

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

128679

ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI

İnş. Müh. Ethem BALIK

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

F.B.E İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı
Jüri Üyesi
Jüri Üyesi

: Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM
: Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN
: Prof. Dr. Kemal ÖZÜDOĞRU

İSTANBUL, 2002

128679

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖNSÖZ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
1. GİRİŞ	1
2. ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI	3
2.1 İnşaat Aşamaları	3
2.2 Zemin Çivisinin Avantajları	6
2.3 Zemin Çivisinin Dezavantajları	7
2.4 Zemin Çivisine En Uygun Zeminler	8
2.5 Zemin Çivisine Uygun Olmayan Zeminler	9
3. ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARININ DAVRANIŞI	11
3.1 Temel Mekanizma ve Potansiyel Kayma Biçimleri	11
3.2 Zemin Çivi Etkileşimi	14
3.2.1 Zemin Çivi Sürtünmesi	16
3.2.2 Çekme Kuvvetine İlave Olarak Kesme Kuvveti ile Eğilme Momentinin Mobilizasyonu	18
3.2.3 Çivi ve İmalat Tipinin Etkisi	23
3.2.4 Çivi Eğimi	24
3.2.5 Su Muhtevasının Çevre Sürtünmesine Etkisi	25
3.3 Zemin Çivili Duvarın Deformasyon Davranışı	25
3.4 Zemin Çivili Duvarın İnşaat Sırasındaki Davranışı	27
4. ARAZİ ARAŞTIRMALARI ve DENEYLERİ	30
4.1 Arazinin Tanımlanması	30
4.1.1 Jeolojik Ön İnceleme	30
4.1.2 Arazi Keşif Çalışması	30
4.1.3 Zemin Etüdü	31

4.1.4	Laboratuvar Deneyleri.....	33
4.1.4.1	Zeminlerde Yapılması Tavsiye Edilen Deneyler.....	33
	Krip Potansiyeli.....	34
	Paslanma Potansiyeli.....	35
4.1.4.2	Kayalarda Yapılması Tavsiye Edilen Deneyler.....	35
4.1.5	Nihai Fizibilite Değerlendirmesi.....	36
4.2	Çivi Sıyrılma Direncinin Tahmini.....	36
4.2.1.1	Tavsiye Edilen birim Çevre Sürtünmesi Değerleri.....	37
5.	ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR TASARIMI.....	38
5.1	Giriş.....	38
5.1.1	Sınır Durumlar.....	38
5.2	Zemin Çivili Dayanma Yapılarının Stabilitesinde Göz önüne Alınan Hususlar...	39
5.2.1	Temel Kavramlar.....	40
5.2.2	Çivi İç Stabilitesi.....	41
5.2.2.1	Çivi Çekme Dayanımı.....	41
5.2.2.2	Zemin Enjeksiyon Aderansı.....	41
5.2.2.3	Çivi Enjeksiyon Aderansı.....	41
5.2.3	Çivi Kafası İç Stabilitesi.....	42
5.2.4	Genel Stabilité.....	42
5.3	Tasarım Metotlarının Değerlendirilmesi.....	42
5.3.1	Toprak Basıncı Metodu.....	43
5.3.2	Kayma Yüzeyi Metodu.....	43
5.4	Güncel Tasarım Metotları.....	44
5.4.1	Davis Metodu.....	44
5.4.2	Alman Metodu – Stocker (1979).....	47
5.4.3	Fransız Metodu.....	49
5.5	Kaplama Tasarımı.....	50
5.6	Tavsiye Edilen Tasarım Metodu.....	50
5.7	Plan ve Boyutlandırma.....	51
5.7.1	Duvarın Yeri ve Boyutları.....	51
5.7.2	Zemin Çivisi Ön Tasarımı.....	51
5.7.2.1	Çivi Eğimi.....	51
5.7.2.2	Çivi Aralıkları.....	51
5.7.3	Çivilerin Yerleşimi.....	52
5.7.4	Çivi Uzunluğu ve Mukavemeti.....	52
5.8	Stabilite Analizleri ve Analizlerde Zemin Çivili Duvarların Modellenmesi.....	53
5.8.1	Kritik Tasarım Enkesitinin Saptanması ve Ön Tasarım.....	53
5.8.1.1	Emniyetli Çivi Kafa Yükünün Hesaplanması.....	53
5.8.1.2	Minimum Emniyetli Kafa Yükünün Kontrolü.....	54
5.8.1.3	Tasarıma İlişkin Diğer Unsurlar.....	55
5.9	Sismik Tasarım.....	58
5.10	Korozyon Koruması.....	59
5.11	Duvar Drenajı.....	60
5.12	Özel Tasarım Konuları.....	62
5.12.1	Heterojen Zemin Profili.....	62
5.12.2	Sürşarj Yükü.....	63
5.12.3	Köprü Kenar Ayakları.....	63

5.12.4	Palyeli-Kademeli Kazılar.....	65
5.12.5	Kompozit Yapılar	66
5.12.6	Değişken Çivi Boyuna Sahip Yapılar.....	67
5.12.7	Çivi Eğimi ve Doğrultusu Değişken Yapılar.....	68
5.12.8	Sonsuz Şev Durumu	69
5.12.9	Sismik Yükleme Altındaki Performans	70
5.12.10	Don Koruması.....	71
5.13	Estetik	71
6.	ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARINA İLİŞKİN VAKA ANALİZLERİ..	72
6.1	VAKA 1	73
6.2	VAKA 2.....	84
7.	SONUÇ.....	91
	KAYNAKLAR.....	95
	EKLER	97
	Ek 1 Zemin çivili duvarların inşasına ilişkin çeşitli fotoğraflar	98
	Ek 2 Farklı eğimlerde tesis edilen zemin çivilerinin stabiliteye etkisi	104
	Ek 3 Zemin çivili duvarlara ait örnek çizimler.....	114
	ÖZGEÇMİŞ.....	123

SİMGE LİSTESİ

A	Aktivite
A_b	Nominal çivi kesit alanı
A_s	Ankraj kesit alanı (m^2)
B	Suyun kaldırma kuvveti
c	Zeminin kohezyonu
c_m	Mobilize olan kohezyon ($c_m = c / F_{cm}$)
C_U	Üniformluk sayısı
D	Delgi çapı
D	Çivi çapı
D	Ölü yük
D_b	Çelik çubuk çapı
D_r	Relatif sıkılık
dT/ dL	Çivi çekme yükünün çivi boyunca değişimi
E	Toprak basıncı
E_m	Presyometre modülü
EQ	Deprem
F_F	Çivi kafa servis faktörü
F_s	Güvenlik katsayısı
f_y	Çelik çubukların tipik akma dayanımı
H	Duvar yüksekliği
I_C	Kıvam indisi
I_L	Likidite indisi
I_p	Plastisite indisi
k_β	Bi-lineer eğrinin ilk parçasının eğimi
k_s	Yatak katsayısı
L	Hareketli yük
L	Çivi boyu
l_0	Transfer boyu
L_a	Adreans boyu
LI	Likitlik indeksi
M_0	Çivinin eğilme direnci
N_{30}	SPT darbe sayısı
p	Çivi üzerindeki yanal gerilme ($=k_s y$)
p_0	Çivinin zemine uyguladığı yanal basınç
p_u	Zeminin yanal direnci
q_s	Çivi birim çevre sürtünmesi
Q	Birim boyda mobilize olan kayma kuvveti (sıyırılma direnci)
Q_d	İzin verilebilir sıyırılma direnimi (kN/m)
Q_u	Çivi ile zemin arasındaki sıyırılma direnci
R	Çivi çapı
R_C	Çivinin kesme direnci
r_i	Çivi boyu kısaltma faktörü
R_N	Çivinin çekme direnci
RST	Büzülme, ısı nedeniyle oluşan kuvvetler
s	Çökme miktarı

S_H	Çiviler arasındaki yatay mesafe
S_u	Drenajsız kayma mukavemeti
S_v	Çiviler arasındaki düşey mesafe
ΣT	Limit dengeyi sağlayacak gerekli toplam kuvvet
ΣT_p	Mevcut çivi direnir kuvvetlerinin toplamının
T	Çivi kafasındaki çekme kuvveti
T_{C0}	Potansiyel kayma yüzeyindeki kayma kuvveti
t_F	Çivi kafa yükü
T_{head}	Çivi kafasındaki çekme kuvveti
T_{max}	Çivide mobilize olan maksimum çekme kuvveti
T_{NN}	Nominal çivi dayanımı
T_p	Birim duvar genişliği için çivi kuvveti
w	Doğal su muhtevası
w_0	Başlangıç su muhtevası
w_L	Likit limit su muhtevası
w_n	Doğal su muhtevası
w_p	Plastik limit su muhtevası
y	Çivinin yanal yer değıştirmesi
y_o	Çivi kafasındaki yerdeğıştirme
z	Çivi doğrultusundaki koordinat
μ^*	Sürtünme katsayısı
μ	Görünen sürtünme sayısı
α_N	Çivi çekme dayanımı faktörü
α_Q	Zemin-enjeksiyon sıyrılma direnci faktörü
δ_h	Duvar tepesindeki yatay yer değıştirmesi
δ_o	Duvar arkasında yatay yüzey yer değıştirmesi
δ_v	Duvar tepesindeki düşey yer değıştirmesi
$\Delta\sigma$	Gerilme artışı
ϕ	Zeminin sürtünme açısı
ϕ_m	Mobilize olan sürtünme açısı ($\phi_m = \phi / F_{\phi m}$)
γ	Yoğunluk
γ	Birim hacim ağırlığı
ν	Poisson oranı
σ'	Efektif gerilme
σ'_p	Efektif gerilme
σ'_v	Efektif örtü yükü
σ'_{v0}	Günümüz örtü yükü
σ'_{vc}	Kritik basınç veya önkonsolidasyon basıncı
σ_v	Aderans boyu üzerindeki ortalama normal gerilme
τ	Zemin enjeksiyon arasında mobilize olan kayma gerilmesi

KISALTMA LİSTESİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
FHWA	Federal Highway Administration



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Zemin çivili duvarların inşaat kademeleri (FHWA-SA-96-069R, 1998)	4
Şekil 3.1	Aktif bölge - pasif bölge ayrımı	12
Şekil 3.2	Zemin çivili duvarların göçme biçimleri (FHWA-SA-96-069R, 1998)	13
Şekil 3.3	Frank ve Zhao bi-lineer kuralı (Clouterre, 1991)	17
Şekil 3.4	(k_p)'nın presyometre modülü ve çivi çapına bağlı olarak belirlenmesi (Clouterre, 1991)	17
Şekil 3.5	Çivi boyunun deplasmanlara etkisi (Clouterre, 1991)	18
Şekil 3.6	Göçme yüzeyi civarında oluşan kayma bölgeleri (Clouterre, 1991)	19
Şekil 3.7	Kayma düzlemi civarında zemin-çivi etkileşimi (Clouterre, 1991)	21
Şekil 3.8	Çeşitli etkileşim mekanizmalarının normal kuvvet-kesme kuvveti eksen takımında ifade edilmesi (Clouterre, 1991)	22
Şekil 3.10	Duvar deplasmanlarını ifade eden parametreler (Clouterre, 1991)	27
Şekil 4.1	Arazi etütleri için yapılacak sondajlar hakkında tavsiye (FHWA-SA-96-069R, 1998)	32
Şekil 5.1	Zemin çivili duvarlarda kritik kayma daireleri (FHWA-SA-96-069R, 1998) ..	39
Şekil 5.2	Çivi ve kaplamanın takviye etkisi	40
Şekil 5.3	Davis tasarım metodu	44
Şekil 5.4	Stocker ve diğ. tarafından kullanılan bi-lineer göçme yüzeyi (Clouterre, 1991) ..	48
Şekil 5.5	Farklı çivi boyuna sahip eşit güvenlikteki tasarımlar (FHWA-SA-96-069R, 1998)	56
Şekil 5.6	Çivi boyunun duvar yüksekliğine bağlı olarak azaltılmasına ilişkin abak (FHWA-SA-96-069R, 1998)	57
Şekil 5.7	Sismik tasarımda sığ ve derin kayma daireleri	59
Şekil 5.8	Geokompozit şerit drenaj tabakaları	61
Şekil 5.10	Mevcut köprü ayağı altında zemin çivili duvar inşası	65
Şekil 5.11	Zemin çivili kademeli duvar	66
Şekil 5.12	Zemin çivili kompozit duvar	67
Şekil 5.13	Köşelerde çivi düzeni	68
Şekil 5.14	Sismik tasarımda sığ ve derin kayma daireleri sınırları (FHWA-SA-96-069R, 1998)	69
Şekil 6.1	Vaka 1 için hesap kesiti (proje müellifinin)	75
Şekil 6.2.	Proje müellifinin tasarımı	76
Şekil 6.3	Vaka 1 kontrol hesabı	77
Şekil 6.4	Vaka 1 kontrol hesabı	78
Şekil 6.5	Hesap Kesiti	79
Şekil 6.6	Yeniden tasarlanan zemin çivili duvardaki çivi boy ve yükleri	80
Şekil 6.7	Palyesiz tasarım	81
Şekil 6.8	Yeni tasarım, palyeli	82
Şekil 6.9	Yeni tasarım, palyeli	83
Şekil 6.11	Zemin çivili duvardaki çivi boy ve yükleri	86
Şekil 6.12	Vaka 2 stabilite analizi	87
Şekil 6.13	Vaka 2 stabilite analizi, statik	88
Şekil 6.14	Vaka 2 stabilite analizi, depremli	89
Şekil 6.15	Vaka 2 stabilite analizi, depremli	90
Şekil Ek 1.2	Kazı yapımı ve çivi tesisi öncesi kazı yüzeyinin düzenlenmesi	98
Şekil Ek 1.3	Çivi tesisi için yapılan delgi, kazı yüzeyinin stabilitesi düşük olduğundan delgi öncesi püskürtme beton uygulanmış	99
Şekil Ek 1.4	Zemin çivisi tesisi için burğu için delgi yapımı	99
Şekil Ek 1.5	Çivi tesisi sonrasında geokompozit drenaj şeritlerinin döşenmesi ve kaplama	

	donatısının bağlanması.....	100
Şekil Ek 1.6	Çivi tesisi sonrasında geokompozit drenaj şeritlerinin döşenmesi ve kaplama donatısının bağlanması.....	100
Şekil Ek 1.7	Geokompozit drenaj şeritleri.....	101
Şekil Ek 1.8	Kaplama donatısının tesisi sonrası görünüm	101
Şekil Ek 1.9	Püskürtme beton öncesi çivi başındaki donatı ve drenaj şeridi detayı.....	102
Şekil Ek 1.10	Püskürtme betonun uygulanması	102
Şekil Ek 1.11	Püskürtme betonun kazı yüzeyine dik olarak uygulanması, ve yatay drenaj borusunun yerleşimi.....	103
Şekil Ek 2. 1	Çivi tesis açısı 0°.....	104
Şekil Ek 2. 2	Çivi tesis açısı 5°.....	105
Şekil Ek 2. 3	Çivi tesis açısı 10°.....	106
Şekil Ek 2. 4	Çivi tesis açısı 15°.....	107
Şekil Ek 2. 5	Çivi tesis açısı 20°.....	108
Şekil Ek 2. 6	Çivi tesis açısı 25°.....	109
Şekil Ek 2. 7	Çivi tesis açısı 30°.....	110
Şekil Ek 2. 8	Çivi tesis açısı 35°.....	111
Şekil Ek 2. 9	Çivi tesis açısı 40°.....	112
Şekil Ek 2. 10	Çivi tesis açısı 45°.....	113
Şekil Ek 3.1	İnşaat notları.....	115
Şekil Ek 3.2	Vaziyet planı	116
Şekil Ek 3.3	Duvar görünüşü.....	117
Şekil Ek 3.4	Duvar görünüşü.....	118
Şekil Ek 3.5	Tipik kesitler ve çivi detayları	119
Şekil Ek 3.6	Alternatif zemin çivisi korozyon koruma detayları	120
Şekil Ek 3.7	Duvar kaplama detayları.....	121
Şekil Ek 3.8	Zemin profili	122

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1	Zararlılık potansiyelinin belirlenmesi için yapılan deneyler ve kritik değerler (FHWA-SA-96-069R, 1998)	35
Çizelge 4.2	Açık delgi ile tesis edilen çivilerde çivi-enjeksiyon arasındaki nihai birim çevre sürtünmesi (FHWA-SA-96-069R, 1998, Littlejohn ve diğ, 1977)	37
Çizelge 5.1	AASHTO şartnamesindeki yük kombinasyonları (AASHTO,1992).....	53
Çizelge 5.2	Çivi Kafa Dayanım Faktörleri (α_F) (FHWA-SA-96-069R, 1998).....	54
Çizelge 5.3	Dayanım faktörleri ve güvenlik sayıları (FHWA-SA-96-069R, 1998)	55
Çizelge 5.4	Loma Prieta depremi sırasında incelenen duvarların çeşitli ivmeler için güvenlik sayıları.....	70



ÖNSÖZ

Bu çalışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada, zemin çivili duvarlar geoteknik açıdan incelenmiş, projelendirmeye esas olacak analiz metotlarına ve duvar inşaatının detaylarına yer verilmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmasını yöneten ve bu süre boyunca her türlü desteği veren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM'a teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmalarımnda kullanmak üzere gereken bilgisayar programını temin eden İTÜ İnşaat Fakültesi öğretim üyesi hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim sırasında bilgilerini paylaşan ve bu tezin altyapısını inşa eden Yıldız Teknik Üniversitesi Geoteknik Anabilim Dalı öğretim üyelerine teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca, bir an bile olsa maddi, manevi desteklerini esirgemeyen Ailem'e teşekkür ederim.



ÖZET

Zemin çivili dayanma yapısı düşey veya düşeye yakın kazıların desteklenmesi ve mevcut şevlerin stabilizasyonunun sağlanması için zemine sık aralılarla yerleştirilen pasif takviyelerin aktif-hareketli bölgeyi pasif-stabil bölgeye bağlanması ve kazı yüzeyinin kaplanarak zemin içinde kararlı bir ağırlık yapısı elde edilmesiyle ortaya çıkar. Bu kararlı yapı içinde kayma mukavemeti artışı sağlanırken desteklenen kütlenin yer değiştirmelerinin belli değerlerde olması sağlanır

Çiviler stabiliteyi arttırmayı; kohezyonsuz zeminlerde normal gerilmenin dolayısıyla kayma gerilmesinin artışıyla ve kohezyonlu-kohezyonsuz zeminlerde kayma yüzeyinde mobilize olan kaydırıcı kuvveti düşürerek sağlarlar.

Bu çalışmada zemin çivili duvarların tasarımında göz önüne alınacak hususlara yer verilmiştir. Geoteknik mühendisi geçmiş tecrübeleri dikkate alarak tasarımı belirleyici koşulları tespit etmelidir. Bu çalışma sonucunda; özellikle inşaat sonrası deformasyonları da dikkate alan tasarımların yapılması gerektiği belirlenmiştir.



ABSTRACT

The basic concept of soil nailing is to reinforce and strengthen the existing ground by installing closely-spaced steel bars, called “nails”, into a slope or excavation as construction proceeds from the “top down”. This process creates a reinforced section that is itself stable and able to retain the ground behind it.

The effect of the nail reinforcement is to improve stability by (a) increasing the normal force and hence the soil shear resistance along potential slip surfaces in frictional soils; and (b) reducing the driving force along potential slip surfaces in both frictional and cohesive soils

In this study, soil nailed wall design considerations are highlighted. Designer, geotechnical engineer, should adopt the limitations of each project in accordance with previous experiences. As a result of two case studies, it is determined that post construction deformations should be taken into account in soil nailed wall design.



1. GİRİŞ

Zemin çivili dayanma yapıları genel anlamda sık ve eğik yerleştirilen pasif donatılar ile şevlerin desteklenmesidir. Zemin çivili dayanma yapıları, 1958 yılında ankrajlı dayanma yapılarının inşaat mühendisliğinde kullanıma girmesinden bu yana en önemli gelişme olarak görülmektedir. Dayanma yapılarında ankrajlarla başlayan süreçte, gelişen tüm inşaat mühendisliği uygulamalarında olduğu gibi günümüzde zemin çivileriyle birlikte daha ekonomik, hızlı ve esnek sistemler kullanıma girmiştir.

Zemin çivili duvarların orijini olarak Rabecwiz (1964) tarafından geliştirilen Yeni Avusturya Tünel Metodunda (NATM) kullanılan kaya bulonları ve donatılı püskürtme betondan oluşan kaplama gösterilmektedir.

Zemin çivisi kazıların desteklenmesi ve şevlerin stabilizasyonu için yaklaşık 30 yıldır kullanılan bir destekleme tekniğidir. Zemin çivili duvarların kayıtlı ilk uygulaması Fransız müteahhit Bouygues ve uzman altyapı firması Soletanche işbirliği ile Versailles civarındaki demiryolu hattının genişletilmesi projesi kapsamında yapılmıştır. 1972-1973 yıllarında gerçekleştirilen uygulamada Fontainebleau kumunda 18.0m yüksekliğinde 70° eğiminde duvar inşa edilmiştir.

Tekniğin fazla sofistike olmaması ve imalatının nispeten az uzmanlık gerektirmesi zemin ve temel mühendisliğinde uzmanlaşmamış müteahhitlerin de zemin çivili duvar inşa etmelerini sağlamıştır. Ağırlıklı olarak bu nedenle, teknik söz konusu 30 yıl süresince başta Fransa, Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere zemin koşullarının imkan verdiği her yerde zamanla artan oranda uygulanmıştır. Zemin çivili dayanma yapıları bu süre içinde yeterli teorik alt yapısı ve gerekli teknik düzenlemeler olmaksızın uygulanmıştır. Diğer bir deyişle, pratik teoriğin önüne geçmiştir. Bu konuda özellikle 90'lı yıllardan itibaren büyük bütçeli deneysel çalışmalar ile belli mesafeler alınmıştır.

Zemin çivili dayanma yapılarının davranışının tam ölçekli yapı üzerinde incelendiği ilk kapsamlı deneysel araştırma Karlsruhe Üniversitesi ve Bauer firmasının ortak girişimi ile 1975 ile 1981 yılları arasında Almanya'da yapılmıştır. Yaklaşık bütçesi 2.3 milyon ABD Doları olan ortak araştırma projesinde (Bodenvernagelung) enjeksiyonlu çiviler ile inşa edilen duvar, göçene kadar duvar üstünden sürşarj uygulanmıştır. 1986'da ise o zamana kadar Fransa'da yoğun bir şekilde kullanılmasına rağmen herhangi bir tasarım metodu bulunmamasından yola çıkılarak Fransız Ulusal Araştırma Projesi "CLOUTERRE" deneysel araştırma programı başlatılmıştır. 1986-1990 yılları arasında 21 özel ve kamu kurumsal

katılımcı ve yaklaşık 5 milyon ABD Doları bütçe ile tamamlanan proje sonrasında “Recommendations CLOUTERRE 1991” başlıklı tavsiye niteliğindeki eser yayımlanmış, proje sonuçları mühendislik dünyası ile paylaşılmıştır. Bu çalışma kapsamında laboratuvar deneylerinin yanı sıra üç adet tam ölçekli duvar inşa edilmiştir. Duvarlar, deneyler için gerekli tüm aletli gözlemlerin yapılabileceği şekilde donatılmıştır.

Diğer yandan, geçtiğimiz 15 yılda zemin çivili duvarların inşası üzerine ABD ve Avrupa Birliği ülkelerinde oluşturulan komisyonlar ile öncelikle tavsiye niteliğinde dokümanlar oluşturulmuştur. Tekniğin özellikle ABD’de yaygın olarak kullanılması üzerine ABD Federal Otoyollar İdaresince (FHWA) çeşitli projeler ve ihaleler ile yayınlar hazırlanmıştır. Bu sayede zemin çivisi tasarımı ve inşaatında belli normların tesis edilmesi, ekonomik ve güvenli tasarımların projelendirilmesi, müteahhitlerin ve kontrol mühendislerinin bilgilendirilmesi mümkün olmuştur. Bu suretle, gelişmiş ülkelerin önderliğinde, teorik alt yapının yanında teknik düzenlemelerde de bir ilerleme gerçekleştirilmiştir.

Ancak, zemin çivisinde kullanılan takviyelerin pasif elamanlar olması, çivilerin heterojen ortamda tesis edilmeleri, çivilerin yatay eğimlerinin olması, kaplama etkisinin stabiliteye olan katkısı, deprem sırasındaki davranışı gibi unsurlar dolayısıyla zemin çivili dayanma yapılarının tasarımında henüz üzerinde mutabakat sağlanmış bir yöntem bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, genel olarak zemin çivili duvarların inşaatına, davranışına, tasarımına ve tasarımında göz önüne alınacak hususlara yer verilmiş ve iki vaka analiz edilmiştir. İkinci bölümde zemin çivili duvarların inşası, tekniğin avantajları ve tekniğin uygun olduğu zeminler irdelenmiştir. Üçüncü bölümde, temel davranış mekanizması, zemin-çivi etkileşimi ve bunları etkileyen faktörler anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise inşaat öncesindeki çalışmaların en önemlisi olan ve tasarıma veri sağlayan arazi araştırmaları ve deneylerine yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise zemin çivili duvarların tasarımı, bu tasarımda kullanılacak güvenlik sayıları ve tasarımda göz önüne alınacak hususlara yer verilmiştir.

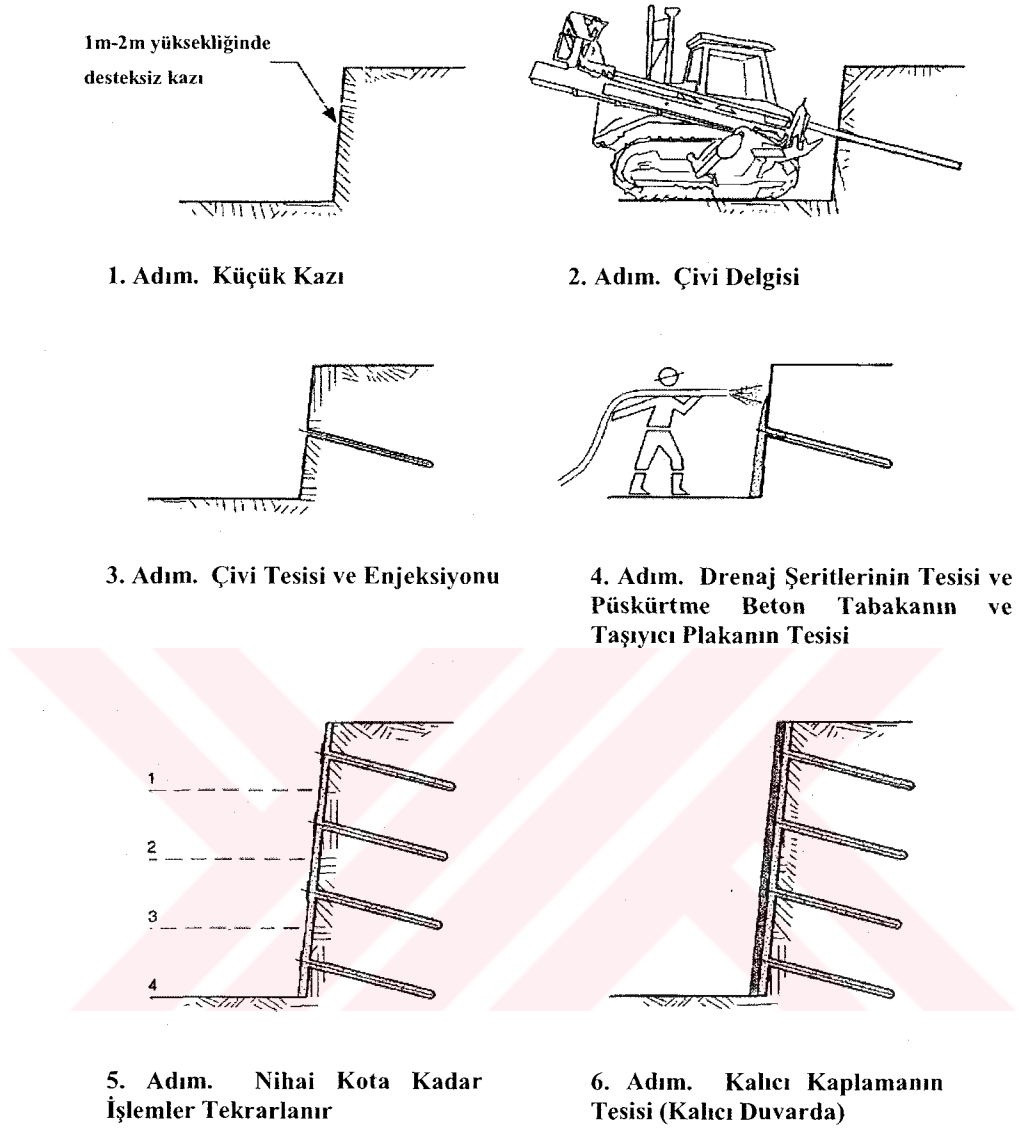
2. ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI

Zemin çivili dayanma yapısı düşey veya düşeye yakın kazıların desteklenmesi ve mevcut şevlerin stabilizasyonunun sağlanması için zemine sık aralılarla yerleştirilen pasif takviyelerin (genellikle çelik donatı) aktif-hareketli bölgeyi pasif-stabil bölgeye bağlanması ve kazı yüzeyinin kaplanarak zemin içinde kararlı bir ağırlık yapısı elde edilmesiyle ortaya çıkar. Bu kararlı yapı içinde kayma mukavemeti artışı sağlanırken desteklenen kütlenin yer değiştirmelerinin belli değerlerde olması sağlanır (FHWA-SA-96-069R, 1998, Gudehus, 1983).

2.1 İnşaat Aşamaları

Zemin çivili duvarların yapım yöntemi ayrıntılı olarak aşağıda belirtilmiş ve Şekil 2.1'de gösterilmiştir (FHWA-RD-89-198, 1991, FHWA-SA-96-069R, 1998). Ayrıca Ek 1'de inşaat aşamalarına ilişkin bazı fotoğraflara yer verilmiştir.

- 1) Öncelikle daha önceden gerek saha tecrübelerine gerekse de yapılan stabilite analizlerine dayanılarak zeminin kendini desteksiz olarak tutabileceği kritik kazı yüksekliği tespit edilir. Belirlenen kritik kazı yüksekliği ile takviyeler arasındaki düşey mesafe (s_v) aşılmamak kaydı ile tasarlanan geometride kazı yapılır.
- 2) Drenaj şeritleri ve / veya yatay drenler gerektiği gibi yerleştirilir.
- 3) Kazı aşamasının hemen ardından, açığa çıkartılan taze kazı yüzeyi birinci adım olarak adlandırılan çelik hasır donatılı püskürtme beton tabakası ile kaplanarak, korunur.
- 4) Çiviler daha önceden tespit edilen yerlere önceden belirlenen çapta açılan delgilere, zemin cinsine uygun delgi sistemi ve enjeksiyon kullanılarak, belirli boy, aralık ve açıda yerleştirilirler. Çivilerin yerleştirilme işlemi çakma çivi yöntemi kullanılarak da yapıla bilmektedir. Çivilerin korozyona karşı korunması bu aşamada alınan kararlarla sağlanır.
- 5) Üçüncü ve dördüncü aşamalar yer değiştirebilir.
- 6) Çivilere birinci kademe püskürtme beton üzerine yerleştirilen plaka kullanılarak çalışma yükünün düşük bir yüzdesi kadar öngerilme uygulanabilir. Söz konusu öngerilme yükü genel olarak çalışma yükünün % 20'sini aşmamakla birlikte zemin çivilerine öngerilme verilmesine çok seyrek rastlanmaktadır.
- 7) Gerekliği takdirde, ikinci kademe püskürtme beton tabakası imal edilebilir. Bu işlem öncesinde düşey drenajlar genişletilmelidir.
- 8) Her kazı kademesinde bu işlemler tekrar edilmelidir.
- 9) Drenaj sistemi duvar tabanında toplanarak, uygun şekilde dışarı aktırılır.
- 10) Başta ekonomik olmak üzere bir takım şartların sağlanması halinde, püskürtme betonla oluşturulmuş yapı yerinde dökme beton, prefabrike ve diğer tip kaplama sistemleri ile bağlanarak yapı dış yüzeyi kaplanır.



Şekil 2.1 Zemin çivili duvarların inşaat kademeleri (FHWA-SA-96-069R, 1998)

Kazıya başlamadan önce tüm yüzey sularının kazı alanından uzaklaştırılması gerekmektedir. Kazı ve inşaat işlerinin etkilenmemesi için toplayıcı hendekler oluşturularak suyun toplanması ve derivasyonu sağlanmalıdır. Başlangıç kazı kademesi ilk sıra çivi seviyesinin az altında olacak derinliğe kadar yapılır, ancak bu arada kazının kendini 1-2 gün desteksiz olarak tutabileceği kritik kazı yüksekliğinin aşılmaması gerekir. Söz konusu kritik kazı yüksekliği gerek stabilite analizlerinden gerekse de yerel tecrübelerden faydalanılarak belirlenir. Bu süre zarfında, yüzey stabilite problemlerinin yaşandığı bölgelerde, stabilitenin sağlanması için palye oluşturulabilir. Çivinin yerleştirilmesini takiben kazı yüzeyi o kademedeki planlanan

geometriye getirilerek püskürtme beton uygulanabilir. Diğer bir yöntem ise kazı sonrası ortaya çıkan taze yüzeye püskürtme beton uygulanmasıdır. Bu yöntem kazının ilk bir iki kademesindeki yüzeye yakın gevşek zeminin veya kent içi yeraltı tesisat kanalları boyunca yapılan zayıf gevşek dolguların stabilite problemleri göstermesi üzerine sıkça uygulanmaktadır.

Kazı konvansiyonel araçlar (dozer vb.) ile yapılırken, kazı yüzeyinin son düzenlemesi ekskavatör ile yapılır. Kazı işlemi sırasında jeodezik ölçümlerle kazı geometrisinin projeye uygun olarak yapılması sağlanır. Kazı sonrasında açığa çıkan yüzeyin makul bir düzlükte olması, zeminin minimum derecede örselenmesi gerekmektedir. Kazı yüzeyinin yeterli düzgünlükte olmaması halinde püskürtme beton sarfıyatı artacaktır.

Kazı sırasında, delgi işleminin gerçekleştirilmesi ve çivinin yerleştirilmesi için kullanılacak makine ve tesisat için 10.0m genişliğinde çalışma platformu bırakılır. Bu platformun genişliği kullanılan makinelere bağlı olarak 5.0m'ye kadar düşer.

Çiviler proje safhasında belirlenen yerlerde zemin cinsine uygun sistemlerle açılan delgiler içine yerleştirilirler. Özellikle delgi sistemi ve delgi çapı zemin şartlarından önemli derecede etkilenir. Delgi çapının sıyrılma direncine olan etkisi göz önüne alınırsa tasarımın uygunluğunun tespiti için test imalatı yapılarak sıyrılma deneyi denetlenebilir. Genel olarak delgi boyları, yani çivi boyları, imal edilen duvarın yüksekliğinin % 70 ile % 100 arasında değişir. Çivi eğimleri 0° (yatay) - 20° arasında değişiklikler göstermektedir. Çivi eğimi, enjeksiyonun gravite ile yapılması halinde imalat açısından önemli olmaktadır.

Çivileri açılan delgide merkezlemek için plastik merkezleyiciler kullanılır. Ancak çiviler gövdesi boşluklu burgunun içinden sürülerek yerleştirilmek istenirse merkezleyici kullanılamayacaktır. Bu durumda, düşük çökme değerine (çökme miktarı; $s < 200\text{mm}$) sahip enjeksiyon kullanılarak çivinin delgi tabanına batmasının önüne geçilir. Çiviler, çapları $D_b = 19\text{mm}-35\text{mm}$ arasında değişen tipik akma dayanımları $f_y = 420 - 500 \text{ N/mm}^2$ olan çelik çubuklardır. Özel projelerde, yüksek dayanımlı çelik ve fiber donatılar kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra, çapı 25mm'den küçük çivilerin, düşük rijitliklerinden dolayı (boyları uzadıkça bu değer düşmektedir) yerleştirme problemleri mevcuttur. Delgi ve çivi yerleştirme aşamalarını takiben gravite veya düşük basınçla, tremie borusu ile enjeksiyon delgi dibinden başlanarak yapılır.

Çelik çiviler, kalıcı yapılarda korozyona karşı kalın epoksi tabakası ile kaplanarak veya içi enjeksiyonla doldurulmuş kıvrımlı plastik kılıf ile bir tür kapsül içinde muhafaza edilerek korunurlar.

Kazı yüzeyinin drenajını sağlamak için püskürtme beton öncesinde çiviler arasına geokompozit drenaj şeritleri yerleştirilir. Bu drenaj şeritleri her kazı kademesinde topuk drenine veya barbakanlara bağlanmalıdır. Kazı yüzeyinden sağlanan drenaj sızıntı sularına karşı alınmış bir önlem olup daha yoğun su etkisi olan sahalarda kısa veya uzun yatay drenler kullanılabilecektir.

Genelde kalınlığı 10cm-20cm dolayında olan çelik hasır donatılı veya çelik lif takviyeli püskürtme beton uygulanarak çiviler arasındaki zemini tutacak, çivilerin birlikte çalışmasını sağlayacak bir kaplama oluşturulur. Püskürtme beton uygulamasını takiben çivi başına yerleştirilen plaka (genelde 20cm x 20cm x 2 cm) somun ile bağlanarak bir sonraki kazı kademesine geçilebilecektir. Bu işlemler tekrarlanarak nihai kazı kotuna ulaşılır. Kalıcı kaplama duvarın servis ömrüne, maliyetlere ve estetik ihtiyaçlara göre duvar inşaatı sonrasında tesis edilebilecektir.

2.2 Zemin Çivisinin Avantajları

Zemin çivisinin başta ankrajlı iksa sistemlere olan avantajları ve kendine has özellikleri aşağıda sıralanmıştır (FHWA-SA-96-069R, 1998).

- Ankrajlı sistemlerde toprak basıncı kazı yüzeyinde imal edilen ve ankrajlarla geriye doğru bağlanan kuyu perde veya kazıklı perde duvarlar ile karşılanmaya çalışıldığından zemin çivili sistemlere göre daha kalın ve yüksek kapasiteli duvarlara ihtiyaç duyarlar. Konstrüktif nedenlerden dolayı zemin çivili sistemlerde dış yüzey kaplama kalınlığı ortalama 200mm boyutlarında iken ankrajlı duvarların çoğunda duvar kalınlığı minimum 250mm~600mm dolayındadır.
- Çakıllı, bloklu heterojen zeminlerde zemin çivisi imalatı nispeten çok daha büyük çapta delginin gerektiği kazıklı sistemlere göre daha problemsiz ve hızlı bir şekilde inşa edilmektedir.
- Özellikle köprü-viyadük ayakları civarı gibi kazı ve kazık makinelerinin giremeyeceği kadar kısıtlı yükseklikte çalışma alanı olan bölgelerde, zemin çivisi uygulanabilirliği yüksek olan bir sistemdir.
- Zemin çivili duvarlarda, çivi reaksiyonlarının düşey bileşeni ankrajlı sistemlere göre düşük

olduğundan ve düzgün dağıldığından duvarın gömülme derinliği düşüktür.

- Çivi adedinin çok fazla olması ve çivilerin ankrajlara göre daha sık tesis edilmesinden dolayı, herhangi bir çivinin görevini yerine getirememesi, göçmesi halinde tüm sistem aynı olayın ankrajlı sistemlerde gerçekleşmesi durumu kadar etkilenmez (Bruce ve Jewell, 1986).
- İnşaat kolaylığı ve hızı, ekipmanların küçük ve hızlı mobilize olması ve sessiz imal edilmesi özellikle kent içi şantiyelerde büyük önem taşır.
- Zemin çivilerinin boylarının ankrajlara göre daha kısa olması nedeniyle özellikle otoyol projelerinde istimlak alanının düşük olmasını sağlar.
- Metot rölatif olarak küçük ve kolay mobilize olan ekipmanlar gerektirdiğinden ulaşımın zor olduğu uzak şantiyeler için de uygun çözümdür.
- İnşaat yöntemi esnek olup, zor kazı yüzeyi geometrilerinde ve kazı sırasında çok farklı zemin koşullarıyla karşılaşılması halinde çivi boy ve aralıklarında yapılacak değişikliklerle problemlerin üstesinden gelinebilmektedir.
- İnşaat sonrasında oluşan yüzeysel dönmeler, ilave çivi imalatı veya halihazırdaki çivilere az miktarda önerilme uygulanması suretiyle karşılanır.
- Sistem rölatif olarak sağlam ve esnek olup, büyük mertebedeki toplam ve farklı oturmaları karşılayabilmektedir. Zemin çivili dayanma yapılarının sismik yükler altında çok iyi performans gösterdiği kayıtlarda mevcuttur (Felio ve diğ., 1990).
- Arazi gözlemlerinden, takviyelerde yük mobilize olması için gereken deplasmanların rölatif olarak küçük olduğu tespit edilmiştir. Deformasyonlara bağlı olarak Peck sınıflandırma sisteminde, zemin çivili dayanma yapıları Kategori I, iyi desteklenmiş sistem, sınıfına girmektedir (Peck, 1969). Ölçülen deformasyonlar genelde duvar yüksekliğinin % 0.1 ile % 0.3 aralığındadır.
- Yöntem hasarlı dayanma yapılarının güçlendirilmesi için uygundur.

2.3 Zemin Çivisinin Dezavantajları

Zemin çivisi ve diğer destekleme sistemlerinin ortak dezavantajları ve sınırlamaları aşağıda belirtilmiştir (Clouterre 1991, FHWA-SA-96-069R, 1998).

- Kalıcı olarak mülkiyet sınırlarının dışına taşılması gerekebilir.
- Şehir içi uygulamalarda, sık yerleştirilmiş çiviler altyapı (su ve kanalizasyon boruları, elektrik ve telefon hatları) ile karşılaşabilmektedir. Altyapı kanalları, potansiyel zayıflık düzlemleri olup, kazı göçmelerine neden olabilmekte, zayıf sıkıştırılmış veya zemin çivisi

için uygun olmayan dolgu ihtiva edebilmekte ve yeraltı suyunun kazı duvarına kadar taşınmasına neden olabilmektedir.

- Düşey deplasmanlar öngermeli ankrajlardan oldukça yüksek olup, kazıya bitişik yapılarda uygulama sürerken bile ciddi distorsiyonlar meydana gelebilmektedir.
- Krip özelliği gösteren kohezyonlu zeminlerde, çok düşük yüklerde dahi çivi kapasitesi ekonomik olarak arttırılamamaktadır.
- Özellikle donma-erime çevriminin etkisi gözlenen bölgelerde püskürtme betonun uzun dönem performansı tam olarak tespit edilememiştir.

Bunlarla birlikte zemin çivisinin bazı uygulama sınırlamaları olup, aşağıda bu hususlara yer verilmiştir.

- Zemin çivisi inşaatı için 1.0m – 2.0m yükseklikte serbest kazı yapılması gerekmektedir. Bu kazı püskürtme ve çivileme sırasında stabil olmalıdır. Dolayısıyla zeminin bir miktar kohezyona sahip olması veya çimentolaşmış olması gerekir. Aksi takdirde kazı yüzeyinin stabilizasyonu için kazı kademesini küçültmek gerekir ki, bunlar da ilave maliyet ve sorun olarak istenmeyen unsurlardır. Diğer bir deyişle, zemin çivisi temiz kuru çakıl zeminlere uygun bir yöntem değildir.
- Zemin çivisi imalatı için suyun kazı yüzeyinden uzaklaştırılması istenir. Eğer yeraltı suyu kazı yüzeyinden sızıyorsa kazı üstündeki desteksiz zemin çökecek, püskürtme betonun zemin üzerinde tutunması azalacak, uygun nitelikte püskürtme beton kabuğun oluşturulması mümkün olamayacaktır.
- Yumuşak kil zeminlerdeki kazıların zemin çivisi ile stabilizasyonu uygun değildir. Yumuşak killi zeminler ile enjeksiyon arasındaki sürtünme direncinin düşük olması nedeniyle, stabilitenin sağlanması için çok yüksek yoğunlukta-sıklıkta ve boyda zemin çivisi gerekecektir. Bu tür koşullar için ankrajlı duvarlar veya kazıklı perde duvarlar daha uygun olacaktır.
- Zemin çivisi hassas killer ile kabarma basıncı yüksek olan killerde daha dikkatli değerlendirilmelidir. Zeminin örselenmemesi ve suyla yumuşayıp zayıflaması için gereken önlemler alınmalıdır.

2.4 Zemin Çivisine En Uygun Zeminler

Genel olarak zemin çivisinin ekonomik olarak imal edilebilmesi için düşey veya düşeye yakın 1.0m~2.0m yükseklikteki şevin 1-2 gün boyunca serbest olarak durması gerekir. Buna ek

olarak, çivi yerleştirilmesi için açılan delginin en az bir kaç saat göçmemesi gerekir. Bu çerçevede zemin çivisinin uygulanabileceği zeminler aşağıda belirtilmiştir (FHWA-SA-96-069R, 1998).

- Rezidüel zeminler ve elverişsiz durumda olmayan ayrıışmış kayalar.
- Katı kohezyonlu zeminler (killi silt gibi) ve krip eğilimi göstermeyen düşük plastisiteli killer.
- Doğal çimentolu veya az kohezyonlu sıkı kum ve çakıl zeminler.
- Doğal su muhtevası en az % 5 iken kapiler kohezyonu en az 5.0 kN/m^2 olan ince-orta daneli homojen kum zeminler. Bu tip zeminler güneş etkisiyle kuruyarak görünen kohezyon değerleri düşmekte ve dolayısıyla kazı yüzeyinde stabilite problemleri göstermektedirler.

2.5 Zemin Çivisine Uygun Olmayan Zeminler

Zemin çivisi gibi yeni teknikler ne yazık ki, özellikle geleneksel yöntemlerin kullanılmadığı zor projelerde çözüm olarak görülürler. Bu tür yaklaşımlar hem proje için hem de metodun rahatlıkla uygulanabileceği rutin durumlar için çok tehlikelidir. Tüm inşaat metotlarında olduğu gibi zemin çivisi de her projede uygulanabilecek bir yöntem değildir, sınırlamalarının iyi bilinmesi gerekir. Söz konusu sınırlamalar genelde uygun tasarım yöntemleri ve inşaat hazırlıkları ile çözülebilirken, aynı oranda bu çözümler ekonomik olmaktan uzaklaşırlar. Aşağıda zemin çivisi için uygun olmayan veya uygulanmasını sınırlayan zemin cinsleri ve şartları belirtilmiştir (FHWA-SA-96-069R, 1998).

- SPT darbe sayısı $N_{30} < 10$ veya relatif sıklığı $D_r < \%30$ olan gevşek yerleşmiş temiz granüler zeminler. Bu tür zeminler kazı sırasında, zemin çivisi uygulanıncaya kadar geçen kısa zamanda stabil kalamaz ve iş makinelerinin oluşturduğu titreşimden etkilenirler.
- Çok sıkı yerleşmemiş üniform boyuttaki (kötü derecelenmiş), üniformluk sayısı $C_U = (D_{60} / D_{10}) < 2$, görünen kohezyonsuz zeminler. Zemin çivisi imalatı sırasında, bu tür zeminler kohezyonsuz olması nedeniyle kazı sonrasında çözümler, yerel göçmeler meydana gelir.
- Yüksek su muhtevalı veya su mercikleri içeren zeminler. Kazı sonrasında görünen kohezyonun ortadan kalkmasıyla akma eğilimi ve yüzeysel stabilite problemleri gözlenir. Su seviyesi altında uygulanan zemin çivisi çoğu zemin türü için uygun olmamakla birlikte, imalatı oldukça zordur. Bununla birlikte, yüzey ve tünek sularının kontrolü için gerekli önlemler alınmalıdır.

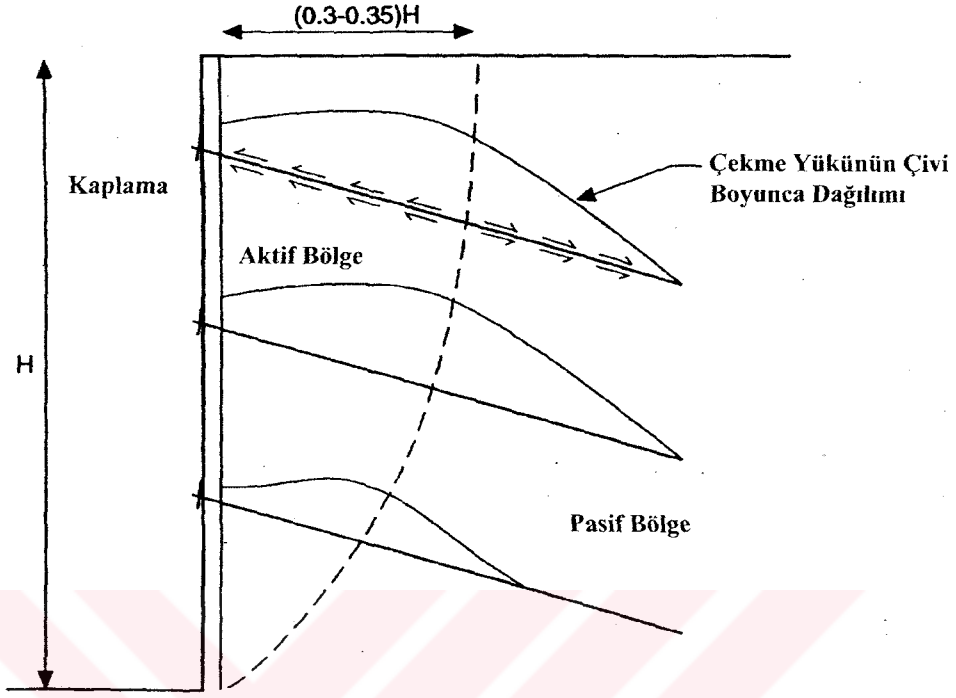
- Organik zeminler veya likitide indeksi $I_L > 0.2$ ve drenajsız kayma mukavemeti $s_u < 50$ kPa olan killi zeminler. Likitide indeksi $I_L > 0.2$ veya drenajsız kayma mukavemeti $s_u < 50$ kPa olan killi zeminler uzun süre krip hareketini sürdürürler ve bunun yanı sıra inşaatı takiben ortamın doygun hale gelmesi durumunda zemin-enjeksiyon arasındaki adezyonda ve çivi sıyrılma direncinde önemli mertebede düşüş gözlenir. Bu nedenle, uzun dönem krip davranışı gösteren bu tip zeminlerde uygulama öncesi uygun deney programlarıyla çivinin yeterliliği test edilmelidir.
- Donmaya karşı hassas ve şişme (kabarma) potansiyeli yüksek zeminler. Bu tür zeminlerde kaplama yüzeye yakın bölgede çivi yükünde önemli artışlar meydana gelmekte, bu şartlara maruz kalan duvarlarda hasarlar gözlenmektedir. Donmaya yatkın zeminlerin (ör. Silt) donmasını önlemek için yüzeyde granüler veya sentetik izolasyon tabakalarının teşkili ile uygun koruyucu yapı oluşturulması önerilmektedir. Zemin çivisi uygulanmış kabaran zeminlerin su ile teması kesilmelidir.
- Açık çatlaklı ve boşluklu aşırı kırıklı kaya ortamlarda ve iri daneli zeminlerde çivilerin yeterli enjeksiyonunun sağlanmasındaki zorluklar göz önünde bulundurularak özel önlemler alınmalıdır. Geotekstil çivi torbaları ve düşük çökme değerine sahip enjeksiyonların kullanılması gibi inşaat önlemleri alınarak bu ortamlarda avantaj sağlanabilir.
- Dik veya dike yakın eğimli ve kazı yüzeyi güneş ışığı alan, kaya veya zayıf yapısal süreksizlikleri olan bozulmaya uğramış kaya ortamları.

3. ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARININ DAVRANIŞI

3.1 Temel Mekanizma ve Potansiyel Kayma Biçimleri

Zemin çivili dayanma yapılarının temel mekanizması; zemine yerleştirilen takviyeler ve yüzeye tutturulan kaplamanın yapının yanıl deformasyonlarını önlemesi sırasında söz konusu pasif takviyelerde çekme kuvvetlerinin mobilize olmasıdır. Yukarıdan aşağıya doğru imal edilen zemin çivili duvarlarda, desteklenmiş bölgenin yanıl deformasyonu, bir sonraki takviyenin yerleştirilmesi için yapılacak kazı sırasında destek olan zeminin kaldırılmasına bağılıdır. Mevcut dayanma yapılarının onarımında veya şev stabilizasyonunda ise yanıl deformasyonlar yapının veya şevin yetersiz destekten dolayı devam eden deformasyonuna bağılıdır. Her iki durumda takviyeler, gerilmeleri ve şekil değıştirmeleri karşılamak için zeminle etkileşirler, aksi halde takviyelerle desteklenmemiş zemin göçer. Zemin içinde oluşan maksimum çekme gerilmelerinin efektif bir şekilde karşılanabilmesi için takviyeler bu gerilmeler doğrultusunda yerleştirilmelidir.

Zemin çivisinde mobilize olan yükler birincil olarak zemin ile çivi arasındaki sürtünme etkileşimine, ikincil olarak da yüzey kaplaması ile zemin arasındaki yapı-zemin etkileşimine bağılıdır. Çivi kafasında (dış yüzey ile çivi arasındaki bağlantıda) mobilize olan çekme kuvveti yapı-zemin etkileşimi olarak bahsedilen fenomene bağılı olup, bu kuvvetler tipik olarak maksimum çivi yükünün belli bir kesimi kadardır. Takviyeli zemin gövdesi içindeki her zemin çivisinde oluşan çekme yükünün çivi boyunca değışimi incelendiğinde; maksimum çivi yükünün mobilize olduğu noktanın dış yüzeyden olan mesafesinin, çivinin düşeyde bulunduğu yere bağılı olduğu görülür. Söz konusu noktaların birleştirilmesiyle “maksimum çekme hattı” elde edilir. Bu hat zemin kütesini aktif ve direnç bölgesi olmak üzere ikiye böler (Clouterre, 1991). Aktif bölge, çiviler üzerinde mobilize olan kayma gerilmelerinin dışarı (kazı yüzeyine) doğru olduğu ve bu yöne hareket etmeye çalışarak çivinin zeminden sıyrılma temayülü gösterdiği yüzeye yakın bölge olarak tanımlanabilir. Pasif bölge ise çivi üzerindeki kayma gerilmelerinin içeri doğru olduğu ve çivilerin sıyrılmaya karşı koyduğu bölge olarak tanımlanır. Bu davranış kavramsal olarak Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Ancak, limit denge stabilite analizlerinde de tanımlandığı gibi, maksimum çekme hattının geleneksel kritik kayma dairesi ile bir ilişkisi olmayıp, çivi-kaplama ile zemin arasındaki zemin-yapı etkileşiminin bir sonucunu yansıtmaktadır.

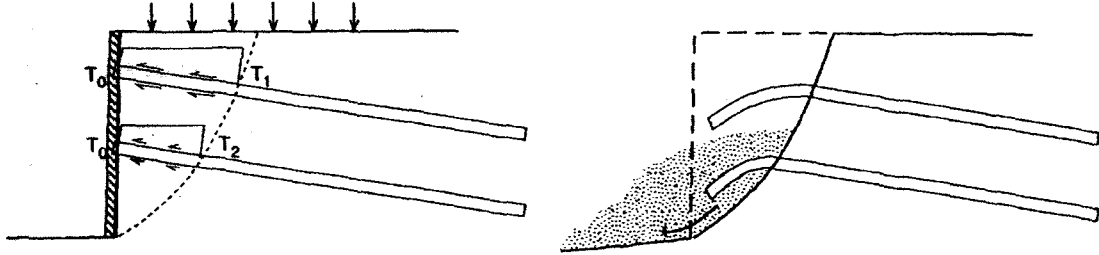


Şekil 3.1 Aktif bölge - pasif bölge ayrımı

Çiviler aktif bölgeyi pasif bölgeye bağlama işlemini yerine getirirler, aksi halde pasif bölgeye göre aşağı ve dışarı doğru oluşan deplasmanların sonucunda göçme meydana gelir. Stabilitenin sağlanabilmesi için çivi çekme mukavemetinin aktif bölgeyi stabilize edecek destek kuvvetlerini karşılayabilecek düzeyde olması gerekir. Çiviler, sıyırılma göçmesinin gerçekleşmemesi için pasif bölgeye yeterli uzunlukta yerleştirilmelidir. Bunlara ek olarak, çivi kafa dayanımı ve kayma yüzeyi ile kaplama arasındaki uzunlukta oluşan çivinin sıyırılma direnci bileşke etkisinin kayma yüzeyinde gereken çivi çekme gerilmesini oluşturacak yeterlilikte olmalıdır. Diğer bir deyişle, aktif bölgede harekete eğilimi olan kütlenin çiviler ile etkileşime girmesi gerekmektedir.

Şekil 3.2 (a)'de yüksek çekme dayanımına sahip uzun çivilerle inşa edilmiş bir zemin çivili duvar görülmektedir. Makul dayanımdaki kaplama sistemi veya çivi-kaplama bağlantısı için en olası göçme biçimi kaplama veya bağlantı göçmesidir. Bu göçme biçimi aktif bölgedeki zemin ile çivinin aderansının yeterli olmaması nedeniyle gerçekleşen sıyırılma göçmesi olarak

tanımlanabilir. Uzun boydaki ve yüksek çekme kapasitesine sahip çiviler sırasıyla sıyrılma ve kopma göçmelerini önlerler.



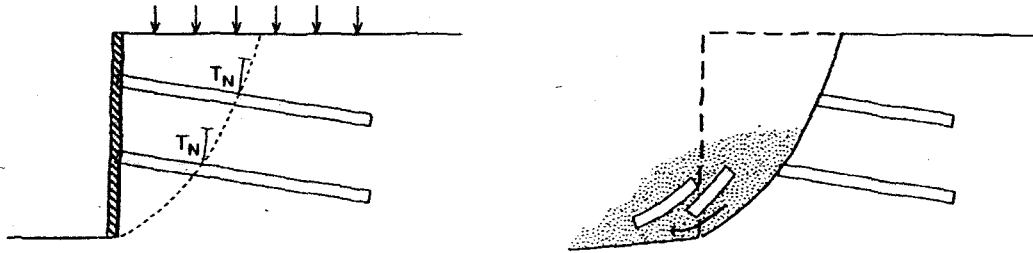
Kaplama Göçmesi

(a) Kaşma ve aktif bölgenin kayması



Sıyrılma Göçmesi

(b) Duvar çivilerinden sıyrılması sonucunda göçer



Çivi Çekme Göçmesi

(c) Çivilerin çekme yükünü karşılayamayarak göçmesi

Şekil 3.2 Zemin çivili duvarların göçme biçimleri (FHWA-SA-96-069R, 1998)

Şekil 3.2 (b)'de yüksek çekme mukavemetine sahip kısa boydaki çivilerle oluşturulmuş zemin çivili duvar gösterilmektedir. Bu durumda en olası göçme türü çivilerin direnç bölgesinden sıyrılmasıdır. Aktif bloğu destekleyecek-tutacak çivi kuvvetleri öncelikle çivinin

potansiyel kayma yüzeyinin arkasında kalan uzunluğa ve söz konusu bölgede çivi-zemin arasındaki nihai birim sıyrılma direncine bağlıdır. Şekil 3.2 (b)'de gösterilen durumda ise sıyrılma direnci, çivinin çekme mukavemetinden ve kaplama mukavemeti ile aktif bölgedeki sıyrılma direncinden küçüktür.

Şekil 3.2 (c)'de makul çekme mukavemetine sahip uzun çiviler ve yüksek dayanımdaki kaplama ile oluşturulmuş duvar gösterilmiştir. Bu şekilde tasarlanmış bir sistemde kaplama mukavemetinin aşılmasından ve takviyelerin pasif bölgeden sıyrılmasından önce çekme göçmesi meydana gelir ve çiviler kopar.

Kayma yüzeyleri ile belirlenen aktif bloğun stabilizasyonu için gereken çivi yükleri değerlendirilirken tüm göçme türleri göz önüne alınmalıdır.

3.2 Zemin Çivi Etkileşimi

Zemin-çivi etkileşimi zemin kütlesinin kayma yüzeyine doğru yaptığı deformasyonlar sırasında çivilerin bu harekete direnç göstermesi ve zemin-çivi ara yüzeyi boyunca kayma gerilmesinin oluşmasıdır. Zemin çivili dayanma yapılarında esas olarak iki tür etkileşim söz konusudur. En önemli etkileşim zeminin çivi boyunca uyguladığı kayma gerilmeleri (çevre sürtünmesi) olup bu gerilmeler çivideki çekme gerilmelerinin oluşmasını sağlar. Nispeten daha az öneme haiz olan etkileşim, sonraki yer değiştirmeler süresince çivi boyunca etkiyen pasif toprak basıncıdır (FHWA-SA-96-069R, 1998). Pasif toprak basıncının mobilizasyonu sonrasında çivide eğilme momenti ve kesme kuvveti mobilize olur. Ancak pasif toprak basıncının oluşması için zemin çivileri ile takviye edilmiş kütlede kayma bölgesinin oluşması gerekir. Bu suretle, çivide oluşacak kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerinin dikkate alınmadan hesap yapılması halinde global stabilite analizleri sonucunda daha konservatif güvenlik sayıları elde edilmektedir. Dolayısıyla bu etki genelde ihmal edilmektedir.

Çivideki çekme ve ara yüzey boyunca mobilize olan kayma kuvvetinin değişimi bir çok unsura bağlıdır. Bunlar, zeminin yük boşalma rijitliği, başlangıç arazi gerilmeleri, çivinin düşeydeki konumu, çivi uzunluğu, çivi eğimi, çivinin çekme rijitliği ve zemin-çivi ara yüzey rijitliği olarak sıralanabilir.

Çivi boyunca çekme yükünün değişim oranı, takviyeli zeminin lokal stabilitesinden hareketle, birim boyda mobilize olan kayma kuvvetine eşit olduğu aşağıda verilen denklemle ifade edilebilmektedir:

$$dT / dL = \pi D \tau = Q \quad (3.1)$$

dT	: çivi çekme yükünün dL boyunca değişimi
D	: delgi çapı
τ	: zemin enjeksiyon arasında mobilize olan kayma gerilmesi
Q	: birim boyda mobilize olan kayma kuvveti (sıyırılma direnci)

Dayanım açısından incelendiğinde zemin çivili duvarların performansını etkileyen en önemli faktör zemin çivi ara yüzeyindeki nihai sıyırılma direncidir. Nihai sıyırılma direnci çivi delgi çapına, kayma öncesi mobilize olan kayma gerilmesine ve imalat yöntemine bağlıdır. Çivinin birim alanına etkileyen ve sürtünmeyle aktarılan yük, zemin takviye ara yüzünün özelliklerine ve zemin çivi arasındaki normal gerilmeye bağlıdır. Söz konusu normal gerilme zeminin gerilme-deformasyon davranışına bağlı olup, davranış “gerilme bağımlı”’dır.

Nihai sıyırılma direnci belirli bir zemin ve çivi tesis yöntemi için derinlikten bağımsızdır (Clouterre, 1991):

Sürtünme katsayısı (μ), takviyede mobilize olan ortalama kayma gerilmesinin (τ) jeolojik yükten oluşan normal gerilmeye (σ_o) bölünmesiyle elde edilir. Yukarıdaki paragrafta açıklandığı üzere, efektif sürtünme katsayısı analitik yöntemlerle belirlenemez. Bu amaçla sürtünme katsayısı, sıyırılma deneyi, takviye-zemin arasında direkt kesme deneyi, model ve tam ölçekli deneyler ile tespit edilir.

Sıkı granüler zeminlerde, (τ) kayma gerilmesi altında, takviye çevresindeki zeminde hacim artış eğilimine (dilatasyon) karşı, bu eğilim çevredeki düşük sıkışabilirliğe sahip zemin tarafından engellenir. Bu sebeple, başlangıç normal gerilmesi σ_o ’da $\Delta\sigma$ kadar artış oluşur. Bu fenomen kontrollü dilatasyon (Schlosser ve Elias, 1978) olup, görünen sürtünme sayısı (μ^*) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\mu^* = \frac{\tau}{\sigma_o} \quad (3.2)$$

Ancak gerçek sürtünme sayısı (μ) söz konusu normal gerilme artışı nedeniyle daha küçük olacaktır. Gerçek sürtünme sayısı:

$$\mu = \frac{\tau}{\sigma_o + \Delta\sigma} \quad (3.3)$$

Bu fenomen, ilk defa 1979 yılında Plumelle tarafından Fountainbleau kumunda gerçekleştirilen pasif ankrajın sıyrılma deneyinden sonra sayısal olarak ifade edilebilmiştir. Normal gerilme artışı ($\Delta\sigma$) çiviye yakın bölgede yapılan ölçümlerde başlangıç normal gerilmesinin 4 katına erişmiştir.

Cartier ve Gigan (1983) tarafından “kontrollü dilatasyon” fenomeninin çivi üzerinde mobilize olan sürtünmeye olan etkisinin incelendiği araştırmayı takiben Schlosser (1983) de aynı konu üzerinde çalışmıştır. Her iki araştırmanın ortak sonucu olarak çivi birim çevre sürtünmesinin (q_s) derinlikten bağımsız olduğu belirtilmiştir. Söz konusu sonuç, dilatasyonun derinlikle düşmesine paralel olarak düşen sürtünme katsayısının, derinlikle artış gösteren normal gerilemeyle ($\sigma = \gamma z$) birbirini dengelemesi olarak açıklanmıştır. Birim çevre sürtünmesi aşağıdaki denklemle ifade edilebiliriz:

$$q_s = \mu^* (z) \gamma z = \text{sabit} \quad (3.4)$$

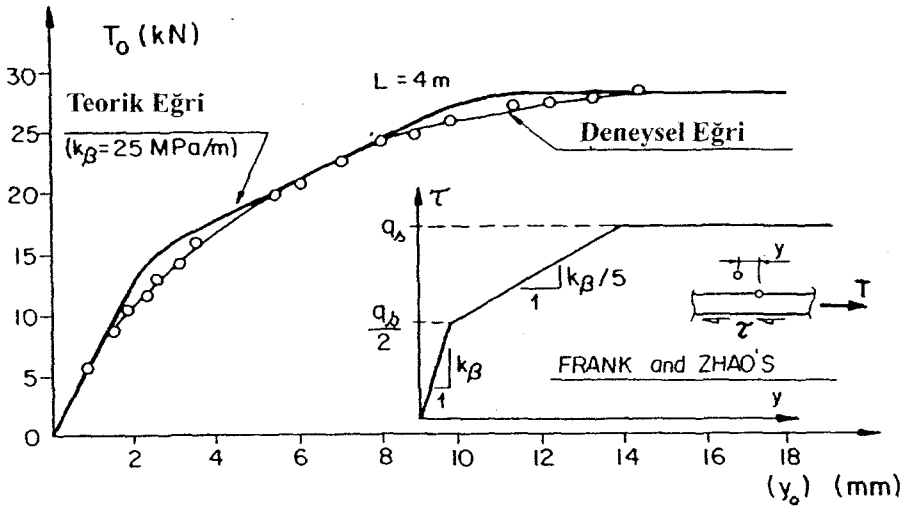
Birim çevre sürtünmesi zemin çivili dayanma yapılarının tasarımındaki en önemli parametrelerden birisidir. Bu parametrenin seçiminde zemin çivisi tasarımına ilişkin elkitablarından, yerel tecrübelerden faydalanılması gerekmektedir. Bununla birlikte nihai birim çevre sürtünmesi sahada yapılacak sıyrılma deneyleri ile tespit edilmeli ve tasarım gözden geçirilmelidir.

3.2.1 Zemin Çivi Sürtünmesi

Zemin çivi sürtünmesinin belirlenmesi ve bir hesap metodunun geliştirilebilmesi için Fransız Ulusal Araştırma Projesi Clouterre kapsamında sayısız deneysel çalışma yapılmıştır.

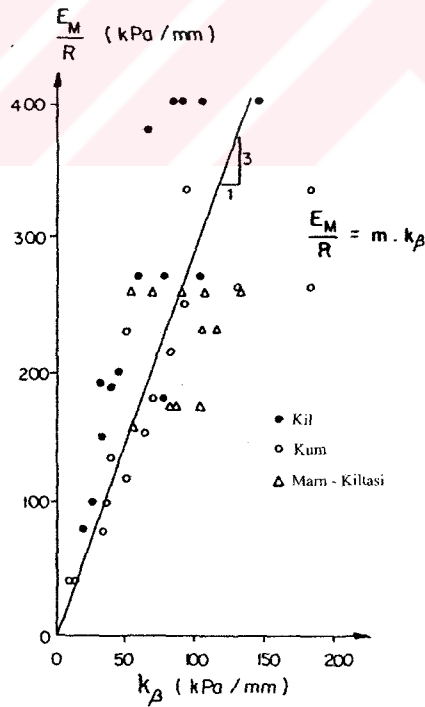
Kazıklarda olduğu gibi çevre sürtünmesinin mobilize olabilmesi için rölatif olarak çok küçük yer değiştirmelerin gerçekleşmesi gerekir. Sıyrılma deneylerinden de doğrulandığı üzere bu yer değiştirme bir kaç milimetre civarındadır.

Zemin takviye arasındaki lokal birim çevre sürtünmesinin mobilizasyonu Frank ve Zhao (1982) bilineer kuralı ile gerçekçi bir şekilde ifade edilmiştir. Şekil 3.3’de teorik ve Clouterre kapsamında Fountainbleau kumunda yapılan sıyrılma deneylerinin sıyrılma eğrileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.3 Frank ve Zhao bi-lineer kuralı (Clouterre, 1991)

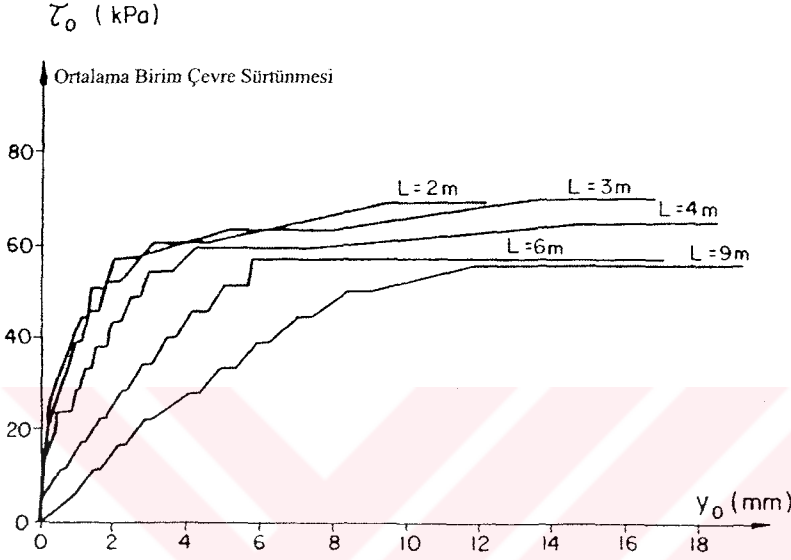
Söz konusu kural Şekil 3.3’de görüldüğü gibi, çivi kafasındaki çekme kuvveti (T) ve çivi kafasındaki yerdeğiştirme (y_0) düzleminde ifade edilmiştir. Kural iki parametre ile karakterize edilir. Bunlar; birim çevre sürtünmesi (q_s) ve bi-lineer eğrinin ilk parçasının eğimi (k_β) ‘dır.



Şekil 3.4 (k_β)’nın presiyometre modülü ve çivi çapına bağlı olarak belirlenmesi (Clouterre, 1991)

$$k_{\beta} = \frac{E_m}{m R} \quad (3.5)$$

E_m = presyometre modülü
 m = 1-5 arasında değişen zemine bağlı değer
 R = çivi çapı



Şekil 3.5 Çivi boyunun deplasmanlara etkisi (Clouterre, 1991)

Ancak Şekil 3.5’de görüleceği gibi aynı zemindeki ve aynı nitelikteki çivilerin farklı boyda olması halinde, kısa boydaki çivilerin birim çevre sürtünmesi limitindeki deformasyonları küçük olurken aynı limitte uzun çivilerin daha büyük deformasyon yaptıkları tespit edilmiştir. Bu durum kısa çivilerin rijit, uzun çivilerin esnek davranışı ile açıklanmaktadır.

3.2.2 Çekme Kuvvetine İlave Olarak Kesme Kuvveti ile Eğilme Momentinin Mobilizasyonu

Daha önceki paragraflarda belirtildiği üzere çivilerde çekme kuvvetine ilave olarak kesme kuvveti ile eğilme momentinin mobilize olması için desteklenmiş kütlede kayma bölgesinin oluşması gerekmektedir. Söz konusu ilave etkiler genelde ihmal edilerek daha konservatif tasarımlar yapılmakta ve analizler basitleştirilmektedir. Ancak, özellikle zemin çivili duvarların analizini de yapan TALREN bilgisayar programı tarafından kullanılan Fransız yöntemi bu etkileri hesaba katmaktadır. Zemin çivili dayanma yapılarının etkileşiminin bir

z = çivi doğrultusundaki koordinat

$p = k_s y$ = çivi üzerindeki yanal gerilme

D = çivi çapı

Bu denklem çözümünde transfer boyu (l_0) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$l_0 = \sqrt[4]{\frac{4EI}{k_s D}} \quad (3.7)$$

Çivi boyunun kayma bölgesinin her iki tarafında kalan kısmı $3 l_0$ dan büyük ise çivi sonsuz uzunlukta kabul edilir. Yatak katsayısı (k_s) presiyometre modülü E_M kullanılarak hesaplanabilir. Transfer boyu (l_0) ise genellikle 10 cm dolayındadır.

Genel olarak hesaplarda zeminin elastik ve plastik fazları birlikte dikkate alınmalıdır. Yumuşak zeminlerde, zeminin plastikleşmesi çivide mobilize olacak yanal gerilmeyi sınırlarken katı zeminlerde çivinin plastikleşmesi gerçekleşir.

Kayma etkisi altındaki desteklenmiş zeminlerde çekme ve kayma kuvvetleri ile eğilme momentinin mobilizasyonu hakkında elasto-plastik yaklaşımlarla teorik ve deneysel çalışmalar yapılmış ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır (Clouterre, 1991).

- Zemin çivili kütlelerin kayması; çivilerin kayma yüzeyinde çekme ve kesme etkileri kopmasıyla veya göçme yüzeyinin dışında maksimum eğilme momentinin mobilize olduğu noktalarda çivinin plastikleşmesi ile meydana gelir. Ancak, malzeme belirli bir duktilitede seçildiği için maksimum moment noktasında oluşan plastikleşme çivinin kopmasında pratik olarak etkili değildir. Plastikleşmenin sınırlı olduğu ve çivi üzerindeki iki plastik (mafsal) ile tariflenen bölgenin yanal deformasyonu zeminin yanal direncinin (p_u) mobilizasyonu ile sınırlanmıştır. Söz konusu mobilizasyon sırasında çivi çekme ve kayma nedeniyle maksimum kayma noktasında kopabilir.
- Zemin-çivi arasındaki ilişki iki etkileşim ile yok olabilir.
 - Yetersiz adezyon nedeni ile kayma gerilmesinin birim çevre sürtünmesini (q_s) aşması ile veya
 - Çivinin zemine uyguladığı yanal basıncın (p) zeminin yanal direncini (p_u) aşması ile.
- Zemin çivili sistemlerin elasto-plastik hesabı, çivi direncinin mobilizasyonu ve etkileyen farklı kriterlerin kombinasyonu, zemin çivi etkileşimi üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda çoklu-kriter kuralının tanımlanması sağlanmıştır. Bunun için prensip olarak değişik kriterleri temsil eden eğrileri T_N , T_C düzleminde kombine ederek pür kayma ($M=0$) durumu için değişik etkileşim mekanizmalarının ifade edildiği çoklu kriter yaklaşımı

oluşturulur.-

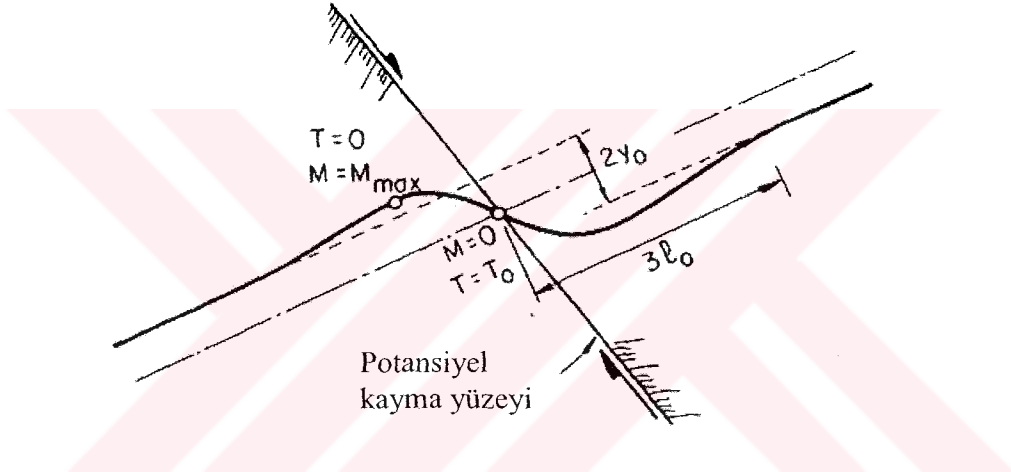
Anthoine (1987) tarafından çivinin bünye direnç kriteri aşağıdaki formülle ifade edilmiştir.

$$(T_N / R_N)^2 + (T_C / R_C)^2 + |M / M_0| \leq 1 \quad (3.8)$$

R_N, R_C, M_0 = çivinin çekme, kesme ve eğilme dirençleridir.

Çivi göçmesinin çekme ve pür kayma kuvvetleri ($M=0$) etkisiyle olduğu kabul edildiğinde denklem bir elipsi ifade eder.

$$(T_N / R_N)^2 + (T_C / R_C)^2 = 1 \quad (3.9)$$



Şekil 3.7 Kayma düzlemi civarında zemin-çivi etkileşimi (Cloutier, 1991)

Maksimum moment noktasında (A veya A' noktası) çivinin plastikleşmesi sırasında ($T_c = 0$) potansiyel kayma yüzeyindeki kayma kuvveti T_{c0}

$$T_{c0} = a \frac{M_0}{l_0} \left[1 - \left(\frac{T_N}{R_N} \right)^2 \right] \quad a=3.12 \quad (3.10)$$

Çivinin plastikleşmesi durumunda çivinin zemine uyguladığı yanal basınç p_0 olup maksimum değerine kayma yüzeyinde ulaşır.

$$p_0 = \frac{2T_{c0}}{D_c l_0} \quad (3.11)$$

Ancak göçme biçimini zeminin taşıma basıncı p_u belirler:

zeminin plastikleşmesi ile göçme;

$$p_u < p_0 \quad T_{C1} = p_u D l_0 / 2 \quad (3.12)$$

çivideki plastik mafsallın oluşumu ile birlikte zeminin plastikleşmesi (çivinin plastikleşmesi);

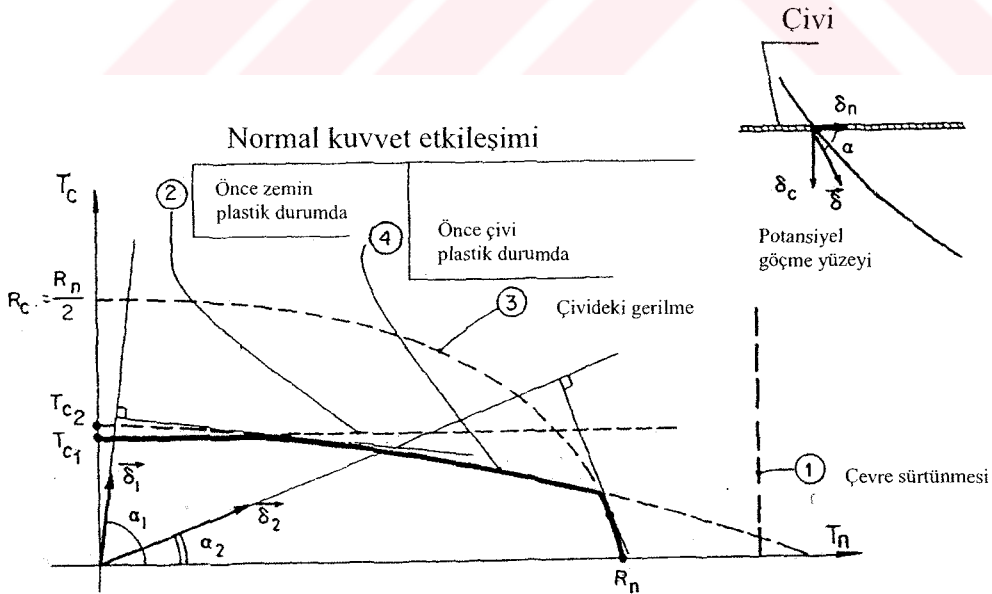
$$p_u > p_0 \quad T_{C2} = b \frac{M_0}{l_0} \left[1 - \left(\frac{T_N}{R_N} \right)^2 \right] + c p_u D l_0 \quad b=1.62, c=0.24 \quad (3.13)$$

Yetersiz adezyondan oluşan göçme ise.

$$T_N = q_s \pi D L_a \quad (3.14)$$

denklemleri ile ifade edilen çivinin nihai sıyrılma yüküne erişmesiyle oluşur.

Çekme kuvvetine ilave olarak kesme kuvveti ve eğilme momentinin mobilize olması durumlarını açıklayan çoklu kriter kuralında dört göçme mekanizmasının etkileşiminin normal kuvvet-kesme kuvveti ($T_N - T_C$) eksen takımında ifade edilmiş ve Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Çeşitli etkileşim mekanizmalarının normal kuvvet-kesme kuvveti eksen takımında ifade edilmesi (Clouterre, 1991)

Şekil 3.8’de verilen ve numaralar ile gösterilen etkileşim grafiğinin sınır koşulları aşağıda sıralanmıştır:

1) Yetersiz adezyon nedeniyle göçme

$$T_N = q_s \pi D L_a \quad (3.15)$$

2) Önce zeminin plastikleşmesi sonucu göçme

$$p_u < p_0 \quad T_{C1} = p_u D l_0 / 2 \quad (3.16)$$

3) Çekme ve pür kayma kuvvetleri altında çivinin göçmesi

$$(T_C / R_C)^2 + (T_N / R_N)^2 = 1 \quad (3.17)$$

4) Önce çivinin plastikleşmesi ile göçme

$$p_u > p_0 \quad T_{C2} = b \frac{M_0}{l_0} \left[1 - \left(\frac{T_N}{R_N} \right)^2 \right] + c p_u D l_0 \quad b=1.62, c=0.24 \quad (3.18)$$

Sonuç olarak; zemin çivileri takviye etkisini zemin-çivi ara yüzünde oluşan kayma gerilmelerine bağlı olarak oluşan çekme kuvvetleri ile sağlar. Çivilerin narin boyutlarda olması (D/L oranı çok küçük) ve kullanılan malzemenin özellikleri nedeniyle çivide oluşacak kesme kuvvetinin takviye işlemine etkisini küçük esneklik veya eğilme dayanımı ile sınırlamaktadır. Bu etkiler ihmal edilebilecek mertebededir.

3.2.3 Çivi ve İmalat Tipinin Etkisi

Zemin çivili dayanma yapılarının inşaatında çivi tesis yöntemi birim çevre sürtünmesi açısından önemlidir. Çiviler genel olarak çakma çiviler, enjeksiyonlu çiviler ve jet enjeksiyonlu çiviler olarak sıralanabilir.

Jet enjeksiyonlu çiviler patentli bir uygulama yöntemi olup çivi ile enjeksiyon eşzamanlı tesis edilir. Basıncı enjeksiyon, çiviye kaynaklanmış ince çelik boruyla veya içi boşluklu özel çivilerle uygulanır. Çiviler titreşimli darbe sürücüsü kullanılarak, yüksek frekans (<70 Hz) ve yüksek enjeksiyon basıncı (>14 MPa) ile zeminde tesis edilirler. Jet enjeksiyonlu çivilerin tesisi sırasında çivi çevresindeki zeminde kompaksiyon oluşur. Enjeksiyon basıncı olarak uygulandığından zemin-çivi arasındaki birim çevre sürtünmesi diğer tesis yöntemlerine göre yüksektir.

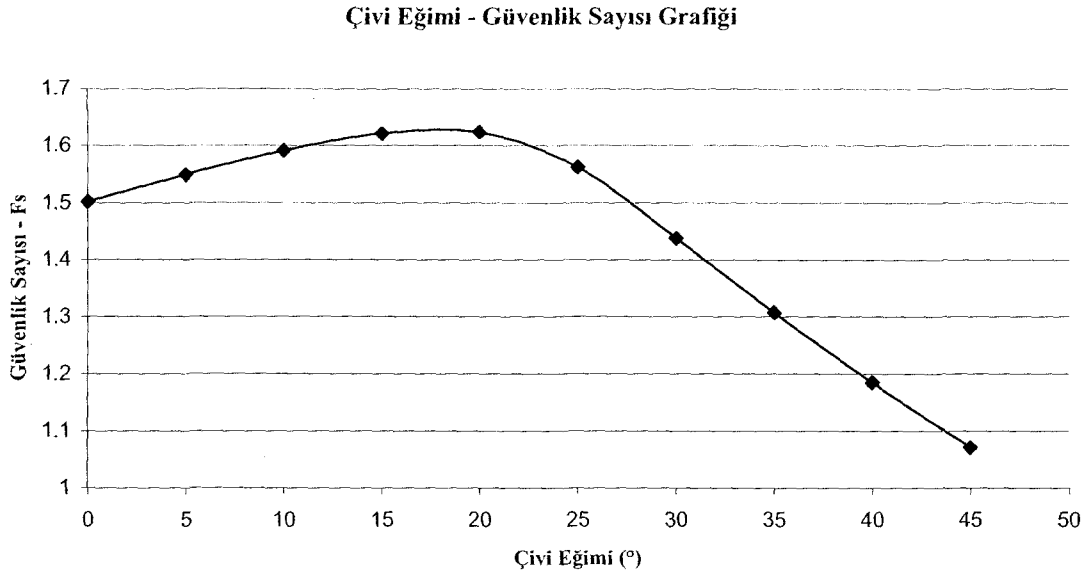
Çakma çiviler havalı darbe titreşimli veya hidrolik çekiçlerle zemine çakılır. Hızlı imalat olanağı tanıyan yöntemde çivi boyları çekiç kapasitesi ile sınırlı olup çakma çiviler genelde 6m boydadır. Çivi olarak çapı 25mm ile 38mm arasında değişen galvanizli çelikler kullanılır. Çakma işlemi sırasında çivi 320 km/s hızla 100 J enerjiyle zemine sokulur. Tesis sırasında kullanılan çekiçler ekskavatörlerin kepçesi yerine monte edilebildiğinden daha hızlı imalat yapılırken, ilave çivi tesisi daha kolay gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca bu araçların kullanılmasıyla mevcut şevlerin stabilizasyonu çalışma platformu gereksinimi düşük olduğundan daha kolaydır. Çakma çiviler ile zemin arasındaki birim çevre sürtünmesi enjeksiyonlu çivilerden daha yüksektir.

Enjeksiyonlu çiviler en yaygın çivi tesis yöntemidir. Çiviler delgisi yapılan ortalama 10 cm çapındaki deliğe çivinin yerleştirilmesi ve daha sonra kuyunun enjeksiyon harcı ile doldurulması ile tesis edilirler. Kuyunun enjeksiyonla doldurulması ile çivinin yerleştirilmesi işlemlerinin sırası yer değiştirebilir. Enjeksiyon harcı ile zemin arasındaki birim sürtünme değeri diğer tesis yöntemlerinden düşük olmakla birlikte her türlü ortamda tesis edilebilmesi ve genel inşaat ekipmanları ile yapılabilmesinden ötürü enjeksiyonlu çivi tesis yöntemi tercih edilmektedir.

Clouterre araştırma kapsamında yapılan çalışmalarda çakma çiviler, enjeksiyonu basınçsız ve basınçlı olan çiviler incelenmiştir. Sıyırılma deneyi sonrasında, imalat yönteminin deformasyon ve sıyırılma direnci üzerine önemli miktarda etkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Birim çevre sürtünmesinin imalat yöntemine göre değişimi daha sonraki bölümlerde incelenmiştir.

3.2.4 Çivi Eğimi

Tüm deneysel çalışmalar, özellikle Marchal (1984) tarafından yapılanlar, çivilerde mobilize olan kuvvetlerin çivinin potansiyel kayma yüzeyine göre yaptığı açı ile bağıntılı olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, zemin özellikleri ve çivi tasarım parametreleri aynı, çivi eğimleri farklı olmak kaydı ile SLOPE/W bilgisayar yazılımı ile yapılan analizlerin sonucunda elde edilen güvenlik sayıları Şekil 3.9'da verilmiştir. Analizler Ek 2'de sunulmuştur. Şekil 3.9'dan görülebileceği gibi çivinin yatayda tesis edildiği ($\alpha = 0^\circ$) durumda güvenlik sayısı 1.502 iken çivi eğimi 45° 'ye arttırıldığında güvenlik sayısı 1.017 değerine azalmaktadır.



Şekil 3.9 Zemin çivisinin eğimli tesis edilmesi halinde stabilite analizleri sonuçları

3.2.5 Su Muhtevasının Çevre Sürtünmesine Etkisi

İnce dane oranı ihmal edilemeyecek kadar olan granüler zeminlerin su muhtevasının, kısa dönem çivi–zemin çevre sürtünmesi direncine etkisi Reinforced Earth Co. Firması tarafından incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda tabii su muhtevasının optimum su seviyesini aşması halinde izin verilebilir maksimum çekme kapasitesinin hesabında güvenlik sayısının $F_s > 2.0$ olması tavsiye edilmektedir. Bu yüke karşılık, yer değiştirmenin optimum seviyedeki yer değiştirmenin üçte biri mertebesinde olacağı tahmin edilmektedir (Clouterre, 1991).

3.3 Zemin Çivili Duvarın Deformasyon Davranışı

Üstten alta doğru kazı yapılarak inşaatı yapılan zemin çivili duvarların, takviyeli zemin kütlesi duvarın topuğu merkez olacak şekilde dönme eğilimi gösterir ve bu işlemin bir parçası olarak pasif eleman olarak yerleştirilen çivilerde çekme yükü mobilize olur. Bu sebeple, maksimum yatay hareket duvar tepesinde oluşurken, deplasmanlar kademeli olarak düşer. Dış yüzey kaplamada da oturmalar meydana gelir ve mertebe olarak duvar tepesinde meydana gelen yatay deformasyon kadardır. Düşey olarak imal edilmiş zemin çivili duvarda oluşan deformasyonların karakteristik özellikleri Şekil 3.10'de gösterildiği gibi 3 şekil değiştirme parametresi ile ifade edilebilir (Clouterre, 1991).

- δ_o : Duvar arkasında yatay yüzey yer değiştirmesi
 δ_h : Duvar tepesindeki yatay yer değiştirmesi

δ_v : Duvar tepesindeki düşey yer değiştirme

Kaplamada meydana gelen deformasyonlar aşağıda belirtilen faktörlere bağlıdır.

- Duvar inşa hızına
- Çivi aralıklarına ve kazı kademesi yüksekliğine
- Çivi ve zemin rijitliğine
- L/H oranına
- Global güvenlik sayısına
- Çivi eğimine ve eğilme rijitliğine
- Temel zeminin taşıma kapasitesine
- Sürşarj yükünün büyüklüğüne

Duvar arkasındaki yer değiştirme δ_o genel olarak $4H/10\ 000$ ile $5H/10\ 000$ mertebelerinde olup zemin cinsine ve çivi boyu (L) ile duvar yüksekliği (H) arasındaki orana (L/H) bağlı olarak değişiklikler gösterir.

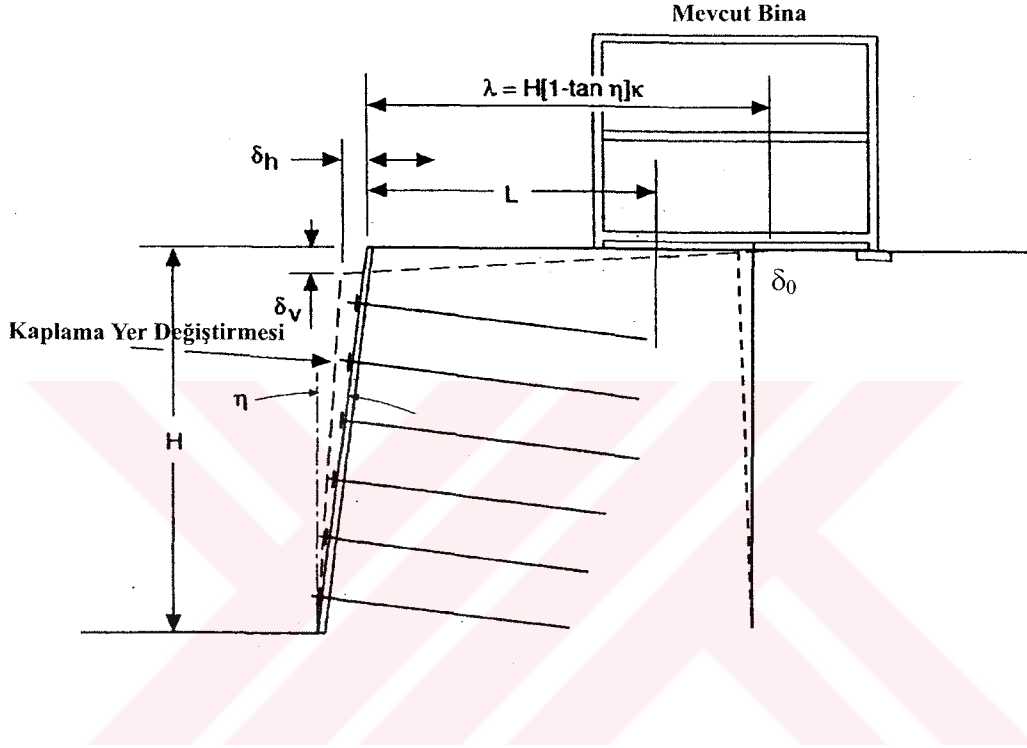
Aletsel gözlem yapılan yapılarda duvar tepesindeki yatay yer değiştirme δ_h ile düşey yer değiştirmenin δ_v birbirine eşit olduğu tespit edilmiştir.

Tipik çivi boyu (L) duvar yüksekliği (H) oranına (L/H) sahip, ihmal edilebilecek sürşarj yükü altında makul sayılabilecek bir güvenlikle tasarlanan zemin çivili düşey duvarın tepesinde meydana gelen maksimum deformasyon; ayrışmış kaya ve homojen sıkı zeminlerde % 0.1H, granüler zeminlerde % 0.2H ve ince daneli killi zeminlerde % 0.4H dolaylarındadır. Bu deformasyonlar nispeten küçük olup, genel olarak iyi desteklenmiş yanal destekli kazı sistemleri ve ankrajlı duvar için beklenen değerlerle uyumludur.

Genel olarak düşük güvenlikle inşa edilmiş zemin çivili duvarlarda δ_h ile δ_o değerleri yüksek olacaktır. Çivi boyu (L) duvar yüksekliği (H) oranının (L/H) düşük değerlerinde duvarın dışa dönme oranı yüksek olacaktır. Çivi eğiminin yataydan uzaklaşmasıyla çivide eğilme momenti ve kayma kuvvetinin mobilizasyonu artarken çekme kuvvetine zarar verir. Bu nedenle, dış yüzeyde yüksek deformasyonlar meydana gelir. Yatay yer değiştirme δ_h çekme kuvvetine bağlı iken, düşey yer değiştirme δ_v yanal yüklemeye maruz kalan kazıklara benzer davranış göstererek çivide mobilize olan eğilme momentinden yüksek oranda etkilenir.

Duvar arkasındaki inşaat deformasyonları duvar tepesinden uzaklaştıkça azalarak tipik olarak çivi uçlarının yüzeydeki izdüşümlerinde kaplama deformasyonlarının onda birleri

dolayındadır. Şekil 3.10'den görüleceği gibi Clouterre duvar arkasındaki platformda oluşan yüzey deformasyonunun zemin cinsine göre nasıl azaldığını ve nerede pratik olarak sonlandığını bir bağıntıyla değerlendirilmesini tavsiye etmektedir. Zemin çivili duvarlardan elde edilen deformasyon tecrübelerinden bu tip yapıların diğer dayanma yapıları ile rekabet edebileceği tespit edilmiştir.



	Ayrışmış Kaya Sert/Çok Sıkı Zemin	Kumlu Zeminler	Killi Zeminler
δ_h ve δ_v	$H/1000$	$2H/1000$	$(3-4)H/1000$
κ	0.8	1.25	1.5

Şekil 3.10 Duvar deplasmanlarını ifade eden parametreler (Clouterre, 1991)

İnşaat sonrası yapılan gözlemlere göre; duvar deplasmanlarında zamanla devam eden, zemin cinsine ve özellikle kaplama civarında oluşan ilave gerilmelere bağlı hareketler meydana gelebilmektedir.

3.4 Zemin Çivili Duvarın İnşaat Sırasındaki Davranışı

Zemin çivili duvarın inşaatı sırasında, çekme gerilmelerinin mobilize olması için sonraki 3-4 kazı kademesinin gerçekleştirilmesi gerekir. Çekme kuvveti, kazı sonrası zemindeki yanal yük boşalması ve kazı işlemi sırasında oluşan birbirini izleyen kemerlenme etkisiyle mobilize olur. Tüm bunlar kazı yüksekliği ne kadar yüksek ise o kadar hızlı gerçekleşir. Ancak çivi boyunca çekme gerilmesinin dağılımı duvar inşası sırasında gelişim gösterir. Çivi kafasındaki çekme kuvveti T_o veya T_{head} ile çivide mobilize olan maksimum çekme kuvveti T_{max} arasındaki oran, T_o / T_{max} başlangıçta 1.0 civarında iken, incelenen çivi seviyesine de bağlı olarak, kazı kademesi ilerledikçe bu oran 0.3~0.7 dolayına düşer. Söz konusu oran (T_o / T_{max}), çivilerin sık yerleştirilmesi halinde daha düşük olabilecektir.

Duvarın düşey ve yatay yer değiştirmeleri sırasıyla δ_v ve δ_h inşaat başında küçük değerlerde iken, L/H oranının duvar topuğuna doğru düşmesinin de etkisiyle, derinlikle orantılı olarak hızlı artışlar gösterirler.

Kazı kademelerinin lokal stabilitesi zemin çivili duvarların inşasında önemli bir noktadır. Kazının lokal stabilitesinde kemerlenme etkisi bir fenomen olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak kemerlenme etkisinin oluşması için üst seviyedeki çivilerin iyi nitelikte imal edilmiş olması ve kazı tabanından yeterli desteğin aktarılması gerekir, kemerlenme etkisi bu desteklerde oluşan yer değiştirmelere karşı hassastır. Ayrıca lokal stabilite açısından kazı kademelerinde bekleme süresini kısa tutularak su sızıntıları ve krip hareketleri önlenmelidir.

Her kazı için mevcut olan kritik kazı yüksekliği aşılmamalıdır. Aksi halde kemerlenme etkisi yok olacak ve zemin çivisi uygulanmış üst kademeleri de içine alan global göçme meydana gelecektir. Eğer çiviler esnek ise, genelde bu tip göçmeye direnç gösterirler, çiviler sıyrılma ve çekme göçmesi meydana gelmediği için yerinde kalırken püskürtme beton ile oluşturulan dış yüzey kaplama görevini yerine getiremez ve düşer. Bu tip bir göçme o zamana kadar yapılan işlemlere ilave olarak çalışma platformunun oluşturulması işinin de içinde olduğu kapsamlı bir onarım gerektirir.

Kritik kazı yüksekliği zeminin bir fonksiyonu olup genel olarak 2.0m ile sınırlandırılmış ve yerel tecrübelerin göz önüne alınması gerektiğini ortaya koymuştur.

Zemin özelliklerine bağlı olarak desteksiz olarak yapılacak kritik kazı yüksekliği düşük olursa lokal stabilite, kazının yatayda sürekli olarak yapılmasından yararlanılarak kemerlenme etkisi

ile veya püskürtme betonu delgi öncesinde kazı sonrası açığa çıkan taze yüzeye uygulayarak artırılabilir.

Tüm gözlemler ve aletsel incelemeler zemin çivili duvarlarda yapım sonrasında krip kaynaklı deplasmanlar oluştuğunu göstermiştir. Özellikle duvarın alt kesimindeki deformasyonlarda ve yine aynı bölgedeki çivilerde çekme gerilmelerinin az miktarda artışları tespit edilmiştir.



4. ARAZİ ARAŞTIRMALARI ve DENEYLERİ

4.1 Arazinin Tanımlanması

Zemin çivili dayanma yapılarının makul maliyetle güvenilir olarak tasarlanması için mevcut sahanın fiziksel özelliklerinin, zemindeki tabakalaşmanın, yeraltı suyunun durumunun ve zemin-kaya ortamın özelliklerinin bilinmesi gerekir. Zemin etüd çalışmalarının sınırları belirlenirken, duvar arakasında çivilerin etkileşime gireceği zemin ile duvar önünde hafriyatı yapılacak zeminin de özellikleri belirlenmeli kesitler üzerinde çalışılmalı, ortamın tabakalaşması her iki doğrultuda (duvar boyunca ve duvara dik) tespit edilmelidir.

Araştırma, sahanın jeolojisi, arazi gözlemleri ile arazi ve laboratuvar deneylerinin bir bütünü olarak göz önüne alınmalıdır. Araştırmanın amacı zemin çivili kütlenin yeterli güvenlikle ekonomik olarak tasarlanması ve inşa edilmesi için gerekli bilgilerin temin edilmesidir.

Stabilite, dayanıklılık ve sınırlı duvar deformasyonları zemin çivili duvarların tasarımında öncelikli olarak göz önüne alınan faktörlerdir. Zemin çivili duvarların tasarımı ve inşaatı evreleri içinde en önemlisi sözü edilen aşamalara bilgi sağlayan arazi araştırmaları evresidir. Tüm önemli dayanma yapılarında olduğu gibi zemin çivili duvarların da tasarımı iyi yetişmiş tecrübeli geoteknik ve yapı mühendislerince yapılmalıdır.

Tavsiye edilen arazi araştırmaları aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır.

4.1.1 Jeolojik Ön İnceleme

Bu kapsamda, yapılacak arazi etütlerine başlanmadan önce arazide incelemelerin yapılması, mevcut jeoloji haritalarının, hava fotoğraflarının ve daha önce yazılmış geoteknik raporların değerlendirilmesi gerekmektedir.

4.1.2 Arazi Keşif Çalışması

Bu amaçla, ankrajlı sistemlerde de uygulanması tavsiye edilen sondaj vaziyet planı Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

- Arazi enkesitleri için sınırların ve enkesitlerin ne kadar arayla hazırlanacağını tespiti. Bu aşamada topoğrafyanın ani değişkenlikler gösterdiği yerlerde daha sık olmak üzere 10m-20m arayla kesitler hazırlatılmalıdır. Tasarım aşamasında arazideki tüm kritik durumların incelenmesi açısından en ve boy kesitler önemlidir.

- Etüt ve imalat için gerekli ekipmanların sahaya ulaşımının ne şekilde sağlanacağına tespiti ve özellikle etüt ekibi detaylı krokinin hazırlanması.
- Yüzeysel drenaj açısından, mevcut sızıntı ve bitki örtüsü karakterinden faydalanarak yeraltı suyu koşullarını tahmin etmek. Çevrede olabilecek drenaj yapılarında, ortamın pas yaratma olasılığı olup olmadığına dair belirtiler aramak.
- İnceleme alanının topoğrafik özelliklerinin arazi eğimlerinin ve kaya mostralarının incelenmesi. Çevredeki kazı ve şevlerinin incelenerek zemin tabakalaşması ile ilgili olarak bilgi edinilmesi.
- Etüt ve inşaat sırasında etkilenebilecek her türlü yapının tespiti (kullanılan veya terk edilmiş yapılar, elektrik-su-doğal gaz hatları vb.).
- Mülkiyet sınırının aşılp aşılması durumunun tespiti. Geçici ve kalıcı istimlak veya satın alma – kiralama bedellerinin hesaplanması.
- İnceleme alanında ve çevresindeki alanlarda yapılmış etütlerin gözden geçirilmesi.

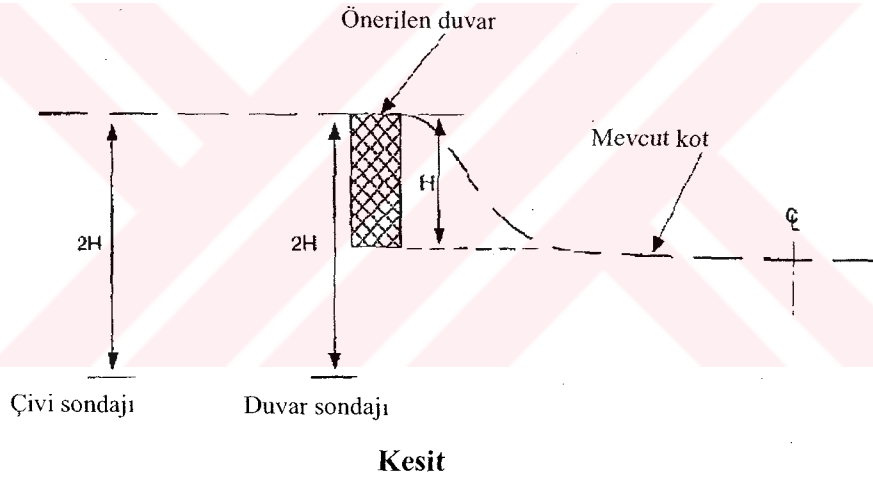
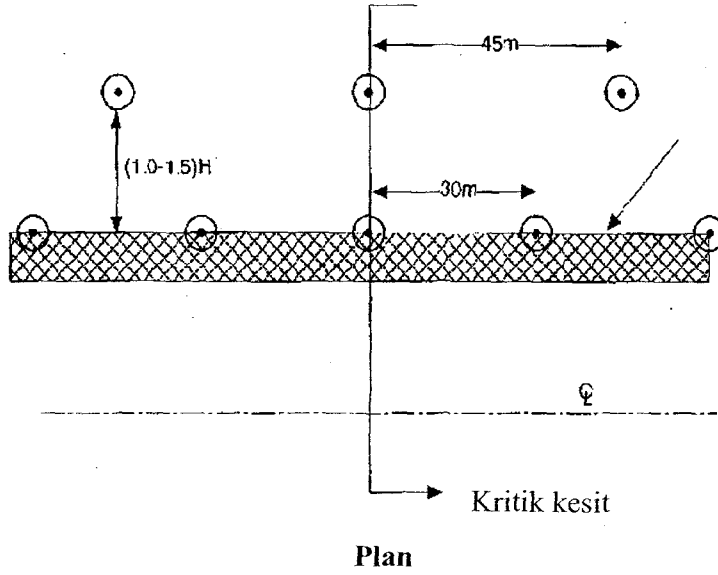
4.1.3 Zemin Etüdü

Zemin etütlerinin, zemin-kaya tabakalaşmasını detaylı tanımlayacak, stabilite analizlerinin yapılabileceği enkesitler oluşturabilecek, çivilerin sıyrılma direncinin tahmin edilmesini ve etkili drenaj sisteminin oluşturulabilmesi için gereken bilgileri sağlayacak yeterlilikte olması gerekir.

Eğer saha şartları izin verirse, etüt kapsamında ters kepçe ile araştırma çukurları ve ufak deneme şevleri açılarak kazının stabilitesi gözlenmelidir. Bu tip araştırma çukurları ve deneme şevleri özellikle inşa edilebilirliğin tayini açısından hızlı ve ucuz bir yöntemdir.

Sahada yapılacak sondajların tipi, sayısı ve yerleri geoteknik mühendisi veya uzmanlık alanı mühendislik jeolojisi olan jeologlarca tayin edilmelidir. Ancak, genel olarak izlenmesi tavsiye edilen etüt programı aşağıda belirtilmiştir.

- Duvar boyunca yaklaşık 30m aralıklarla sondaj yapılmalıdır. Çivilerin etkileşim içinde bulunacağı bölgenin değerlendirilebilmesi için duvarın arkasında 45m aralıklarla ve planda duvardan uzaklığı duvar yüksekliğinin 1.0-1.5 katı kadar bir mesafede, bu bölgenin eğimli olması halinde duvar yüksekliğinin 1.5-2.0 katı mesafede sondajlar yapılmalıdır. Ayrıca önemli kesimlerde zemin-kaya stratigrafisinin tespiti için duvar önüne de sondaj konulabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Arazi etütleri için yapılacak sondajlar hakkında tavsiye (FHWA-SA-96-069R, 1998)

- Sondaj derinliği sondaj sırasında karşılaşılan ortamın bir fonksiyonu olmakla beraber ana kayanın makul derinliklerde olması halinde blok-kaya ayrımının yapılabilmesi ve kayanın tanımlanabilmesi için minimum 3.0m karot alınması gerekir. Duvar ve çivi sondajlarının minimum boyu, duvar tabanından itibaren duvar yüksekliği kadar aşağıya inilecek şekilde planlanmalıdır. Ancak kaya ortama daha sığ derinliklerde rastlanması halinde kayada 3.0m karot alınarak sondaj tamamlanmalıdır.
- Sondajlar sırasında her 1.5m derinlikte Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmalı, alınan örnekler görsel teşhis, sınıflandırma ve testlerin yapılması için laboratuara gönderilmelidir. Zayıf birimlerle karşılaşılması olasılığı olan zeminlerde sürekli SPT

numuneleri alınması tavsiye edilir. Kohezyonlu zemin içinde ilerlenen sondajlarda her 1.5m-3.0m'de örselenmemiş (UD) tüp numuneler alınmalı ve arazi deneyleri yapılmalıdır. Sondajları takiben statik su seviyesi belirlenmelidir. Sondajlar sırasında kullanılan aletlerin, sondaj makinesinin, muhafaza borusunun özellikleri ve sondaj kuyusunun stabil kalıp kalmadığı, hangi derinlikte göçtüğü not edilmelidir. En az bir duvar sondajı ve bir çivi sondajı uzun dönem yeraltı su seviyesinin okunabilmesi için yeraltı suyu gözlem kuyusuna çevrilmelidir.

- Test çukurlarının ve şevlerinin yaklaşık olarak 7.0m-8.0m uzunluğunda 2.0m-2.5m yüksekliğinde en az 3-4 gün açık bırakılması tavsiye edilir. Kazı günlük olarak incelenmeli, stabil kalma koşulları (hava durumu, sızıntı suları vb.) kaydedilerek fotoğraflı raporlar tutulmalıdır. Şev veya çukurun uzun aksı öngörülen duvarın önünde duvara paralel olacak şekilde planlanmalıdır. Rezidüel zeminlerde, önemli çatlak sistemlerinin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için çatlak haritalaması yapılmalıdır.

4.1.4 Laboratuvar Deneyleri

Deneylerin ana amacı, birim ağırlığın ve zemin-kaya ortamı dayanımının gerçekçi parametrelerle ifade edilmesidir. Atterberg limitleri, dane çapı dağılımı gibi özelliklerin belirlenmesi ve zemin çivisinin uygun olup olmadığını saptamakta yardımcıdır.

Geoteknik mühendisi yapılacak deneyin sayısı ve cinsini, yapının önemini, saha koşullarını yerel deneyimine göre belirler. Zemin ve kaya ortamlarda uygulanması tavsiye edilen deneyler aşağıda verilmiştir.

4.1.4.1 Zeminlerde Yapılması Tavsiye Edilen Deneyler

Sondajlardan çıkarılan tüm zemin numuneleri sahada ve laboratuvarda gözle muayene edilmeli ve tanımlanmalıdır. Sahayı temsil eden numunelerin su muhtevası belirlenmelidir. Ayrıca kohezyonsuz zeminlerde elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılarak ortamın dane çapı dağılımı belirlenmelidir. Granüler zeminlerin birim ağırlığı SPT darbe sayısına bağlı olarak korelasyonlarla veya geleneksel kum konisi ve lastik balon yöntemleriyle elde edilebilir.

Kohezyonlu zeminlerde toplam birim ağırlık tüm numunelerden yapılan deneylerle, drenajlı ve drenajsız kayma mukavemeti parametreleri üç eksenli deneylerle elde edilir. Kayma mukavemeti yerel deneyimlerle ve arazide yapılan Vane deneyi ile desteklenebilir. Rezidüel zeminlerde kritik çatlak yüzeyleri modellenerek direkt kesme deneyi yapılmalıdır. İnce daneli zeminlerin donma ve şişme hassasiyetleri değerlendirilmelidir.

Krip Potansiyeli

Atterberg kıvam limitleri killi zeminlerin tanımlanmasının yanında hem zemin çivisinin uygulanabilirliği hem de uzun dönem potansiyel krip potansiyelinin tespiti için kullanılır. Zemin çivisi organik zeminlerde, Likitlik İndeksi $LI > 0.2$ 'den büyük olan zeminlerde ve drenajsız kayma mukavemeti 50 kN/m^2 'den düşük zeminlerde, uzun dönem krip davranışının değerlendirilmesi için krip deneyi yapmadan, kullanılmamalıdır.

Likitlik indeksi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$LI = \frac{w - w_p}{w_L - w_p} \quad (4.1)$$

w_L : likit limit su muhtevası

w_p : plastik limit su muhtevası

w : doğal su muhtevası

Uzun süreli statik yükleme sonrasında çivi kök bölgesinde krip oluşabilir. Bu durumda çivi deformasyonları duvarda veya bitişik yapıda istenmeyen hareketleri oluşturmayacak şekilde planlanır. Krip teorik olarak çivinin üç bileşeninden gelişir.

- 1) Çivi kök bölgesini çevreleyen zeminin zamana bağlı ikincil sıkışmasıyla oluşan krip
- 2) Kök bölgesindeki enjeksiyonun krip
- 3) Çelik malzemelerin; tendon ve bağlantıların krip

Pratik olarak son ikisinin tasarım yükü üzerine etkisi çok düşüktür. Ancak, tasarımcının krip kavramını önemsemesi ve krip ölçümlerinin rutin şekilde yapılması tavsiye edilmektedir.

Uygulamada, kümülatif çivi yer değiştirmesi – log zaman grafiği çizildiğinde her yükte lineer davranış gösterir. Kısa süreli arazi deneyi sonrasında toplam krip oranı her log zaman çevrimindeki (6-60 dak) deplasman, 2.0 mm 'yi aşması uygulama açısından kabul edilemez. Bu tür aşırı krip oranı ile yumuşak kıvamdaki kohezyonlu zeminlerde karşılaşılmakta olup bu oran zemin göçene kadar artma eğilimi gösterir. Krip oranının sınır değerler civarında olması halinde uzun dönem davranışı daha doğru belirlemek için uzun dönem krip deneyleri yapılarak servis süresi boyunca yapacağı deformasyon hesaplanabilir.

Paslanma Potansiyeli

Özellikle saha incelemeleri sırasında çevre yapılarda paslanma belirtileri gözleniyorsa, zemin numuneleri üzerinde zararlılık deneyleri yapılmalıdır. Elektriksel rezistivite, pH, Klor, Sülfat değerlerinin tespiti için yapılan deneyler sıradan basit deneyler olarak kabul edilmektedir. Genel olarak, elektriksel rezistivitesi 5000 ohm-cm'den büyük ve pH oranı 5 ile 10 arasında olan zeminler zararlı olmayan zeminler olarak tanımlanır ve ilave paslanma deneylerine ihtiyaç yoktur. Eğer elektriksel rezistivite 2000 – 5000 ohm-cm arasında ise sülfat ve klorit deneyleri gereklidir. Bu üç unsurun belirlenmesi için yapılan deneyler ile elde edilen değerlerin hangi aralıkta kritik olduğu aşağıda Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Zararlılık potansiyelinin belirlenmesi için yapılan deneyler ve kritik değerler (FHWA-SA-96-069R, 1998)

Özellik	Yapılan Deney	Kritik Değerler
Rezistivite	ASTM G57, AASHTO T-288	< 2000 ohm-cm
pH	ASTM G51, AASHTO T-289	< 5
Sülfat	ASTM D516M, ASTM D4327	> 200 ppm
Klorit	ASTM D512, ASTM D4327, AASHTO T-291	> 100 ppm

4.1.4.2 Kayalarda Yapılması Tavsiye Edilen Deneyler

Kaya ortamın özellikleri ve kütlenin tüm mukavemetini kontrol eden süreksizlikler daha çok saha çalışmaları ile belirlenir. Kaya özelliklerinin belirlenmesi laboratuvar ve arazi deneyinde elde edilen ve aşağıda sıralanan verilere bağlıdır.

- Kaya kütlenin yapısı ve örtü kalınlığı
- Kaya cinsi
- RQD değeri
- Çatlak genişliği ve yönü
- Tabakalaşma
- Kaya dayanımı
- Çatlaklardaki su basıncı

4.1.5 Nihai Fizibilite Değerlendirmesi

Saha çalışmaları ve bunları takiben gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri ile yeterli güvenlikle başarılı bir tasarım yapıp yapılamayacağı belirlenebilir. Bu çalışma zemin şartlarının zemin şartlarının zemin çivisine uygunluk derecesini anlamak için gereklidir. Zemin çivisinin uygun olduğu koşullar daha önceki paragraflarda verilmiştir.

4.2 Çivi Sıyırılma Direncinin Tahmini

Tasarımda kabul edilen nihai çivi – zemin sıyırılma direncinin (Q_u) yapının güvenliğini sağlama için doğrulamak gerekir. Mobilize olan gerçek sıyırılma direnci aşağıda sıralanan faktörlere bağlıdır.

- Zemin veya kaya cinsine ve kayma mukavemeti
- Delgi duvarının pürüzlülüğü (delgi metoduna göre değişir)
- Nihai delgi çapı
- Gevşek delgi malzemesinin delgi dibinde bırakılması
- Müteahhidin delgi ve enjeksiyon tekniğine, tecrübesine ve işçiliği
- Delginin enjeksiyon öncesi açık bırakıldığı sürenin uzunluğu

Açık delgi yöntemiyle yerleştirilen çivilerin (enjeksiyonlu çiviler) sıyırılma direnci zemin koşulları izin veriyorsa tecrübelerle dayandırılmalı, tecrübeler yetersiz ise tutucu bir tasarım değeri elde etmek için sözleşme öncesi yapılacak deneylerle sıyırılma direnci belirlenmelidir.

İnşaat sırasında, tasarımda kullanılan sıyırılma direncinin doğrulanması için sıyırılma deneylerinin mutlaka yapılması gerekir. Sıyırılma deneyleri ankrajlı sistemlerin aksine her zemin çivisinde yapılmaz. Bu deneye ilişkin ayrıntılara daha sonraki paragraflarda yer verilecektir.

Çivi ve ankraj sıyırılma direncinin tahmini için izlenecek yollar ile farklı ortamlarda yapılan uygulamalardan elde edilen veriler çeşitli raporlarda toplanmıştır. Yerel deneyim ve uygulamalar, tasarım için sıyırılma direncinin elde edilmesinde kullanılabilir. Enjeksiyon ile zemin (veya kaya) arasındaki birim nihai adezyon değeri için aşağıdaki paragraflardan yararlanabilecektir.

4.2.1.1 Tavsiye Edilen birim Çevre Sürtünmesi Değerleri

Kaplama borulu veya serbest delgi içinde uygulanacak tremie enjeksiyonunda kapasite delik geometrisinin ve tabii zeminin dayanımının bir fonksiyonu olacaktır. Diğer yandan paragraf 3.2’de belirtildiği üzere belirli tesis metodu ve aynı zemin ortamı için birim çevre sürtünmesi sabittir. Ülkemizde ve dünyada genel olarak açık delgi metodu ile tesis edilen enjeksiyonlu çiviler imal edilmektedir. Bu sebeple aşağıda FHWA tarafından açık delgi yöntemi için tavsiye edilen birim çevre sürtünmeleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 Açık delgi ile tesis edilen çivilerde çivi-enjeksiyon arasındaki nihai birim çevre sürtünmesi (FHWA-SA-96-069R, 1998, Littlejohn ve diğ, 1977)

İmalat Metodu	Zemin Tipi	Nihai Sürtünme Limiti (kN/m ²)
Açık Delgi	Non-plastik silt	20-30
	Orta sıkı kum ve siltli kum/kumlu silt	50-75
	Sıkı siltli kum ve çakıllı kum	80-100
	Çok sıkı siltli kum ve çakıl	120-240
	Lös	25-75
	Katı kil	40-60
	Katı killi silt	40-100
	Katı kumlu kil	100-200
	Marn/Kireçtaşı	300-400
	Filit	100-300
	Tebeşir taşı	500-600
	Yumuşak dolomit	400-600
	Fissürlü dolomit	600-1000
	Ayrışmış kumtaşı	200-300
	Ayrışmış şeyl	100-150
	Ayrışmış Şist	100-175
	Bazalt	500-600

5. ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR TASARIMI

5.1 Giriş

FHWA-SA-96-069R yayında tavsiye edilen metot eksiksiz ve rasyonel bir tasarım sunmaktadır. Yayın esasen zemin çivili duvarların tasarımında ve inşaatında göz önüne alınacak unsurları, kabul edilecek parametrelere, ekonomik ve güvenli tasarımların yapılması için gereken tavsiyelere yer vermektedir. Bu tasarımda;

- 1) Kayma yüzeyi limit denge kavramı ile belirlenir.
- 2) Çivinin takviye etkisi için aşağıdaki faktörler ile sınırlıdır
 - i) çivi kafasının kaplamaya bağlanması ile oluşan etki
 - ii) çivinin malzeme dayanımı
 - iii) çivi-zemin ara yüzeyindeki sıyrılma direnci.
- 3) Her tür kaplama sistemi için nominal kaplama ve nominal çivi-kaplama bağlantı dayanımları rasyonel yaklaşımlarla belirlenir.
- 4) Zemin-yapı etkileşimlerine ve servis gören yapılarda yapılan gözlemlere dayanarak kaplama ve çivi kafa sistemi için tasarım toprak basıncı tavsiye eder.
- 5) Servis yükleri ve faktörlü yükler için ayrı ayrı hesap yapmak mümkündür.
- 6) Servis yükleri için hesap yaparken çivi yükü, çivi kafa sistemi yükü ve sıyrılma direnci için emniyetli değerler tavsiye edilirken zemin mukavemetine önerilen güvenlik sayıları uygulanır. Söz konusu değerler statik ve depremli yükleme durumlarında, geçici ve sistemlerde ve kritik yapılarda farklıdır.
- 7) Faktörlü yüklere göre tasarım yapılırken, yük faktörleri (>1.0) ve dayanım faktörleri (<1.0) uygulanır. Bu faktörler yükleme durumu, yapı özelliği ve görev süresine bağlı olarak değişir.
- 8) Desteklenmiş bloğun stabilitesini arttırmak ve duvar deformasyonunu sınırlamak için düzgün çivi dağılımının nasıl olması gerektiğine dair tavsiyelere yer verilir.
- 9) Kaplama ve tüm zemin çivili duvar yapısının servis görebilirliği de göz önüne alınarak kaplama donatısını için servis yükü tavsiye edilir.
- 10) Zemin çivisinin ve duvar kaplamasının “zemin çivili duvar sistemi” olarak entegre bir şekilde tasarlanmasını sağlanır.

5.1.1 Sınır Durumlar

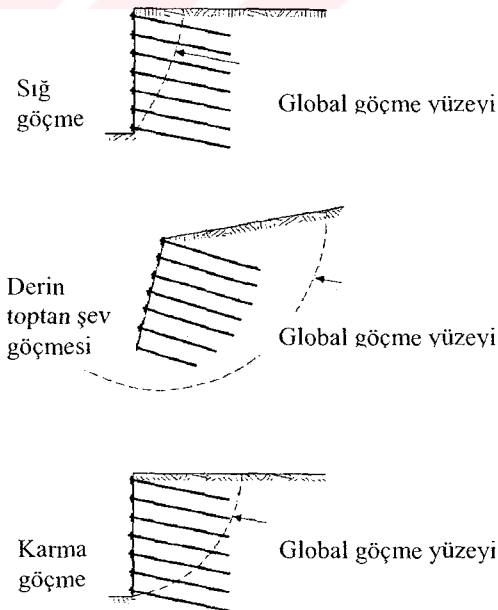
Zemin çivili dayanma yapısı tasarımında kabul edilebilir düzeydeki güvenliğin sağlanabilmesi için, fonksiyonunu kaybetmesi durumu da dikkate alınarak aşağıdaki iki önemli sınır durum tanımlanır.

- *Dayanım Sınır Durumu*: Dayanım sınır durumu zemin çivili duvarın potansiyel göçme mekanizmasının olduğu veya çökme durumuna eriştiği durumdur. Dayanım sınır durum beklenen yükler altında stabiliteyi sağlar. Deprem gibi olağan dışı yükler altında ölümcül sonuçların oluşmasının önüne geçer.
- *Servis Sınır Durumu*: Servis sınır durumu, gerilme ve deformasyon için tanımlanan sınırlamaların servis koşulları altında iken aşılıp aşırı deformasyon ve kaplama çatlaklarının oluşmasıyla yapının fonksiyonunu kaybetmesi olarak tanımlanır.

5.2 Zemin Çivili Dayanma Yapılarının Stabilitesinde Göz önüne Alınan Hususlar

Zemin çivili dayanma yapılarının dayanım sınır koşullarına ulaşmasını önlemek için tüm potansiyel göçme biçimleri incelenmelidir. Söz konusu göçme tipleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Göçme biçimleri; kayma yüzeyinin, tüm çivileri ve kaplamayı kestiği “sığ göçme”, hiç bir çiviye kesmediği “derin göçme” ve çivilerin kısmen kesildiği “karma göçme” olarak tanımlanabilir. Sığ ve karma tipi göçme biçimlerinin çivinin akması-kopması, çivinin sıyrılması, duvar kaplamasının veya kaplama çivi bağlantısının göçmesi sonucu oluşacağının göz önüne alınması gerekmektedir.

Bu aşamada, inşaat sırasında ortaya çıkan yerel stabilite probleminin imalat öncesinde tespit edilerek, kritik kazı yüksekliği aşılmayarak veya birinci kademe püskürtme betonu çivi tesisi öncesinde uygulanarak önlemek gerekmektedir.

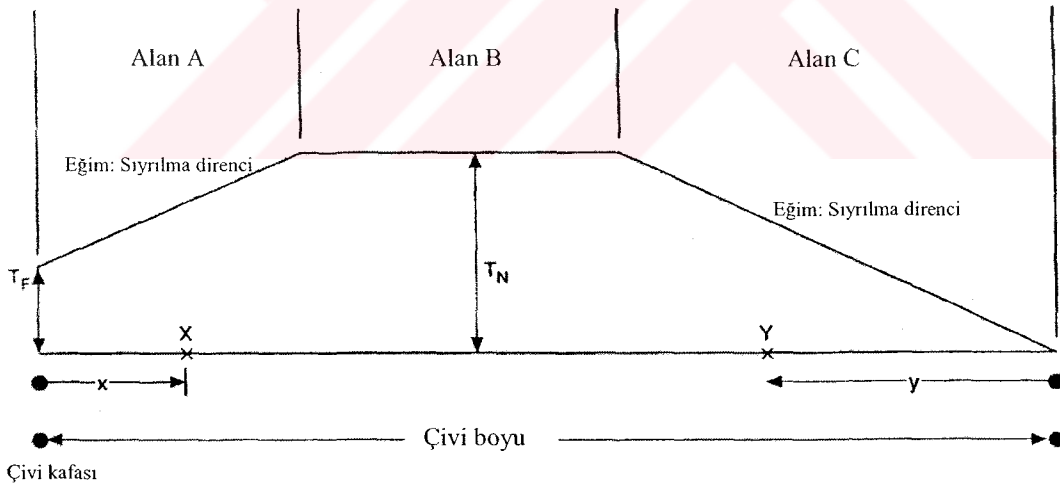


Şekil 5.1 Zemin çivili duvarlarda kritik kayma daireleri (FHWA-SA-96-069R, 1998)

5.2.1 Temel Kavramlar

Limit denge yaklaşımı ile tasarlanan zemin çivili sistemin göçme durumundaki global güvenlik sayısı araştırılır. Çiviler stabiliteyi arttırmayı; kohezyonsuz zeminlerde normal gerilmenin dolayısıyla kayma gerilmesinin artışıyla ve kohezyonlu-kohezyonsuz zeminlerde kayma yüzeyinde mobilize olan kaydırıcı kuvveti düşürerek sağlarlar.

Herhangi bir kayma kamasında, çivinin takviye etkisi kayma yüzeyinin çiviye kestiği kesimiyle alakalıdır. Çivinin takviye dayanımı, çivi çekme kapasitesi, çivinin sıyırılması veya kaplama-çivi başı bağlantı sistemindeki yapısal göçme ile sınırlandırılabilir. Şekil 5.2’de kayma dairesinin zemin çivisini kestiği bölgeye göre çivi desteğinin değişimi gösterilmiştir. Bu bölgeler incelendiğinde kayma dairesinin A bölgesinden geçmesi halinde çivinin stabiliteye olan katkısı çivi-kaplama bağlantısı ile kaplama kayma dairesi arasındaki zeminin sıyırılma direnci toplamıyla sınırlıdır. Benzer şekilde, kayma dairesinin B bölgesinden geçmesi halinde çivi çekme dayanımı stabilite açısından belirleyici olacaktır. Son olarak kayma dairesinin C bölgesinden geçmesi halinde çivi ancak kayma dairesi arkasındaki bölgede mobilize sıyırılma direnci kadar etkili olacaktır.



Şekil 5.2 Çivi ve kaplamanın takviye etkisi

Ayrıca üst sıra çivilerin bazı kayma daireleri tarafından kesilmediği durumlar mevcuttur (Şekil 5.1). Bu durumda üst sıradaki çivilerin söz konusu kayma dairesinin stabilitesine etkisi yoktur. Ancak bu çiviler daha sık (kazı yüzeyine yakın) kayma dairelerinin desteklenmesinde görev yaparlar.

5.2.2 Çivi İç Stabilitesi

Bir çivinin sisteme katkısını aşağıdaki unsurlar sınırlar.

- Çivi çekme mukavemeti
- Sıyırılma veya krip kontrollü zemin enjeksiyon aderansı
- Enjeksiyon-çivi aderansı

5.2.2.1 Çivi Çekme Dayanımı

Eğer çivinin maruz kaldığı yük çekme kapasitesinden büyük ise akma ve göçme mekanizmaları oluşur. Nominal çivi dayanımı, T_{NN} , çivinin maksimum çekme dayanımını belirtmek için kullanılacaktır.

$$T_{NN} = A_b \cdot F_y \quad (5.1)$$

A_b : nominal çivi kesit alanı

F_y : akma gerilmesi

Konservatif bir yaklaşımla çivi dayanımı olarak sadece çekme dayanımı göz önüne alınıp yüksek deformasyonlarda oluşan eğilme ve kayma etkileri ihmal edilecektir.

5.2.2.2 Zemin Enjeksiyon Aderansı

Ekonomik zemin çivili duvar inşaatı büyük ölçüde zemin-enjeksiyon ara yüzeyinde yeterli sıyırılma direncinin sağlanmasına ve/veya büyük çapta delgiler yapılarak birim boydaki sıyırılma direncinin artırılmasına bağlıdır (Clouterre, 1991).

Zemin-enjeksiyon arasındaki aderansın göçmeye ulaşarak sıyırılmanın meydana gelmesinin yanında zeminin uzun dönem krip davranışı da göz önüne alınmalıdır.

5.2.2.3 Çivi Enjeksiyon Aderansı

Çivi olarak kullanılan nervürlü donatılar veya bulonlar ile enjeksiyon arasındaki aderans, çivinin deformasyonuna karşı enjeksiyonda mobilize olan kayma gerilmelerinin oluşturduğu mekanik kilitlemeyle oluşur. Çivi nihai dayanımına ancak çivi çapının 12-15 katı kadarlık bir uzunlukta erişebilmektedir. Çivinin yerleştirilmesi öncesinde oluşan bir miktar pasın bir etkisi yoktur.

Çivi enjeksiyon aderansı, zemin enjeksiyon aderansından oldukça yüksek olup uygun

enjeksiyon karışımı ve düzgün yerleştirme yapılması halinde zemin çivisi uygulaması açısından kritik olmamaktadır.

5.2.3 Çivi Kafası İç Stabilitesi

Çivi kafasının mukavemeti, başta kaplamanın esneklik ve zımbalama dayanımı ve bağlantı sistemi olmak üzere çivi kafasının çekme dayanımı gibi faktörlerce kontrol edilmektedir. Diğer göçme mekanizmaları çivi kafası dayanımını belirleyici değildir.

Çivi kafası dayanımı diğer bir deyişle çivi başında mobilize olan destekleme dayanımı, çivinin tüm kapasitesinin belirlenmesi için gereken faktörlerden biridir.

5.2.4 Genel Stabilité

Geleneksel ağırlık veya konsol tipi dayanma yapılarının tasarımında aşağıdaki stabilite tahkikleri yapılmaktadır.

- Taban Boyunca Yanal Kayma Tahkiki: Desteklenmiş kütlenin arkasındaki zeminin oluşturduğu yanal toprak basıncı etkisiyle.
- Temel Taşıma Gücü ve Devrilme Tahkiki: Yapının kendi ağırlığı ve yanal toprak basıncı yükü etkisiyle.
- Şev Stabilitesi Tahkiki: dayanma yapısının konumlandırıldığı bölgenin toptan stabilitesi.

Toprak basıncı limit denge metodu ile yapılan analizlerde yukarıda verilen hususlar tahkik edilmelidir. Kayma dairesi tanımlı limit denge analizi yapılması durumunda ise taban boyunca yanal kaymanın incelenmesine gerek yoktur. Ayrıca zemin çivisi yukarıdan aşağıya doğru mevcut zemin içerisinde yapıldığından genelde temel taşıma gücü problemleriyle karşılaşılması beklenmez. Ancak yumuşak-orta katı killerde çivi yapılması ile bir ağırlık yapısı oluştuğundan tabanda taşıma gücü ve derin göçme problemleri oluşabilir.

5.3 Tasarım Metotlarının Değerlendirilmesi

Tüm dayanma yapılarının göçme sınır durumunun analizleri limit denge metoduna göre yapılır. Limit denge metodunun başlıca iki varyasyonu “toprak basıncı” ve “kayma yüzeyi” olup, takviyelerle oluşturulmuş dayanma yapıları (zemin çivili, ankrajlı) için yapılan analizlerde pratik farklılıklar gösterirler.

5.3.1 Toprak Basıncı Metodu

Geleneksel konsol veya ağırlık tipi dayanma yapılarının toprak basıncı metodu ile tasarımında duvara etkiyen bir eşdeğer toprak basıncı belirlenir. Ancak takviyeli dayanma yapılarının oluşturulması için yapılan analizlerde takviyelerin sıyrılmaması için her takviye boyunca oluşan toprak basıncının da belirlenmesi gerekir. Başka bir deyişle, takviyeli sistemlerde maksimum çekme hattının belirlenmesi gerekir. Tasarım toprak basıncının büyüklüğü, dağılımı ve yeri saha deneyimine ve deneysel çalışmaların sonuçlarına dayanmaktadır.

Tasarım toprak basıncının ve maksimum çekme hattının, toprakarme (donatılı zemin duvarlar) sistemlerde homojen ve mühendislik parametreleri bilinen zeminler ile teşkil edilmesi nedeniyle belirlenmesi mümkün olmaktadır. Ancak zemin çivili duvarlarda, duvar geometrisi, heterojen zemin koşulları, kayma mukavemeti parametreleri ve takviyelerin eğimli olması gibi faktörlerden dolayı toprak basıncının ve maksimum çekme hattının belirlenmesi son derece zordur.

5.3.2 Kayma Yüzeyi Metodu

Kayma yüzeyi limit denge metodu, belirlenen potansiyel göçme yüzeylerinin global stabilitesini göz önüne alır. Bu metot, doğal şevlerin stabilitesinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Aynı şekilde, zemin çivisi analizlerindeki tüm pratik hesap metotları kayma yüzeyi limit denge metodunu kullanmaktadır..

Takviyeli sistemler için, klasik şev stabilitesi limit denge analizlerinden türetilen teknik aynı şekilde düzlem, bi-lineer, dairesel ve log-spiral biçimdeki kayma yüzeylerini analiz edilebilmektedir.

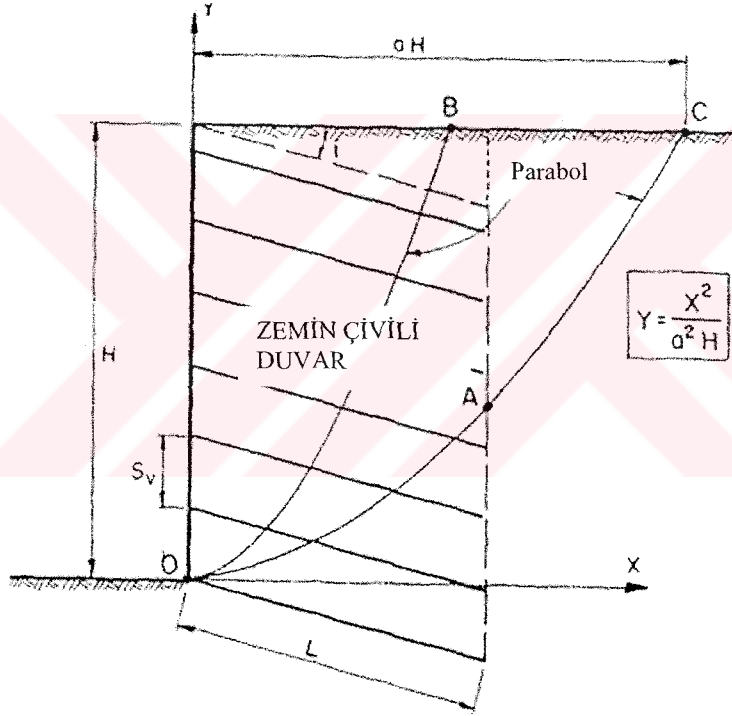
Ancak, kayma yüzeyi limit denge metodu dayanma yapısının göçme sınır durumu için yeterli güvenliği olup olmadığını araştırmakta başarılı iken, servis sınır durumu (duvar deformasyonları açısından) için yeterli değildir. Stabilitayı sağlayan minimum çivi boylarının belirlenmesi yeterli değildir. Stabilitayı sağlayan minimum çivi boylarının belirlenmesi özellikle duvarın üst kesiminde oluşması beklenen deformasyonlar nedeniyle tek başına yeterli değildir. Servis koşulları açısından yeterli performansın sağlanabilmesi için çivi dağılımı için deneyimlerle kanıtlanmış bazı kurallara ihtiyaç vardır. Bunlara daha sonraki paragraflarda yer verilecektir.

5.4 Güncel Tasarım Metotları

5.4.1 Davis Metodu

Shen tarafından Davis'te yerleşik Kaliforniya Üniversitesi'nde bir serbest cisim diyagramı yaklaşımı önerilmiştir (Shen ve diğ., 1981). Bu yaklaşım literatürde Davis metodu olarak bilinmekte olup son zamanlara kadar ABD'de yaygın olarak kullanılmıştır.

Davis metodu zemin çivili duvarın potansiyel göçme yüzeyinin duvar topuğundan geçen parabolik bir eğri ile temsil edilebileceğini kabul eder. Parabolik eğrinin zemin yüzeyini kestiği nokta ise "a" değerine bağlı olup, söz konusu geometri Şekil 5.3'de gösterilmiştir. Analizin başlangıç kabulleri aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 5.3 Davis tasarım metodu

- 1) Zemin homojen olup Mohr-Coulomb göçme kriterine uygundur.
- 2) Kazı yüzeyi düşeydir.
- 3) Arka zemin yüzeyi yataydır.
- 4) Sıfır boşluk basıncının sağlayacak yeterli drenaj sistemi mevcuttur.
- 5) Çiviler arası yatay ve düşey aralıklar birbirine eşittir.
- 6) Çivili kütle içinde çivi boyları üniformdur.

- 7) Çivilerin gömülme boyu veya aderans boyu potansiyel göçme yüzeyi arkasında kalan boyuna eşittir.
- 8) Takviye sisteminin sıyrılma direnci, zemin-çivi ara yüzeyinde mobilize olan sürtünme ve/veya adezyon kabul edilir.

Çivilerde sadece çekme kuvveti olduğu göz önüne alınır. Çiviler, çekme kopması veya sıyrılma direncinin aşılması nedenleriyle göçerler. Takviye elemanların göçme dayanımı olarak akma mukavemeti hesaplanır:

$$T_b = A_b F_y \quad (5.2)$$

A_b : nominal çivi kesit alanı

F_y : akma gerilmesi

Her çivinin sıyrılma direnci pasif bölgedeki aderans boyunca sürtünme direncinin bir fonksiyonu olarak hesap edilir. Sürtünme direnci ise zemin-çivi arasında mobilize olan kayma gerilmesi olup aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_p = \pi D L_a (\sigma_n \tan \phi_m + c_m) / S_H \quad (5.3)$$

T_p : birim duvar genişliği için çivi kuvveti

D : delgi çapı

L_a : takviyenin pasif bölgesindeki adreans boyu

ϕ_m : mobilize olan sürtünme açısı ($\phi_m = \phi / F_{\phi m}$)

c_m : mobilize olan kohezyon ($c_m = c / F_{c m}$)

σ_n : aderans boyu (L_a) üzerindeki ortalama normal gerilme

S_H : çiviler arasındaki uzaklık ($S_H = S_v = S_h$)

Limit kayma mukavemeti için tanımlanan güvenlik sayıları aşağıda ifade edilmiştir.

$$F_{\phi m} = \phi / \phi_m \quad (5.4)$$

$$F_{c m} = c / c_m \quad (5.5)$$

Burada ϕ ve c sırasıyla zeminin sürtünme açısı ve kohezyonudur. ϕ_m ve c_m ise kütlenin global dengesi sağlamak üzere en kritik kayma yüzeyi boyunca mobilize olan gerçek sürtünme açısı ve kohezyondur.

Takviye elemanın direnimi, çekme dayanımı ile sıyrılma dayanımının küçük olanıdır. Her takviye sırası için çivi direnimi belirlenip tüm duvar için bir eşdeğer toplam çekme kuvveti elde edilir ve bu değer global güvenlik sayısının araştırıldığı analizlerde dikkate alınır.

İki göçme yüzeyi durumu göz önüne alınır. Bunlardan ilki göçme yüzeyinin tamamının zemin çivili kütle içinde kalması halidir. İkincisi ise göçme yüzeyinin kısmen zemin çivili kütlein dışında kalması durumudur. Her iki göçme durumu için farklı serbest cisim diyagramı kullanılır. Öngörülen göçme yüzeyine göre, aktif bölgenin kaydırıcı kuvvetleri ile zemin reaksiyonları ve çivi kuvvetlerinin oluşturduğu direnç kuvvetlerinin limit denge analizi ile kazının tüm stabilitesi değerlendirilir. Kuvvet toplamına yönelik basitleştirici kabuller, vektörel olarak kesin doğru olmamasına rağmen, hesapları kolaylaştırıcı ve toptan güvenlik faktörünün elde edilmesine yönelik yapılmaktadır.

Diğer yandan, zeminin limit kayma mukavemeti ve sıyrılma direnci için uygulanan kısmi güvenlik sayıları eşittir.

$$F_{cm} = F_{\phi m} = F_{pull-m} = F_s$$

Güvenlik sayılarına ilişkin bu tanım genel şev stabilitesi problemindeki tanıma karşılık gelmektedir.

Zemin-çivi ara yüzeyindeki yanal kayma gerilmeleri Mohr-Coulomb göçme kriterine göre aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\tau = \sigma_v \tan \phi_m + c_m \quad (5.6)$$

Bu denklemde σ_v , aderans boyu üzerindeki ortalama normal gerilmedir.

Kuvvet dengesinin hesaplamak için gerekli olan yanal toprak basıncı katsayısı (K), genel olarak, kohezyonsuz zeminlerde 0.4 kohezyonlu zeminlerde 0.5 alınabilir. Bununla birlikte, parametrik çalışmalar güvenlik sayısının yanal toprak basıncından çok az etkilendiğini ortaya koymuştur.

Bir iteratif metot toptan güvenlik sayısını $F_s = L / H$ olarak kabul ederek başlayarak kaydırma ve direnç kuvvetlerini hesaplar. Daha sonra ise minimum güvenli sayısı elde edilir.

Genel tasarım olarak minimum güvenlik sayısının $F_s = 1.5$ alınması tavsiye edilmektedir.

Yöntem, göçen duvarların kayma yüzeylerinin ve zemin çivili model duvarların santrifüj deneyleri sırasında göçen duvar yüksekliklerinin değerlendirilmesi ile elde edilmiştir.

Basitleştirilmiş matematiksel modellere dayanan hesaplar deneysel sonuçlarla oldukça iyi benzerlik göstermektedir.

Shen tarafından önerilen denge ve göçme kabullerini kullanan Davis metodu aşağıda verilen kabullerle genişletilmiş, ve sonuç olarak Modifiye Davis metodu olarak isimlendirilmiştir.

- Ara yüzey limit kayma kuvveti, çivi birim boyu için, sıyrılma deneylerinden elde edilir.
- Üniform olmayan takviye boyu ve parametreleri ile hesap imkanı sağlanmıştır. (farklı kesit alanı, çekme dayanımı, delgi çapı, ve birim boydaki birim sıyrılma direnci)
- Duvar yüzü eğimli olarak tasarlanabilecektir.
- Duvar üzerindeki dolgu eğimli olabilecektir.
- Faktörlü zemin mukavemeti parametreleri kabul edilebilecektir.

Bu gelişmeler sonrasında zemin çivili yapıların tasarımında Davis Metodunun kullanılması yaygınlaşmıştır.

5.4.2 Alman Metodu – Stocker (1979)

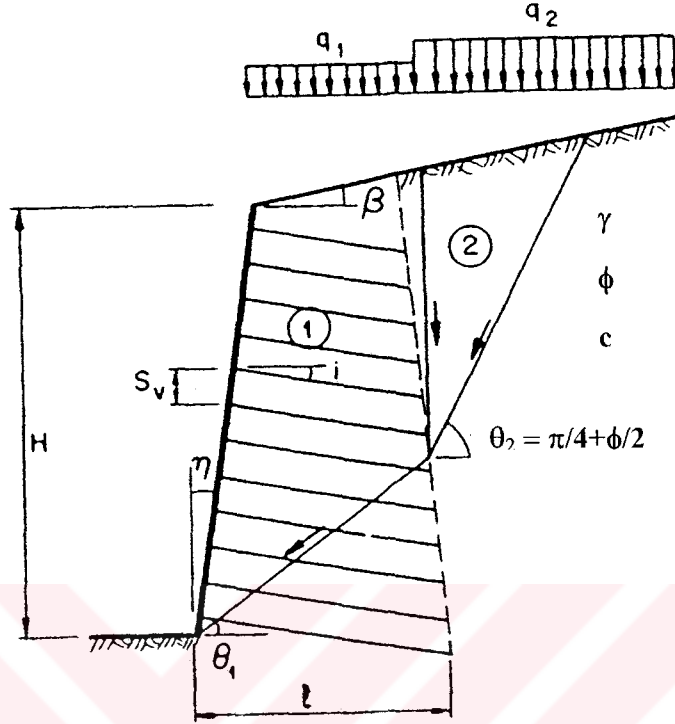
Stocker ve çalışma arkadaşları, çivilerde sadece çekme gerilmelerinin mobilize olduğunu kabul eden, bi-lineer kayma yüzeyini dikkate alan kuvvet denge limit tasarım metodunu önermişlerdir (Stocker ve diğ.,1979). Bu metot laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen tecrübeler ile geliştirilmiş daha sonra arazi deneyleri ile kontrol edilmiştir. Mohr-Coulomb göçme kriterine göre tanımlanan zeminin kayma direniminin potansiyel kayma yüzeyi boyunca mobilize olduğu varsayımı kabul edilmiştir.

Global güvenlik faktörü, mevcut çivi direnir kuvvetlerinin toplamının (ΣT_p), limit dengeyi sağlayacak gerekli toplam kuvvete (ΣT) oranıdır.

$$F_s = \frac{\Sigma T_p}{\Sigma T} \quad (5.7)$$

Bu tanım, yeterli bir drenaj sistemine sahip, zemin dayanımının tamamen mobilize olduğu kabul edilerek, ağırlık dayanma yapılarının tasarımında kullanılan genel yöntemle karşılık gelmektedir. Çivi direnir kuvvetlerinin toplamı (ΣT_p); çivilerin potansiyel kayma yüzeyinin dışında kalan kısımlarının sıyrılma dirençlerinin toplamı olarak hesaplanabilecektir. Bu değerin hesaplanabilmesi için potansiyel kayma yüzeyinin geometrisi belirlenmesi gerekmektedir. Şekil 5.4'de verilen bi-lineer kayma yüzeyi θ_1 ve θ_2 olarak tanımlanan iki açıyla tanımlanır. Bunlardan topuk bölgesindeki kamayı tarif eden θ_1 açısı, minimum güvenlik

sayısını araştırıldığı analizlerde iteratif olarak belirlenir. Bi-lineer kayma yzeyindeki diğer kamayı tarif eden θ_2 açısı ise Stocker tarafından $\pi/4+\phi/2$ olarak tanımlanmıştır.



şekil 5.4 Stocker ve diğer. tarafından kullanılan bi-lineer göçme yzeyi (Clouterre, 1991)

Diğer kayma mekanizmalarıyla, derin kayma dairelerini göz önüne alan karşılaştırmalı analizler sonucunda bi-lineer kayma yzeyi prensibine göre hesaplanan güvenlik faktörlerinin geneli temsil ettiği tespit edilmiştir.

Stocker tarafından önerilen bi-lineer kayma yzeyi prensibi büyük sürşarj yüklerinin uygulandığı ($q > \gamma H$) sınırlı sayıdaki model deneye dayanmaktadır. Bununla birlikte, diğer arazi ve laboratuar model deneylerinde sürşarj yükünün yeri ve büyüklüğü değişkenlikler göstermekte ve buna bağlı olarak tek bir doğrusal hat boyunca basit bir kayma mekanizması tespit edilmiştir. Sürşarj yükü olmayan zemin çivili dayanma yapıları incelendiğinde yukarıda belirtilen bi-lineer kayma prensibine uygun bir davranış belirlenememiştir. Gerçekte, srşarjsız duvarlarda, bi-lineer davranış ile belirlenenden daha büyük bir potansiyel kayma yzeyinin varlığı söz konusu olup, günümüzde sığ kayma dairelerinin dahi eğrisel (parabolik, spiral) formda olduğu tespit edilmiştir.

Ancak, literatürde bi-lineer kayma mekanizmasının sadece, sınırlı boyutlardaki yüksek sürşarj yükü altındaki kohezyonsuz zeminlerde uygulanabileceği belirtilmektedir.

Dik duvarlarda yapılan deneysel çalışmaların bir sonucu olarak kaplamaya Coulomb değerlerinin % 70'ine varan gerilmelerin ($0.7 \gamma H K_A$) etkidiği ve bu değer duvar boyunca uniform olduğu belirlenmiştir. Bu değerler esas alınarak kaplama tasarımı yapılabilecektir.

Gässler ve Gudehus (1981) tarafından yapılan düzenlemeler ile birlikte bi-lineer kayma mekanizmasında kısmi güvenlik faktörleri uygulanabilmektedir.

Bi-lineer kayma mekanizmasını esas alan bilgisayar yazılımları ile birlikte Alman Metodu gelişimini sürdürmektedir. Ancak, Alman Metodunun sığ kayma yüzeyleri için belirlediği lineer form günümüzde teorik ve deneysel çalışmaların sonucunda belirlenen eğrisel form ile gelişmektedir. Diğer yandan bi-lineer göçme mekanizması zemin çivili dayanma yapılarının tüm göçme mekanizmalarını kapsamamaktadır.

5.4.3 Fransız Metodu

Fransa'da yoğun bir şekilde kullanılmasına rağmen herhangi bir tasarım metodu bulunmamasından yola çıkılarak 1986 yılında Fransız Ulusal Araştırma Projesi "CLOUTERRE", deneysel araştırma programı, başlatılmıştır. 1986-1990 yılları arasında, 21 özel ve kamu kurumsal katılımcı ve yaklaşık 5 milyon ABD Doları bütçe ile tamamlanan proje sonrasında "Recommendations CLOUTERRE 1991" başlıklı tavsiye niteliğindeki yayın yayımlanmış, proje sonuçları tüm dünya ile paylaşılmıştır. Bu kapsamda Fransız metodu olarak da bilinen çoklu kriter kuralı (multi-criteria) ile analiz yapılması önerilmiştir (Schlosser, 1983). Fransız metodu, dairesel ve dairesel olmayan kayma dairelerinin araştırıldığı limit denge analizlerinde, çivi kapasitesinin yanı sıra çivi kesme kapasitesinin ve eğilme rijitliğinin stabiliteye olan katkısını, zemin ve çivinin plastikleşmesini dikkate almaktadır.

Metot, teorik ayrıntıları paragraf 3.2.2'de açıklanan çoklu kriter kuralına göre; 4 göçme mekanizmasının dikkate alınarak limit denge analizi yapılmasını önerir. Söz konusu 4 göçme mekanizması aşağıda verilmiştir.

- Yetersiz adezyon nedeniyle göçme
- Önce zeminin plastikleşmesi sonucu göçme
- Çekme ve pür kayma kuvvetleri altında çivinin göçmesi
- Önce çivinin plastikleşmesi ile göçme

Fransız metodunun göz önüne aldığı bu göçme mekanizmalarını yaygın olarak kullanılan limit denge analizi yapan bilgisayar yazılımları ile yapmak mümkün değildir. Ancak, Terrasol

geoteknik danışmanlık firması tarafından geliştirilen TALREN bilgisayar programı Fransız Metodunu kullanan (bilinen) tek programdır. Fransız yönteminde zemin, çivi parametrelerine ve sürüşarj yüklerine ayrı ayrı güvenlik sayıları uygulanabilmektedir.

5.5 Kaplama Tasarımı

Kaplamaların zemin çivili yapılarda bir çok fonksiyonu vardır (Schlosser ve diğ., 1991). Bunlar; çiviler ile çiviler arasındaki zeminin desteklenmesi ve dekoratif paneller gibi dış yüklerin taşınması olarak sıralanabilir. Ancak ilk olarak belirtilen faktör çok önemlidir. Yerel olarak çiviler arasındaki zeminin desteklenmesi gerekir. Ekstrem olarak çiviler arasındaki aralık sıfır (0) olduğunda, kaplamaya etkiyecek toprak basıncı olmayacağından, kaplama ile desteklemeye gerek kalmamaktadır. Diğer yandan, çiviler arasındaki mesafe büyük olduğunda, zeminin desteklenmesinde kaplamanın önemi artmakta, tüm toprak basıncının kaplama tarafından karşılanması gerekmekte ve daha kalın bir şekilde tasarlanmaktadır. Çiviler arası mesafe sonsuz olarak kabul edilebilecek mertebelere arttırıldığında kaplamanın klasik bir ağırlık dayanma yapısı olarak görev yapması gerekmektedir. Özet olarak, kaplama tasarımını etkileyen en önemli faktör çiviler arasındaki mesafedir.

Kaplama tasarımını etkileyen faktörlerden biri diğeri de kaplamanın rijitliğidir. Çiviler arasında toprak basıncı dağılımı üniform değildir. Düşeyde ve yatayda kemerlenme etkisi oluşur, bunlar ise çivi-kaplama bağlantılarında gerilme konsantrasyonlarını oluşturur. Bu etki özellikle zemin çivili duvarlarda imal edilen sünek kaplamalar için önemlidir.

5.6 Tavsiye Edilen Tasarım Metodu

Kayma yüzeyi belirli limit denge metodu, zemin çivili duvarın göçme sınır durumu için en uygun analiz yöntemidir. Toprakarme (donatılı zemin duvar) veya istinat yapılarında kullanılan toprak basıncı yerine kayma yüzeyi metodunun kullanılmasının nedenleri aşağıda sıralanmıştır (FHWA-SA-96-069R, 1998).

- Günümüzde, tüm tasarımcılar kayma yüzeyi limit denge metodu yaygın bir şekilde kullanmaktadır.
- Zemin tipi, duvar geometrisi, zeminin heterojen yapısı ve yükleme koşullarından etkilenen yanal toprak basıncı katsayısının belirlenmesi son derece zor olup, ampirik değerlerle tespit edilebilmektedir.

- Toprak basıncı metodunda her bir çivide maksimum çekmenin mobilize olduğu yer tanımlanamamaktadır. Kayma yüzeyi limit denge metodunda bu hattın belirlenmesine ihtiyaç yoktur.
- Kayma yüzeyi belirli limit denge metodu ile yapılan analizlerde dış stabilite için aranan taban boyunca yanal kayma tahkikini sağlama koşulu yoktur.

5.7 Plan ve Boyutlandırma

Detaylı analizlere başlamadan önce kazı planı ve duvar geometrisi ile zeminin tüm geoteknik parametreleri belirlenmelidir. Ayrıca tasarımı sınırlayıcı unsurlar (şehir şebekeleri vb.) tespit edilmeli ve ön tasarım olarak çivi dağılımı yapılmalıdır. Sınırlayıcı unsurların en önemlisi zemin çivili duvar civarındaki yapılar için izin verilebilecek toplam ve farklı oturmalarıdır.

5.7.1 Duvarın Yeri ve Boyutları

Belirlenen fonksiyona, istimlak koşullarına, saha koşullarına ilaveten çevresel ekonomik estetik ve teknik faktörlere bağlı olarak duvar kaplamasının sınırları tespit edilir. Duvar hattının ve duvar eğiminin kolay inşa edilebilir olarak belirlenmesinden sonra duvarın tepesi boyunca topoğrafik detaylandırma yapılmalıdır. Bu detaylandırma sonucunda, üst sıra çivilerin ve bunlara bağlı olarak diğer çivilerin yerleri kesin bir şekilde, hidrolik gereksinimler gibi nedenler için kot düzenlemesi yapıp yapılmaması gerektiği, duvar üstündeki konsol duvarın boyutları ve yapılacak dolgunun yeri-miktarı tespit edilebilecektir.

5.7.2 Zemin Çivisi Ön Tasarımı

5.7.2.1 Çivi Eğimi

Ön delgi sonrasında enjeksiyonlanarak tesis edilen çiviler için genel çivi eğimi 15° 'dir. İlk sıra çivilerin şehir içi tesisatlarına rastlaması ve alt sıra çivilerin tesisi sırasındaki imalat sorunları nedenleriyle bu açı daha büyük ($>15^\circ$) olabilmektedir. Çivi eğiminin yataydan uzaklaşması ile direnç kuvvetleri azalır, bu durumda yerel stabiliteye dikkat edilmelidir. Çivi eğiminin 5° 'den düşük olması halinde ise enjeksiyon işlemi zorlaşacaktır.

5.7.2.2 Çivi Aralıkları

Çiviler arasındaki mesafe ekonomik, imalat ve uniformluk açısından mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Zemin koşulları yeterli ise yatay ve düşey mesafeler 1.5m-2.0m dolayında

olup 1.5m'lik düşeyde mesafe genel olarak kazı ve imalat unsurları açısından ideal mesafe olarak görülmektedir.

5.7.3 Çivilerin Yerleşimi

Çivi başlarının yerinin tespit edilmesi bir çok faktöre bağlıdır. Çivi kolonları, yukarıdan aşağı doğru tek bir halinde –düzgün– veya şaşırtmalı olarak tesis edilebilir. Çivilerin düşeyde düzgün olması halinde; imalat kolaylığı, düşey geokompozit drenaj şeritlerinin düzgün yerleştirilmesi, çivi kafalarının korozyona karşı korunması, prefabrik panellerin montajının kolay olması gibi avantajlar sağlanmış olur. Çivilerin şaşırtmalı olarak tesis edilmesi ise inşaat aşamasında kemerlenme etkisini arttırdığından kazı stabilitesi sorunu olan zemin koşulları için oldukça uygundur.

İmalatın kolay olarak yapılabilmesi için;

- 1) Uzun ve rölatif olarak üniform yükseklikteki duvarlarda çiviler duvar tabanına paralel tesis edilmelidir.
- 2) Uzun ve rölatif olarak yüksek duvarlarda, duvar boyunca kademeler yapılmalıdır.
- 3) Kısa değişken boya sahip duvarlarda, üst sıra çiviler duvar kretine, alt sıra çiviler ise duvar tabanına paralel yerleştirilmelidir.

Üst sıra çiviler, püskürtme beton kaplama sınırından en fazla 1.0m altında inşa edilmelidir. Bu çivi, yaklaşık olarak 1. seviye püskürtme beton yüksekliğinin ortasında tesis edilmelidir. İlk sıra çivilerin seviyesinde rastlanacak gevşek zemin ve dolguyu dik keserek çivilerin daha derinlere girmesi sağlanabilir.

En alt sıra çivilerin tesis edilebilmesi için çivilerin duvar tabanının biraz üzerinde yerleştirilmesi gerekmektedir. Ancak duvar tabanı ile alt sıra çiviler arasındaki mesafe düşey aralığın 2/3'den fazla olmamalıdır.

Ayrıca çivilerin, püskürtme beton veya dış betonarme kaplama duvarın düşey ve yatay genişleme derzi ve bağlantı noktalarına gelmesi önlenmelidir.

5.7.4 Çivi Uzunluğu ve Mukavemeti

Çivi uzunluğu ve tasarım için gereken çivi dayanımı, çivi aralığı ile aynı faktörlerden etkilenmektedirler. Genelde, çivi uzunluğu duvar yüksekliğinin 0.6 – 1.0 katı kadardır. Çivi çapı ve malzemesinin aynı olması ayrı bir pratiklik sağlayacaktır. Stabilitate analizlerinde duvarın üst kesimlerinde çivi boyu nispeten kısa hesaplanmaktadır. Ancak duvarın yer

değiştirmesi, duvarın üst 2/3 kesiminin yaptığı deformasyonlar tarafından kontrol edilmektedir.

5.8 Stabilite Analizleri ve Analizlerde Zemin Çivili Duvarların Modellenmesi

5.8.1 Kritik Tasarım Enkesitinin Saptanması ve Ön Tasarım

Dizayn geometrisi ve yükleme şartlarına göre ön tasarım yapılır. Dizayn enkesitinde, tüm zemin tabakaları için mühendislik özellikleri, tasarım yer altı suyu tabakası ve sistemin maruz kaldığı yükler gösterilmelidir. Tasarımda göz önüne alınacak yük kombinasyonları Çizelge 5.1’de özetlenmiştir. Ayrıca önerilen çivi boyu, çapı ve aralıkları tasarım enkesitine eklenmelidir.

Çizelge 5.1 AASHTO şartnamesindeki yük kombinasyonları (AASHTO,1992)

Grup	D	L	E	B	RST	EQ	%
I	1	1	1	1	0	0	100
IV	1	1	1	1	1	0	125
VII	1	0	1	1	0	1	133

D: ölü yük

L: hareketli yük

E: toprak basıncı

B: suyun kaldırma kuvveti

RST: büzölme, ısı nedeniyle oluşan kuvvetler

EQ: deprem

Çizelge 5.1’de verilen yük kombinasyonları,servis yükleri analizi için, zemin çivili dayanma yapılarının tasarımıyla ilgili en yaygın yük kombinasyonları olup daha farklı bir tasarım yapılması halinde ilave yük ve yük kombinasyonları için AASHTO veya Türk Standartlarına başvurulmalıdır.

5.8.1.1 Emniyetli Çivi Kafa Yükünün Hesaplanması

Emniyetli çivi kafa yükünün deneme kaplama-bağlantı sistemi için değerlendirilmesi aşağıdaki gibi yapılır.

- 1) Öncelikle, kaplama ve bağlantı sisteminin tüm göçme biçimleri göz önüne alınarak nominal çivi kafa dayanımı tespit edilmelidir.

- 2) Her göçme biçimi için belirlenen nominal çivi kafa dayanımlarına yükleme kombinasyonuna uygun ve Çizelge 5.2’de verilen güvenlik faktörleri uygulanarak emniyetli çivi kafa dayanımı elde edilir. Elde edilen emniyetli çivi kafa dayanımlarının en küçüğü emniyetli çivi kafa yüküdür.

Çizelge 5.2 Çivi Kafa Dayanım Faktörleri (α_F) (FHWA-SA-96-069R, 1998)

Göçme Biçimi	Çivi Kafa Dayanımları Faktörleri (α_F)		
	Grup I	Grup IV	Grup VII
Kaplama Esnekliği	0.67	$1.25(0.67) = 0.83$	$1.33(0.67) = 0.89$
Kaplama zımbalama kesmesi	0.67	$1.25(0.67) = 0.83$	$1.33(0.67) = 0.89$
Modifiye taşıma plakası çekme çatlaması			
ASTM A307	0.50	$1.25(0.50) = 0.63$	$1.33(0.50) = 0.67$
ASTM A325	0.59	$1.25(0.59) = 0.74$	$1.33(0.59) = 0.78$

Emniyetli çivi kafa yükü (T_F) = α_F . Nominal çivi kafa dayanımı = α_F . T_{FN}

5.8.1.2 Minimum Emniyetli Kafa Yükünün Kontrolü

Bu aşamada, belirlenen emniyetli çivi kafa yükü zemin-yapı etkileşimi sonucunda oluşacak çivi kafa servis yükü ile karşılaştırılır. Servis durumunda oluşacak çivi kafa yükü aşağıda verilen ampirik formül ile hesaplanabilecektir.

$$t_F = F_F K_A \gamma H S_H S_V \quad (5.8)$$

Burada P_A toplam aktif itkidir. Benzer zeminde inşa edilmiş duvarlarla ilgili veri yok ise çivi kafa servis faktörü $F_F = 0.50$ alınarak tasarım yapılabilir. Aktif toprak basıncı katsayısı K_A basit durumlarda (üniform zemin şartları, sürşarj olmaması gibi) literatürde belirtilen formüller ve abaklar kullanılarak hesaplanabilecektir. Daha kompleks durumlarda (tabakaları zemin şartları, kompleks duvar geometrisi, sürşarj yükü gibi) çivi kafasına etkiyecek yük aşağıdaki formül ile belirlenebilecektir.

$$t_F = 2 F_F P_A S_H S_V / H \quad (5.9)$$

Duvara etkiyen aktif yük Coulomb kayma yüzeyi hesabından elde edilebilecektir. Bu yöntemin kullanılması halinde kaplamaya, duvarın yüklenmesine bağlı olarak, Coulomb aktif toprak itkisinin %50’si veya %70’i mertebesinde yük etkiyecektir (Gässler ve Gudehus, 1981). Çivi kafasına etkiyecek servis yükünün emniyetli çivi kafa yükünden büyük olması durumunda kaplama ve bağlantı sisteminin tasarımı değiştirilecektir. Diğer bir yaklaşım ise

çivi servis yükünün %60 veya %70'i kadarının kaplamaya etkidiği düşünülebilecektir. Depremlı durumda, çivi kafasına etkiyecek yük, t_F , elde veri olmaması nedeniyle belirlenememektedir. Bununla birlikte, deprem yükleri altında kalıcı kaplamaların herhangi bir olumsuz performansı tespit edilmemiştir. Diğer yandan kaplamanın betonarme hesabında statik yükler için 1.4 oranında artış yapılırken depremlı durumda yüklerde herhangi bir değışiklik yapılmamaktadır. Kaplamaya etkiyeen yükün belirlenmesini takiben TS 500 zımbalama ve eğilme etkileri için püskürtme beton kesit hasır çelik ile donatılır.

5.8.1.3 Tasarıma İlişkin Diğer Unsurlar

İnşaat demiri, yüksek dayanımlı çelik, fiber ve diğer malzemeler zemin çivisi olarak kullanılabilir. Tasarımda emniyetli çivi kapasitesi belirlenirken bu elemanlarının belirli bir kesimi kadarı dikkate alınır. Bu çivide çekme göçmesinin önlenmesi için tasarım aşamasında alınmış bir tedbirdir. Ancak emniyetli çivi kapasitesi büyüklüğü, çivi boyunun kısa ve/veya emniyetli sıyrılma direncinin düşük olması durumunda daha küçük olabilecektir. Bu durumda emniyetli sıyrılma direnci ve çivi boyu dikkate alınarak emniyetli çivi kapasitesi hesaplanabilecektir. Çivi tasarımında kullanılacak emniyet faktörleri ve güvenlik sayıları Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Duvar kaplamasına ilişkin emniyet faktörleri ise Çizelge 5.2'de verilmiştir. Çizelge 5.3'de verilen ve zemin için geçerli olan güvenlik sayıları stabilite analizlerinde aranan minimum değerlerdir. Normal yapılarda, statik ve depremlı yükleme koşullarında aranan minimum güvenlik sayıları, sırasıyla, $F_s = 1.35$ ve $F_s = 1.01$ dir. Çizelge 5.3'de verilen parantez içindeki güvenlik sayıları, kritik yapılar için stabilite analizlerinde aranan minimum değerlerdir.

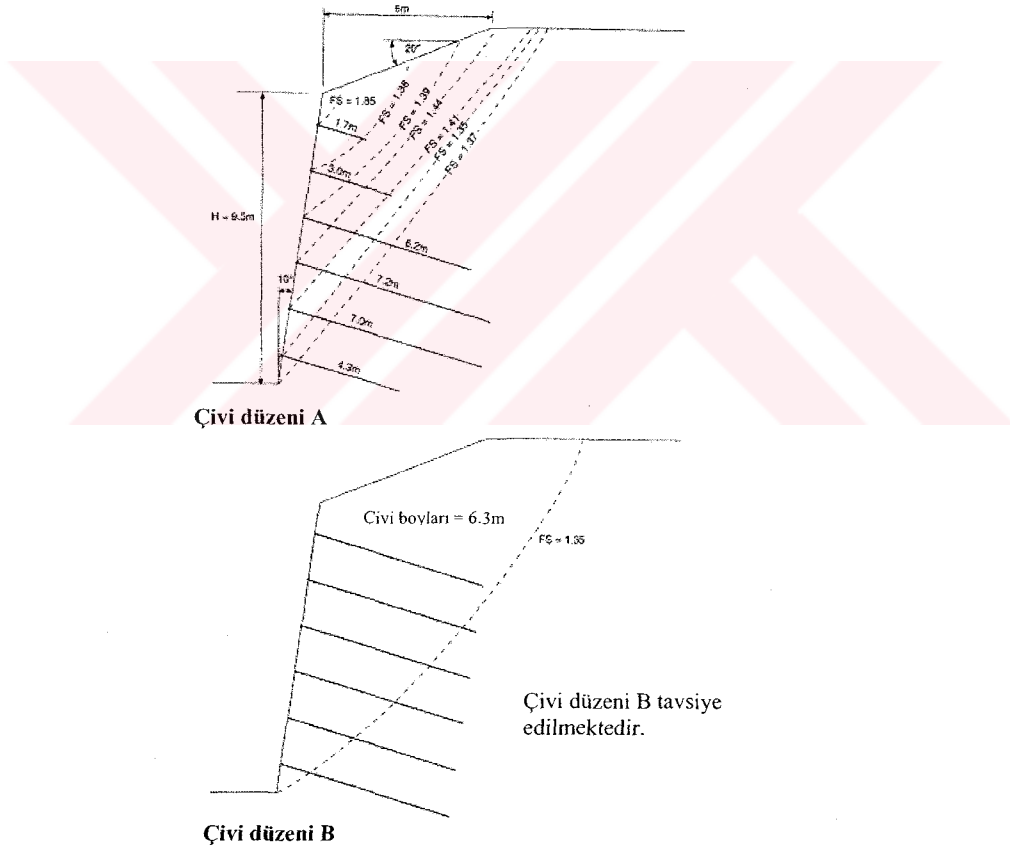
Çizelge 5.3 Dayanım faktörleri ve güvenlik sayıları (FHWA-SA-96-069R, 1998)

Eleman	Dayanım Faktörleri ve Güvenlik Sayıları		
	Grup I	Grup IV	Grup VII
Çivi Çekme Dayanımı (α_N)	0.55	1.25 (0.55) = 0.69	1.33 (0.55) = 0.73
Zemin-Enjeksiyon Sıyrılma Direnci (α_Q)	0.50	1.25 (0.50) = 0.63	1.33 (0.50) = 0.67
Zemin için Güvenlik Sayısı (F_s)	1.35 (1.50*)	1.08 (1.20*)	1.01 (1.13*)
Zemin Geçici İnşaat Durumunda Güvenlik Sayısı (F_s)	1.20 (1.35*)	-	-

* : Kritik yapılar için güvenlik sayıları

Çizelge 5.3’de, en alt satırda, duvar inşaatı sırasındaki her aşamada kazının kaymaya karşı sağlaması gereken minimum güvenlik sayıları verilmiştir. Normal ve kritik yapılar için inşaat kademelerinde sağlanması gereken minimum güvenlik sayıları sırasıyla $F_s = 1.20$ ve $F_s = 1.35$ ’tir.

Çivi boyunun stabilite analizleri ile belirlenmesi özellikle kalıcı yapılar için son derece sakıncalıdır. Tasarımda çivi boylarının duvarın üst yarısında sabit olması aşağıya doğru kademeli olarak düşürülmesi deformasyonları sınırlayıcı etkisi nedeniyle tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, yer altı suyu seviyesi duvar topuğu civarında ise alt sıra çivilerinin boylarının da kısaltılmaması gerekir. Duvar deformasyonlarının klasik stabilite analizlerinde kısıtlayıcı bir faktör olarak girilememesi aynı güvenlik sayısını veren farklı çivi boyu dağılımına sahip tasarımların projelendirilmesine sebep olmaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Farklı çivi boyuna sahip eşit güvenlikteki tasarımlar (FHWA-SA-96-069R, 1998)

Bu durumda, deformasyonlar sonlu elemanlar metodu kullanılan bilgisayar programı ile kontrol edilmelidir. Ancak bu programların da modelleme ve hesap kontrolleri oldukça zor olup bu analizler yetkin mühendislerce yapılmalıdır. Tasarımda olduğu gibi deformasyonlar

için de aynı zeminde yapılan başka zemin çivili duvarlardaki tecrübelerden faydalanılabilecektir.

Stabilite analizlerinde, alt sıra çivilerin etkisinin fazla olduğunun tespit edilmesi üst sıra çivilerin yeterli fonksiyon görmediğinin göstergesidir. Bu durumda duvarın servis performansı düşük olacaktır.

Çivi boyunun duvarın alt yarısında kademeli olarak azaltılması ve her seviyedeki çivi boyunun belirlenmesini sağlayan tavsiye niteliğindeki abak Şekil 5.6'de verilmiştir.



Şekil 5.6 Çivi boyunun duvar yüksekliğine bağlı olarak azaltılmasına ilişkin abak (FHWA-SA-96-069R, 1998)

Bu abakta;

H : duvar yüksekliği (m)

L : maksimum çivi boyu (m)

Q_d : boyutsuz sıyrılma direnci (birimsiz)

$$Q_d = \frac{\alpha_Q Q_u}{\gamma S_H S_V} \quad (5.10)$$

α_Q : 0.50 alınması önerilen sıyrılma faktörü

Q_u : birim boy için nihai sıyrılma direnci (kN/m)

γ : birim hacim ağırlığı (kN/m³)

S_H : çivi yatay aralığı

S_v : çivi düşey aralığı

Alınarak “R” faktörü belirlenir. Belirlenen bu faktör ile duvar tabanından duvar üst yarısına kadar herhangi bir seviye için (x) tavsiye edilen boy (L_x) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$L_x = L R_x \quad (5.11)$$

$$R_x = \frac{x}{H/2}(1 - R) + R \quad (5.12)$$

L_x : duvarın alt yarısındaki herhangi bir seviyedeki çivi için tavsiye edilen boy

x : duvar tabanından ölçülen mesafe

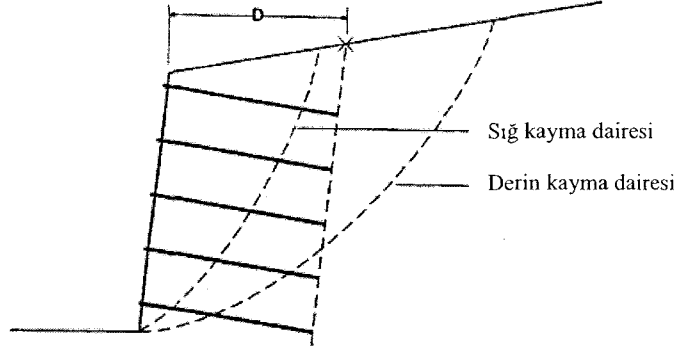
R_x : duvarın alt yarısındaki çiviler için çivi boyu azaltma katsayısı

Çivi boylarına ilişkin son değerlendirme duvar önemi ve arazi şartlarını göz önünde bulunduran tasarımcıya aittir.

5.9 Sismik Tasarım

Sismik yükleme durumu için yapılan analizde uygulanacak güvenlik sayıları ve yapısal elemanların yük faktörleri statik yükleme durumu için verilen değerlerden farklı olup paragraf 5.8’de detaylı şekilde anlatılmıştır. Kaplama inşaatı için sismik yükleme koşullarına göre tasarım yapılmasına ihtiyaç yoktur. Sismik tasarım için gerekli olan deprem katsayısı ile ilgili aşağıdaki maddeler tavsiye edilmektedir.

- 1) İlgili bölge için tasarım depremi pik zemin ivmesi katsayısı A_{PK} belirlenir.
- 2) Sığ kayma daireleri için tasarım deprem katsayısı $k_h = A = A_{PK} (1.45 - A_{PK})$ kabul edilerek analiz yapılmalıdır. Zemin çivili duvar için sığ kayma dairesi tüm çivileri kesen daire olup, tanımı Şekil 5.7’de gösterilmiştir.
- 3) Çivilerin tamamının veya bir kısmının kayma yüzeyince kesilmemesi halinde, derin kayma yüzeyleri, analizlerde kullanılacak deprem katsayısı değişecektir. Deprem katsayısı dayanma yapısının izin verebileceği yer değiştirmeye bağlı olup, yer değiştirme $250A_{PK}$ ’dan düşük ise $k_h = A = 0.5A_{PK}$ aksi halde ise AASHTO’ya bağlı olarak alınacaktır.
- 4) Takviyeli kütlelerin sismik taşıma gücü stabilitesinin tahkik edildiği hesaplarda $k_h = A = 0.5A_{PK}$ alınması tavsiye edilmektedir.



Sığ kayma dairesi : Kayma dairesinin zemin yüzeyini kestiği yer $< D$
Derin kayma dairesi : Kayma dairesinin zemin yüzeyini kestiği yer $> D$
D : Duvar üstü ile çivi ucu uzantısının zemini kestiği yer arasındaki mesafe

Şekil 5.7 Sismik tasarımda sığ ve derin kayma daireleri

5.10 Korozyon Koruması

Geçici yapılarda, 18-36 ay görev yapması planlanan yapılarda, zeminin korozyon etkisi düşük ise çivi çevresindeki enjeksiyon yeterli korumayı sağlayacaktır.

Kalıcı yapılarda ortamın korozyon etkisi düşük ise, elektrostatik işlemlerle oluşturulan 0.3mm minimum epoksi kaplama yapılması gerekir. Tümüyle kaplanmış ve zarar görmeden tesis edilen çiviler çevre etkilerinden korunacaktır. Ayrıca her 2.5m'de bir yerleştirilen merkezleyiciler ile enjeksiyonlanan delgi boyunca çivi çevresinde minimum 25mm kalınlığında kabuk oluşturulması tavsiye edilir. En dipteki merkezleyici çivi ucundan maksimum 0.30m'ye monte edilmeli ve tüm merkezleyiciler mutlaka plastik malzemeden yapılmalıdır. Ayrıca merkezleyiciler çivi çevresinde minimum 25mm enjeksiyon tabakasının oluşmasına, enjeksiyonun yer çekimi ile ilerleyerek yerleşmesine engel olmamalıdır.

Korozyon etkisinin yüksek olduğu ortamlarda kapsüllü çiviler olarak da bilinen delikli plastik kılıf içine yerleştirilen çiviler kullanılır. Enjeksiyonlama işlemi sonrasında çivi çevresinde içten dışa doğru enjeksiyon, plastik kılıf ve enjeksiyon katmanlarından oluşan bir yapı oluşur. Bu şekilde imal edilen kapsüllü çivilerde; kılıf çivi arasında minimum 5mm, kılıf zemin cidarı arasında minimum 12mm kalınlığında enjeksiyonlanmış kesim elde edilmelidir.

Koruma önlemleri alınmış çivilerin taşıyıcı plaka ve somunla bağlantısının yapılması sırasında çivi başında alınan önlemler etkisiz hale gelir. Diğer yandan bu bölge atmosfer etkilerine maruz kaldığından korozyona karşı daha hassastır.

Taşıyıcı plaka ve çivi başının tamamen kaplamanın içine gömülerek çivi başının korozyona karşı koruması sağlanır. Taşıyıcı plakanın arkasındaki epoksi kaplamalı veya kapsüllü çivi püskürtme beton sonrasında 75mm kalınlıktaki püskürtme beton ile korunarak çivinin atmosfer ile teması kesilmelidir.

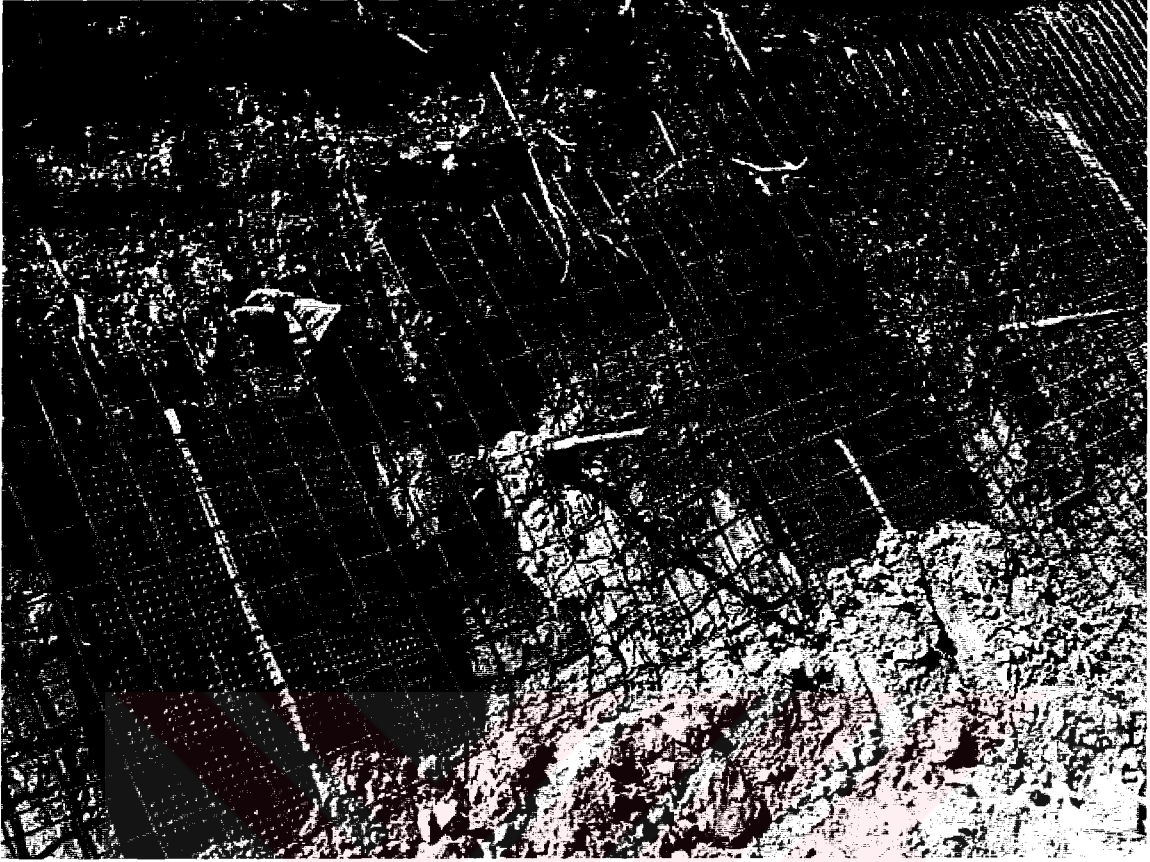
5.11 Duvar Drenajı

Zemin çivili dayanma yapılarında tesis edilen drenaj elemanları; geotekstil yüzey drenajı, kısa PVC dren boruları-barbakanlar, yüzey su geçirimsizlik kaplamaları ve su toplama hendekleri olarak sıralanabilir. Ayrıca, bitkilendirme, derin yatay drenaj borularının kullanılması ve kademeler oluşturularak buharlaşma yüzeyinin genişletilmesi gibi ek sistemler ile drenaj sistemi daha aktif hale getirilebilecektir.

İnşaat sırasında, kazı yüzeyine akan sular ile yer altı sularının ortamdaki uzaklaştırılması yeterli olmaktadır.

Birinci kademe kazının püskürtme beton kaplaması yapılırken duvar kreti boyunca açılan hendeğin püskürtme betonla kaplanarak kafa hendeği oluşturulması kabul görmüş bir uygulamadır. Kafa hendeğine uygun eğim verilerek toplanan suyun çalışma alanından uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Duvar üstündeki şevin yüzey alanının büyük olması durumunda şev üstüne serilecek plastik film ile yağmur sularının sızması önlenerek, kafa hendeğine yönlendirilen ortamdaki uzaklaştırılabilecektir. Plastik film ile duvar üstü şevinin kaplaması inşaat döneminde uygulanabilecek hızlı ve ucuz bir çözümdür. Uzun dönemde ise duvar arkasına su sızıntısı ve duvar yüzeyinden su akışını önleyecek tedbirlere ihtiyaç vardır. Bu maksatla bölgede yeşillendirme çalışmaları yapılarak suyun kolay sızması önlenilebilecektir.

Kazı yüzeyi drenajı için genelde 40 cm genişlikte olan prefabrik geotekstil drenaj şeritleri kazı yüzeyine yerleştirilerek düşey yönde drenaj sağlanır. Söz konusu drenlerle toplanan su duvar topuğundaki dren veya tabandaki barbakanlar ile deşarj edilir. Drenaj şeritlerinin yataydaki ara mesafeleri çivi aralıklarına bağlıdır. Geokompozit şerit drenlerin yerleştirilmesi sırasında duvar üstüne çıkmamasına dikkat edilmelidir (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Geokompozit şerit drenaj tabakaları

Sığ Drenler-Barbakanlar; Genelde 30 cm-40 cm uzunluğunda 5cm – 10 cm çaplarında PVC borularla duvar yüzeyi ve arkasındaki suyun drenajı sağlanır.

Yatay Drenler; Dayanma yapıları arkasında oluşması beklenen zemin suyu basıncını minimize etmek için 50 mm çapında perfore drenaj boruları yatay ile yamaç yukarı yönde 5°-10° eğim yapacak şekilde tesis edilirler. Drenler arasındaki mesafe ve dren boyları uygulama alanına özgü olup genelde bu drenlerin çivi boyundan uzun olması, 10m² yüzey alanında minimum 1 adet tesis edilmesi ön tasarım aşamasında kabul edilebilecektir. Derin yatay drenler mevsimsel yağışlar sonrasında oluşan yer altı suyu rejiminin oluşturacağı olumsuz etkileri gidermesi beklenir.

Yatay drenlerin duvar inşaatı tamamlandıktan sonra düzgün bir şekilde çalışmasını sağlamak için enjeksiyon ve püskürtme beton uygulaması sırasında drenlerin tıkanmaması ve tahrip olmaması için özenli çalışmalıdır. Drenlerin püskürtme beton imalatı sonrasında tesis edilmesi veya dren ağzların korumaya alınması yeterlidir.

Kalıcı duvarların estetik görünimleri için barbakan ve yatay drenlerden toplanan suyun püskürtme beton ile kalıcı kaplama (yerinde dökme beton, prefabrik beton panel) arasında toplanarak sistemden uzaklaştırılması düşünülmelidir.

Ülkemizde de uygulanan duvar stabilitesini kısmen arttıran zemin çivilerinin şaşırtmalı olarak tesis edilmesi geokompozit şerit drenlerin kazı yüzeyine yerleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Drenaj ağının oluşturulabilmesi için geometrinin uygun olması gerekmektedir. Ayrıca, kazı yüzeyinin yeterli düzlükte olmadığı bloklu zeminlerde şerit drenlerin kullanılması pratik olamamaktadır. Zemin çivili duvarlar hakkında Eurocode için hazırlanan taslak çalışmalarda geokompozit drenaj şeritlerinin toplam alanının kazı yüzeyinin %15'inden fazla olmaması gerektiğini belirtmektedir.

Drenaj sistemi detaylarının da gösterildiği zemin çivili dayanma yapılarına ait örnek çizimler Ek 3'de verilmiştir.

5.12 Özel Tasarım Konuları

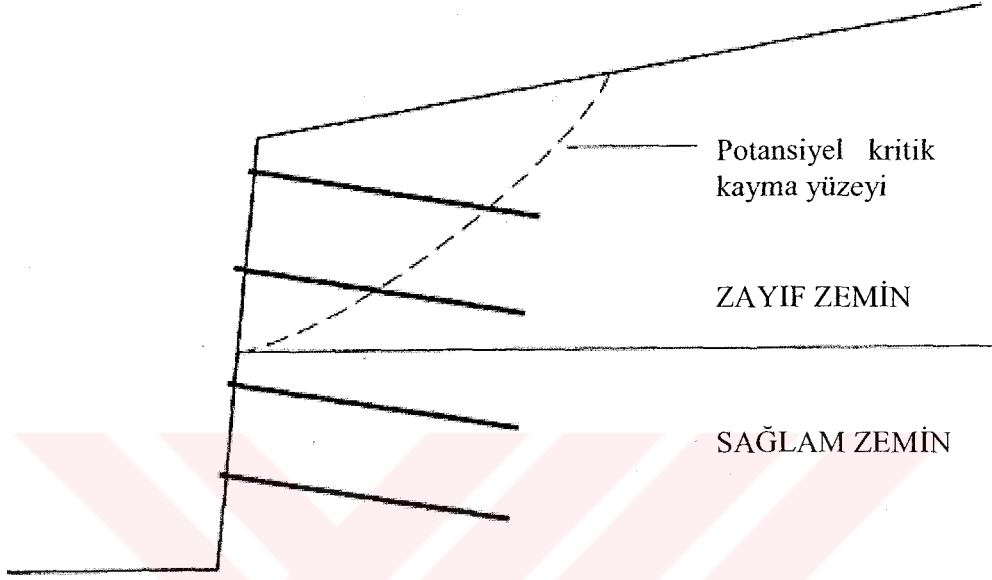
Zemin çivili duvar tasarımının ve inşaatının daha karmaşık olduğu; değişken boy ve eğimlerde tesis edilen çivilerin, heterojen zemin koşullarının, sürşarj yükünün, duvar yüzeyinin düzlemsel olmayan geometride olması durumları aşağıda incelenmiştir.

5.12.1 Heterojen Zemin Profili

Zemin çivisi in-situ zeminin stabilitesinin artırılmasında kullanılan bir teknik olması nedeniyle genelde heterojen zemin koşulları ile karşılaşmaktadır. Bu tip zemin koşulları kayma yüzeyi limit denge metotları açısından belirli bir hesap zorluğu yaratmamakla birlikte aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Günümüzde mevcut bazı zemin çivisi tasarım standartları-metotları ve bilgisayar programları tek zemin tabakası veya yatayda tabakalaşmayı öngören sınırlamalara sahiptir.
- Kaya tabakası üzerinde zemin olması gibi “sert-keskin” heterojenlik özellikleri gösteren durumlarda hassas çalışmalar yapılmalı, iyi mühendislik yargılarında bulunulmalıdır. Aksi takdirde, gerçekçi olmayan güvenlik sayıları elde edilecek, toplam çivi boyunun küçük bir kısmı geri kalan çivi boyunun stabilitesini sağlaması gibi uygun olmayan bir tasarım ortaya çıkacaktır.
- Değişken zemin özellikleri, uniform olmayan yüksek sürşarj yükleri gibi heterojen zemin

ve yükleme koşullarında kritik kayma yüzeyi duvar topuğundan geçmeyecektir. Dolayısıyla daha detaylı analizler gerekmektedir. Bu duruma örnek olarak; Zayıf zemin ve sağlam zemin tabakalaşmasının gösterildiği Şekil 5.9'den görüleceği gibi kritik kayma yüzeyi duvar topuğu yerine tabaka kontağından geçmektedir.



Şekil 5.9 Tabakalı zeminlerde potansiyel kayma dairesinin araştırılması

5.12.2 Sürşarj Yüğü

Üniform sürşarj yüğü altında homojen zemin koşullarında imal edilen zemin çivili dayanma yapılarının stabilite analizlerinde kritik kayma yüzeyi duvar topuğu çevresinden geçer. Ağır sürşarj yüğü altındaki zemin çivili dayanma yapılarında mobilize olan çivi ve kaplama kuvvetlerine ilişkin çok az yayın bulunmaktadır. Tasarımda trafik yükleri (genelde 10-20 kPa) hafif sürşarj yüğü olarak kabul edilirken toprak yükleri, temel yüğü, geleneksel dayanma yapıları ağır sürşarj yüğü olarak kabul edilir.

5.12.3 Köprü Kenar Ayakları

Zemin çivili dayanma yapılarının en yararlı uygulamaları otoyol inşaatları ve köprü alt geçitlerinin genişletilmesidir. Köprü alt geçitlerinin genişletilmesi; kenar ayak önündeki şevin yerine zemin çivili duvar inşa edilmek suretiyle yer kazanılması işidir (Şekil 5.10) .

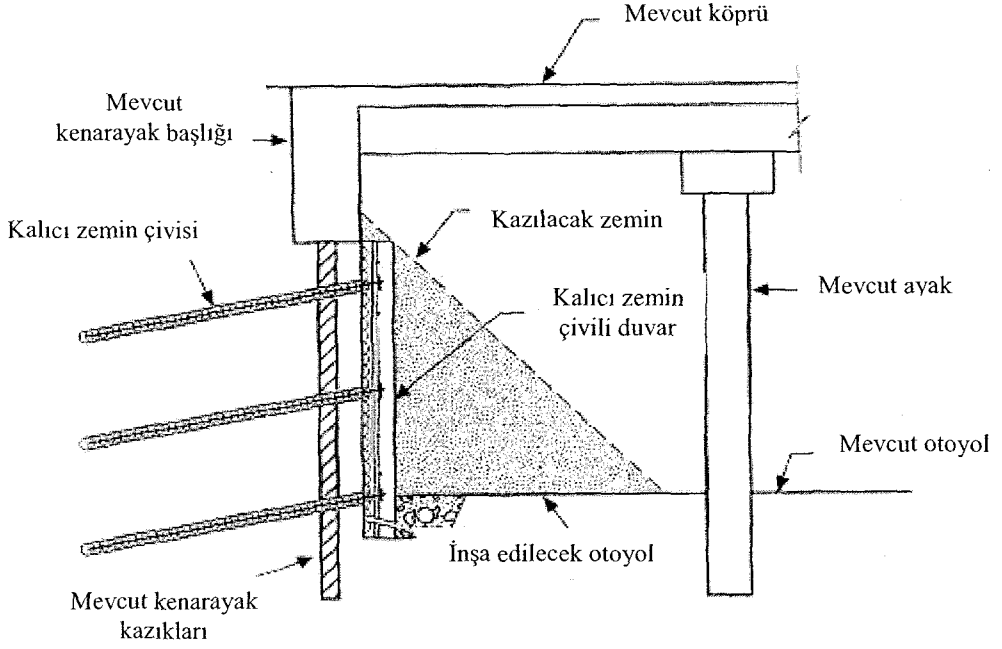
Mevcut yüzeysel veya kazıklı temellere taşıtılan köprü kenar ayağın önünde yapılan kazı nedeniyle duvar tepesinde ve köprü kenar ayak temelinde oluşacak deplasmanların kenar ayak ve üst yapının tolerans sınırı içinde olmalıdır. Bu uygulamada, köprü kenar ayaklarının yüzeysel temellere taşıtılması halinde temel zemininin çok iyi olması şartı aranmalıdır. Aksi halde, kazı sırasında temel zemininde oluşacak aşırı deplasmanlar ile köprü zarar görecektir.

Kazıklı temellere taşıtılan köprülerde, kazıkların duvar altındaki boyu yeteri kadar uzun ise kazıkların taşıma kapasitesinde önemli bir düşüş olmayacaktır. Dolayısıyla, köprü temelleri ve üst yapı şev kazısından ve duvar inşaatından etkilenmeyecektir. Kazıklar, köprüden iletilen düşey yükleri taşıyacağından inşa edilecek zemin çivili duvar ile bağımsız iki ayrı sistem olarak göz önüne alınmalıdır. Bu durumda, köprü yaklaşım dolgusu ve ilave yükler ile tasarlanacak duvarın tipik şev kazısı probleminden farklı olmayacaktır.

Diğer yandan, köprü alt geçitlerinin genişletilmesi işinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Bazı dolgular zemin çivisi uygulaması için uygun olmayabilir: Temiz gevşek granüler zeminler (kazı sırasında düşük stabilite) veya taş, blok, moloz (kazı ve delgisi zor zeminler) gibi.
- İnşa edilecek duvar arkasındaki kazık veya ayak nedeniyle çivi tesis şablonunda zorluklar oluşabilecektir. Özellikle çivilerin yataydaki aralıklarında düzensizlikler oluşabilir.
- Kenar ayak ile duvar arasındaki dolgunun sürşarj etkisi ve kenar ayak arkasındaki dolgunun etkisi ile kazıklarda oluşacak tahmini yatay deplasmanlar zemin çivili duvarın tasarımında göz önüne alınmalıdır.
- Mevcut köprü drenlerinden akan su kontrol altına alınmalıdır.

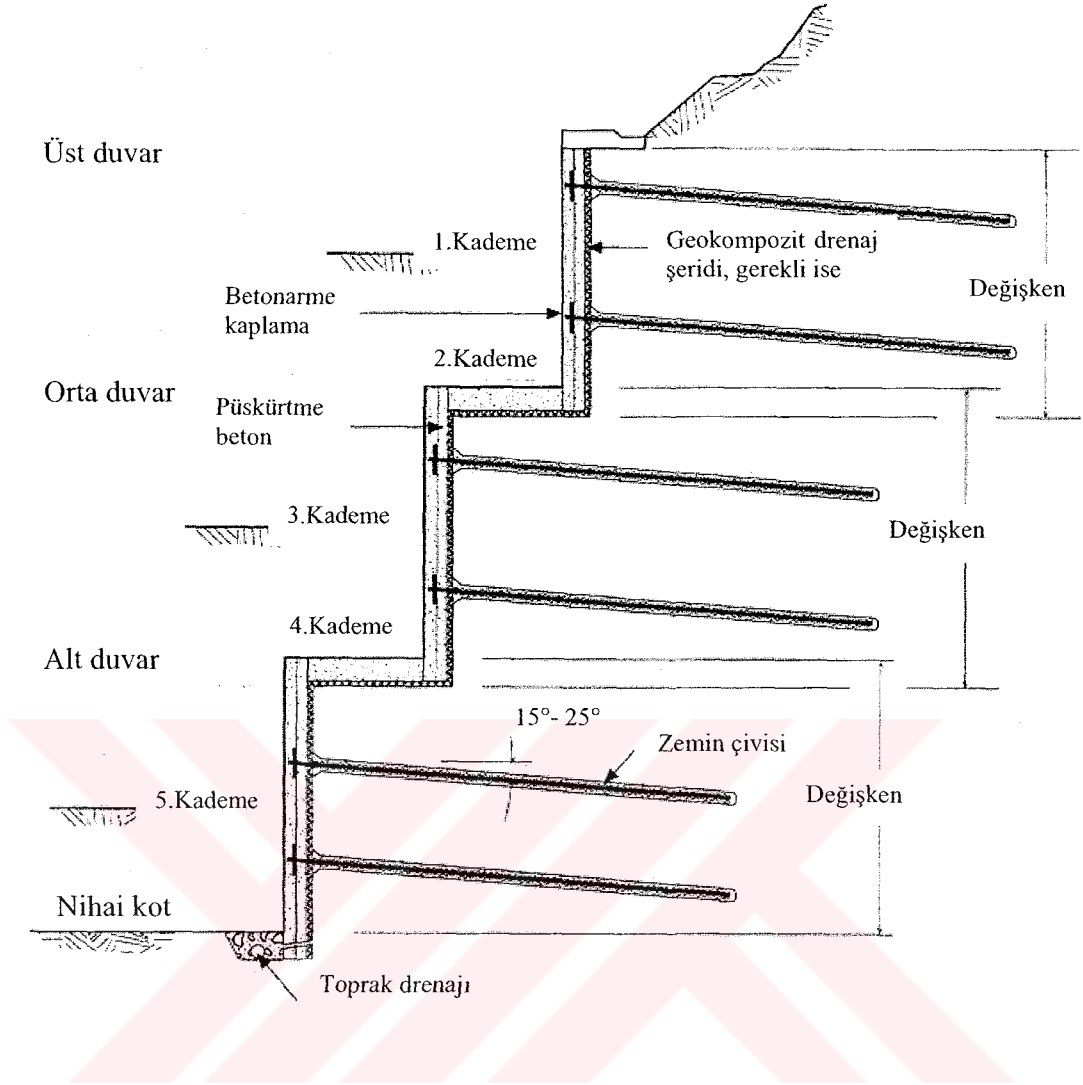
Zemin koşullarının uygun olduğu (çok sıkı zemin, uygun jeolojik koşuldaki ayrışmış kaya) durumlarda kenar ayaklar yüzeysel temellere taşıtılması halinde dahi köprü alt geçitleri genişletilebilir. Ancak, yüksek taşıma gücü gereken ve bir boyutu diğer boyutuna oranla dar olan temelden aktarılan yük üniform olmayan bir dağılım gösterecektir. Bu konuya, inşaat aşamasındaki her kazı kademesinde, kazı-çivi tesisi-püskürtme beton kaplama imalatı işlemleri için ayrı ayrı etüt edilmeli stabilitenin inşaat boyunca sağlandığı belirlenmelidir. Bu işlem zemin çivili duvarların tasarımında genel kaide olmasına rağmen köprü kenar ayakları civarındaki yüksek sürşarj yükü ve üst yapının deplasmanlara gösterdiği hassasiyet göz önüne alındığında detaylı incelemenin gereği anlaşılabacaktır.



Şekil 5.10 Mevcut köprü ayağı altında zemin çivili duvar inşası

5.12.4 Palyeli-Kademeli Kazılar

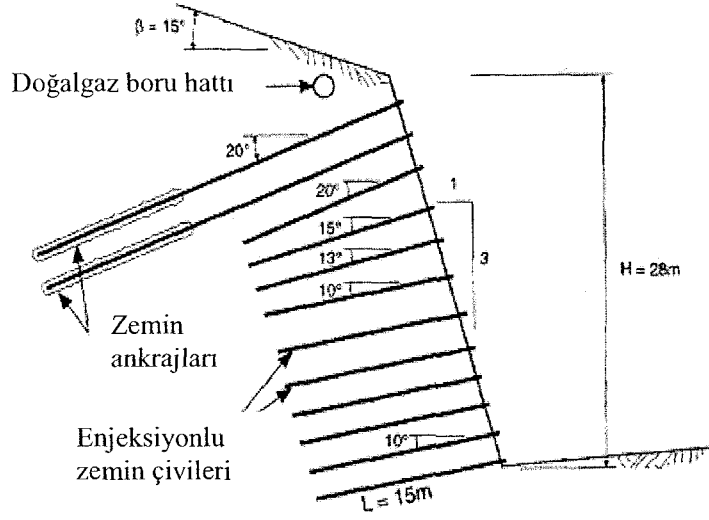
Estetik gereksinimler palyeli-kademeli zemin çivili duvarlar ile karşılanabilmektedir (Şekil 5.11). Yatayda oluşturulan platformlarda genelde bitkilendirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu platformların küçük olduğu durumlarda zemin çivili duvar eşdeğer eğik yüzlü bir zemin çivili duvar gibi davranış göstermektedir. Oysa platformların geniş olması durumunda (kademe yüksekliğinin 1.5 katı gibi) her kademe ayrı bir duvar gibi çalışacaktır. Ancak tasarım açısından küçük veya büyük platformlara sahip kademeli zemin çivili duvarların tüm kademelerini içine alan kesitin incelenmesi zorunludur.



Şekil 5.11 Zemin çivili kademeli duvar

5.12.5 Kompozit Yapılar

Zemin çivisi ile oluşturulabilen farklı kompozit yapılar mevcuttur. Şekil 5.12’de gösterilen üst seviyelerin (genelde birinci ve ikinci kademe kazılar gibi) aktif zemin ankrajları ile desteklenmesi zemin çivileri ile oluşturulan kompozit yapılara en tipik örnektir. Bu tip uygulamalarda, derin kayma yüzeylerine karşı stabilite artışı ve duvar üst seviyelerindeki deplasmanların sınırlanması sağlanarak duvar yakınındaki kritik yapıların güvenliği artırılır. Derin kayma daireleri ile ilgili problemler, daha çok duvar üstü şevinin eğiminin yüksek olduğu ve kullanılan malzemenin nispeten düşük dayanımda olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.12 Zemin çivili kompozit duvar

5.12.6 Değişken Çivi Boyuna Sahip Yapılar

Değişken boydaki çivilerin hesaplanmasında herhangi bir sınırlama yoktur. Ancak servis yükleri altındaki deformasyonların izlenmesi neticesinde çivi boylarının göreceli olarak üniform olduğu uygulamalarda (özellikle, üst kesimlerde, duvar yüksekliğinin $2/3 \sim 3/4$ kadarlık kısmında) deformasyonların minimize edildiği tespit edilmiştir. Alt kesimdeki çivilerin boyu ise bu bölgedeki zemin-çivi etkileşimiyle maksimum çivi yükünün çivi kafasına daha yakın bir yerde mobilize olması nedeniyle kısaltılabilecektir.

Üst sıra çivilerin, çoğu kez şehir altyapısına ve komşu bina bodrumlarına rastlaması nedeniyle kısa tutulması gerekmektedir. Ancak her koşulda, çivilerin üstteki zemin kamalarının lokal stabilitesini sağlayacak uzunlukta olmalıdır. Üst sıradaki çivilerin boylarının kısa olması, duvar stabilitesini belirleyen derin kayma dairelerinin güvenliğine ve yüzey deformasyonlarını olumsuz etki yapmaktadır.

Duvar tepesindeki deformasyonlar uzun çiviler kullanılarak azaltılabilecektir. Üst sıralarda kısa çivi kullanımından mümkün mertebede kaçınılmalıdır. Diğer yandan şehir içindeki uygulamalarda üst seviyelerde kısa çiviler yaygın ve başarılı olarak uygulanmaktadır.

5.12.7 Çivi Eğimi ve Doğrultusu Değişken Yapılar

Zemin çivilerinin yataydan 15° eğimle tesis edilmesi genelde benimsenmiştir. Teorik olarak ise çivinin yatayda (0° eğimle) tesis edilmesi, destekleme ve deformasyonları kontrol altında tutmak yönünden daha verimlidir. Çivilerin 15 dereceden daha eğik olması çivinin asli fonksiyonu olan şevin desteklenmesinde yük kaybına, çivinin yataya yakın olması ise gravite ile yapılan enjeksiyonun zor gerçekleştirilmesine neden olmaktadır. Ancak şehir içi uygulamalarda üst sıra çivilerin $20^\circ - 25^\circ$ eğimle yapılması ve köprü altı gibi çalışma alanı sıkıntılı olan yerlerde yine üst seviyelerde (aşağıya inildikçe makinenin çalışabileceği alan genişleyecektir) çivilerin yatayda tesis edilmesi iksa sisteminin uygulanabilmesi için ortaya çıkan zorunlu çözümlerdir.

Zemin çivileri genelde duvar kaplamasına dik olan düşey düzlemde tesis edilirler. Ancak Şekil 5.13’de görüldüğü gibi duvar yüzeyinin dış eğriliğinin olması halinde çivilerin düşeyde eğimli tesis edilmesi gerekebilmektedir.



Çivilerin düşeyde eğimli tesis edilmesi (birimler derece)

Şekil 5.13 Köşelerde çivi düzeni

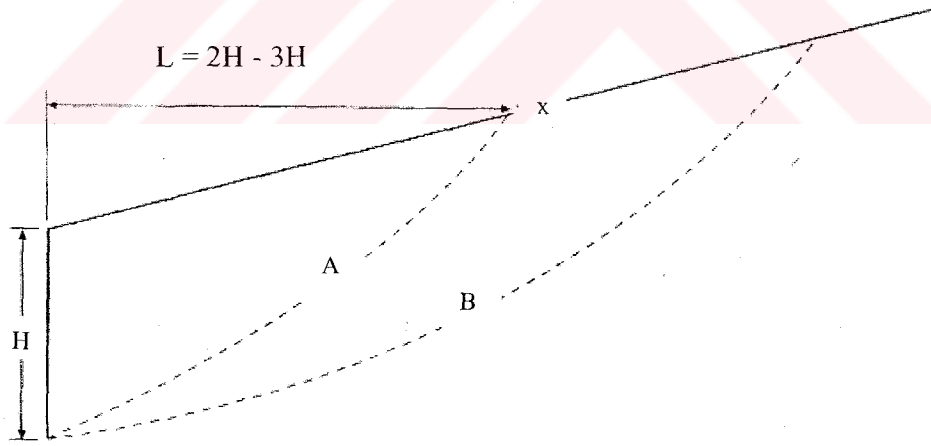
Farklı doğrultuda tesis edilecek olan çivilerin birbirlerini kesip kesmedikleri proje aşamasında tespit edilmeli, uygulamayı yapacak saha ekibine bu kesişme ile ilgili olarak detaylı bilgi

verilmelidir. Farklı doğrultudaki çivilerin boyu, hesaplardan elde edilen duvar yüzeyine dik mesafeyi sağlayacak uzunlukta olmalıdır.

5.12.8 Sonsuz Şev Durumu

Zemin çivili dayanma yapısının sonsuz şevin topuğunda yapılması durumunda, analizlerde elde edilen güvenlik sayılarının dayanma yapıları için öngörülen değerden düşük olması halinde tasarım gözden geçirilmelidir. Genelde, analizlerde kısmen hatalı bir işlem olarak muhtemel kritik kayma dairesi tüm şev boyunca araştırılmaktadır. Analizlerde şevlerin sınırlanmadığı için zemin çivili duvar yerine sonsuz şevin stabilitesinin incelenmektedir. Bu şekilde yapılacak analizlerde çok uzun ve yüksek kapasiteli çivilere gerek görülecektir. Bunlar genel olarak ekonomik ve pratik olmayan çözümlerdir. Sonsuz şevin topuğunda yapılacak zemin çivili dayanma yapısının tasarımında aşağıdaki hususların uygulanması tavsiye edilmektedir.

- Şevin global stabilitesi diğer yöntemlerle bağımsız bir şekilde belirlenmelidir.
- Zemin çivili duvar, potansiyel kayma dairesinin yeri Şekil 5.14'deki gibi sınırlanarak tasarlanabilir.



A tipi kayma yüzeyi: Kayma yüzeyinin sınırı duvarın 2H-3H kadar arkasında ise duvar için gereken güvenlik sayıları araştırılır.

B tipi kayma yüzeyi: Kayma yüzeyi sınırının daha derin olması halinde doğal şevler için aranan güvenlik sayıları araştırılır.

Şekil 5.14 Sismik tasarımda sığ ve derin kayma dairesi sınırları (FHWA-SA-96-069R, 1998)

5.12.9 Sismik Yükleme Altındaki Performans

Mevcut deneyimler, zemin çivili duvarların deprem yükleri altında iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. Bunların en önemlisi 17 Ekim 1989 yılında, 7.1 büyüklüğündeki Loma Prieta, Kaliforniya Depremi sonrasında bölgedeki zemin çivili duvarların performansının araştırıldığı çalışmadır (Folio ve diğ., 1990). İncelemeler sonrasında San Francisco körfezi civarındaki, yüksekliği 2.7m ile 9.8m arasında değişen 8 duvar üzerinde yapılan çalışmaların ve gözlemlerin konu edildiği bir rapor hazırlanmıştır.

Önemli deprem hasarlarının ortaya çıktığı Santa Cruz'daki de dahil olmak üzere hiçbir duvarda yük kaybı tespit edilememiştir. Kaliforniya Üniversitesi Santa Cruz Kampüsü'ndeki 4.6m yükseklikteki zemin çivili duvar episantrdan 18km uzaklıkta olup bölgede 0.47g yatay yer ivmesi ölçülmüştür.

Çizelge 5.4'de Loma Prieta depremi sırasında incelenen duvarlar ve bunların statik ve depremli yükleme koşullarındaki güvenlik sayıları verilmiştir. Çizelgeden görülebileceği gibi statik durumdaki güvenlik sayılarının yüksek olması, duvarların tasarımında kullanılan ve Güney Kaliforniya için öngörülen 0.4g-0.7g arasında değişen deprem ivmelerinin yüksek olmasıdır. Bir başka deyişle, söz konusu bölgedeki tasarımları deprem ivmesi kontrol etmektedir. Bununla birlikte, statik yükleme koşulları altında minimum güvenlik sayısını karşılayacak şekilde tasarlanan zemin çivili duvarların 0.25g-0.30g den küçük deprem ivmelerinde herhangi bir ilave önlem alınmasına gerek kalmayabilecektir.

Çizelge 5.4 Loma Prieta depremi sırasında incelenen duvarların çeşitli ivmeler için güvenlik sayıları

Yatay ivme katsayısı k_h	Zemin çivili duvarlar							
	Duvar 1 H = 6.1m	Duvar 2 H = 4.0m	Duvar 3 H = 4.6m	Duvar 4 H = 3.7m	Duvar 5 H = 5.5m	Duvar 6 H = 9.8m	Duvar 7 H = 2.3m	Duvar 8 H = 7.9m
0.0	2.28	2.53	3.30	5.15	1.88	1.59	3.07	1.64
0.1	2.00	2.26	2.75	4.44	1.52	1.35	2.68	1.51
0.2	1.74	1.96	2.32	2.80	1.27	1.17	2.35	1.39
0.3	1.51	1.71	2.01	1.99	1.10	1.02	1.97	1.19
0.4	1.31	1.43	1.76	1.54	0.97	0.89	1.64	1.03
0.5	1.16	1.18	1.53	1.26	0.86	0.78	1.39	0.91

Taralı alanlar deprem sırasında söz konusu duvar civarında ölçülen en büyük yer ivmesine karşılık gelen güvenlik sayılarıdır.

Sonuç olarak, esnek bir sistem olan zemin çivili duvarlar Loma Prieta depreminde beklentilerin ötesinde iyi performans göstermiş ve bunun tespit edilmesi üzerine zemin çivili duvarların uygulaması yaygınlaşmıştır. Diğer yandan zemin çivili dayanma yapılarının deprem yükleri altındaki davranışı hakkında halen araştırılması gereken bir çok unsur bulunmaktadır. Daha ciddi yükseklikte ve farklı zemin koşullarında inşa edilen duvarların davranışlarının izlenmesi gerekmektedir.

5.12.10 Don Koruması

Dona yatkın zeminlerde püskürtme beton civarında buz mercikleri oluşması olası bir durumdur. Buz merciklerinin oluşması hem kaplama hem de çivi kafasında büyük yüklerin oluşmasına neden olabilir. Çivi boyunca enjeksiyon yapıldığından ve söz konusu yükün çiviye aktarılamamasından bu yükün çivi tarafından karşılanması, çivinin deplasman yapması mümkün olmamaktadır. Bu fenomen kaplamada hasar oluşturur. Kaplama direncinin yüksek olduğu durumlarda ise hasar çivi kafası-püskürtme beton bağlantısında oluşur.

Kaplamaya ve çivi kafasına etkiyen yükün büyüklüğü don bölgesinin derinliğine, yoğunluğuna, don süresinin uzunluğuna ve ortamda su bulunup bulunmamasına bağlıdır. Don etkisi püskürtme beton ile dış kaplama (ikinci kademe püskürtme beton, yerinde dökme beton duvar veya prefabrik panel) arasına poroz geri dolgu-izolasyon malzemesi (polistiren köpük) yerleştirilerek minimize edilebilir.

5.13 Estetik

Ülkemizde kalıcı istinat yapılarının estetik görünümleri lüks sayılmaktadır. Yurtdışında ise mimari ve estetik unsurlar duvar tasarımını etkileyen faktörlerin başında gelmektedir. Esasen her geometrik formda duvarın oluşturulmasına imkan sağlayan zemin çivili duvar uygulaması estetik düzenlemelere son derece yatkındır. Duvarın kademeli, eğik, duvar üstünün ve dönüşlerinin yumuşak hatlara sahip olması, betona katılan renk verici pigmentler, palye ve kademelerde bitkilendirme çalışmaları ile son derece estetik duvarlar oluşturulabilmektedir.

6. ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARINA İLİŞKİN VAKA ANALİZLERİ

Bu çalışma kapsamında İstanbul ili sınırları içerisinde farklı müteahhitlerce inşa edilmiş iki zemin çivili duvar incelenmiştir. Vaka1 ve Vaka2 olarak adlandırılacak duvarların incelenmesinde öncelikle proje müelliflerince kabul edilen parametre ve kabullere göre tahkikler yapılmıştır. Daha sonra farklı bir tasarımın yapılıp yapılamayacağı araştırılmıştır.

İncelenen vakaların analizlerinde global stabilite için kayma dairesi belirli limit denge metodu ile hesap yapan GEO-SLOPE firmasına ait SLOPE/W bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Hesaplarda lokal stabilite emniyetli zemin ve çivi parametreleriyle global stabilite yapılması dolayısıyla ayrıca tahkik edilmemiştir. Kontrol hesaplarında proje müelliflerinin, farklı tasarımın araştırıldığı hesaplarda ise FHWA-SA-96-069R yayında tavsiye edilen çivi ve zemin parametreleri dikkate alınmıştır.

Zemin çivili duvarların tasarımında, duvarların stabiliteleri analiz edilirken aranan minimum güvenlik sayısı normal yapılar için $F_s = 1.35$, kritik yapılar için $F_s = 1.50$ 'dir. Ayrıca kayma dairesi belirli limit denge analizi yapılırken stabilite analizlerinde, kayma dairesinin konumu çok önemlidir. Tüm stabilite analizlerinde, kayma dairesinin duvar kretinden ne kadar uzakta zemin yüzeyini kestiği kontrol edilmelidir. Sığ dairelerin, kazı yüzeyine daha yakın dairelerin daha yüksek güvenlik sayıları sağlayacağı bilinmeli ve duvar veya şev için uygun analiz sınırları tespit edilmelidir. FHWA-SA-96-069R'da belirtildiği üzere sonsuz şev durumu olduğunda duvar stabilitesi için duvar yüksekliğinin 2 veya 3 katı kadar duvar kretinden ötede geçen potansiyel kayma yüzeyleri duvar tasarımı için kullanılabilir. Daha öteden geçen daireler için ise klasik destektsiz şevlerin analizinde aranan güvenlik sayıları irdelenmelidir.

Diğer önemli bir unsur ise zemin-enjeksiyon arasındaki sıyrılma direncinin (adezyon) uygun seçilmesidir. Yüksek seçilebilecek adezyon değeri özellikle kayma dairelerinin çivileri kısmen kestiği durumlarda önem kazanmaktadır. Zemin çivisi tasarımı da yapabilen stabilite analiz programlarında, genel olarak sistem ankrajlı sistemlere benzetilmektedir. Belirlenecek adezyon, çivi çalışma yükü ve delgi çapı dikkate alınarak bir kök boyu hesaplanır. Bu aşamada zemin çivisinin tamamen enjeksiyonlu olarak imal edilmesi ayrı bir konu, analiz için bir modelleme yapılması ayrı bir konudur. Bu noktadan hareketle, çalışma yükleri ve kök boyları ile çiviler bilgisayar programına girilir. Stabilite programları zemin çivisi için tanımlanan kök boyunun potansiyel kayma dairesi arkasında kalan kısmı kadarını direnç kuvveti olarak hesaba katacaktır. Ancak yanlış belirlenecek, adezyon değerinde çivinin kök boyu değişecektir. Yüksek adezyon belirlenmesi halinde, kök boyu kısa olacak ve kayma

dairesinin çiviye kısmen kestiği durumlarda yüksek güvenlik sayıları elde edilecektir. Tersine, düşük adezyon değerlerinde ise kök boyu uzayacak ve daha konservatif tasarım yapılmış olacaktır.

Zemin - çivi etkileşimi sonrasında çiviler, ortamın kayma mukavemetini artırır ve bir nevi kompozit yapı oluştururlar. Zemin çivisi için pek de uygun olmayan gevşek yerleşmiş veya yumuşak kıvamdaki zeminlerde yüksek kapasiteli çiviler kullanmak yerine nispeten daha az yük taşıyabilen çivilerden daha sık kullanmak uygun olacaktır. Zira, oluşturulacak kompozit yapıda, çiviler arasındaki zayıf bölgenin mümkün mertebe az olması daha hafif bir kaplama sisteminin tasarlanmasını sağlayacaktır.

Zemin çivili sistemlerle ilgili bir diğer yanlış ise tasarımların metrekaşe ve çivi boyu bazında kıyaslanmasıdır. Zemin çivili duvarların inşaatı sonrasında ülkemizdeki zemin ve temel mühendisliği kongrelerinde sunulan vakalar ilgi çekicidir. Bir çok duvarın geçici iksa perdeleri olarak kullanıldığı, yeterli güvenlikte olduklarına dair bir bilginin bulunmadığı ve proje deformasyon limitlerinin sunulmadığı dikkate alındığında zemin çivili duvarların her koşulda inşa edilemeyeceği hatırlanmalıdır.

Özellikle iksa sistemlerinde, civarda deformasyonlardan etkilenebilecek yapılar var ise, kompozit duvarlar inşa etmek daha uygun olacaktır. Zira, çivilerin beklenenden daha fazla deformasyon yapmaları halinde sistemin duvar üstünden başlayarak aşağıya doğru ilave çiviler veya ankrajlar yapmak gerekecektir. Duvar topuğundan mesnetli konsol giriş gibi çalışan zemin çivili duvarlarda duvar topuğundan yapılacak uygulamalar deplasmanlar kontrol edilmesi açısından önemli olmayıp, sadece konsol boyunu kısaltmaktan öteye gitmeyen bir çözüm olacaktır. Bu suretle yapılacak çiviler yapılacak analizlerde stabiliteyi artırırken, duvarın alt kesimindeki çivilerin stabilitede etkili olması FHWA-SA-96-069R nolu yayında üstteki çivilerin görevini tam olarak yapmaması ile açıklanmaktadır.

6.1 VAKA 1

Vaka 1 olarak adlandırılan zemin çivili duvar, İstanbul ili içerisinde genelde yüksek blokların inşa edildiği Beşiktaş ilçesindeki bir yapının temel kazısı için inşa edilmiştir. Söz konusu temel kazısı 50m x 200m boyutlarındadır. Temel kazısının bazı cepheleri zemin çivili bazı cepheleri de zemin çivisi ve ankraj ile fore kazıktan oluşan iksa sistemi ile projelendirilmiştir. Zemin çivili duvar olarak projelendirilen kesitler içerisinde, 25.0m yüksekliğe erişen ve bu

çalışma kapsamında incelenen duvar geçici yapı olarak ön görüldüğünden nispeten esnek bir sistemle donatılmıştır.

İncelenen zemin çivili duvar ve duvarın inşa edildiği zemine ait parametreler Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de gösterilmiştir.

Duvarın kayma hareketine karşı güvenlikleri $F_s = 1.041-1.101$ olarak hesaplanmıştır (Şekil 6.3 ve Şekil 6.4) Bu değerler aranan $F_s = 1.35$ ’den düşük olup yetersizdir. Bu duvarın tasarımında dikkati çeken ilk unsur, 1990 yıllarda yaygın olarak kullanılan ve mobilize olan toprak basınçlarını doğru hesap ettiği belirtilen kinematik analizlerin sonucuna benzer, yamuk dağılıma sahip yükü karşılayacak formda yerleştirilen çivilerdir. Bu duvarın tasarımında, çiviler stabiliteyi sağlamamaktadır.

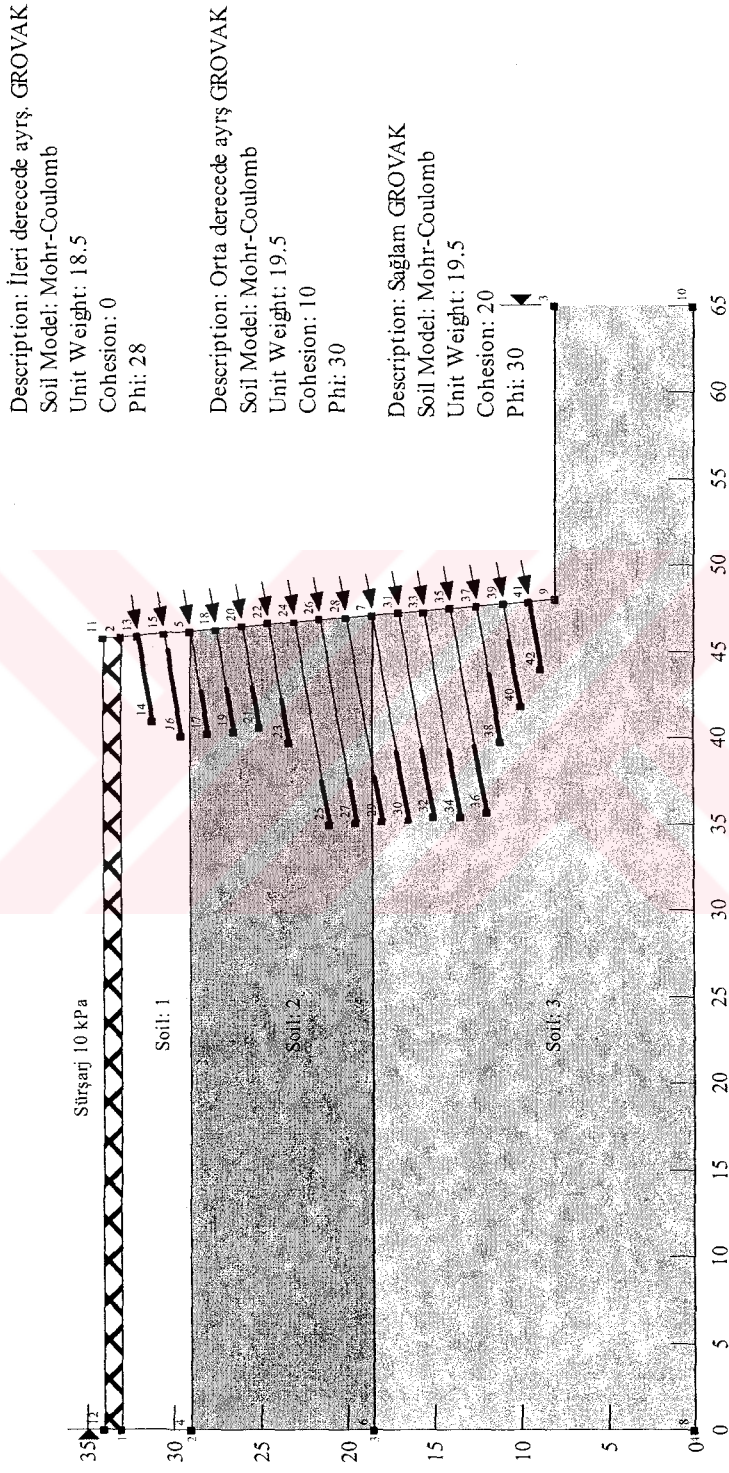
Ayrıca, çivi deformasyonlarının sınırlanması gereken üst kesimde, çivilerin sık ve uzun olması gerekirken Şekil 6.1’den görülebileceği gibi çivilerin dağılımı duvar arkasında deformasyon oluşmasını sağlayabilecek düzende seçilmiştir. Çivilerin dağılımı hakkında tavsiye niteliğindeki yayınlarda açıkça bu şekildeki düzenlemelerin uygun olmadığı belirtilmesine rağmen bu çivi düzeni uygulanmıştır. Söz konusu duvarın bu çalışmanın yapıldığı sırada binanın kaba inşasının bittiği göz önüne alınırsa bu mevkideki zemin/ayırışmış kaya birimlerde çivili bir iksa sisteminin deformasyon davranışı yeterli bulunmuş olabilecektir. Aynı şekilde kaymaya karşı güvenliği yetersiz bulunan duvar, kazının grovak içinde yapılmasından ve geçici bir yapı olmasından dolayı göçmemiştir.

Bu yapı için yeniden tasarım yapılırsa çivi boyların yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı artması ve 12.5m yükseklikte (duvarın yarı yüksekliği) 2.0m genişlikte palye yapılması uygun olacaktır. Çivi konfigürasyonu Şekil 6.6’da açıklanmıştır. Bir başka alternatif olarak bu yeni çivi konfigürasyonunda palye yapılmadan duvar inşa edilebilirliği araştırılmış ancak Şekil 6.7’den görülebileceği minimum güvenlik sayısı $F_s = 1.134$ hesaplanmış olup, yetersizdir. Palyeli tasarım yapılması halinde ise $F_s = 1.342$; $1.349 \cong 1.35$ hesaplanmış olup bu değerler yeterlidir.

Sonuç olarak; Vaka 1’de incelenen zemin çivili duvar yeterli güvenlikle inşa edilmemiş olup, ekonomi kriteri güvenlik kriterine tercih edilmiştir.

Description: H = 25m Zemin Çivili Duvarın Stabilité Analizi
 File Name: 25mZC.slp
 Analysis Method: Bishop (with Ordinary & Janbu)
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)

HESAP KESİTİ



Şekil 6.1 Vaka 1 için hesap kesiti (proje müellifinin)

Vaka 1’de verilen proje müellifinin çivi boyları ve kapasiteleri GEO-SLOPE firmasının SLOPE/W yazılımı ile hesaplanarak stabilite tahkiki yapılmış ve çivi tasarımı yeterli bulunmamıştır. Söz konusu yazılıma veriler girilirken aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır. Çiviler düşeyde eşit aralıkla, $s_v = 1.5$ ile tesis edilmiştir.

Çelik Akma Gerilmesi, f_y	420000 kPa
Zemin-Enjeksiyon Harcı Arasındaki Adezyon τ_{bond_ult}	300 kPa
τ_{bond_all} Statik	150 kPa
Deprem	201 kPa
D_{delgi}	105 mm

Çivi Çapı (mm)	P_{akma} (kN)	$P_{çalışma}$		$L_{adcrans}$	
		Statik (kN)	Deprem (kN)	Statik (m)	Deprem (m)
32	338	186	246	3.8	3.7
40	528	290	385	5.9	5.8

Adreans Boyu	Statik	0.50
Güvenlik Faktörü*	Deprem	0.67

sh	1.5	32	338	124	164	2.5	2.5
	1.5	40	528	193	257	3.9	3.9

Çivi Çalışma Yüğü	Statik	0.55
Güvenlik Faktörü*	Deprem	0.73

Çivi Sıra No.	Boy (m)	Eğim (°)	Çap (mm)	Statik Durumda Çalışma Yüğü (kN)	Yatay Aralık (m)	SLOPE/W Bilgisayar Programı Datası				
						Eşdeğer Yüğü (kN)	Dış Nokta	İç Nokta	Yükün Uygulanış Şekli	Aderans Boyu (m)
1 [†]	5	10	32	186	1.0	124	13	14	Variable (Değişken)	5.0
2 [†]	6	10	32	186	1.5	124	15	16	Variable (Değişken)	5.0
3	6	10	32	186	1.5	124	5	17	Variable (Değişken)	2.5
4	6	10	32	186	1.5	124	18	19	Variable (Değişken)	2.5
5	6	10	32	186	1.5	124	20	21	Variable (Değişken)	2.5
6	7	10	32	186	1.5	124	22	23	Variable (Değişken)	2.5
7	12	10	32	186	1.5	124	24	25	Variable (Değişken)	2.5
8	12	10	32	186	1.5	124	26	27	Variable (Değişken)	2.5
9	12	10	32	186	1.5	124	28	29	Variable (Değişken)	2.5
10	12	10	40	290	1.5	193	7	30	Variable (Değişken)	3.9
11	12	10	40	290	1.5	193	31	32	Variable (Değişken)	3.9
12	12	10	40	290	1.5	193	33	34	Variable (Değişken)	3.9
13	12	10	40	290	1.5	193	35	36	Variable (Değişken)	3.9
14	8	10	40	290	1.5	193	37	38	Variable (Değişken)	3.9
15	6	10	40	290	1.5	193	39	40	Variable (Değişken)	3.9
16	4	10	40	290	1.5	193	41	42	Variable (Değişken)	3.9

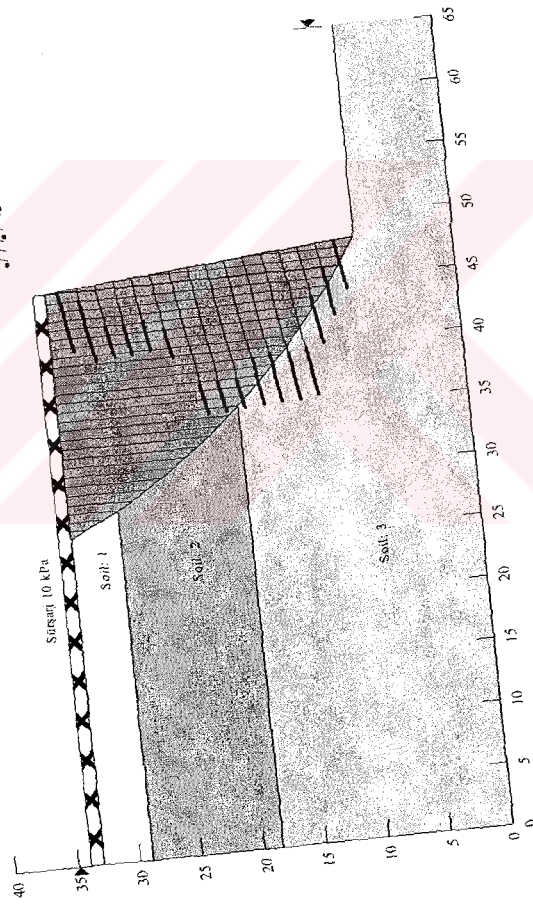
* : FHWA-SA-96-069R "Manual for design and construction monitoring of soil nail walls"

† : Bu seviyedeki çiviler nihai sıyrılma direnci 150 kPa olan ortamda tesis edilmiştir.

Şekil 6.2. Proje müellifinin tasarımı

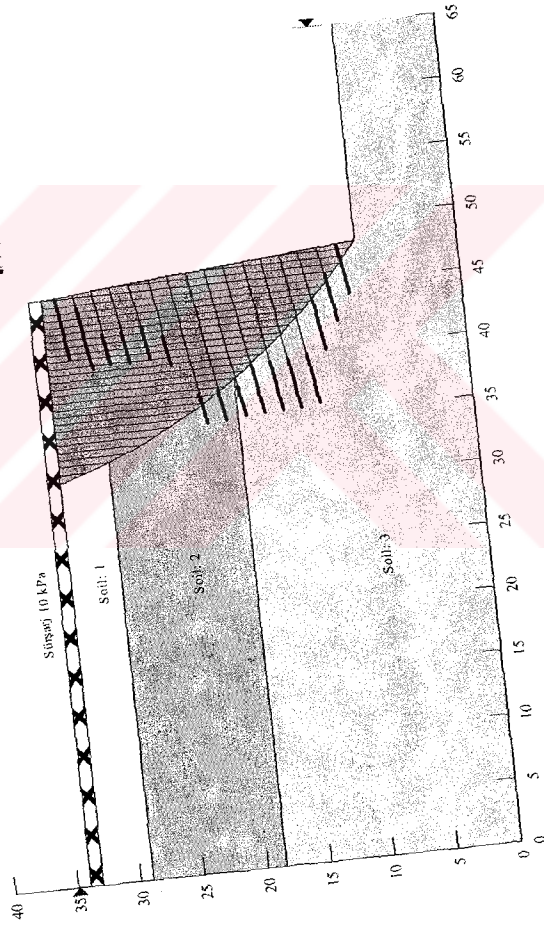
The geological map displays several structural features:

- Normal Faults:** Indicated by dashed lines with perpendicular tick marks. One fault is labeled '11' and another '105'.
- Strike Slip Fault:** Indicated by a line with alternating perpendicular tick marks, labeled '11'.
- Sampling Locations:** Marked with black dots and labeled 'SW1' and 'SW2'.
- Topographic Contours:** Represented by solid lines with elevation values of 100, 150, 200, 250, and 300 meters.
- Geological Formations:** Shaded regions represent different geological units, with labels 'G1' and 'G2' visible.



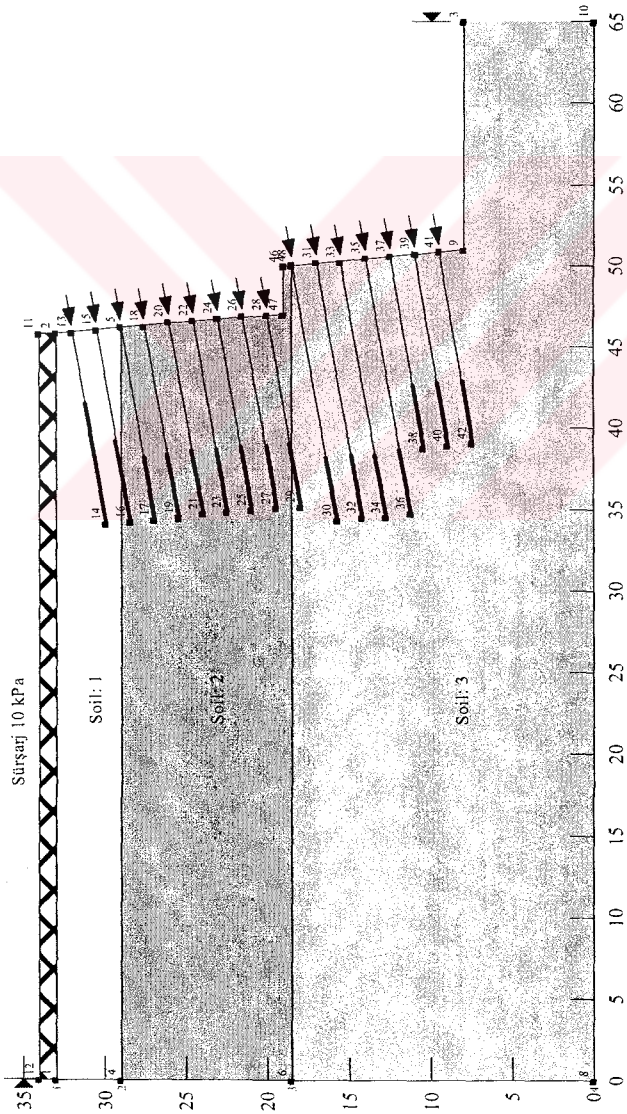
22

Description: H = 25m Zemin Çivili Duvarın Stabilité Analizi
 File Name: 25mZC.stp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Porewater Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)



Şekil 6.4 Vaka 1 kontrol hesabı

HESAP KESİTİ



Description: İleri derecede ayrış. GROVAK
Soil Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18.5
Cohesion: 0
Phi: 28

Description: Orta derecede ayrış GROVAK
Soil Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5
Cohesion: 10
Phi: 30

Description: Sağlam GROVAK
Soil Model: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 19.5
Cohesion: 20
Phi: 30

Şekil 6.5 Hesap Kesiti

Vaka 1'de verilen, bu çalışma kapsamında çivi boyları ve kapasiteleri GEO-SLOPE firmasının SLOPE/W yazılımı ile hesaplanarak stabilite tahkiki yapılmış ve çivi tasarımı yeterli bulunmamıştır. Söz konusu yazılıma veriler girilirken aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

Çelik Akma Gerilmesi, STIII	fy	420000 kPa
Zemin-Enjeksiyon Harcı Arasındaki Adezyon		
τ_{bond_ult}	Statik	300 kPa
τ_{bond_all}	Deprem	201 kPa
D_{delgi}		105 mm

Çivi Çapı (mm)	P _{akma} (kN)	P _{çalışma}		L _{aderans}	
		Statik (kN)	Deprem (kN)	Statik (m)	Deprem (m)
32	338	186	246	3.8	3.7
40	528	290	385	5.9	5.8

Adreans Boyu Statik 0.50
Güvenlik Faktörü* Deprem 0.67

sh	1.5	32	338	124	164	2.5	2.5
	1.5	40	528	193	257	3.9	3.9

Çivi Çalışma Yüğü Statik 0.55
Güvenlik Faktörü* Deprem 0.73

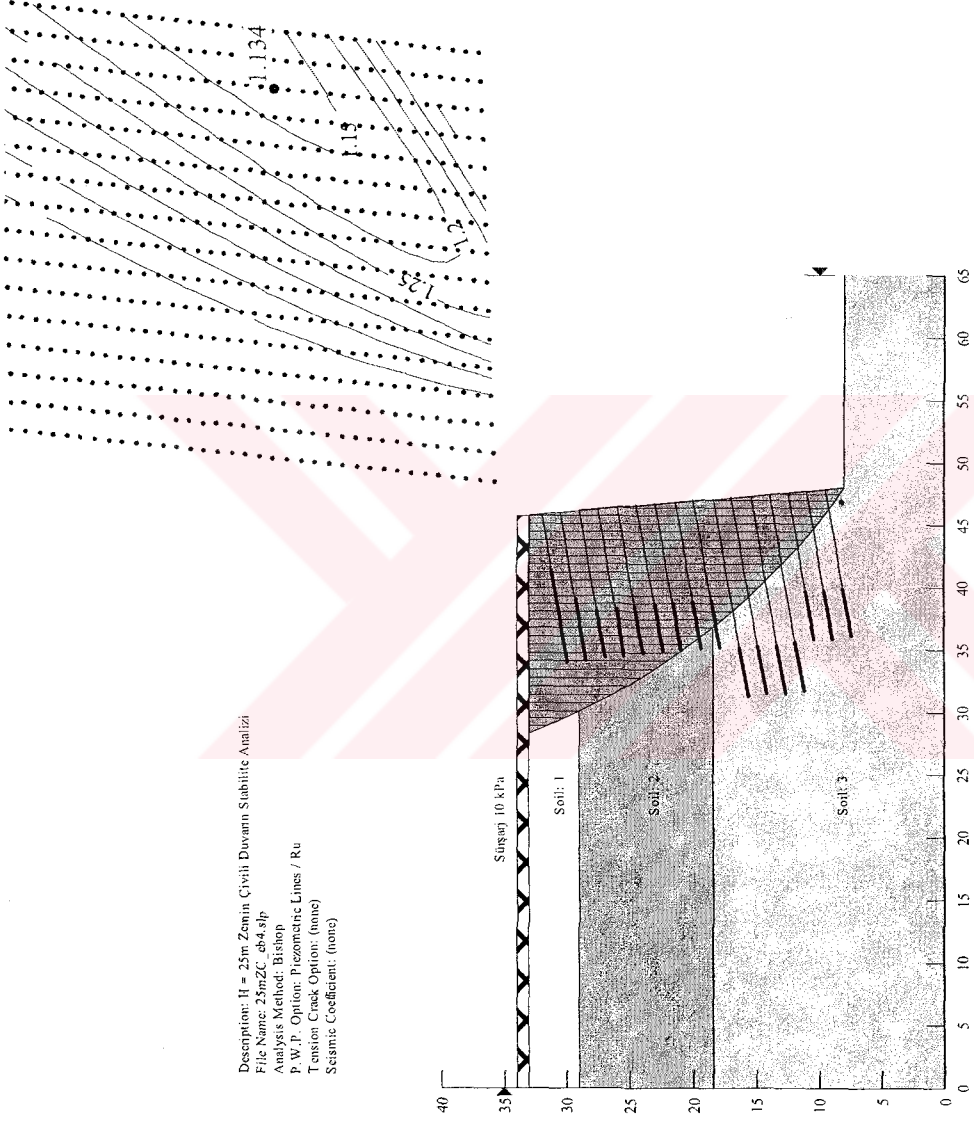
Çivi Sıra No.	Boy (m)	Eğim (°)	Çap (mm)	Statik Durumda Çalışma Yüğü (kN)	Yatay Aralık (m)	SLOPE/W Bilgisayar Programı Datası				
						Eşdeğer Yüğü (kN)	Dış Nokta	İç Nokta	Yükün Uygulanış Şekli	Aderans Boyu (m)
1 [†]	12	10	32	186	1.0	124	13	14	Variable (Değişken)	5.0
2 [†]	12	10	32	186	1.5	124	15	16	Variable (Değişken)	5.0
3	12	10	32	186	1.5	124	5	17	Variable (Değişken)	2.5
4	12	10	32	186	1.5	124	18	19	Variable (Değişken)	2.5
5	12	10	32	186	1.5	124	20	21	Variable (Değişken)	2.5
6	12	10	32	186	1.5	124	22	23	Variable (Değişken)	2.5
7	12	10	32	186	1.5	124	24	25	Variable (Değişken)	2.5
8	12	10	32	186	1.5	124	26	27	Variable (Değişken)	2.5
9	12	10	32	186	1.5	124	28	29	Variable (Değişken)	2.5
10	16	10	40	290	1.5	193	7	30	Variable (Değişken)	3.9
11	16	10	40	290	1.5	193	31	32	Variable (Değişken)	3.9
12	16	10	40	290	1.5	193	33	34	Variable (Değişken)	3.9
13	16	10	40	290	1.5	193	35	36	Variable (Değişken)	3.9
14	12	10	40	290	1.5	193	37	38	Variable (Değişken)	3.9
15	12	10	40	290	1.5	193	39	40	Variable (Değişken)	3.9
16	12	10	40	290	1.5	193	41	42	Variable (Değişken)	3.9

* : FHWA-SA-96-069R "Manual for design and construction monitoring of soil nail walls"

† : Bu seviyedeki çiviler nihai sıyırılma direnci 150 kPa olan ortamda tesis edilmiştir.

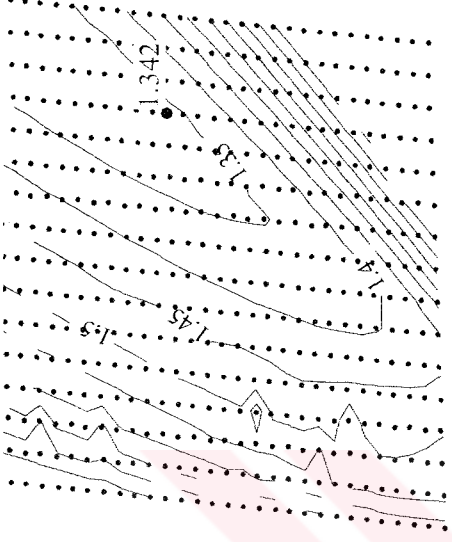
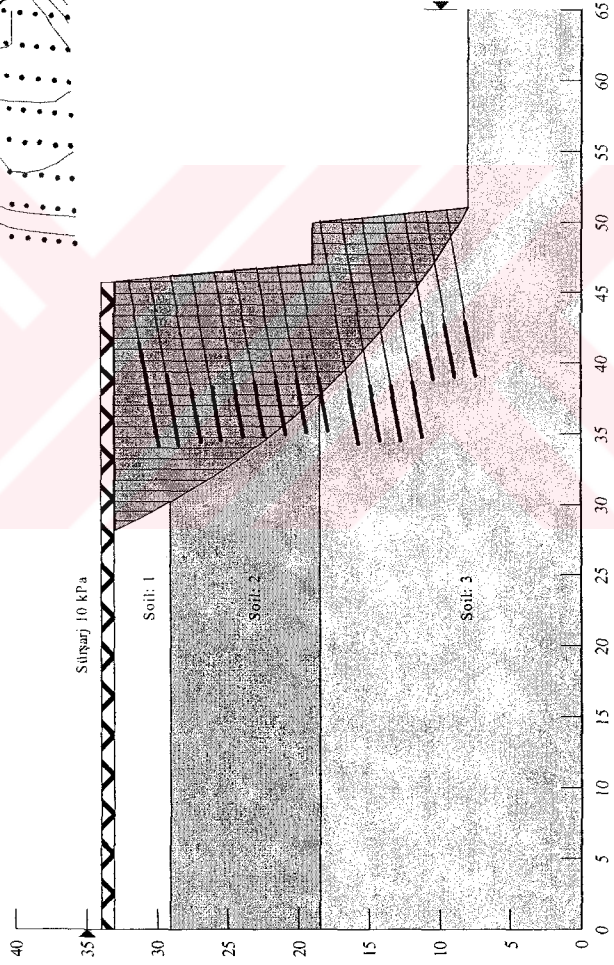
Şekil 6.6 Yeniden tasarlanan zemin çivili duvardaki çivi boy ve yükleri

Description: H = 25m Zemin Çivili Duvarın Subtilite Analizi
 File Name: 25mZC_ab4.slp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)



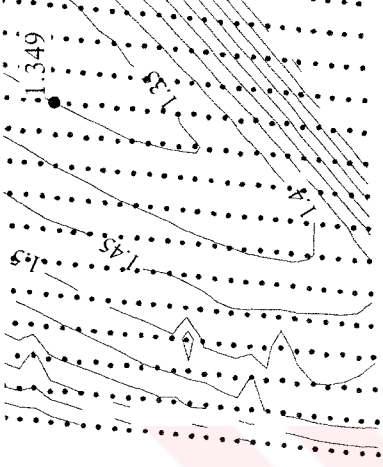
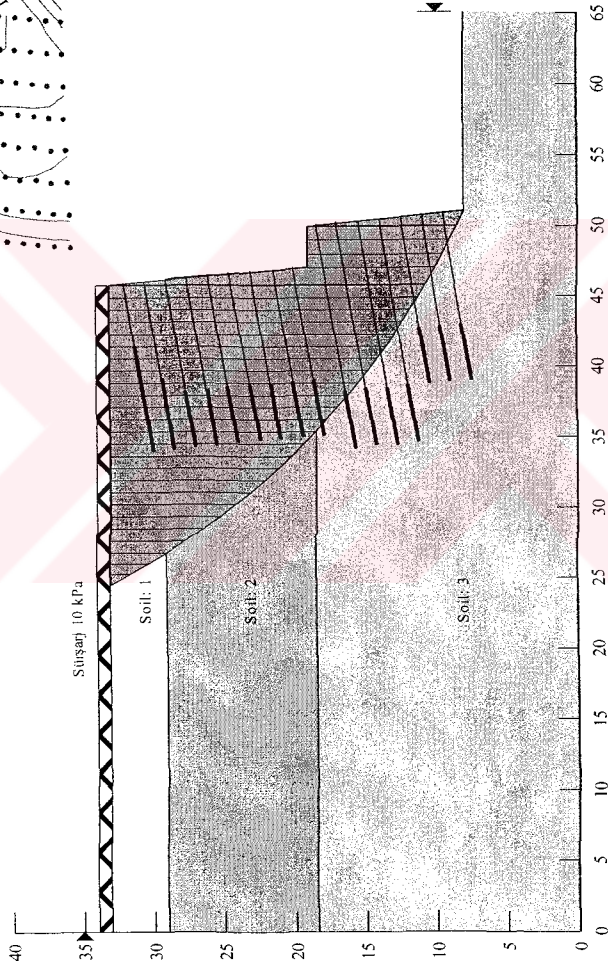
Şekil 6.7 Palyesiz tasarım

Description: II = 25m Zemin Çivili Duvarın Stabilité Analizi
 File Name: 25mZC_cbi.slp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)



Şekil 6.8 Yeni tasarım, palyeli

Description: H = 25m Zemin Çivili Duvarın Stabilité Analizi
 File Name: 25mZC_cb1.slp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)



Şekil 6.9 Yeni tasarım, palyeli

Yeniden tasarlanan zemin çivili duvardaki çivi boy ve yükleri Şekil 6.6'de verilmiştir. Söz konusu tasarım, bu yeni hali ile güvenli olarak inşa edilebilecekken stabilite analizlerinden elde edilemeyen deformasyonların yeni durumda düşük olacağı aşıkardır. Çivi boylarının sadece stabilite analizleri ile belirlenmesi sakıncalı bir yaklaşımdır. Diğer yandan çivi boylarının duvar yüksekliğinin yarısı kadar olması ($L/H = 0.5$) zemin çivili duvarlar için öngörülen değerler mertebesindedir.

6.2 VAKA 2

Vaka 2'de incelenen zemin çivili duvar Büyükçekmece ilçesi sınırları içerisinde bir sitede, 240m boyunca kesintisiz olarak inşa edilmiştir. Bu duvar, Vaka 1'den farklı olarak zemin içerisinde inşa edilmiştir. Zemin profilinde, üstte orta katı kumlu çakıllı kil, bu tabakanın altında yer altı suyunu taşıyan siltli iri çakıllı kum tabakası bulunmaktadır (Şekil 6.10). İnceleme alanında tabanda aşırı konsolide killer ile karşılaşılacaktır. Söz konusu duvarın daha sonra açıklanacak olan problemli kesimi bu çalışmada irdelenmiştir. Söz konusu kesitte duvar 11.0m yüksekliğinde olup, daha sonra yol olarak kullanılmak üzere 6.5m net platformu olan iki palye ile duvar üç kademede çözülmüştür. Bu durumda, duvar 5/1 (D/Y) eğimle inşa edilmesine karşın palyeler dikkate alındığında ortalama eğimi 1/1.3 (D/Y) gibi yatık bir eğime karşılık gelmektedir.

Duvar tasarımı Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de verilen parametrelere göre hesaplanmıştır. Esasen yol platformu olarak bırakılan palyeler bu duvarların tek tek incelenmesine izin verecek kadar geniştir. Ancak duvar imalatından sonra duvarda beklenmeyen deformasyonlar oluşmuş ve kaplamalarda çatlaklar meydana gelmiştir. Bunun üzerine mal sahibi ilave tahkikler istemiştir. Dolayısıyla 3 kademeyi bir arada incelemek daha doğru olacaktır. Şekil 6.10'dan görüldüğü gibi siltli çakıllı kum tabakasının içerdiği su, bu tabakayı permeabilitesi düşük aşırı konsolide kil üzerinde kaydırıcı etki yapmaktadır. Duvar stabilitesi incelendiğinde; minimum güvenlik sayısı, statik durumda $F_s = 1.341$; $1.364 \geq 1.350$ ve depremli durumda $F_s = 0.996$; $0.965 \cong 1.000$ hesaplanmış olup yeterlidir.

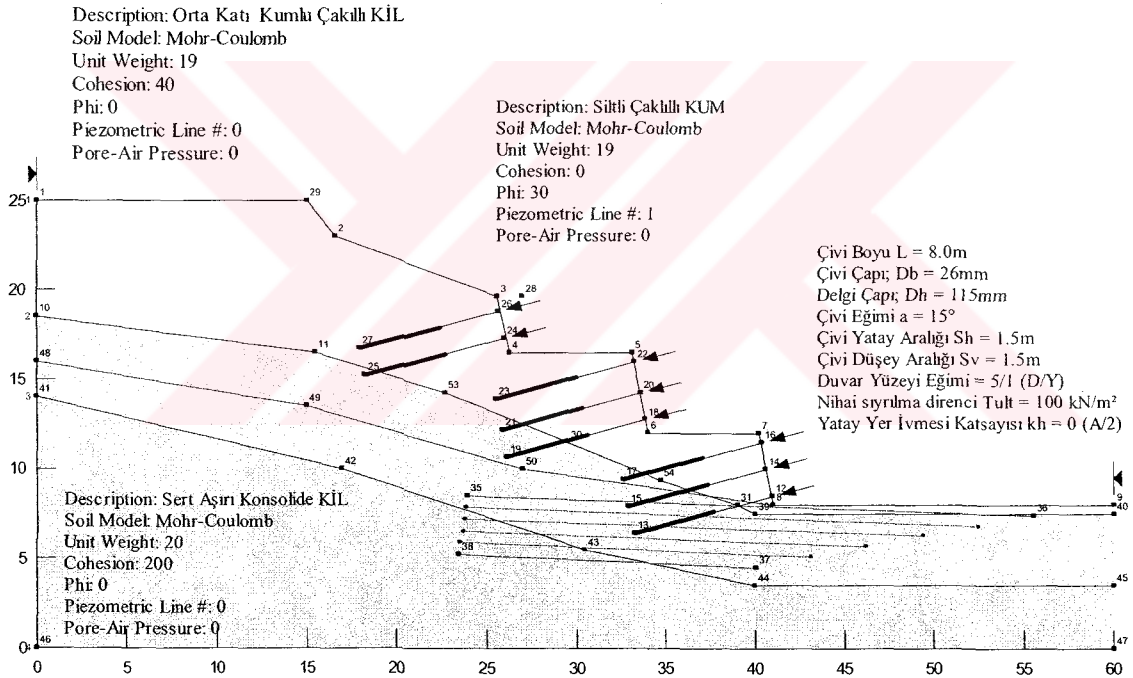
Ancak bu duvarın yaptığı deformasyonların nedeni irdelenmeli ve muhtemel çözümler sıralanmalıdır.

Sondajlar sonrasında ortaya çıkan zemin profilinde su taşıyıcı tabakalar bulunmaktadır. Sahadaki oluşabilecek kaymaların bu tabaka, siltli iri çakıllı kum tabakası, içinde oluşması son derece muhtemeldir. Zemin çivilerinin çalışmasında en büyük zorluk yoğun suyun

ortamda bulunması halidir. Su, zemin-enjeksiyon arasındaki adezyonu düşürmekte bir yağlama etkisi yapmaktadır. Muhtemelen bu tabaka üzerinde kripi hareketi yapmakta olan çakıllı kil tabakasının permeablitesi ortamın su miktarının yüzey suları ile değişip değişmemesi belirlemek açısından önemlidir.

Projeler incelendiğinde, dren borusu olarak 50mm perfore boru seçildiği görülmüştür. Bu mertebede su problemi olan sahada en az çivi boyu kadar yatay dren kullanılması halinde stabilitede ve deformasyonlarda pozitif gelişmeler olabilecektir. Bir başka husus ise, yüzey sularına karşı duvar üstü şevlerinde koruma yapmak, buharlaşmayı sağlayıcı bitkilendirme ve şev üstünün uygun bir malzeme ile örtülmesi yüzey sularının sızmasını etkileyecektir.

HESAP KESİTİ



Şekil 6.10 Vaka 2 hesap kesiti

Sonuç olarak; zemin çivili duvarların stabilitesinde kullanılan limit denge analiz metotlarının deformasyon kontrollü analiz yapamamalarından ve çivi dağılımının düzgün seçilmemesinden ötürü deformasyon problemleri ile karşılaşılabilir.

Vaka 2’de verilen, bu çalışma kapsamında çivi boyları ve kapasiteleri GEO-SLOPE firmasının SLOPE/W yazılımı ile hesaplanarak stabilite tahkiki yapılmış ve çivi tasarımı yeterli bulunmamıştır. Söz konusu yazılıma veriler girilirken aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

STIII	fy	420000	kPa		Çivi Çapı	P _{akma}	P _{çalışma}		L _{aderans}	
							Statik	Deprem	Statik	Deprem
	τ _{bond ult}	100	kPa		(mm)	(kN)	(kN)	(kN)	(m)	(m)
τ _{bond aff}	Statik	50	kPa		26	223	123	163	6.8	6.7
	Deprem	67	kPa		32	338	186	246	10.3	10.2
D _{delgi}		115 mm								

Adreans Boyu Statik 0.50
Güvenlik Faktörü* Deprem 0.67

sh	1.5	26	223	82	108	4.5	4.5
	1.5	32	338	124	164	6.9	6.8

Çivi Çalışma Yüğü Statik 0.55
Güvenlik Faktörü* Deprem 0.73

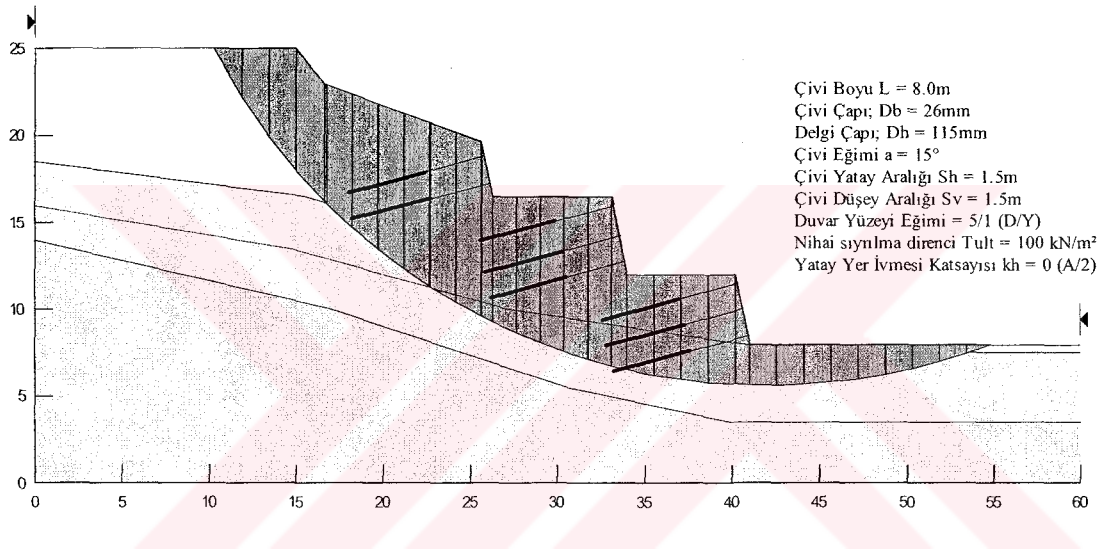
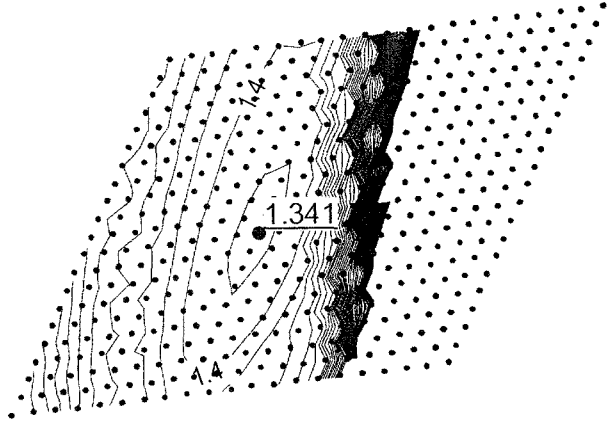
Çivi Sıra No.	Boy (m)	Eğim (°)	Çap (mm)	Statik Durumda Çalışma Yüğü (kN)	Yatay Arahk (m)	SLOPE/W Bilgisayar Programı Datası				
						Eşdeğer Yüğü (kN)	Dış Nokta	İç Nokta	Yükün Uygulanış Şekli	Aderans Boyu (m)
1	8	15	26	123	1.5	82	12	13	Variable (Değişken)	5.0
2	8	15	26	123	1.5	82	14	15	Variable (Değişken)	5.0
3	8	15	26	123	1.5	82	16	17	Variable (Değişken)	2.5
4	8	15	26	123	1.5	82	18	19	Variable (Değişken)	2.5
5	8	15	26	123	1.5	82	20	21	Variable (Değişken)	2.5
6	8	15	26	123	1.5	82	22	23	Variable (Değişken)	2.5
7	8	15	26	123	1.5	82	24	25	Variable (Değişken)	2.5
8	8	15	26	123	1.5	82	26	27	Variable (Değişken)	2.5

* : FHWA-SA-96-069R "Manual for design and construction monitoring of soil nail walls"

† : Bu seviyedeki çiviler nihai sıyırılma direnci 150 kPa olan ortamda tesis edilmiştir.

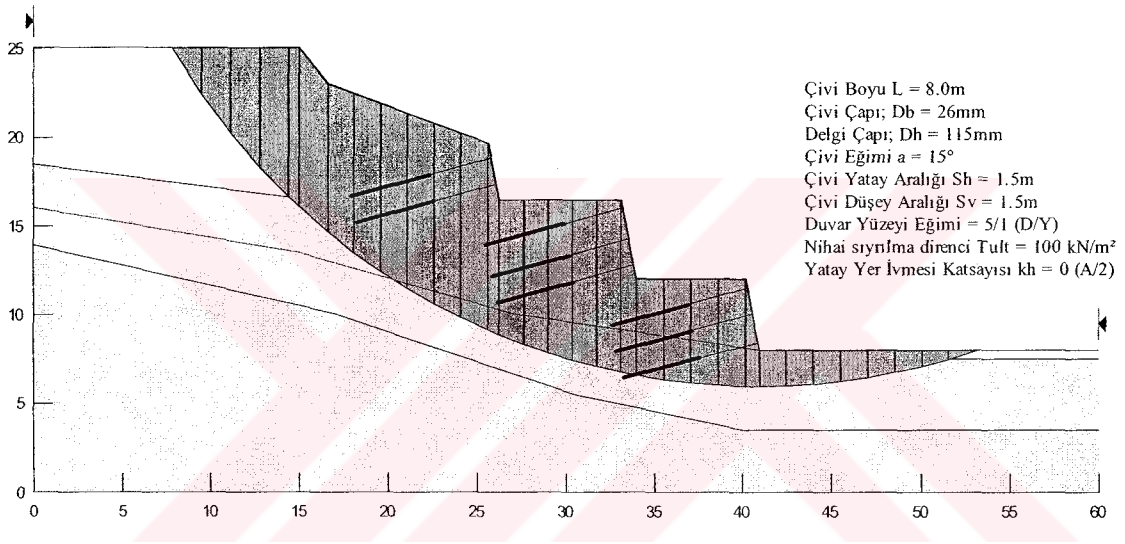
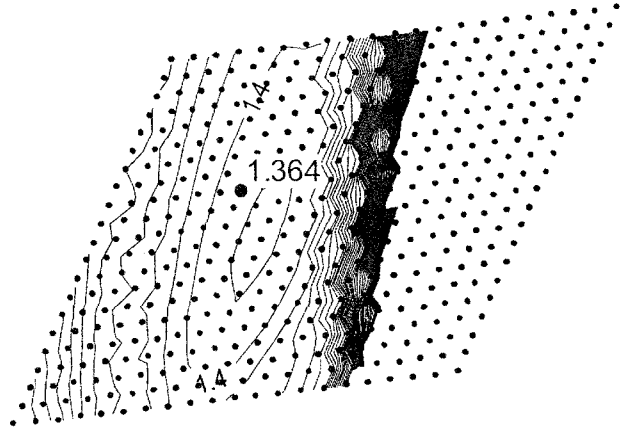
Şekil 6.11 Zemin çivili duvardaki çivi boy ve yükleri

File Name: SN_3.kademeli_etüdsorasi2.slp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)



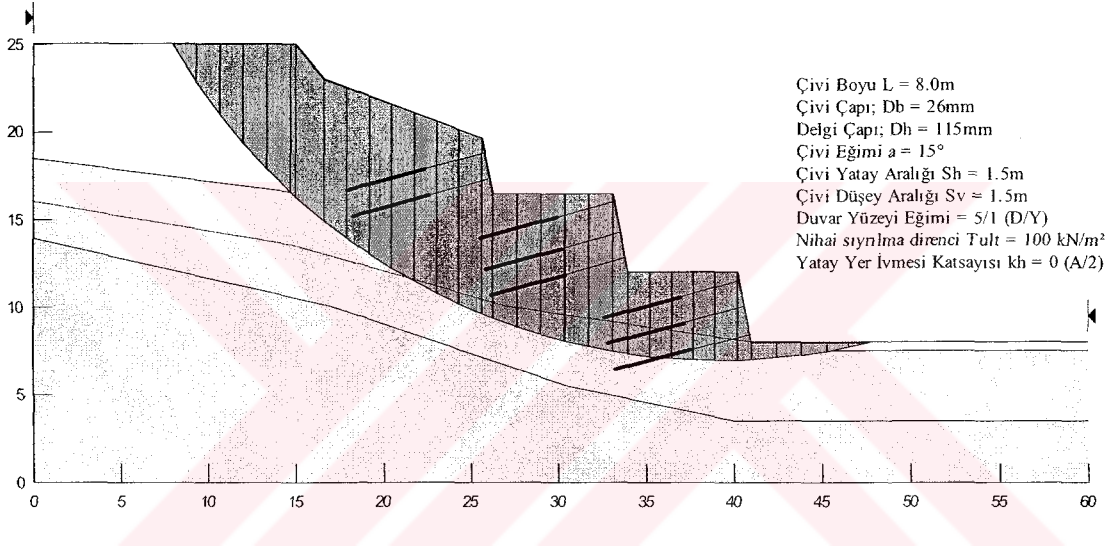
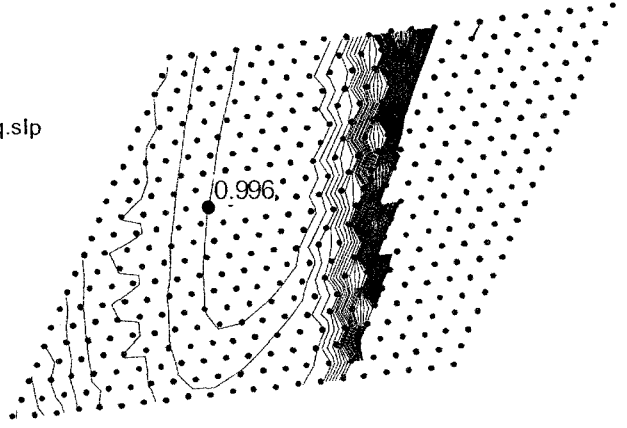
Şekil 6.12 Vaka 2 stabilite analizi

File Name: SN_3.kademeli_etüdsönrası2.slp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: (none)



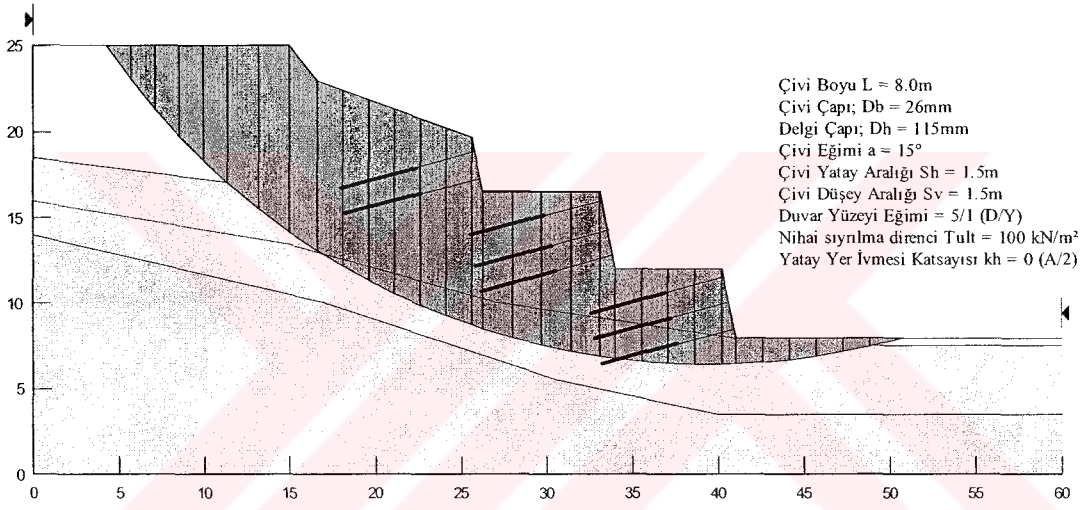
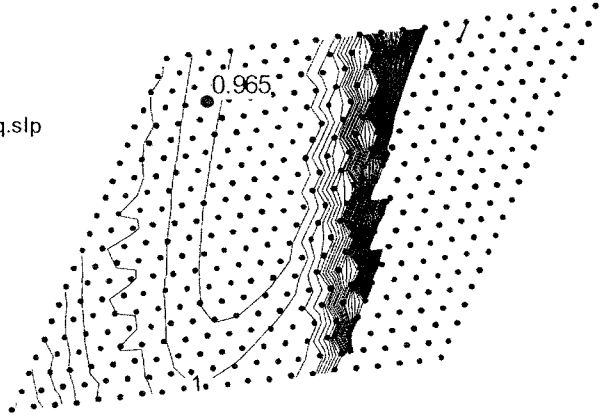
Şekil 6.13 Vaka 2 stabilite analizi, statik

File Name: SN_3.kademeli_etüdsönrası2__eq.slp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal



Şekil 6.14 Vaka 2 stabilite analizi, depremli

File Name: SN_3.kademeli_etüdsorasi2__eq.slp
 Analysis Method: Bishop
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Tension Crack Option: (none)
 Seismic Coefficient: Horizontal



Şekil 6.15 Vaka 2 stabilite analizi, depremli

7. SONUÇ

Zemin çivili dayanma yapısı düşey veya düşeye yakın kazıların desteklenmesi ve mevcut şevlerin stabilizasyonunun sağlanması için zemine sık aralılarla yerleştirilen pasif çivilerin (genellikle çelik donatı) aktif-hareketli bölgeyi pasif-stabil bölgeye bağlaması ve kazı yüzeyinin kaplanarak zemin içinde kararlı bir ağırlık yapısı elde edilmesiyle ortaya çıkar. Çivi olarak genelde çelik veya fiber donatılar kullanılmaktadır. Kazı yüzeyi ise genelde püskürtme beton ile kaplanırken kalıcı yapılarda daha kalın püskürtme beton veya yerinde dökme beton ile uzun dönem yükleme koşullarına uygun bir şekilde kaplanır.

İnşaat mühendisliğinde, gelişme ve uygulama, rijit yapılardan esnek, daha ekonomik ve hızlı yapılara doğru gerçekleşmektedir. Benzer şekilde, geoteknik mühendisliğinde de gelişim aynı yönde olmuş, uygulamalar konsol kuyu perdelerden, ankrajlı sistemlere ve zemin çivili duvarlara doğru zamanla belirgin bir şekilde değişmiştir. Günümüzde, ankrajlı sistemler ile zemin çivili sistemler çoğu projede birbirlerinin alternatifi olabilmektedir. Ankrajlı sistemlerde prensip; toprak basıncının tamamını karşılayan kaplamanın, kök (enjeksiyonlu) ve serbest (enjeksiyonsuz) kesimleri olan ve öngerme uygulanan bir halat ile kök boyunca bu yükleri zemine transfer etmesidir. Zemin çivili duvarlarda ise toprak basıncı, çivi ve kaplama işbirliği ile karşılanır ve çivi boyunca zemin etkileşimi mevcuttur. Çiviler, arasındaki zemini kısmen sararak tutarlı bir yapı oluştururken ankrajlı sistemlerde zemini sadece kaplama tutar. Diğer yandan çivili duvarlarda, maksimum deplasman ve maksimum çivi yükü duvar tepesinde mobilize olurken ankrajlı sistemlerde, ankraj yüküne bağlı olmak kaydı ile, maksimum deplasman duvarın ortasında oluşur. Yük taşıma prensibi nedeniyle daha kalın kaplamaya ihtiyaç duyan ankrajlı sistemlerde, pahalı olan ankraj halatlarının serbest boyunca oluşacak pasa karşı korunması ise ayrı bir problemdir. Zemin çivili duvarların düşük maliyetle, özel ekipmana ihtiyaç duymadan hızlı bir şekilde inşa edilmesi tekniğin yaygınlaşmasının sebepleri olarak da gösterilebilir. Sismik ve statik yükler altındaki performansı zemin çivili duvarların yaygınlaşmasını sağlayan diğer bir unsur olmuştur. Ancak literatürde özellikle sismik yükler altındaki davranışın araştırılması gerektiği belirtilmektedir.

Zemin çivili duvarlar 70'li yıllardan beri inşa edilmelerine rağmen tasarım ve davranış alt yapısı için yapılan çalışmalar 90'lı yıllarda başlamıştır. Zemin çivili duvarların boyutlandırılması, davranışının anlaşılması ve teknik normların oluşturulması süreci halen devam etmektedir. Söz konusu çalışmalar özellikle gelişmiş ülkelerin otoyol idarelerince ve standart enstitülerince hazırlanan yönetmelik ve tavsiye niteliğindeki eserler ile ilerlemektedir. Bunların başlıcaları; Japon tasarım standardı (JHPC 1987), İngiliz standardı

(BS 8006, 1995) ve ABD Federal Otoyolları İdaresi tavsiyeleri (FHWA-SA-93-069R, 1998 ve diğ.) olup EUROCODE başta olmak üzere diğer kurumların çalışmaları devam etmektedir. Özellikle Kaliforniya zemin çivisi komisyonunun halen süren çalışmaları sismik karakterleri benzeyen ülkemiz açısından takip edilmesi gereken bir çalışmadır.

Tasarımda iki unsur dikkate alınmalıdır. Bunlar duvarın göçmesi ile bağlantılı “dayanım sınır durumu” diğeri ise izin verilen gerilme ve deformasyonlar ile bağlantılı “servis sınır durumu” ‘dur. Dayanım sınır durumu duvarın beklenen yükler altında stabilitesinin sağlandığı durumdur. Servis sınır durumu ise servis yükleri altında belirlenen deplasman ve gerilme değerlerinin aşılmaması halinde yapının fonksiyonuna devam ettiği sınır durumdur. Dayanım sınır koşullarının belirlenmesinde yaygın olarak kayma dairesi belirli limit denge metodu kullanılmaktadır. Limit denge metodunda analiz edilen dairenin güvenliği araştırılmakta ve bu değerin öngörülen minimum güvenlik sayısını sağlaması halinde sistem güvenli kabul edilmektedir. Bu çalışmada zemin çivili duvarların analizinde dikkate alınacak hususlar da sunulmuş olup bunlar ortak bir tasarım anlayışının oluşması açısından önemlidir. Zeminin, yapısal elemanların, güvenlik sayılarının ve özel tasarım konularının limit denge analizlerinde farklı tasarımcılarca benzer şekilde modellenmesi ekonomik ve güvenli tasarımların oluşmasını sağlayacaktır. Tasarımdaki diğer bir husus ise zemin çivili duvarların deplasmanlarının dikkate alınmasıdır. Tasarımda kullanılan limit denge analiz metotları ile deplasmanların mertebesinin belirlenmesi veya göz önüne alınması mümkün değildir. Ancak, Clouterre ve FHWA tarafından önerilen çivi dağılımları duvar deplasmanlarının sınırlı olmasını sağlayabilecektir. Bu önerilerde limit denge metodu ile hesaplanan çivi boy ve aralıklarının olduğu gibi kullanılmaması belirtilmekte ve zemin çivili duvarlarda maksimum deplasmanın ve çivi yükün duvar tepesinde olmasına bağlı olarak üst kesimlerde çivilerin daha uzun ve duvar üst yarısı boyunca çivi boylarının sabit olması tavsiye edilmektedir.

Bu çalışma kapsamında iki vaka incelenmiş ve tasarımlar hakkında çeşitli yorumlarda bulunulmuştur. Söz konusu tasarımlardan Vaka 1’in dayanım sınır koşulunu sağlamadığı tespit edilmiş, çivi boy ve aralıkları dikkate alındığında servis sınır durumunu da sağlayamayacağı ön görülmüştür. Diğer tasarım olan Vaka 2 ise dayanım sınır durumunu sağlamış ancak servis sınır durumunu sağlayamamış, bu durum duvar inşaatı sonrası yapılan ölçümlerde ve kaplamadaki çatlaklardan tespit edilmiştir. Vaka 1’de incelenen duvarda üstte 32mm çapında altta 40mm çapında BÇ III donatılar çivi olarak kullanılmıştır. Oysa üstteki çivilerin daha fazla yüklendiği ve deformasyonları etkilediği literatürde açıkça belirtilmiştir. Bununla birlikte çeşitli yayınlarda çivi ön tasarımları da sunulmaktadır. Son olarak FHWA

zemin parametrelerine, zemin çivi arasındaki sürtünmeye, delgi çapına, çivi dayanımına, çiviler arasındaki uzaklığa ve duvar yüksekliğine bağlı olarak duvardaki maksimum çivi boyunun önerildiği abakları yayımlamıştır. Bu abaklara Yıldırım (2002)'da da yer verilmiştir. Vaka 1'deki duvarın parametreleri; zeminin birim hacim ağırlığı $\gamma = 19.5 \text{ kN/m}^3$, içsel sürtünme açısı $\phi = 30^\circ$, kohezyon $c = 10 \text{ kPa}$, birim çevre sürtünmesi $f_s = 300 \text{ kPa}$, çiviler arasındaki düşey ve yatay uzaklıklar $s_v = s_h = 1.5 \text{ m}$, delgi çapı $D_g = 105 \text{ mm}$ ve duvar yüksekliği $H = 25.0 \text{ m}$ alınarak yapılan abak okumaları sonucunda çivi çapı $D = 0.039 \text{ mm} \cong 0.040 \text{ mm}$ ve çivi boyu $L = 21 \text{ m}$ ($L/H = 0.84$) olarak belirlenmiştir. Bu değerlerin duvarın üst yarısı boyunca sabit olması ve duvar topuğuna doğru azaltılması (Şekil 5.6) tavsiye edilmektedir. Vaka 1'deki çivi tasarımında ise üst sıra çivilerin boyları 5m-7m arasında ve maksimum çivi boyu 12m dolayındadır (Şekil 6.2). Vaka 1'deki çivi boyları tavsiye edilen çivi boylarından oldukça kısadır. Diğer yandan, Vaka 1 için bu çalışmada yapılan yeni tasarımda üst sıra çiviler 12m ve maksimum çivi boyu 16m alınarak palyeli bir duvarın güvenliği araştırılmıştır. Yeni tasarımın yeterli güvenlikte olmasının yanı sıra proje müellifinin tasarımına göre daha az deplasman yapacağı beklenmektedir. Ancak çivi boyunun 21m önerildiği abakların Vaka 1'deki gibi yüksek duvarları dikkate alıp almadığı ve ne kadarlık deplasmanları ön gördüğü belirsizdir. Bununla birlikte, çivi boylarının mertebesi hakkında bilgi vermesi açısından bu abakların ön tasarım aşamasında kullanılması uygun olacaktır. Vaka 2'de incelenen duvarın dayanım sınır durumunun araştırıldığı limit denge analizlerinde global stabilitenin yeterli güvenlikte olduğu tespit edilmiştir. Ancak daha önce belirtildiği üzere duvarda yapılan deformasyon ölçümleri dayanım sınır durum yerine servis sınır durumunun kritik olduğunu ortaya koymuştur.

Bu çalışmada zemin çivili duvarların tasarımında göz önüne alınması gereken unsurlara yer verilmiş ve etkileri açıklanmıştır. Tasarımların belli bir standartta olması halinde projeler daha güvenli, ekonomik ve kontrol edilebilir olacaktır. Tasarım için kullanılan kayma dairesi limit denge analizlerinde deplasman kontrolü olmaması nihai tasarımında çivi boy ve aralıklarının deplasmanlar açısından gözden geçirilmesini gerektirebilecektir. Aksi takdirde çiviler dayanma sınır durumunu sağlarken servis sınır durumunu sağlayamayabilecektir. Özellikle bu husus Vaka 1'de incelenen duvarda tespit edilmiştir. Duvarın kısa süreli servis görmesinden dolayı düşük güvenlik sayısına ve yüksek deplasman oluşma potansiyeline rağmen duvarda servis süresi boyunca herhangi bir problemin meydana gelmediği proje müellifinin sunduğu ulusal bildiriden anlaşılmıştır. Söz konusu durumun bu çalışma kapsamında teknik bir açıklaması bulunamamıştır.

Çivi boyunun stabilite analizleri ile belirlenmesi özellikle kalıcı yapılar için son derece sakıncalıdır. Tasarımda çivi boylarının duvarın üst yarısında sabit olması aşağıya doğru kademeli olarak düşürülmesi deformasyonları sınırlayıcı etkisi nedeniyle tavsiye edilmektedir. Vaka 1 bu konuda yapılmaması gerekenleri göstermesi bakımından iyi bir örnektir.

Vaka 2’de incelenen duvarda ise zemin koşullarının çivili duvarların deplasmanına etkisi görülebilmektedir. Yeterli güvenlikte inşa edilen duvardaki çivi boyunun duvar yüksekliğine oranı (L/H); tüm duvar dikkate alındığında $8/11 = 0.73$, duvar kademeli olarak incelendiğinde $8/4 = 2$ olarak belirlenecektir. Bu durumda çivi boylarının yeterli olduğu ve deplasmanların oluşmasında fazla bir önemi olmadığı anlaşılmaktadır. Çivilerin uygun şekilde projelendirilmiş ve inşa edilmiş olmasına rağmen zemin koşulları sistemde deplasmanlar oluşturmuştur.

Bu çalışma sonucunda; tasarımda, çivi konfigürasyonuna bağlı deplasmanların sınırlı tutulabilmesi için çivi boylarının limit denge analizlerinden sonra, önerilen çivi prensibine göre gözden geçirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Böyle bir analizin tüm zemin verileri göz önüne alınarak sonlu elemanlar yöntemiyle yapılabileceği umut edilmektedir. Bu alanda ölçülen deformasyonlar ile sınanmış analizler kaynaklarda henüz yeterince olmadığı için konunun gelecekte ayrıntılı araştırılmasında yarar görülmektedir. Ayrıca, yeterli güvenlikteki zemin çivili duvarlarda oluşan, zemine bağlı deplasmanların önlenmesi açısından arazi etütlerinin detaylı bir şekilde yapılarak duvarların projelendirilmesi ve servis sınır durumu kritik zeminlerde zemin çivisi dışındaki alternatiflerin de dikkate alınması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

AASHTO, 1992, Standard Specifications for Highway Bridges, 15th Edition, American Associations of State Highway and Transportation Officials, Washington, D.C.

Bruce, D. A., ve Jewell, R. A. 1986, "Soil Nailing – Application and Practise, Part 1 and Part 2, IN Ground Engineering, November 1986, pp.10-15, ve January 1987, pp. 21-22.

Cartier, G. ve Gigan, J.P. 1983, "Experiments and observations on soil nailing structures." Proc. of the 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, Finland.

Elias, V. ve Juran, I., 1991, Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations, FHWA-RD-89-198, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Felio, G. Y., Vucetic, M., Hudson, M., Barar, P. and Chapman, R., 1990, "Performance of , Soil Nailed Walls During the October 1989 Loma Prieta Earthquake," IN Proc of the 43rd Canadian Geotechnical Conference, Quebec, Canada, pp.165-173.

French National Research Project CLOUTERRE, 1991, Recommendations Clouterre 1991 (English Translations) Soil Nailing Recommendations, FHWA-SA-93-026, Federal Highway Administration, Washington, D.C

Gässler, G., ve Gudehus, G., 1981, "Soil Nailing – Some aspects of a New Technique," IN Proceeding X ICSMFE, Vol. 3., Session 12, Stockholm, pp.665-670.

Gudehus, G., 1983, "Design Concept for Pile Dowels in Clay Slopes," IN Discussion, Spec. Session 5, Proc. 8th Eur. Conf. on Soil Mech. And Found. Eng., Helsinki, Vol. 3., p.1182.

Littlejohn, G.S: ve Bruce, D.A., 1977, Rock Anchors: State of the Art, Foundation Publications, Brentwood, United Kingdom.

Peck, R. B., 1969, "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground," IN Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico City.

Porterfield, J.A., Cotton, D.M., ve Byrne, R. J., 1994, Soil Nailing Field Inspectors Manual, FHWA-SA-93-068, Federal Highway Administration, Washington, D.C.,.

R.J. Byrne, D. Cotton, J Porterfield, C. Wolschlang ve G. Ueblacker, 1998, Manual for Design and Construction of Soil Nail Wall, FHWA-SA-96-069R, Federal Highway Administration, Washington, D.C.

Schlosser, F. ve Unterreiner, P., 1991, "Soil Nailing in France: Research and Practice," IN *Proc. of the T.R.B. Annual Meeting*, Washington, D.C.

Schlosser, F., 1983, "Analogies et Differences dans le Comportement et le Calcul des Ouvrages de Soutenement en Terre Armee et par Clouage du Sol," IN *Annales ITBTP No.418, Sols et Foundations 184*, October 1983, pp.8-23.

Shen, C. K., Herrman, L.R., Ronstand , K.M., Bang, S., Kim, Y.S., ve DeNatale, J.S., 1981, "An In Situ Earth Reinforcement Lateral Support System," *National Science Foundation*, Grant No. APR 77-0944, CE Dept., University of California Davis, Report No.81-03.

Stocker, M. F., Korber, G. W., Gässler, G., ve Guderus, G., 1979, "Soil Nailing," IN *International Conference on Soil Reinforcement I, Paris*, Vol. 2, pp.469-474.

U.S. Army Corps of Engineers, 1989, Engineering and Design: *Retaining and Flood Walls*, EM-1110-2-2502. Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C.

Yıldırım S., 2002, Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul



EKLER

- Ek 1 Zemin çivili duvarların inşasına ilişkin çeşitli fotoğraflar
- Ek 2 Farklı eğimlerde tesis edilen zemin çivilerinin stabiliteye etkisi
- Ek 3 Zemin çivili duvarlara ait örnek çizimler



Ek 1 Zemin çivili duvarların inşasına ilişkin çeşitli fotoğraflar

(<http://www.mvm.usace.army.mil/projects/hickman/home.htm>)



Şekil Ek 1.1 Zemin çivisi ve kaplama donatısı olarak kullanılacak hasır çeliğin şantiyede uygunsuz şekilde istiflenmesi.



Şekil Ek 1.2 Kazı yapımı ve çivi tesisi öncesi kazı yüzeyinin düzenlenmesi



Şekil Ek 1.3 Çivi tesisi için yapılan delgi, kazı yüzeyinin stabilitesi düşük olduğundan delgi öncesi püskürtme beton uygulanmış.



Şekil Ek 1.4 Zemin çivisi tesisi için burgu için delgi yapımı



Şekil Ek 1.5 Çivi tesisi sonrasında geokompozit drenaj şeritlerinin döşenmesi ve kaplama donatısının bağlanması



Şekil Ek 1.6 Çivi tesisi sonrasında geokompozit drenaj şeritlerinin döşenmesi ve kaplama donatısının bağlanması



Şekil Ek 1.7 Geokompozit drenaj şeritleri



Şekil Ek 1.8 Kaplama donatısının tesisi sonrası görünüm



Şekil Ek 1.9 Püskürtme beton öncesi çivi başındaki donatı ve drenaj şeridi detayı



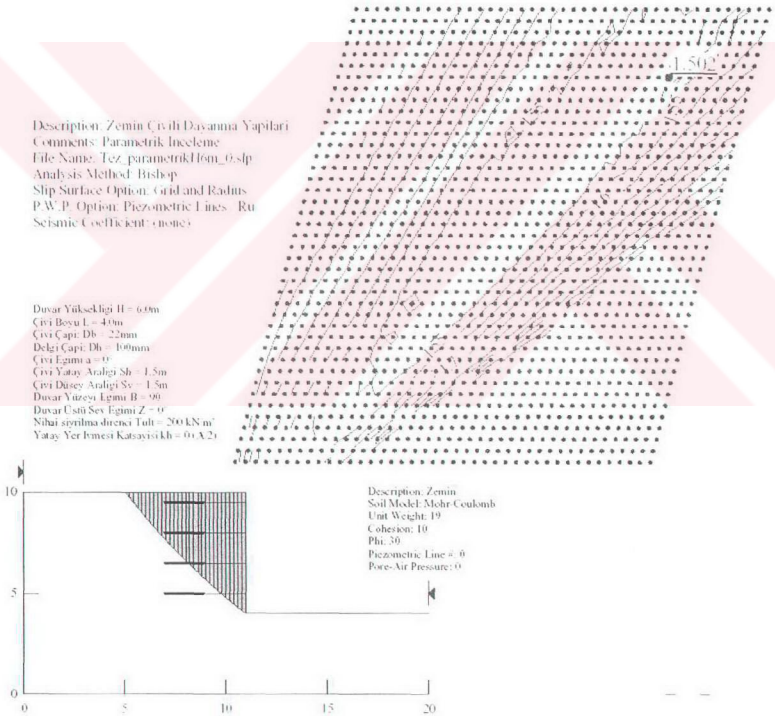
Şekil Ek 1.10 Püskürtme betonun uygulanması



Şekil Ek 1.11 Püskürtme betonun kazı yüzeyine dik olarak uygulanması, ve yatay drenaj borusunun yerleşimi

Ek 2 Farklı eğimlerde tesis edilen zemin çivilerinin stabiliteye etkisi

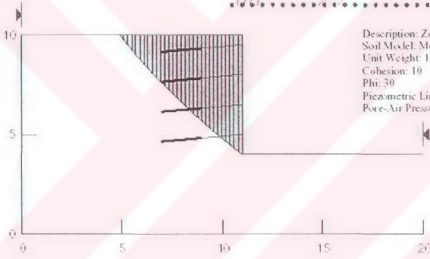
Tasarım parametreleri aşağıdaki analiz çıktıları üzerinde verilen parametrik çalışmada, zemin çivisinin eğimiyle stabilitenin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Parametrik çalışmada zemin olarak içsel sürtünme açısı $\phi = 30^\circ$, efektif kohezyon $c' = 10$ kPa ve birim hacim ağırlığı $\gamma = 19$ kN/m³ olan zemin duvar yüksekliği $H=6.0$ m, çivi boyu $L = 4.0$ m, çivi çapı 22.0mm, düşey ve yatay aralıkları $s_v = s_h = 1.5$ m, nihai birim çevre sürtünmesi $f_s = T_{ult} = 200$ kPa ve çivi açısı değişken alınarak limit denge analizi ile global güvenlik sayıları araştırılmıştır. Çivinin servis yükü olarak akma yükünün 0.55'i ve Zemin ile çimento harcı arasındaki adezyonun 0.50'si dikkate alınmıştır. Kayma dairelerinin seçiminde programın hesapladığı minimum daireler verilmiştir.



Şekil Ek 2. 1 Çivi tesis açısı 0°

Description: Zemin Çivili Dayanma Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez_parametrikH6m_5.slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines - Ru
 Seismic Coefficient: none

Duvar Yüksekliği H = 6.0m
 Çivi Boyu L = 40m
 Çivi Çapı D_b = 22mm
 Delgi Çapı D_h = 100mm
 Çivi Eğimi α = 5°
 Çivi Yatay Aralığı S_H = 1.5m
 Çivi Dikey Aralığı S_V = 1.5m
 Duvar Yüzeyi Eğimi B = 90°
 Duvar Üstü Sez Eğimi Z = 0°
 Nihai sıvınlma direnci T_{ult} = 200 kN/m²
 Yatay Yer İcmesi Katsayısı k_h = 0.1 A2

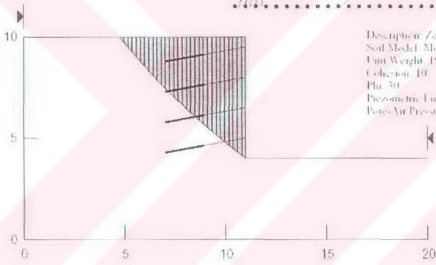


Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19
 Cohesion: 10
 Phi: 30
 Piezometric Line: 0
 Pore Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 2 Çivi tesis açısı 5°

Description: Zemin Çivili Dayanma Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez_parametrikHom_10.slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines - R0
 Seismic Coefficient: (none)

Düvar Yüksekliği H: 6.9m
 Çivi Boyu L: 4.9m
 Çivi Çapı D_ç: 22mm
 Delgi Çapı D_d: 40mm
 Çivi Eksenine İhtiyaç: 10°
 Çivi Yatay Aralığı S_ç: 1.5m
 Çivi Dikey Aralığı S_d: 1.3m
 Düvar Yatay Eksenine İhtiyaç: 0°
 Düvar Eksenine İhtiyaç: 0°
 Nüfus yoğunluğu q₀: 200 kN/m²
 Yatay Yer Yüzeyi Katsayısı D_h: 0 (A.2)

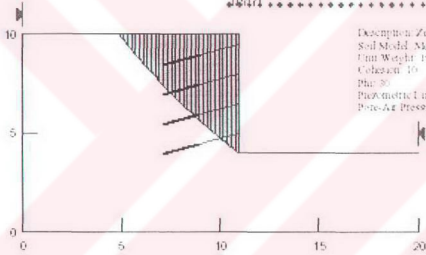


Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19
 Cohesion: 19
 Phi: 30
 Piezometric Line: 0
 Pore-Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 3 Çivi tesis açısı 10°

Description: Zemin Çivi Dayanma Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez_parametrik16m_15.slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines - Ru
 Seismic Coefficient: (none)

Duvar Yüksekliği H = 6.0m
 Çivi Uzunluğu L = 4.0m
 Çivi Çapı D_ç = 22mm
 Döşü Çapı D_d = 190mm
 Çivi Eğilme α = 15°
 Çivi Yatay Aralığı S_h = 1.5m
 Çivi Döşü Aralığı S_v = 1.5m
 Duvar Yatay Uzunluğu L_w = 6.0m
 Duvar Yatay Sırt Uzunluğu L_u = 6.0m
 Sırtı Sırtına İnen Güç P_u = 200 kN/m
 Yatay Yort Yort Katsayısı k_h = 0.0A(2)

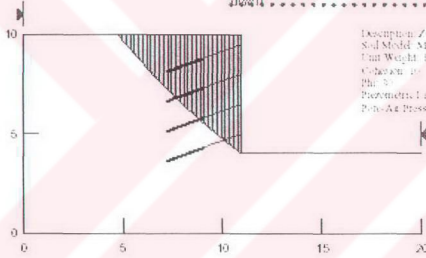


Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18
 Cohesion: 10
 Phi: 30
 Piezometric Line: ru
 Pore-Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 4 Çivi tesis açısı 15°

Description: Zemin Çivili Dayanma Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez_parametrik16m_20.slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines - Ru
 Seismic Coefficient: none)

Duvar Yüksekliği H = 6.0m
 Çivi Uzunluğu L = 4.0m
 Çivi Çapı D₀ = 22mm
 Delik Çapı D₁ = 10 mm
 Çivi Eğilme α = 20°
 Çivi Yatay Aralığı S₁ = 1.5m
 Çivi Dikey Aralığı S₂ = 1.5m
 Duvar Yatay Eğilme θ = 0°
 Duvar Yatay Sevilmesi Z = 0°
 Su ile doyulmuş zeminin Tulu = 20.0 kN/m
 Yatay Yerleşmesi Kısıtlı mıdır? (Y/N)

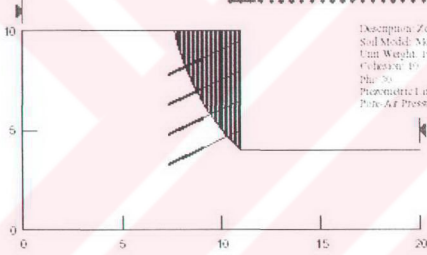


Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19
 Cohesion: 10
 Phi: 3
 Piezometric Line: 0
 Pore-Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 5 Çivi tesis açısı 20°

Description: Zemin Çivi Döşeme Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez parametrik16m_25.stp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Seismic Coefficient: none

Duvar Yüksekliği: $H = 6\text{m}$
 Çivi Hattı: $L = 4\text{cm}$
 Çivi Çapı: $D_b = 22\text{mm}$
 Döşer Çapı: $D_d = 10\text{mm}$
 Çivi Eğimi: $\alpha = 25^\circ$
 Çivi Yarıy Aralığı: $S_b = 1.5\text{m}$
 Çivi Döşer Aralığı: $S_d = 1.5\text{m}$
 Döşer Yüksekliği: $H_d = 0.05\text{m}$
 Duvar Yatay Sıvı Eğimi: $Z = 0^\circ$
 Sıvı seviyesi: duvarın 200 kN/m
 Yatay Yerleşmesi Kısıtlıdır: 0.0A-20

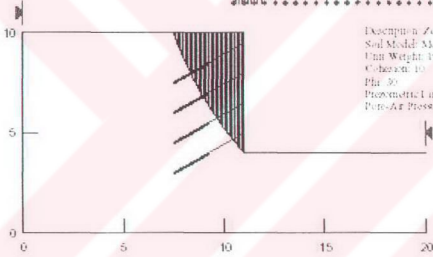


Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19
 Cohesion: 19
 Phi: 36
 Piezometric Line: 0
 Pore-Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 6 Çivi tesis açısı 25°

Description: Zemin Çivili Dayanma Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez parametrik110m_30.slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Seismic Coefficient: none

Duvar Yüksekliği H = 10.0m
 Çivi Boyu L = 45cm
 Çivi Çapı D_ç = 22mm
 Delgi Çapı D_d = 100mm
 Çivi Eğimi α = 30°
 Çivi Yarı Aralığı S_ç = 1.5m
 Çivi Dışarı Aralığı S_d = 1.5m
 Duvar Yatay Eğimi β = 0°
 Duvar Çivi Sıkılığı Z = 0.9
 Sıvı sıvımla dıncırlı T_ç = 200kN/m
 Yatay Yer Değiştirme Katsayısı K_h = 0.0 A.2)

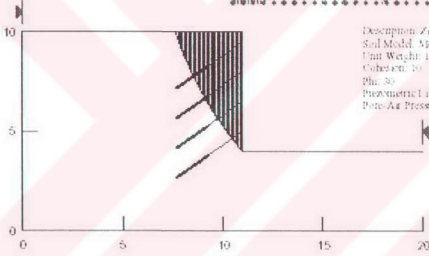


Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19
 Cohesion: 10
 Phi: 30
 Piezometric Line: no
 Pore-Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 7 Çivi tesis açısı 30°

Description: Zemin Çivi Döyama Yapıları
 Comments: Parametrik İncelene
 File Name: Tez_parametrik16m_35.slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines - Ru
 Seismic Coefficient: none

Duvar Yüksekliği H = 6.7m
 Çivi Döyümlü = 4cm
 Çivi Çapı D₀ = 22mm
 Delgi Çapı D₁ = 19mm
 Çivi Açısı α = 35°
 Çivi Yatay Aralığı S₀ = 1.5m
 Çivi Döyümlü Aralığı S₁ = 1.5m
 Duvar Yatay Farkı Δx = 0m
 Duvar Yatay Seviyesi Z = 0°
 Nihai sıvınlma değeri T_{ult} = 200 kN/m
 Yatay Yer Döyümlü Katsayısı K_h = 0.05

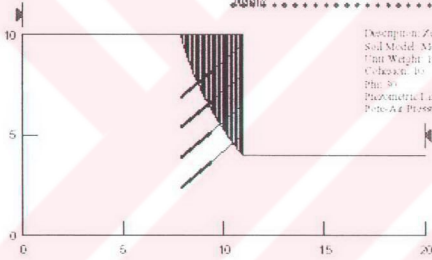


Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19
 Cohesion: 10
 Phi: 30
 Piezometric Line: 0
 Pore Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 8 Çivi tesis açısı 35°

Description: Zemin Çivi Döşeme Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez_parametrik16m_40.slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines / Ru
 Seismic Coefficient: (none)

Döşer Yüksekliği H = 6.0m
 Çivi Döşer L = 4.0m
 Çivi Çapı D_ç = 22mm
 Döşer Çapı D_d = 100mm
 Çivi Eğimi α = 40°
 Çivi Yatay Aralığı Sh = 1.5m
 Çivi Döşer Aralığı Sv = 1.5m
 Döşer Yüksekliği Z_d = 0
 Döşer Çatı Seviyesi Z_c = 0
 Sırtar yüzüne direnci T_{ult} = 200 kN/m²
 Yatay Yer İvmesi Katsayısı k_h = 0.0A(2)

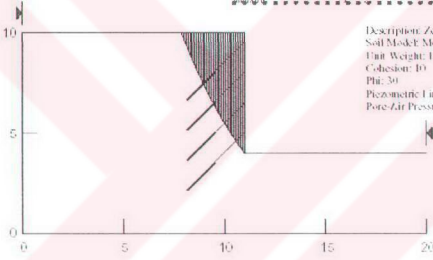


Description: Zemin
 Soil Model: M3 (n=0.9, k=0.001)
 Unit Weight: 18
 Cohesion: 10
 Phi: 30
 Piezometric Line w₀:
 Pore-Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 9 Çivi tesis açısı 40°

Description: Zemin Çivili Dayanma Yapıları
 Comments: Parametrik İnceleme
 File Name: Tez_parametrikH6m_45 slp
 Analysis Method: Bishop
 Slip Surface Option: Grid and Radius
 P.W.P. Option: Piezometric Lines - Ru
 Seismic Coefficient: (none)

Düvar Yüksekliği H = 6.0m
 Çivi Boyu L = 4.0m
 Çivi Çapı D_c = 22mm
 Delgi Çapı D_d = 100mm
 Çivi Eğimi α = 45°
 Çivi Yatay Aralığı S_h = 1.5m
 Çivi Dikey Aralığı S_v = 1.5m
 Düvar Yüzeyi Eğimi β = 90°
 Düvar Üstü Seç Eğimi Z = 10°
 Nüfus stıyılma değeri F_u = 200 kN/m
 Yatay Yer İrimesi Katayısı k_h = 0 (A2)



Description: Zemin
 Soil Model: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 19
 Cohesion: 10
 Phi: 30
 Piezometric Line: 0
 Pore Air Pressure: 0

Şekil Ek 2. 10 Çivi tesis açısı 45°

Ek 3 Zemin çivili duvarlara ait örnek çizimler

Şekil Ek 3.1 İnşaat notları

Şekil Ek 3.2 Vaziyet planı

Şekil Ek 3.3 Duvar görünüşü

Şekil Ek 3.4 Duvar görünüşü

Şekil Ek 3.5 Tipik kesitler ve çivi detayları

Şekil Ek 3.6 Alternatif zemin çivisi korozyon koruma detayları

Şekil Ek 3.7 Duvar kaplama detayları

Şekil Ek 3.8 Zemin profili

GENEL NOTLAR VE ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR TASARIM PARAMETRELERİ

- Tüm malzeme ve işçilik proje şartnamesine uygun olacaktır
- Tasarım metodu ve detayları hesap raporunda verilmiştir
- Betonarme ve püskürtme beton: $f_y = 420$ MPa
 $f_c = 28$ MPa
Çivi enjeksiyonu: $f_c = 21$ MPa
- Yapı çeliği: Şartnamesine uygun yapı çeliği (TS 500)
- Planlarda belirtilmemesi halinde; minimum beton/püskürtme beton kalınlığı, beton/püskürtme beton yüzeyinden donatı (hasır çelik) yüzeyine kadar:
Kalıcı kaplamanın havayla temas eden ön kısmı: 50 mm
Zemin yüzeyine temas eden kalıcı püskürtme beton: 75 mm
Geçici püskürtme beton üzerindeki kalıcı yerinde dökme beton kaplama: 38 mm
- Planlarda belirtilmemesi halinde köşelerde ve kenarlarda 20mm pah yapılmalıdır
- Tasarım Parametresi:

Zemin/Kaya Cinsi	Nihai Sürtünme Açısı (Derece)	Nihai Kohezyon (kPa)	Birim Ağırlık (kN/m^3)	Emniyetli Sınırlı Direnci (kN/m)
Siltli Kum	34	7.2	19.6	22.0
Killi Kum	30	12.0	18.8	14.5
Siltli Kumlu Çakıl	38	4.8	20.4	44.0

- Tüm çivi boy ve çapları görünüş çizimlerinde verildiği gibi olmalıdır.
- Müteahhit zemin çivili duvar inşaatı için gerekenleri sahada tesis etmekle yükümlüdür.
- Müteahhit zemin çivili duvarın üstündeki ve altındaki şevin stabil olmasını sağlamalıdır.
- Zemin çivili duvarın 5 m civarında 1/1 (D/Y) eğimden daha dik şev için onay alınmalıdır.
- Duvar hattının ve duvar geometrisinin doğruluğundan müteahhit sorumludur.

ZEMİN ÇİVİLİ DUVARDA

		KESİM A	KESİM B	KESİM C	KESİM D	KESİM E	ARA TOPLAM
ÇİVİ BOYU (m)	25 M	310	462	356	652	287	2,067
	29 M	0	186	112	449	866.5	1,613.5
	32 M	0	0	0	0	569.5	569.5
PLAKA (200 x 200 x 20 mm)	NO. WEIGHT (kg)	62 383	107 660	66 407	172 1,061	217 1,339	624 3,850
PÜSKÜRTME BETON ALANI - 100 mm KALINLIK (Sm)		125.5	242.0	170.0	406.5	495.5	1,439.5
YERİNDE DÖKME BETON ALANI - 200 mm KALINLIK (Sm)		132.0	262.0	186.5	447.0	520.0	1,547.5
TOPLAM PÜSKÜRTME BETON - KAPLAMA DONATISI (kg)		551	1,021	719	1,706	1,950	5,947
TOPLAM YERİNDE DÖKME BETON DUVAR DONATISI (kg)		2,017	3,935	2,784	6,659	7,955	23,350

İNŞAAT AŞAMALARI

- Duvar yukarıdan aşağıya doğru ilgili paftada belirtilen kademelerde gerekli önlemler alınarak kazılarak inşa edilecektir.
- Aşağıda belirtilen iş aşamaları sırasıyla yapılacak, herhangi bir iş tamamlanmadan bir sonraki aşamaya geçilmeyecektir. Özel durumlarda Kontrol Mühendisi'nin onayı alınacaktır.
 - Ön üretim doğrulama çivileri tesis edilecektir. Aşağıdaki tablo göz önüne alınacaktır.
 - Birinci kademe kazısı yapılacak (kabaca).
 - Kazı yüzeyi, nihai duvar yüzeyi kazı sınırı olacak şekilde düzenlenecek ve gerekirse destek palyesi yapılacaktır.
 - Delgi, çivi tesisi ve çivilerin enjeksiyonu sırasıyla gerçekleştirilecek. Destek palyesi nihai kazı yüzeyine uygun şekilde temizlenecek.
 - Geokompozit drenaj şeritleri yerleştirilecek.
 - Donatı yerleştirilerek püskürtme beton uygulamasına geçilecektir. Çivi tesisi yapılmamış duvar yüzeyi gün sonuna kadar açık bırakılabilecektir, bu konuda nihai karar Kontrol Mühendisine aittir.
 - Püskürtme beton ve çivi enjeksiyonu öngörülen mukavetine eriştikten sonra şartnamede belirlenen çivi çekme deneyleri yapılmalıdır.
- PVC bağlantı boruları tesis edilerek geokompozit drenaj şeritlerinin topuk drenajına veya duvar tabanına bağlantı gerçekleştirilmelidir.
- Yerinde dökme betonarme dış kaplamanın yapılması.

DOĞRULAMA TESTİ ÇİVİSİNİN YERİ

ZEMİN CİNSİ	DUVAR KESİMİ	DUVAR MEVKİİ (m)	DUVAR KOTU (m)
SİLTİLİ KUM	B	39.3	113.5
	E	197.5	123.5
KİLLİ SİLT	B	76.8	114.0
	E	166.0	120.0
SİLTİLİ KUMLU ÇAKIL	D	153.5	118.0
	E	213.0	117.5

TEST İÇİN GEREKLİ DÜZENLEMELERE ŞARTNAMESİNDEN ALINACAKTIR.

ZEMİN ÇİVİSİ UYGULAMA DETAYLARI

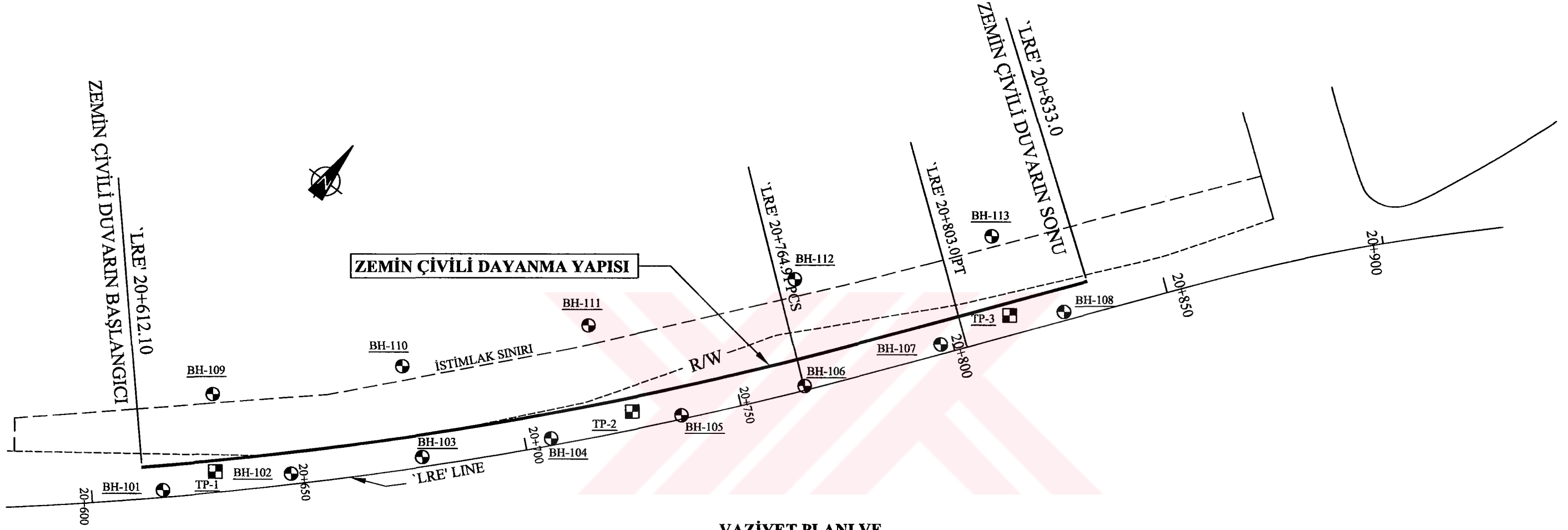
ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI

İNŞAAT NOTLARI

TARİH: _____ HESAP: _____ SAYFA: ____ / ____
YAPI NO: _____ PAFTA NO.: _____ 49721

YAPAN
ÇİZEN
KONTROL
ONAY
ONAY

TARİH	REVİZYON	NO



**VAZİYET PLANI VE
ARAŞTIRMA LOKASYONLARI**

ZEMİN ÇİVİSİ UYGULAMA DETAYLARI

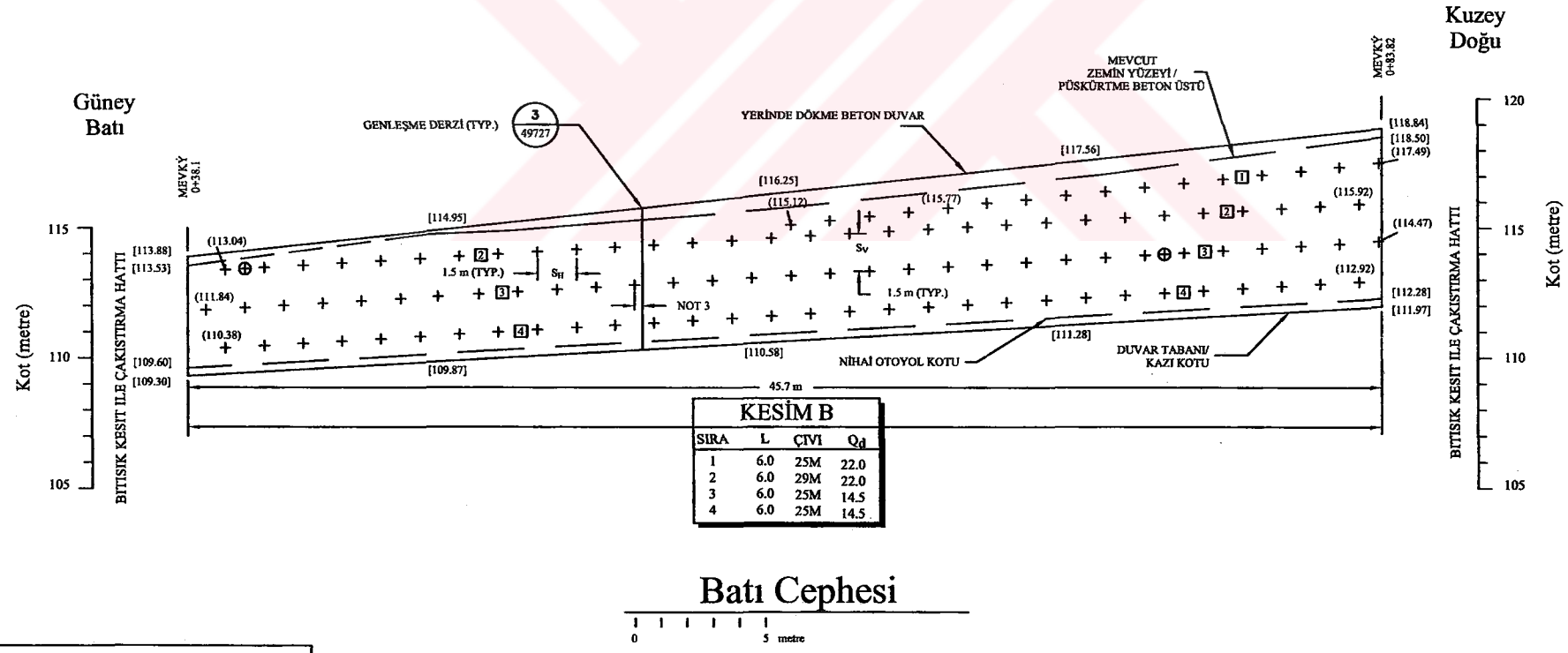
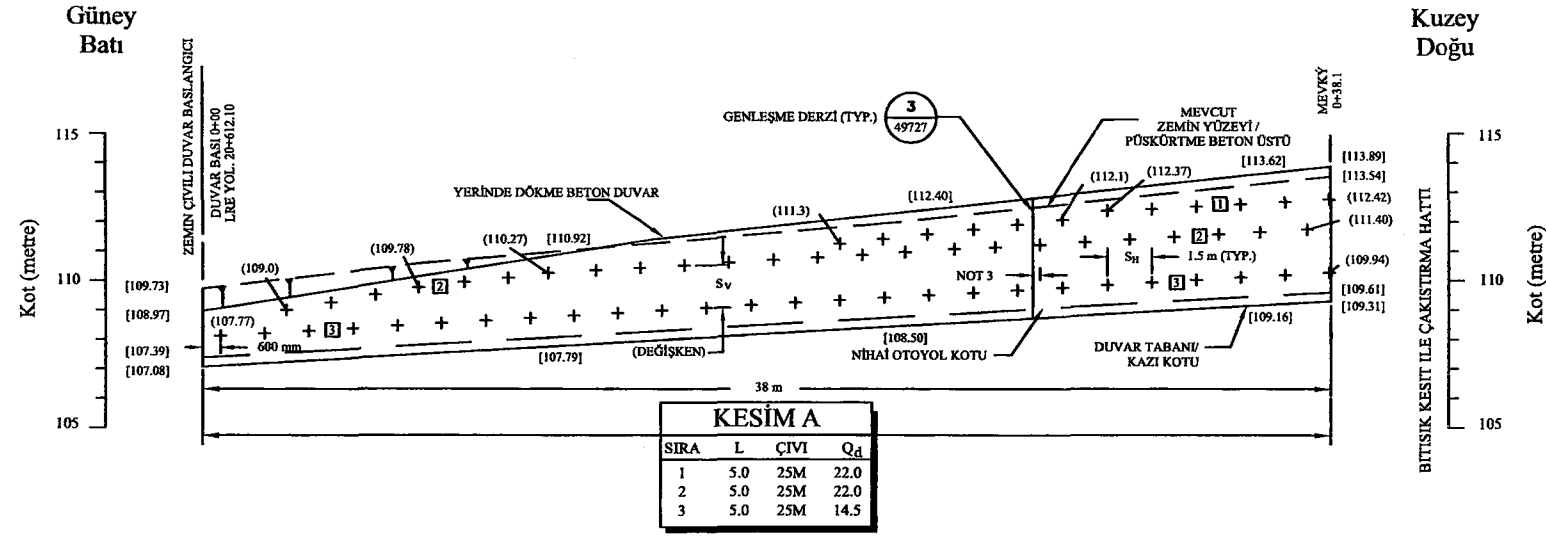
ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI

VAZİYET PLANI

TARİH: _____ HESAP: _____ SAYFA: _____ / _____
YAPI NO: _____ PAFTA NO.: 49722

YAPAN	_____
ÇİZEN	_____
KONTROL	_____
ONAY	_____
ONAY	_____

TARİH	REVİZYON	NO
_____	_____	_____
_____	_____	_____
_____	_____	_____



Lejant:

+	Çivi	L	Çivi Delgi Boyu(metre)
⊕	Dogrulama Deneyi Çivisi	ÇİVİ	Çelik Donatı Boyutu
2	Çivi Sırası	Q _d	Emniyetli Sıyrılma Direnci (kN/m)
(370.7)	Çivi Kotu	S _H	Yatay Çivi Mesafesi (metre)
(373.6)	Kot	S _V	Düşey Çivi Mesafesi (metre)

NOTLAR:

- Kotu verilmeyen çivilerin kotu interpolasyon ile bulunacaktır.
- Genleşme derzlerinin yerleri çivi uygulaması öncesinde belirlenecek ve genleşme derzleri ile çiviler arasında temiz 300 mm mesafe olacaktır.
- Çivi olarak kullanılan çeliklerde diğ açılır ise diğ çapı projede belirtilen çap olacak şekilde donatı çapı artırılacaktır.

ZEMİN ÇİVİSİ UYGULAMA DETAYLARI

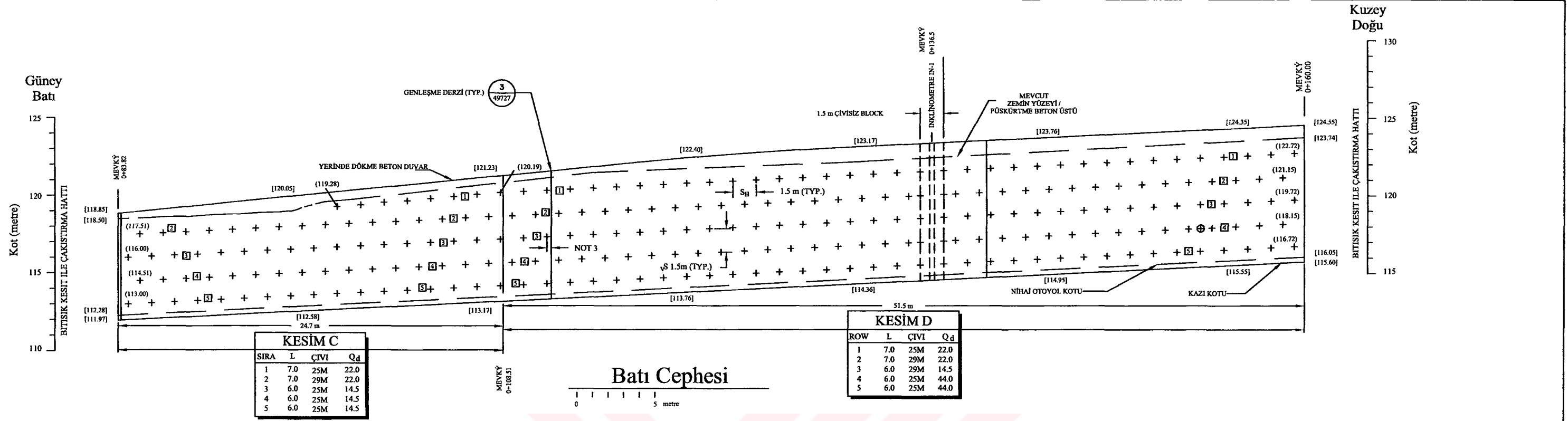
ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI

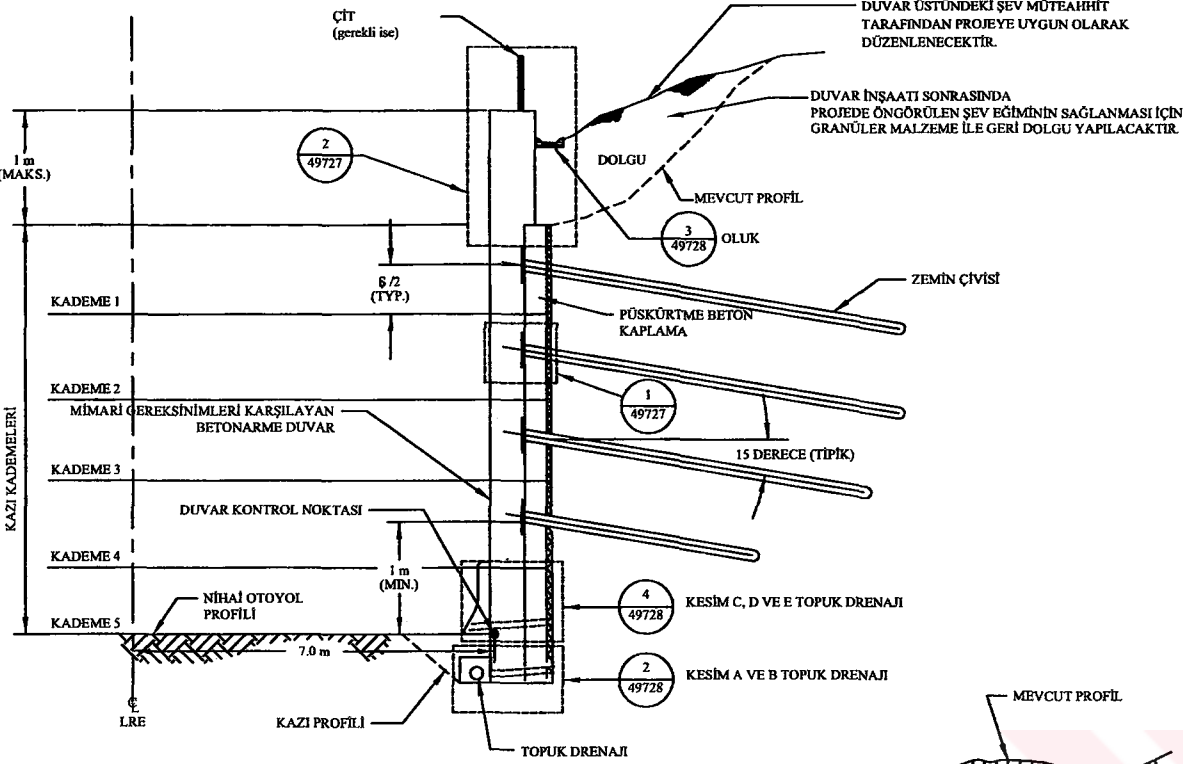
DUVAR GÖRÜNÜŞÜ -KESİM A VE B

TARİH _____ HESAP: _____ SAYFA: _ / _
YAPI NO _____ PAFTA NO.: 49723

YAPAN	_____
ÇİZEN	_____
KONTROL	_____
ONAY	_____
ONAY	_____

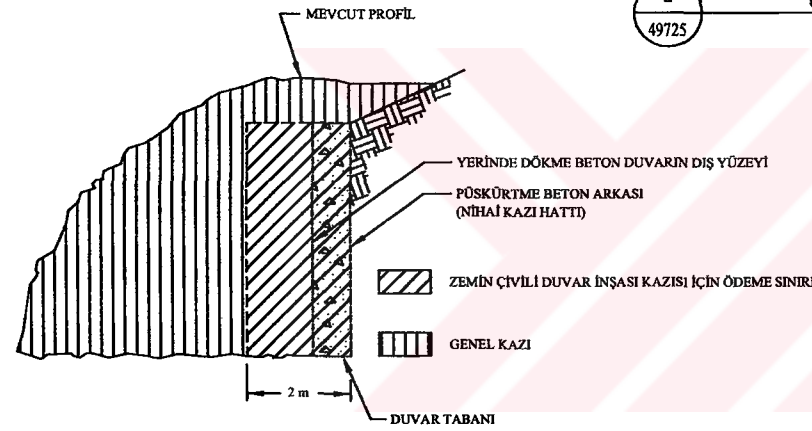
TARİH	REVIZYON	NO



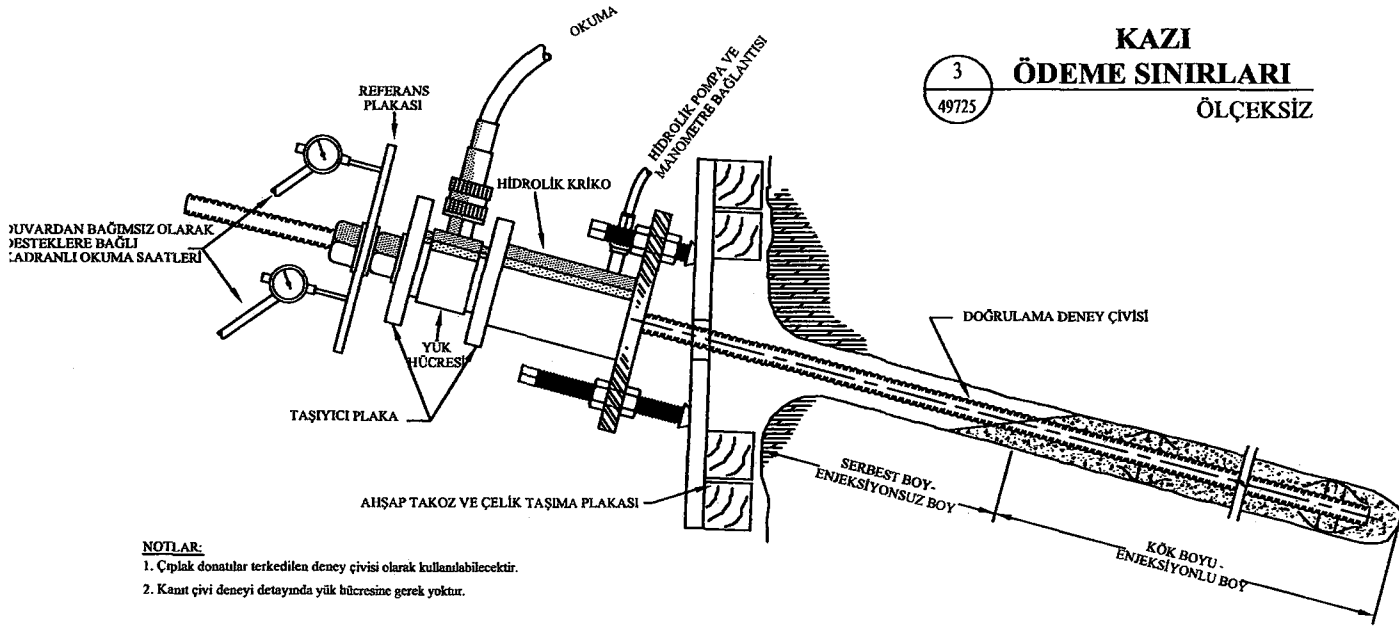


NOT: S_v = Dişey Çivi Aralığı (m)

1 TİPİK KESİT
ÖLÇEKSİZ

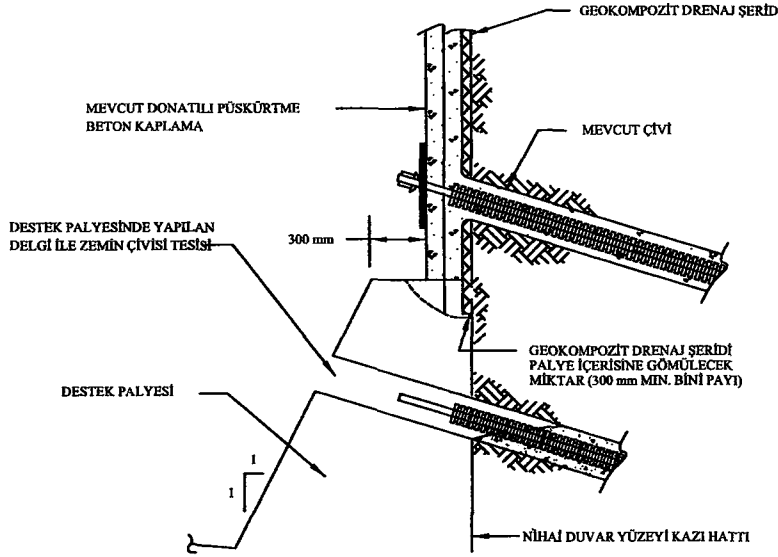


3 KAZI ÖDEME SINIRLARI
ÖLÇEKSİZ

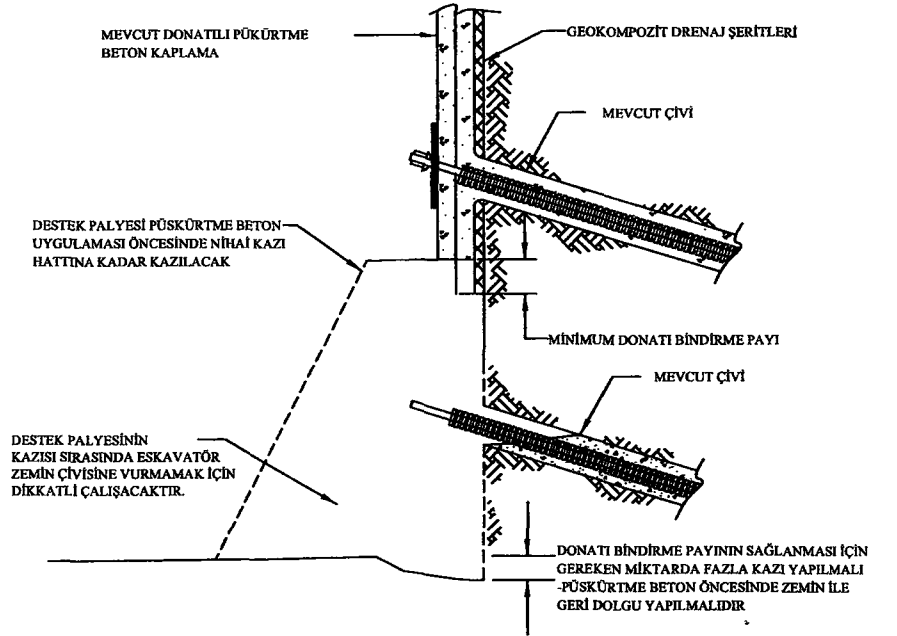


NOTLAR:
1. Çıplak donatılar terk edilen deney çivisi olarak kullanılabilir.
2. Kanıt çivi deneyi detayında yük hücrelerine gerek yoktur.

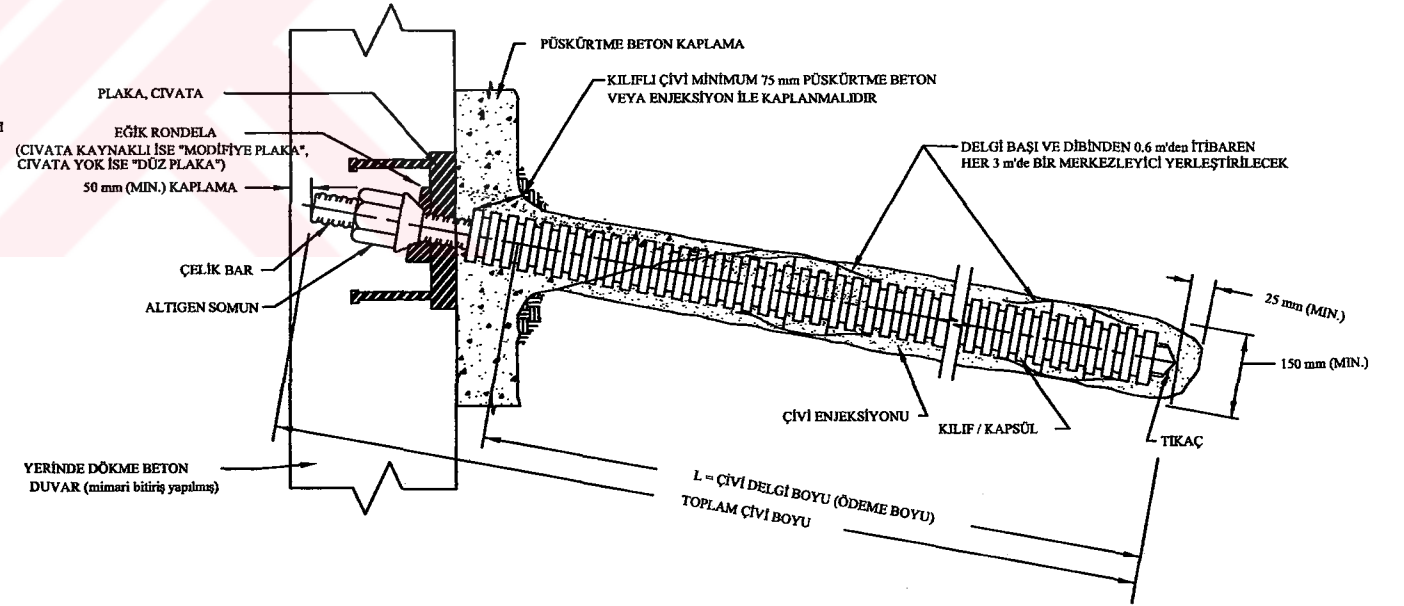
5 ZEMİN ÇİVİSİ DOĞRULAMA DENEYİ DETAYI
ÖLÇEKSİZ



2 GEÇİCİ DESTEK PALYESİ KULLANILARAK ZEMİN ÇİVİSİ TESİSİ (MÜTEAHHİT SEÇENEĞİ)
ÖLÇEKSİZ



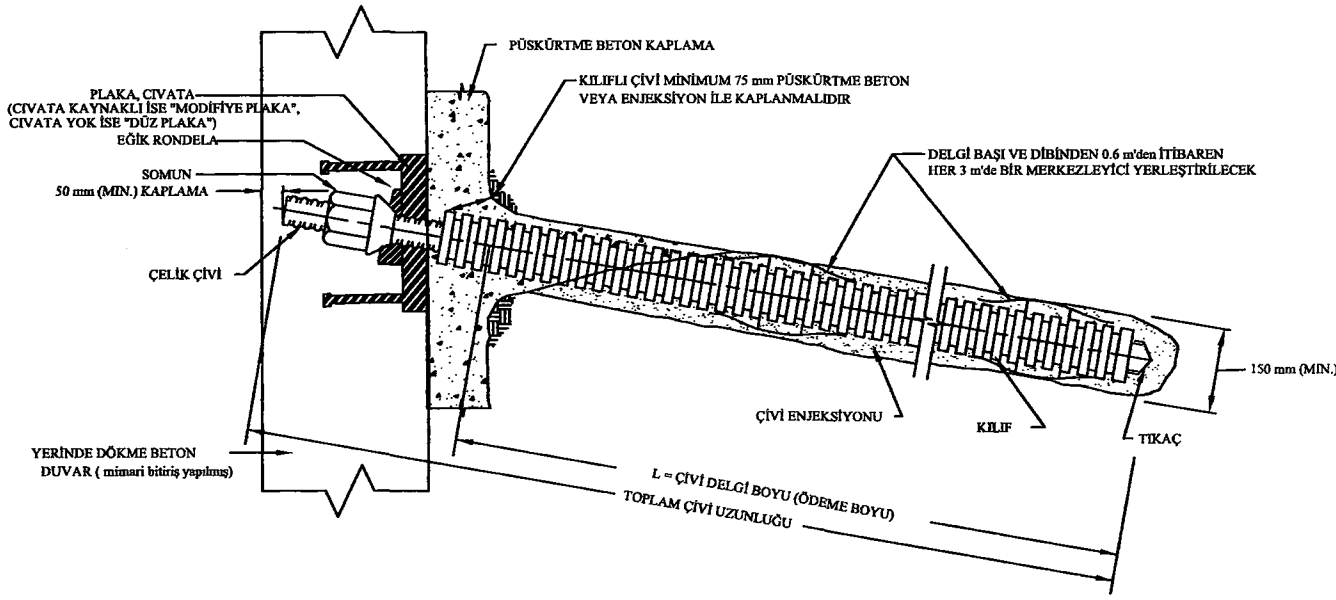
2A GEÇİCİ DESTEK PALYESİNİN PÜSKÜRTME BETON UYGULAMASI ÖNCESİNDE KAZISI (MÜTEAHHİT SEÇENEĞİ)
ÖLÇEKSİZ



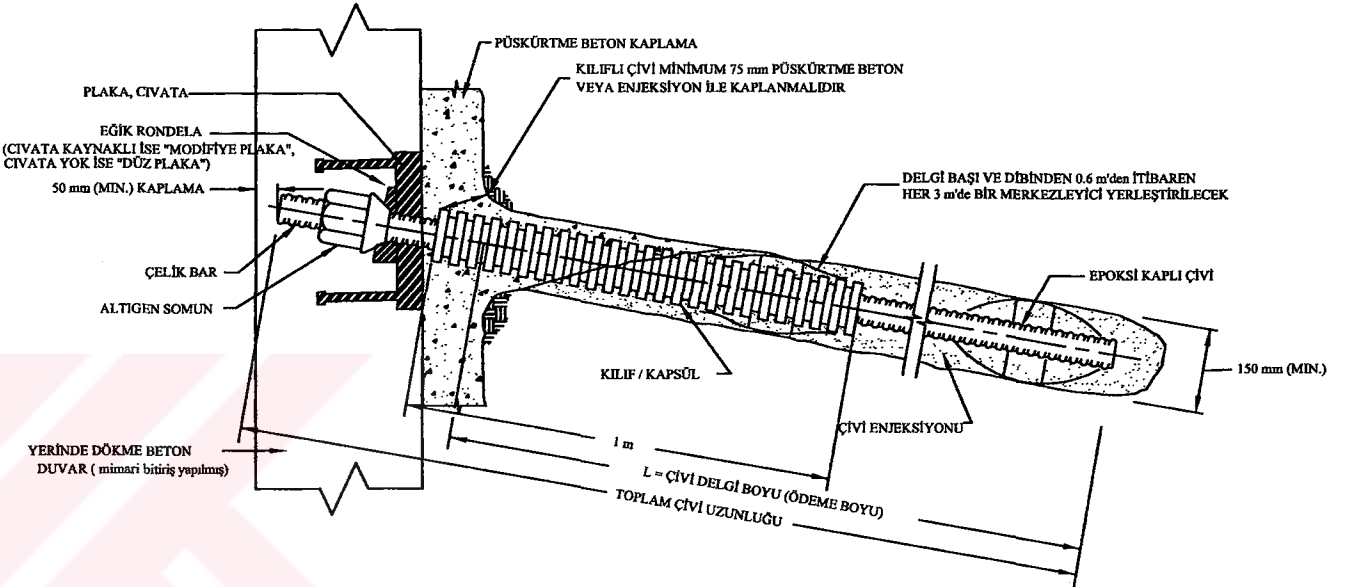
4 KILIFLI ZEMİN ÇİVİSİ DETAYI
ÖLÇEKSİZ

YAPAN	
ÇİZEN	
KONTROL	
ONAY	
ONAY	
TARİH	REVİZYON
	NO

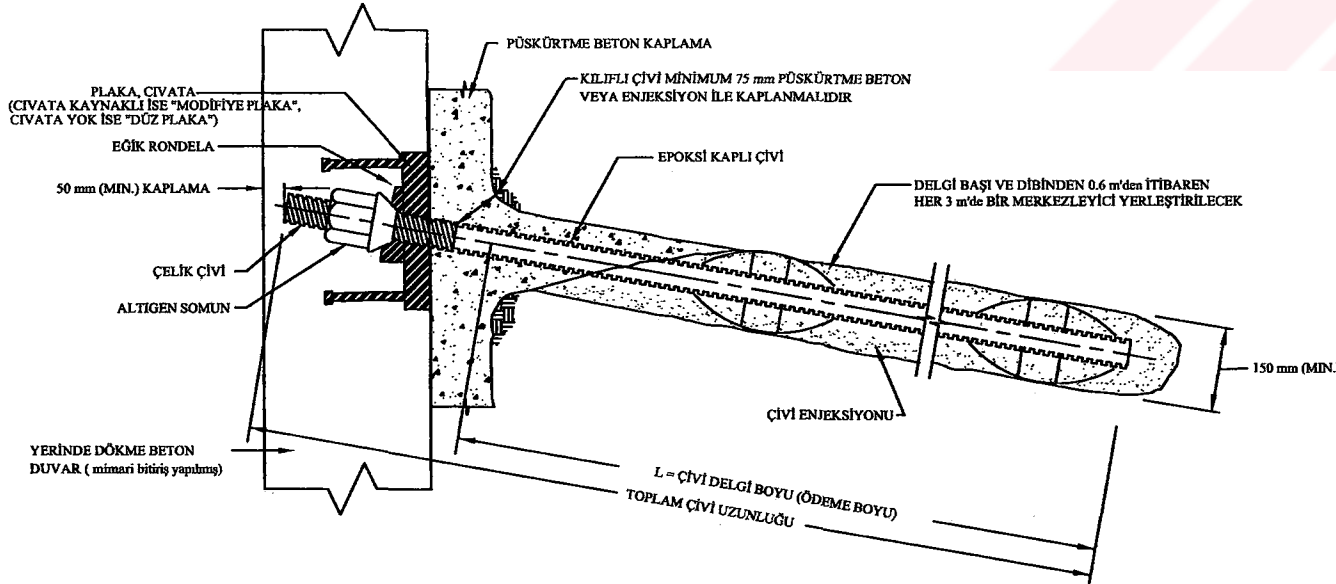
ZEMİN ÇİVİSİ UYGULAMA DETAYLARI
ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI
TİPİK KESİTLER ve ÇİVİ DETAYLARI
TARİH: _____ HESAP: _____ SAYFA: _____ / _____
YAPI NO: _____ PAFTA NO.: 49725



1
49726
KILIFLI ZEMİN ÇİVİSİ DETAYI
ÖLÇEKSİZ



3
49726
ÜST 1 METRESİ KILIFLI EPOKSİ KAPLI ZEMİN ÇİVİSİ DETAYI (CALTRANS)
ÖLÇEKSİZ



2
49726
MAKİNE DİŞLİ EPOKSİ KAPLI ÇİVİ DETAYI
ÖLÇEKSİZ

NOT:
Tavsiye edilen 3 alternatif zemin çivisi korozyon koruma detayının bir tanesi seçilebilecektir.

ZEMİN ÇİVİSİ UYGULAMA DETAYLARI

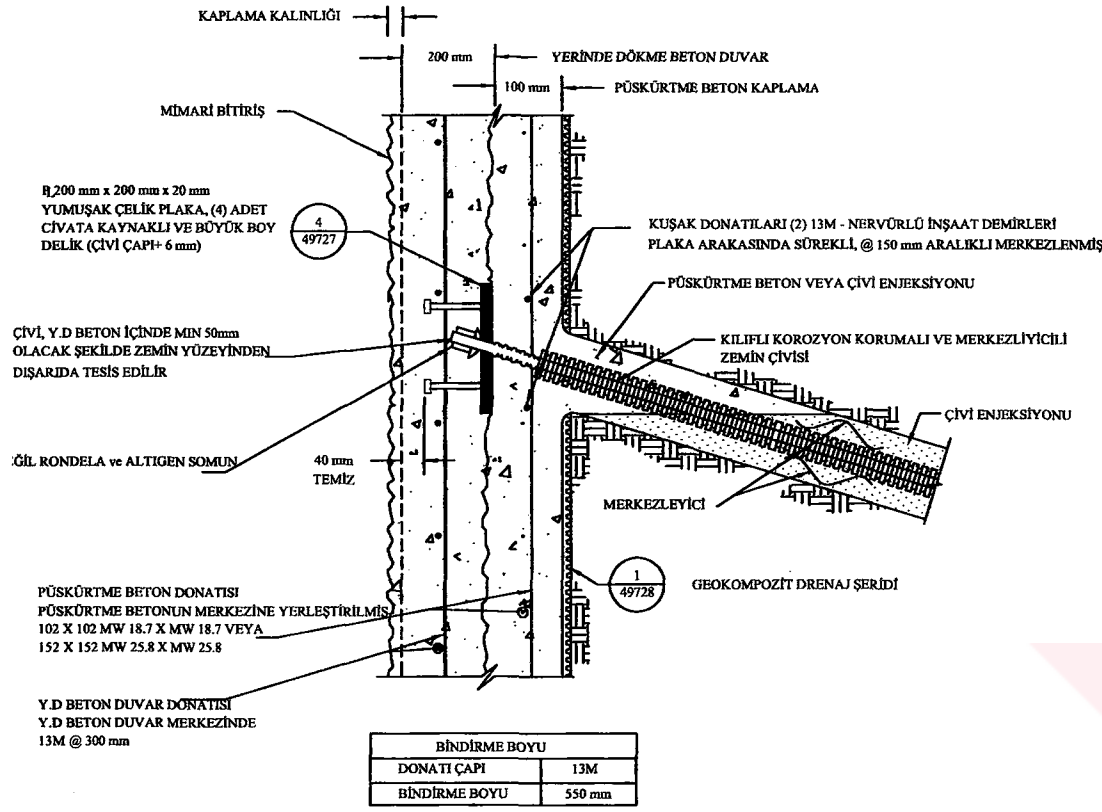
ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI

ALTERNATİF ZEMİN ÇİVİSİ KOROZYON KORUMA DETAYLARI

TARİH: _____ HESAP: _____ SAYFA: _____ / _____
YAPI NO: _____ PAFTA NO.: 49726

YAPAN	_____
ÇİZEN	_____
KONTROL	_____
ONAY	_____
ONAY	_____

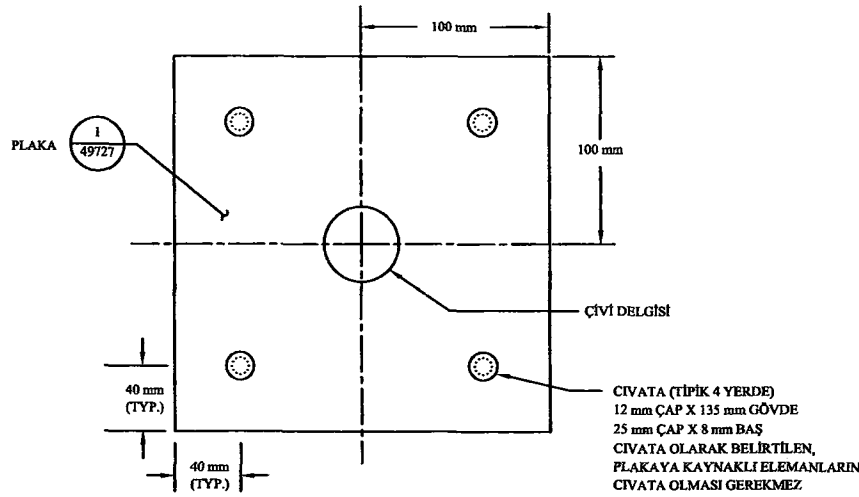
TARİH	REVİZYON	NO
_____	_____	_____



1 BİTİMİŞ DUVAR KESİTİ

49727

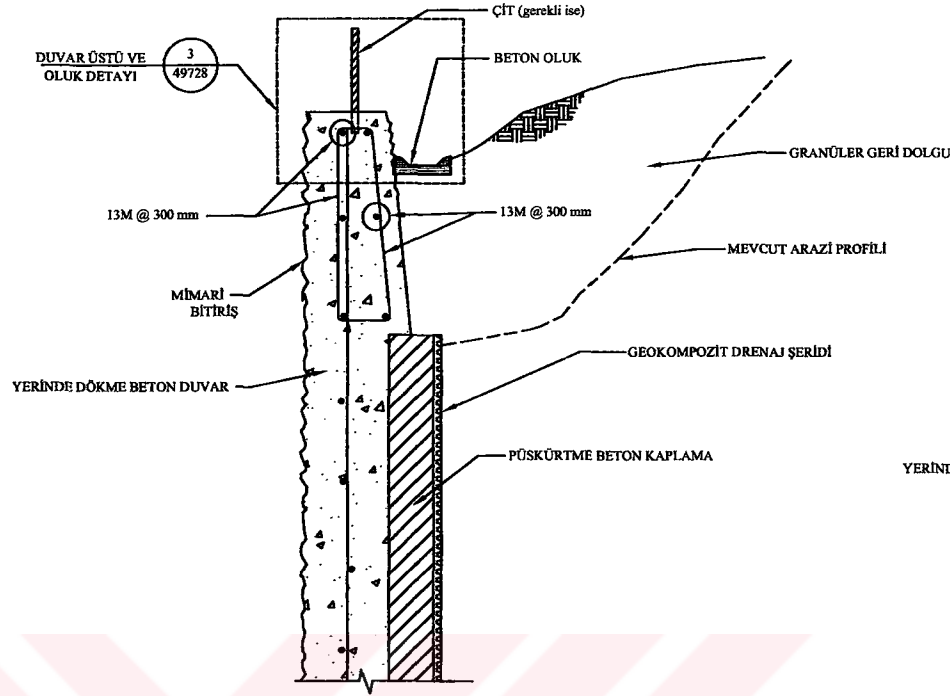
ÖLÇEKSİZ



4 CİVATALI BAĞLANTI PLAKASI (MODİFİYE PLAKA)

49727

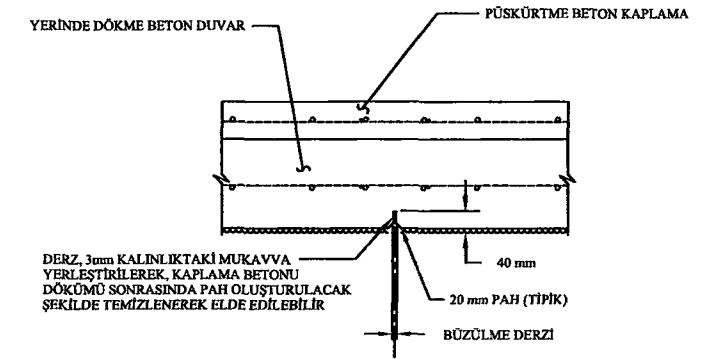
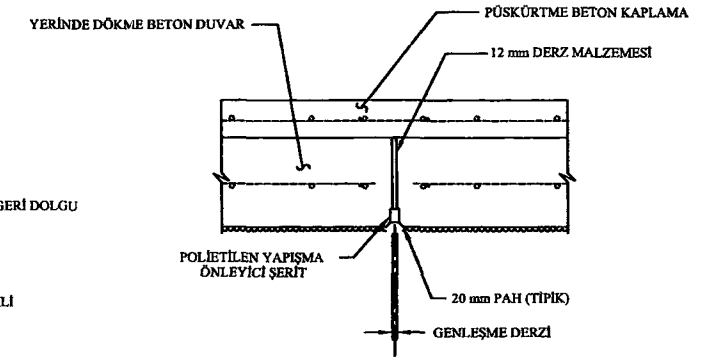
ÖLÇEKSİZ



2 KONSOL DETAYI

49727

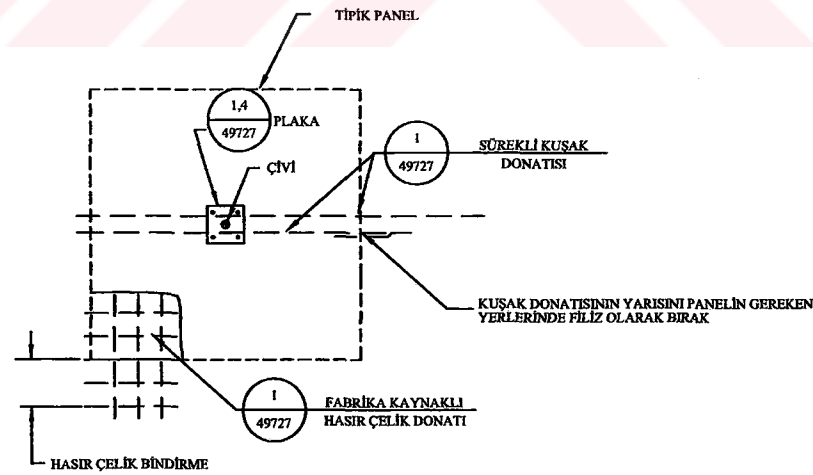
ÖLÇEKSİZ



3 TİPİK GENLEŞME VE İNŞAAT DERZİ

49727

ÖLÇEKSİZ



5 TİPİK PÜSKÜRTME BETON DONATİ YERLEŞİMİ

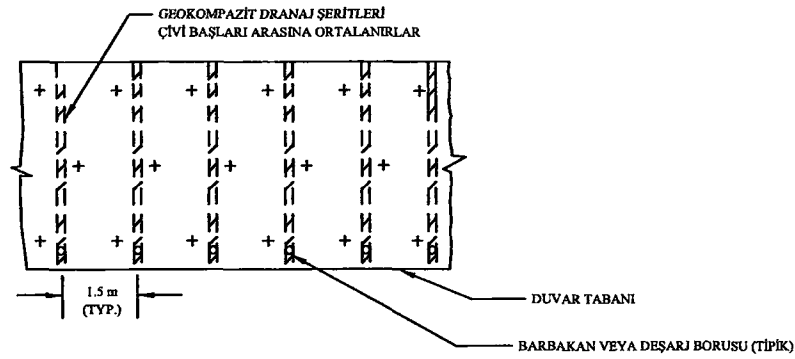
49727

ÖLÇEKSİZ

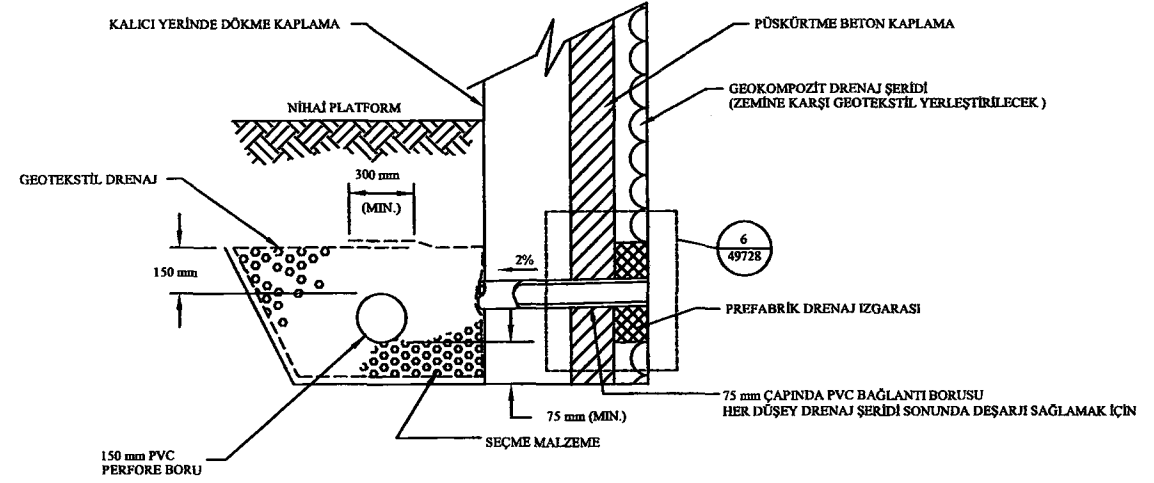
YAPAN	
ÇİZEN	
KONTROL	
ONAY	
ONAY	

TARİH	REVİZYON	NO

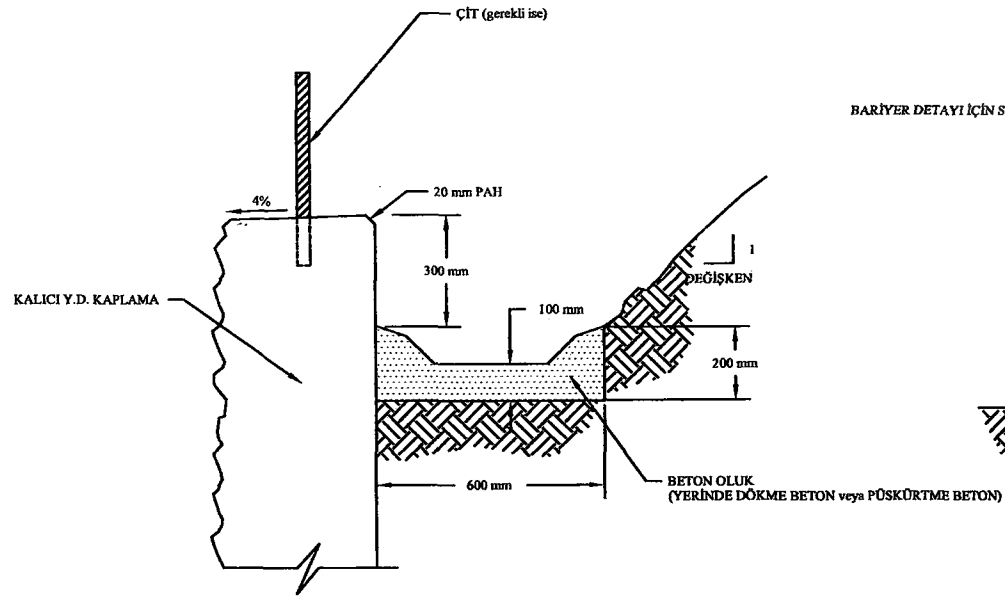
ZEMİN ÇİVİSİ UYGULAMA DETAYLARI
ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI
DUVAR KAPLAMA DETAYLARI
TARİH: _____ HESAP: _____ SAYFA: ____ / ____
YAPI NO: _____ PAFTA NO.: 49727



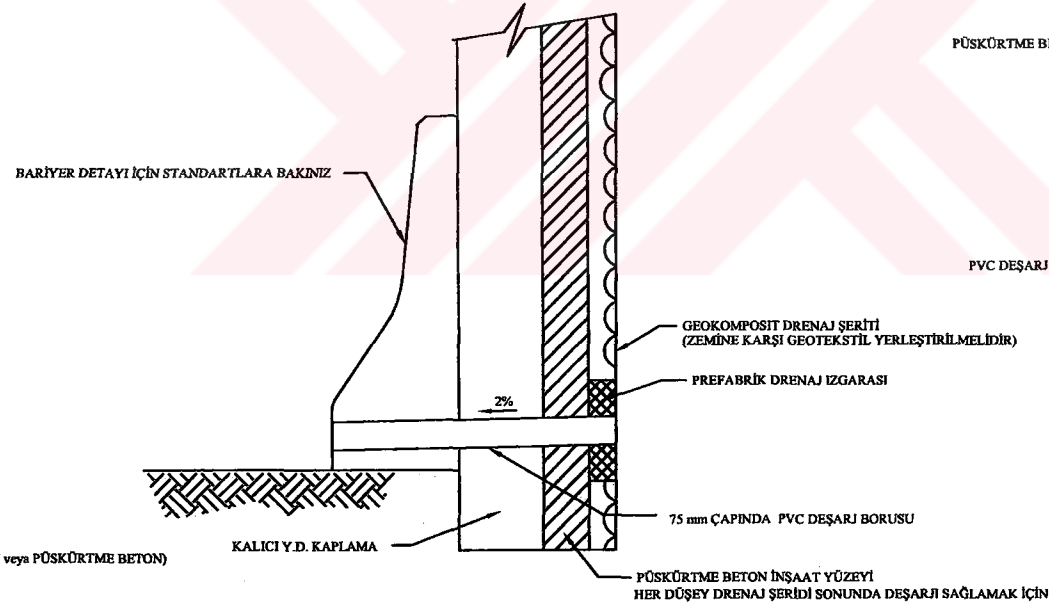
1
49728
**GEOKOMPOZİT
ŞERİT DRENAJ DETAYI**
ÖLÇEKSİZ



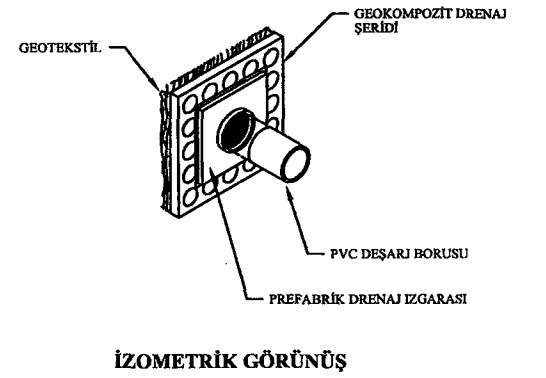
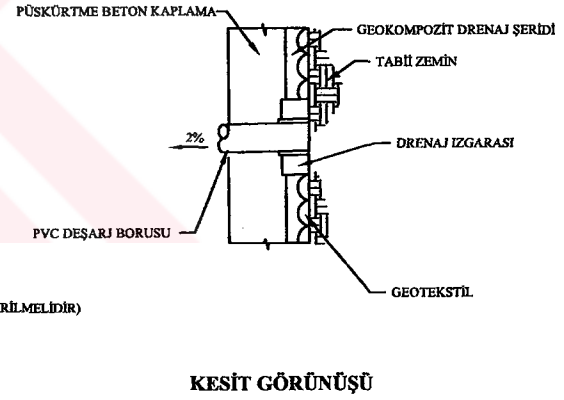
2
49728
**BÖLÜM A & B
TİPİK DUVAR TOPUĞU DRENAJI**
ÖLÇEKSİZ



3
49728
**DUVAR ÜSTÜ VE
BETON OLUK DETAYI**
ÖLÇEKSİZ



4
49728
**KESİM C, D, E
TİPİK DUVAR TOPUĞU DRENAJI
TRAFİK BARIYERİ VE PVC
DEŞARJ BORUSU DETAYI**
ÖLÇEKSİZ



6
49728
DRENAJ IZGARASI DETAYI
ÖLÇEKSİZ

YAPAN	
ÇİZEN	
KONTROL	
ONAY	
ONAY	

TARİH	REVİZYON	NO

ZEMİN ÇİVİSİ UYGULAMA DETAYLARI
ZEMİN ÇİVİLİ DAYANMA YAPILARI
DUVAR DRENAJ DETAYLARI
TARİH: _____ HESAP: _____ SAYFA: _____ / _____
YAPI NO: _____ PAFTA NO.: 49728

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	01.11.1976	
Doğum yeri	Gaziantep	
Lise	1991-1994	Gaziantep Anadolu Lisesi
Lisans	1994-1999	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1999-2002	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Geoteknik Programı

