişimini değerlendirmek için yeterli sayıda saha testi ve numune yeri içermelidir. Yeraltı suyunun yerini ve doğasını belirlemek, zemin çivisi duvar projelerinde son derece önemlidir. Çünkü yüksek yeraltı suyunun varlığı özellikle serbest drenajlı zeminlerde olumsuz bir durumdur.

2.7.1 Sondaj Sayısı ve Konumunu Seçme

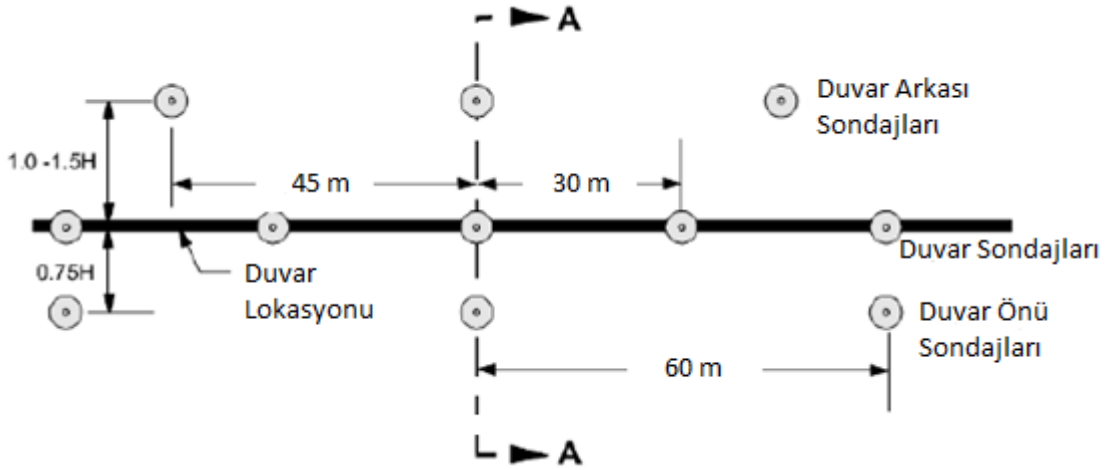
Sondajların ve diğer saha testlerinin tipi, sayısı, konumu ve derinliği; duvar boyutlarının ve bitişik yapıların varlığının bir fonksiyonudur. Ayrıca, eldeki mevcut jeoteknik verilerin varlığı ve yer altı koşullarının değişkenliği önemli olmaktadır.

Şekil 2.17, zemin destek sistemleri için sondajların sayısı ve yeri hakkında ön kılavuz sağlar. Sondajlar, planlanan duvarın merkezinde, önünde ve arkasında yapılmalıdır. Planlanan duvarın merkezi boyunca açılan sondajlar 30 ila 60 m arasında olmalıdır. Sondaj derinliği ise en azından planlanan kazı derinliğinin altında ilaveten duvar yüksekliği (H) kadar olmalıdır.

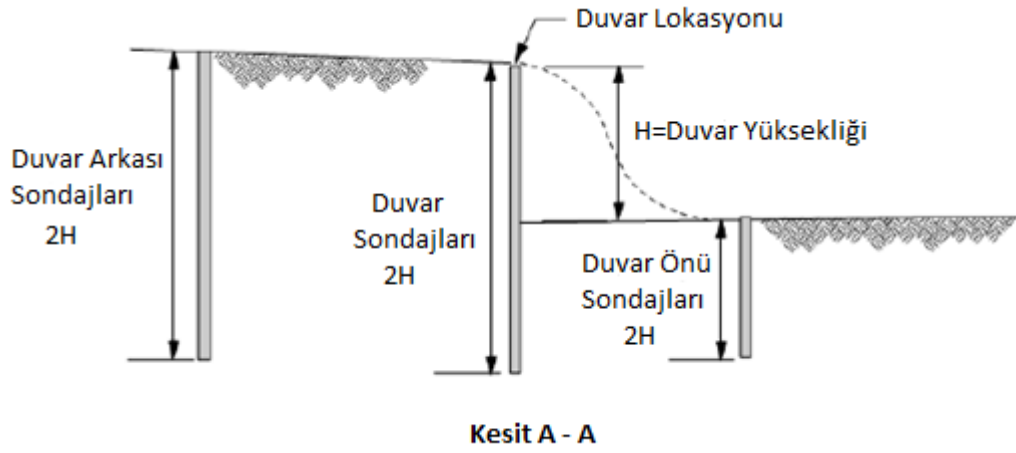
Duvarın arkasına yapılan sondajlar, hizalama boyunca 45 m'ye kadar aralıklarla yerleştirilmeli, duvarın arkasında H ila 1.5H arasına konumlandırılmalı ve en az 2H altında derinliğe ilerletilmelidir. Duvarın arkasındaki zemin eğimli ise, sondajlar duvardan 1.5H ile 2H arasındaki yatay bir mesafede yapılmalıdır. Bu sondajlar, şevde meydana gelebilecek daha büyük kayan kütlelerin değerlendirilmesine izin verecek kadar derin olmalıdır.

Duvarın önünde açılan sondajlar, hizalama boyunca 60 m'ye kadar aralıklarla yerleştirilmeli, duvarın önünde 0.75H ila H arasına yerleştirilmeli ve en azından kazı planının altındaki H derinliğine kadar ilerletilmelidir.

Sondaj derinliklerinde; yumuşak ila çok yumuşak ince taneli zeminler, organik silt veya turba mevcut olduğunda, derinlik en az duvar boyunca ve arkasındaki sondajlar için H kadar artırılmalıdır. Ve duvar önündeki sondajlar için 0,5H artırılmalıdır. Önemli sismik riski olan alanlar için; sondajlar, sıvılaşabileceğinden şüphelenilen zeminin tabanına kadar yaklaşık 2H derinlikte uzatılmalıdır.



Şekil 2.17: Sondajların önerilen maksimum aralıkları [15].



Şekil 2.18: Sondajların önerilen derinlikleri [15].

Sondaj derinliklerinde yıpranmış kayaya rastlanırsa, sondajlar yıpranmış kayanın içine kadar uzatılmalıdır. Bu sayede süreksizliklerin incelenmesi için en az 3 m uzunluğunda ve iki tane 1.5 m uzunluğunda bir çekirdek numunesi elde edilebilir. Son olarak, duvarların stabilitesini ve performansını etkileyebilecek her türlü kayma yüzeyine göre sondajların derinliği belirlenmelidir.

2.7.2 Saha Araştırmaları

Bu bölüm, zemin çivileme projeleri için kullanılan saha işlemleri hakkında genel bilgi sunmaktadır. Tablo 2.2'de arazi deneyi teknikleri ile ilgili genel bilgiler verilmiştir [13].

Tablo 2.2: Saha deneyleri.

Deney Adı	Açıklamalar	En iyi Olduğu Zemin Tipi	Uygun Zemin Özellikleri	Sınırlandırmalar
Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)	63.5 kg'lık bir çekiç 0.76 m yükseklikten düşürülerek standart bir 'yarı kaşık' zeminin içine itilir. Numune alıcısını 0.3 m derinliğe itmek için gerekli vuruş sayısına standart penetrasyon direnci ya da vuruş sayısı, N denir. Örstenmiş numune elde edilir.	Kumlu Zeminler	Kohezyonsuz: D_r, ϕ', E Kohezyonlu: S_u, M, E	Kumların yoğunluk ve dirençlerinin iyi tahmini. Sert killerde sınırlı korelasyonlar. Yumuşak, hassas killerde güvensiz. Çakıl ve taş parçalarında sorun çıkarabilir. Sonuçlar deney detaylarına ve kuyu stabilitesine bağlı. Birçok düzeltme gerekli.
Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)	İzdüşüm alanı 10 cm ² olan 60°' lik koni 1-2 m/dk hızla itilir. 5-20 cm aralıklarla uç direnci ve kenarlardaki sürtünme ölçülür.	Çok kaba daneli zeminler dışında bütün zemin tipleri	Kum: ϕ', D_r, σ_{ho}' Kil: S_u, σ_p'	Çakıllarda sorun çıkabilir. Yumuşak killer için yerel korelasyonlar gerekir.
Arazi Kanatlı Kesme Deneyi (VST)	Dört bıçaklı dürbin kanadı döndürülür; maksimum tork ölçülür; teorik formül ya da amprik ilişkilerden kayma direnci bulunur.	Yumuşak-orta yumuşaklıkta killer	S_u, S_t, σ_p'	Kum tabakaları, çökeltiler, çakıllar vb.' de ya da türbin kanadı çok hızlı döndürülürse güvenilir değildir. Eğer yerel zeminler için kalibre edilmemişse düzeltmeler gerekebilir.
Presiyometre Deneyi (PMT)	Silindir bir sondaj kuyusunun içerisine yerleştirilir (kendi kendine sondaj yapabilir). Kuyunun kenarlarına artan basınç uygulanır.	Stabil ve sabit çaplı kuyunun açılabilirdiği bütün zemin tipleri	E, G, m_v, S_u	Limit basınç ve kayma direnci arasında korelasyon gerekir.
Dilatometre Deneyi (DMT)	Ucunda şişirilebilir 60 mm çapında çelik diskler olan 96x15 mm' lik düz bıçaklar	Çakıl parçacıklarının olmadığı bütün zemin tipleri	Toplam birim ağırlık Kum: ϕ', E, D_r, m_v Kil: $\sigma_p', K_o, s_u, m_v, E, c_h, k_h$	Teorik temeli elastik teoriden; zemin özelliklerini amprik korelasyonlardan alır, ikisi eşit olarak güvenilir değildir.

2.7.2.1 Standart Penetrasyon Deneyleri (SPT)

Standart Penetrasyon Testi ve hem örstenmiş hem de örstenmemiş zemin numunelerinin alınması sondaj kuyularında yapılır. SPT, zemin çivisi projelerinde uygun olan çok çeşitli zeminlerde kullanılabilir. SPT örnek alıcısı örstenmiş numunelerin alınmasına imkan verir. Bu

nedenle, kohezyonsuz zeminlerin indeks geoteknik özellikleri ve korozyon potansiyeli deneyi için zemin örneklerinin alınmasına uygundur.

SPT, çakıl, taş ve büyük parçacıklar içeren dolguya uygun değildir. Örnek alma başarılı olsa bile, bu zeminlerden alınan numuneler temsili olamayacaktır çünkü büyük parçacıklar örnek alıcıya giremez. Ayrıca, darbe sayısının taraflı veya anlamsız olması beklenir.

Her ne kadar SPT pratikte yumuşak ila çok yumuşak ince taneli zeminlerde numune almak için kullanılsa da, Shelby ve Osterberg gibi ince duvarlı örnek alıcılar nispeten örselenmemiş numuneler almak için kullanılmalıdır.

Zemin çivi duvarı projelerinin çoğunda, SPT numuneleri 1.5 m derinlik aralığında alınmalıdır. Yumuşak ila çok yumuşak ince katmanlarda, ince taneli zeminlerde, oyuklarda ve yüksek korozyon beklenen zeminlerde, numuneler, daha küçük derinlik aralığında ya da sürekli bir şekilde alınmalıdır.

SPT N değeri ile zemin mühendisliği özellikleri arasında çok sayıda korelasyon vardır. Aşırı zemin yükünün büyüklüğü N değeri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Uygun zemin özelliklerine sahip korelasyonlar kullanılırken dikkate alınmalıdır. Ayrıca, bu değerleri N_{60} değerlerine dönüştürmek ve farklı çekiç verimlerini sağlamak için N değerlerinde düzeltmeler gerekebilir. SPT temelli korelasyonları kullanırken dikkatli olmalıdır, çünkü N değerleri düzeltilse bile bu testteki sayısız belirsizlik kaynağı nedeniyle önemli değişkenlik gösterme eğilimindedir.

Yüzey zemin oturmalarında ve duvar deplasmanlarında kritik proje kısıtlamaları olduğu ve doğru tahminler gerektirdiği durumlarda zemin modülü değerlerini tahmin etmek için SPT bazlı korelasyonlar uygun olmayabilir. Odeometre veya üç eksenli testler gibi örselenmemiş numunelerin mekanik laboratuvar testleri ve pressiometre gibi saha testi kullanılabilir.

2.7.2.2 Diğer Saha Deneyleri

Koni Penetrasyon Testi (CPT), hızlı bir şekilde sürekli zemin profillerinin geliştirilmesine olanak sağlar ve süreksiz SPT örnek alıcı kullanılarak tespit edilmesi zor olan ince zemin katmanlarının tanımlanmasına izin verir. Bu kabiliyet, zemin çivi duvarlarının arkasındaki ince zayıf zemin tabakalarını araştırırken özellikle yararlı olabilir. Bununla birlikte, CPT, zemin çivi duvar tasarımı uygulamaları için SPT' den daha sınırlıdır, çünkü CPT' ye elverişli olan

zeminler, genellikle zemin çivi uygulaması için ideal değildir. CPT sert zeminlerde, çakıllı zeminlerde, yıpranmış kayalarda ve kaya birikintilerinde yapılamaz.

Özellikle yumuşak ince taneli zeminlerin özellikleri için, SPT tabanlı korelasyonlardan daha az değişkenlik gösterebilen çeşitli zemin mühendisliği özellikleri ve CPT parametreleri arasında korelasyonları mevcuttur. Çoğu zemin çivi projesinde, zemin kayma dayanımı CPT veya SPT verilerine dayanarak tahmin edilebilir. Benzer şekilde, elastik modül CPT verilerinden tahmin edilebilir. Ancak, CPT parametreleri ile zemin çivilerinin sıyrılma dayanımı arasında fazla korelasyon yoktur.

PMT, zemin çivileme inşaatı için elverişli olanlar dahil, çok çeşitli zemin tiplerinde kullanılabilir. PMT, zemin modülünün makul tahminlerini sağlayabilir ve bu nedenle duvar deplasmanlarının ve zemin oturmalarının tahmininin kritik olduğunda önemli bir test yöntemidir. PMT limit basıncı (pL) ile bağ kuvveti arasında kum, kil, çakıl ve yıpranmış kaya için bir korelasyonlar mevcuttur.

VST, zemin çivi duvarlarının tasarımı için rutin uygulamalara sahip değildir çünkü zemin çivileri için elverişli olmayan yumuşak ve orta ince taneli zeminler için uygundur. Ancak, ince taneli zeminlerin bulunduğu projelerde kazının genel stabilitesi kritik öneme sahipse uygun olabilir.

2.7.2.3 Araştırma Çukurları ve Yer Altı Suyu

Test çukurlarının kazılması, bir kazı yüzünün desteklenip desteklenemeyeceği hakkında değerli bilgiler sağlayabilir. Test çukurları en az 6-7.5 m uzunluğunda ve mümkün olduğunda yaklaşık 3 m derinliğe kadar olmalıdır. Çökmeye karşı gerektiği şekilde korunmalı ve güvenlik standartlarını karşılamalıdır. Test çukurları tercihen sonraki kazı yüzü etkisini azaltmak için duvara dik olarak kazılmalıdır. Test çukurları duvara paralel kazılırsa, duvar yüzeyinden en az 15 m uzakta kesim alanında kazılmalıdır. Kazı bekleme süresini değerlendirmek için, test çukurları işçiler ve halk için yeterli koruma ile 1-2 gün açık bırakılmalıdır. Kazılan test çukurları en az günlük olarak kontrol edilmelidir. Test çukurları, açık kesimin stabilitesini etkileyebilecek sızan yeraltı suyunun gözlemlenmesine izin verir. Test çukurları ayrıca gerektiğinde laboratuvar testleri için zemin numunelerinin toplanmasını sağlar [14].

Yeraltı suyunun varlığı, sabit veya tünemiş olarak, yeraltı araştırmaları sırasında tanımlanmalıdır çünkü yeraltı suyu tasarımın çeşitli yönlerini ve zemin çivi duvarlarının uzun

dönem performansını etkiler. Yeraltı suyu, kazı tabanının üstünde mevcutsa, zemin çivi duvarının yapımı sırasında geçici olarak desteklenmeyen kesimlerin stabilitesini etkileyecektir. Küçük miktarlarda bile sızan yeraltı suyunu tespit etmek için test çukurlarında dikkatli gözlemler yapılmalıdır. Yeraltı suyu tablasındaki zamanla dalgalanmalar korozyonu artırabilir, genel stabiliteyi etkiler ve duvara bakan yüzeyde basınçların artmasına neden olabilir. Yer altı suyu; sondaj deliği dengesini, enjeksiyonlama işlemlerinin seçimini ve kalıcı drenaj için gerekli yöntemleri etkileyebilir.

Saha araştırmaları sırasında yer altı suyu ölçümlerine yeterli önemin verilmemesi, herhangi bir zemin destek sistemi için ciddi sonuçlar doğurabilir. Özellikle zemin çivi duvarları için yer altı suyu ölçümlerinin önemi daha da artmaktadır. Çünkü bu sistemler; yüksek, statik yeraltı suyu seviyeleri, önemli miktarlarda tünemiş yeraltı suyu veya düşük ila orta dereceli sızıntı hızları, özellikle serbest drenajlı zeminlerde uygun değildir.

Yeraltı suyu derinliği; sondaj sırasında, sondajın sonunda ve sondajdan en az 24 saat sonra yapılan deliklerden elde edilmelidir. Bazı deliklerin, oluklu PVC borunun geçici sabit borulu piezometreleri olarak sonlandırılması önerilir. Bu piezometrelerin, öngörülen veya tespit edilen yeraltı suyu dalgalanmalarına ve yer koşullarına bağlı olarak günler, haftalar veya hatta daha uzun süre izlenmesi gerekir. Kohezyonlu zeminlerde veya düşük geçirgenliğe sahip diğer oluşumlarda delme sırasında elde edilen yeraltı suyu seviyeleri, genel olarak stabilize olmuş yeraltı suyu seviyelerini temsil etmez ve dikey piezometreler kuruluysa, yeraltı suyu okumalarının stabilize olması için önemli bir bekleme süresi gerekebilir.

2.7.3 Laboratuvar Araştırmaları

Tasarım ve inşaat için; dayanım, oturma ve sertlik parametrelerinin belirlenmesi ve zeminlerin sınıflandırılması için laboratuvar testlerine ihtiyaç vardır. Zemine uygulanan test koşullarının sahada yapılan testlerden daha iyi kontrol edilmesini sağlar. Laboratuvar testleri iki sınıfa ayrılabilir: Sınıf I testleri, fiziksel özellikleri belirlemek için yapılan testlerdir; Sınıf II testleri, mekanik özellikleri belirlemek için yapılan testlerdir. Tablo 2.3 ve 2.4 bu testleri özetlemektedir.

Tablo 2.3: Fiziksel Özellikleri Belirlemek İçin Laboratuvar Deneyleri Özeti [6].

Fiziksel Özellikler	Testin Hedefi	Belirlenen Parametreler	Amaç
Özgül Ağırlık	Zeminlerin özgül ağırlığını belirlemek	G_s	Zemin yoğunluğunu hesaplamak
Tane Büyüklüğü Tayini	Tane büyüklüğü dağılımını belirlemek	D_{10}, D_{50} $C_u = D_{10}/D_{60}$ $CC = D_{30}^2/D_{10} D_{60}$	Zemin sınıflandırması
Su Muhtevası	Zeminin su içeriğini belirlemek	w	Dayanım ve deformasyon hakkında nitel bilgi
İndeks Testi	Zeminin faz değiştirdiği su içeriğini belirlemek	PL, LL, PI, SL, LI	Zemin sınıflandırması; Dayanım ve oturma hakkında nitel bilgi
Kompaksiyon	Maksimum kuru yoğunluğu ve optimum su içeriğini belirlemek	$(\gamma_d)_{max}, w_{opt}$	Sahadaki sıkıştırma özellikleri
Permeabilite	Hidrolik iletkenliği belirlemek	k	Su ve sızıntı kuvvetlerinin akışının tahmini; stabilite analizleri
Maksimum ve minimum kuru yoğunluk	İri taneli zeminlerin maksimum ve minimum kuru yoğunluğunu belirlemek	e_{max} e_{min}	Zemin Sınıflandırması

Tablo 2.4: Mekanik Özellikleri Belirlemek İçin Laboratuvar Deneyleri Özeti [6].

Testler	Gerilme Durumu	Drenaj Durumu	Zemin Tipi	Parametreler
Direkt Kesme (DS)	Düzlem şekil değiştirme-gerilme ya da şekil değiştirme kontrolü	Drenajlı	İri taneli	ϕ'_{cs}, ϕ'_p
Üç Eksenli	Eksenel simetrik gerilme ya da şekil değiştirme kontrolü	Drenajlı ya da drenajsız	Hepsi	$\phi'_{cs}, \phi'_p, S_u, E, M$
Bir Boyutlu Konsolidasyon	Eksenel simetrik	Drenajlı	İnce taneli	$C_c, C_r, C_\alpha, C_v, m_v, p'_c, \sigma'_{zc}, \kappa, \lambda$
Direkt Basit Kesme	Düzlem şekil değiştirme	Drenajlı (sabit yük) ya da drenajsız (sabit hacim)	Hepsi	$\phi'_{cs}, \phi'_p, S_u, G$

Fiziksel ve mekanik (mukavemet ve deformasyon) özelliklerini karakterize etmek için normalde laboratuvar testleri için numuneler alınır. Bu parametreler, temelleri tasarlamak ve zeminleri inşaat malzemesi olarak kullanılmasına karar vermek için kullanılır. Örselenmiş numuneler, genellikle görsel inceleme ve plastiklik, tane büyüklüğü ve şekli gibi fiziksel özellikleri belirlemek için yapılan testlerde kullanılır. Örselenmemiş numuneler hem fiziksel hem de mekanik özellikler için kullanılır. Test sonuçları, özellikle mekanik özelliklerle ilgili olanlar, numune alma, taşıma, nakliye ve numune hazırlama durumlarından büyük ölçüde

etkilenir. Bu nedenle, zemin örneklerinin sağlam durumunu korumak için özen gösterilmelidir. Mum, zemin örneklerinin nem kaybını önleme amacıyla kaplamada kullanılmaktadır.

Zemin çivi duvarlarının tasarımı, bazı mühendislik özelliklerinin laboratuvar testleriyle belirlenmesini gerektirir. Yapılacak laboratuvar testlerinin miktarı ve kapsamı, projenin belli özelliklerine bağlıdır. Daha az karmaşık projeler için, daha önce kapsamlı ve yeterli bir saha araştırması yapılmışsa, endeks parametrelerinin laboratuvar testleri yeterli olabilir. Zorlu yeraltı koşullarına sahip bazı projeler için ise, mevcut geoteknik bilgiler mevcut olsa bile, daha geniş bir laboratuvar testi yapılması gerekmektedir.

2.7.3.1 Zemin Sınıflandırma İndeks Deneyleri

Üç eksenli çekme testleri; zemin dayanma duvarlarının arkasındaki en önemli durum olacak olan boşalma yük durumunda, zemin kayma dayanımı parametrelerinin tahmini için de düşünülebilir. Bununla birlikte, basınç veya çekme üç eksenli testlerinden elde edilen sonuçlardaki farkın, zemin çivi duvarları için elverişli olduğu düşünülen zeminlerde büyük olması beklenmemektedir.

Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre, zemin sınıflandırmasına yönelik tüm zemin çivi projeleri için endeks testleri yapılmalıdır. Bu testler tane büyüklüğü dağılımlarını ve Atterberg limitlerini içermelidir.

Elek analizleri, tane büyüklüğü dağılımını belirlemeye, içeriği ince hale getirmeye ve zeminlerin hidrolik iletkenliğini tahmin etmeye yardımcı olur. Zeminin sınıflandırılmasına katkıda bulunmasının yanı sıra, ince taneli zeminlerin sıkıştırılabilirliğini ve kayma dayanımı parametrelerini tahmin etmek için Atterberg limitleri kullanılabilir. Daha spesifik olarak, zemin çivi projeleri için, Atterberg limitleri, bir zemin çivi duvarı tarafından desteklenecek olan ince taneli zeminlerin sünme deformasyon potansiyelini değerlendirmek için kullanılır.

Nem içeriğinin test edilmesi, zemin çivileri için bazı olumsuz koşulların belirlenmesine yardımcı olur. Örneğin, zeminin PL'sinin önemli ölçüde üzerinde bulunan arazi nem içeriği, düşük kayma dayanımı ve yüksek sıkıştırılabilirliğin bir göstergesidir. Yerinde LL %50'den büyükse, zeminin sünme potansiyeli artar. Ek olarak, Likidite Endeksi (LI) 0,2'ye eşit veya daha büyük ise sünme potansiyeli artar. Küçük tanecikler bulunan granüler zeminlerde nem içeriği yaklaşık %5'ten az olması dikey kesimlerin desteklenmeyebileceğini gösterebilir.

Zeminlerin organik olup olmadığını belirlemek için organik içerik testi yapılmalıdır. Ayrıca, doğal nemi yüksek olan organik zeminler genellikle inorganik zeminlerden daha yüksek korozyon potansiyeline sahiptir. Organik zeminler aynı zamanda daha düşük kayma dayanımına ve inorganik zeminlerden daha sıkıştırılabilir olma eğilimine sahiptir. Ve zamanla sünme eğilimindedir.

Spesifik yerçekimi dahil olmak üzere diğer testler, bazı durumlarda diğer parametrelerin tahminini desteklemek için gerekli olabilir.

2.7.3.2 Kayma Dayanımı Deneyleri

Zemin çivili sistemler için elverişli olan çoğu zeminler ağırlıklı olarak granülerdir. Bu zeminlerin mukavemet parametresi değerleri saha test yöntemlerine dayanan korelasyonlar kullanılarak tahmin edilebilir. Zemin çivileri; katı ila sert ince taneli zeminlerde veya mevcut bir MSE duvarının yapısal dolgusunu stabilize etmek için kullanılırsa, bu malzemelerin kayma mukavemeti, üç eksenli laboratuvar testleri kullanılarak tahmin edilebilir.

Direkt kesme testi, numune laboratuvarında saha koşullarına göre uygun şekilde sıkıştırıldığında dolgu için kullanılabilir. Direkt kesme testlerinin bazı sınırlamaları vardır. Göçme yüzeyi yatay bir düzlem boyunca zorlandığında; test sırasında ana gerilmelerin dönmesi ve numunenin anizotropisi, yorumlanan dayanım parametresi değerlerinin uygulanabilirliğini sınırlar. Ek olarak, gözenek basınçlarının gelişimi kontrolsüzdür ve ölçümleri pratik değildir.

Zemin çivilerinin; katı, deformasyon üzerine tamamen yumuşamış veya rezidüel dayanımları mobilize olabilecek aşırı konsolide killerde kullanıldığında kayma dayanımı parametreleri, üç eksenli test veya burulmalı halka kayma aparatı cihazı kullanılarak tahmin edilebilir.

2.7.3.3 Diğer Deneyler

Kazı boyunca veya tabanın hemen altında yumuşak ila orta ince taneli zeminlerin bulunduğu yerlerde, duvardaki deplasmanlarının ve zemin yüzeyi oturmalarının büyüklüğünü değerlendirmek önemlidir. Bu durumlarda, zemin sıkışabilirliği geleneksel tek boyutlu konsolidasyon testleri kullanılarak değerlendirilebilir. Zemin modülü değerleri üç eksenli testler kullanılarak da tahmin edilebilir. Laboratuvar testlerinin sonuçlarının izlenen stres yoluna ve numunenin boyutuna duyarlı olabileceğini bilmek önemlidir. Özel yükleme koşulları uygulanmadıkça veya saha yükleme boşalma farklarını hesaba katan sonuçların uygun şekilde yorumlanmaması halinde, sonuçlar saha koşullarını temsil etmeyebilir.

İlaveten, çöken veya şişen ince taneli zeminlerin varlığı, sırasıyla çökme potansiyeli deneyi ve şişme potansiyeli deneyi yapılarak belirlenebilir. Don etkisini değerlendirmek için zemin donmasına maruz kalan alanlarda özel testler yapılmalıdır. Bu testler uzun vadede don etkisine maruz kalacak zemin katmanlarından elde edilen numunelerde yapılmalıdır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 EUROCODE 7 TASARIM YÖNTEMLERİ

EC7-1'i tanıtmak gerekirse birkaç temel özelliğine şunları örnek verebiliriz:

- EC7-1 ilkelerin onurlandırılacağını belirtir.
- EC7-1, diğer Yapı Eurocode standartlarını kullanarak üst yapı tasarımı ile alt yapı tasarımını tamamen uyumlu hale getiren bir tasarım hesaplama metodolojisi içermektedir.
- EC7-1 açıkça tasarım limit durumlarını tanımlar.
- EC7-1, nihai limit durum tasarım hesaplamalarında, kullanılan parametrelerin değerlerindeki belirsizliği doğrudan hesaba katmak ve yapısal kodlarla uyumluluğu sağlamak için parametrelerin karakteristik değerlerine kısmi faktörler uygular.
- Bir geoteknik tasarım yapmak için dört alternatif yöntem benimsenmektedir.
- EC7-1'de bir geoteknik tasarım raporunun müşterisine zorunlu koşulları belirtilirken, EC7-2'de bir zemin araştırma raporunun hazırlanması açıklanır.
- EC7-1 tüm geoteknik tasarımlar için gerekli olan temel ilkeleri bütün halinde sağlar.
- EC7-1, bir tasarımın kontrol edilmesi ve tasarımın yapılması ile ilgilidir. Tasarım hesaplamalarının nasıl yapılacağını detayını sunmamaktadır. Bir tasarımın üzerinde stabilite bozucu etkilerle ve bu etkilere karşı olan direnç arasında sınırlayıcı koşulun aşılmasını önlemek için bir hesap çerçevesi sunmaktadır.

EC7-1'de bir geoteknik yapının performansının belirtilen sınır durumlarını aşmasını önlemek için aşağıda belirtilen dört tasarım yöntemlerinden biri veya kombinasyonu olacak şekilde kullanılması gerektiği belirtilir. Bu tasarım yöntemleri:

- Tecrübeye dayalı tasarım
- Gözlemsel yöntem ile tasarım
- Deneysel modellere ve yük testlerine dayalı tasarım
- Hesaplama ile tasarım

İlerleyen bölümlerde bu dört geoteknik tasarım yöntemleri açıklanmıştır. Ve bu tezde kullanılan hesaplama ile tasarım yöntemi hakkında daha detaylı bilgi verilmiştir.

3.1.1 Geoteknik Tasarım Yöntemleri

3.1.1.1 Tecrübeye Dayalı Tasarım

Bu yöntem, tasarımda geleneksel ve genel olarak muhafazakar kuralları içerir. Malzemeler, işçilik, koruma ve bakım prosedürlerinin teknik özellikleri ile kontrolüne dikkat eder. Kısmi faktörlerin bu yöntemle ile kullanılması amaçlanmamıştır. Bu yöntemler genellikle karşılaştırılabilir deneyimlerden elde edilen çizelge ve tabloların uygulanmasını içerir ve dolaylı olarak kendi güvenlik faktörlerini vardır.

Hesaplama modellerinin mevcut olmadığı veya uygun olmadığı durumlarda bu yöntem uygulanabilir. Ayrıca, hesaplamaların uygun olmadığı dayanıklılık tasarımının bazı yönleri için uygun olabilir. Yöntemin uygulanmasına; korozyon kaybının olumsuz etkilerini önlemek için ek kalınlık belirtilmesi gibi dayanıklılık problemleri ile killi zeminlerde mevsimsel hacim değişiminden kaçınmak için temel derinliği tanımlanması gibi yerel uygulamalar örnek verilebilir. İlâveten, bilinen zemin koşullarında kazıkların rutin tasarımı için oldukça yaygındır.

3.1.1.2 Gözlemsel yöntem ile tasarım

İnşaat süresince planlı bir şekilde gözden geçirilerek gözlemsel yöntemle tasarım yapılabilir. Bu yöntemde, tasarımcının, bir dizi inşaat stratejisinin geliştirildiği çeşitli olası davranışları dikkate almasını gerektirir. Yöntemin güvenli bir şekilde kullanılmasının özü şöyledir; (a) yapının beklenen davranış modlarının öngörülmesi ve bunların işle ilgili sonuçlarını tahmin etmek ve (b) gözlemlerin bu modlardan ayrıldığı göstermesi durumunda gerçekleştirilecek eylemler için beklenmedik durum planlaması ile tam izleme planı yapılması.

Bu yöntemin avantajı, geoteknik davranışın kesin bir tahmininin zor olduğu tasarımları kolaylaştırmasıdır. Zemin koşullarının karmaşık olduğu veya yeterince iyi bilinmediği veya kazılarda istinat yapılarının desteklenmesi gibi geçici işler azaltılarak zaman veya maliyetten tasarrufun sağlandığı yerler örnek verilebilir. Gözlemsel Yöntem, iyimser veya kötümser varsayımların gerçek davranışı izleyerek kontrol edilmesine olanak sağlar.

3.1.1.3 Deneysel modellere veya yük testlerine dayalı tasarım

EC7-1, yük testlerinin sonuçlarına dayanarak tasarıma izin verir. Yük testleri ve ölçekli model testi, belirli bir tasarımı doğrulamak veya diğer tasarım yöntemlerini tamamlamak için kullanılabilir. Örnek olarak, kilde toplam gerilme α yöntemini kullanarak fore kazık tasarımı ya da sahada yük testinin yaygın olarak kullanıldığı ankrajların ve zemin çivilerin tasarımı olabilir.

Tasarımda testlerden elde edilen sonuçların kullanılması için, test ile gerçek şartlar arasındaki zemin ve yeraltı suyu koşulları, süresi ve ölçüğü arasındaki farklar dikkate alınması gerekmektedir.

3.1.1.4 Hesaplama ile tasarım

Hesaplamaya göre tasarım, Şekil 3.1’de gösterildiği gibi özetlenmektedir. Üç temel değişkeni vardır:

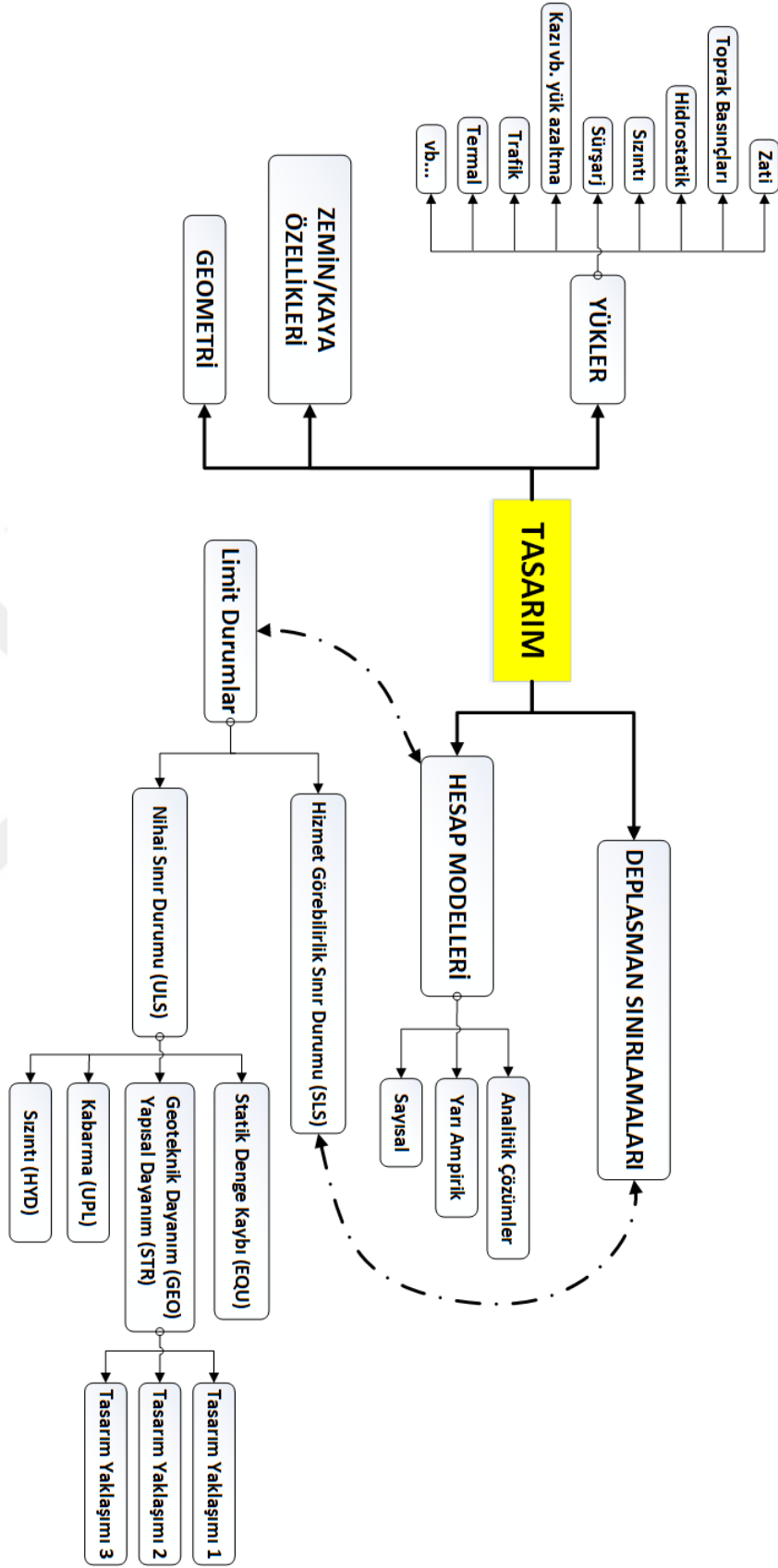
- yükler (örneğin, zemin ve kaya ağırlığı, zemin ve su basınçları, trafik yükleri vb.)
- malzeme özellikleri (örneğin zeminlerin, kayaların ve diğer malzemelerin yoğunluğu ve dayanımı)
- geometrik veriler (örneğin temel boyutları, kazı derinlikleri, yükleme eksantrikliği vb.)

Temel değişkenler; güvenli tarafta olmak kaydıyla basitleştirmeleri de içerebilecek şekilde hesap modellerinde kullanılır. Bu modeller; analitik (örneğin taşıma kapasitesi teorisi), yarı ampirik (örneğin kazık tasarımının alfa yöntemi) veya sayısal (örneğin, sonlu elemanlar analizi) olabilir.

Hesap modelleri, sınır durumlarının aşılmadığını doğrulamak için kullanılır. Hizmet görebilirlik sınır durumu için, bu modeller, öngörülen yer değiştirmelerin genellikle projeye özgü olan sınırlayıcı hareket değerlerini aşmadığını göstermelidir. Nihai sınır durumları için, yüklerin etkilerinin mevcut direnci aşmadığını göstermesi gerekir. Nihai sınır durumları; yapısal dayanım (STR), geoteknik dayanım (GEO), statik denge kaybı (EQU), kabarma (UPL) ve sızıntı (HYD) şeklinde beş ana başlıkta değerlendirilmektedir. İlaveten, Eurocode 7 tanıttığı üç Tasarım Yaklaşımları ile STR ve GEO sınır durumlarının doğrulanma şeklini seçme imkanı sunar.

3.1.2 Limit Durum

Bir geoteknik yapı tasarlanırken, yapıyı etkilemesi muhtemel nihai ve hizmet görebilirlik sınır durumlarının tanımlaması gerekir. Nihai sınır durumları, zeminin veya yapının bozulmasına yol açacak olanlardır; hizmet görebilirlik sınır durumları ise, kabul edilemez seviyede deformasyon, titreşim, gürültü veya su ya da kirletici madde akışı ile sonuçlanan durumlardır.



Şekil 3.1: Hesaplama ile tasarım özeti [2].

Nihai sınır durumlarında tüm geoteknik yapılar için şunların kontrol edilmesi önerilir:

- genel stabilite kaybı (zemin ve/veya ilişkili yapıların)
- zeminde ve yapıda birleşik göçme
- aşırı zemin hareketi nedeniyle yapısal göçme.

Hizmet görebilirlik sınır durumlarında ise tüm geoteknik yapılar için şunların kontrol edilmesi önerilir:

- aşırı oturma
- aşırı kabarma
- kabul edilemez titreşimler

EC7-1, sınırlayıcı koşullardan kaçınmaya odaklanan bir sınır durumu tasarım kodudur. Aslında, sınır durumları aşılmamalıdır. Sınır durumları, yapının artık ilgili tasarım kriterlerini yerine getirmediği durumlar olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, bir sınır durumu şöyle olabilir:

- güvenli olmayan bir durum
- yapıya zarar verilen
- ekonomik kayıp

EC7-1’de, tasarımın belirli bir sonuç vermesini sağlanarak bu sınır durumlarından kaçınılması sağlanmaktadır.

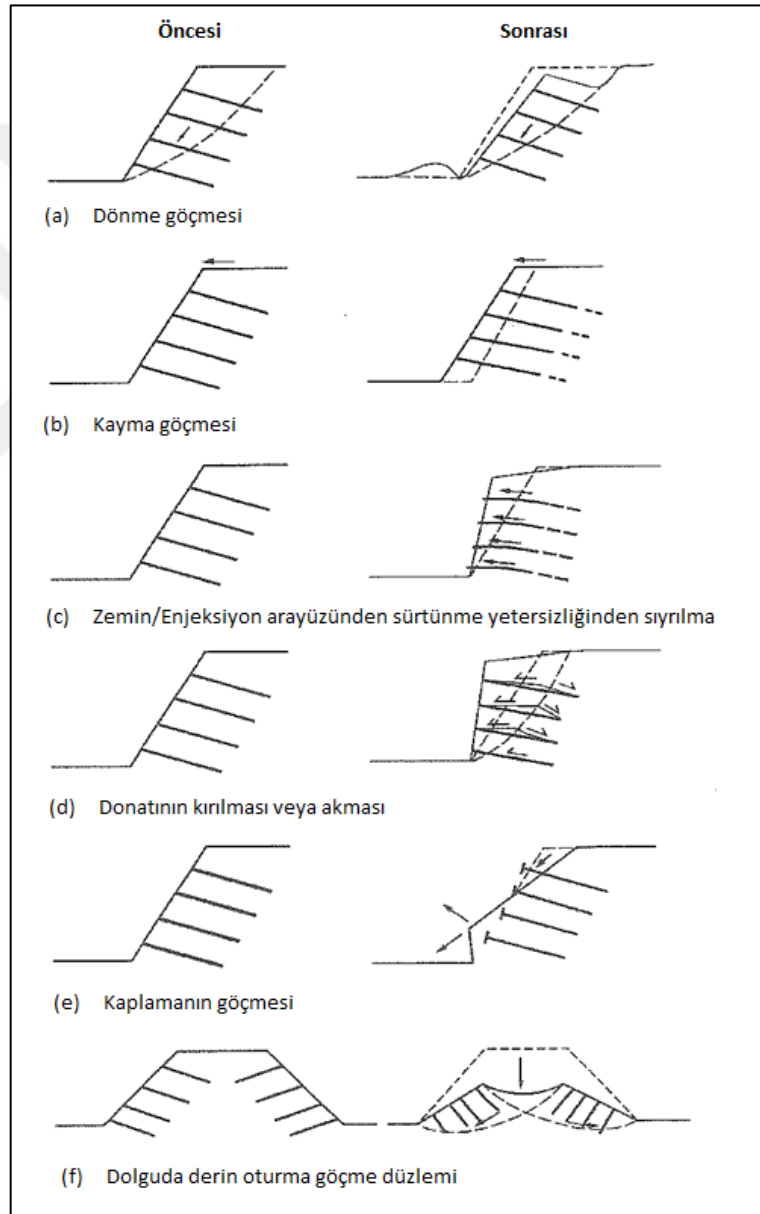
EC7-1’in özellikle önemli ve yeni bir özelliği, nihai sınır durumu ile hizmet görebilirlik sınırı durumu arasında yaptığı açık ayrımıdır. Bir SLS’nin aşılmamasının sağlanması gereği hakkında birçok açıklama yaparken, oturmaların ve deformasyonların nasıl hesaplanacağı hakkında çok az şey söylemektedir. Bu önemlidir, çünkü kod, deformasyonları sınırlamak yerine, özellikle göçmeden kaçınmak için tasarlanan bir tasarım hesaplamasında geoteknik parametrelerin (kesme dayanımı gibi) ve kısmi faktörlerin değerlerinin bir kombinasyonunu önerir [9].

3.1.2.1 Nihai Sınır Durumu (ULS)

Nihai sınır durumu, zemin çivili bir sistem etrafında veya içinde zeminde bir göçme mekanizmasının oluşabileceği ya da temel yapısal elemanlarında göçme meydana geldiği bir durum olarak tanımlanır. Ayrıca, çevre zeminince desteklenen diğer yapıların nihai sınır durumu da dikkate alınmalıdır. Tasarımda basitlik için, çökmeye yol açabilecek durumlar

genellikle çöküşün kendisi olarak kabul edilir. Bu durumlar aynı zamanda nihai sınır durumları olarak sınıflandırılmış ve ele alınmıştır.

Eurocode 7, mümkün olduğunca istinat yapılarının gözle görülür işaretler ile yeterli tehlike uyarısı verecek şekilde tasarlanmasını da gerektirir. Tasarım, belirgin bir ön deformasyon olmadan ani çöküş gibi gevrek göçme olayına karşı korunmalıdır. İstinat duvarı sistemi, görünür bir göçme uyarısı vermek için geoteknik sınır durum yaklaşımlarında yeterli esneklik gösterecek şekilde tasarlanmalıdır.



Şekil 3.2: Zemin çivilerinde nihai sınır durumları [8].

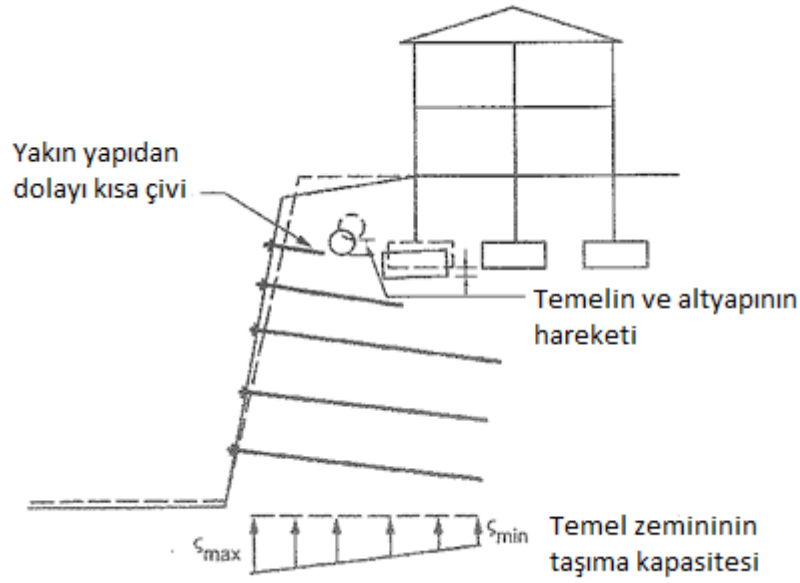
Nihai sınır duruma karşı, tasarımın olası tehlikelerinin tanımlanması gerekir. Analiz amacıyla, tehlikeler öngörülen göçme mekanizmalarıyla ilgilidir. Zemin çivili sistemler için bunlar:

- Dış stabilite tehlikeleri
 - Her kademede genel stabilite kaybı
 - Dönme
 - Kayma
 - Temel göçmesi
- İç stabilite tehlikeleri
 - Zemin/çivi ara yüzeyinde bozulma nedeniyle çivilerin sıyrılması
 - Zemin çivilerinin kopması
 - Kaplamanın devrilmesi
 - Yapısal kaplamaların bükülmesi ya da zımbalanması
 - Taşıyıcı kafaların bükülmesi ya da zımbalanması

3.1.2.2 Hizmet Görebilirlik Sınır Durumu (SLS)

Hizmet görebilirlik sınır durumu; zeminde veya yapıda aşırı deformasyonunun meydana geldiği, drenaj sisteminin tıkanıdığı ya da sızıntıların meydana geldiği bir durum olarak tanımlanır. Ayrıca, çevreleyen zemin tarafından desteklenen diğer yapıların hizmet görebilirlik sınır durumu dikkate alınmalıdır. Tasarım ömrü, tüm hizmet görebilirlik kriterlerinin karşılanması gereken süredir. Hizmet görebilirlik sınırı durumları zaman içinde gelişen bozulmayla nihai sınır durumlarına ulaşabilir. Gelişen bozulma durumlarına şunlar örnek verilebilir:

- Kaplamanın görsel görünümünü etkileyebilecek veya öngörülmeven bakım ile sonuçlanabilecek kaplama şekil değiştirmeleri veya hareketleri
- Komşu yapıların veya altyapının hizmet görebilirliğini etkileyebilecek kaplamadaki deformasyonlar
- Duvarın veya eğimin üstündeki veya altındaki aşırı toplam veya diferansiyel oturmalar
- Kullanıldığında kalıcı kaplamanın çatlaması
- Kullanıldığında esnek veya yumuşak kaplamanın aşırı kabarması



Şekil 3.3: Zemin çivilerinde hizmet görebilirlik sınır durumları [8].

Limit durum tasarımı, hizmet görebilirlik limit durumunun oluşmasının yeterli derecede olanaksız olmasını gerektirir. Hizmet görebilirlik sınır durumları iki şekilde kontrol edilebilir:

- E_d yükleri etkilerinin tasarım değerlerini hesaplayarak (örn. deformasyonlar, diferansiyel oturmalar, titreşimler vb.) ve bunları sınırlayıcı değerlerle karşılaştırarak, C_d
- karşılaştırılabilir deneyime dayanan basitleştirilmiş bir yöntemle.

Bir SLS tasarımını kontrol ederken, yüklerin ve malzeme özelliklerinin tasarım değerleri karakteristik değerlerine eşit olacaktır, yani kısmi faktör değerleri 1'e eşit olacaktır. Diferansiyel oturmaların hesaplandığı durumlarda; deformasyon modüllerinin üst ve alt karakteristik değerlerinin bir kombinasyonu, zemin özelliklerindeki herhangi bir yerel değişimden dolayı dikkate alınması önerilmektedir.

Mükemmel bir dünyada, deformasyonların sınırlayıcı değerleri, C_d , desteklenen her yapı için tasarım gereklilikleri olarak belirtilebilir. EC7-1, hareketin sınırlayıcı değerlerini oluştururken göz önünde bulundurulması gereken bir dizi öğeyi listeler, ancak herhangi bir sınırlayıcı deformasyon değeri önermez. Hesaplamaları kullanarak hizmet görebilirlik kontrollerini yapmanın basit bir alternatifi olarak, EC7-1, tasarımcıya, deformasyonları gerekli hizmet görebilirlik limiti dahilinde tutmak için zemin dayanımının yeterince düşük bir kısmının harekete geçtiğini göstermesine izin verir. Bu basitleştirilmiş yöntem, benzer zemin ve yapı ile karşılaştırılabilir deneyimin varlığını gerektirir. Bu, basitleştirilmiş yöntemin, bilinen zemin

koşullarında geleneksel yapılara ve temellere uygulanabileceği koşulları açıkça kısıtlamaktadır. Basitleştirilmiş yöntem EC7-1’de kazıklı temeller ve istinat yapıları için uygulanır [9].

3.1.3 Nihai Sınır Durumu Yaklaşımları

3.1.3.1 Geoteknik Dayanım (GEO) ve Yapısal Dayanım (STR)

Eurocode 7 GEO ve STR sınır durumlarının kontrolü için üç tasarım yaklaşımı tanıtmıştır. Sırasıyla üç tasarım yaklaşımı bu bölümde anlatılmaktadır. Bu tasarım yaklaşımlarından, Tasarım Yaklaşımı 1 ve 3 Malzeme Faktörü Yaklaşımı iken Tasarım Yaklaşımı 2 Yük ve Direnç Faktörü Yaklaşımı’dır. Malzeme Faktörü Yaklaşımı’nın felsefesi, kısmi güvenlik faktörlerini belirsizliğin ana kaynağı olan yük ve malzemeye uygulamaktır. Yük ve Direnç Faktörü Yaklaşımı’nın felsefesi ise, hesapların sonuçlarına kısmi güvenlik sayısı uygulamaktır. Direnç üzerindeki kısmi güvenlik sayıları malzeme özelliklerindeki belirsizliği dikkate almakla beraber analiz yöntemi, zemin araştırma teknikleri ve problemin geometrisi ile ilgili belirsizlikleri de dikkate almaktadır.

Tasarım Yaklaşımı 1’de iki aşamalı olacak şekilde sınır durumu kontrolleri yapılmaktadır. “Kombinasyon 1” olarak adlandırılan ilk aşamada, zemin özelliklerine (M) ve dirençlere (R) uygulamadan sadece yüklere (A) kısmi faktörler uygulanmaktadır. Bu uygulama A1, M1 ve R1 setlerinden kısmi faktörlerin kullanılmasıyla yapılır. Tablo 3.1’den görüldüğü gibi malzeme özelliklerinin ve dirençlerin kısmi faktörleri 1’dir, yani kısmi faktör uygulanmamaktadır.

“Kombinasyon 2” olarak adlandırılan ikincisinde, değişken olmayan yükler ve dirençler faktörlenmeden bırakılırken, kısmi faktörler zemin özelliklerine ve değişken yüklere uygulanır. Bu uygulama A2, M2 ve R1 setlerinden kısmi faktörlerin kullanılmasıyla yapılır.

Tasarım Yaklaşımı 1’de, kısmi faktörler hesaplama sürecinin başında uygulanır. Kalıcı ve geçici tasarım durumları için Tasarım Yaklaşımı 1’de ihtiyaç duyulan kısmi faktörlerin sayısal değerleri Tablo 3.1’de verildiği gibidir.

Tasarım Yaklaşımı 2’nin felsefesi, malzeme özelliklerini etkilemeden bırakılırken, aynı anda yüklere veya yüklerin etkilerine ve dirençlere kısmi faktörler uygulayarak kontrollerin yapılmasıdır. Bu A1, M1 ve R2 setlerinden kısmi faktörlerin kullanılmasıyla yapılır. Şev stabilite analizlerinde Tasarım Yaklaşımı 2 kullanılıyorsa, set A1’deki kısmi faktörler yüklere değil yüklerin etkilerine uygulanmaktadır.

Tablo 3.1: Tasarım Yaklaşımı 1’de kullanılan kısmi faktörler [2].

Tasarım Yaklaşımı 1			Kombinasyon 1			Kombinasyon 2		
			A1	M1	R1	A2	M2	R1
Sabit Yükler (G)	Elverişsiz	γ_G	1.35			1.0		
	Elverişli	$\gamma_{G,fav}$	1.0			1.0		
Değişken Yükler (Q)	Elverişsiz	γ_Q	1.5			1.3		
	Elverişli	$\gamma_{Q,fav}$	0			0		
Kayma Direnci katsayısı		γ_ϕ		1.0			1.25	
Etkatif Kohezyon		$\gamma_{c'}$		1.0			1.25	
Drenajsız Kayma Dayanımı		γ_{cu}		1.0			1.4	
Serbest Basınç Dayanımı		γ_{qu}		1.0			1.4	
Birim Hacim Ağırlık		γ_Y		1.0			1.0	
Direnç		γ_R			1.0			1.0

Tasarım Yaklaşımı 2’de, kısmi faktörler hesaplama sürecinde mümkün olan en geç yerde yük etkilerine ve dirençlere uygulanır. Kalıcı ve geçici tasarım durumları için Tasarım Yaklaşımı 2’de ihtiyaç duyulan kısmi faktörlerin sayısal değerleri Tablo 3.2’de verildiği gibidir.

Tablo 3.2: Tasarım Yaklaşımı 2’de kullanılan kısmi faktörler [2].

Tasarım Yaklaşımı 2			A1	M1	R2
Sabit Yükler (G)	Elverişsiz	γ_G	1.35		
	Elverişli	$\gamma_{G,fav}$	1.0		
Değişken Yükler (Q)	Elverişsiz	γ_Q	1.5		
	Elverişli	$\gamma_{Q,fav}$	0		
Malzeme Özellikleri		γ_M		1.0	
Taşma Direnci		γ_{Rv}			1.4
Kayma Direnci		γ_{Rh}			1.1
Zemin Direnci	İstinat Yapıları	γ_{Re}			1.4
	Şevler				1.1

Tasarım Yaklaşımı 3’ün felsefesi ise, geoteknik yüklere ve dirençlere uygulamadan aynı anda yapısal yüklere ve malzeme özelliklerine kısmi faktörler uygulayarak vakanın güvenilirliğini kontrol etmektir. Bu, A1 veya A2’den (sırasıyla yapısal ve geoteknik yükler), M2 ve R3’ten kısmi faktörler kullanılarak elde edilir. Ancak şev stabilite analizlerinde Tasarım Yaklaşımı 3

kullanılıyorsa, A2'deki kısmi faktörler sadece geoteknik yüklere değil tüm yüklere uygulanır. Yani yapısal yüklere de A1 yerine A2 uygulanır.

Tablo 3.3: Tasarım Yaklaşımı 3'de kullanılan kısmi faktörler [2].

Tasarım Yaklaşımı 3			A1	A2	M2	R3
Sabit Yükler (G)	Elverişsiz	γ_G	1.35	1.0		
	Elverişli	$\gamma_{G,fav}$	1.0	1.0		
Değişken Yükler (Q)	Elverişsiz	γ_Q	1.5	1.3		
	Elverişli	$\gamma_{Q,fav}$	0	0		
Kayma Direnci katsayısı		γ_ϕ			1.25	
Etkif Kohezyon		$\gamma_{c'}$			1.25	
Drenajsız Kayma Dayanımı		γ_{cu}			1.4	
Serbest Basınç Dayanımı		γ_{qu}			1.4	
Birim Hacim Ağırlık		γ_Y			1.0	
Direnç	Çekme kazık şaftı hariç	γ_R				1.0
	Çekme kazık şaftı	$\gamma_{R,st}$				1.1

Bu yaklaşımda, kısmi faktörler hesaplama işleminin başında yani yüklere ve malzeme özelliklerine uygulanır, ancak Tasarım Yaklaşımı 1'den farklı olarak tek bir aşamada uygulanır. Kalıcı ve geçici tasarım durumları için Tasarım Yaklaşımı 3'te ihtiyaç duyulan kısmi faktörlerin sayısal değerleri Tablo 3.3'de verildiği gibidir.

3.1.3.2 Statik Denge Kaybı (EQU) Limit Durum

EC7-1, EQU limit durumu için aşağıdaki eşitsizliğin yerine getirilmesini şart koşmaktadır:

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d$$

Bu, stabilite bozucu yükün tasarım değerinin $E_{dst;d}$ (örn. zemin veya su basınçlarından devirme momenti), stabilite sağlayan yükün $E_{stb;d}$ 'nin (örn. yapının ağırlığından dolayı destekleyici moment) tasarım değerinden daha düşük olması gerektiği anlamına gelir. İlâveten, zemindeki yapıların kenarlarındaki kesme direnci tasarım değerinin (T_d) katkısı dikkate alınır.

3.1.3.3 Kabarma (UPL) Limit Durum

UPL sınır durumu, yeni bir bina bodrumunun su tablasının altında kazılacağı durumlar için geçerlidir.

Göçmenin gerçekleşmeyeceğini kontrol etmek için aşağıdaki eşitsizliğin sağlanması gerekir:

$$V_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d$$

$V_{dst;d}$, yapının altındaki su basınçları gibi yukarı yönde sabit ve değişken stabilite bozucu yüklerdir. $G_{stb;d}$ ve R_d stabilite sağlayıcı kalıcı yüklerin tasarım değerleridir. $G_{stb;d}$ yapının ve/veya zeminin ağırlığı ile aşağı yönde tutucu kazıklar ya da ankrajlar gibi ilave yapıların direnci R_d ile sağlanır.

3.1.3.4 Sızıntı (HYD) Limit Durum

Zeminde su sızıntısı nedeniyle kabarmanın yarattığı göçme durumu, gerilmeleri veya kuvvetleri değişken olarak kullanarak kontrol edilir.

3.2 SONLU ELEMANLARDA EUROCODE 7 KULLANIMI

Sonlu Elemanlar Yöntemleri (FEM) gibi gelişmiş sayısal yöntemler, tasarımın deformasyonlarını hesaplamak ve hizmet görülebilirliği doğrulamak (SLS) için kullanılan yaygın bir uygulamadır. Aynı zamanda çeşitli programlarla nihai sınır durumlarını doğrulamak (ULS) için sonlu elemanlar yöntemi kullanılabilir. Ancak FEM ile ULS analizinde tüm Tasarım Yaklaşımları kolayca yapılamamaktadır ve bazı zorlukları içermektedir.

Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2 (TY1-2) ve Tasarım Yaklaşımı 3 (TY3)'te ana felsefe malzeme özelliklerini faktörlemek olduğundan FEM ULS analizleri kolayca uygulanabilir. Tasarım Yaklaşımı 2 (TY2)'de dirençlere kısmi faktör uygulandığından çeşitli zorluklar olabilmektedir. Aynı şekilde Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 1 (TY1-1)'de geoteknik yüklere kısmi faktör uygulamada zorlukla karşılaşılabilir. Bu durum TY2'de de geoteknik yüklere faktör uygulandığından geçerli olmaktadır.

ULS analizleri değerlendirmesi yapılırken belki de en önemli konu, tasarımında neyin doğrulanması gerektiği ve kullanacağın sayısal yöntemde bu doğrulamaları ne ölçüde yapabildiğin ve/veya nasıl yaptığıdır. Bond ve Harris [2]'in kitabında anlattıklarıyla bu konuyu aşağıdaki gibi açabiliriz.

Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyonu 1'de (TY1-1), sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.35$ ve $\gamma_Q=1.5$ kısmi faktörleri uygulanır ve malzeme özellikleri ile dirençler üzerindeki kısmi faktörler 1.0 olmaktadır. Sonlu elemanlar yazılımı Plaxis'te aktif ve pasif toprak basınçları giriş parametreleri değildir. Dolayısıyla püskürtme beton kaplamasına etkiyen aktif toprak basıncından oluşan yüke, $\gamma_G=1.35$ sabit yük kısmi faktörü zemine uygulanmamaktadır. Bu

durumun üstesinden gelmek için sabit yüklere $\gamma_G=1.0$, değişken yüklere ise γ_Q/γ_G 'den $1.5/1.35=1.11$ girilmesi ve daha sonra analiz sonucunda yük etkilerine 1.35 uygulanması önerilmektedir. STR doğrulanması kapsamında analiz sonucunda bulunan yapısal yükleri 1.35 ile çarparak yapısal tasarım değerleri bulunur. GEO doğrulanması kapsamında ise güvenlik sayısı $GS=1$ yerine $GS=1.35$ hedef güvenlik sayısında doğrulanma yapılması yerinde olacaktır.

Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyonu 2'de (TY1-2), sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.0$ ve $\gamma_Q=1.3$ kısmi faktörleri uygulanır; dirençler üzerindeki kısmi faktörler 1.0 ve malzeme özelliklerinde kısmi faktörler $\gamma_\phi=\gamma_c=1.25$ 'tir. Bu yaklaşımın kısmi faktörleri Plaxis'te giriş parametresi olarak girildiğinden herhangi bir zorlukla karşılaşılmamaktadır. Analiz sonucunda bulunan yapısal yükler tasarım yapısal yükleri olmaktadır. Hedef güvenlik sayısı ise doğal olarak 1.0 olmaktadır.

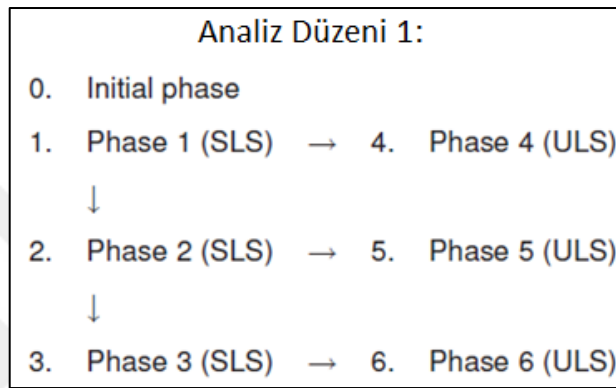
Tasarım Yaklaşımı 2'de (TY2), sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.35$ ve $\gamma_Q=1.5$ kısmi faktörleri uygulanır; malzeme özellikleri üzerindeki kısmi faktörler $\gamma_M=1.0$ ve kayma direnci $\gamma_{Rh}=1.1$. İksa fore kazıkları gibi gömülü kazıkların olduğu duvarlarda kazığın gömülü bölgesinin önünde pasif toprak basıncı oluşmaktadır. Ancak zemin çivili duvarlarda gömülü bölge olmadığından destekleyici pasif toprak basıncı oluşmamaktadır. Destekleyici pasif toprak basıncı oluşmadığından TY2'de mevcut olan zemin direnci (γ_{Re}) faktörü etkisini kaybetmektedir. Plaxis'te TY2 analizi tıpkı TY1-1 deki sabit yüklere 1.0, değişken yüklere 1.11 girilerek gerçekleştirilmektedir. Dirençlerin ise Plaxis'te tanımlanmasında zorlukla karşılaşılmaktadır. Aynı şekilde STR doğrulanması kapsamında analiz sonucunda bulunan yapısal yükleri 1.35 ile çarparak yapısal tasarım değerleri bulunur. GEO doğrulanması kapsamında ise $\gamma_{Rh} \times 1.35 = 1.1 \times 1.35 = 1.485$ hedef güvenlik sayısında doğrulanma yapılması yerinde olacaktır.

Tasarım Yaklaşımı 3 (TY3)'de geoteknik ve yapısal yüklere ayrı uygulanmak üzere farklı yük kısmi faktörleri vardır. Ancak şev stabilitesi problemlerinde, geoteknik yüklere uygulanan kısmi faktörler sadece geoteknik olanlara değil bütün yüklere uygulanmaktadır. Dolayısıyla Tasarım Yaklaşımı 3 (TY3) ile analiz gerçekleştirilirken sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.0$ ve $\gamma_Q=1.3$ kısmi faktörleri uygulanır ve malzeme özellikleri üzerindeki kısmi faktörler ise $\gamma_\phi=\gamma_c=1.25$ 'tir. Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2'de Plaxis'te girdiğimiz kısmi faktörlere baktığımızda TY3 ile aynı kısmi faktörleri girmekteyiz. Dolayısıyla TY1-2'de bulduğumuz sonuçlar ve değerlendirmeler TY3 ile aynı olmaktadır.

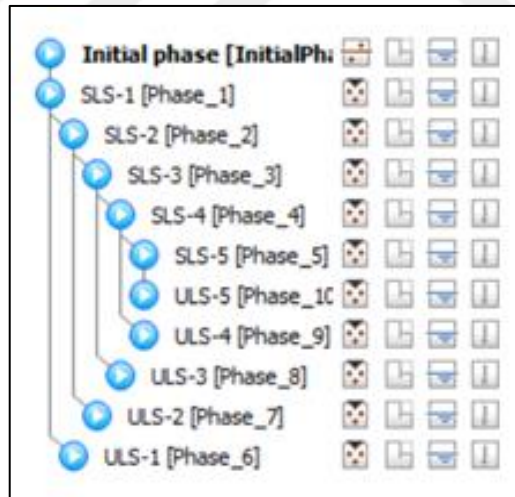
3.2.1 Tasarım Yaklaşımlarının Plaxis'e Uygulanması

Plaxis'te ULS analizlerinin gerçekleştirilmesi için Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2 şeklinde iki tür analiz akışı önerilmektedir. Bu akışlar Şekil 3.4 ve Şekil 3.6'da verildiği gibidir.

Analiz Düzeni 1'de ULS analizleri her SLS analizlerine ayrı ayrı uygulanmaktadır (Şekil 3.4). Yani ULS analizleri Phase 4, Phase 5 ve Phase 6'nın başlangıç phaseleri sırasıyla Phase 1, Phase 2 ve Phase 3 olmaktadır. Şekil 3.5 üzerinden bakılacak olursa Plaxis'te meydana gelen analiz aşamaları daha iyi görülmektedir.

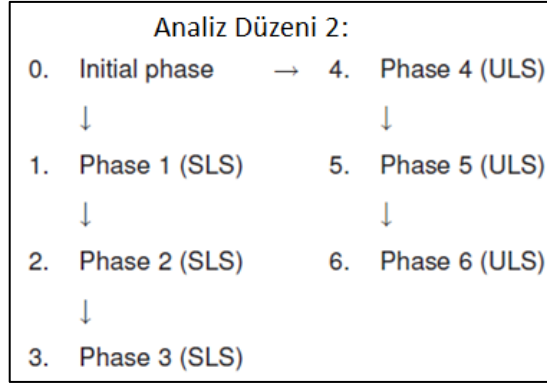


Şekil 3.4: Analiz Düzeni 1 analiz akış şekli [15].

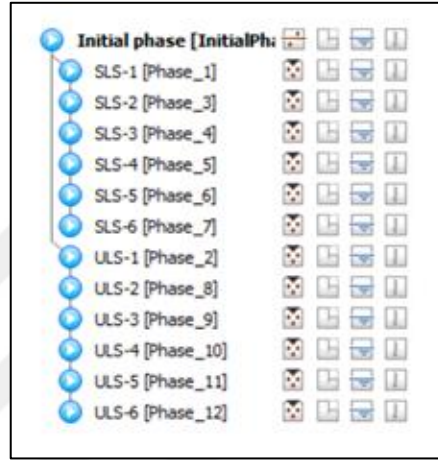


Şekil 3.5: Analiz Düzeni 1'in Plaxis'e uygulanması.

Analiz Düzeni 2'de ise SLS ve ULS analizleri ayrı ayrı analiz akışında gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.6). ULS ve SLS için başlangıç aşamasından ayrı ayrı phaseler oluşturup ULS ve SLS analizleri kendi içinde art arda olmaktadır. Analiz Düzeni 2'nin Plaxis'teki uygulanışı Şekil 3.7'deki gibidir.



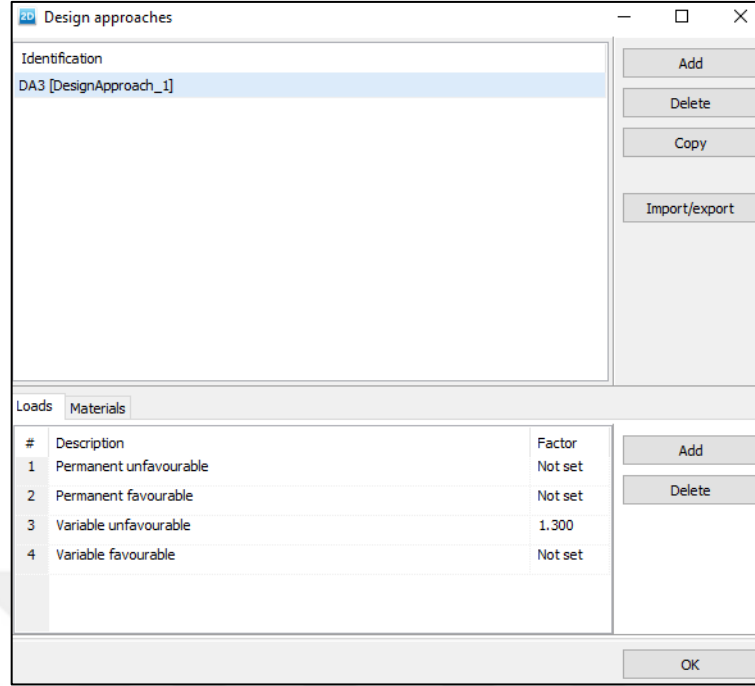
Şekil 3.6: Analiz Düzeni 2 analiz akış şekli [15].



Şekil 3.7: Analiz Düzeni 2'nin Plaxis'e uygulanması.

Tasarım Yaklaşımları Plaxis'e 'Structures' sekmesindeki 'Design Approaches' bölümünden programa tanımlanmaktadır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi 'Identification' bölümünde tasarım yaklaşımı eklenip ilgili 'loads' ve 'materials' alt sekmesinden yük ve malzeme kısmi faktörleri tanımlanır.

Eğer Tasarım Yaklaşımında malzeme kısmi faktörleri varsa Şekil 3.9'daki kırmızı oval bölge içerisindeki 'materials' sekmesinde faktörlerin uygulanması gerekir. Bu sekmeye tıklayınca Şekil 3.10'daki gibi bölüm açılacaktır. Şekil 3.10'dan görüldüğü üzere tanımladığımız DA3 Tasarım Yaklaşımının kısmi faktörlerinin uygulanacağı bölüm oluşmaktadır. Buradan ilgili kısmi faktör seçeneği faktörlenir. Şekil 3.10'da gösterildiği gibi zemin dayanım parametrelerini faktörlediğimizde program ilgili tasarım dayanım parametrelerini girdiğimiz kısmi faktöre göre hesaplar.



Şekil 3.8: Tasarım Yaklaşımlarının programa tanımlanması.

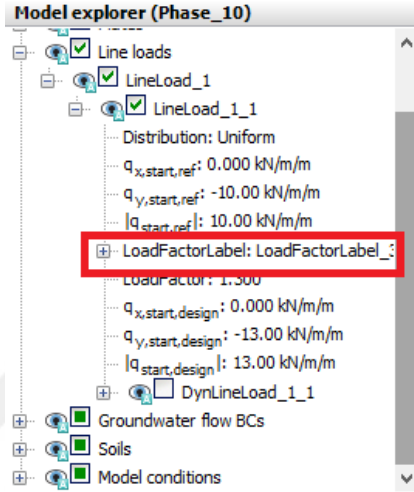


Şekil 3.9: Zemin özelliklerine kısmi faktörler tanımlama.

Property	Unit	Value	DA3 Label	Design value
Stiffness				
E'	kN/m ²	20.00E3	(None)	20.00E3
v' (nu)		0.3000		0.3000
Alternatives				
G	kN/m ²	7692	(None)	7692
E _{oed}	kN/m ²	26.92E3	(None)	26.92E3
Strength				
c' _{ref}	kN/m ²	4.000	Effective cohesion (c)	3.200
φ' (phi)	°	31.50	Effective friction angle (phi')	26.12
ψ (psi)	°	0.000	(None)	0.000

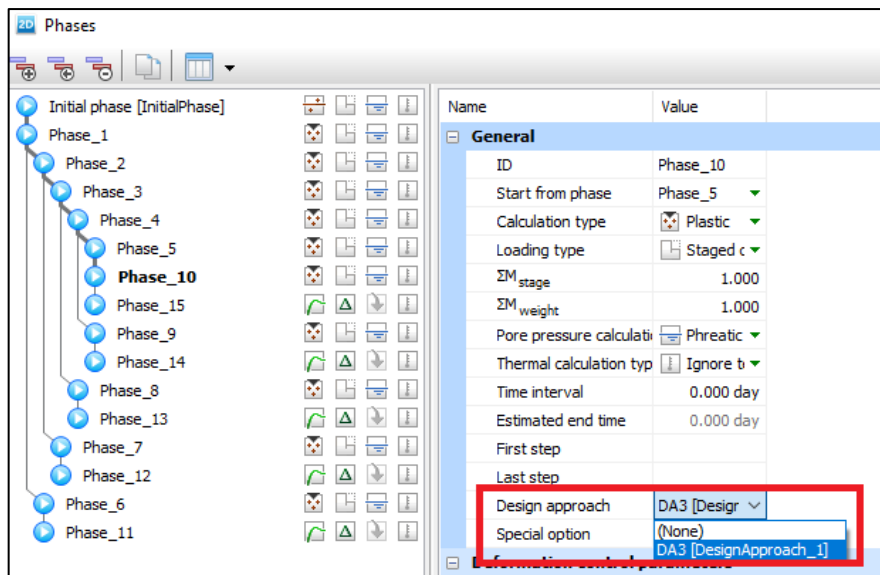
Şekil 3.10: Zemin özelliklerine kısmi faktörler uygulanması.

Yüklere kısmi faktörlerin uygulanması ise ‘Stage construction’ sekmesinde Şekil 3.11’de görüldüğü gibi ‘model explorer’ bölümünde yapılmaktadır. ‘Design Approaches’ bölümünde programa tanıttığımız kısmi faktörlerden yüke uygulanacak ilgili kısmi faktör kırmızı kutu içine alınan ilgili yerden uygulanmaktadır. Uygulandığı takdirde şekilde görüldüğü gibi yükün analizlerde kullanacak değeri artmaktadır.



Şekil 3.11: Yüklere kısmi faktör uygulanması.

ULS analizi gerçekleştirirken Şekil 3.12’de görüldüğü gibi ilgili ULS Phase’lerine tasarım yaklaşımının tanımlanması gerekmektedir. Aksi takdirde öncesinde ne kadar kısmi faktör tanımlarsan tanımla analiz sonucunda kısmi faktörlerin etkemediği sonuçlar bulunacaktır yani ULS analizi gerçekleştirilmemiş olacaktır.



Şekil 3.12: Analize Tasarım Yaklaşımı tanıtılması.

3.3 LİMİT DENGEDE EUROCODE 7 KULLANIMI

Limit denge programlarından SLOPE / W, Eurocode 7 limit durum tasarım yaklaşımlarına uygun olarak nihai limit durumu kontrol etmek için kullanılabilir. Kısmi faktörler, sonlu elemanlardan farklı olarak Eurocode 7 sınır durumu tasarım yaklaşımlarına uygun olarak karakteristik malzeme dayanım özelliklerine, yüklere ve dirençlere uygulanabilir. Elde edilen güvenlik sayısı aşırı tasarım faktörü (over-design faktor) olarak adlandırılmaktadır. Tasarımın güvenli olması için elde edilen güvenlik sayısının 1.0'e eşit veya daha büyük olması gerekmektedir.

Malzeme dayanım özellikleri arasında efektif gerilme ve drenajsız dayanım özellikleri bulunur. Yükler ise; yerçekimi kuvvetleri, sismik kuvvetler, nokta kuvvetler ve sürşarj yüklerinden oluşmaktadır. Yerçekimi kuvvetleri zeminin birim ağırlığı ile sismik kuvvetler ise sismik katsayılar aracılığıyla faktörlenir. Nokta ve sürşarj yükler, tasarımcı tarafından sabit veya değişken olarak tanımlanması gerekmektedir. Programın önemli özelliği analizi gerçekleştirirken zeminin elverişli ve elverişsiz yük durumlarını anlayıp buna göre zemin dilimlerine kısmi faktör uygulamasıdır. Program ayrıca dirençlere de kısmi faktör uygulayabilmektedir.

The screenshot displays the 'Normal, Price' analysis settings in the Slope/W software. The 'Name' field is set to 'Normal, Price', and the 'Parent' is '(none)'. The 'Analysis Type' is 'Morgenstern-Price'. The 'Settings' tab is selected, showing 'Side Function' as 'Half-sine function', 'PWP Conditions from' as '(none)', 'Staged Pseudo-static analysis option' as '(none)', and 'Partial Factors' as '(none)'. There is a 'Fn Values' button next to the 'Side Function' dropdown.

Şekil 3.13: Slope/W kısmi faktörler kullanımı.

Programa kısmi faktörler Şekil 3.13’de görüldüğü gibi ilgili ‘partial factors’ sekmesinden tanımlanmaktadır. Bu sekmede Şekil 3.14’de görüldüğü gibi Eurocode 7 ve çeşitli kısmi faktör uygulanan yöntemlerin kısmi faktörleri otomatik tanımlanmıştır. Kullanıcı isterse kısmi faktörlerde değişiklik de yapabilmektedir.

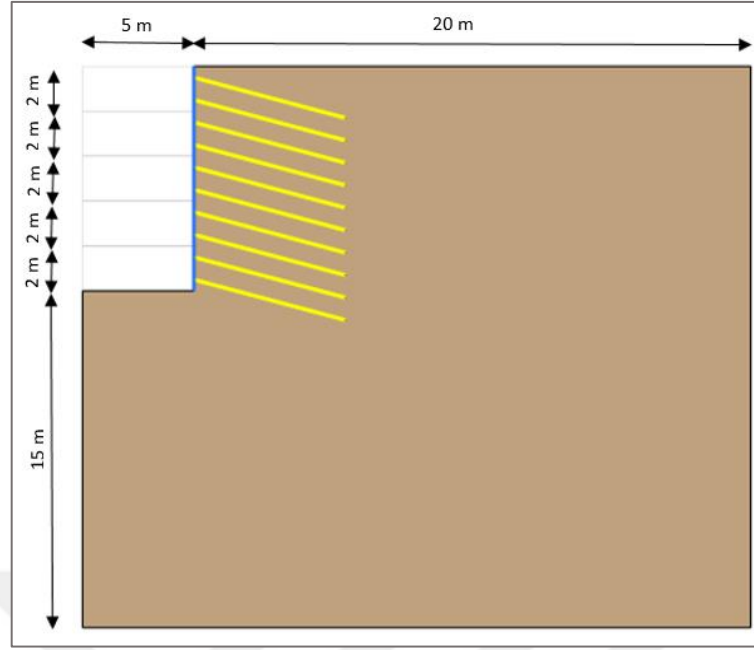
The screenshot shows the 'Partial Factors' dialog box. The 'Name' field is set to 'Eurocode 7 - DA1, C1'. The parameters are as follows:

Group	Parameter	Value
Permanent Point Loads/Surcharge Loads	Favorable:	1
	Unfavorable:	1.35
Variable Point Loads/Surcharge Loads	Favorable:	0
	Unfavorable:	1.5
Soil Unit Weight	Favorable:	1
	Unfavorable:	1.35
Other Parameters	Seismic Coefficients:	1
	Earth Resistance:	1
Material Parameters	Effective Cohesion:	1
	Effective Coefficient of Friction:	1
	Undrained Strength:	1
	Shear Strength (Other Models):	1
Reinforcement Parameters	Pullout Resistance:	1.1
	Shear Force:	1.1
	Tensile Strength:	1.1

Şekil 3.14: Slope/W tanımlı Eurocode 7 Tasarım Yaklaşımları.

3.4 REFERANS MODEL BİLGİLERİ

Babu ve Singh [1] yaptığı sonlu elemanlar çalışmasıyla bir zemin çivili sistemi Plaxis’te çözmüş ve sonuçları Plaxis bülteninde yayınlamıştır. Tez çalışması kapsamında ise yapılan bu çalışma, Eurocode 7 Tasarım Yaklaşımlarını değerlendirmek için referans model olarak kullanmıştır. Üzerinde çalışılan referans model Şekil 3.15’de verildiği gibidir. Tablo 3.4’de de ise analizlerde kullanılan çeşitli parametrelerin değerleri verilmektedir.



Şekil 3.15: Tasarım modeli.

Tablo 3.4: Analizlerde kullanılan çeşitli parametreler ve değerleri.

Parametre	Değer
Duvar yüksekliği H (m)	10.0
Çivi tipi	Enjeksiyonlu
Simülasyon model	Plane strain
Element tipi	15-node
Analiz tipi	Dranied
Malzeme modeli	Mohr-Coulomb
Kohezyon c (kPa)	4.0
İçsel sürtünme açısı ϕ	31.5
Zeminin poisson oranı	0.3
Çivinin akma dayanımı (MPa)	415.0
Çivinin elastisite modülü E_n (GPa)	200.0
Enjeksiyonun elastisite modülü E_g (GPa)	22.0
Çivinin çapı d (mm)	20.0
Delgi çapı D_{DH} (mm)	100.0
Çivi uzunluğu L (m)	7.0
Çivinin yatayla açısı	15.0
Aralık $S_h \times S_v$ (m)	1.0 x 1.0
Kaplama kalınlığı t (mm)	200.0

Sayısal analizlerde, zemin çivilerini temsil eden yapısal elemanlar için en önemli girdi malzemesi parametreleri aksenal sertlik (EA) ve/veya bükülme sertliği (EI)'dir. Genellikle bu

tür analizlerde zemin çivileri plaka ve geogrid yapısal elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Geogrid elemanlarda aksenal sertlik (EA) yeterli olmakla beraber plaka elemanlarda ilevaten bükülme sertliği (EI)'nin de tanımlanması gerekmektedir. Hem plaka hem de geogrid yapısal elemanlar düzlem dışı doğrultuda 1 m'ye eşit genişlikte dikdörtgen şeklindedir. Zemin çivileri yatay aralıklara yerleştirildiği ve enine kesitinde dairesel olduğu için, dairesel zemin çivilerinin dikdörtgen plaka yapı elemanları olarak doğru simülasyonu yapılması için eşdeğer aksenal ve bükülme sertliklerinin belirlenmesi gerekmektedir.

Enjeksiyonlu zemin çivilerinde eşdeğer elastisite modülü (E_{eq}), çivinin ve enjeksiyonun elastik sertlik katkısı dikkate alınarak belirlenmektedir. E_{eq} ile birlikte EA ve EI aşağıdaki denklemlerle belirlenmektedir.

$$E_{eq} = E_n \left(\frac{A_n}{A} \right) + E_g \left(\frac{A_g}{A} \right) \quad (3.1)$$

$$EA \left[\frac{kN}{m} \right] = \frac{E_{eq}}{S_h} \left(\frac{\pi D_{DH}^2}{4} \right) \quad (3.2)$$

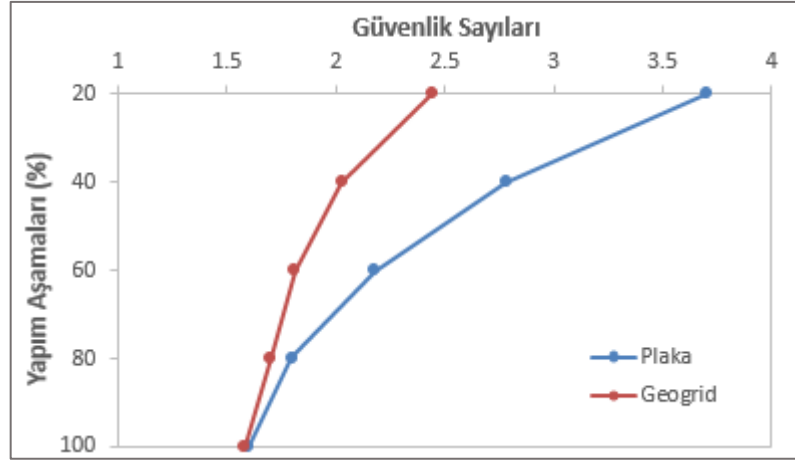
$$EI \left[\frac{kNm^2}{m} \right] = \frac{E_{eq}}{S_h} \left(\frac{\pi D_{DH}^4}{64} \right) \quad (3.3)$$

3.4.1 Referans Modelin Analiz Sonuçları

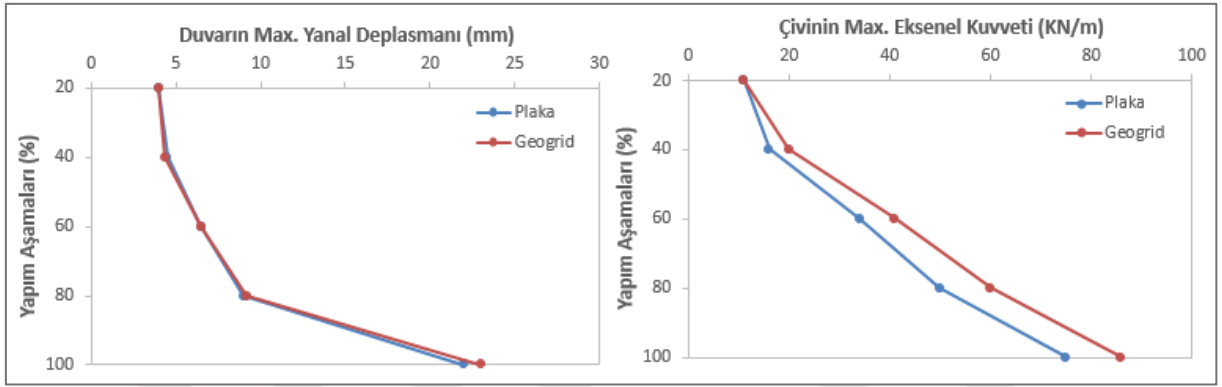
Bu bölümde referans model olarak kullanılan çalışmanın kendi makalesinde yayınlanan sonuçları verilmiştir. Tablo 3.5'de kazı kademelerine göre meydana gelen; güvenlik sayıları, duvarın maksimum yanal deplasmanları ve çivilerin maksimum aksenal ve kesme kuvvetleri ile momentlerinin değerleri belirtilmiştir. Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 18'de ise bu değerler şekil üzerinde gösterilmiştir.

Tablo 3.5: Yapım aşamalarına göre çeşitli parametrelerin sonuçları.

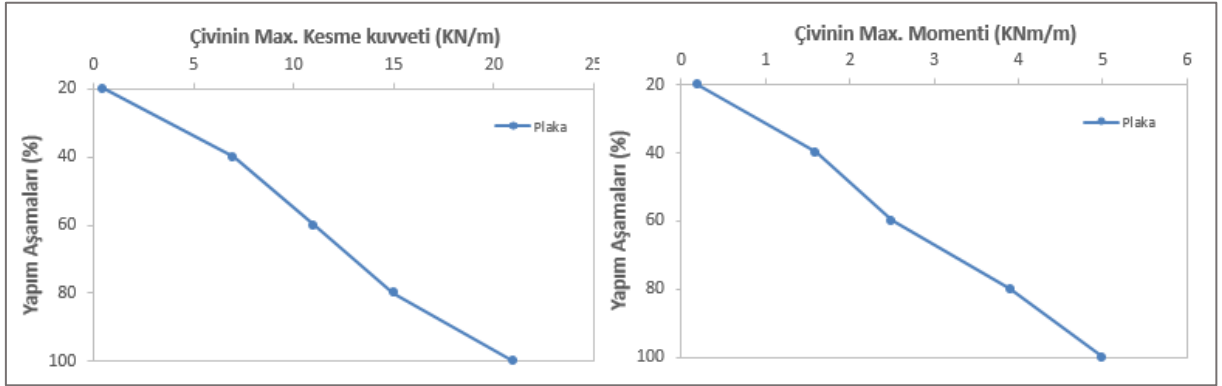
Yapım Aşamaları (%)	Güvenlik Sayıları		Duvar Max. Yanal Deplasmanı (mm)		Çivinin Max. Aksenal Kuvveti (kN/m)		Çivinin Max. Kesme Kuvveti (kN/m)	Çivinin Max. Momenti (kNm/m)
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Plaka	Plaka
20	2.44	3.7	4	4	11	11	0.5	0.2
40	2.03	2.78	4.35	4.5	20	16	7	1.6
60	1.81	2.18	6.5	6.5	41	34	11	2.5
80	1.7	1.8	9.2	9	60	50	15	3.9
100	1.58	1.6	23	22	86	75	21	5



Şekil 3.16: Yapım aşamalarına göre güvenlik sayıları.



Şekil 3.17: Yapım aşamalarına göre duvar deplasman ve çivi eksenel kuvvet değerleri.



Şekil 3.18: Yapım aşamalarına göre çivi kesme kuvveti ve moment değerleri.

4. BULGULAR

4.1 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZLER

4.1.1 <Hizmet Görebilirlik Sınır Durumu (SLS) Analizleri

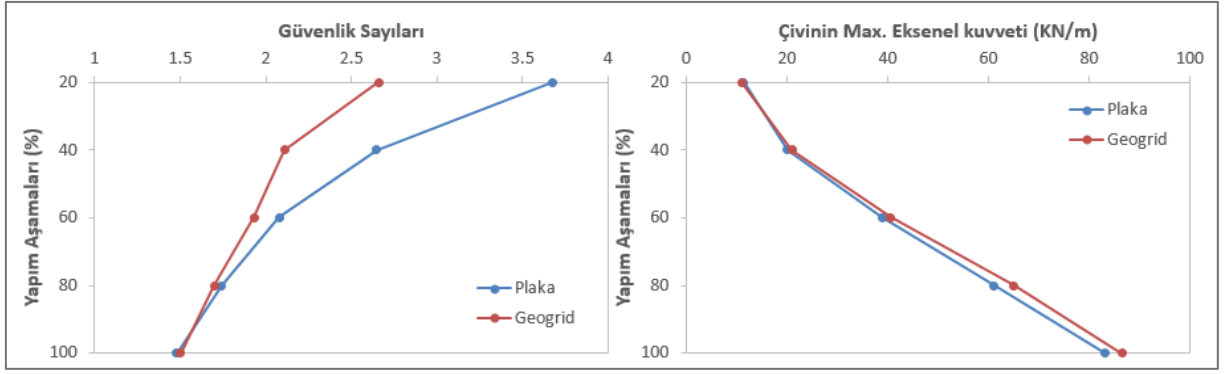
Bu bölümde referans alınan çalışmanın aynı şekilde gerçekleştirilen Plaxis analiz sonuçları verilmiştir. Ve analizler neticesinde bulunan sonuçlar Eurocode 7 SLS tasarım durumuna göre uygunluğu değerlendirilmiştir. Analizler referans çalışmasında olduğu gibi çiviye geogrid ve plaka yapısal elemanlarıyla tanımlayarak yapılmıştır. Tablo 4.1’de 5 kazı kademesiyle düşünülen zemin çivili duvar imalatının yapım aşamalarına göre bulunan güvenlik sayıları, duvarın maksimum yanıl deplasmanları ve çivilerin maksimum aksel kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve momentlerin değerleri verilmiştir. Tablo 4.2’te ise yapım aşamalarına göre duvarda meydana gelen maksimum aksel ve kesme kuvvetler ile moment değerleri verilmektedir.

Tablo 4.1: Yapım aşamalarına göre çeşitli parametrelerin değerleri.

Yapım Aşamaları (%)	Güvenlik Sayıları		Duvarın Max. Yanıl Deplasmanı (mm)		Çivinin Max. Aksel Kuvveti (kN/m)		Çivinin Max. Kesme Kuvveti (kN/m)	Çivinin Max. Momenti (kNm/m)
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Plaka	Plaka
20	2.66	3.68	3.6	3.5	10.97	11.34	0.46	0.16
40	2.11	2.65	4.6	4.5	20.96	20.02	8.03	1.79
60	1.93	2.08	5	4.8	40.62	38.82	13.43	3.08
80	1.7	1.74	10.1	9.9	65.08	61.08	20.13	4.85
100	1.5	1.48	22.59	20.39	86.46	83.22	27.43	6.68

Tablo 4.2: Yapım aşamalarına göre duvarın çeşitli kuvvet değerleri.

Yapım Aşamaları (%)	Duvarın Max. Aksel Kuvveti (kN/m)		Duvarın Max. Kesme Kuvveti (kN/m)		Duvarın Max. Momenti (kNm/m)	
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	5.12	5.37	5.68	5.94	0.78	0.79
40	11.23	10.72	8.98	10.43	2.69	3.21
60	13.36	13.84	23.62	21.58	6.86	7.46
80	28.29	31.3	36.25	33.63	8.94	10.2
100	42.78	52.62	46.12	45.27	9.67	11.01



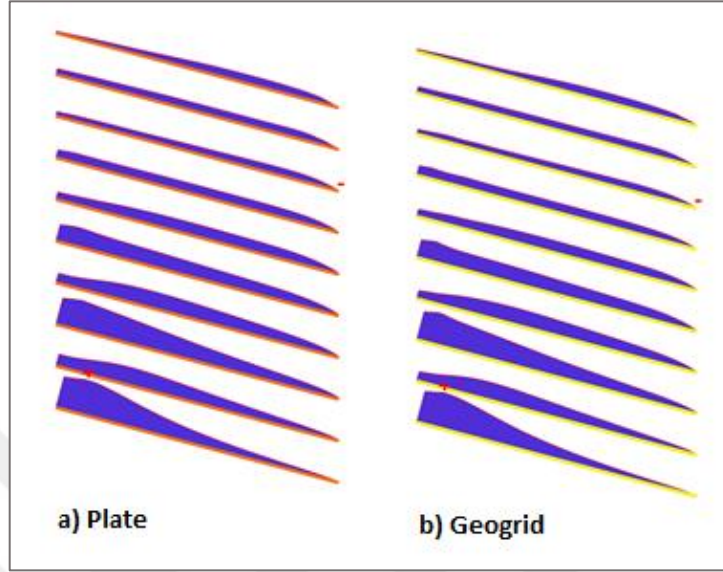
Şekil 4.1: Yapım aşamalarına göre güvenlik sayıları ve çivi max. aksenal kuvvetleri.

Şekil 4.1’de geogrid ve plaka yapısal elemanlar ile çözümü gerçekleştirilen analizlerin yapım aşamalarına göre güvenlik sayılarında ve çivinin maksimum aksenal kuvvetlerindeki değişim şekil olarak gösterilmiştir. Şekildeki geogrid ve plaka elemanlara göre güvenlik sayılarına bakıldığında, başlangıç kazı kademelerinde farklar olmakla beraber imalat aşaması tamamlandığında hemen hemen aynı güvenlik sayısı bulunmaktadır. Bu bize göstermektedir ki, hem geogrid hem de plaka elemanlar benzer sonuçları yakalayabilmekte ve dolayısıyla ikisi de analizlerde kullanılabilir. Yapısal elemanlara göre güvenlik sayılarındaki bu değişimin nedeni ise plaka elemanlarda giriş parametresi olarak kullanılan bükülme sertliği (EI)’dir. Bükülme sertliği zemin çivili duvarların inşaat aşamalarında stabiliteye görüldüğü gibi önemli bir katkı sağlamaktadır. Ancak bu katkı inşaat tamamlandığında ise ihmal edilebilir bir düzeyde olduğu anlaşılmaktadır.

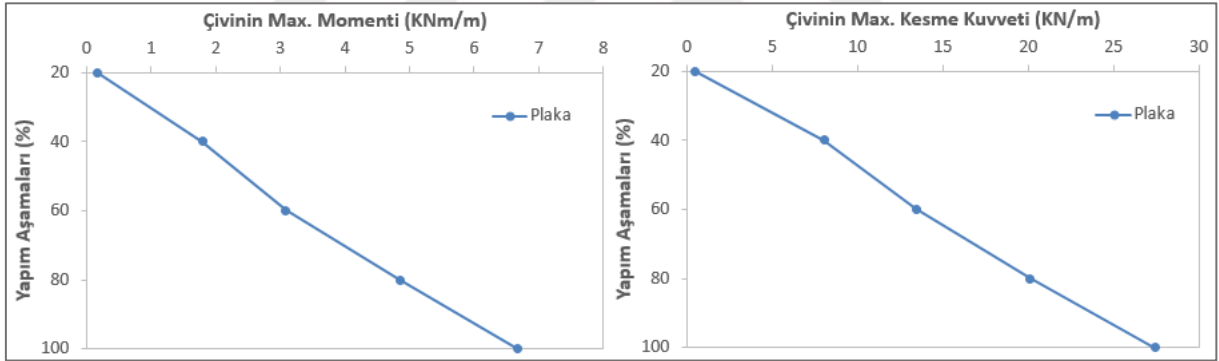
Şekil 4.1’de yapım aşamasıyla birlikte çivilerde gelişen maksimum aksenal kuvvetlerin gelişimleri de gösterilmiştir. Gelişen kuvvetlere baktığımızda, önemli bir değişim göstermemekle beraber plaka yapısal elemanlarda daha az aksenal kuvvetler oluşmaktadır. Plaka elemanlarda daha az kuvvetlerin gelişmesi ise bükülme sertliğinin (EI) katkısından kaynaklanmaktadır. Bu faktörün etkinliğinden dolayıdır ki, çivi plaka eleman olarak modellendiğinde duvar deplasmanları Şekil 4.4 ve Tablo 4.1’den görüleceği üzere daha az olmaktadır. Zemin çivili sistemlerin davranışı gereği çiviler deformasyonlara bağlı olarak yüklenmektedir. Dolayısıyla zemin çivisi plaka olarak modellendiğinde daha az deformasyonlar gerçekleştiği için çivilerde daha az aksenal kuvvetler oluşmaktadır.

Şekil 4.2’de ise inşaatın tamamlanmasıyla beraber farklı seviyelerdeki çivilerin çivi boyunca gerçekleşen kuvvet dağılımını göstermektedir. Kuvvet dağılımlarını incelediğimizde, geogrid ve plaka elemanlarında çok benzer dağılım görülmektedir. Bu şekillerdeki sonuçlar zemin çivilerinin geogrid ve plaka yapısal elemanlar olarak birbirinin yerine kullanılabileceğini

göstermektedir. Şekil 4.3’de de plaka olarak tanımlanan çivilerdeki maksimum momentler ve kesme kuvvetleri değerleri yapım aşamalarına göre gösterilmektedir.



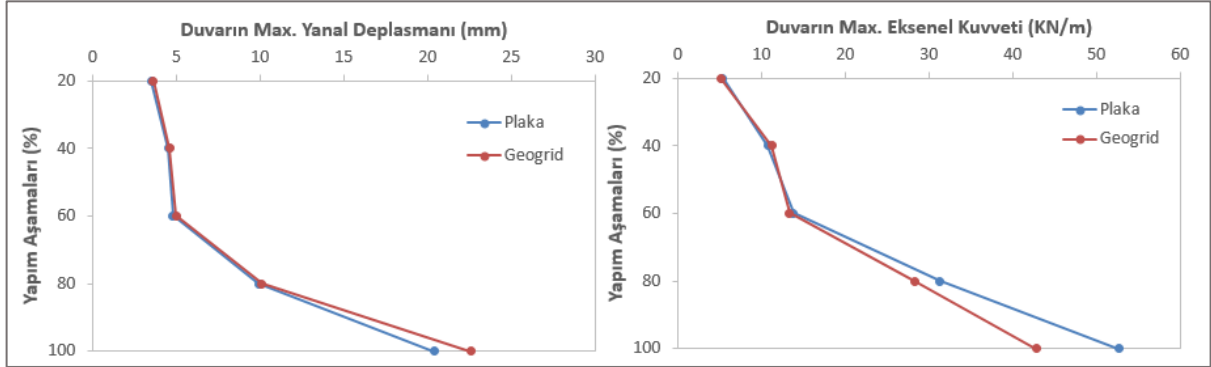
Şekil 4.2: İnşaatın tamamlanmasıyla çivi boyunca gelişen kuvvet dağılımları.



Şekil 4.3: Çivilerdeki maksimum momentler ve kesme kuvvetleri.

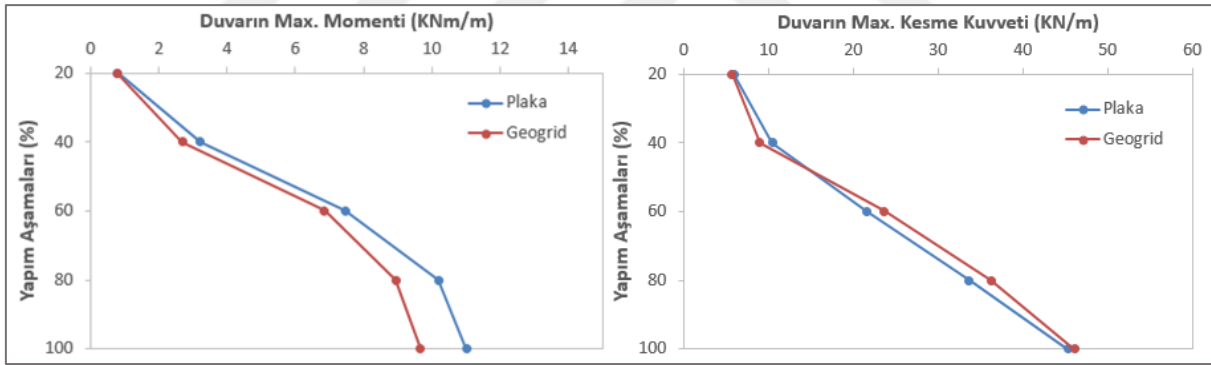
Şekil 4.4’de zemin çivili duvarın inşaat aşaması ile meydana gelen maksimum yanal deplasman eğilimi gösterilmektedir. Şekli incelediğimizde hem geogrid hem de plaka elemanlarda tarafından bulunan deplasman sonuçlarının birbirini çok yakaladığını görmekteyiz. Dolayısıyla bükülme sertliğinin (EI), zemin çivili duvarların deformasyon analizlerinde önemsiz bir etkisi olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca yapım aşamalarına göre gelişen deplasmanlara baktığımızda son kazı kademesinde hemen hemen iki kat kadar deplasmanlarda artış görülmektedir. Dolayısıyla son kazı kademesinde imalatın daha kritik bir duruma geldiğini görmekteyiz. Şekil 4.4’de ayrıca duvarda oluşan maksimum aksel kesme kuvvetleri de verilmektedir. Yapım aşamalarına göre iki yapısal elemanda meydana gelen aksel kuvvetleri baktığımızda ilk üç kazı kademesinin çok benzer sonuçlar vermesine rağmen dördüncü kazı kademesinde plaka

elemanda hafif artış gösterip son kademede daha da artmaktadır. Dolayısıyla bükülme sertliği öneminin kazı derinliğiyle arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.4: Duvarın maksimum yanal deplasmanları ve eksenel kuvvetleri.

Şekil 4.5’de zemin çivili duvarda meydana gelen maksimum momentler ve kesme kuvvetleri hem geogrid hem de plaka yapısal elemanları için yapım aşamalarına göre verilmiştir. Maksimum momentler, çivi plaka olarak tanımlandığında kazı kademesiyle birlikte daha da artarak daha büyük olmaktadır. Kesme kuvvetleri ise hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5: Duvarın maksimum momentleri ve kesme kuvvetleri.

Eurocode 7’ye göre tasarım yapıldığında hizmet görebilirlik sınır durumu (SLS) doğrulaması için sistem deformasyonunun belli deformasyonlar sınırlamalarıyla makul düzeylerde tutulması gerekmektedir. Bölüm 2.4.4’te zemin çivili duvarların deformasyonlar ile ilgili bilgiler verilmiştir. Bu bilgilere göre maksimum yanal deplasman, ince taneli zeminler için yaklaşık $0.3H$, granüler zeminler için $0.2H$, yıpranmış kayalarda ve sıkı zeminlerde $0.1H$ ile sınırlandırılması önerilmiştir. Bu tasarımda duvarda meydana gelen maksimum yanal deplasmanlar, geogrid eleman için 22.59 mm ve plaka eleman için 20.39 mm bulunmuştur. Bu durumda geogrid için 0.226 , plaka için 0.204 olmaktadır. Referans alınan çalışmada zemin parametrelerini verse de zemin türüyle ilgili bilgi verilmemiştir. Ancak verilen zemin

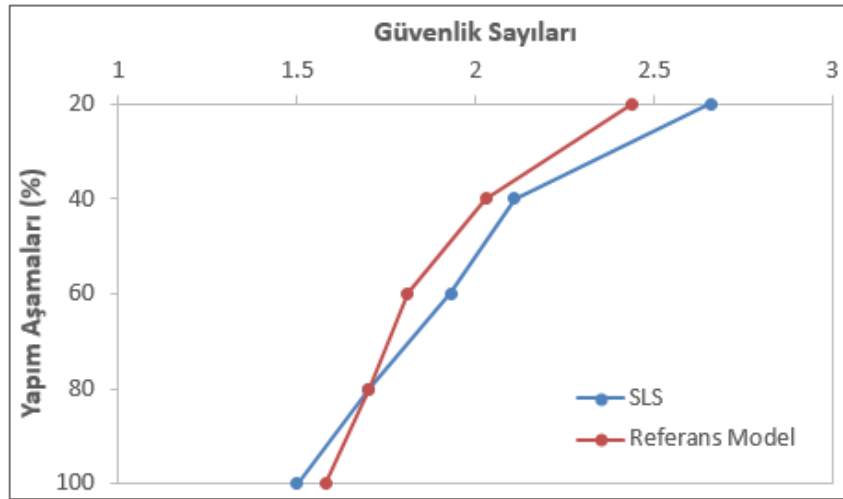
parametrelerinin yıpranmış kaya veya sıkı zemin olmayacağı aşıkardır. Dolayısıyla bulunan deplasmanların SLS değerlendirmesi için makul düzeyde olduğunu söyleyebiliriz.

4.1.2 Referans Model ve SLS Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması

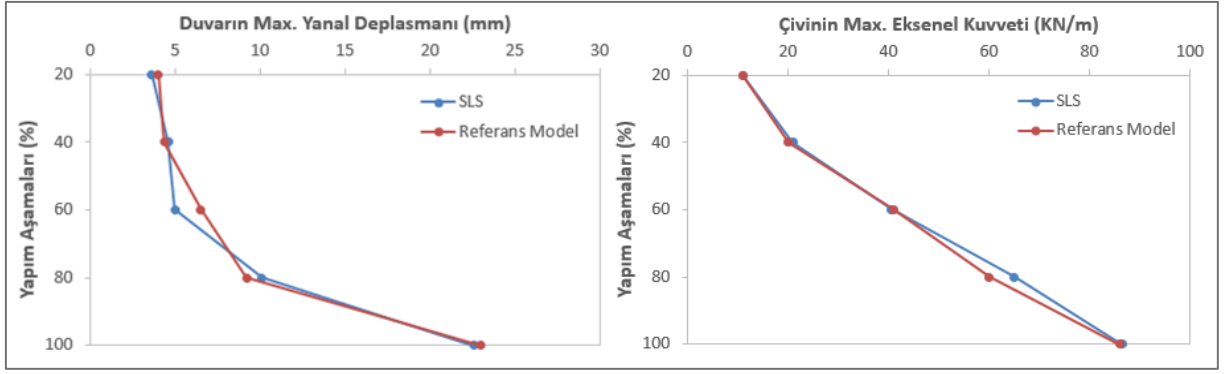
Daha önceden belirtildiği gibi SLS analizleri, referans alınan çalışmada belirtildiği şekilde Plaxis analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde, referans alınan çalışmanın sonuçları ile SLS analizlerinden bulduğumuz sonuçlar karşılaştırılarak kurduğumuz Plaxis modelin doğruluğu değerlendirilmiştir. Zemin çivileri hem geogrid hem de plaka yapısal elemanları olarak tanımlandığından karşılaştırılmalar iki başlık altından ayrı ayrı yapılmıştır.

4.1.2.1 Geogrid Çivi Tanımlı Model Analizleri

Şekil 4.6'da yapım aşamalarına göre sistemde meydana gelen güvenlik sayıları değişimleri verilmektedir. Şekile göre dördüncü yapım aşamasında aynı güvenlik sayısı bulunsa da diğer aşamalarda bazı farklar meydana gelmiştir. Şekil 4.7'de ise duvardaki maksimum yanal deplasmanlar ile çivideki maksimum aksenal kuvvetler karşılaştırılmıştır. Duvar deplasmanlarının üçüncü kazı aşamasında hafif bir farklılığa rağmen diğer aşamalarda hemen hemen aynı sonuçlar bulunmuştur. Çivi maksimum aksenal kuvvetlerinde de hemen hemen aynı sonuçların bulunduğu görülmektedir.



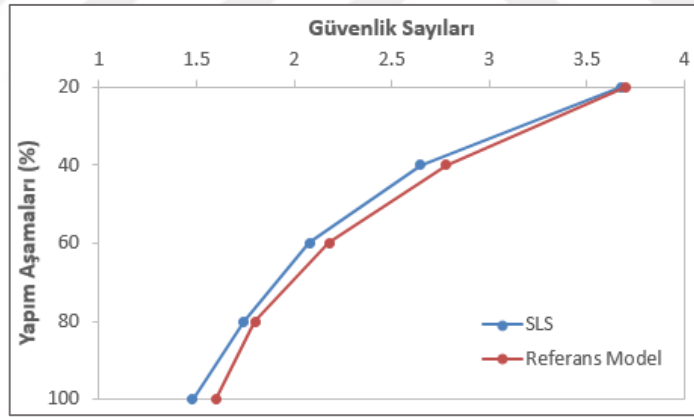
Şekil 4.6: Güvenlik sayılarının karşılaştırılması.



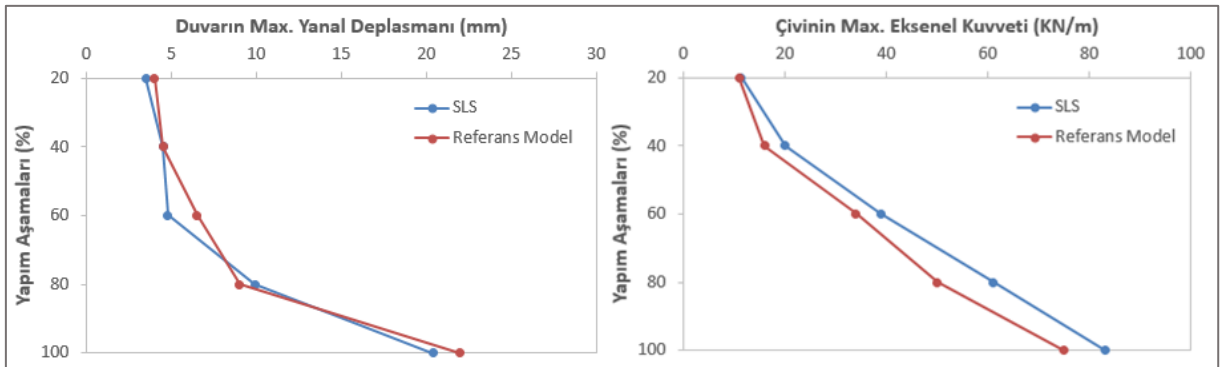
Şekil 4.7: Duvar deplasmanları ile çivi eksenel kuvvetlerinin karşılaştırılması.

4.1.2.2 Plaka Çivi Tanımlı Model Analizleri

Şekil 4.8’de yapım aşamalarına göre sistemde meydana gelen güvenlik sayıları değişimleri verilmektedir. Şekle bakıldığında tez için kurulan plaxis modelinde aynı düzeylerde ama biraz daha az güvenlik sayısı bulunduğu görülmektedir. Şekil 4.9’da duvardaki maksimum yanal deplasmanlar ile çivideki maksimum eksenel kuvvetler karşılaştırılmıştır. Duvar deplasmanlarının üçüncü kazı aşamasında geogrid elemanla çözümden olduğu gibi hafif bir farklılığa rağmen diğer aşamalarda hemen hemen aynı sonuçlar bulunmuştur.

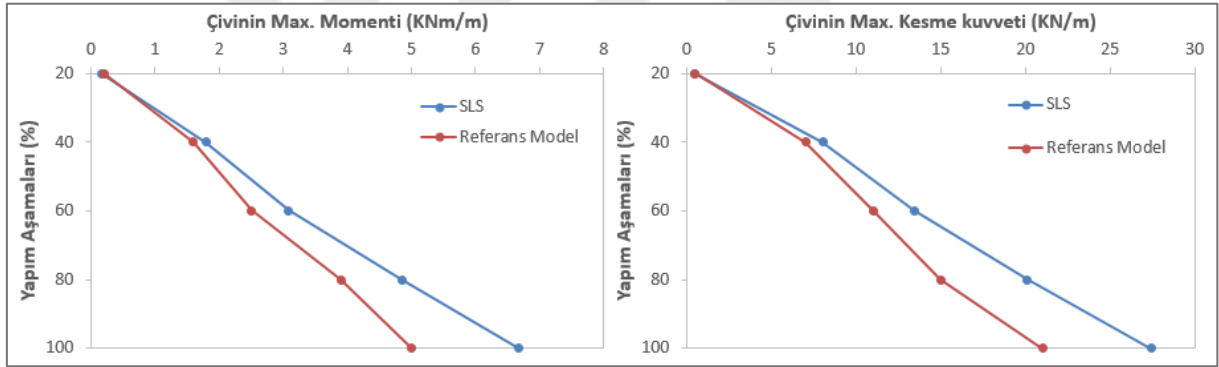


Şekil 4.8: Güvenlik sayılarının karşılaştırılması.



Şekil 4.9: Duvar deplasmanları ile çivi eksenel kuvvetlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.9’da çivilerde meydana gelen maksimum aksenal kuvvetler verilmiştir. Şekil 4.10’da ise çivilerde oluşan maksimum momentler ile maksimum kesme kuvvetleri verilmiştir. İki şekilde de verilen sonuçlara bakıldığında tez için kurulan modelde daha fazla sonuçların bulunduğu görülmektedir. Bu farklar makalede verilmeyen ancak analizleri yaparken kullanılan verilerden kaynaklanabilir. Ya da Plaxis programının zaman içerisinde değişmesi ve gelişmesiyle kaynaklanan nedenlerden olabilir. Zira kullanılan Plaxis bülteni makalesi 2009 tarihli ama tezde kullanılan Plaxis programı 2019 sürümlüdür. Şöyle ki, Şekil 4.1’ten göreceğimiz gibi tez için yapılan analizlerin sonucunda geogrid ve plaka elemanlarda meydana gelen çivi maksimum aksenal kuvvetleri hemen hemen aynı bulunmuştur. Ancak referans modelin kendi sonuçlarında geogrid ve plaka elemanlarda meydana gelen çivi maksimum aksenal kuvvetleri arasında farklar bulunmaktadır. Tablo 3.5 ve Şekil 3.17’den görüleceği gibi çiviler plaka yapısal elemanlar olarak tanımlandığında inşaat tamamlanmış durumda 11 kN/m daha az aksenal kuvvet değeri vermektedir.



Şekil 4.10: Çivi momentleri ile kesme kuvvetlerinin karşılaştırılması.

4.1.3 ULS Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyonu 1 ile Analizler

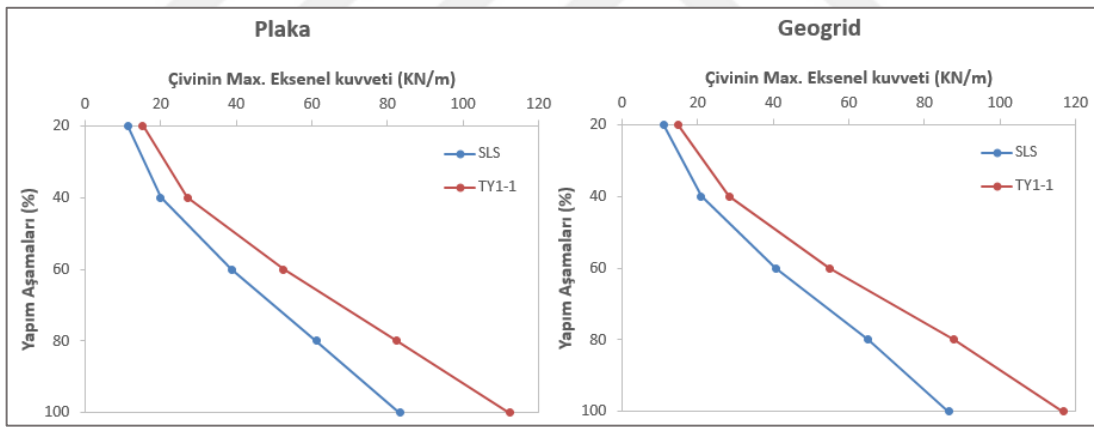
Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyonu 1’de (TY1-1), sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.35$ ve $\gamma_Q=1.5$ kısmi faktörleri uygulanır ve malzeme özellikleri ile dirençler üzerindeki kısmi faktörler 1.0 olmaktadır. Sonlu elemanlar yazılımı Plaxis’te aktif ve pasif toprak basınçları giriş parametreleri değildir. Dolayısıyla püskürtme beton kaplamasına etkiyen aktif toprak basıncından oluşan yüke, $\gamma_G=1.35$ sabit yük kısmi faktörü zemine uygulanmamaktadır. Bu durumun üstesinden gelmek için sabit yüklere $\gamma_G=1.0$, değişken yüklere ise γ_Q/γ_G ’den $1.5/1.35=1.11$ girilmesi ve daha sonra analiz sonucunda yük etkilerine 1.35 uygulanması önerilmektedir. Kullanılan analiz modeline bakıldığında sistemde sadece sabit yük olarak zemin etkisi vardır. Ve değişken yük bulunmamaktadır. Dolayısıyla Plaxis’te bu tasarım yaklaşımını çözerken SLS analiz sonuçlarını farklılaştıracak olan değişken yük olmadığından

SLS Plaxis analiz sonuçlarını bu zemin çivili modelde olmak üzere kullanabiliriz. Aksi takdirde değişken yük bulunsaydı 1.11 kısmi faktörü etkilerken analizleri yapmamız gerektirir.

STR doğrulanması kapsamında analiz sonucunda bulunan yapısal yükleri 1.35 ile çarparak yapısal tasarım değerleri bulunur. GEO doğrulanması kapsamında ise güvenlik sayısı $GS=1$ yerine $GS=1.35$ hedef güvenlik sayısında doğrulanma yapılması yerinde olacaktır.

Tablo 4.3: Güvenlik sayıları ile çivinin SLS ve ULS TY1-1 eksenel kuvvetleri.

Yapım Aşamaları (%)	Güvenlik Sayıları		SLS Çivinin Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)		ULS Çivinin Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)	
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	2.66	3.68	10.97	11.34	14.81	15.31
40	2.11	2.65	20.96	20.02	28.30	27.03
60	1.93	2.08	40.62	38.82	54.84	52.41
80	1.7	1.74	65.08	61.08	87.86	82.46
100	1.5	1.48	86.46	83.22	116.76	112.35



Şekil 4.11: SLS ve ULS durumlarında çivilerdeki mak. eksenel kuvvetler.

Tablo 4.3’de yapım aşamalarına göre meydana gelen güvenlik sayıları ile SLS ve ULS TY1-1 durumlarındaki çivilerin maksimum eksenel kuvvetleri verilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi bu tasarım yaklaşımında bu modele özgü olarak SLS analizlerinde bulunan sonuçlar kullanılmaktadır. Dolayısıyla ULS durumu için değerlendirmeye tabi olacak güvenlik sayıları tablodan da anlaşılacağı gibi SLS analizinden bulunan güvenlik sayılarıdır. ULS durumundaki çivilerde oluşan maksimum eksenel kuvvetler, daha önce anlatıldığı gibi SLS’den bulduğumuz sonuçları 1.35 ile çarparak bulmaktayız. Ve Tablo 4.3’de bu şekilde verilmiştir. Şekil 4.11’de ise çivilerin maksimum eksenel kuvvet değerleri, hem plaka hem de geogrid yapısal elemanlarla

SLS ve ULS için yapım aşamalarına göre gösterilmiştir. GEO doğrulaması için Tablo 4.3'ten inşaat tamamlandığındaki güvenlik sayısına baktığımızda hedef güvenlik sayısı 1.35'i sağladığını görmekteyiz.

4.1.4 ULS Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2 ile Analizler

Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyonu 2'de (TY1-2), sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.0$ ve $\gamma_Q=1.3$ kısmi faktörleri uygulanır; dirençler üzerindeki kısmi faktörler 1.0 ve malzeme özelliklerinde kısmi faktörler $\gamma_\phi=\gamma_c=1.25$ 'tir. Bu yaklaşımın kısmi faktörleri Plaxis'te giriş parametresi olarak girildiğinden herhangi bir zorlukla karşılaşılmamaktadır. Analiz sonucunda bulunan yapısal yükler tasarım yapısal yükleri olmaktadır. Hedef güvenlik sayısı ise doğal olarak 1.0 olmaktadır.

Bölüm 3.2.1'de bahsettiğimiz gibi Plaxis'te ULS çözümleri Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2 diye iki şekilde uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Bu bölümde TY1-2 yaklaşımının, Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2 ile çözümleri verilmiş ve her iki çözümün sonuçları karşılaştırılarak Analiz Modelleri değerlendirilmiştir.

4.1.4.1 Analiz Düzeni 1 ile Plaxis Sonuçları

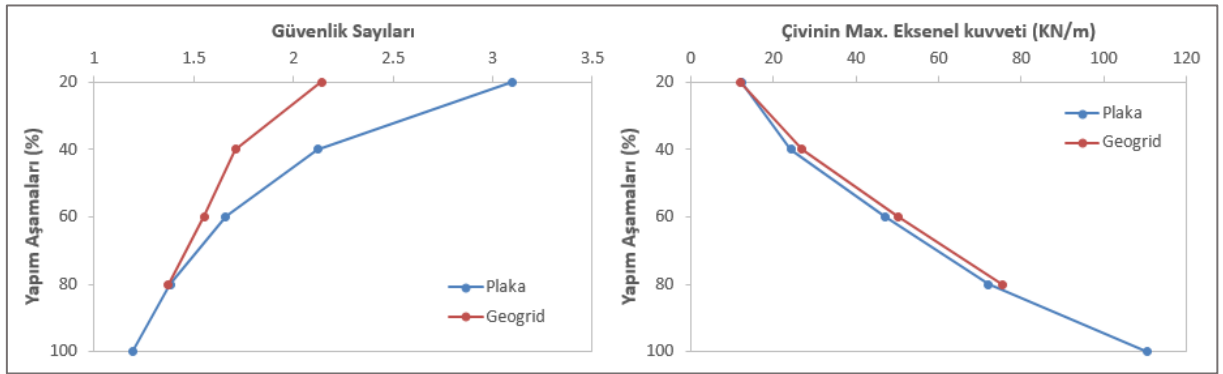
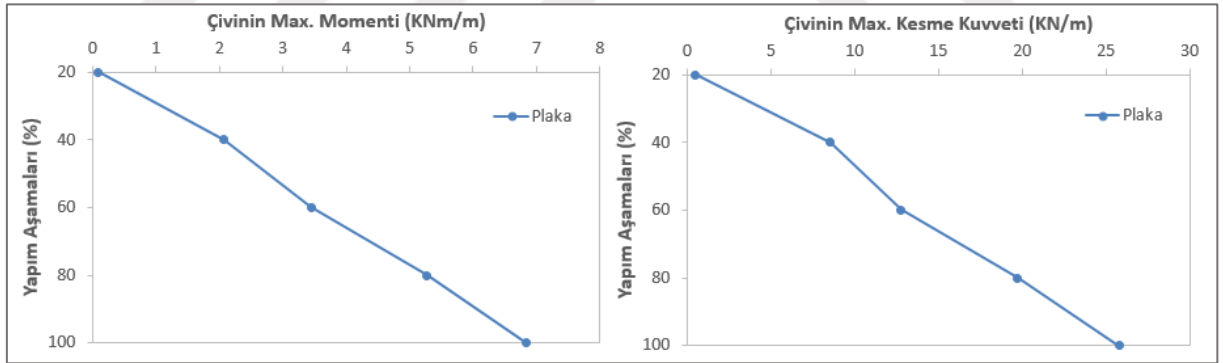
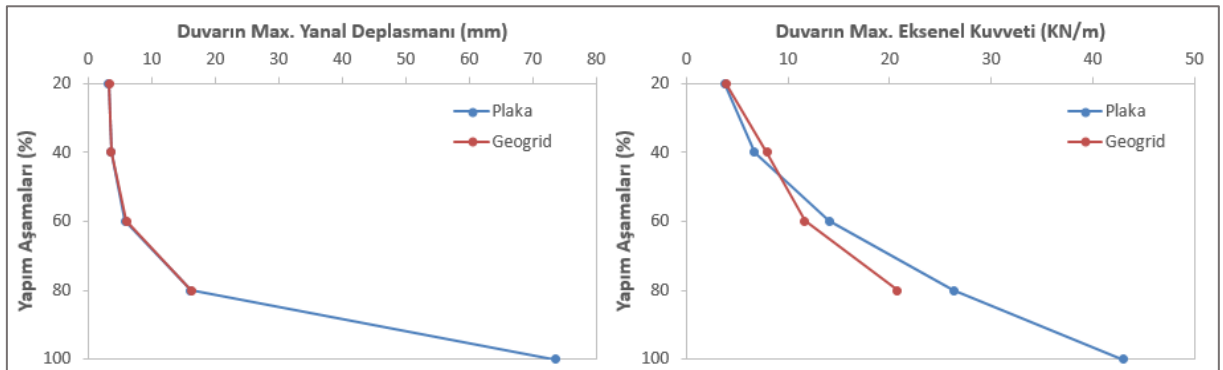
Analiz Düzeni 1 analizi, bölüm 3.2.1'de tanıtıldığı analiz akışı ile, ilgili kısmi faktörler girilerek gerçekleştirilmiştir. Çiviler hem geogrid hem de plaka yapısal elemanlarla tanımlanarak bulunan analiz sonuçlarının, Tablo 4.4'de yapım aşamalarına göre bulunan güvenlik sayıları, duvar maksimum yanal deplasmanları ve çivinin maksimum eksenel kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve moment değerleri verilmiştir. Tablo 4.5'de ise duvarda meydana gelen eksenel kuvvetler, kesme kuvvetleri ve moment değerleri verilmektedir. Geogrid çivi elemanlı sistemin son kazı aşaması çözümünde analiz gerçekleşmediğinden sonuçları verilememiştir.

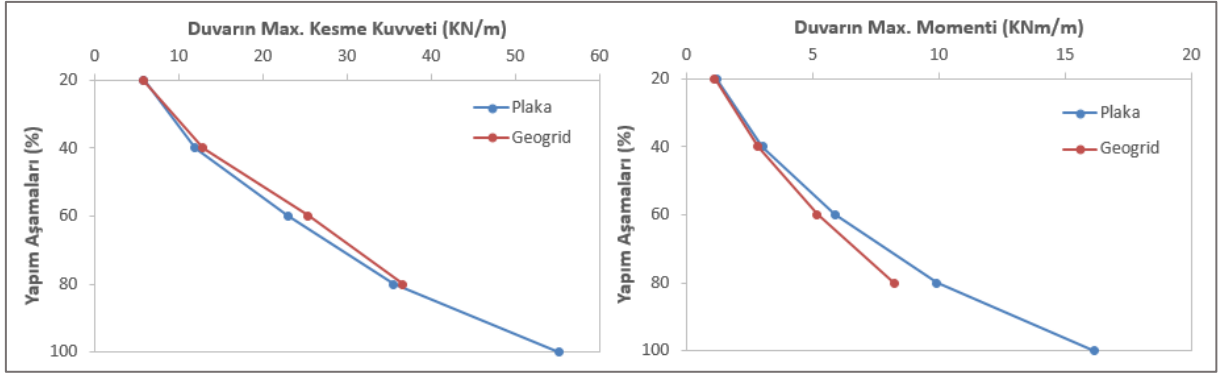
Tablo 4.4: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile çeşitli parametrelerin değerleri.

Yapım Aşamaları (%)	Güvenlik Sayıları		Duvar Max. Yanal Deplasman (mm)		Çivinin Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)		Çivinin Max. Kesme Kuvveti (kN/m)	Çivinin Max. Momenti (kNm/m)
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Plaka	Plaka
20	2.14	3.1	3.29	3.19	11.9	12.16	0.48	0.09
40	1.71	2.12	3.58	3.6	26.95	24.16	8.56	2.07
60	1.55	1.66	6	5.81	50.12	46.88	12.78	3.44
80	1.37	1.38	16.24	16.1	75.33	72.07	19.71	5.27
100	-	1.19	-	73.5	-	110.6	25.79	6.84

Tablo 4.5: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile duvarın çeşitli parametrelerin değerleri.

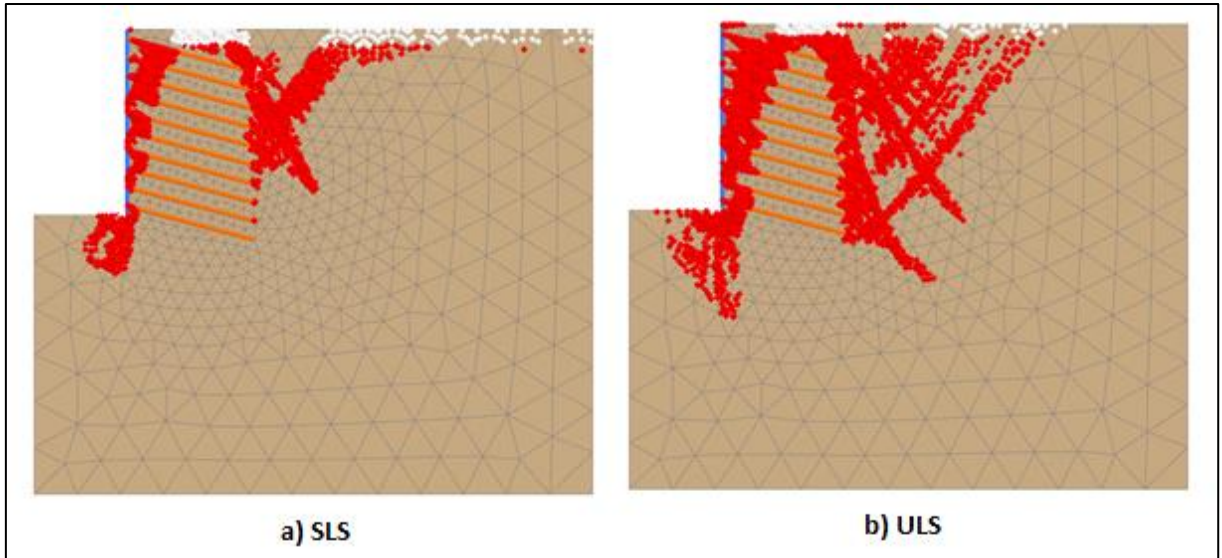
Yapım Aşamaları (%)	Duvarın Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)		Duvarın Max. Kesme Kuvveti (kN/m)		Duvarın Max. Momenti (kNm/m)	
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	3.85	3.73	5.73	5.84	1.12	1.2
40	7.89	6.67	12.87	11.94	2.83	3.02
60	11.63	14.05	25.35	22.91	5.18	5.88
80	20.74	26.28	36.63	35.5	8.23	9.91
100	-	42.96	-	55.25	-	16.16

**Şekil 4.12:** ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile güvenlik sayıları ve çivi mak. eksenel kuvvetleri.**Şekil 4.13:** ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile çivinin mak. momentleri ve kesme kuvvetleri.**Şekil 4.14:** ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile duvar mak. yanal deplasmanlar ve eksenel kuvvetler.



Şekil 4.15: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 1 ile duvar mak. kesme kuvvetler ve momentler.

TY1-2'nin Analiz Düzeni 1 ile çiviler hem geogrid hem de plaka olarak tanımlanarak analizleri gerçekleştirildiğinde, bu bölümdeki şekillere bakacak olursak her iki yapısal elemanın SLS analizlerinde olduğu gibi ULS analizlerinde de birbirinin yerine kullanılabileceği görülmektedir. Ancak çivi geogrid eleman olarak tanımlandığında son kazı aşamasında analiz başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Plaka ile çözüme Tablo 4.4'de baktığımızda duvar deplasmanları dördüncü kazı aşama 16.1 mm iken son kazı kademesinde ciddi bir artışla 73.5 mm olduğunu görmekteyiz. Geogrid elemandan farklı olarak plaka elemanda girilen bükülme sertliğinin (EI), son kazı aşamasında deplasmanlar gibi ciddi değişimlere olumlu katkı verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.16: SLS ve ULS TY1-2 analizlerinde zemindeki göçme noktaları.

Şekil 4.16'da SLS ve ULS TY1-2 analizleri sonucunda zeminde meydana gelen göçme noktaları verilmiştir. Bilindiği üzere TY1-2'de zemin parametrelerine kısmi faktörler uygulanmaktadır. Ve dolayısıyla SLS analizlerinde kullanılan zemin parametrelerinden daha

küçük parametrelerle analiz gerçekleştirilmektedir. Bu durumun sonucu olarak ULS analizlerinde zeminin göçme noktaları SLS analizlerine göre artmaktadır. Kimi zaman ise bu artışlar analizlerin gerçekleştirilmesine neden olabilmektedir.

Bilindiği gibi tasarım yaklaşımlarıyla yapısal olarak STR ve geoteknik olarak GEO kontrolleri yapılmaktadır. TY1-2’de kısmi faktörler girilerek analizler gerçekleştirildiğinden bulunan sonuçlar STR kontrolünde doğrudan kullanılmaktadır. GEO kontrolü içinse daha önceden bahsedildiği hedef güvenlik sayısı 1’dir. İnşaat tamamlandıktan sonraki güvenlik sayısı 1.19 olduğundan GEO bakımından tasarım uygun olmaktadır.

4.1.4.2 Analiz Düzeni 2 ile Plaxis Sonuçları

Analiz Düzeni 2 ile çözümler, bölüm 3.2.1’de tanımlandığı analiz akışı ile ilgili kısmi faktörler girilerek gerçekleştirilmiştir. Çiviler hem geogrid hem de plaka yapısal elemanlarla tanımlanarak bulunan analiz sonuçları, Tablo 4.6’da yapım aşamalarına göre hesaplanan güvenlik sayıları, duvar maksimum yanal deplasmanları ve çivinin maksimum eksenel kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve moment değerleri verilmiştir. Tablo 4.7’de ise duvarda meydana gelen eksenel kuvvetler, kesme kuvvetleri ve moment değerleri verilmektedir.

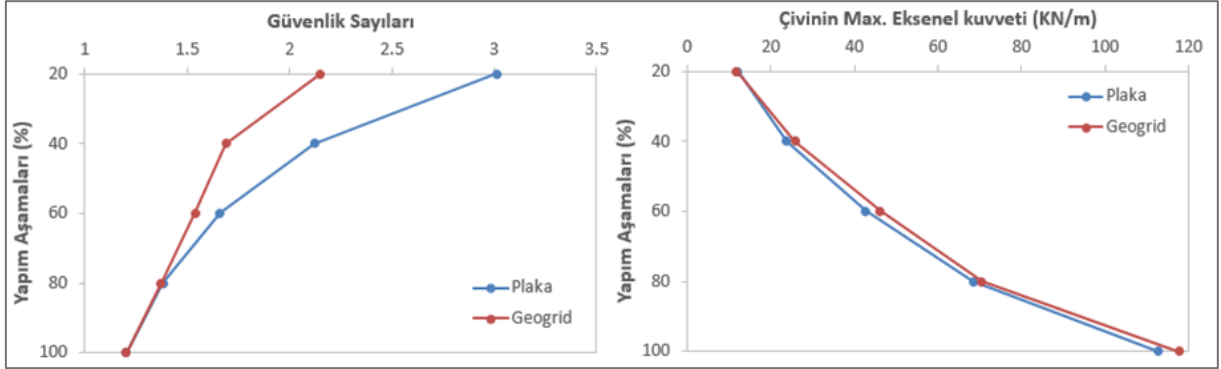
Tablo 4.6: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile çeşitli parametrelerin değerleri.

Yapım Aşamaları (%)	Güvenlik Sayıları		Duvar Max. Yanal Deplasman (mm)		Çivinin Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)		Çivinin Max. Kesme Kuvveti (kN/m)	Çivinin Max. Momenti (kNm/m)
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Plaka	Plaka
20	2.15	3.01	3.28	3.12	11.78	12.04	0.44	0.09
40	1.69	2.12	3.41	3.36	25.74	23.72	7.3	1.76
60	1.54	1.66	5.89	5.74	46.1	42.76	10.96	2.85
80	1.37	1.38	16.93	14.75	70.44	68.49	16.3	4.12
100	1.2	1.2	81.52	77.1	117.7	112.8	21.28	5.31

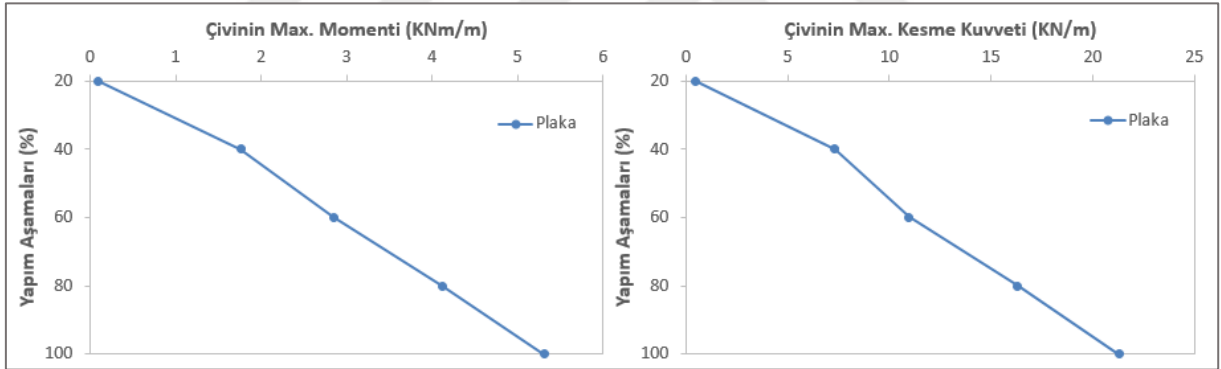
Tablo 4.7: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile duvarın çeşitli parametrelerin değerleri.

Yapım Aşamaları (%)	Duvarın Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)		Duvarın Max. Kesme Kuvveti (kN/m)		Duvarın Max. Momenti (kNm/m)	
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	3.93	3.83	5.74	5.85	1.05	1.33
40	6.96	4.88	12.41	11.1	2.29	2.65
60	11.33	12.58	23.74	22.03	4.62	5.26
80	19.61	22.74	33.58	33.1	7.71	8.96
100	34.37	40.58	45.87	53.68	13.79	15.53

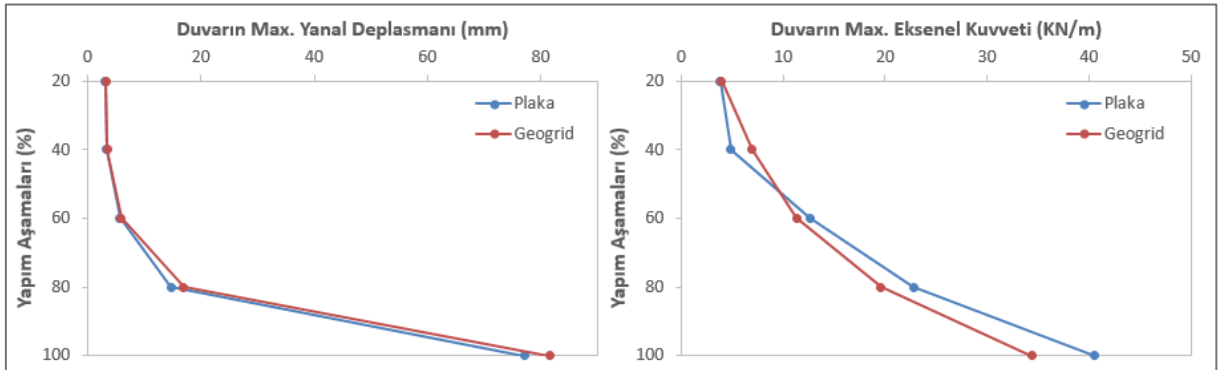
Şekil 4.17’de yapım aşamalarına göre güvenlik sayılarının ve çivinin maksimum eksenel kuvvetlerinin değişimi görülmektedir. Güvenlik sayılarının değişimine baktığımızda ilk kazı kademelerinde SLS analizlerindeki gibi geogrid ve plaka yapısal elemanlarda farklılık olsa da son iki kazı kademesinde aynı değerler bulunmaktadır. Çivinin eksenel kuvvetleri ise her iki elemanda uyumlu bir biçimde artmaktadır. Şekil 4.18’de ise çivinin maksimum kesme kuvvetlerinin ve momentlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 4.17: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile güvenlik sayıları ve çivi mak. eksenel kuvvetleri.

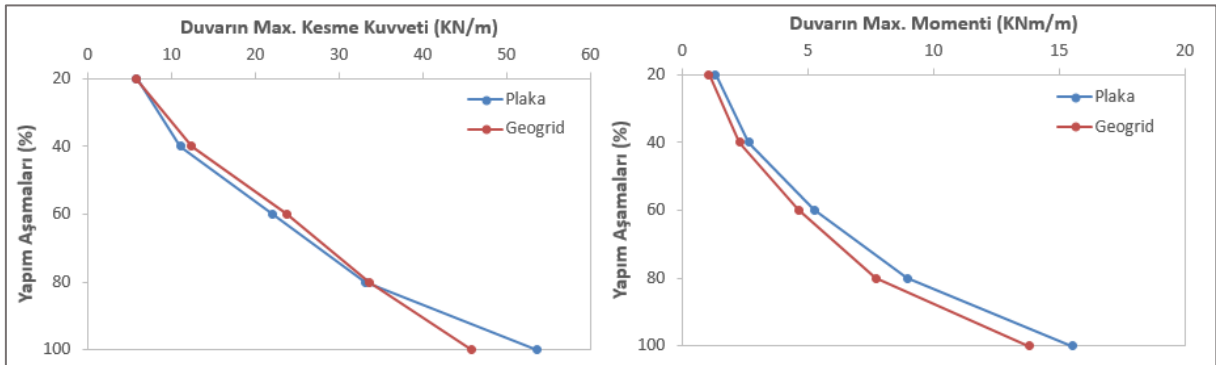


Şekil 4.18: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile çivinin mak. momentleri ve kesme kuvvetleri.



Şekil 4.19: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile duvar mak. yanal deplasmanlar ve eksenel kuvvetleri.

Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’ de duvarda meydana gelen maksimum yanıl deplasmanların, aksene kuvvetlerin, kesme kuvvetlerin ve momentlerin yapıım aşamasına göre hem geogrid hem de plaka elemanı için değışimi gösterilmektedir. Bazı farklılıklarla beraber her iki elemanda da benzer sonuçları görülmektedir. Analiz Düzeni 2’de anlaşılacağı üzere son kazı kademesinde geogrid elemanla yapılan analiz başarıyla sonuçlanmaktadır. Ayrıca analizler gerçekleştirken hesaplama sürecinde gözlemediğimiz kadarıyla Analiz Düzeni 2’de Plaxis daha rahat çözüm yapmaktadır.



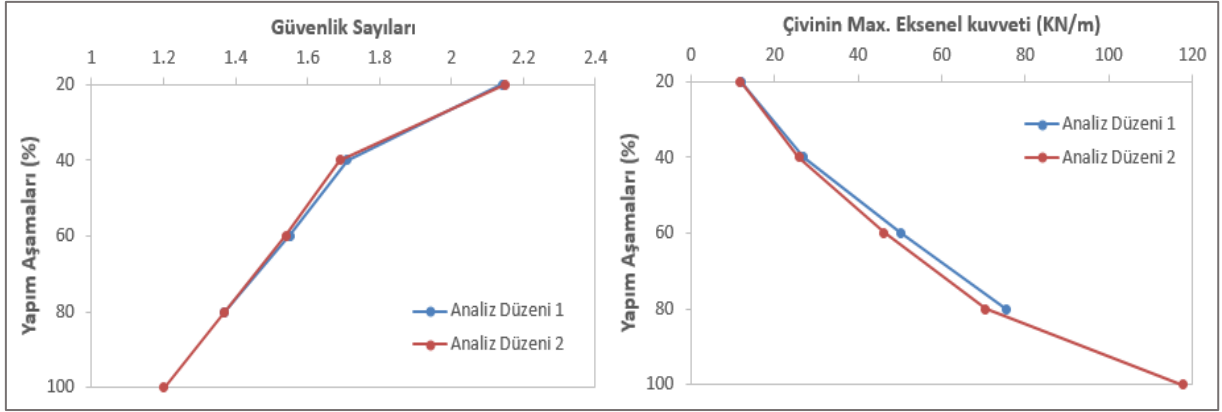
Şekil 4.20: ULS TY1-2 Analiz Düzeni 2 ile duvar mak. kesme kuvvetler ve momentler.

Analiz Düzeni 1’de olduğu gibi Analiz Düzeni 2’de de kısmi faktörler girilerek analizler gerçekleştirildiğinden bulunan sonuçlar STR kontrolünde doğrudan kullanılmaktadır. GEO kontrolünde de aynı şekilde hedef güvenlik sayısı 1’dir. İnşaat tamamlandıktan sonraki güvenlik sayısı 1.2 olduğundan Analiz Düzeni 2 için de GEO bakımından tasarıma uygun olduğunu söyleyebiliriz.

4.1.4.3 Analiz Düzeni 1 ile Analiz Düzeni 2 Karşılaştırılması

a) Geogrid Çivi Tanımlı Model ile Sonuçlar

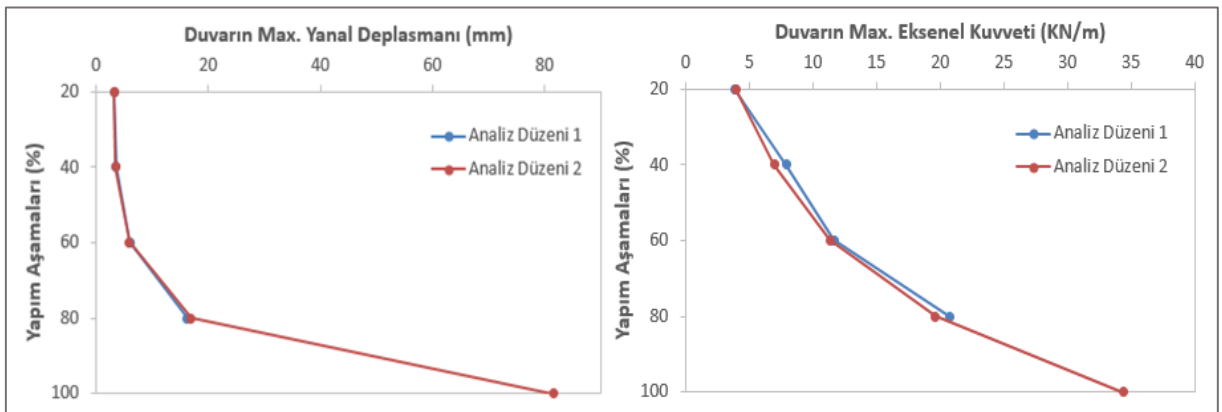
Bu bölümde, çivin geogrid elemanla tanımlanarak gerçekleştirildiği TY1-2’nin Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2 ile analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sayede Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2’ye göre analiz yapıldığında meydana gelen farklılıklar ortaya konmuştur. Hatırlanacağı üzere Analiz Düzeni 1 ile geogrid elemanla çivi modellendiğinde son yapıım aşamasında analiz gerçekleşmemektedir. Analiz Düzeni 2’de ise sorunsuz bir şekilde analiz gerçekleşmektedir. Analiz Düzeni 1’de son yapıım aşaması gerçekleşmediği için bu bölümdeki şekiller üzerinde sadece 4 yapıım aşaması için karşılaştırmaları görebilmekteyiz.



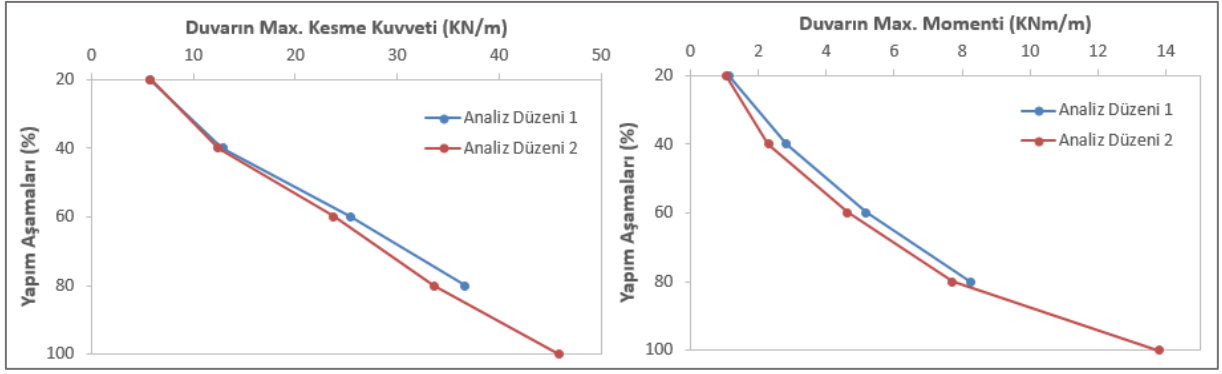
Şekil 4.21: Her iki analiz düzeninde güvenlik sayıları ile çivi mak. aksenal kuvvetleri.

Şekil 4.21’de güvenlik sayıları ile çivinin maksimum aksenal kuvvetlerindeki değişim görülmektedir. Güvenlik sayılarına baktığımızda her iki analiz düzeninde de aynı sonuçları bulduğumuzu söyleyebiliriz. Çivi maksimum aksenal kuvvetleri ise Analiz Düzeni 1’de biraz daha fazla olmak üzere neredeyse aynıdır.

Şekil 4.22’de her iki analiz düzeni için duvardaki maksimum yanıl deplasmanlar ile aksenal kuvvetler karşılaştırılmıştır. Duvarın maksimum yanıl deplasmanlarına her ikisinde de aynı diyebiliriz. Şekil 4.23’de ise duvardaki maksimum kesme kuvvetleri ile momentleri karşılaştırılmıştır. Çivi maksimum aksenal kuvvetlerinde olduğu gibi duvarın maksimum aksenal kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve momentleri Analiz Düzeni 1’de biraz daha fazladır. Ancak ciddi bir fark yoktur. Genel olarak baktığımızda Analiz Düzeni 1 Analiz Düzeni 2’den biraz daha büyük kuvvet değerleri vermektedir.



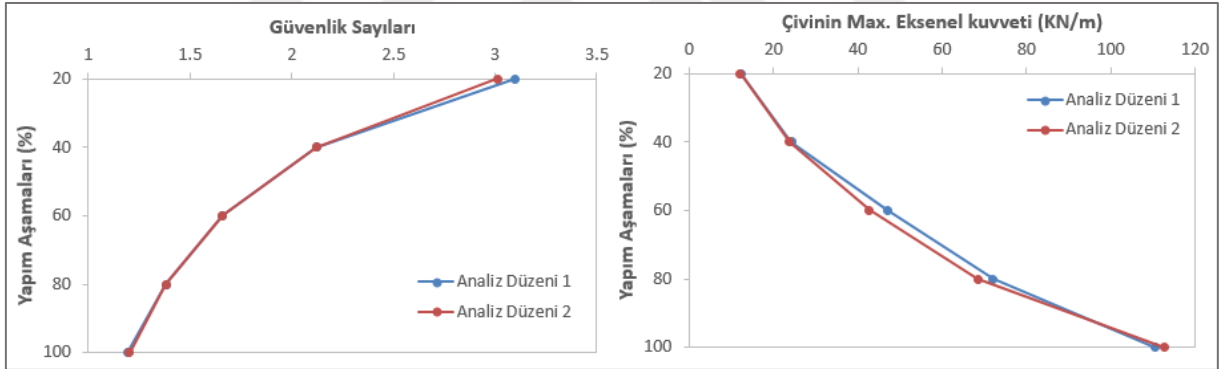
Şekil 4.22: Her iki analiz düzeninde duvar mak. deplasmanlar ile aksenal kuvvetleri.



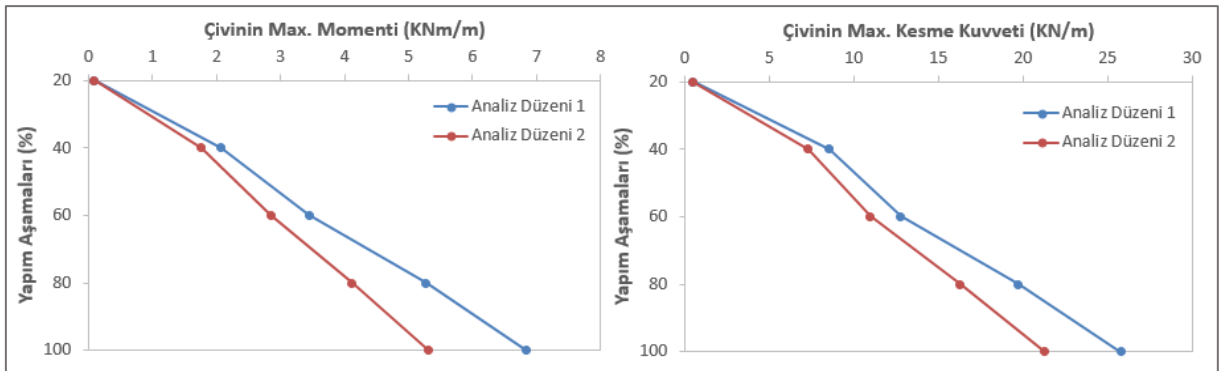
Şekil 4.23: Her iki analiz düzeninde duvar mak. momentler ile kesme kuvvetleri.

a) Plaka Çivi Tanımlı Model ile Sonuçlar

Bu bölümde, çivinin geogrid elemanla tanımlanarak gerçekleştirildiği TY1-2'nin Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2 ile analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu sayede Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2'ye göre plaka elemanlı çivi tanımlanarak analiz yapıldığında meydana gelen farklılıklar ortaya konmuştur. Plaka eleman ile her iki düzende de analizler sorunsuz gerçekleştirilebilmiştir.



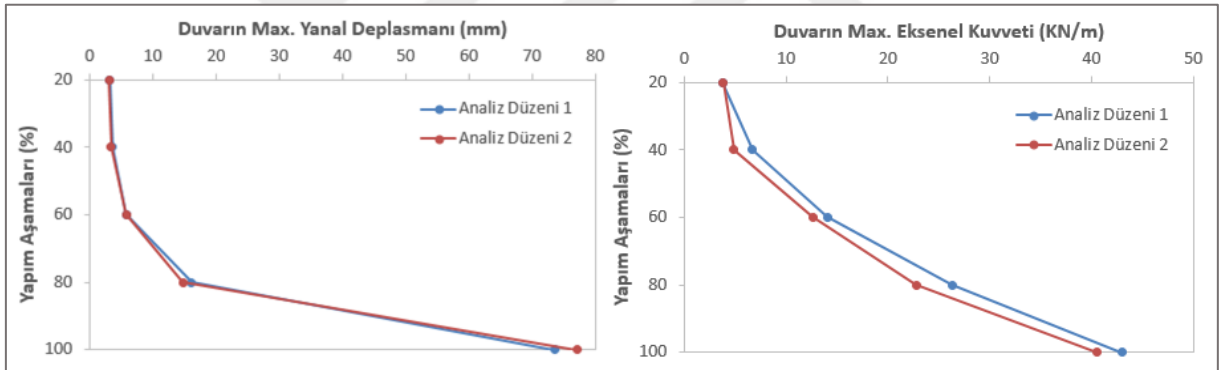
Şekil 4.24: Her iki analiz düzeninde güvenlik sayıları ile çivi mak. aksenal kuvvetleri.



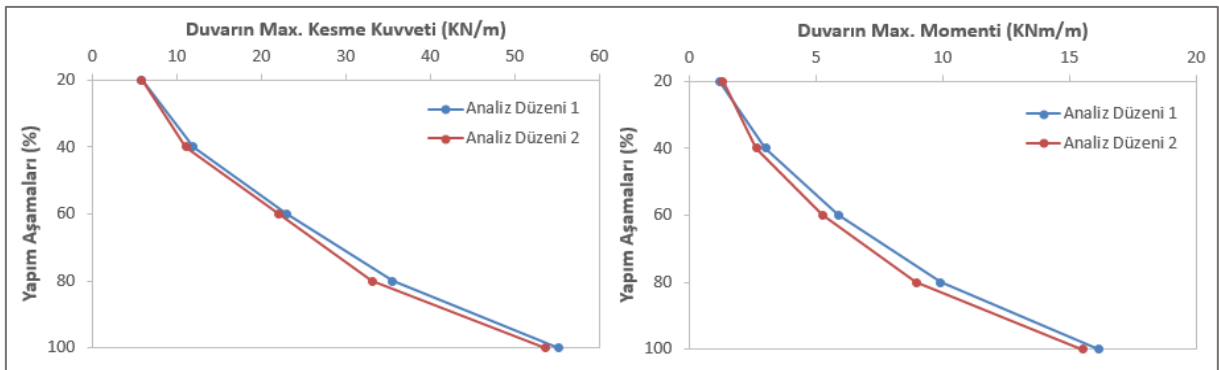
Şekil 4.25: Her iki analiz düzeninde çivi mak. momentleri ile kesme kuvvetleri.

Şekil 4.24’de güvenlik sayıları ile çivinin maksimum aksenal kuvvetlerindeki değişim görülmektedir. Güvenlik sayılarına baktığımızda her iki analiz düzeninde de aynı sonuçları bulduğumuzu söyleyebiliriz. Çivi maksimum aksenal kuvvetlerinde ise biraz farklılıklar olmasına rağmen aynı olduğunu söyleyebiliriz. Şekil 4.25’de ise çivideki maksimum momentler ile maksimum kesme kuvvetlerindeki değişim gösterilmiştir. Kazı derinliği arttıkça Analiz Düzeni 1’de daha fazla artış görülmektedir.

Şekil 4.26’da her iki analiz düzeni için duvardaki maksimum yanal deplasmanlar ile aksenal kuvvetler karşılaştırılmıştır. Duvarın maksimum yanal deplasmanlarına her ikisinde de aynı diyebiliriz. Şekil 4.27’de ise duvardaki maksimum kesme kuvvetleri ile momentleri karşılaştırılmıştır. Duvarın maksimum aksenal kuvvetleri, kesme kuvvetleri ve momentleri Analiz Düzeni 1’de biraz daha fazladır. Ancak ciddi bir fark yoktur. Genel olarak baktığımızda çivinin geogrid tanımlanarak yapılan analizlerde olduğu gibi plaka elemanla da Analiz Düzeni 1 Analiz Düzeni 2’den biraz daha büyük kuvvet değerleri vermektedir.



Şekil 4.26: Her iki analiz düzeninde duvar mak. deplasmanlar ile aksenal kuvvetleri.



Şekil 4.27: Her iki analiz düzeninde duvar mak. momentler ile kesme kuvvetleri.

4.1.5 ULS Tasarım Yaklaşımı 2 ile Analizler

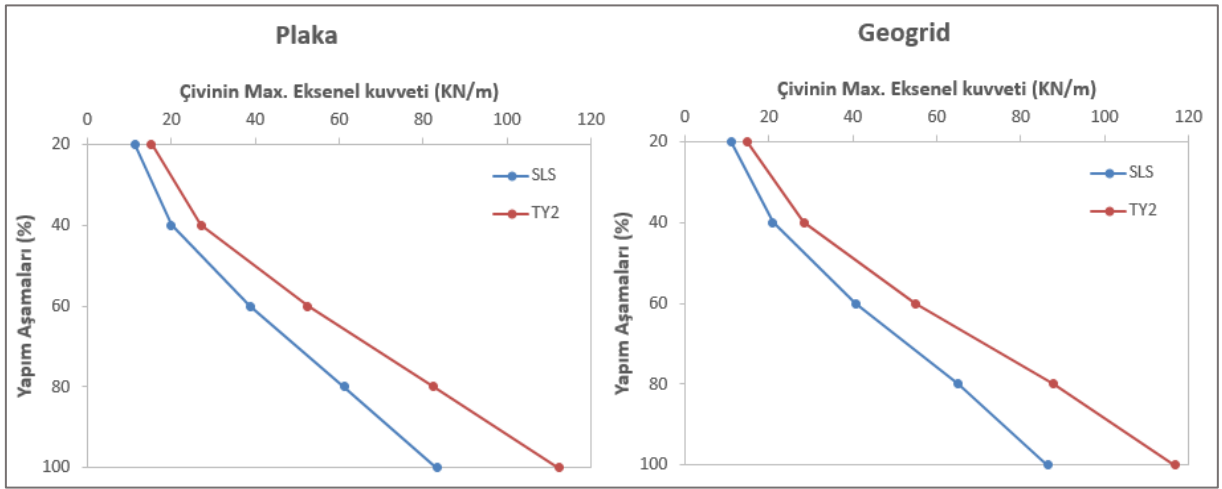
Tasarım Yaklaşımı 2’de (TY2), sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.35$ ve $\gamma_Q=1.5$ kısmi faktörleri uygulanır; malzeme özellikleri üzerindeki kısmi faktörler $\gamma_M=1.0$ ve kayma direnci $\gamma_{Rh}=1.1$ ’dir. İksa fore kazıkları gibi gömülü kazıkların olduğu duvarlarda kazığın gömülü bölgesinin önünde pasif toprak basıncı oluşmaktadır. Ancak zemin çivili duvarlarda gömülü bölge olmadığından destekleyici pasif toprak basıncı oluşmamaktadır. Destekleyici pasif toprak basıncı oluşmadığından TY2’de mevcut olan zemin direnci (γ_{Re}) faktörü etkisini kaybetmektedir. Plaxis’te TY2 analizi tıpkı TY1-1 deki sabit yüklere 1.0, değişken yüklere 1.11 girilerek gerçekleştirilmektedir. Dirençlerin ise Plaxis’te tanımlanmasında zorlukla karşılaşılmaktadır. Kullanılan analiz modeline bakıldığında sistemde sadece sabit yük olarak zemin etkisi vardır. Ve değişken yük bulunmamaktadır. Dolayısıyla Plaxis’te bu tasarım yaklaşımını çözerken SLS analiz sonuçlarını farklılaştıracak olan değişken yük olmadığından SLS Plaxis analiz sonuçlarını bu zemin çivili modelde olmak üzere kullanabiliriz. Aksi takdirde değişken yük bulunsaydı 1.11 kısmi faktörü etkilererek analizleri yapmamız gerektirir. Aynı zamanda TY2 Plaxis analiz sonuçları TY1-1 ile de aynı olmaktadır.

TY2’de TY1-1’de olduğu gibi STR doğrulanması için analiz sonucunda bulunan yapısal yükleri 1.35 ile çarparak yapısal tasarım değerleri bulunur. GEO doğrulanması kapsamında ise TY1-1’den farklı olarak $\gamma_{Rh} \times 1.35 = 1.1 \times 1.35 = 1.485$ hedef güvenlik sayısında doğrulanma yapılması yerinde olacaktır.

Tablo 4.8’de yapım aşamalarına göre meydana gelen güvenlik sayıları ile SLS ve ULS TY2 durumlarındaki çivilerin maksimum aksenal kuvvetleri verilmiştir. Daha öncede belirtildiği gibi bu tasarım yaklaşımında bu modele özgü olarak SLS analizlerinde bulunan sonuçlar kullanılmaktadır. Dolayısıyla ULS durumu için değerlendirmeye tabi olacak güvenlik sayıları tablodan da anlaşılacağı gibi SLS analizinden bulunan güvenlik sayılarıdır. ULS durumundaki çivilerde oluşan maksimum aksenal kuvvetler, daha önce anlatıldığı gibi SLS’den bulduğumuz sonuçları 1.35 ile çarparak bulmaktayız. Ve Tablo 4.8’de bu şekilde verilmiştir. Şekil 4.28’de ise çivilerin maksimum aksenal kuvvet değerleri SLS ve ULS için, hem plaka hem de geogrid yapısal elemanlarla yapım aşamalarına göre gösterilmiştir. GEO doğrulanması için belirtildiği gibi sağlanması gereken hedef güvenlik sayısı 1.485’tir. Tablo 4.8’de inşaat tamamlandığındaki güvenlik sayıları, geogrid elemanlı tasarımda 1.5 olup plaka elemanlı tasarımda ise 1.48 olmaktadır. Hedef güvenlik sayısına göre GEO doğrulanmasında sınırda olduğunu söyleyebiliriz.

Tablo 4.8: Güvenlik sayıları ile çivinin SLS ve ULS TY2 eksenel kuvvetleri.

Yapım Aşamaları (%)	Güvenlik Sayıları		SLS Çivinin Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)		ULS Çivinin Max. Eksenel Kuvveti (kN/m)	
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	2.66	3.68	10.97	11.34	14.81	15.31
40	2.11	2.65	20.96	20.02	28.30	27.03
60	1.93	2.08	40.62	38.82	54.84	52.41
80	1.7	1.74	65.08	61.08	87.86	82.46
100	1.5	1.48	86.46	83.22	116.76	112.35

**Şekil 4.28:** SLS ve ULS TY2 durumlarında çivilerdeki mak. eksenel kuvvetler.

4.1.6 ULS Tasarım Yaklaşımı 3 ile Analizler

Şev stabilitesi problemlerinde Tasarım Yaklaşımı 3 (TY3) ile analiz gerçekleştirilirken sabit ve değişken yüklere sırasıyla $\gamma_G=1.0$ ve $\gamma_Q=1.3$ kısmi faktörleri uygulanır ve malzeme özellikleri üzerindeki kısmi faktörler ise $\gamma_\phi=\gamma_c=1.25$ 'tir. Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2'de Plaxis'te girdiğimiz kısmi faktörlere baktığımızda TY3 ile aynı kısmi faktörleri girmekteyiz. Dolayısıyla TY1-2'de bulduğumuz sonuçlar ve değerlendirmeler TY3 ile aynı olmaktadır.

4.1.6.1 STR Kontrolleri

Bu bölümde, TY1-2 bölümünde kontrolleri verilmemiş ama TY3 ile aynı olan STR kontrolleri yapılmaktadır. Hesaplamalar CIRIA [8] kitabında verilen tasarım kontrollerine göre gerçekleştirilmiştir. Kontroller; donatı alanı, eğilme kapasitesi ve zımbalama kayma dayanımı hesaplarını içermektedir. Kontrolleri yaparken TY1-2 analiz sonuçlarında verilen duvar maksimum momenti ile çivi maksimum eksenel kuvveti gerekli olmaktadır. Duvarın maksimum momenti geogrid elemanlıda 13.79 kNm/m, plaka elemanlıda 16.16 kNm/m

bulunmuştu. Çivinin maksimum aksenal kuvveti ise geogrid elemanlıda 117.7 kN/m, plaka elemanlıda 112.8 kN/m hesaplanmıştı. Tablo 4.9'da püskürtme beton duvarında tasarıma seçilen parametreler verilmiştir.

Tablo 4.9: Duvar tasarım parametreleri.

Eleman	Tanım	Özellik
Duvar	Kalınlık h	200 mm
	Beton dayanımı f_{cu}	25 N/mm ²
Çelik Hasır	Tipi	1xQ221x221
	Çelik dayanımı f_y	500 N/mm ²
Taşıyıcı Plaka	Tipi	Çelik plaka
	Çelik Dayanımı f_y	275 N/mm ²
	Boyutlar L_{HB}	250x250x20 mm

a) Donatı alan kontrolü:

$$A_{Smin} = 0.0015 \times b \times d \quad (4.1)$$

$$A_{Smax} = 0.04 \times b \times h \quad (4.2)$$

Faydalı yükseklik kaplamanın ortası varsayılırsa, $d = h/2 = 200 = 100$ mm olmaktadır. Buradan;

$$A_{Smin} = 0.0015 \times b \times d = 0.0015 \times 1000 \times 100 = 150 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smax} = 0.04 \times b \times h = 0.04 \times 1000 \times 200 = 8000 \text{ mm}^2$$

Çelik hasırın alanı $221+221=442 \text{ mm}^2$ olduğundan A_{Smin} ve A_{Smax} alan kontrollerini sağlamaktadır.

b) Eğilme kapasitesi kontrolü:

Eğilme kapasitesi hesapları yaparak nihai moment direnci (m) ve eğilme direnci (R_{FF}) kontrolleri yapılmalıdır. Nihai moment direnci aşağıdaki denklemlerle hesaplanır. Eğilme momenti direnci formülündeki indisler, yatay ve düşey doğrultulardaki orta mesafede ve çivi başındaki momenti temsil eder.

$$m_{vm} = m_{vn} = m_{hm} = m_{hv} = 0.87 \times f_y \times A_s \times z \quad (4.3)$$

$$z = \left[1 - \frac{1.1 \times A_s \times f_y}{f_{cu} \times b \times d} \right] \times d \quad (4.4)$$

$$z = \left[1 - \frac{1.1 \times 442 \times 500}{25 \times 1000 \times 100} \right] \times 100 = 90 \text{ mm}$$

$$m = 0.87 \times 500 \times 442 \times 90 = 17.3 \text{ kNm/m}$$

Plaxis' ten hesaplanan maksimum duvar momenti 16,16 kNm/m, eğilme direnci momenti 17.3 kNm/m'den küçük olduğundan bu kontrolü sağlamaktadır.

Eğilme direnci (R_{FF}) ise aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$R_{FF} = C_F \times n \times S_h \times S_v \quad (4.5)$$

$$n = \min\left[\frac{m_{vm}}{\beta_{sx} \times I_x^2} \text{ ya da } \frac{m_{vn}}{\beta_{sy} \times I_x^2}\right] \quad (4.6)$$

$$n = \min\left[\frac{m_{hm}}{\beta_{sx} \times I_x^2} \text{ ya da } \frac{m_{hn}}{\beta_{sy} \times I_x^2}\right] \quad (4.7)$$

Yukarıda formüllerinden minimum 'n' sonucu hesaplarda kullanılmaktadır. BS 8110 [5] standardında verilen kısa ve uzun mesafe moment katsayıları, formülle verilen 'n' değerini hesaplamakta kullanılmaktadır (Tablo 4.10). Bu formüldeki I_x , çivilerin yataydaki ve düşeydeki minimum aralık değeridir. I_y ise diğer aralık değeri olmaktadır.

Tablo 4.10: Kısa ve uzun mesafe moment katsayıları [5].

	Kısa mesafe katsayıları, β_{sx}								Uzun mesafe katsayıları, β_{sy}
	I_y/I_x değerleri								
	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.75	2.0	
Sürekli kenarda negatif moment	0.031	0.037	0.042	0.046	0.050	0.053	0.059	0.063	0.032
Orta mesafede pozitif moment	0.024	0.028	0.032	0.035	0.037	0.040	0.044	0.048	0.024

Tablo 4.11: Kaplama basınç faktörü (C_F) değerleri [8].

Duvar Kalınlığı (mm)	C_F , Geçici kaplama	C_F , Kalıcı kaplama
100	2.0	1.0
150	1.5	1.0
200	1.0	1.0

$n = \min\left[\frac{17.3}{0.031 \times 1^2} \text{ ya da } \frac{17.3}{0.032 \times 1^2}\right]$ ve $n = \min\left[\frac{17.3}{0.024 \times 1^2} \text{ ya da } \frac{17.3}{0.024 \times 1^2}\right]$ formüllerinden $n=540.62 \text{ kN/m}^2$ bulunur.

$R_{FF} = C_F \times n \times S_h \times S_v = 1 \times 540.62 \times 1 \times 1 = 540.62$ kN olmaktadır. Çivi maksimum eksenel kuvveti 117.7 kN/m bulunmuştu. Dolayısıyla eğilme direnci (R_{FF}) yeterli güvenlik değerinde olmaktadır.

c) Zımbalama kayma dayanımı kontrolü:

Kontrol BS 5400 [4] standardına göre yapılmıştır. Zımbalama kayma dayanımı (R_{FB}) aşağıdaki formüllerle göre hesaplanmaktadır.

$$R_{FB} = [4 \times \zeta_s \times v_c \times (L_{HB} + h) \times d]/(1000) \quad (4.8)$$

$$\zeta_s = \max [(500/d)^{1/4}, 0.70] \quad (4.9)$$

$$v_c = \frac{0.27}{\gamma_m} \left(\frac{100A_s}{b_w d} \right)^{1/3} (f_{cu})^{1/3} \quad (4.10)$$

$\gamma_m = 1.25$ alınmaktadır ve f_{cu} en fazla 40 N/mm² olmalıdır.

$$\zeta_s = \max [(500/100)^{1/4}, 0.70] = 1.5$$

$$v_c = \frac{0.27}{1.25} \left(\frac{100 \times 442}{1000 \times 100} \right)^{1/3} (25)^{1/3} = 0.48$$

$R_{FB} = [4 \times 1.5 \times 0.48 \times (250 + 200) \times 100]/(1000) = 129.6$ kN > 117.7 dolayısıyla zımbalama kayma dayanımı kontrolü de sağlanmaktadır. Tüm kontroller sağlandığından seçilen duvar tasarımı uygun olmaktadır. Aksi takdirde tasarımın yeniden yapılması gerekecektir.

Eğilme kapasitesi kontrolü yapılırken bütün yaklaşımlar sonucunda bulunan en büyük moment değeri ile hesaplar yapılmıştır ve sonucunda kontrol sağlanmıştır. Zımbalama kayma dayanımı kontrolü ise en büyük çivi eksenel kuvvetine göre değerlendirilmiştir ve bunun sonucunda da kontrol sağlanmıştır. Eğilme kapasitesi ve zımbalama kayma dayanımı tasarımın kendisi ile ilgili olup tasarım yaklaşımları ile değişmediğinden, seçilen tasarım tüm yaklaşımlarda STR kontrolünü sağlamaktadır.

4.1.7 Tasarım Yaklaşımları Karşılaştırmaları

Bu bölümde, ULS ve SLS analizleriyle çivide ve duvar kaplamasında bulunan yapısal yükler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Bilindiği gibi daha önceki bölümlerde ULS kapsamında kısmi faktörler ile TY1-1, TY1-2, TY2, TY3 analizleri yapılmıştır. Bu bölümde yapılan karşılaştırmalar ile hem tasarım yaklaşımları kendi içinde hem de SLS analizleri sonuçlarına göre nasıl değiştiği değerlendirilmiştir.

Tablo 4.12: SLS ve ULS’de geogrid çivinin maksimum eksenel kuvvetleri.

Yapım Aşamaları (%)	SLS (kN/m)	TY1-1, TY2 (kN/m)	TY1-2, TY3 (kN/m)	
			Analiz Düzeni 1	Analiz Düzeni 2
20	10.97	14.81	11.9	11.78
40	20.96	28.30	26.95	25.74
60	40.62	54.84	50.12	46.1
80	65.08	87.86	75.33	70.44
100	86.46	116.76	-	117.7

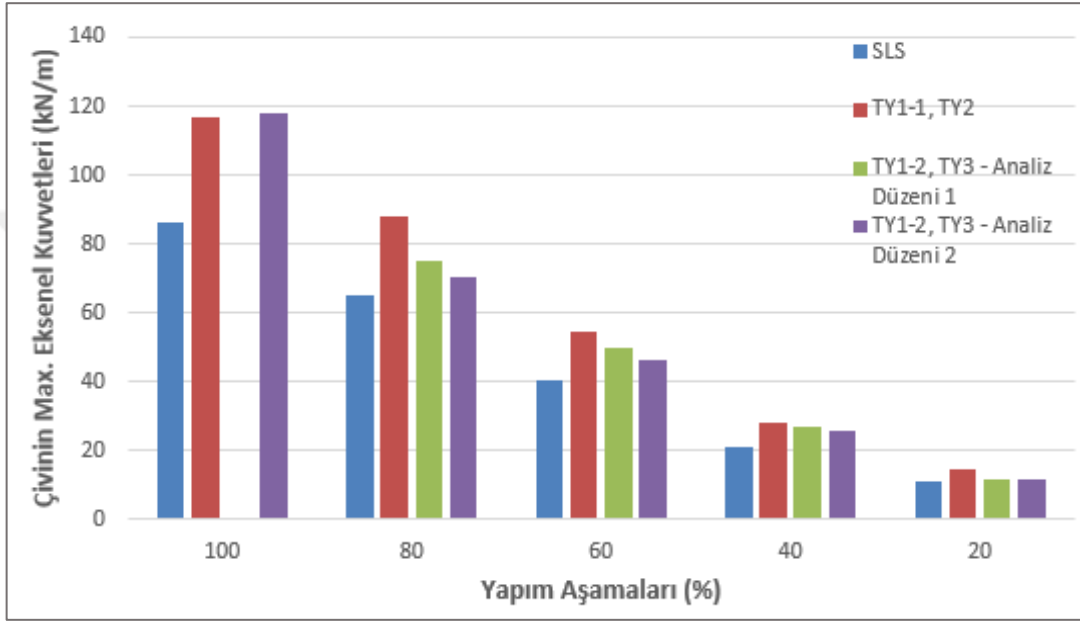
Tablo 4.13: SLS ve ULS’de plaka çivinin maksimum eksenel kuvvetleri.

Yapım Aşamaları (%)	SLS (kN/m)	TY1-1, TY2 (kN/m)	TY1-2, TY3 (kN/m)	
			Analiz Düzeni 1	Analiz Düzeni 2
20	11.34	15.31	12.16	12.04
40	20.02	27.03	24.16	23.72
60	38.82	52.41	46.88	42.76
80	61.08	82.46	72.07	68.49
100	83.22	112.35	110.6	112.8

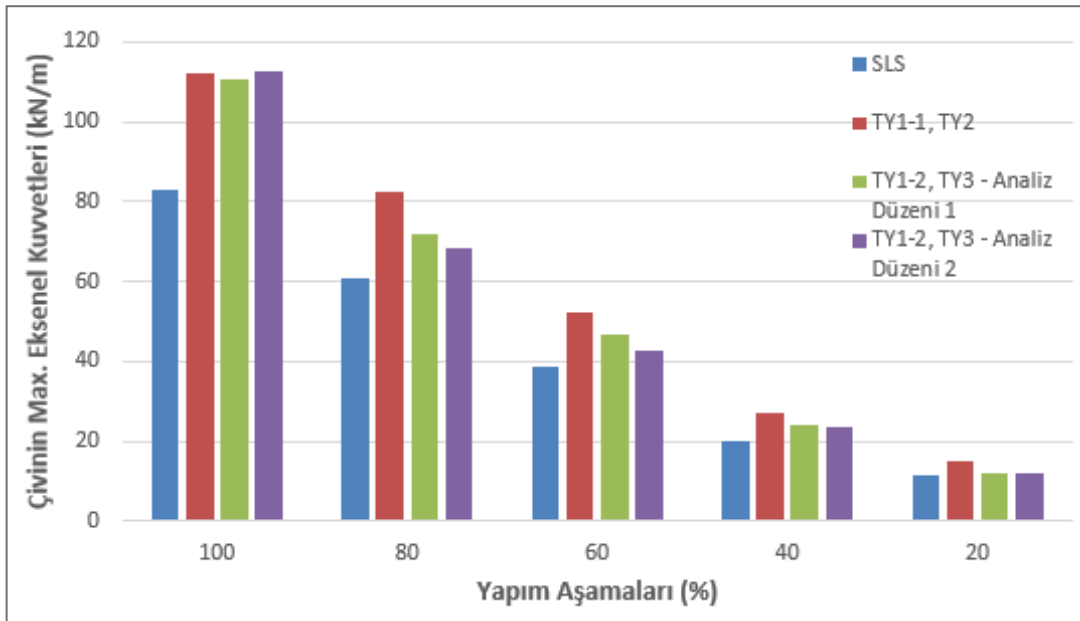
Tablo 4.12’de zemin çivisinin geogrid yapısal eleman olarak tanımlandığı SLS ve ULS analizleri sonucunda bulunan çivilerdeki maksimum eksenel kuvvetler yapım aşamalarına göre verilmiştir. Bu tablodaki değerler daha anlaşılır olması için sütun grafik halinde Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Tablo 4.13’de ise çivinin plaka yapısal eleman olarak tanımlandığı SLS ve ULS analizleri sonucunda bulunan çivilerdeki maksimum eksenel kuvvetler yapım aşamalarına göre verilmiştir. Şekil 4.30’da ise bu tablodaki değerler aynı şekilde sütun grafik olarak gösterilmiştir. Daha önceden bahsedildiği gibi TY1-1 ile TY2 ve TY1-2 ile TY3 Plaxis’te girdiğimiz kısmi faktörler sonucunda aynı yapısal yükler bulunmaktadır. Dolayısıyla şekilde birlikte gösterilmiştir. Hatırlatmak gerekirse, çivinin geogrid ile tanımlanarak çözüldüğü TY1-2 ve TY3’ün Analiz Düzeni 1 ile analizinin son kazı kademesinde çözüm başarısızlıkla sonuçlanmıştı. Bu yüzden Şekil 4.29’da son kazı kademesinin Analiz Düzeni 1 ile çözümü gösterilememiştir.

Şekil 4.29 ve Şekil 4.30’dan görüldüğü üzere, hem geogrid hem de plaka yapısal elemanlı da başlangıç kazı kademelerinde SLS’de bulunan kuvvet değerleri ULS’ye yakın olmaktadır. Ancak kazılar devam ettikçe ULS ile SLS arasındaki farklar büyümektedir. Her iki elemanda

da son kazı kademesi hariç ara kazılarda, TY1-1 ile TY2'de bulunan çivinin eksenel kuvvetleri en büyük olmaktadır. TY1-2 ile TY3'ün Analiz Düzeni 2 ile çözümünde ise en küçük olmaktadır. Son kazı kademesinde inşaat tamamlanmış halde ise bütün ULS analizlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ara kazı kademelerinde en küçük kuvvet değerlerine sahip olmasına rağmen TY1-2 ile TY3'ün Analiz Düzeni 2 ile analiz sonucu çok az bir farkla son aşamada en büyük olmaktadır.



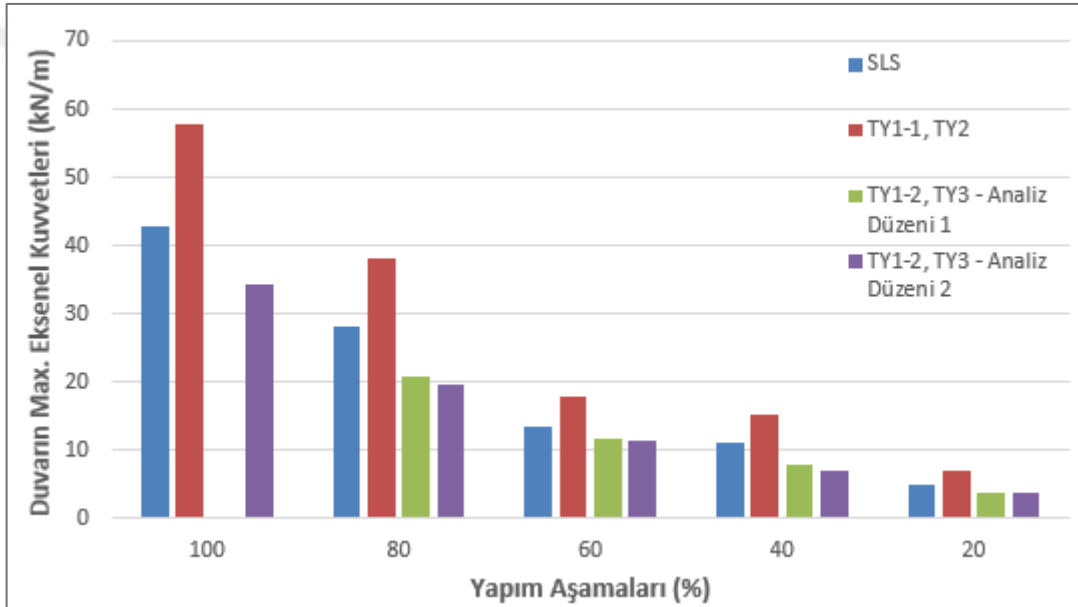
Şekil 4.29: SLS ve ULS geogrid çivilerdeki maksimum eksenel kuvvetler.



Şekil 4.30: SLS ve ULS plaka çivilerdeki maksimum eksenel kuvvetler.

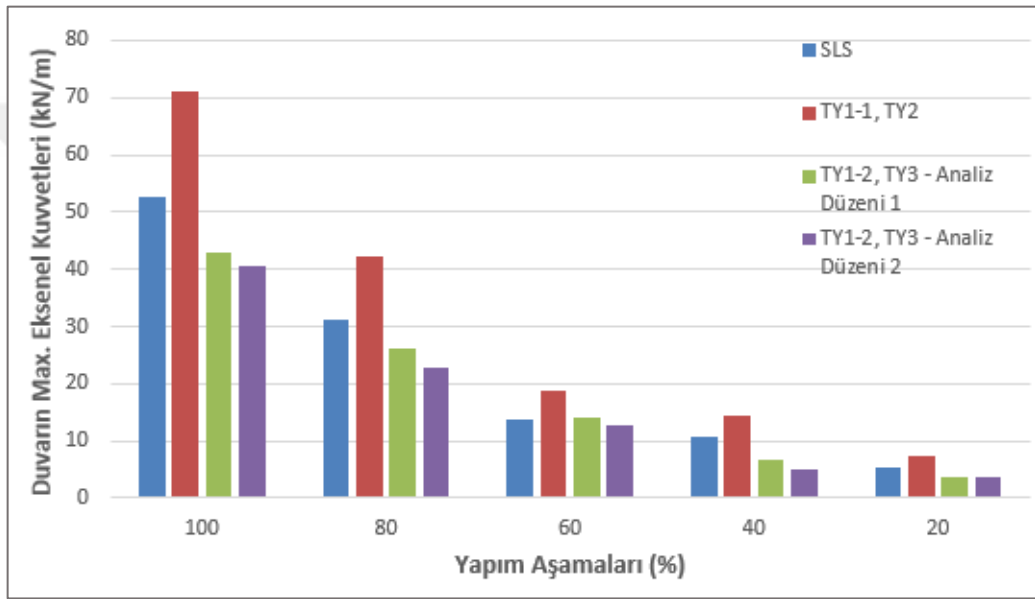
Tablo 4.14: SLS ve ULS'de duvarın maksimum aksenal kuvvetleri.

Yapım Aşamaları (%)	SLS (kN/m)		TY1-1, TY2 (kN/m)		TY1-2, TY3 (kN/m)			
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Analiz Düzeni 1		Analiz Düzeni 2	
					Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	5.12	5.37	6.91	7.25	3.85	3.73	3.93	3.83
40	11.23	10.72	15.16	14.47	7.89	6.67	6.96	4.88
60	13.36	13.84	18.04	18.68	11.63	14.05	11.33	12.58
80	28.29	31.3	38.19	42.25	20.74	26.28	19.61	22.74
100	42.78	52.62	57.75	71.04	-	42.96	34.37	40.58

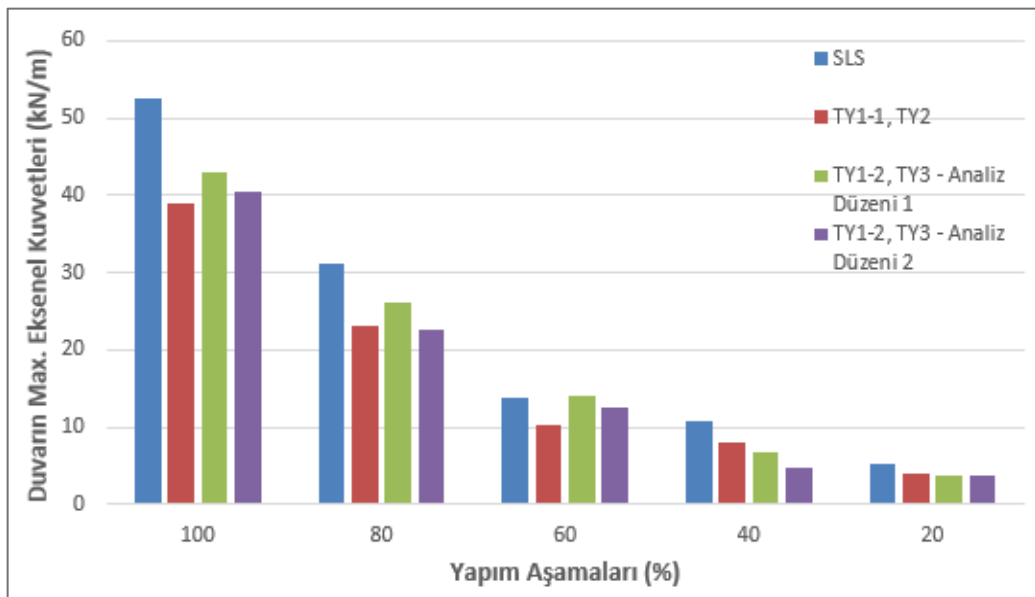
**Şekil 4.31:** SLS ve ULS geogrid çivili duvardaki maksimum aksenal kuvvetler.

Tablo 4.14'de zemin çivisinin hem geogrid hem de plaka yapısal eleman olarak tanımlandığı SLS ve ULS analizleri sonucunda bulunan duvardaki maksimum aksenal kuvvetler yapım aşamalarına göre verilmiştir. Şekil 4.31'de çivinin geogrid olarak çözüldüğünde elde edilen duvar maksimum aksenal kuvvetleri sütun grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 4.32'de ise çivinin plaka olarak çözüldüğünde bulunan sonuçlar gösterilmiştir. Şekillere baktığımızda TY1-1 ile TY2 başlangıç kazı kademelerinde diğer analizlerin sonuçlarına her ne kadar yakın olsa da kazı devam ettikçe daha büyük kuvvet değerlerine ulaştığını görmekteyiz. TY1-2 ile TY3 ULS analizleri olduğundan SLS analizinden edilen sonuçlardan daha büyük olması beklenebilir. Ancak sonuçlara baktığımızda TY1-2 ile TY3'ün her iki çözümünde de SLS analiz sonuçlarından daha küçük aksenal kuvvetler elde edilmektedir. Bilindiği gibi, TY1-1 ile

TY2'nin Plaxis'te kullanım gereği sabit yüklere uygulanan 1.35 kısmi faktörünün analiz sonucunda elde edilen yük etkilerine uygulanması belirtilmektedir. Bu şekilde TY1-1 ve TY2 için SLS analizinden bulduğumuz aksenal kuvvetlerle 1.35 çarptığımızda tasarım yaklaşımları arasında uyumsuzluk ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.32). Aksine çarpmak yerine SLS'deki aksenal kuvvetleri 1.35 ile böldüğümüzde ise TY1-2 ve TY3 ile daha uyumlu sonuçların elde edildiğini Şekil 4.33'ten görmekteyiz. Belki de duvarın aksenal kuvvetleri dikkate alındığında tasarım yaklaşımları arasındaki uyumluluk için TY1-1 ve TY2'de 1.35 kısmi faktörü ile bölmek daha doğru olacaktır.



Şekil 4.32: SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum aksenal kuvvetler.

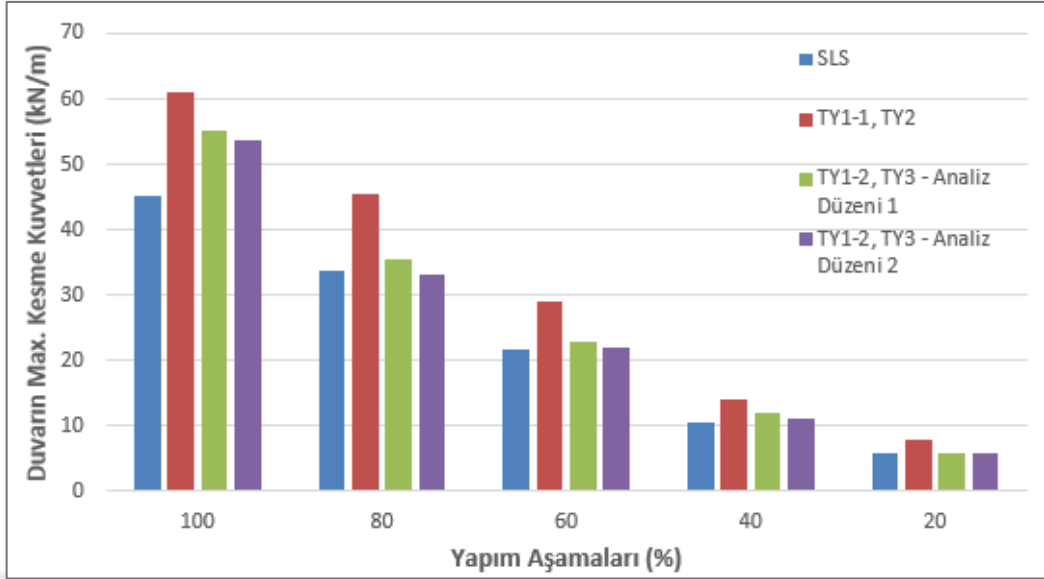


Şekil 4.33: SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum aksenal kuvvetler 2.

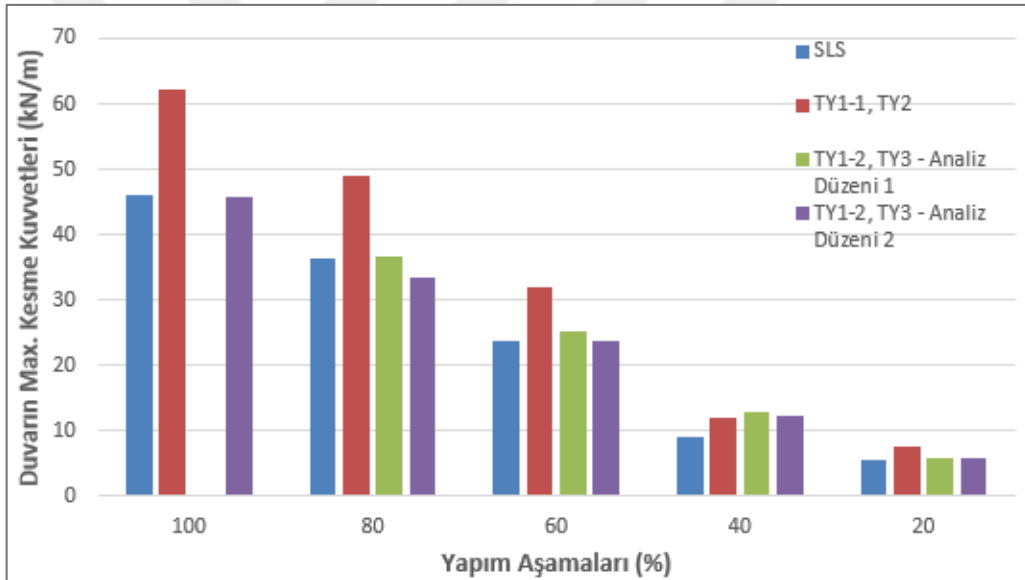
Tablo 4.15: SLS ve ULS’de duvarın maksimum kesme kuvvetleri.

Yapım Aşamaları (%)	SLS (kN/m)		TY1-1, TY2 (kN/m)		TY1-2, TY3 (kN/m)			
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Analiz Düzeni 1		Analiz Düzeni 2	
					Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	5.68	5.94	7.67	8.02	5.73	5.84	5.74	5.85
40	8.98	10.43	12.12	14.08	12.87	11.94	12.41	11.1
60	23.62	21.58	31.89	29.13	25.35	22.91	23.74	22.03
80	36.25	33.63	48.94	45.40	36.63	35.5	33.58	33.1
100	46.12	45.27	62.26	61.11	-	55.25	45.87	53.68

Tablo 4.15’de zemin çivisinin hem geogrid hem de plaka yapısal eleman olarak tanımlandığı SLS ve ULS analizleri sonucunda bulunan duvardaki maksimum kesme kuvvetleri yapım aşamalarına göre verilmiştir. Şekil 4.34’de çivinin plaka olarak çözüldüğünde elde edilen duvar maksimum kesme kuvvetleri sütun grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 4.35’de ise çivinin geogrid olarak çözüldüğünde bulunan sonuçlar gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, TY1-1 ve TY2’de her kazı kademesinde en büyük kesme kuvvetleri (geogrid çivili duvarın 2. Kazı kademesi hariç) oluşmaktadır. Genel olarak başlangıç kazı kademelerinde sonuçların birbirine yakın olduğu anlaşılmaktadır. TY1-2 ve TY3’ün Analiz Düzeni 1 ile analizinden elde edilen kesme kuvvetlerinin Analiz Düzeni 2’ye göre elde edilen kuvvetlerden biraz daha büyüktür. Ancak TY1-2 ve TY3’ün her iki çözümündeki sonuçlar gayet uyumlu olmaktadır. İlâveten, TY1-2 ve TY3’ün ilk 4 kazı kademesi SLS analizinden elde edilen kesme kuvvetleri değerleriyle yakındır. İnşaat tamamlandığında ise TY1-2 ve TY3’ün plaka çivili duvarının kesme kuvvetleri değerleri, SLS kesme kuvvetleri değerlerinden daha büyük olmaktadır. Ancak geogrid çivili duvarının kesme kuvvetleri, ilk 4 kazı kademesinde olduğu gibi inşaat tamamlandığında da SLS kesme kuvvetleri ile yakın olmaktadır.



Şekil 4.34: SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum kesme kuvvetleri.

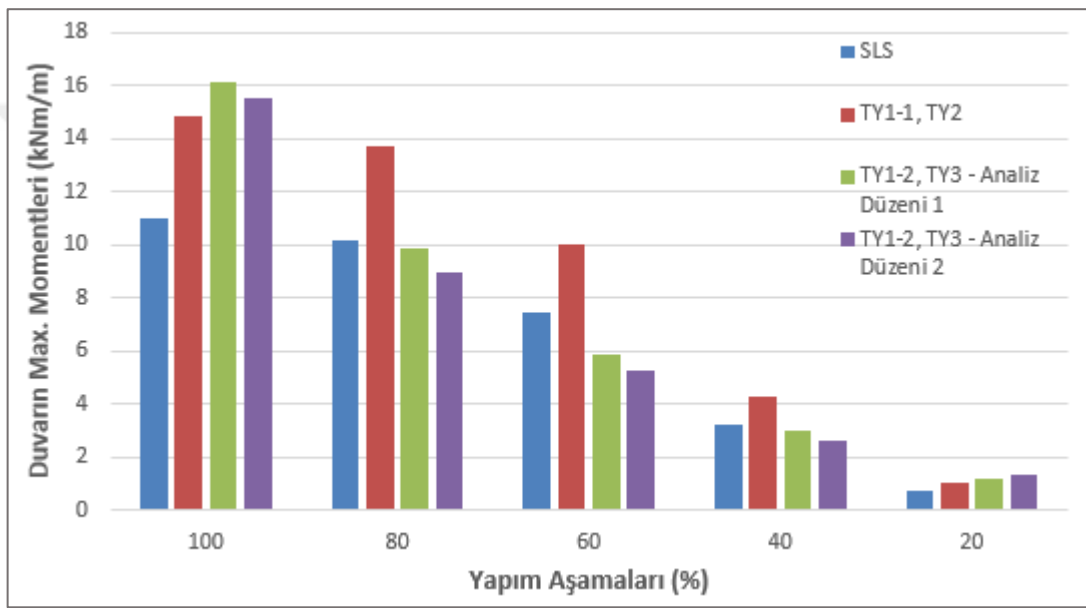
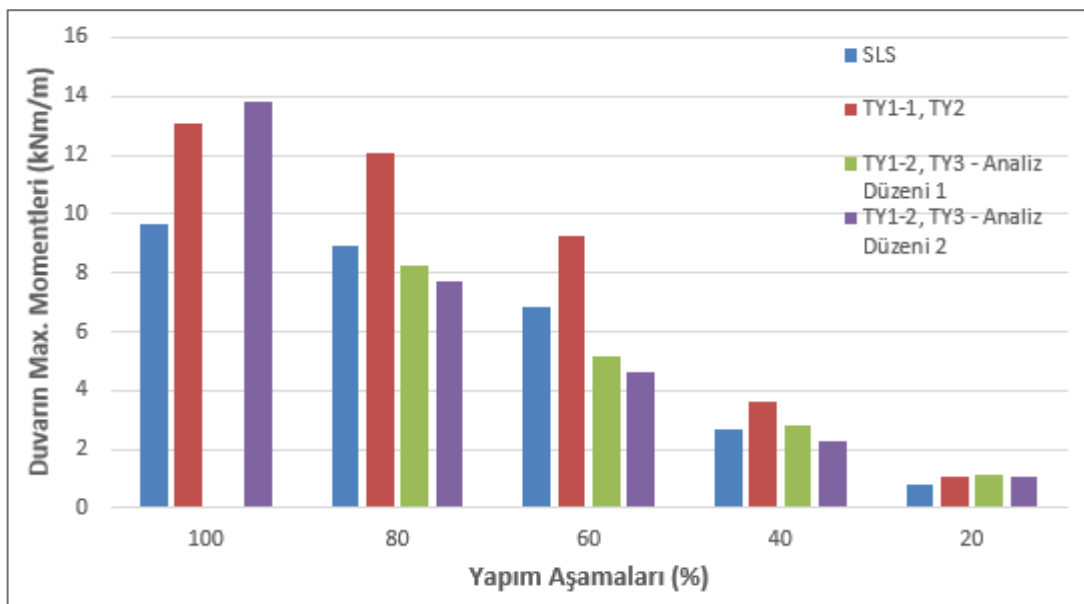


Şekil 4.35: SLS ve ULS geogrid çivili duvardaki maksimum kesme kuvvetleri.

Tablo 4.16'da zemin çivisinin hem geogrid hem de plaka yapısal eleman olarak tanımlandığı SLS ve ULS analizleri sonucunda bulunan duvardaki maksimum momentler yapım aşamalarına göre verilmiştir. Şekil 4.36'da çivinin plaka olarak çözüldüğünde elde edilen duvar maksimum momentleri sütun grafik halinde gösterilmiştir. Şekil 4.37'de ise çivinin geogrid olarak çözüldüğünde bulunan sonuçlar gösterilmiştir. Sonuçlara göre ilk 2 kazı kademesindeki momentler her analizde hemen hemen yakındır. 3. ve 4. kazı kademesinde ise TY1-1 ile TY2 değerlerine göre daha büyük moment değerlerine ulaşmaktadır. İnşaat tamamlandığında da ULS sonuçları SLS sonuçlarından büyük olmaktadır. Ve ULS sonuçlarının kendi içinde uyumlu sonuçlar verdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 4.16: SLS ve ULS’de duvarın maksimum momentleri.

Yapım Aşamaları (%)	SLS (kNm/m)		TY1-1, TY2 (kNm/m)		TY1-2, TY3 (kNm/m)			
	Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka	Analiz Düzeni 1		Analiz Düzeni 2	
					Geogrid	Plaka	Geogrid	Plaka
20	0.78	0.79	1.05	1.07	1.12	1.2	1.05	1.33
40	2.69	3.21	3.63	4.33	2.83	3.02	2.29	2.65
60	6.86	7.46	9.26	10.07	5.18	5.88	4.62	5.26
80	8.94	10.2	12.07	13.77	8.23	9.91	7.71	8.96
100	9.67	11.01	13.05	14.86	-	16.16	13.79	15.53

**Şekil 4.36:** SLS ve ULS plaka çivili duvardaki maksimum momentler.**Şekil 4.37:** SLS ve ULS geogrid çivili duvardaki maksimum momentler.

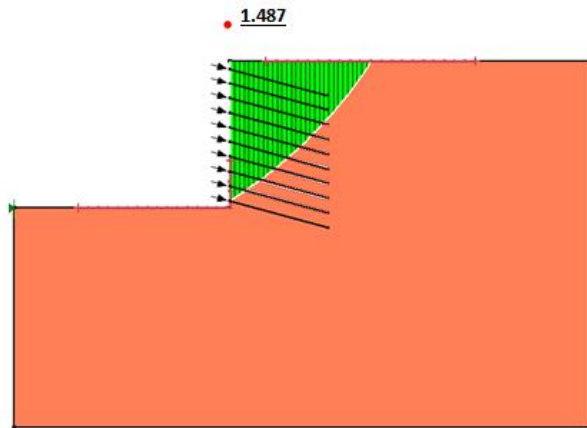
4.2 LİMİT DENGE YÖNTEMİ İLE ANALİZLER

Bu tezde referans alınan tasarım modeli, sonlu elemanlar yöntemine ilaveten Slope/W programı ile limit denge yöntemi analizleri de yapılmıştır. Analizlerde tasarım modeli hem kısmi faktörler uygulamadan karakteristik parametrelerle hem de ULS değerlendirmesi kapsamında TY1-1, TY1-2, TY2 ve TY3 ile çözülmüştür. Bulunan güvenlik sayıları ile tasarım yaklaşımlarının kendi içindeki ve karakteristik parametrelere göre değişimi ortaya konmuştur. Güvenlik sayıları Morgenstern-Price Yöntemi ile belirlenmiştir.

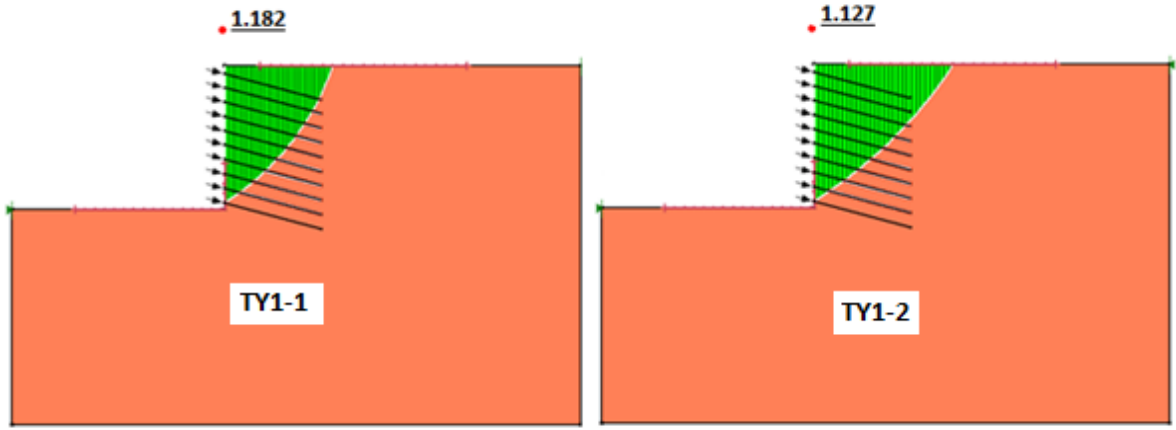
Sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan Plaxis ile ULS analizi yaparken, bazı yaklaşımlarda kısmi faktörleri uygulamada güçlükler çekilmiş ve bazı uyarlamalar yapılmıştı. Hatta çivi gibi takviye elemanlarına uygulanan 1.1 kısmi faktörü uygulanamamıştı. Ancak Slope/W ile kısmi faktörleri girerken herhangi bir zorluk yaşanmamaktadır. Ve kısmi faktörler programın kendi bünyesinde tanımlanmıştır.

Plaxis'te kullanılan parametrelerle beraber Slope/W programında zemin çivisinin özelliklerini girerken ilave parametreler girmek gerekmektedir. Bu yüzden zemin çivisinin sıyrılma direnci 40 kPa, çekme kapasitesi ise 250 kN alınmıştır. Ayrıca çivinin özelliklerini girerken burada belirtmek gerekir ki, Eurocode 7 tasarım yaklaşımlarında kısmi faktörler kullanıldığından azaltma faktörleri girilen ilgili kısımlardaki değerlerin 1 olması gerekmektedir.

Şekil 4.38'de karakteristik parametrelere göre çözümü gerçekleştirilen tasarım modelinin sonucu verilmiştir. Bu analiz sonucuna göre kritik kayma yüzeyinde güvenlik sayısı 1.487 bulunmuştur. Bulunan güvenlik sayısı ile Plaxis'teki ilgili analizi SLS'den elde edilen güvenlik sayısı hemen hemen aynı olmaktadır ($GS_{plaka}=1.5$, $GS_{geogrid}=1.48$).

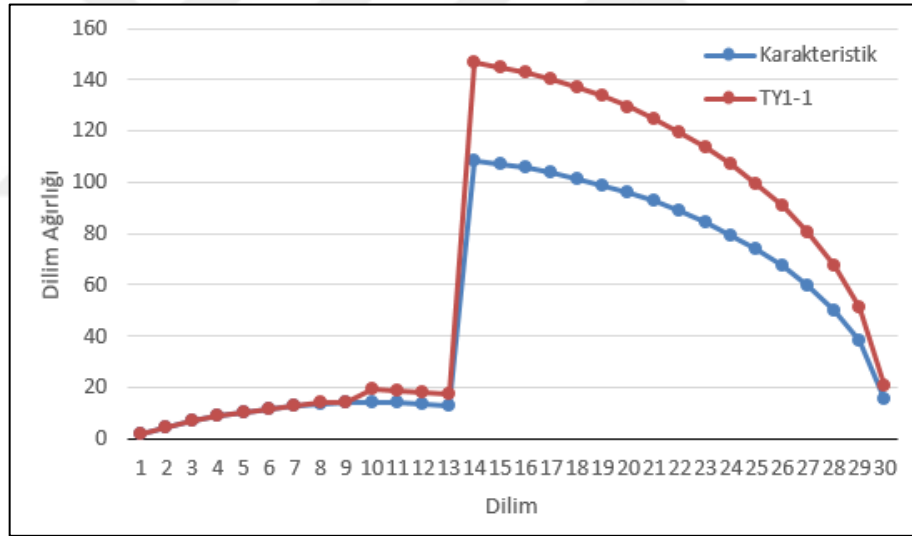


Şekil 4.38: Karakteristik parametreler ile elde edilen güvenlik sayısı.



Şekil 4.39: TY1-1 ve TY1-2 ile elde edilen güvenlik sayısı.

Şekil 4.39’da Tasarım Yaklaşımı 1’in kritik kayma yüzeyinde meydana gelen güvenlik sayıları verilmektedir. TY1-1’de girilen kısmi faktörlerin sonucu güvenlik sayısı 1.182 bulunmuştur. TY1-2’de ise güvenlik sayısı 1.127 olmaktadır.

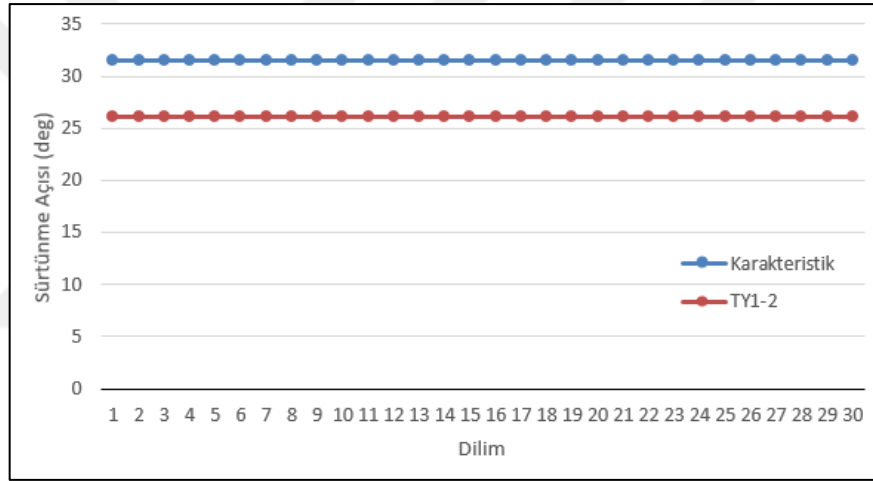


Şekil 4.40: Karakteristik ve TY1-1 ile çözümlerde oluşan dilim ağırlıkları.

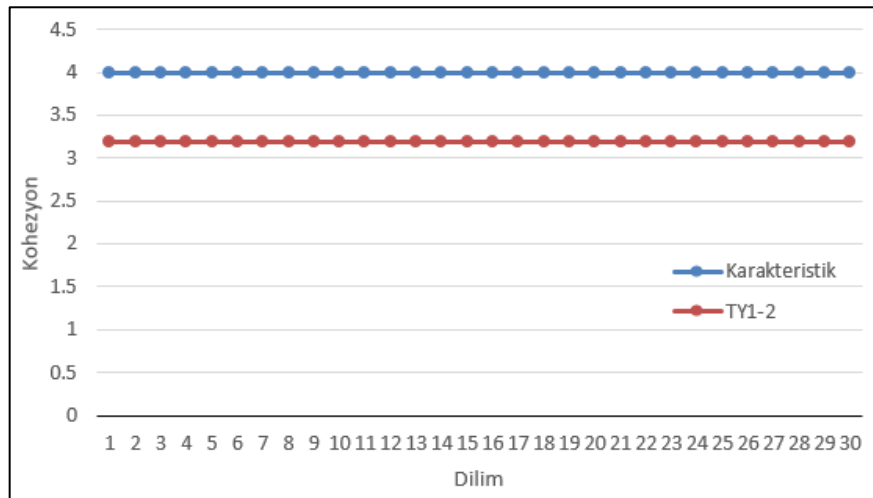
Slope/W programı sabit zemin yüklerine uygulanan kısmi faktörleri uygulamak için zemin dilim ağırlıklarını faktörlemektedir. Şekil 4.40’ta aynı göçme yüzeyindeki dilimlerin dilim ağırlıkları hem karakteristik hem de TY1-1 ile yapılan çözümlere göre karşılaştırılmıştır. Programın önemli bir özelliği, dilimin elverişli veya elverişsiz yük olup olmadığını analiz sırasında belirleyebilmektedir. Bu saptamayı ise dilim tabanı açısının pozitif veya negatif oluşuna göre yapmaktadır. Şekil 4.40’a bakıldığında, 1’den 9’a kadar olan dilimlerde taban açısını negatif bulduğundan bu dilimleri elverişli yük olarak tanımlamış ve dolayısıyla TY1-1’in dilim ağırlıkları değişmemiştir. Geri kalan dilimlerde ise taban açısını pozitif bulduğundan

bu dilimleri elverişsiz yük olarak tanımlayarak dilim ağırlıklarını 1.35 ile büyütüştür. Ayrıca bu şekildeki göçme yüzeyi Şekil 4.39'daki ile aynı değildir. Şekil 4.39'da yerel olarak meydana gelen göçme yüzeyinde bütün dilimler elverişsiz yük olarak hesaplanmaktadır. Şekil 4.40'taki göçme yüzeyi ise, duvar önündeki kazılan bölgede de dilimi olan genel göçme yüzeyidir. Şekilden de anlaşılacağı üzere 1 ile 13'e kadar olan dilimler zeminin kazılan bölgesindedir.

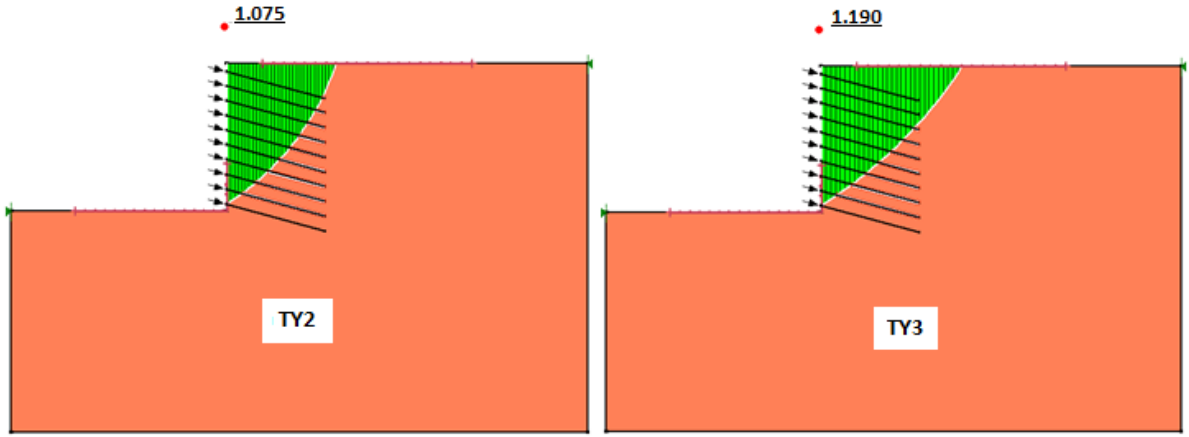
Bilindiği gibi TY1-2 ve TY3 ile çözüm yaparken zeminin sürtünme açısına ve kohezyonuna kısmi faktör uygulanmaktadır. Şekil 4.41'de sürtünme açısına, Şekil 4.42'de ise kohezyona kısmi faktör uygulandığında dilimlerdeki oluşan değerlerin değişimi gösterilmiştir. Bu şekillerden de anlaşılacağı üzere, zemine özelliklerine kısmi faktör uygularken zeminin elverişli veya elverişsiz yük olup olmadığına bakmadan tüm dilimlerinde kısmi faktör uygulanmaktadır.



Şekil 4.41: Karakteristik ve TY1-2 ile çözümlerdeki zeminin sürtünme açısı.



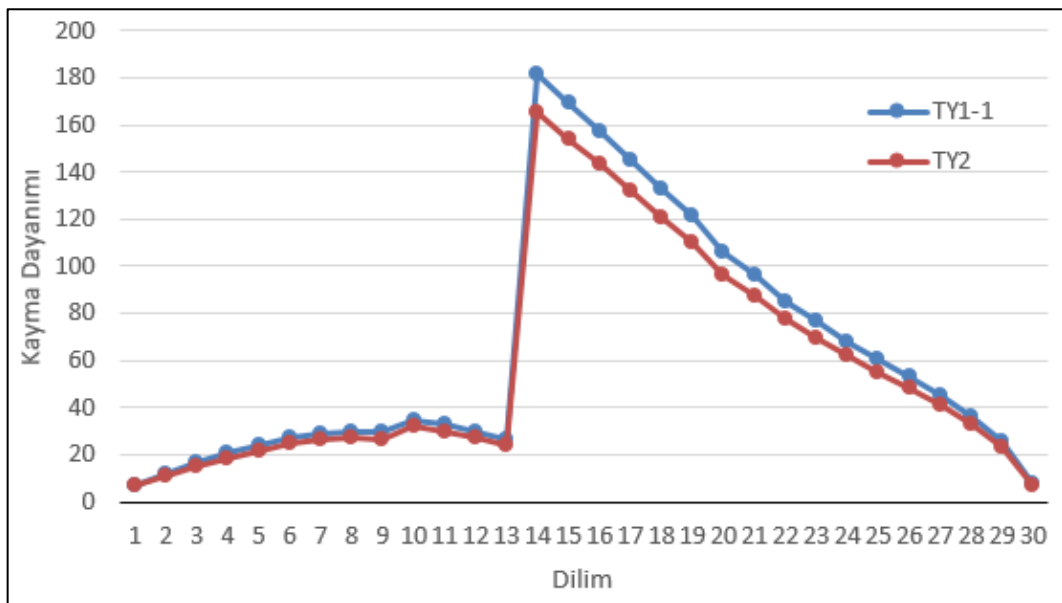
Şekil 4.42: Karakteristik ve TY1-2 ile çözümlerdeki zeminin kohezyonu.



Şekil 4.43: TY2 ve TY3 ile elde edilen güvenlik sayısı.

Şekil 4.43'te Tasarım Yaklaşımı 2 ve Tasarım Yaklaşımı 3'ün kritik kayma yüzeyinde meydana gelen güvenlik sayıları verilmektedir. TY2'de girilen kısmi faktörlerin sonucu güvenlik sayısı 1.075 bulunmuştur. TY3'de ise güvenlik sayısı 1.19 olmaktadır.

Şekil 4.44'de her dilimde meydana gelen zeminin kayma dayanımları TY1-1 ve TY2 için gösterilmiştir. Bu iki yaklaşımda TY2'de farklı olarak 1.1 kayma direnci kısmi faktörü girilmektedir. İki yaklaşım karşılaştırılarak kayma direnci kısmi faktörünün kayma dayanımı üzerindeki etkisi görülmektedir. Duvar önündeki dilim 13'e kadar ve son dilimlerde kısmi faktörün etkisi az olmaktadır. Hemen duvar arkasındaki dilimlerde dilim yüksekliği fazla olduğundan kısmi faktörün etkisi daha belirgin görülmektedir. Dolayısıyla kazı derinliği arttıkça kayma direnci faktörü etkisinin arttığını söyleyebiliriz.



Şekil 4.44: TY1-1 ve TY2 sonucunda zeminin kayma dayanımları.

Tablo 4.17: Limit denge yöntemiyle bulunan güvenlik sayıları.

	Karakteristik	TY1-1	TY1-2	TY2	TY3
Güvenlik Sayısı	1.487	1.182	1.127	1.075	1.19

Tablo 4.17’da limit denge yöntemiyle bulunan güvenlik sayıları toplu olarak verilmektedir. En düşük güvenlik sayısı TY2 ile bulmaktadır. TY2 ile TY1-1 arasındaki girilen kısmi faktörlerde tek fark TY2’de girilen 1.1 kayma direnci kısmi faktörüdür. İki yaklaşımdan elde edilen güvenlik sayısına baktığımızda, TY1-1’in güvenlik sayısını 1.1 kayma direnci kısmi faktörüne böldüğümüzde TY2’nin güvenlik sayısını bulmaktayız. Bu kısmi faktör değiştirilip bölünse dahi yine TY2’nin güvenlik sayısı bulunmaktadır. Yani aralarındaki bu ilişki sabit olmaktadır. Sonuç olarak, kayma direnci kısmi faktörü değeri kadar güvenlik sayısı üzerinde doğrudan etkilidir. TY1-2 ile TY3 arasındaki girilen kısmi faktörlerdeki tek fark ise çivi gibi takviye elemanlarının dayanımlarını azaltıcı etki eden 1.1 kısmi sayısıdır. TY3’ün güvenlik sayısı TY1-2’nin güvenlik sayısına bölüldüğünde 0.95 bulunmaktadır. Kısmi faktör sayısı değiştirildiğinde bu oran sabit de kalmamaktadır. Dolayısıyla bu kısmi faktörün güvenlik sayısı üzerinde, kayma direnci kısmi faktörü gibi doğrudan ve doğru orantılı şekilde etkisi yoktur.

Slope/W programında Plaxis’ten farklı olarak, kısmi faktörler analiz sürecine sorunsuzca dahil edilebilmektedir. Dolayısıyla ULS kapsamında GEO doğrulanması yapılırken hedef güvenlik sayısı en az 1 olmalıdır. Bu hedef güvenlik sayısına göre, tasarım modelimizin GEO doğrulanması yapıldığında her tasarım yaklaşımı için tasarıma uygun olduğu anlaşılmaktadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Zemin çivili dayanma yapıları, kazı ve şevlerin desteklenmesi amacıyla yapılan zemin takviye yöntemidir. Diğer klasik sistemlere göre daha hızlı uygulanabilmesi ve ekonomik olması nedeniyle sıkça tercih edilen ve uygulanan bir yöntem olmuştur. Bu sistemin tasarımına yönelik geçmişten bugüne çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden olan ‘Kısmi Katsayılar Yöntemi’, Eurocode 7’nin açıklamasıyla birlikte önem kazanmıştır. Eurocode 7’ye göre tasarım yapılırken, hizmet görebilirlik sınır durumu (SLS) ve nihai sınır durumları (ULS) kontrolleri yapılmaktadır. Hizmet görebilirlik sınır durumu tasarımın deformasyon sınırlamaları ile ilgilidir. Nihai sınır durumları; EQU, GEO, STR, UPL ve HYD kontrollerini içermektedir.

Eurocode 7’de farklı kısmi katsayı faktörlerinin kullanıldığı üç tasarım yaklaşımı tanıtılmaktadır. Bunlar; Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 1, Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2, Tasarım Yaklaşımı 2 ve Tasarım Yaklaşımı 3’tür. Bu tasarım yaklaşımları ile nihai sınır durumlarından STR ve GEO kontrolleri yapılmaktadır. Tez çalışması kapsamında, Eurocode 7 Tasarım Yaklaşımlarını değerlendirmek için Plaxis bülteninde yayınlanan zemin çivisi ile ilgili örnek çalışma referans alınmıştır. Örnek çalışma; sonlu elemanlar analizleri Plaxis programı ile, limit denge analizleri ise Slope/W programı ile Eurocode 7 tasarım yaklaşımları kullanılarak genişletilmiştir. Ve referans modelin Eurocode 7’ye göre tasarımı değerlendirilmiştir.

Referans alınan tasarım modelinin, verilen bilgiler doğrultusunda sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu tezin ilgili bölümlerinde hesaplanan analiz sonuçları ile referans çalışmanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Genel olarak sonuçlar makul düzeyde benzerlik göstermektedir. Eurocode 7 hizmet görebilirlik sınır durumu (SLS) analizleri, tasarım parametrelerine kısmi katsayılar uygulamadan yapılmaktadır. Dolayısıyla referans çalışma esasında SLS analizi olmaktadır. Hizmet görebilirlik sınır durumu (SLS) analizlerinde önemli nokta deformasyonların sınırlamalar ile makul düzeylerde tutulmasıdır. Zemin çivili duvarlarda maksimum yanal deplasmanlar, ince taneli zeminler için yaklaşık %0.3H, granüler zeminler için %0.2H, yıpranmış kayalarda ve sıkı zeminlerde %0.1H ile sınırlandırılması önerilmektedir. Bu tasarımda duvarda meydana gelen maksimum yanal deplasmanlar, geogrid eleman için 22.59 mm ve plaka eleman için 20.39 mm bulunmuştur. Bu durumda geogrid için %0.226, plaka için %0.204 olmaktadır. Referans alınan çalışmada zemin parametrelerini verse de zemin

türüyle ilgili bilgi verilmemiştir. Ancak zemin parametrelerini göz önünde bulundurulduğunda hesaplanan deplasmanların SLS değerlendirmesi için makul mertebede olduğunu söyleyebiliriz.

Plaxis ile ULS analizleri gerçekleştirirken bütün kısmi faktörlerin hesaplara dahil edilmesi halinde bazı TY'lerin uygulanmasında problemlerle karşılaşmaktadır. Geoteknik yük olan zeminin etkisine ve takviye elemanına kısmi faktör tanımlanamamaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için önerilen bazı uyarlamalar vardır.

Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 1 (TY1-1) analizlerini yaparken girilen kısmi faktörlerden dolayı bazı uyarlamalar yapılmıştır. Bu yaklaşımın analizinde, ilgili bölümde belirtildiği gibi modelde değişken yük olmadığı için SLS analizi sonuçları benzer sonuçlar elde edilmektedir. Bu durum sadece tezde çözülen tasarım modeline özgüdür ve bu yaklaşımla analiz yaparken her zaman SLS ile TY1-1 aynı sonuçlar vermeyebilir. STR doğrulanması kapsamında önerildiği gibi analiz sonucunda bulunan yapısal yükler 1.35 ile çarpılarak yapısal tasarım değerleri bulunmuştur. Yapılan STR kontrolü sonucunda yeterli güvenlik sağlanmış ve yeniden tasarım gerekli görülmemiştir. GEO doğrulanması kapsamında ise güvenlik sayısı $GS=1$ yerine $GS=1.35$ hedef güvenlik sayısında doğrulanma yapılması yerinde olacaktır. Hesaplanan güvenlik sayısı hedef güvenlik sayısından büyük olduğu için GEO kontrolü de sağlanmaktadır. Sonuç olarak yapılan tasarım, TY1-1 için yeterli güvenliği sağlamakta ve tasarıma uygun olmaktadır.

Plaxis ile ULS analizi yaparken Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2 diye adlandırılan iki farklı analiz uygulama akışı ile yapılabilmektedir. Bu tezde Plaxis ULS analizleri, her iki uygulama akışı içerisinde, zemin çivisini hem geogrid hem de plaka yapısal eleman ile tanımlayarak yapılmıştır. Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 2 (TY1-2) ve Tasarım Yaklaşımı 3 ile ULS analizi yapılırken ana etki zemin parametrelerine kısmi faktör uygulama olmaktadır. Bu yaklaşımın analiz sonuçları, sabit yüklere kısmi faktör uygulama olmadığından tasarımda kullanılan değerlerdir.

TY1-2 ile Analiz Düzeni 1'de çivinin geogrid tanımlandığı analizin son kazı aşamasında analiz başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Analiz Düzeni 2 ile analizinde ise son kazı aşaması dahil analiz çözüme ulaşmıştır. Çivinin plaka eleman olarak tanımlandığı Analiz Düzeni 1 ve Analiz Düzeni 2 hesaplarında analiz başarıyla sonuçlanmıştır. Analizler gerçekleştirirken hesaplama sürecinde gözlemediğimiz kadarıyla Analiz Düzeni 2'de Plaxis daha rahat çözüm yapmaktadır. Çivinin

hem geogrid hem de plaka elemanlı analiz sonuçlarının da uyumlu olduğu görülmüştür. Kapsamlı karşılaştırmalar ilgili bölümde detaylıca verilmiştir. İlâveten bu yaklaşımda esas kısmi faktörler zemin parametrelerine uygulandığından ULS durumunda ortaya çıkan zemin göçme noktaları görülebilmektedir. Bilindiği gibi yapısal olarak STR ve geoteknik olarak GEO kontrolleri yapılmaktadır. TY1-2’de kısmi faktörler girilerek analizler gerçekleştirildiğinden bulunan sonuçlar STR kontrolünde doğrudan kullanılmaktadır. GEO kontrolü içinse hedef güvenlik sayısı 1 olmaktadır. İnşaat tamamlandıktan sonraki güvenlik sayısı 1.19 olduğundan GEO kontrolü için yeterli güvenlikte olmaktadır. Sonuç olarak, bu yaklaşım hem STR hem de GEO kontrolü sonucunda tasarıma uygundur.

Tasarım Yaklaşımı 2 (TY2) ile Tasarım Yaklaşımı 1 Kombinasyon 1 (TY1-1) arasındaki farklılık TY2’de dirençlere de kısmi faktör girilmektedir. TY2 ile Plaxis analizi yaparken direnç kısmi faktörleri girilemediğinden dolayı TY1-1 ile analiz sonuçları ile aynı olmaktadır. STR kontrolü TY1-1 ile aynı olmakta ve tasarıma uygundur. GEO kontrolü ise TY1-1’den farklı olarak, kayma direnci 1.35 ile çarpılarak yani $1.1 \times 1.35 = 1.485$ hedef güvenlik sayısında olmaktadır. Çivinin geogrid elemanlı tasarımında güvenlik sayısı 1.5 olup plaka elemanlı tasarımında ise 1.48 bulunmuştur. Hedef güvenlik sayısı 1.485’e göre GEO doğrulanmasında sınırda olduğunu söyleyebiliriz. Sonuç olarak, bu yaklaşım hem STR hem de GEO kontrolü sonucunda tasarıma uygun bulunabilir. Ancak, GEO kontrolü geçerliliği bakımından tasarımı güvenli değerlendirmek tasarımcıya kalmaktadır.

Tasarım Yaklaşımı 3 (TY3)’de geoteknik ve yapısal yüklere ayrı uygulanmak üzere farklı yük kısmi faktörleri vardır. Ancak şev stabilitesi problemlerinde, geoteknik yüklere uygulanan kısmi faktörler sadece geoteknik olanlara değil bütün yüklere uygulanmaktadır. Dolayısıyla Plaxis’e girilen kısmi faktörlerden dolayı TY1-2 ile analiz sonuçları aynı olmuştur. Ve aynı STR ve GEO değerlendirmelerine tabidir.

Belirtmek gerekir ki; TY1-1, TY1-2 ve TY2’de takviye elemanlarına 1.1 kısmi faktör uygulanmaktadır. Ancak Plaxis’te bu faktör tanımlanamamıştır. Çözüm yöntemi olarak, çivi tanımlanırken EA ve EI 1.1 azaltılarak analiz yapılması denenmiştir. Ancak bu yöntem sonuçlar üzerinde etkili olmamıştır. Bu faktörün güvenlik sayısı üzerinde yaptığı etki limit denge analizleri sonuçlarından daha açık görülmektedir.

Bu tezde referans alınan tasarım modeli, sonlu elemanlar yöntemine ilâveten Slope/W programı ile Eurocode 7 yaklaşımlarını kullanarak limit denge analizleri yapılmıştır. Plaxis ile ULS

analizi yaparken, bazı yaklaşımlarda kısmi faktörleri uygulamada güçlüklerin aksine Slope/W ile tüm kısmi faktörler girilebilmiştir. Ve programın kendi bünyesinde tanımlıdır. Dolayısıyla Plaxis'te GEO değerlendirmeleri yaparken ki güvenlik sayıları üzerinde uyarlamaların aksine Slope/W programında hedef güvenlik sayısı 1 olmaktadır.

Tablo 5.1: Limit denge yöntemiyle bulunan güvenlik sayıları.

	Karakteristik	TY1-1	TY1-2	TY2	TY3
Güvenlik Sayısı	1.487	1.182	1.127	1.075	1.19

Tablo 5.1'de Slope/W ile hesaplanan güvenlik sayıları değerlendirildiğinde, bütün yaklaşımların hedef güvenlik sayısı 1'den büyük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla tüm yaklaşımlarda model tasarıma uygun olmaktadır. Plaxis güvenlik sayısı değerlendirmesinde olduğu gibi TY2 en küçük güvenlik sayısını vermiş ve tasarım sınırda olmaktadır. TY1-2'de TY3'ten farklı olarak çiviye tanımlanan 1.1 kısmi faktörü sonucu güvenlik sayısı 1.19'dan 1.127'ye düşmektedir. TY2'de TY1-1'den farklı olarak 1.1 kayma direnci kısmi faktörü uygulanmıştır. Güvenlik sayıları arasındaki orana baktığımızda 1.1 katsayısının güvenlik sayısına aynı oranda etki ettiğini görmekteyiz. Ayrıca 1.1 katsayısının değiştirilerek yapıldığı analizlerde de kayma direnci kısmi faktörünün girilen katsayı değeri kadar aynı şekilde etki ettiği anlaşılmıştır. Daha detaylı Slope/W incelemeleri ilgili bölümde verilmiştir.

Plaxis ile tüm kısmi faktörlerin tanımlandığı TY3'ün güvenlik sayısı 1.19 ve 1.20 hesaplanmıştır. Slope/W ile TY3'ten de Tablo 5.1'de görüldüğü gibi 1.19 elde edilmiştir. İki programda da sonuçların aynı olduğu görülmektedir. Plaxis'te kısmi faktörler girilirken tasarımcı bazı uyarlamalar yapmak zorunda kalmaktadır. Ve kullanıcının hangi parametreyi nasıl seçeceği sonuçlarını etkilemektedir. Ancak Slope/W programında böyle bir güçlük çekilmemektedir. Daha sağlıklı bir GEO değerlendirmesi için limit denge yaklaşımı daha gerçekçi bir yaklaşım olarak önerilebilir.

KAYNAKLAR

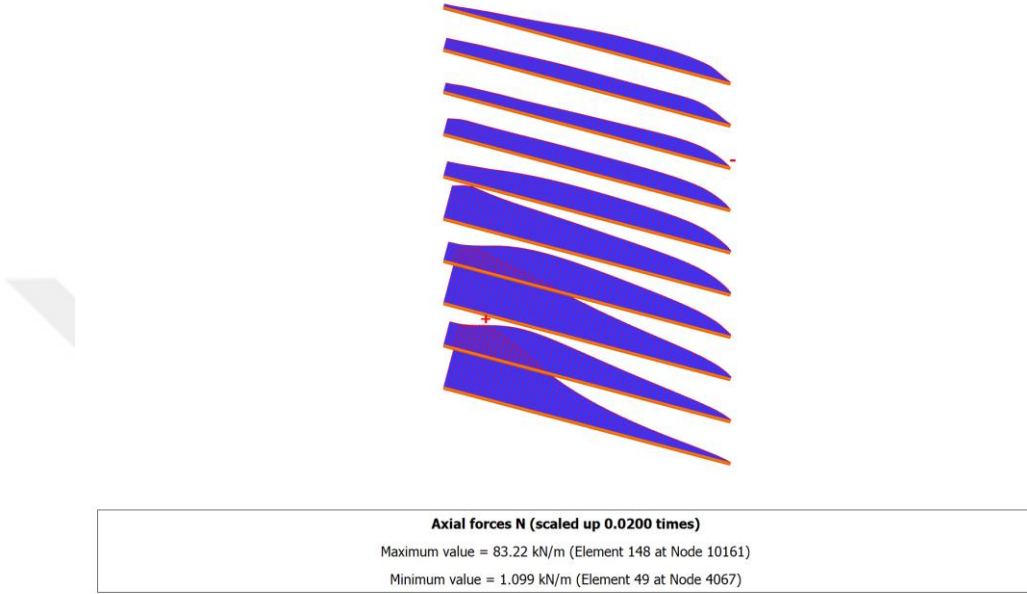
- [1]. Babu, G.L.S. ve Singh, V.P., 2009, *Plaxis Practice: Simulation of Nail Structures Using Plaxis 2D*, Plaxis Bulletin.
- [2]. Bond, A. ve Harris A., 2008, *Decoding Eurocode 7*, Taylor and Francis Group, London and New York.
- [3]. Bond, J.A., Schuppener, B., Scarpelli, G. ve Orr T.L.L., 2013, *Eurocode 7 Geotechnical Design Worked Examples*, European Commission, Italy, ISBN: 978 92 79 33759 8
- [4]. BS 5400-Part 4, 1990, *Steel, Concrete and Composite bridges: Code of Practice for Design of Concrete Bridges*, British Standart.
- [5]. BS 8110-Part 1, 1997, *Structural Use of Concrete, Code of Practice for Design and Construction*, British Standart.
- [6]. Budhu, M., 2011, *Soil Mechanics and Foundations 3rd ed.*, John Wiley and Sons, United States of America, ISBN: 978 0 470 55684 9.
- [7]. Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlang, C., ve Ueblacker, G., 1998, *Manual for Design and Construction of Soil Nail Wall*, Federal Highway Administration, Washington, D.C, FHWA-SA-96-069R.
- [8]. CIRIA C637, 2005, *Soil Nailing: Best Practice Guidance*, London.
- [9]. CIRIA C641, 2008, *EC7 Implications for UK Practice*, London.
- [10]. Departman for Communities and Local Government, 2007, *A Designers Simple Guide to BS EN 1997*, London.
- [11]. EN 1997-Part 1, 2004, *Geotechnical Design*, European Committee for Standardization.
- [12]. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, The Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2017, *Guide to Soil Nail Design and Construction*, Hong Kong.
- [13]. Holtz, R.D., Kovacs, W.D. ve Sheahan, T.C., 2011, *Geoteknik Mühendisliğine Giriş Çeviri: Ayfer Erken*, Nobel Akademik, Ankara, ISBN: 978 605 133 745 6.
- [14]. Lazerte, C.A., Robinson, H., Gomez, J.E, Baxter, A., Cadden, A. ve Berg, R., 2015, *Soil Nail Walls: Reference Manual*, Federal Highway Administration, Washington, D.C, FHWA-NHI-14-007.
- [15]. Lazerte, C.A., Elias, V., Espinoza, R.D, Sabatini, P.J., 2003, *Soil Nail Walls*, Federal Highway Administration, Washington, D.C, FHWA-IF-03-017.
- [16]. Plaxis 2D, 2016, *Reference Manul*.

- [17]. Üstündağ, Ö., 2003, *Zemin Çivisi ile Şev Stabilitesi ve Derin Kazıların Desteklenmesi*, Yüksek Lisans, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

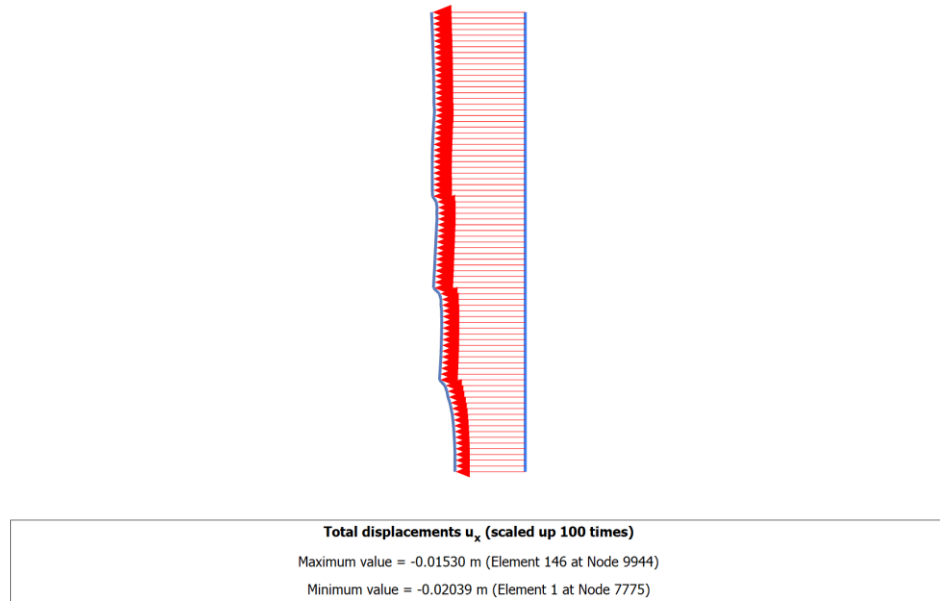


EKLER

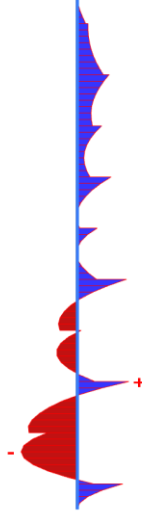
EK 1. Bazı Plaxis Analiz Sonuçları



Şekil Ek 1: Karakteristik parametreler ile plaka tanımlı çivinin aksenal kuvveti.



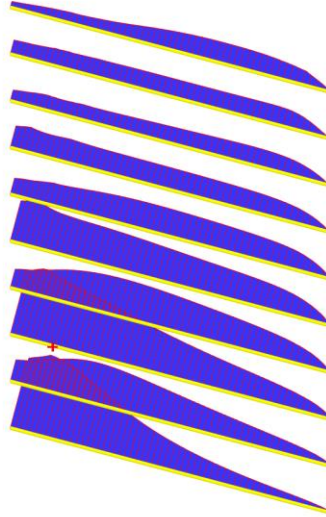
Şekil Ek 2: Karakteristik parametreler ile plaka çivi tanımlı duvarın deplasmanı.

**Bending moments M (scaled up 0.100 times)**

Maximum value = 10.11 kN m/m (Element 114 at Node 10513)

Minimum value = -11.01 kN m/m (Element 130 at Node 10437)

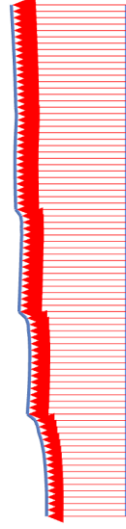
Şekil Ek 3: Karakteristik parametreler ile plaka çivi tanımlı duvarın momentleri.

**Axial forces N (scaled up 0.0200 times)**

Maximum value = 86.46 kN/m (Element 128 at Node 10175)

Minimum value = 1.137 kN/m (Element 42 at Node 4067)

Şekil Ek 4: Karakteristik parametreler ile geogrid tanımlı çivinin aksenal kuvveti.

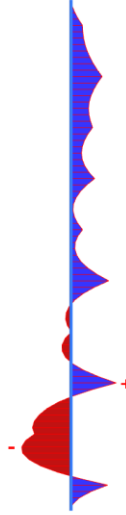


Total displacements u_x (scaled up 100 times)

Maximum value = -0.01566 m (Element 20 at Node 9944)

Minimum value = -0.02259 m (Element 1 at Node 7775)

Şekil Ek 5: Karakteristik parametreler ile geogrid çivi tanımlı duvarın deplasmanı.

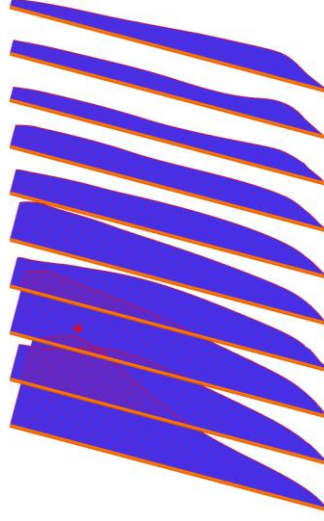


Bending moments M (scaled up 0.100 times)

Maximum value = 8.855 kN m/m (Element 15 at Node 10513)

Minimum value = -9.674 kN m/m (Element 18 at Node 10438)

Şekil Ek 6: Karakteristik parametreler ile geogrid çivi tanımlı duvarın momenti.

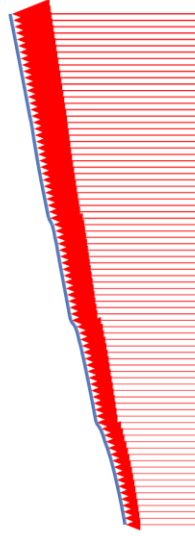


Axial forces N (scaled up 0.0200 times)

Maximum value = 110.6 kN/m (Element 149 at Node 10165)

Minimum value = 0.06942 kN/m (Element 49 at Node 4067)

Şekil Ek 7: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 1 ile plaka tanımlı çivinin aksenal kuvveti.

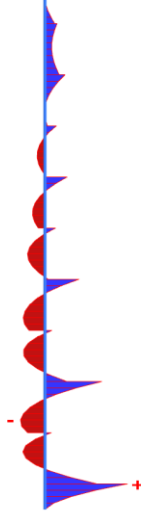


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times)

Maximum value = -0.02850 m (Element 146 at Node 9939)

Minimum value = -0.07351 m (Element 1 at Node 7775)

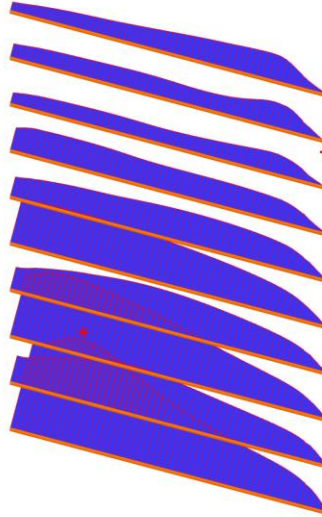
Şekil Ek 8: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 1 ile plaka çivi tanımlı duvarın deplasmanı.

**Bending moments M (scaled up 0.100 times)**

Maximum value = 16.16 kN m/m (Element 146 at Node 10249)

Minimum value = -4.781 kN m/m (Element 115 at Node 10559)

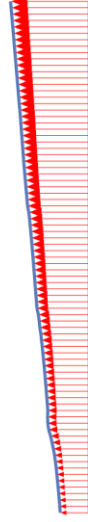
Şekil Ek 9: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 1 ile plaka çivi tanımlı duvarın momenti.

**Axial forces N (scaled up 0.0200 times)**

Maximum value = 112.8 kN/m (Element 149 at Node 10032)

Minimum value = -0.4392 kN/m (Element 33 at Node 3527)

Şekil Ek 10: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 2 ile plaka tanımlı çivinin eksenel kuvveti.

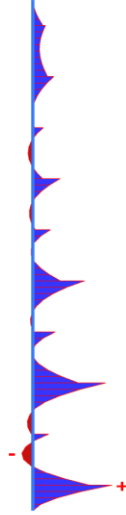


Total displacements u_x (scaled up 20.0 times)

Maximum value = -0.02846 m (Element 146 at Node 9939)

Minimum value = -0.07710 m (Element 1 at Node 7775)

Şekil Ek 11: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 2 ile plaka çivi tanımlı duvarın deplasmanı.

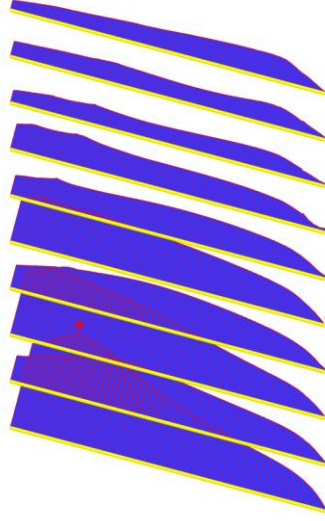


Bending moments M (scaled up 0.100 times)

Maximum value = 15.53 kN m/m (Element 146 at Node 10249)

Minimum value = -2.149 kN m/m (Element 130 at Node 10437)

Şekil Ek 12: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 2 ile plaka çivi tanımlı duvarın momenti.

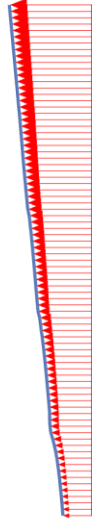


Axial forces N (scaled up 0.0200 times)

Maximum value = 117.7 kN/m (Element 129 at Node 10165)

Minimum value = 0.3883 kN/m (Element 84 at Node 5509)

Şekil Ek 13: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 2 ile geogrid tanımlı çivinin aksenal kuvveti.

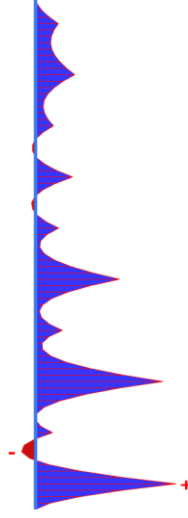


Total displacements u_x (scaled up 20.0 times)

Maximum value = -0.02899 m (Element 20 at Node 9939)

Minimum value = -0.08152 m (Element 1 at Node 7775)

Şekil Ek 14: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 2 ile geogrid çivi tanımlı duvarın deplasmanı.



Bending moments M (scaled up 0.200 times)

Maximum value = 13.79 kN m/m (Element 19 at Node 10249)

Minimum value = -1.366 kN m/m (Element 18 at Node 10437)

Şekil Ek 15: TY1-2 ve TY3 Analiz Düzeni 2 ile geogrid çivi tanımlı duvarın momenti.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Sinan Soylu
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	31.10.1992
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	
E-Posta Adresi	sinansoylu19@gmail.com
Web Adresi	

Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	İnşaat Bölümü
Mezuniyet Yılı	2015

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	İnşaat Mühendisliği Programı