

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN ÇİVİLİ İSTİNAT YAPILARIYLA İLGİLİ
KARŞILAŞTIRMALI BİR HESAP YÖNTEMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aslı Senem AÇIKEL**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK
MÜHENDİSLİĞİ**

OCAK 2005

**ZEMİN ÇİVİLİ İSTİNAT YAPILARIYLA İLGİLİ
KARŞILAŞTIRMALI BİR HESAP YÖNTEMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Aslı Senem AÇIKEL
501021271

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Aralık 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 28 Ocak 2005

Tez Danışmanı : Doç.Dr. M. Tuğrul ÖZKAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY (İTÜ)
Prof. Dr. Feyza ÇİNİCİOĞLU (İÜ)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Derin kazı destekleme tekniklerinden biri olan zemin çivisi tekniğinin tasarım yöntemlerinin incelendiği bu yüksek lisans tez çalışmasında tasarım yöntemlerinin, farklı zemin parametrelerinin ve geometrik parametrelerin zemin çivili duvar tasarımına etkileri araştırılmıştır.

Tez çalışmamda bilgi ve deneyimlerinden yararlanma fırsatını bana veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tuğrul ÖZKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda bana yol gösteren ve çalışmamın her kademesinde çok değerli bilgilerinden yararlanma fırsatı veren Sayın Dr. Baran ÖZSOY'a, yardımlarından, yaydığı pozitif enerji desteğinden ve benimle paylaştığı çok değerli deneyimlerinden dolayı SANCAR Mühendislik'ten İnş. Y. Müh. Sayın Noyan SANCAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda bana zemin çivisi uygulamalarını inceleme fırsatı tanıdıkları için Sayın Prof. Dr. H. Turan DURGUNOĞLU başta olmak üzere ZETAŞ Zemin Teknolojisi A.Ş. çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bana verdikleri teknik destek için ve yanımda oldukları için Araş. Gör. Sayın Gökhan ÇEVİKBİLEN'e, İnş. Müh. Sayın Seda ŞENDİR'e, Çev. Y. Müh. Sayın Bilgen TÜRKOĞLU'na, Çev. Müh. Sayın Feyza GÜRAY TOPAL'a, ve İnş. Müh. Sayın Emrah MAZICI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak da bana olan inançları ve destekleri için aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2005

Aslı Senem AÇIKEL

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii
1. GİRİŞ	1
2. ZEMİN ÇİVİSİ KAVRAMI VE UYGULAMALARI	3
2.1 Zemin Çivisi Tanımı	3
2.1.1 Zemin çivisini oluşturan elemanlar	3
2.2 Zemin Çivisinin Tarihçesi ve Gelişimi	4
2.3 Zemin Çivisi Yönteminin Üstünlükleri ve Sınırlamaları	6
2.3.1 Zemin çivisi yönteminin üstünlükleri	6
2.3.2 Zemin çivisi yönteminin sınırlamaları	8
2.4 Zemin Çivisi Uygulamalarında Zemin Koşullarının Değerlendirilmesi	8
2.4.1 Uygun zemin koşulları	9
2.4.2 Uygun olmayan zemin koşulları	9
2.4.3 Ara zemin koşulları	10
2.5 Zemin Çivili Duvarın Yapım Aşamaları	10
2.5.1 Kazı işlemi	10
2.5.2 Delgi işlemi	11
2.5.3 Çivinin yerleştirilmesi-enjeksiyonlanması ve drenaj sisteminin kurulması	11
2.5.4 Geçici püskürtme beton kaplamanın yapımı	13
2.5.5 Uygulamanın tekrarlanması	13
2.5.6 Kalıcı kaplamanın yapımı	13
2.6 Zemin Çivisi Uygulamaları	14
2.7 Zemin Çivisinin Benzer Tekniklerle Karşılaştırılması	16
3. ZEMİN ÇİVİSİ TASARIMI	21
3.1 Limit Denge Yaklaşımı	21
3.1.1 Alman yöntemi	21
3.1.2 Fransız yöntemi (CLOUTERRE 1991)	22
3.1.3 Davis ve Geliştirilmiş Davis yöntemleri (FHWA-RD-89-193)	23
3.1.4 FHWA tasarım yöntemi (FHWA-SA-96-096R)	25

3.1.5 İngiliz yöntemi (Advice Note HA68/94 1994)	25
3.1.6 Hong Kong yöntemi	26
3.1.7 Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri	27
3.1.8 Ayrık eleman yöntemi	27
4. EN YAYGIN ZEMİN ÇİVİSİ TASARIM YÖNTEMLERİ: SERVİS YÜKÜ TASARIMI, YÜK ve DAYANIM KATSAYILARI TASARIMI	29
4.1 Giriş	29
4.2 FHWA Tasarım Yöntemleri	30
4.2.1 Servis yük tasarımı (SYT)	30
4.2.2 Yük ve dayanım katsayıları tasarımı (YDKT)	30
4.3 Tasarım Yöntemlerinin Temel Kavramları	31
4.4 Tasarım Yöntemlerinin Detaylı Karşılaştırılması	32
4.4.1 Kritik tasarım kesitinin / kesitlerinin oluşturulması ve bir deneme tasarımı seçilmesi	32
4.4.1.1 Ön tasarımı kartlarında kullanılan değişkenler ve boyutsuz büyüklükler	33
4.4.2 Kabul edilebilir çivi başı yükünün hesaplanması (SYT) / Tasarım çivi başı kuvvetinin hesaplanması (YDKT)	36
4.4.3 Kabul edilebilir minimum çivi başı servis yükü kontrolü (servis yükü tasarımı)/ Minimum çivi başı kuvveti kontrolü (yük ve dayanım katsayıları tasarımı)	39
4.4.4 Kabul edilebilir çivi yükü destek diyagramlarının belirlenmesi(servis yükü tasarımı)/ Tasarım çivi kuvveti destek diyagramlarının belirlenmesi (yük ve dayanım katsayıları tasarımı)	41
4.4.5 Deneme çivi aralıklarının ve boylarının seçilmesi	45
4.4.6 Nihai zemin mukavemetlerinin (servis yükü tasarımı)/ tasarım zemin mukavemetlerinin (yük ve dayanım katsayıları tasarımı) belirlenmesi	50
4.4.7 Güvenlik sayısının hesaplanması (servis yükü tasarımı)/ dayanım/yük oranının hesaplanması (yük ve dayanım katsayıları tasarımı)	50
4.4.8 Dış stabilite kontrolü	51
4.4.9 Üst konsol kontrolü	55
4.4.10 Kaplama donatı detayları kontrolü	57
4.4.11 Servis kontrolü	57
4.4.11.1 Kaplamanın servis çökmesi ve çatlak genişlikleri	57
4.4.11.2 Duvar yapısının toplam deplasmanı	57
4.4.11.3 Kaplamanın düşey genleşme ve büzülme bağlantıları	58
4.4.12 Sismik tasarım	58

5. ZEMİN ÇİVİLİ İSTİNAT YAPILARININ TASARIMIYLA İLGİLİ KARŞILAŞTIRMALI BİR HESAP	60
5.1 Zemin Çivili Duvar Tasarımında Kullanılan Hesap Yöntemi	60
5.2 Yapılan Hesaplar	61
5.3 Hesapların Sonuçlarının Değerlendirilmesi	63
6. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	70
EKLER	72
ÖZGEÇMİŞ	95

KISALTMALAR

FHWA	: Federal Highway Administration
SYT	: Servis Yüğü Tasarımı
YDKT	: Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı
ASTM	: American Standarts of Testing Material
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1	Zemin çivisi tekniğinin benzer tekniklerle karşılaştırılması..... 17
Tablo 4.1	AASHTO sınıflandırmasındaki yük kombinasyonları..... 35
Tablo 4.2	Yük kombinasyonları ve yük katsayıları 36
Tablo 4.3	Nominal çivi başı mukavemeti..... 37
Tablo 4.4	Çivi mukavemeti katsayıları - SYT..... 38
Tablo 4.5	Çivi başı dayanım katsayıları - YDKT..... 39
Tablo 4.6	Mukavemet ve güvenlik katsayıları – SYT..... 42
Tablo 4.7	Çubuk boyutları..... 43
Tablo 4.8	Dayanım katsayıları – YDKT..... 44
Tablo 5.1.	Hesaplarda kullanılan zemin parametreleri..... 63

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1	Zemin çivisi detayı 4
Şekil 2.2	Geçici püskürtme beton kaplamanın altında drenaj şeritleri..... 12
Şekil 2.3	Tipik topuk direni detayı..... 12
Şekil 2.4	Zemin çivili duvarın yapım aşamaları..... 14
Şekil 2.5	Yarmalarda zemin çivili geçici ve kalıcı duvar uygulamaları..... 15
Şekil 2.6	Mevcut bir köprü altındaki yol genişletmesi..... 16
Şekil 2.7	Donatı boyunca çekme kuvvetinin tipik dağılımları..... 18
Şekil 2.8	Zemin çivili duvar ve toprakarme duvarın deformasyon davranışlarının karşılaştırılması..... 19
Şekil 2.8	Toprakarme, zemin çivili ve ankrajlı duvarlar için tipik donatı düşey gerilme dağılımları..... 20
Şekil 3.1	Kayma yüzeyi kabulleri..... 22
Şekil 3.2	Davis yöntemi olası kayma yüzeyi kabulleri..... 23
Şekil 3.3	Zemin-çivi arasındaki sürtünme davranışı varsayımı..... 28
Şekil 4.1	Ölçülen çivi başı yüklerinin normalizasyonu..... 41
Şekil 4.2	Çivi destek diyagramı..... 43
Şekil 4.3	Farklı çivi uzunluğu dağılımlarının etkisi..... 48
Şekil 4.4	Çivi uzunluğu dağılımları..... 49
Şekil 4.5	Zemin alt kotundaki taşıma gücü metodolojisi..... 53
Şekil 4.6	Üst konsol tasarım kontrolleri..... 56
Şekil 4.7	Sismik yükleme şartları için iç ve dış kayma yüzeylerinin tanımları..... 59
Şekil 5.1	Geliştirilmiş Rankine kayma kaması ve toprak basıncı diyagramı yaklaşımları..... 62
Şekil 6.1	SYT ile $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği..... 66
Şekil 6.2	YDKT ile $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği..... 66
Şekil 6.3	Z1 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 67
Şekil 6.4	Z5 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 68
Şekil 6.5	Yüksekliklere göre seçilen çivi yerleşim düzenleri..... 68
Şekil 6.6	Yüksekliklere göre seçilen çivi yerleşim düzenlerinin s değerine etkisi..... 69
Şekil A.1	$\alpha = 0$ ve $\beta = 0$ için A1 öntasarım kartı..... 73
Şekil A.2	$\alpha = 0$ ve $\beta = 0$ için B1 öntasarım kartı..... 74
Şekil B.1	SYT ile $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği..... 76
Şekil B.2	YDKT ile $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği..... 76
Şekil C.1	Z2 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 78
Şekil C.2	Z3 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 78
Şekil C.3	Z4 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 79
Şekil C.4	Z6 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 79
Şekil C.5	Z7 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 80
Şekil C.6	Z8 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği..... 80

Şekil C.7	Z9 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği.....	81
Şekil C.8	Z10 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği.....	81

SEMBOL LİSTESİ

A	: Sismik Pseudo-Statik Katsayısı
A_{pk}	: Pik Zemin İvme Katsayısı
α_F	: Nominal Çivi Başı Mukavemeti
α_N	: Çivi tendon mukavemet katsayısı
α_Q	: Sıyırılma dayanımı mukavemet katsayısı
B	: Zemin çivili bloğun taban genişliği
c'	: Kohezyon
c_u	: Nihai zemin kohezyonu
D	: Çivi uçlarının zarfının zemin yüzeyiyle kesişme noktasının duvarın üst noktasına yatay uzaklığı
D_{DH}	: Delik çapı
E	: Toprak basıncı
EQ	: Deprem
F	: Global zemin güvenlik katsayısı
FS_P	: Sıyırılma güvenlik katsayısı
FS_G	: Global güvenlik katsayısı
ϕ'	: Zemin sürtünme açısı
ϕ_u	: Nihai zemin kohezyonu
Φ_c	: Zemin kohezyon direnç katsayısı
$\Phi\phi$	: Zemin sürtünme direnci katsayısı
Φ_N	: Çivi tendon direnç katsayısı
Φ_Q	: Sıyırılma dayanımı katsayısı
γ	: Birim hacim ağırlık
Γ_w	: Zemin ağırlık yük faktörü
H	: Duvar yüksekliği
i_c, i_{γ}	: Yük eğim faktörleri
K_A	: Aktif toprak basıncı katsayısı
L	: Maksimum çivi uzunluğu
N_C	: Taşıma gücü katsayısı
N_C, N_{γ}	: Eğilme kapasite faktörleri
P_A	: Aktif yük
Q	: Çivi-Sıyırılma dayanımı
Q_D	: Boyutsuz Sıyırılma Dayanımı
Q_u	: Nihai sıyırılma dayanımı
q_u	: Nihai bağ kuvveti
q_{ult}	: Nihai Taşıma Kapasitesi
RST	: Kısılma, büzülme, sıcaklık
s_c, s_{γ}	: Şekil faktörleri
S_H	: Yatay çivi aralığı
S_V	: Düşey çivi aralığı
T_F	: Çivi başı kaplama bağlantısı mukavemeti
T_N	: Çivi tendon çekme mukavemeti
T_{NN}	: Gerekli nominal çivi mukavemeti

ÖZET

Zemin çivisi 1970lerden itibaren kullanılan zemin iyileştirme özelliği de olan bir destekleme sistemidir. Bu tekniği incelemek üzere Avrupa ve Amerika’da çeşitli araştırma programları oluşturulmuş ve bu araştırmalar sonucunda çeşitli zemin çivisi tasarım yöntemleri önerilmiştir.

Yapılan yüksek lisans tez çalışmasında ülkeler tarafından önerilen mevcut tasarım yöntemleri incelenmiştir. Özellikle, FHWA tarafından önerilen iki tasarım yöntemi olan Servis Yüğü ile Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı yöntemleri detaylı olarak incelenerek benzerlikleri ve farkları ortaya konmuştur.

Çalışmada FHWA tarafından önerilen SYT ve YDKT ile arka şev açısı sıfır olan dik duvarlar için statik durumda hesap yapmak üzere Excel’de hazırlanan bir program kullanılmıştır. Bu programla farklı zemin parametreleri ve geometrik parametrelerden oluşan 220 zemin çivili duvar için hesap yapılmış ve bu hesapların sonuçları analizlerde kullanılmıştır. Analizler, çeşitli parametreler sabit tutularak karşılaştırma değeri olarak belirlenen s değerinin (duvarda m^2 ’ye düşen çivi uzunluğu) değişiminin incelenmesi şeklinde gerçekleştirilmiştir. Analizlerin sonuçları grafikler halinde gösterilmiştir.

Yapılan analizlerden iki tasarım yönteminin yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği görülmüştür. En yüksek farklara sürtünme açısının en büyük değerlerinde ulaşılmıştır. YDKT eksantrisine hesabına daha duyarlı olduğu için, küçük duvar yükseklikleri için minimum dayanım / yüğü oranı olan 1,0 sayısı aşılmış ve bu nedenle SYT’na göre daha fazla miktarda çivi kullanılmıştır. Duvar yüksekliği arttıkça her iki yöntemin en az güvenlik sayıları için yapılan hesaplarda SYT daha fazla çivi gerektirmiştir.

Yapılan hesaplamalar için standartlarda bulunan zemin parametrelerinden zemin çivisinin kullanılabileceği aralıklardaki parametrelere sahip zeminler seçilmiştir. Bu parametrelerin kullanıldığı SYT ve YDKT için yapılan 220 adet tasarımın sonuçları ile zemin çivili duvar tasarımında her iki yöntem için de kullanılabilecek ön tasarım kartları hazırlanmıştır.

SUMMARY

Soil nailing is a kind of retaining system that has a soil-improving characteristic and is used since 1970's. In Europe and America research programs are developed to analyze this technique and as a result of these researches some design methods are suggested for nailing design.

In this Ms Thesis, existing design methods that are suggested by some countries are analyzed. Also Service Load and Load and Resistance Factor Design methods that are suggested by American FHWA are analyzed and the similar and different parts are introduced.

In this study, a computer program is used that was programmed for face batter and back slope angle of zero and for static loading conditions by using both of design methods that are suggested by FHWA (SLD and LRFD) for design. 220 soil nailed walls were designed for different soil and geometric parameters by this program and solutions of these calculations were used for analysis. The analyses are occurred by evaluating change of s (soil nail length for per m^2) according to change of different parameter by using some constant parameters.

The analyses are showed that the design methods give approximately same solutions. The maximum differences between these methods are shown for the maximum value of the used friction angles. Because of the LRFD is more sensitive than SLD for eccentricity check, for small wall heights the minimum resistance / load ratio of 1,0 is exceeded and LRFD is required more soil nail length than SLD. Otherwise, for higher walls SLD requires more soil nail lengths.

The suitable soil parameters for soil nailing that used for the calculations are selected from codes. Using SLD and LRFD, 220 soil nailed walls are designed for these parameters. Design charts that can be used for soil nailed wall pre-design are prepared using solutions of these calculations.

1. GİRİŞ

Mevcut zemin içinde imal edilen pasif elemanlardan oluşan bir zemin iyileştirme ve destekleme tekniği olan zemin çivisi tekniği dünyada bir çok ülkede yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Yapılan tez çalışmasının ikinci bölümünde zemin çivisi tekniği hakkında genel bilgiler bulunmaktadır. Zemin çivisi tekniğinin kökenini, Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi'nde kullanılan kaya bulonları oluşturmaktadır. İlk uygulamaları 1970'lerde sırasıyla Kanada, Fransa ve Almanya'da görülen zemin çivili istinat sistemleri tekniği daha sonra Almanya, Fransa, ABD, ve İngiltere'de yapılan araştırma çalışmalarıyla geliştirilmiştir. Günümüzde en yaygın kullanılan çalışmalar Amerika Ulusal Karayolları İdaresi (FHWA) tarafından yürütülen çalışmalar ve Fransa'da yapılan deney ve araştırmalar sonucunda oluşturulan Clouterre Fransız Ulusal Araştırma programlarıdır.

Üçüncü bölümde zemin çivisi tasarımında kullanılan yaklaşımlar ve çeşitli ülkelerde kullanılan zemin çivisi şartnamelerinden bahsedilmiştir.

FHWA tarafından, 1998 ve 2003 de zemin çivisi araştırmalarını ve tasarım önerilerini içeren iki adet detaylı çalışma yayımlanmıştır. Bu tez çalışmasında 1998 yayını temel alınmıştır. Bu yayın, günümüzde zemin çivisi tasarımında en yaygın kullanılan tasarım yöntemi olan "Servis Yüğü Tasarımı" (SYT) ile birlikte henüz bu yöntem kadar yaygın bir kullanım bulamamış olan "Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı"nı (YDKT) içermektedir. 2003 yılı yayınında ise sadece Servis Yüğü Tasarımı Yöntemi bulunmaktadır. 2005 yılında da sadece Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımını içeren yeni bir çalışma yayımlanacaktır. FHWA'nın bu iki tasarım yöntemiyle ilgili detaylı bilgi tez çalışmasının dördüncü bölümünde bulunmaktadır.

Clouterre Fransız araştırma programı, TALREN isimli bir sonlu elemanlar yazılımıyla desteklenmiştir ve "Kısmi Katsayılar Tasarımı"nı temel almaktadır. Eurocode 7'de de açıklanan Kısmi Katsayılar Tasarımı Yöntemi FHWA'da önerilen

Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemi ile hemen hemen aynı yöntemdir. Eurocode'un güncellenmesiyle tamamen gündeme girecek olan Kısmi Katsayılar Tasarım Yöntemi ve dolayısıyla Yük ve Dayanım Katsayıları Yöntemi, Servis Yükü Tasarım Yöntemi'ne göre önem kazanabilecektir.

Yapılan tez çalışmasında ülkemizde geoteknikte hemen hemen hiç kullanım bulamamış olan Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarım (YDKT) yöntemi tanıtılmış ve Servis Yükü Tasarımı (SYT) ile aralarındaki benzerlikler ve farklar açıklanmıştır.

Tez kapsamında, her iki tasarım yöntemiyle de hesap yapan Excel'de oluşturulan program kullanılarak 11 farklı geometrilerde ve 10 farklı zemin parametrelerinde toplam 220 adet zemin çivili duvar hesabı yapılmıştır. Program arka şev açısı sıfır olan dik duvarlar için hazırlanmıştır. Farklı parametrelerin değişimine göre zemin çivili duvar tasarımında kullanılabilecek ön tasarım kartları oluşturulmuştur. Oluşturulan tasarım kartlarında karşılaştırma değeri olarak kullanılmak üzere duvarda m^2 'ye düşen çivi uzunluğu, s , kavramı tanımlanmıştır. Tez çalışmasında kullanılan bilgisayar programı ve yapılan duvar hesapları ile ilgili ayrıntılı bilgi beşinci bölümde bulunmaktadır.

Yapılan analizlerle belirlenen iki yöntem arasındaki farklar ve zemin çivisi tasarımında zemin parametrelerinin ve geometrik parametrelerin değişiminin etkileri son bölümde açıklanmıştır.

2. ZEMİN ÇİVİSİ KAVRAMI VE UYGULAMALARI

2.1 Zemin Çivisi Tanımı

Zemin çivisi, mevcut zemin içerisinde genelde yatayla belirli bir açı yapacak şekilde kurulan, deformasyon olması durumunda harekete geçen pasif ilavelerdir. Bu işlemle zemin kütlesini destekleyen iç stabilitesi arttırılmış bir bölüm oluşturulmuş olur. Zemin çivileri şev stabilitesinde ve geçici veya kalıcı istinat yapılarında kullanılırlar. Yük aktarımı görevi gören, bir çelik donatı ve etrafındaki korozyon koruması ve aynı zamanda yük aktarımı sağlayan çimento enjeksiyonundan oluşan zemin çivisi tekniğinin bir detay kesiti şekil 2.1’de gösterilmiştir.

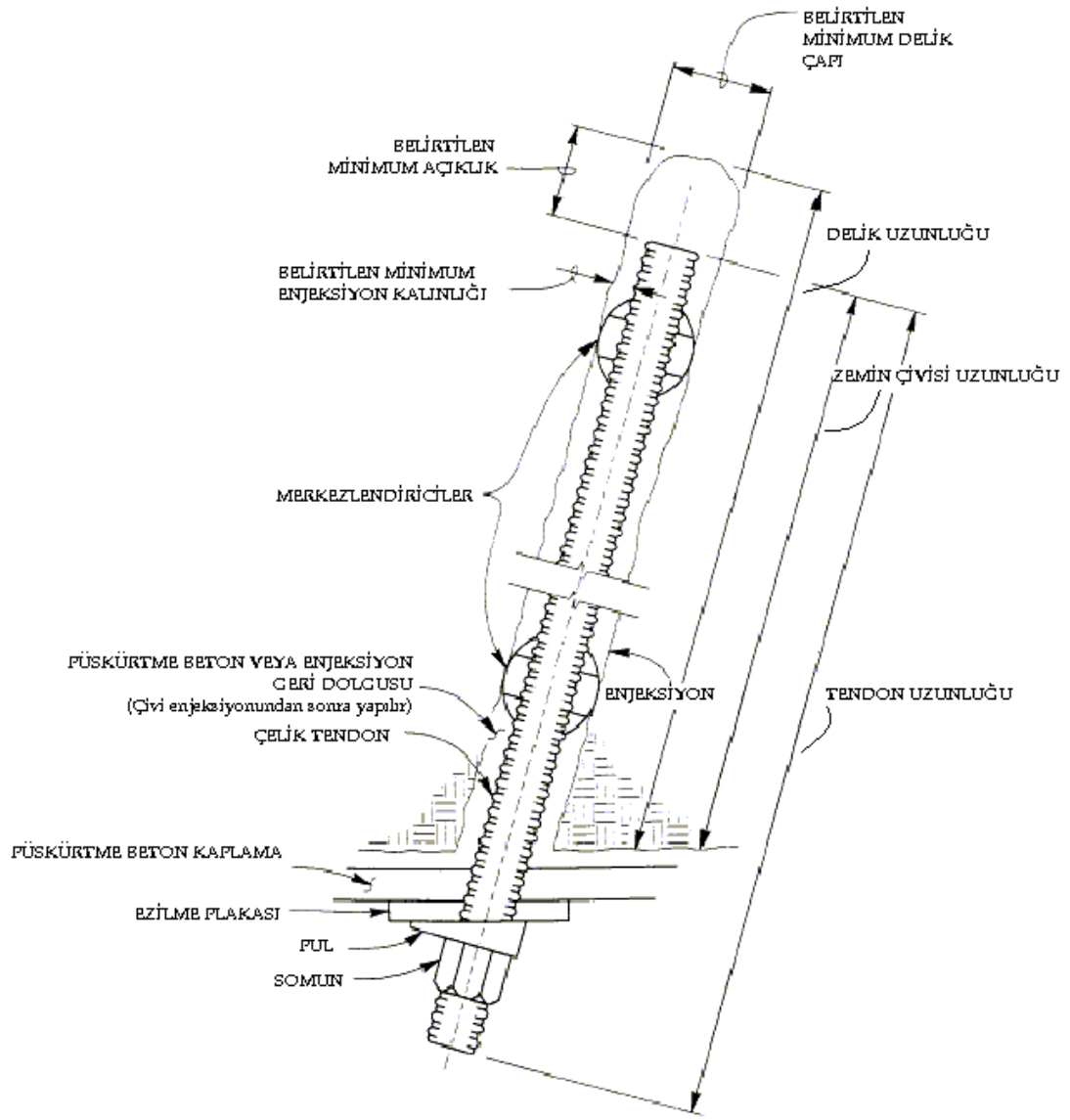
2.1.1 Zemin çivisini oluşturan elemanlar

Zemin çivili sistem aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- Geçici kaplama
- Ezilme plakası
- Somun
- Pul
- Enjeksiyon
- Donatı elemanı
- Drenaj sistemi
- İç ve dış merkezleyiciler*
- Kalıcı kaplama*
- Korozyon koruması kapsülü*
- Manşon*
- Epoksi reçine*

Zemin çivisini oluşturan elemanlar şekil 2.1’deki tipik zemin çivisi kesiti üzerinde gösterilmiştir.

* Zemin çivisi uygulamasında her zaman kullanılmayan, ana elemanlar dışındaki, elemanlar



Şekil 2.1 Zemin çivisi detayı (Caltrans Temel Elkitabı, 1997)

2.2 Zemin Çivisinin Tarihçesi ve Gelişimi

Zemin çivisi yönteminin kökenleri; kaya bulonu, çoklu ankraj ve hatta zemin çivili sistemlere benzer bir sistem olan donatılı zemin teknikleridir. Zemin çivili duvarlara benzerlikler gösteren kaya bulonu ve ankraj tekniklerinin gelişimi 1960larda olmuştur. 1961’de Schist’de ankrajlı betonarme istinat duvarları inşa edilmiştir. Tünel ve yeraltı galerilerini desteklemek için Rabcewiz tarafından geliştirilen Avusturya metodu (1964) günümüzde geleneksel takviye sistemleri yerine kullanılmaktadır. Bu teknik, kazıdan hemen sonra tünel çevresinin ankrajlı bulonlarla desteklenmesinden oluşmaktadır. Böylece gerekli son kaplama miktarında önemli

ölçüde azalma sağlanmıştır. Bu yöntemde kullanılan çivi boyları genellikle 3-6m arasındadır (Sağlam, 2002).

Yeni Avusturya tünel metodunda tünel kazılarında kullanılan donatılı püskürtme beton kaplama ve kaya bulonundan oluşan sünek destek sisteminin bir uzantısı olarak kabul edilen zemin çivisi tekniğinin ilk kayıtlı uygulamaları 1970'lerin başlarında görülmektedir. Bilinen ilk uygulama Kuzey Amerika'da Vancouver, B. C.'de yapılan geçici kazı desteklemesidir. Avrupa'daki ilk kayıtlı uygulamalar ise 1972'de Fransa'da ve 1976'da Almanya'da yapılan otoyol ve demiryolu kazı şevlerinde veya yapıların geçici kazı desteklemelerinde kullanılan istinat yapılarıdır.

1972-1973 yıllarında Fransız müteahhit Bouygues ile uzman müteahhit Soletanche konsorsiyumu tarafından yapılan Versailles yakınlarında bir demiryolu genişletme projesinin bir parçası olan Avrupa'daki ilk uygulama 18m yüksekliğinde 70° lik bir kazı şevidir. Toplamda 12,000 m² lik yüz 6 m'nin üzerinde boylarda, enjeksiyonlanmış 25,000'den fazla çelik donatıyla stabilize edilmiştir.

Zemin çivisiyle ilgili ilk önemli araştırma programı Almanya'da Karlsruhe Üniversitesi ve müteahhit Bauer tarafından yapılmıştır (1975-1981). Bu program çeşitli gerçek boyutlu duvar düzenekleri üzerinde uygulanan deneyleri içermektedir.

Bu tekniğin Fransa'da yaygınlaşmasıyla tasarım metodolojisindeki eksiklik fark edilmiş ve 1986'da Fransa ilk deneysel programını (Clouterre) başlatmıştır. Clouterre programı hazırlanan dolguyla yapılan üç geniş ölçekli deneyden ve kullanımdaki 6 zemin çivili duvarın izlenmesinden oluşmaktadır (Singla, 1999) .

Amerika'da Vancouver, B. C., Washington, D. C. ve Mexico City'de geçici kazı desteklemesi amaçlı yapılan ilk uygulamaları, yayımlanan ilk zemin çivisi uygulamalarından birisi olan 1976 yılında Oregon'da yapılan 13,7 m'lik derin temel kazısı çalışması izlemiştir (Byrne ve diğ., 1998). Zemin çivili duvarlarla ilgili ABD'de yürütülen çalışmalar ise ABD Federal Karayolları İdaresi tarafından gerçekleştirilmiştir. 1991 yılında karayolları şevleri ve kazılarında zemin çivileri kullanımına ilişkin çalışma Elias ve Juran tarafından karayolları idaresi için hazırlanmıştır. Daha sonra zemin çivili duvar tasarımı, yapımı ve gözlenmesi için detaylı bir çalışma yayımlanmıştır (Byrne ve diğ., 1998). Bu yayın, zemin çivisi uygulamasının tasarım ve yapımında kolaylık sağlamak ve yöntemin teknik ve ekonomik avantajlarını belirlemek amacıyla hazırlanmıştır. Çalışmada, günümüzde

zemin çivili duvar tasarımında en yaygın kullanılan yaklaşım olan limit denge yaklaşımını temel alan Servis Yüğü Tasarımı (SYT) ile Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı (YDKT) önerilmiştir. Bu çalışmadan sonra, 2003 yılında zemin çivili duvarlarla ilgili yapılan yayında ise sadece tasarımda daha yaygın olarak kullanılan servis yüğü tasarımı, diğery bir ismiyle kabul edilebilir gerilme tasarımı, yöntemi bulunmaktadır.

2.3 Zemin Çivisi Yönteminin Üstünlükleri ve Sınırlamaları

2.3.1 Zemin çivisi yönteminin üstünlükleri

Zemin çivisi tekniğinin diğery istinat yapılarıyla karşılaştırıldığında yapım aşaması, performansı ve maliyeti açısından aşağıda belirtilen üstünlükleri saptanmıştır (Byrne ve diğ., 1998; Lazarte ve diğ. 2003) :

Yapım aşamasındaki üstünlükleri:

- Zemin çivisi genelde daha kısa olduğı için ankraja göre daha az bir kamulaştırma alanı yeterli olur;
- Özellikle destekli kazıya kıyasla daha rahat bir kazı ortamı vardır;
- Kazı sırasında meydana gelebilecek girinti ve çıkıntılara uyumlu, esnek bir imalat yapılabilir.
- Kazı tabanına, ankrajlı duvarlarda kullanılan H profiller gibi, herhangi bir yapısal elemanı gömmeye gerek yoktur.
- Ankrajlı duvarlara göre daha az malzeme kullanılır ve imalat süresi daha düşüktür;
- İri çakıl, iri kaya parçaları, kazık veya yeraltındaki hatlar gibi beklenmeyen engellerin ortaya çıkması halinde çivi açıları ve yerleşimi kolaylıkla ayarlanabilir.
- Sayıca ankraja göre çok fazla çivi kullanıldığı için arazideki güvenlik sınırları içindeki ayarlamalar daha kolay yapılır.
- Çivi yoğunluğu aynı ayna içerisinde zemin tipine göre ayarlanabilir.
- Yüğü boşaltımı yapılmış özel iksa sistemlerinin rehabilitasyonu için kullanılabilir.

- H profillere gerek olmadığı için yapım sırasında ankrajlı duvarlarda olduğu gibi yukarıdan yapılması gereken çalışmalar daha azdır. Bu durum özellikle köprü altındaki uygulamalarda önem kazanır.
- Kullanılan makine ve ekipman küçük olduğundan şehir içindeki uygulamalarda ve sahanın dar olduğu projelerde avantaj sağlar.
- Bu teknik yaygınlaşmakta ve buna bağlı olarak bu konudaki deneyim artmaktadır.

Performans açısından üstünlükleri:

- Zemin çivili duvarlar göreceli olarak daha esnektirler, toplam ve farklı oturmaları tölare edebilir.
- Çivi kuvvetleri diğer iksa sistemlerine göre kaplamaya daha uniform bir şekilde dağılır.
- Çiviler ankrajlı sistemlere göre daha yoğun yerleştirildiğinden tek bir çivinin etki alanı daha azdır ve böylece bir çivinin göçmesi durumunda zarar bir ankrajın göçmesi durumuna göre çok daha az olur.
- Zemin çivili duvarların ölçülen toplam dönme değeri genelde tölare edilebilir limitler içerisinde.
- Zemin çivili duvar sistemi esnekliği nedeniyle yüksek deformasyonlara dayanabilir ve sismik durumda performansı kanıtlanmıştır.

Maliyet açısından üstünlükleri:

- Zemin çivili duvarlar, yapım prosedürüne uyulması durumunda geleneksel betonarme ağırlık duvarlara göre daha ekonomiktir;
- Zemin çivili duvarların yapım prosedürüne uyulması durumunda maliyeti ankrajlı duvarlara eşit veya daha düşüktür;
- Püskürtme beton kaplama diğer duvar sistemleri için gerekli kaplamalara göre daha ekonomiktir;
- Geri dolgu yapılmasına gerek olmaması da tekniğin diğer istinat yapılarına göre ekonomik olmasını sağlar.

2.3.2 Zemin çivisi yönteminin sınırlamaları

Zemin çivisi yönteminin saptanan sınırlamaları aşağıda verilmiştir (Byrne ve diğ., 1998; Lazarte ve diğ. 2003):

- Zemin çivili duvarlar katı bir deformasyon kontrolünün gerektiği ve duvar arkasından alt yapı hatlarının geçtiği uygulamalarda uygun olmayabilir. Zemin çivili sistemde direnci harekete geçirmek için belli bir deformasyon gerekmektedir. Ön germe bu durumlarda kullanılabilir ama proje maliyetini arttırır;
- Sünme potansiyeli olan kohezyonlu zeminlerde çivilerin kapasitesine tam olarak erişilemeyebilir;
- Yumuşak killi zeminlerde sürtünme değerleri düşük olacağından stabilite problemleri oluşabilir. Ankrajlı ve fore kazıklı iksa sistemleri bu tip zeminler için daha uygundur;
- Çivilerin sık olarak yerleştirilmesi yeraltı yapılarıyla kesişmesine neden olabilir. Bu durum özellikle üst sıralardaki çivilerin yerleşimi, açısı ve uzunluğunda sınırlayıcı olabilir;
- Desteklenmemiş geçici kaplamaya etkisi nedeniyle kazı sırasında büyük miktarda yeraltı suyu sızıntısı olması durumunda uygun değildir;
- Yeraltı suyunun borulanması yapıya ciddi zararlar verebilir;
- Zemin çivili duvar imalatında bu konuda uzman ve deneyimli bir müteahhidin olması gerekir.

2.4 Zemin Çivisi Uygulamalarında Zemin Koşullarının Değerlendirilmesi

Arazide, destekli kazı veya şev stabilitesi amaçlarıyla kullanılan zemin çivisi yöntemi çeşitli zemin tipleri için farklı yapım yöntemleri kullanılarak uygulanmaktadır. Zemin çivisi tekniği geleneksel istinat yapılarının ve ankrajlı duvarların efektif olmadığı bir çok zemin koşulunda geniş bir kullanım alanı bulmuştur. Bu koşullardan bazılarının uygulaması zor ve pahalı çözümler gerektiğinden zemin çivili sistemler önerilmemektedir. Yöntemin teknik ve ekonomik açılarından uygulanabilirliğine göre zemin koşulları, Lazarte ve diğ. (2003) tarafından uygun olmayan, uygun ve ara zemin koşullarından oluşan üç başlık altında

incelenmiştir. Aşağıda Bölüm 2.4.1, 2.4.2 ve 2.4.3’de bu üç zemin koşulu açıklanmıştır.

2.4.1 Uygun zemin koşulları

Zemin çivisi yönteminin teknik ve ekonomik açılardan tercih edilmesinde ön zemin koşulu, zeminin yaklaşık 1-2 m mertebesindeki kazı kademelerinde bir veya iki gün desteklenmeden durabilmesidir. Ayrıca zemin çivisi delgisinin de bir kaç saat boyunca stabil kalabilmesi istenir. Diğer bir koşul ise tüm çivilerin yeraltı suyu seviyesinin üstünde olmasıdır. Zemin çivilerinin yeraltı su seviyesinin tamamen altında olması durumunda ise kazı yüzü, enjeksiyon ile enjeksiyonu çevreleyen zemin ara yüzündeki bağ dayanımı veya zemin çivilerinin uzun dönem bütünlüğü açısından yeraltı suyunun ters bir etkisi yoktur.

Belirtilen ön kriterleri temel alınarak, zemin çivisi için önerilen zeminler aşağıda verilmiştir.

- Katıdan sertte ince daneli zeminler ($SPT\ N \geq 9$ ve $PI < 15$);
- En fazla %10-15’i kohezyonlu zeminlerden oluşan, sıkı ve çok sıkı granüler zeminler ($SPT\ N > 30$, kapiler kohezyon minimum 5 kPa);
- Elverişsiz süreksizlik düzlemleri bulunmayan ayrışmış kayalar;
- Buzul toprağı.

2.4.2 Uygun olmayan zemin koşulları

Uygun olmayan zemin koşulları, zemin çivisi tekniğinin uygulanması durumunda maliyeti arttıran ve yapım aşamasında zorluklar çıkaran koşullardır. Ayrıca, bu koşullarda zemin çivisi tekniğinin kullanılması durumunda sistemin uzun dönem dayanımı için daha katı önlemler alınması gerekecektir.

- Kuru, kötü derecelenmiş kohezyonsuz zeminler;
- Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumlar;
- Kaya bloklu ve iri çakıllı zeminler;
- Yumuşak ve çok yumuşak ince daneli zeminler;
- Organik zeminler;

- Yüksek korozyon etkisine maruz zeminler;
- Elverişsiz süreksizlik noktaları bulunan ayrıışmış kayalar ve karstik zeminler;
- L sler;
- Donma etkisine maruz suya doymun granüler zeminler ve siltler;
- Tekrarlanan donma-çözülme etkisine maruz zeminler;
- Gev sek ($4 < \text{SPT } N \leq 10$) ve çok gev sek ($\text{SPT } N \leq 4$) granüler zeminler;
- Sıvılaşma potansiyeli olan, gev sek ve çok gev sek, suya doymun granüler zeminler.

2.4.3 Ara zemin koşulları

Ara zemin koşulları önceki bölümlerde belirtilen uygun olan ve uygun olmayan zemin koşulları arasında kalan, mühendislik özellikleri açısından Bölüm 2.4.1’de belirtilen zemin koşullarına göre zayıf olmasına rağmen zemin çivisinin başarılı bir şekilde ve ekonomik olarak uygulanabildiği durumları belirtir. Aşağıda ara zemin koşullarına örnekler verilmiştir.

- İyi derecelenmiş granüler zemin (en az %90) ile düşük plastisiteli (genelde, $PI < 15$) ince daneli zemin karışımından oluşan kontrollü dolgular.
- Rezidüel zeminler.

2.5 Zemin  ivili Duvarların Yapım Aşamaları

2.5.1 Kazı işlemi

Zemin  ivili sistemin yapımındaki ilk adım olan kazı işlemine başlamadan önce tüm yüzey suları toplama kanallarıyla kontrol altında tutulmalıdır. Kazı derinlikleri, kazı yüzünün belli bir süre (1-2 gün mertebesinde) desteklenmeden kendini tutabileceği derinliğe göre seçilir. Kazı derinlikleri genelde 1-2 m arasında olmakla beraber özel durumlarda 3m’ye kadar çıkabilmektedir. İlk kazı kademesinde, kazı derinliği delgi ekipmanlarının çalışabilmesi açısından 1. sıra çivilerinin seviyesinin altında olmalıdır.

Kazı sırasında zeminin  rselenmemesine dikkat edilir. Kazı yüzeyindeki gev sek kısımlar püskürtme beton uygulanmadan önce temizlenmelidir. Ayrıca, püskürtme

beton miktarını en aza indirmek için kazı yüzeyi mümkün olduğunca düzgün olmalıdır (Byrne ve diğ. 1998).

Kendini tutamayan zeminlerde çivi ve kaplamanın oluşturulması için gerekli süre boyunca, yüzey altı konsolidasyon enjeksiyonunun veya enjeksiyonlu mini kazıkların kullanılması gibi geçici destekleme yöntemlerine başvurulabilir (Üstündağ, 2003) .

Delgi çalışmaları için ekipmanın büyüklüğüne göre genelde 5-10 m olmak üzere bir çalışma platformunun bırakılması gerekmektedir.

2.5.2 Delgi işlemi

Çivi delme işlemi önceden belirlenen uzunluk, çap ve açıda; belirlenen yatay aralıklar için yapılır. Delme yöntemi zemin özelliklerine göre seçilir. Kendini tutabilen zemin durumunda kaplamasız yöntemler, daha az stabil olan zemin durumunda ise kaplamalı yöntemler tercih edilir (Singla, 1999). Delikler, zeminin çökme eğilimine ve yeraltı suyunun durumuna göre kaplama borulu veya kaplama borusuz olarak oluşturulur (Üstündağ, 2003).

2.5.3 Çivinin yerleştirilmesi, enjeksiyonlanması ve drenaj sisteminin kurulması

Çivi çubukları hazırlanan deliklere yerleştirilir. Çubuklar dolu gövdeli veya günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan içi boş çelik donatılardır. Dolu gövdeli çubukların etrafında deliği ortalamak için plastik merkezlendiriciler bulunur.

Enjeksiyon, donatının zeminle aderansını sağlar. Yüksek düzeyde korozyona maruz durumlarda korozyon korumasını arttırmak için oluklu plastik kaplama da kullanılabilir. Ayrıca, kalıcı yapılarda kılıf veya epoksiyle donatı paslanmaya karşı korunur.

Enjeksiyon yerçekimi etkisi altında ya da düşük bir basınçla deliğin alt tarafından yukarı doğru yapılır. Kullanılan yöntemlere göre enjeksiyon ya tremi borusu ile ya da tij yardımıyla tamamlanır. Delikler enjeksiyon işlemini kolaylaştırmak için genelde yatayla 15° açı yapacak şekilde açılır. Sadece geçici yapılarda kullanılabilen kendinden delmeli içi boş çubuklarda ise delme ve enjeksiyonlama işlemleri aynı anda gerçekleştirilir (Singla, 1999; Lazarte ve diğ., 2003).

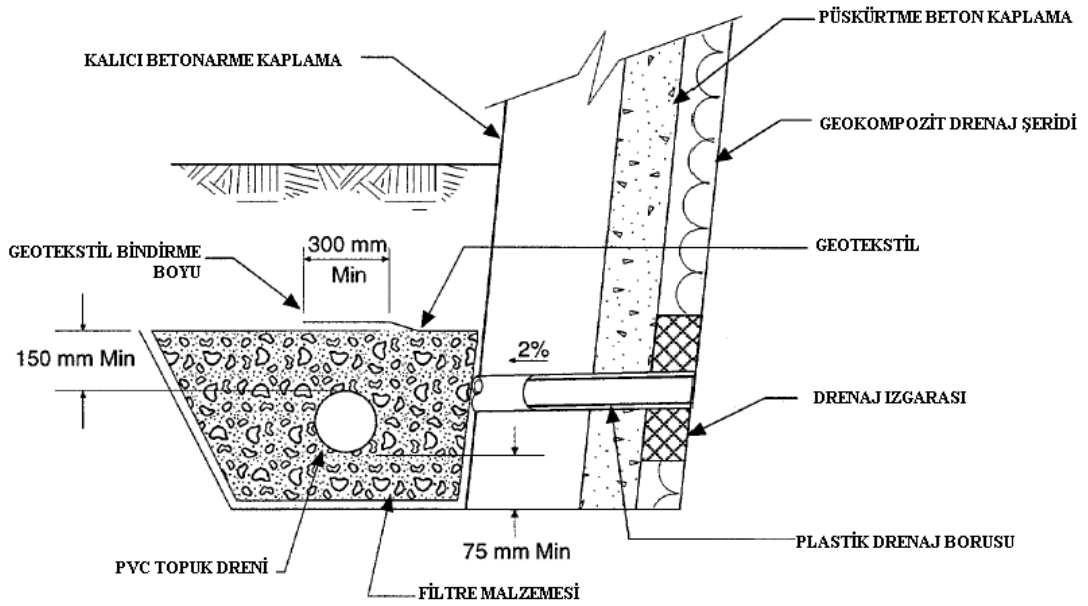
Bir sonraki aşama olan geçici duvar yüzü aşamasından önce, zemin çivili duvarların zemin suyuna karşı hassas olması nedeniyle, kazı yüzeyine geokompozit drenaj

şeritleri yerleştirilir. Böylece püskürtme betonun arkasında drenaj sağlanmış olur. Bu şeritler düşeyde kazı kademeleri boyunca devam eder (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Geçici püskürtme beton kaplamanın altında drenaj şeritleri (Porterfield ve diğ., 1994)

Kazı kademelerinde drene edilen su topuk drenine bağlanır (Şekil 2.3). Böylece suyun zemin çivili duvardan uzaklaştırılması sağlanır.



Şekil 2.3 Tipik topuk direni detayı (Byrne ve diğ., 1998)

2.5.4 Geçici püskürtme beton kaplamanın yapımı

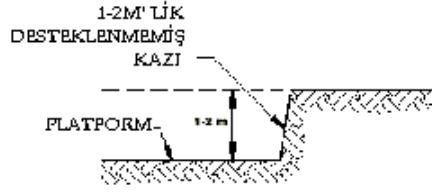
Geçici duvar yüzü, kademeli kazıda bir sonraki kademe kazılana kadar, açılan bölümün desteklenmesi amacıyla yapılır. Geçici kaplama tipik olarak 100cm kalınlığındaki hafif donatılı bir püskürtme beton tabakadan oluşur. Donatı olarak genelde hasır donatı kullanılır. Donatı püskürtme betonun kalınlığının yaklaşık olarak ortasına yerleştirilir. Kullanılan hasır donatının boyu bir sonraki panelle en azından bir tüm hücre üst üste gelecek şekilde olmalıdır. Uygun bir priz süresinden sonra delik içinden uzanan çivi başına çelik bir taşıyıcı plaka yerleştirilir. Çivi çubuğu taze olan ilk püskürtme beton tabakanın içine hafifçe bastırılır. Daha sonra çivi başını taşıyıcı plakadan korumak için somun ve pul yerleştirilir. Geçici yüz yeterli miktarda (minimum 24 saat) priz aldıktan sonra somun gerekli minimum torkla sıkıştırılır. Gerekli durumlarda, önceden belirlenen kriterlerden sapmayı belirlemek veya yük kapasitelerini kanıtlamak için bir sonraki kazı kademesine geçmeden önce deneyler yapılır. Bir sonraki kazı kademesine geçmek için püskürtme betonun en az 3 günlük çekme mukavemeti değerine ulaşması beklenmelidir.

2.5.5 Uygulamanın tekrarlanması

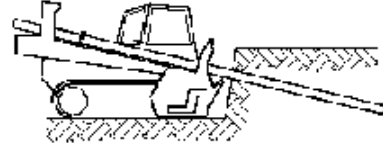
İlk dört adım istenilen kazı derinliğine ulaşılan kadar tekrarlanır. Kazı yüzünün stabilitesinde sorun çıkması durumunda püskürtme beton işlemi, delme işlemi ve çivi imalatından önce yapılır.

2.5.6 Kalıcı kaplamanın yapımı

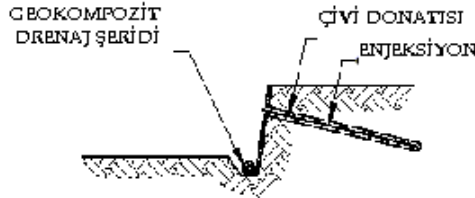
Kalıcı kaplama, kazı tabanına ulaşıp çiviler imal edildikten sonra yapılabilir. Mimari nedenlerle veya yapının uzun dönem durabilitesi gerekmesi durumunda kalıcı kaplama yapımı gerekebilir. Kalıcı duvar betonarme veya ikinci bir donatılı püskürtme beton tabakası şeklinde yerinde oluşturulabilir veya prefabrik beton panellerden oluşabilir. Yerinde oluşturulan duvarın donatıları geleneksel betonarme donatıları veya hasır donatı olabilir. Kalıcı kaplamada yerinde oluşturulan betonarme veya donatılı püskürtme beton kullanılması durumunda, kazı kademeleri arasındaki yatay birleşimlerden kaçınılmalıdır.



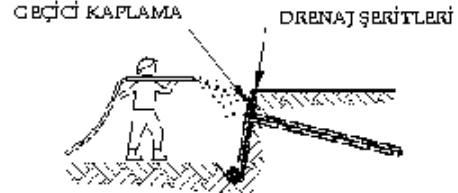
1. ADIM-İLK KAZI KADEMESİNİN KAZILMASI



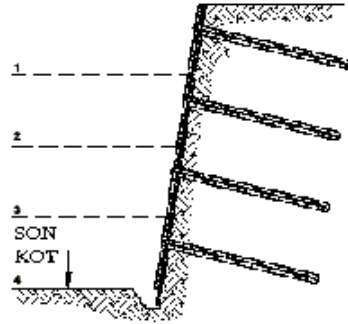
2. ADIM-DELGİ İŞLEMİ



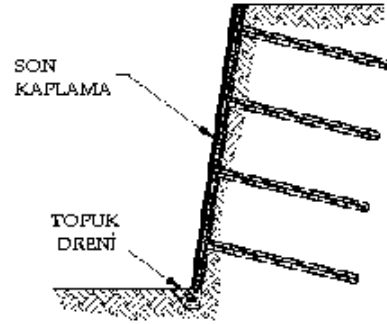
3. ADIM-ÇİVİNİN YERLEŞTİRİLMESİ, ENJEKSİYONLANMASI VE DRENAJ SİSTEMİNİN KURULMASI



4. ADIM-GEBÇİ PÜSKÜRTME BETON KAPLAMANIN YAPIMI (HASIR DONATININ YERLEŞTİRİLMESİ, PÜSKÜRTME BETON İŞLEMİ, EZİLMİŞ FLAKASI-PUL VE BLONUN YERLEŞTİRİLMESİ)



5. ADIM-UYGULAMANIN TEKRARLANMASI



6. ADIM-KALICI DUVARLAR İÇİN SON KAPLAMANIN YAPILMASI (TOFUK DRENİNİN YERLEŞTİRİLMESİNİ DE İÇERİR)

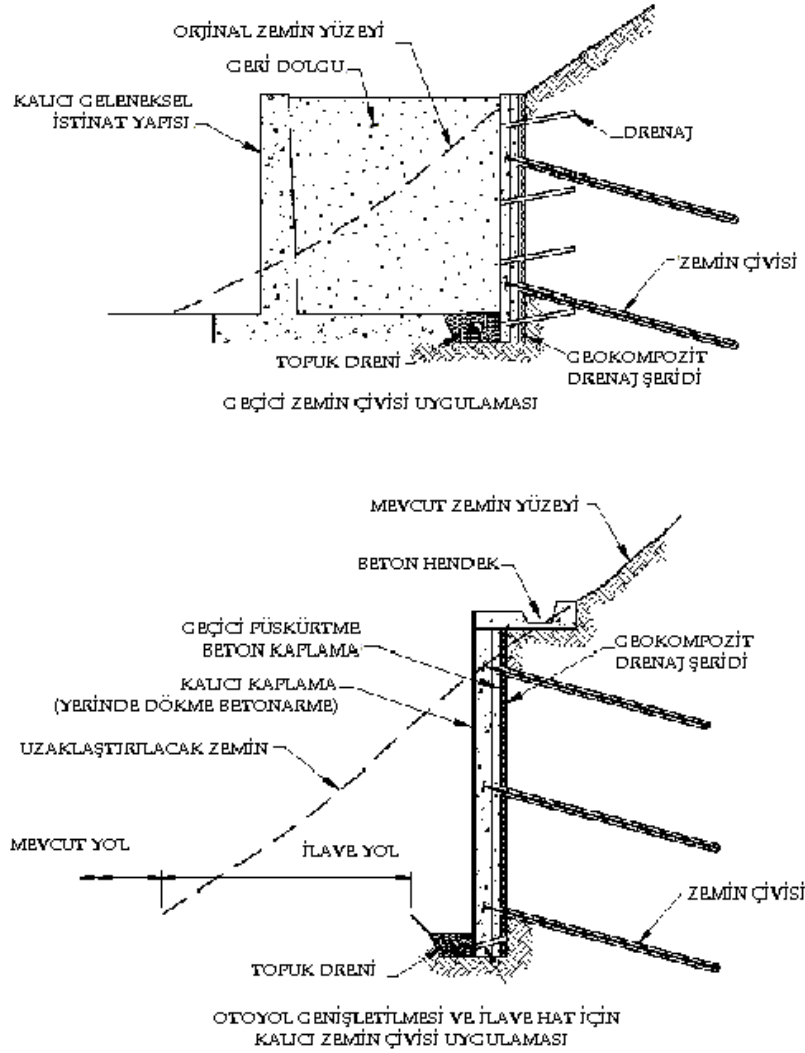
Şekil 2.4 Zemin çivili duvarın yapım aşamaları (Porterfield ve diğ. 1994)

2.6 Zemin Çivisi Uygulamaları

Zemin çivili duvar sistemleri özellikle dik ve dike yakın yarma şevlerinin yapımının gerektiği geçici veya kalıcı kazı uygulamaları için uygundur. Yöntem karayolu yarma şevlerinin stabilizasyonunun yanı sıra mevcut köprülerin ayakları altındaki alt geçitlerin genişletilmesi işlerinde, tünel girişlerinde ve mevcut istinat yapılarının tamiri, stabilizasyonu veya yeniden yapılandırılmasında başarıyla uygulanmaktadır.

Kazı destekleme çalışmalarında zemin çivili kalıcı veya geçici duvarlar dik veya dike yakın olarak uygulanabildiği için tercih edilmektedir. Yarma şevi dikleştikçe kazı miktarını azaltmakta, kamulaştırma alanı ve gabari makul sınırlarda kalmaktadır. Bu

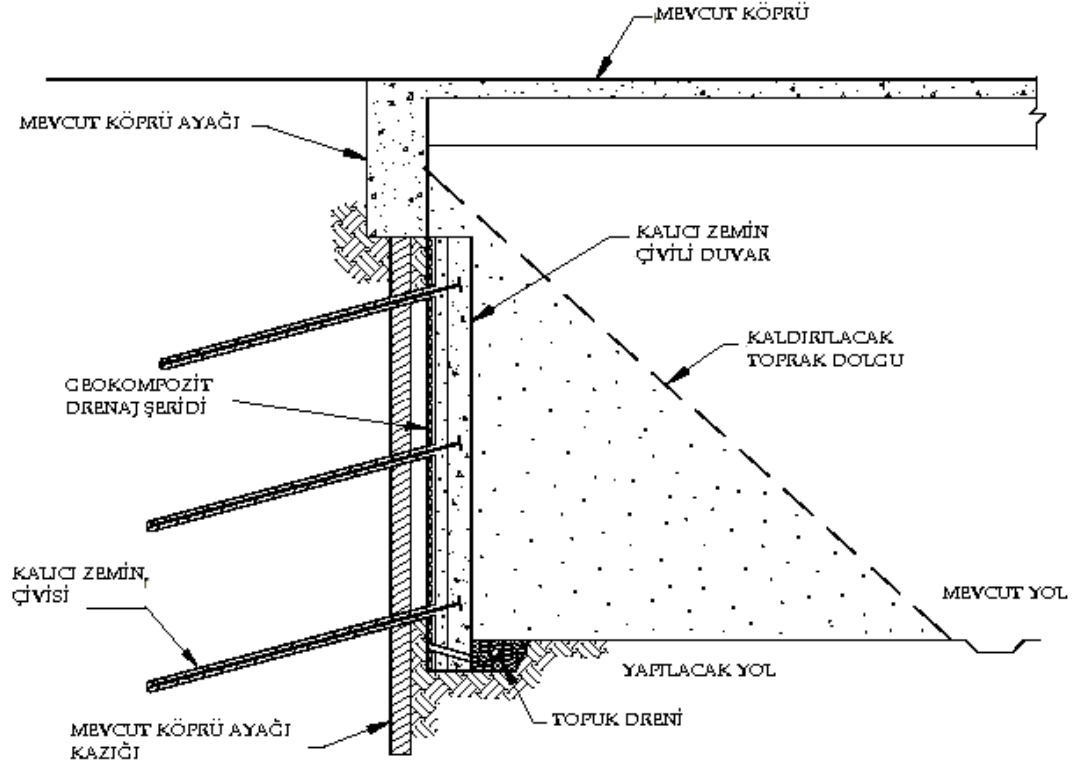
durum özellikle kentsel alanlarda büyük önem taşımaktadır. Dik ve dike yakın duvarların kullanılması kazı ve kamulaştırma alanını azaltarak hem proje maliyetini düşmekte hem de ulaştırma koridoru içindeki çevresel etkileri de en aza indirmektedir. Sistem ayrıca kullanılan uygun duvar yüzü sistemleri nedeniyle estetik açıdan da tercih edilmektedir. Şekil 2.3’de zemin çivili geçici ve kalıcı duvarların yarmalardaki uygulamalarına örnekler gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Yarmalarda zemin çivili geçici ve kalıcı duvar uygulamaları (Porterfield ve diğ. 1994)

Köprü altı geçişi genişletme çalışması nedeniyle mevcut köprülerin ayakları altında bulunan dolgu şevinin kaldırılması ve köprü ayağının desteklenmesinde zemin çivili istinat yapıları kullanılmaktadır. Bu uygulamada geleneksel olarak kullanılan ankrajlı sistemlerin yerine zemin çivisinin kullanılması durumunda köprü trafiğinin

engellenmesi gerekmemektedir. Zemin çivisinin mevcut bir köprü altında yol genişletme çalışmasında ki uygulaması şekil 2.4’de gösterilmektedir.



Şekil 2.6 Mevcut bir köprü altındaki yol genişletmesi (Porterfield ve diğ., 1994)

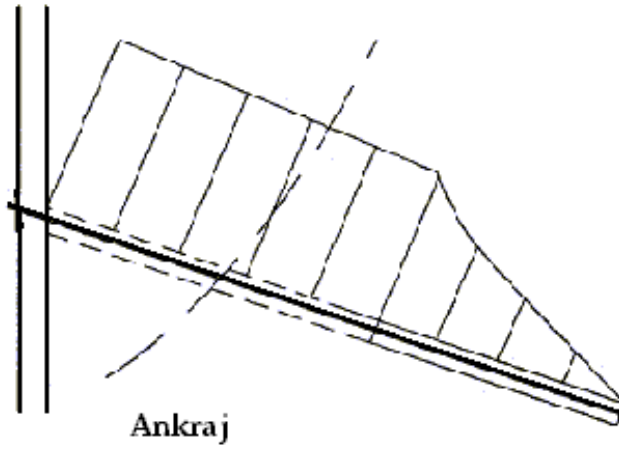
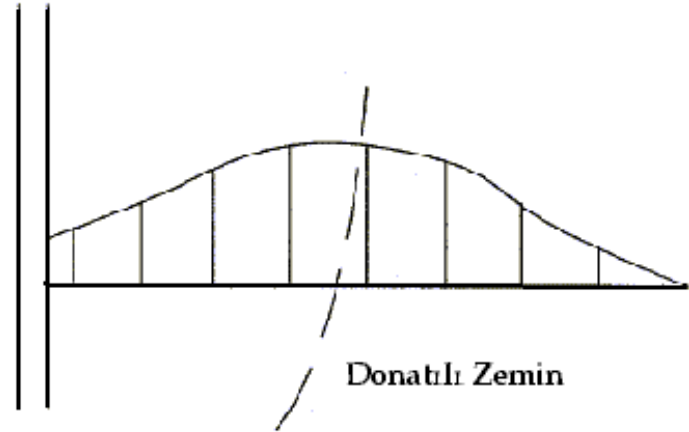
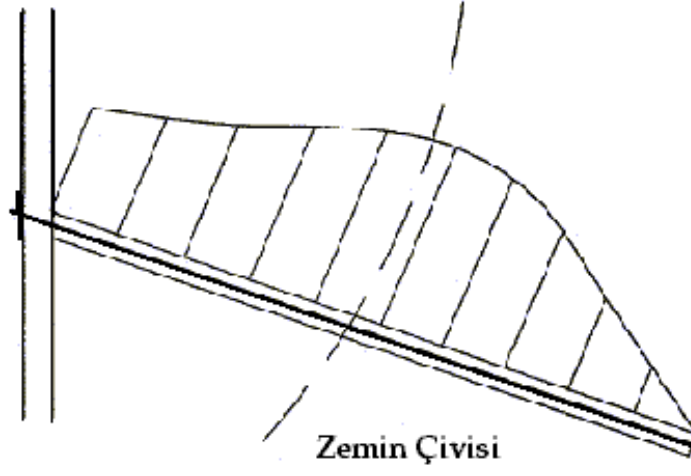
Zemin çivisi tekniğinin diğer bir yaygın kullanım alanı da mevcut istinat yapılarının tamiri ve yeniden yapılandırılmasıdır. Bu uygulamalarda zemin çivisi stabilizasyon ve güçlendirme amaçlarıyla kullanılır. Yöntem, korozyon; düşük kaliteli geri dolgu kullanımı ve/veya aşırı yükleme sonucunda aşırı dönme ve deformasyonla göçmüş veya göçmekte olan betonarme, yığma veya ankrajlı istinat yapılarda ve donatılı zemin veya krip duvarlarda uygulanmaktadır.

2.7 Zemin Çivisinin Benzer Tekniklerle Karşılaştırılması

Zemin çivisi tekniğini ile ankrajlı sistemler ve toprakarme (donatılı duvar) sistemler arasında yapım aşaması, duvar davranışı ve tasarım yaklaşımları açısından benzerlikler bulunmaktadır. Bu benzer sistemlerin karşılaştırması tablo 2.1 de verilmiştir.

Tablo 2.1 Zemin çivisi tekniğinin benzer tekniklerle karşılaştırılması (Byrne ve diğ., 1998)

DUVAR TİPİ	ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR	ANKRAJLI DUVAR	TOPRAKARME DUVAR
YAPIM AŞAMASI	Duvarın yapımı yukarıdan aşağıya doğrudur (doğal zeminde kazı yapılır)	Duvarın yapımı yukarıdan aşağıya doğrudur (doğal zeminde kazı yapılır)	Duvarın yapımı aşağıdan yukarıya doğrudur (kontrollü dolgu yapılır)
	Çiviler delme ve enjeksiyonlama ile yerinde imal edilir. Enjeksiyonlama tüm çivi uzunluğu boyunca hem aktif hem de pasif bölgede yapılır.	Delme ve enjeksiyonlama ile yerinde imalat yapılır. Ankraj kapasitesi aktif bölgenin arkasında kalan ankraj boyuyla sağlanır.	Donatı şeritleri ve plakaları aktif ve pasif bölgelerde sıkıştırılmış dolguların arasındadır.
	Donatılar pasiftir, öngerme işlemi yapılmaz.	Öngerme işlemi yapılır.	Öngerme işlemi yapılmaz.
TASARIM YAKLAŞIMI (İÇ)	Donatı yükleri yukarıdan aşağıya doğru azalır. (Şekil 2.7)	Gerilme dağılımı yaklaşık olarak uniformdur. (Şekil 2.7)	Donatı yükleri yukarıdan aşağıya doğru artar. (Şekil 2.7)
	Kaplama sadece çiviler tarafından karşılanmayan toprak basıncını taşır.	Kaplama toprak basıncının tamamını taşır.	Kaplama sadece taşıyıcı tabaka tarafından karşılanmayan toprak basıncını taşır.
	Zemin ve donatılar arasındaki yük taşınması tüm çivi uzunluğu boyunca olur. (Şekil 2.5)	Zemin ve donatılar arasındaki yük taşınması sadece pasif bölgede olur. (Aktif bölgede yük taşınmasına izin verilmez.) (Şekil 2.5)	Zemin ve donatılar arasındaki yük taşınması tüm donatı uzunluğu boyunca olur. (Şekil 2.5)
	Çivide görülen çekme kuvveti aktif bölgede bulunan zemindeki yerçekimi kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır.	Ankrajda görülen çekme kuvveti aktif bölgede bulunan zeminin kendi aralığı ve yükleme sırasında ankraj başına uygulanan çekme kuvveti ile dengesinden kaynaklanmaktadır..	Donatıda görülen çekme kuvveti aktif bölgede bulunan zemindeki yerçekimi kuvvetlerinden kaynaklanmaktadır.
	Zemin kısmen çiviler tarafından sınırlandırılmıştır.	Zemin sadece kaplama ile sınırlandırılmıştır.	Zemin çoğunlukla donatılarla sınırlandırılmıştır. (donatı tipine ve aralıklara bağlı olarak)
	Kaplamada en büyük deformasyon duvarın tepe noktasında olur. (Şekil 2.6)	Duvarın en büyük deformasyonu ankrajların öngerme kuvvetlerine bağlı olarak orta seviyede oluşur. (Şekil 2.6)	Kaplamada en büyük deformasyon duvarın alt bölgesinde olur. (Şekil 2.6)
	Kritik kayma yüzeyi boyunca ulaşılan kuvvet ve/veya moment dengesini sağlamak için kabul edilebilir zemin gerilmesi ile birlikte ek kuvvet olarak kaplama ve çivinin kabul edilebilir kapasitesini (mukavemet ve sıyrılma dayanımlarını) kullanan limit denge kullanılır.	Donatı kopma ve sıyrılmasına karşı güvenlik katsayısını belirleyen donatı kapasitesine eşitlenen donatı gerilmesini hesaplayabilmek için ampirik toprak basıncı dağılımları kullanılır.	Donatı kopma ve sıyrılmasına karşı güvenlik katsayısını belirlemek için donatı kapasitesine eşitlenen donatı gerilmesinin hesaplanmasında ampirik toprak basıncı dağılımları (ankrajlı duvarlarınkinden farklı olan) kullanılır.
	Güvenlik sayısı, direnç kuvvetlerinin/momentlerinin devirici kuvvet/momentlere oranıdır.		
	Global olarak tüm sistemde veya lokal olarak kazı kademelerinde gerekli donatı mukavemetleri ve sıyrılma dayanımları hesaplanır. (Limit Denge Durumu)	Gerekli donatı mukavemetleri ve sıyrılma dayanımları, her donatı kademesinde uygulanan yanal toprak basıncını karşılayacak kaplama için gerekli ankraj kapasitesine dayanarak hesaplanır. (Servis Gerilme Durumu)	Gerekli donatı mukavemetleri ve sıyrılma dayanımları, her donatı kademesinde donatının kendine ait alanındaki yerel yanal toprak basıncını karşılayacak şekilde hesaplanır. (Servis Gerilme Durumu)
	Kaplama-çivi bağlantı sisteminin ve kaplamanın olası göçme modları (örn. Eğilme, kesme) kaplamadaki ampirik toprak basıncı dağılımları ile kontrol edilir.	Kaplama-ankraj bağlantı sisteminin ve kaplamanın olası göçme modları ankraj öngerme kuvvetleri göz önünde bulundurularak kontrol edilir.	Kaplama-çivi bağlantı sisteminin olası göçme modları kaplamadaki ampirik toprak basıncı dağılımları kullanılarak kontrol edilir.
TASARIM YAKLAŞIMI (DIŞ)	İyileştirilmiş bölgede rijit gövde olarak devrilme ve taşıma gücü kontrolleri yapılır. Ayrıca duvar arkasındaki şev stabilitesi de değerlendirilir.	Sadece duvar arkasındaki şev stabilitesi kontrol edilir. Fakat elverişsiz zemin koşulları için ağırlık duvarının taşıma gücü problemi de değerlendirilmelidir.	İyileştirilmiş bölgede rijit gövde olarak kayma, devrilme ve taşıma gücü kontrolleri yapılır. Ayrıca duvar arkasındaki şev stabilitesi de değerlendirilir.

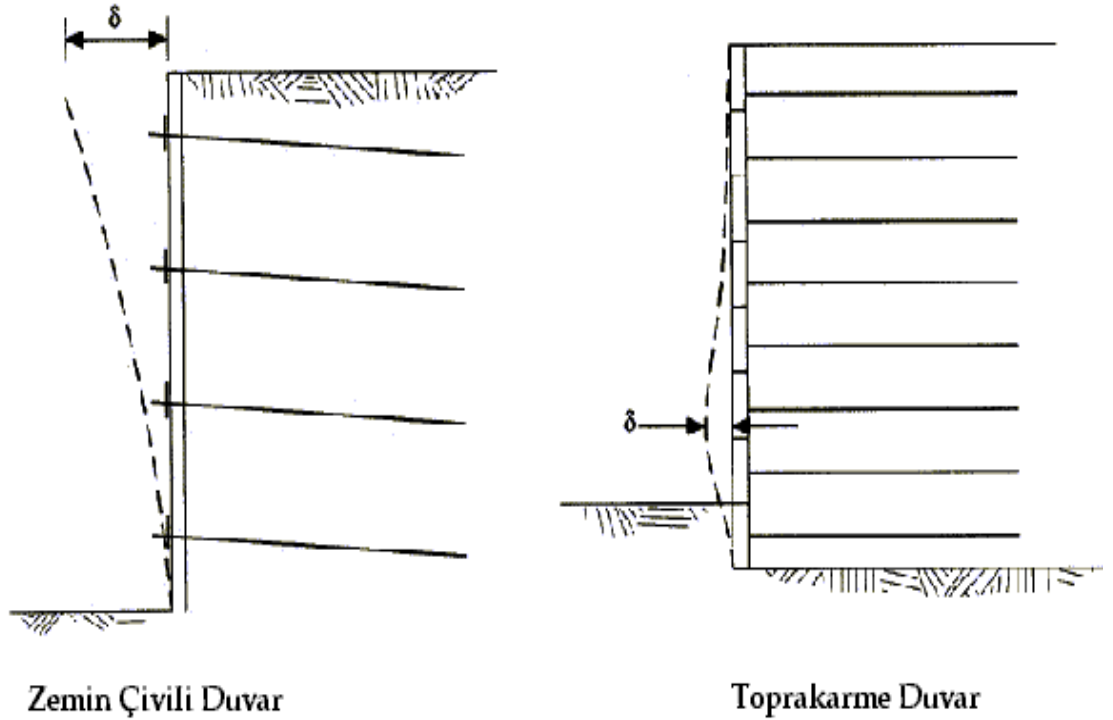


Şekil 2.7 Donatı boyunca çekme kuvvetinin tipik dağılımları (Byrne ve diğ., 1998)

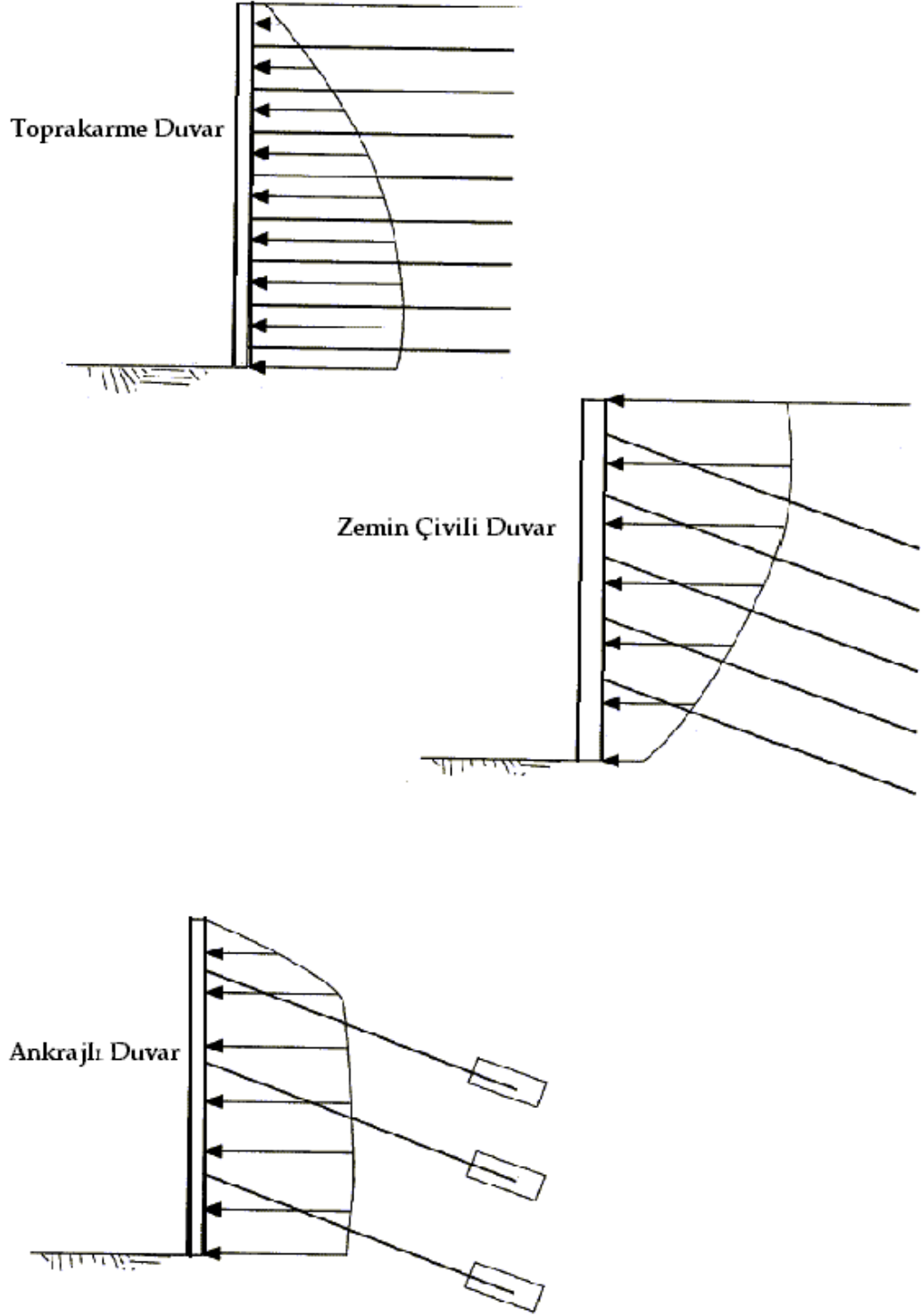
Zemin çivisi tekniği duvar yapımındaki benzerlikler nedeniyle, genelde daha sık kullanılan bir teknik olan ankrajla sıkça karşılaştırılır. İki yöntem de benzer özelliklerdeki şevlerde kullanılmasına rağmen farklı uygulamalarda fizibilite açısından çok farklı sonuçlar verebilmektedir.

Zemin çivili sistemin ankrajlı sistemlere göre yapım, kullanım, duvar davranışları ve maliyet açısından üstünlükleri ve sınırlamaları bölüm 2.3’de tartışılmıştır. Ayrıca zemin çivili sistemlerin daha etkin sonuçlar verdiği zemin türleri bölüm 2.4’de verilmiştir.

Zemin çivili duvarlarla toprakarme (donatılı zemin) duvarlar, pasif donatıların kullanılması ve tasarım iç stabilite kontrolleri açılarından birbirine benzese de yapımı, kullanım amaçları, deformasyon davranışları (bkz. Şekil 2.6) ve düşey gerilme davranışları (bkz. Şekil 2.7) gibi konularda çok temel farklılıklara sahiptirler.



Şekil. 2.8 Zemin çivili duvar ve toprakarme duvarın deformasyon davranışlarının karşılaştırılması (Clouterre, 1991)



Şekil 2.9 Toprakarme, zemin çivili ve ankrajlı duvarlar için tipik donatı düşey gerilme dağılımları (Byrne ve diğ., 1998)

3. ZEMİN ÇİVİSİ TASARIMI

Zemin çivisi tekniğinin tasarımında farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar içinde limit denge yaklaşımı en yaygın olarak kabul gören yaklaşımdır. Sonlu elemanlar veya sonlu farklarla hesap yapan bilgisayar yazılımları zemin çivisi tasarımını limit denge yaklaşımını temel alarak yapmaktadır. Ayrıca yerel stabilite analizlerini temel alan emniyet gerilmesi yaklaşımı da zemin çivisi tasarımı için önerilmiştir. Bu yaklaşımı temel alan kinematik analiz yöntemi geliştirilmiş Davis yöntemi başlığı altında incelenmiştir.

Zemin çivisi tekniği yeni bir teknik olduğu için henüz bu konuda bir standart çalışması bulunmamaktadır. Fakat çeşitli ülkelerde ulusal karayolları veya mühendisler odası ve benzeri oluşumlar tarafından çeşitli çalışmalar yapılmış ve bu çalışmalar sonucunda limit denge yaklaşımını temel alan çeşitli şartnameler ve tasarım önerileri hazırlanmıştır.

Zemin çivili sistemlerin tasarımında yapılan analizler iç ve dış stabilite analizleri olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. İç stabilite analizlerinde sıyrılma, tendon kopma ve kaplama ezilme kontrolleri yapılır. Dış stabilite analizinde ise tipik şev stabilitesi analizleri olan devrilme, kayma, taban basıncı ve toptan göçme kontrolleri yapılmaktadır.

3.1 Limit Denge Yaklaşımı

Zemin çivisi tasarımında kullanılan en yaygın yöntemler limit denge yaklaşımını temel almaktadır. Bu yaklaşımı temel alan yöntemler aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1.1 Alman yöntemi

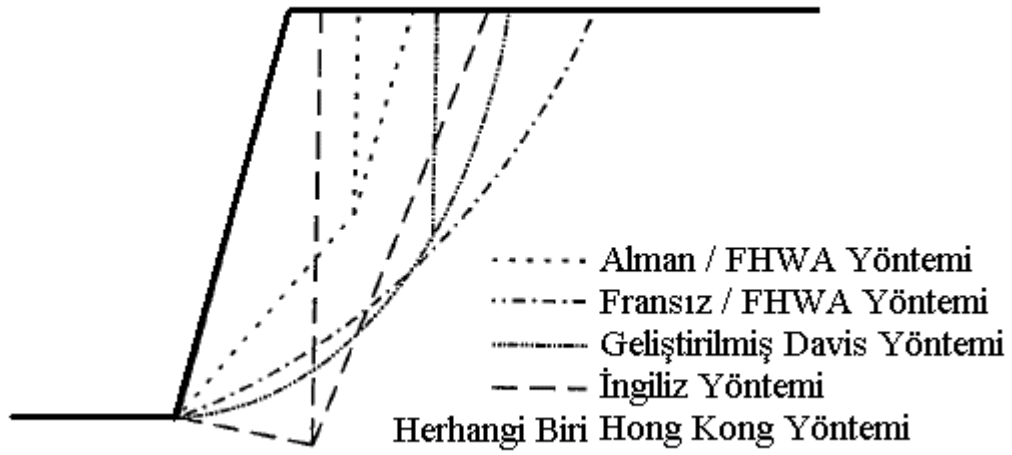
Alman yönteminde bi-lineer bir kayma yüzeyinin şev topuğundan geçtiği varsayılır (Şekil 3.1). Diğer varsayımlar ise zemin kütesinin iki zemin kamasına bölünmesi ve şev yüzündeki zemin kamasının zemin çivisiyle güçlendirilmesidir. Arka yüzdeki güçlendirme olmayan kama ön yüze aktif toprak basıncı uygular. Pasif bölgede

sadece zemin çivisinin çekme dayanımı dikkate alınır. Nihai sıyrılma kapasitesi zemin çivisinin gömülü olduğu derinliğe göre değişmez (Stocker ve diğ., 1979; Gassler ve Gudehus 1981, Gassler 1997; Yeo ve Leung, 2001).

Bu yöntemle göre güvenlik sayısı ulaşılan limit çivi dayanım kuvvetlerinin (Sıyrılma kapasitesi), ΣT_p , toplam kuvvete, ΣT , oranıyla bulunur.

$$GS = \Sigma T_p / \Sigma T \quad (3.1)$$

Yöntem homojen zemin koşulları ve yeraltı suyu etkisi olmaması kabulüne göre hesap yapmaktadır.



Şekil 3.1 Kayma yüzeyi kabulleri (Yeo ve Leung, 2001)

3.1.2 Fransız yöntemi (CLOUTERRE 1991)

Fransız yönteminde şev topuğundan geçen dairesel bir kayma yüzeyi kabulü yapılır (Şekil 3.1). Çekme kuvvetinin ve kaymaya karşı koyan kuvvetlerin zemin çivili güçlendirme ile sağlandığı dikkate alınır. Kayma/eğilme direnç kuvvetlerindeki gelişme kırılma yüzeyi boyunca aktif ve pasif zonlar arasındaki rölatif deplasmandan meydana geldiği dikkate alınır. Zemin çivili sistemde çivi kopma, sıyrılma, enjeksiyon-güçlendirme ve eğilme/kayma göçmeleri limit eşitlik analiziyle kontrol edilir (çoklu kriter kuralı). Nihai sıyrılma kapasitesi zemin çivisinin gömülü olduğu derinlikle değişmez (Yeo ve Leung, 2001).

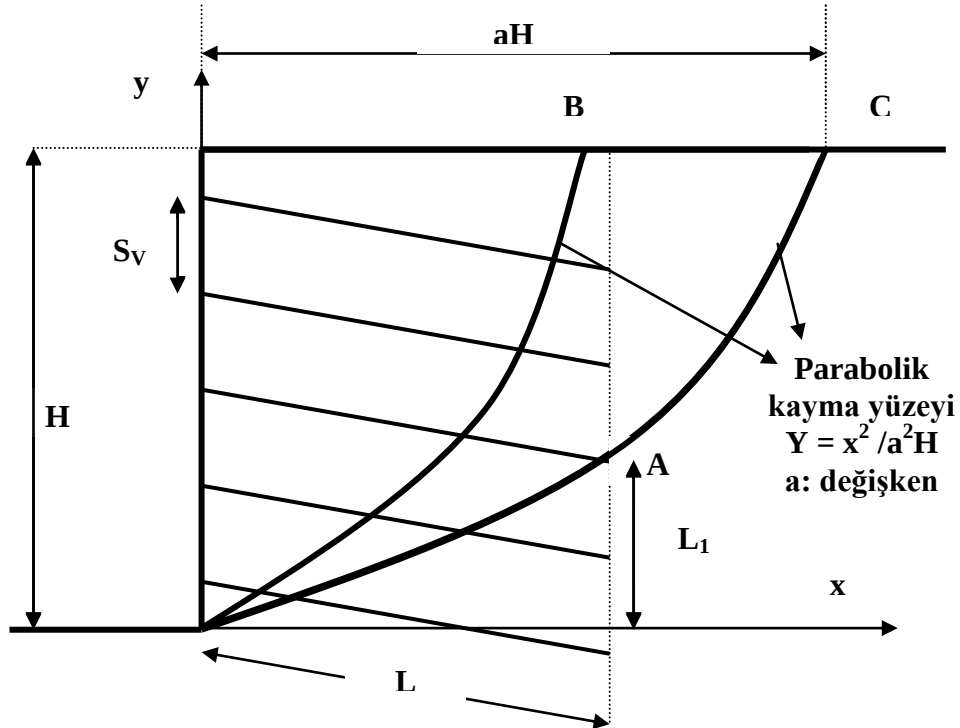
Bu dizayn yöntemi kompleks sayısal çözümler içermektedir. Dilim yöntemini temel alan bir sonlu elemanlar yazılımı olan TALREN çoklu kriter kuralı, aktif zondaki

kırılma yüzeyi boyunca oluşan rölatif deplasman ve sistemin eğilme rijitliğini de iç stabilize analizleriyle dikkate almaktadır. Stabilite hesaplarında zemin-çivi etkileşimi de dikkate alınmaktadır.

Fransız yöntemi Clouterre'in temel aldığı Kısmi Katsayı Tasarım Yöntemi, 4. bölümde detaylı olarak anlatılan Amerikan Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımına çok benzerdir. Kısmi Katsayı Tasarımının, Eurocode 7'de yapılmakta olan düzenlemeler sonrasında yaygın bir kullanım kazanması olasıdır.

3.1.3 Davis ve Geliştirilmiş Davis yöntemleri (FHWA-RD-89-193)

Davis ve geliştirilmiş Davis yöntemlerinde şev topuğundan geçen parabolik bir kayma yüzeyi tanımlanmıştır (Şekil 3.1). Alman yönteminde olduğu gibi zemin kütlesi iki zemin kamasına ayrılır. Şev yüzündeki zemin kaması, zemin çivisiyle güçlendirilir. Pasif bölgede sadece zemin çivisinin çekme dayanımı dikkate alınır. Nihai sıyrılma kapasitesi zemin çivisinin gömülü olduğu derinlikle değişmez (Bang ve Erickson ,1989; Elias ve Juran, 1991; Yeo ve Leung, 2001).



Şekil 3.2 Davis yöntemi olası kayma yüzeyi kabulleri (Elias ve Juran, 1991)

Yöntem homojen zemin koşulları, yeraltı suyu olmayan koşullar ve dik duvar, yatay zemin yüzeyi, uniform çivi düzeni kabulü yapmaktadır. Donatıda sadece çekme

kuvvetleri dikkate alınmaktadır. Donatı elemanının kopma dayanımı aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$T_b = A_s F_y \quad (3.2)$$

A_s : Çivi donatısı kesit alanı

F_y : Donatı akma mukavemeti

Sıyrılma dayanımı her bir donatı elemanı için pasif bölgedeki çivi uzunluğu boyunca sürtünme dayanımının bir fonksiyonu olarak hesaplanır.

$$T_p = \pi D_c L_a (\sigma_n \tan \phi_m + c_m) / S_h \quad (3.3)$$

T_p : Nihai sıyrılma kuvveti

D_c : Enjeksiyon çapı

L_a : Pasif bölgedeki çivi uzunluğu

σ_n : L_a boyundaki ortalama normal gerilme

ϕ_m : Sürtünme açısı

c_m : Kohezyon

S_h : Yatay çivi açıklığı

Donatı kopma ve sıyrılması için bulunan değerlerden en düşük olan değer dayanım değeri, T_R , olarak alınır. Bu çivi dayanım değeri hesaba katılarak global güvenlik sayısı iç göçme ve dış göçme durumları için bulunur. Minimum güvenlik sayısı en kritik kayma yüzeyi için bulunur. Tasarımda, toptan göçme için minimum güvenlik sayısının 1,5 olması istenir.

1991’de Elias ve Juran tarafından oluşturulan Geliştirilmiş Davis yöntemi dört farklı duvar geometrisinde, sabit global güvenlik sayısı ve kohezyon değerleri için hazırlanmış ön tasarım kartlarını içerir. Farklı geometriler için interpolasyon kullanılır.

Juran ve Byrne tarafından önerilen “Kinematik Limit Denge” yönteminde her bir destekteki harekete ettirici çekme ve kesme kuvvetlerinin maksimum değerleri tahmin edilebilmektedir. Juran yönteminde kayma yüzeyi boyunca olan normal gerilme dağılımında Kötter denklemi kullanılmıştır. Bu nedenle yöntem, her bir çivi içinde oluşan kuvvetin, çivinin içinde bulunduğu dilimdeki yatay kuvvet dengesinden sağlanabilme avantajına sahiptir. Ancak, Kötter denkleminde ve düşey

kuvvet dengesinde sınır koşullarının uygulanmasının oluşturduğu belirsizlik bir tartışma olasılığı doğurmaktadır (Kim ve diğ., 1997).

3.1.4 FHWA tasarım yöntemi (FHWA-SA-96-096R)

1992’ de FHWA, tarafından başlatılan demostrasyon projesi DP103’ den elde edilen deneysel sonuçlar temel alınarak, geliştirilmiş Davis yönteminde alttaki zemin çivi kuvvetlerinin beklenenin altında, üsttekilerin ise beklenenin üstünde olduğu sonucuna varılmıştır ve demostrasyon projesinden elde edilen deneyimleri özetleyen ve bir zemin çivisi tasarım yöntemi sunan yeni bir tasarım el kitabı olan “Design & Contruction Monitoring of Soil Nail Walls” (Byrne ve diğ., 1998) yayımlanmıştır. Bu yayında FHWA tarafından önerilen iki tasarım yöntemi olan Servis Yüğü Tasarımı ve Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı yöntemleri bulunmaktadır. Bu yöntemler 4. bölümde detaylı bir şekilde anlatılmış ve iki yöntemin karşılaştırması yapılmıştır. Bu tasarım yöntemi limit denge yaklaşımını temel almakta ve aşağıdaki kabulleri yapmaktadır (Yeo ve Leung, 2001);

- (1) Hem bi-lineer hem de dairesel kayma yüzeyleri şev topuğundan geçer.
- (2) Zemin kütlesi iki zemin kamasına bölünür.
- (3) Her bir çivi kritik kayma yüzeyinin arkasına kadar uzanır.
- (4) Sadece zemin çivili güçlendirmenin sağladığı çekme dayanımı dikkate alınır.
- (5) Ara yüz-kama sınırında etkiyen çivi çekme kuvveti dikkate alınır.
- (6) Nihai sıyırılma kapasitesi zemin çivisinin gömülü olduğu derinlikle değişmez.

Bu tasarım yöntemi zemin kütlesinde aktif ve pasif zonlardaki çivi sıyırılma dayanımını dikkate alır ve duvar yüzünün taşıma kapasitesinin stabilite analizinin içine katılmasına izin verir.

3.1.5 İngiliz yöntemi (Advice Note HA68/94 1994)

İngiliz tasarım yöntemi iki parçalı kama göçme mekanizmasının limit dengesini temel alır ve önceden tanımlanan düşey çivi yerleşim aralığının kullanılmasını önerir (Şekil 3.1). Yöntem, şev topuğundan geçen bi-lineer kayma yüzeyi kabulü yapmaktadır. Ara yüz-kama sürtünmesi ihmal edilir. Güçlendirilmiş zemin kütlesi çivi düzlemi üzerinde kaymaktadır. Sadece zemin çivili güçlendirmenin sağladığı çekme dayanımı dikkate alınır. Düzgün yayılı çekme kuvveti vardır ve zemin

çivisinin gömülü olduğu derinlikle artan bir nihai çekme kapasitesi vardır (Yeo ve Leung, 2001).

Detaylı tasarım yöntemi ve öneriler BS8006 ve EuroCode7’de bulunmaktadır.

3.1.6 Hong Kong yöntemi

Bu yöntemde global güvenlik katsayısının kullanıldığı limit eşitlik yaklaşımı temel alınmıştır. Kullanılmakta olan tasarım standardının gerektirdiği şev güvenlik katsayısı için gerekli maksimum yatay kuvvetin hesaplanmasında dilim metodu kullanılır. Yöntem aşağıdaki kabulleri yapmaktadır (Yeo ve Leung, 2001);

- (1) Herhangi bir şekildeki kayma yüzeyi şev topuğundan geçer.
- (2) Sadece pasif bölgede gömülü olan çivinin çekme dayanımı dikkate alınır.
- (3) Düşey dilim sınırlarındaki iç kuvvetler zemin çivisinden etkilenmemektedir.
- (4) Nihai sıyrılma kapasitesi çivinin gömülü olduğu derinlikle artar.

Pasif bölgedeki zemin çivisinin sıyrılma göçmesini içeren iç göçme modları, çivi kopma göçmesi, duvar yüzünün ezilme göçmesi ve enjeksiyon-güçlendirme göçmesinin göz önünde bulundurulması gerekir. Çivinin sıyrılma kapasitesi, çivinin kopma dayanımı, duvar yüzünün ezilme kapasitesi olmak üzere hesapta dikkate alınan üç kavram vardır. İlk kavram olan çivi sıyrılma kapasitesi hesabı aşağıda verilmiştir:

$$T_p = \Sigma L (\pi d_{\text{delik}} c' + 2 d_{\text{delik}} \sigma'_v \tan \phi') / F_p \quad (3.4)$$

T_p : Zemin çivisinin birim uzunluğu için sıyrılma dayanımı

F_p : Sıyrılma dayanımı için güvenlik katsayısı

L : Zemin çivisinin pasif zona gömülü uzunluğu

c' : Çevre zemininin efektif kohezyonu

d_{delik} : Açılan zemin çivisi deliğinin yarıçapı

σ'_v : Zemin çivili duvar üzerine etkiyen jeolojik yükün efektif düşey bileşeni

Hong Kong’ da, zeminler genelde tamamen ayrıışmış granit (CDG), tamamen ayrıışmış tüf (CDT), ve molozdan oluşmaktadır. Bu zeminler granülerdir ve genişleme özelliği gösterirler. Çevre zemininin görünür sürtünme katsayısı (μ^*), $\tan \phi$ olarak verilir (ϕ zeminin efektif sürtünme açısı) (Yeo ve Leung, 2001).

Çivi kopma dayanımı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$T_t = \sigma_y A_s / F_t \quad (3.5)$$

T_t : Zemin çivisinin tasarım çekme mukavemeti

F_p : Zemin çivisinin çekme dayanımı için güvenlik katsayısı

A_s : Çivinin efektif kesit alanı

σ_y : Zemin çivisinin nihai çekme mukavemeti

Çivi donatısının korozyon korumasının sağlanması için donatı çapında 2mm' lik pas payı bırakılır ve donatı minimum 10mm kalınlığında çimento enjeksiyonuyla kaplanır. Çelik donatı genelde sıcak daldırılmalı galvanizedir.

Üçüncü kavram kaplamanın ezilme kapasitesidir. Alternatif olarak, ezilme kapasitesi formülü çivinin dizayn çekme mukavemetinde hesaba katılır ve zemin çivisinin duvar yüzüyle yaptığı aç, kabul edilebilir ezilme kapasitesi hesabında kullanılabilir.

3.1.7 Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri

Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri ile çalışan, zemin çivisi tasarımında kullanılan çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan PLAXIS ve Fransız yöntemi (Clouterre) ile çözüm yapan TALREN programları sonlu elemanlar programlarıdır. Sonlu farklar yöntemi ile çalışan FLAC programı da son yıllarda yaygın bir kullanıma ulaşmıştır. Ayrıca zemin çivisi tasarımı yapan SNAIL, NAIL-SOLVER, STARS, NAILM, GOLDNAIL, COLDUIM isimli programlar bulunmaktadır.

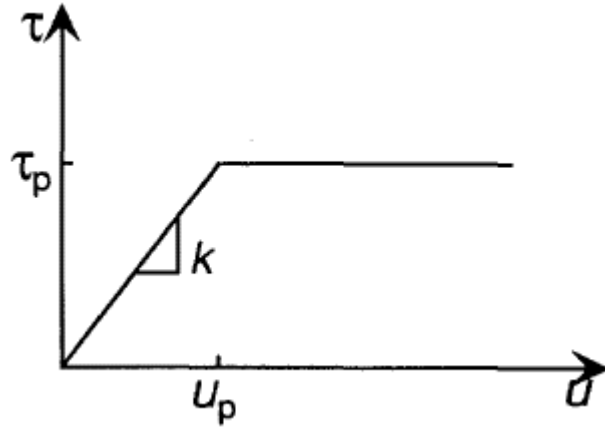
3.1.8 Ayrık Eleman Yöntemi

Ayrık eleman yöntemi ile zemin çivili sistem çözümünde, tüm bir şev elastoplastik Winkler yaylarıyla bağlı dilimlerden oluşmuş olarak kabul edilir. Bu yöntem dilimler arasındaki uygunluk durumunu, eşitlik durumu kadar dikkate alır. Böylece sonuçları elde etmek için, belirsiz bir problem olan limit denge yaklaşımındaki gibi bir kabul yapmak gerekli değildir. Ayrık eleman yöntemini destekli dik şevlere uygulanmasında elastoplastik yayların çivi yerine kullanılması için bir formülasyon oluşturulur (Kim ve diğ., 1997).

Bu yöntem, zemin çivisini hareket ettiren çekme ve kesme gerilmelerinin tahmin edebilmektedir ve böylece tekil olarak, zeminin ve her bir çivinin güvenlik katsayıları sağlanmaktadır.

Çivideki harekete geçirici kesme gerilmesi, çivinin elastik eğilme denklemini dikkate alarak ve zeminin bir elastoplastik yaylar serisi olduğunu kabul ederek hesaplanabilir. Teorik olarak çivinin sonsuz uzunlukta olduğu kabul edilir ve daha sonra kayma yüzeyindeki kesişimde harekete geçiren maksimum kesme kuvveti için çözüm sağlanır.

Zemin çivileri, karşı koyucu kuvvetleri etkin bir şekilde harekete geçirmek için zeminde deplasmana ihtiyaç duyan pasif ilavelerdir. Bu yüzden zemin ve çivi arasındaki sürtünme özelliklerini ölçmek gereklidir. Çivide oluşan çekme gerilmesi için çözüm, aşağıdaki Mitachi ve diğ., (1992) tarafından önerilen “geogridlerin zemin davranışlarının hesaplanması” kabullerinden elde edilmiştir.



Şekil 3.3 Zemin-çivi arasındaki sürtünme davranışı varsayımı (Kim ve diğ., 1997)

Ara yüzdeki sürtünme davranışının şekil 3.1’deki gibi olduğu kabul edilmiştir. Zemin-çivi sisteminin kuvvet dengliği sürtünme davranışı denklemlerin birleştirilmesi ile sağlanan diferansiyel denklemler sınır koşulları ile çözülerek çivide oluşan çekme kuvveti elde edilmektedir.

Ayrık eleman yönteminde, her bir elemanın rijit gövde hareketi yaptığı varsayılır ve dilim ara yüzleri Winkler yaylarıyla modellenenmektedir.

Kayma yüzeyinin daire, parabol veya log-spiral olduğu kabul edilir ve zemin kütlesi tahmini kayma yüzeyiyle aktif ve pasif bölgelere ayrılır. Pasif bölgede hiç deformasyon olmadığı kabul edilir.

Winkler yayları kanunu Mohr-Coulomb göçme kriteriyle oluşturulmuştur. Normal bir yayda çekme göçmesi yoktur ve bir miktar kopmasına kohezyonlu zeminlerde izin verilir fakat kohezyonsuz zeminlerde mümkün değildir.

4. EN YAYGIN ZEMİN ÇİVİSİ TASARIM YÖNTEMLERİ: SERVİS YÜKÜ TASARIMI, YÜK ve DAYANIM KATSAYILARI TASARIMI

4.1 Giriş

Limit denge yaklaşımını temel alan iki tasarım yöntemi olan Servis Yüğü Tasarımı ve Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı zemin çivisi tasarımında dünyada en çok kabul gören yöntemlerdir. Tasarımda kolaylık açısından Servis Yüğü yöntemi günümüzde Yüğü ve Dayanım Katsayıları yöntemine göre daha yaygın bir kullanıma sahiptir.

FHWA tarafından önerilen bu tasarım yöntemleri FHWA'nın FHWA-SA-96-069R numaralı yayınında detaylarıyla açıklanmıştır. Daha sonra yine FHWA tarafından çıkarılan FHWA0-IF-03-017 numaralı zemin çivili duvarlarla ilgili yayında, tasarım yöntemlerinden sadece Servis Yüğü yöntemi bulunmaktadır. 2005 yılı itibarıyla de FHWA tarafından tasarım bölümünde sadece Yüğü ve Dayanım Katsayıları yöntemini içeren zemin çivili duvarlarla ilgili yeni bir yayın çıkarılacaktır. Bu çalışmada FHWA'nın FHWA-SA-96-069R numaralı yayını temel alınmıştır.

Servis Yüğü yöntemi daha önceden de belirtildiği üzere tasarımda kolaylık sağlaması nedeniyle daha yaygın kullanılmaktadır. Bununla beraber, Yüğü ve Dayanım Katsayıları yöntemi ile hemen hemen aynı yöntem olan ve Clouterre'de (Fransız Ulusal Araştırma Projesi) kullanılan Kısmi Katsayı Tasarımı (Partial Factor Design) yönteminin Eurocode 7 ile gündeme tamamen girecek olması YDKT'ye ileride daha yaygın bir kullanım kazandırması mümkündür.

Zemin çivisi konusunda dünyada henüz oturmuş bir standart bulunmadığı için kullanımda netleşmemiş çok fazla kavram bulunmaktadır. Ayrıca tamamen aynı veya hemen hemen aynı olan tasarım yöntemleri farklı ülkelerde, hatta aynı ülkede, farklı şekillerde adlandırılabilmektedir. Bu durum neden olduğu çeşitli kavram karmaşaları sonucunda tasarımda zorluklara sebep olabilmektedir. Bu bölümde SYT ve YDKT'nin karşılaştırmalı açıklamaları yapılarak oluşabilecek olası karışıklıklar giderilmeye çalışılmıştır.

4.2 FHWA Tasarım Yöntemleri

Bu çalışmada tanıtılan tasarım yöntemleri, Servis yükü tasarımı (SYT) ve Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı (YDKT) yöntemleridir. Bölüm 4.4’de 11’er adımdan oluşan her iki tasarım yöntemi statik ve sismik durumlar için detaylı bir şekilde açıklanmış ve yöntemlerin farkları belirtilmiştir. FHWA zemin çivili istinat duvarı tasarımını için bu iki tasarım yöntemini önermektedir (Byrne ve diğ. 1998).

4.2.1 Servis Yükü Tasarımı (SYT)

Bu tasarım yaklaşımı Karayolu Köprüleri Standart Şartnamesi, 15. Basımında (AASHTO, 1992) tanımlanmıştır. Zemin çivili istinat duvarlarının SYT’si genellikle YDKT yaklaşımına benzerdir ve kabul edilebilir çivi yükleri ve katsayılandırılmış zemin dayanımlarının uygulanan yükleri aşmasını gerektirir. Kabul edilebilir çivi yükleri yapısal (örn. Kabul edilebilir donatı gerilmeleri veya yükleri) ve geoteknik (örn. Kabul edilebilir sıyrılma dayanımı) elemanlarının her ikisi ile belirlenir. Katsayılandırılmış zemin dayanımı, nihai zemin dayanımı ile bir güvenlik katsayısının çarpımı ile elde edilir. Taşıyıcı elemanlar üzerindeki maksimum yüklemeyi belirlemek yerine yüklerin maksimum potansiyel devirici etkisini yakalamak için birçok yükleme kombinasyonu uygulanır (Byrne ve diğ. 1998).

4.2.2 Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı (YDKT)

Bu tasarım yaklaşımı AASHTO YDKT Köprü Tasarım Şartnamesi, 1. Basım (AASHTO, 1994)’da tanımlanmıştır. Zemin çivili istinat duvarlarının YDKT’si çiviler ve zemin tasarım dayanımlarının yüklere bağlı belirsizlik derecesine uygun yük katsayılarıyla ile çarpılan yükleri aşmasıyla sağlanan dayanım limit durumunu göz önüne alır. Tasarım dayanım kuvvetleri var olan kuvvetlerin değişkenliğini hesaba katmak için nominal veya nihai kuvvetlere uygun dayanım katsayılarının uygulanmasıyla belirlenir. Çivilerin dayanım kapasiteleri yapısal (örn. tasarım tendon dayanım kuvveti) ve geoteknik (örn. tasarım sıyrılma dayanımı) elemanların her ikisi de dikkate alınarak belirlenir. Zeminin dayanım kapasitesi nihai zemin kuvvetine bir dayanım katsayısı uygulanarak belirlenir. Birçok yükleme kombinasyonu, taşıyıcı elemanlarda maksimum yüklemeyi belirlemek üzere yüklerin maksimum potansiyel devirici etkisini yakalamak için uygulanmaktadır.

Servis limit durumu, duvarın ve güçlendirilmiş tutulan zeminin tüm deformasyonlarının gösterilmesi ve belirli durumlarda duvar kaplamasındaki çatlak genişliklerine (çelik gerilmeleri) sınırlandırmaların uygulanması ile araştırılmaktadır.

Servis limit durumu her iki yöntemde de gösterilir (Byrne ve diğ. 1998).

4.3 Tasarım Yöntemlerinin Temel Kavramları

Zemin çivili duvar limit durum tasarımında limit denge yaklaşımı, global güvenlik sayısının potansiyel kayma yüzeyi boyunca bulunan tutan kuvvetlerin deviren kuvvetlere oranı olarak tanımladığı potansiyel düzlemsel yüzeyler için gösterilmiştir.

Güçlendirilmiş zemin bloğunun serbest cisim diyagramında, kayma yüzeyine üzerinde bulunan zemin bloğunun kendi ağırlığı ile kayma yüzeyi boyunca bulunan normal kuvvetler ve kesme kuvvetleri etkimektedir. Bloğun kuvvet dengesinin hesaba katılması, potansiyel kayma düzlemindeki normal kuvvetlerin ve kesme kuvvetlerinin hesaplanmasını sağlamaktadır. Böylece güvenlik sayısı, tutan kuvvetlerin deviren kuvvetlere oranı olarak tanımlanmaktadır. Global güvenlik sayısının ifadesi, F , güçlendirilmemiş şev için geleneksel güvenlik sayısıdır. Serbest cisim diyagramının yerine geleneksel kuvvet poligonu da çizilebilir. Burada F güvenlik sayısı zemin kayma kuvvetinin hem kohezyon hem de kayma bileşenlerine uygulanırsa kuvvet poligonu kapanır ve limit denge sağlanır. Düzlemsel kayma yüzeyi düşünüldüğünde, global güvenlik sayısı, F , için aynı ifade, serbest cisim diyagramından hesaplanabileceği gibi kuvvet poligonundan da hesaplanabilir.

Bu işlemten sonra, tek bir çivi donatı elemanı, donatının güvenlik sayısını veya kayan zemin bloğunun stabilitesini iyileştirip iyileştirmediğini görmek üzere girilir. Global güvenlik sayısı F serbest cisim diyagramı veya kuvvet poligonu kullanılarak tekrar hesaplanır. Donatının etkisi hem normal kuvveti ve böylece sürtünmeli zeminlerde kayma yüzeyi boyunca kesme dayanımının artmasını, hem de kohezyonlu ve sürtünmeli zeminlerde kayma yüzeyi boyunca deviren kuvvetlerin azalmasını sağlamaktadır.

Herhangi bir kayma kamasında, çivinin güçlendirme katkısı, bulunduğu yerin bir fonksiyonudur ve burada oluşan kayma yüzeyi ile kesişir. Çivi donatı kuvveti; çivi tendonunun çekme göçmesi, çivinin sıyrılması veya kaplama/çivi başı birleşim

sisteminin yapısal göçmesi ile sınırlandırılabilir. Herhangi bir çivinin bir kaya bloğun stabilitesine katkısı en az:

- a) Çivinin çekme kuvveti
- b) Kayma yüzeyi arkasındaki çivi uzunluğunun sıyrılma dayanımı veya
- c) Çivi başı kuvveti ve kayma yüzeyi ile duvar yüzü arasında kalan çivi uzunluğunun sıyrılma dayanımı toplamı

kadardır.

Son olarak, çoklu çiviler metodunu göstermek üzere tekli çivi probleminin daha gelişmiş hali olarak ele alınmıştır. Ancak bu yöntem sadece tek bir kayma yüzeyi için kanıtlanmıştır, tüm potansiyel kayma yüzeyleri tasarımın tamamlanmasını sağlamak üzere incelenmelidir. Düzlemsel şekli olmayan kayma yüzeyleri (örn. dairesel, log-spiral, bi-lineer kama vb.) limit denge durumu incelendiğinde tercih edilmektedir. Bu durum daha düşük güvenlik sayılarının hesaplanmasına neden olmaktadır ve düzlemsel kayma yüzeyi bu genel şekillere daha çok yakındır. (Byrne ve diğ. 1998)

4.4 Tasarım Yöntemlerinin Detaylı Karşılaştırılması

Her iki tasarım yöntemi de (SYT ve YDKT) statik durum için 11'er adımdan oluşmaktadır. Her bir adımın uygulanışı ve iki yöntem arasındaki farklar aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak verilmiştir. Ayrıca sismik durum tasarımı da açıklanmıştır. (Byrne ve diğ. 1998 ve Lazarte ve diğ., 2003)

4.4.1 Kritik tasarım kesitinin / kesitlerinin oluşturulması ve bir deneme tasarımı seçilmesi

Verilen tasarım geometrisi ve yükleme durumu için kritik tasarım kesitinin oluşturulması ve deneme ön tasarımının seçilmesi adımı her iki yöntemde de aynı şekilde uygulanır, ancak zemin çivili duvar tasarımıyla ilgili dikkate alınan AASHTO şartlarını gösteren aşağıdaki tablolarda (Tablo 4.1 ve 4.2) yükler ve yük kombinasyonları iki tasarım yöntemi için ayrı ayrı belirtilmiştir. Özel tasarımlarda ilave yüklerin ve yük kombinasyonlarının dikkate alınması gerekebilir.

Zemin çivili istinat yapılarının tasarımında SYT ve YDKT yöntemlerinin her ikisinde de ilk adım olarak deneme ön tasarımı gerçekleştirilir. Oluşturulan tasarım

enkesitinde, çeşitli yüzey tabakaları ve duvar tabanının aşağısında olmak üzere tasarım yeraltı suyu seviyesi için ve yüzeydeki sürşarj yükü veya zeminin kendi ağırlığı gibi tüm servis yükleri için nihai zemin mukavemetleri göstermelidir. Çivi boyları, tendon boyutları ve de deneme yatay ve düşey çivi aralıklarını içeren bir çivi ön tasarım düzeni stabilite kontrolleriyle geliştirilmeli ve tasarım enkesiti üzerinde gösterilmelidir.

4.4.1.1 Ön tasarımı kartlarında kullanılan değişkenler ve boyutsuz büyüklükler

FHWA'nın çivi uzunluğunun son tasarımı için önerdiği yöntem iteratif bir işlem içermesine rağmen belli koşullar altında kullanılmak üzere basitleştirilmiş tasarım kartları sunmaktadır. 15° çivi açısı, uniform zemin koşulları ve kritik olmayan yerleştirme için geliştirilmiş, basitleştirilmiş tasarım kartları, SYT için 1.35'lik F güvenlik sayısını ve YDKT için de 0.9'luk bir Φ dayanım katsayısı kabulü yapmıştır. Önerilen tasarım kartları boyutsuz bir formatta verilmiştir. Kartlardan önce aşağıdaki değişkenlerin belirlenmesi gerekir (Byrne ve diğ. 1998).

Geometrik Değişkenler: Arka şev açısı β ve duvar yüz açısı δ .

Her biri 3 karttan oluşan ve 0°, 10°, 20° ve 34° lik arka şevlere karşı gelen 4 dizayn seti bulunmaktadır. Ara açılar için kartlar arasında interpolasyon yapılmaktadır. Her bir şev açısı için dizayn bilgileri 0° ve 10° lik duvar yüz açıları için verilmiştir. Ara değerlerdeki duvar açıları için kartlar arasında interpolasyon yapılmaktadır.

Mukavemet değişkenleri: Katsayılı sürtünme açısı, ϕ_D ve boyutsuz kohezyon, c_D .

Zeminin katsayılı sürtünme açısı, ϕ_0 aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

SYT

$$\phi_D = \tan^{-1}[\tan(\phi_u)/F] \quad (4.1)$$

YDKT

$$\phi_D = \tan^{-1}[\Phi_\phi \tan(\phi_u)] \quad (4.2)$$

ϕ_u : Nihai zemin kohezyonu

F: Global zemin güvenlik katsayısı

Φ_ϕ : Zemin sürtünme direnci katsayısı (ön belirlemede 0.9 kullanılır)

Her bir kart setinin yatay ekseninde azaltılmış sürtünme açısı gösterilir.

c_D boyutsuz kohezyonu, zeminin birim hacim ağırlığı ve yarmanın düşey yüksekliği ile normalize edilmiş zemin kohezyonudur ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

SYT

$$c_D = c_u / (F\gamma/H) \quad (4.3)$$

YDKT

$$c_D = \Phi_c c_u / (\Gamma_w \gamma H) \quad (4.4)$$

c_u : Nihai zemin kohezyonu

F: Global zemin güvenlik katsayısı (1,35)

Φ_c : Zemin kohezyon direnç katsayısı

Boyutsuz kohezyon, her bir şev geometrisi için üç değer (0.01, 0.03 ve 0.05) alan bir parametre olarak gösterilir. Boyutsuz kohezyonun ara değerleri için interpolasyon yapılır.

Boyutsuz çivi çekme kapasitesi, T_D .

Boyutsuz çivi çekme kapasitesi, T_D , hesaplanan $\tan \phi_D$ değerinin uygun kart setinin birincisinde yatay eksenle işaretlenerek uygun c_D eğrisine göre bulunan düşey koordinat değeridir.

Boyutsuz çivi çekme kapasitesi zeminin birim hacim ağırlığına, γ ; şevin yüksekliğine, H ; ve düşey ve yatayda çivi açıklıklarına, S_v , S_H göre normalize edilmiş katsayılandırılmış çivi kuvvetidir. Birinci kart setinden bulunan T_D değeri denklem (4.5) ve (4.6)'da yerine konularak gerekli nominal çivi kuvveti değeri, T_{NN} , hesaplanır.

SYT

$$T_D = \alpha_N T_{NN} / (\gamma H S_v S_H) \quad (4.5)$$

YDKT

$$T_D = \Phi_N T_{NN} / (\Gamma_w \gamma H S_v S_H) \quad (4.6)$$

T_{NN} : Gerekli nominal çivi kuvveti

α_N : Çivi tendon mukavemet katsayısı

Φ_N : Çivi tendon dayanım katsayısı

Γ_w : Birim ağırlık için yük katsayısı

Ön tasarım çivi donatısı boyutları hesabı için önce çivi kesit alanı, A_n , T_{NN} 'nin F_y 'ye bölümü şeklinde bulunur ve tablo 4.7'ye göre F_y 420 çubukları için çubuk boyutu belli olur.

Boyutsuz sıyrılma dayanımı, Q_D , nihai sıyrılma dayanımının (birim çivi uzunluğuna düşen kuvvet) bir katsayı ile çarpılıp, birim hacim ağırlık ve çivi aralığı ile normalize edilmesi ile bulunur.

SYT

$$Q_D = \alpha_Q Q_u / (\gamma S_v S_H) \quad (4.7)$$

YDKT

$$Q_D = \Phi_Q Q_u / (\Gamma_w \gamma S_v S_H) \quad (4.8)$$

Q_u : Nihai sıyrılma dayanımı

α_Q : Mukavemet katsayısı (ön belirleme için 0.5 alınır)

Φ_N : Dayanım katsayısı (ön belirleme için 0.7 alınır)

Hesaplanan boyutsuz sıyrılma dayanımı kullanılarak T_D/Q_D oranı bulunur ve bu değer her bir kart setinde ki ikinci ve üçüncü kartların yatay ekseninde kullanılır.

Ön tasarım çivi boyu hesabı için uygun kart setinde ikinci veya üçüncü karta T_D/Q_D değeri girilerek L/H oranı elde edilir. Bu oranda da bilinen H değeri yerine konularak ön tasarım çivi boyu, L , hesaplanır.

Servis Yüğü Tasarımı yönteminde dikkate alınacak yük kombinasyonları AASHTO sınıflandırmasına göre tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1 AASHTO Sınıflandırmasındaki yük kombinasyonları (AASHTO, 15. basım, 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

Not:

D= ölü yük

L= hareketli yük

E= toprak basıncı

B= kaldırma kuvveti

RST= kısalma, büzülme, sıcaklık

EQ= deprem

Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı yöntemindeki yükler AASHTO YDKT Köprü Tasarım Şartnameleri, 1. Basım'a göre tablo 4.2'de verilen katsayılarla çarpılır.

Tablo 4.2’de ayrıca bu tasarım yönteminde kullanılan yük kombinasyonları da tanıtılmıştır.

Tablo 4.2 Yük Kombinasyonları ve Yük Katsayıları (AASHTO, YDKT, 1. Basım, 1994)

Limit Durumu	DC DW EH EV ES	LL LS	WA	TU SH	EQ
MUKAVEMET I	γ_p	1.75	1.00	0.50	
MUKAVEMET IV EH, EV, ES, DW Sadece DC	γ_p 1.5		1.00	0.50	
EKSTREM DURUM I	γ_p		1.00		1.00

Not:

- DC : Yapısal bileşenlerin ve yapısal olmayan eklerin ölü yükü
DW : Giydirilen yüzeylerin ve şebekelerin ölü yükü
EH : Yatay toprak basınç yükü
EV : Dolgu ölü yükünden kaynaklanan düşey basınç
ES : Sürşarj yükü
LL : Taşıtlara ait hareketli yük
LS : Hareketli sürşarj yükü
WA : Su yükü ve buhar basıncı
TU : Uniform sıcaklık
SH : Büzülme
EQ : Deprem

Kalıcı Yükler için Yük Katsayıları, γ_p

Yük Tipi	Maksimum Yük Katsayısı	Minimum Yük Katsayısı
DC	1,25	0,90
DW	1,50	0,65
EH		
Aktif	1,50	0,90
Sükunetteki	1,35	0,90
EV		
Toptan Stabilitate	1,35	Mevcut Değil
İstinat	1,35	1,00
Yapıları		
ES	1,50	0,75

4.4.2 Kabul edilebilir çivi başı yükünün hesaplanması (SYT) / Tasarım çivi başı kuvvetinin hesaplanması (YDKT)

Servis Yükü Tasarımı yönteminde, aşağıdaki yöntem izlenerek, deneme duvar kaplaması ve bağlantı tasarımı için kabul edilebilir çivi başı yükü değerlendirilir:

- a) Kaplamanın ve bağlantı sisteminin her bir potansiyel göçme modu için nominal çivi başı kuvveti belirlenir. Tasarıma yardımcı olarak, çeşitli zemin çivili duvar tipik

kaplama kalınlıkları, kaplama donatısı ve ezilme plakası bağlantısı kombinasyonları için nominal çivi başı mukavemetleri tablo 4.3 de verilmiştir.

Tablo 4.3 Nominal çivi başı kuvveti (Byrne ve diğ., 1998)

Geçici püskürtme beton yapı kaplaması (Kaplama kalınlığı 100 mm, çelik akma mukavemeti 420 Mpa, Püskürtme Beton Basınç Mukavemeti: 28 Mpa, göğüsleme Kirişi Donatısı 2 X No. 13)

Çivi Aralığı (m)	WW Hasır Donatı	Düşey Eğilme Donatıları	T _{FN} (kN)
1.25 X 1.25	152 X 152 MW13 X MW13	- 2 X No 13	58 122
	152 X 152 MW18 X MW18	- 2 X No 13	81 145
	152 X 152 MW25 X MW25	- 2 X No 13	111 166*
	102 X 102 MW9 X MW9	- 2 X No 13	59 124
	102 X 102 MW13 X MW13	- 2 X No 13	86 149
	102 X 102 MW18 X MW18	- 2 X No 13	119 170*
1.5 X 1.5	152 X 152 MW13 X MW13	- 2 X No 13	58 112
	152 X 152 MW18 X MW18	- 2 X No 13	81 135
	152 X 152 MW25 X MW25	- 2 X No 13	111 163
	102 X 102 MW9 X MW9	- 2 X No 13	59 113
	102 X 102 MW13 X MW13	- 2 X No 13	86 139
	102 X 102 MW18 X MW18	- 2 X No 13	119 170*
1.75 X 1.75	152 X 152 MW13 X MW13	- 2 X No 13	58 105
	152 X 152 MW18 X MW18	- 2 X No 13	81 127
	152 X 152 MW25 X MW25	- 2 X No 13	111 156
	102 X 102 MW9 X MW9	- 2 X No 13	59 106
	102 X 102 MW13 X MW13	- 2 X No 13	86 132
	102 X 102 MW18 X MW18	- 2 X No 13	119 164

- Hesaplanan kapasite maksimum donatı oranının (toplam alana göre) %0,35 ile sınırlandırılmıştır.

b) Tablo 4.4'deki her bir olası göçme modu için kabul edilebilir çivi başı yükü karşı gelen nominal çivi başı kuvvetinin bir katsayıyla çarpımı olarak belirlenir. Tablo

4.4'deki çivi başı mukavemet katsayılarının ilk kolonu I.Grup yük kombinasyonuna uygulanır (Tablo 4.1). Diğer yük kombinasyonu grupları için bu I. Grup çivi başı mukavemet katsayıları tablo 4.4 deki son kolonun katsayılarının yüzdelere göre arttırılır. Zemin çivili duvar uygulamaları için tasarım kontrolü I. IV. ve VII. yük kombinasyon gruplarında çoğu zaman benzerdir. IV ve VII. grup yük kombinasyonlarına karşı gelen çivi başı mukavemet katsayıları da bu yüzden ayrıca tablo 4.4'de gösterilmiştir. Kabul edilebilir çivi başı yükü, hesaplanan çeşitli göçme modları değerlerinin en küçüğüdür.

Tablo 4.4 Çivi başı yükü katsayıları – SYT (Byrne ve diğ., 1998)

Göçme Modu	Çivi Başı Yükü Katsayısı (Grup 1) α_F	Çivi Başı Yükü Katsayısı (Grup IV)	Çivi Başı Yükü Katsayısı (Grup VII) (Sismik)
Kaplama eğilmesi	0,67 ^a	1.25(0.67)=0,83	1.33(0.67)=0,89
Zımbalama	0,67 ^a	1.25(0.67)=0,83	1.33(0.67)=0,89
Bağlantı Elemanı Çekme Çatlağı			
ASTM A307 Cıvata		1.25(0.50)=0,63	1.33(0.50)=0,67
Malzemesi	0,50 ^a	1.25(0.59)=0,74	1.33(0.59)=0,78
ASTM A325 Cıvata	0,59 ^a		
Malzemesi			

^a AASHTO YDKY Dayanım Katsayılarının (Tablo 4.5) 1,35 yük katsayısına bölünmesi ile elde edilmiştir

Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı yönteminde ise kabul edilebilir çivi başı yükü yerine tasarım çivi başı kuvveti hesaplanır. Aşağıdaki yöntem izlenerek, deneme duvar kaplaması ve bağlantı tasarımı için tasarım çivi başı yükü değerlendirilir:

a) Servis yükü yöntemiyle aynı şekilde kaplamanın ve bağlantı sisteminin her bir potansiyel göçme modu için nominal çivi başı kuvveti belirlenir. Tablo 4.3 de , tasarıma yardımcı olmak amacıyla, çeşitli zemin çivili duvar tipik kaplama kalınlıkları, kaplama donatısı ve ezilme plakası bağlantısı kombinasyonları için nominal çivi başı mukavemetleri verilmiştir.

b) Tasarım çivi başı kuvveti, tablo 4.5'deki her bir olası göçme modu için olan nominal çivi başı kuvvetlerinin bu kuvvete karşı gelen dayanım katsayılarıyla çarpılarak belirlenir. Tablo 4.5'de tablo 4.2'deki mukavemet limit durum ve ekstrem limit durum I (sismik yükleme) durumlarının her ikisi için dayanım katsayıları gösterilmektedir. AASHTO'ya göre tablo 4.2'deki Ekstrem limit Denge durumları

için tüm dayanım katsayıları 1,0 olarak alınır. Tasarım çivi başı kuvveti çeşitli göçme modları için hesaplanan değerlerin en küçüğüdür.

Tablo 4.5 Çivi başı dayanım katsayıları – YDKT (Byrne ve diğ., 1998)

Göçme Modu	Çivi Başı Dayanım Katsayısı (Mukavemet Limit Durumları) Φ_F	Çivi Başı Dayanım Katsayısı (Ekstrem Limit Durumları) (Sismik)
Kaplama Eğilmesi	0,90 ^a	1,0 ^a
Zımbalama	0,90 ^a	1,0 ^a
Bağlantı Elemanı Çekme Çatlağı ASTM A307 Cıvata Malzemesi ASTM A325 Cıvata Malzemesi	0,67 ^a 0,80 ^a	1,0 ^a 1,0 ^a

^a AASHTO YDKY Köprü Şartnamesi, 1. Basıma göre dayanım katsayıları

4.4.3 Kabul edilebilir minimum çivi başı servis yükü kontrolü (Servis Yükü Tasarımı) / Minimum çivi başı kuvveti kontrolü (Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı)

Her iki yöntemle de çivi başı servis yükleri aynı şekilde, (4.9) ve (4.10) formülleri ile hesaplanır. Ampirik denklemlerle bulunan tahmini çivi başı servis yükü değeri servis yükü tasarımı yönteminde, hesaplanan kabul edilebilir minimum çivi başı yüküyle; yük ve dayanım katsayıları yönteminde ise hesaplanan minimum çivi başı kuvveti değeriyle karşılaştırılır.

Bu kontrol sismik yükleme durumunda sismik durumlar için servis yükü bilgisi olmadığından ve bu yükleme durumu altındaki kalıcı duvarların düşük performansı kanıtlanmadığından uygulanmaz.

Servis Yükü Tasarımı yönteminde, deneme kaplama tasarımı için bir minimum kabul edilebilir çivi başı yükü kontrolü yapılır. Bu deneysel kontrol hesaplanan kabul edilebilir çivi başı yükünün zemin yapı etkileşiminin bir sonucu olarak gelişebilen tahmin edilen çivi başı yükünü geçtiğinin sağlaması olarak yapılır. Şekil 4.1 in referansıya, gelişen çivi başı servis yükü aşağıdaki ampirik denklemle tahmin edilebilir.

$$t_F = F_F \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H \cdot S_H \cdot S_V \quad (4.9)$$

Tasarımcıda benzer zeminlerdeki duvar arazi incelemeleri sonuçları olmasa da çivi başı servis katsayısının, F_F , tasarıma adapte edilerek 0,5 alınması önerilir.

Basit konfigürasyonlar için (uniform zemin durumu, sürşarjsız durum vb.) aktif toprak basıncı katsayısı K_A zemin mukavemetinin kohezyon bileşenini ihmal ederek direkt olarak yayımlanmış formüllerden ve tasarım kartlarından bulunabilir. Literatürde yayımlananlar dışındaki daha karmaşık konfigürasyonlarda (çok tabakalı zemin, karmaşık duvar geometrileri ve sürşarj yükü dağılımları vb.) çivi başı servis yükü şu şekilde hesaplanabilir:

$$t_F = 2F_F.P_A.S_H.S_V/H \quad (4.10)$$

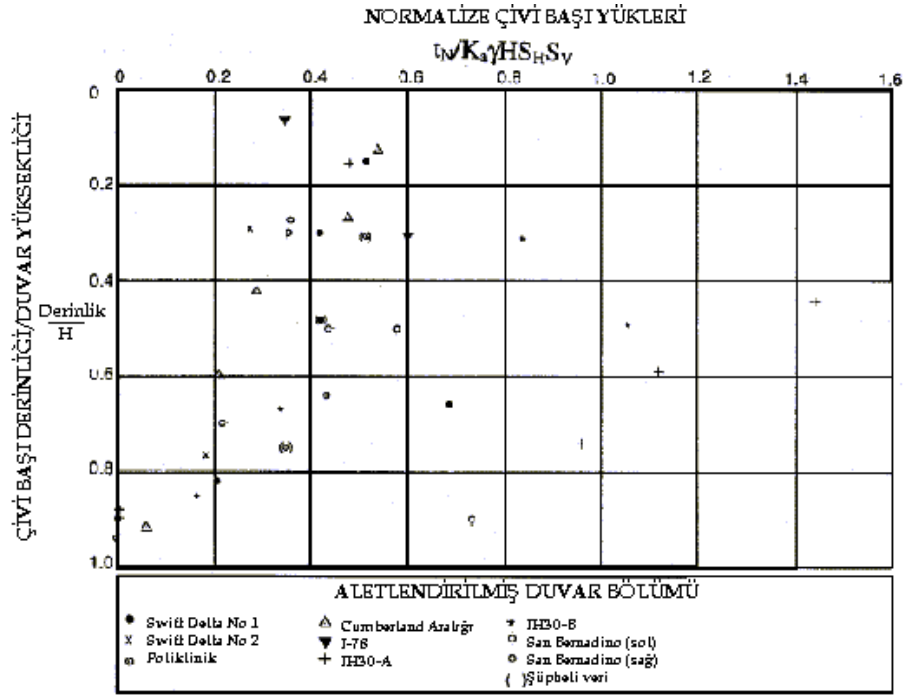
P_A aktif yükü, bir Coulomb tipi kayma yüzeyi (şev stabilitesi) hesaplaması kullanılarak belirlenebilir. Eğer hesaplanan kabul edilebilir çivi başı yükü ampirik olarak tahmin edilen çivi başı servis yükünden küçükse deneme kaplama / bağlantı tasarımı 2. adım tekrarlanarak modifiye edilmelidir.

Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı yönteminde ise, deneme kaplama tasarımı için bir minimum tasarım çivi başı kuvveti kontrolü yapılır. Bu deneysel kontrol hesaplanan tasarım çivi başı kuvvetinin zemin yapı etkileşiminin bir sonucu olarak gelişebilen tahmin edilen (katsayılı) çivi başı servis yükünü geçtiğinin sağlaması olarak yapılır. Çivi başı servis yükü aktif yatay toprak basıncı yükleri için, AASHTO'ya göre 1,5 katsayısıyla çarpılır (bkz. tablo 4.6). Şekil 2.7'nin referansıylar, gelişen çivi başı servis yükü aşağıdaki ampirik denklemlerle tahmin edilebilir.

Tasarımcı da benzer zeminlerde ki duvar arazi incelemeleri sonuçları olmasa da çivi başı servis katsayısının, F_F , tasarıma adapte edilerek 0,5 alınması önerilir.

Basit konfigürasyonlar için (uniform zemin durumu, sürşarjsız durum vb.) aktif toprak basıncı katsayısı K_A zemin mukavemetinin kohezyon bileşenini ihmal ederek direkt olarak yayımlanan formüllerden ve dizayn kartlarından bulunabilir. Literatürde yayımlananlar dışındaki daha karmaşık konfigürasyonlarda (çok tabakalı zemin, karmaşık duvar geometrileri ve sürşarj yükü dağılımları vb.) çivi başı servis yükü şu şekilde hesaplanabilir:

P_A aktif yükü, bir Coulomb tipi kayma yüzeyi (şev stabilitesi) hesaplaması kullanılarak belirlenebilir. Eğer tasarım çivi başı kuvveti katsayılandırılmış olarak tahmin edilen çivi başı servis yükünden küçükse deneme kaplama / bağlantı tasarımı 2. adım tekrarlanarak modifiye edilmelidir. (Byrne ve diğ., 1998)



Şekil 4.1 Ölçülen çivi başı yüklerinin normalizasyonu (Byrne ve diğ., 1998)

4.4.4 Kabul edilebilir çivi yükü destek diyagramlarının belirlenmesi (Servis Yükü Tasarımı) / Tasarım çivi kuvveti destek diyagramlarının belirlenmesi (Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı)

Servis yükü tasarımı yönteminde kabul edilebilir çivi yükü, yük ve dayanım katsayıları yönteminde ise tasarım çivi mukavemetleri her bir çivi için, çivi uzunluğu boyunca birer fonksiyon olarak belirlenir (Byrne ve diğ., 1998).

Servis Yükü Tasarımında, her bir çivi için kabul edilebilir çivi yükleri, çivi uzunluğu boyunca bir fonksiyon olarak tanımlanır. Şekil 4.2 de görüldüğü üzere kabul edilebilir çivi yükü, çivi uzunluğu boyunca bulunulan noktaya göre değişecektir ve kabul edilebilir çivi başı yüküne, kabul edilebilir çivi tendon yüküne ve kabul edilebilir çivi-enjeksiyon sıyrılma dayanımına bağlıdır.

Kabul edilebilir çivi başı yükü 2. adımda belirlenmiştir.

Kabul edilebilir çivi tendon yükü tablo 4.6’de gösterildiği gibi, (AASHTO, 1992) çivi tendonu akma mukavemetinin çivi tendonu mukavemet katsayısıyla çarpımı olarak alınır. No.19 çubuğu (Standart çubuk boyutunda No.6 ya denk geliyor) zemin çivisinde kullanılan minimum çubuk boyutu olarak önerilmiştir. Ama No.25’den küçük çivi boyutlarında yapım aşamasında düşük rijitlik nedeniyle uzun çivi boyları

kullanılması durumu problemlere neden olabilir. Tablo 4.7’de çubuk boyutları ve isimlendirilmesi gösterilmiştir.

Kabul edilebilir çivi sıyrılma dayanımı, kabul edilebilir çivi yükünün çivi uzunluğu boyunca değişim oranını belirleyecektir ve çivi sıyrılma dayanımı katsayısının (bkz. Tablo 4.6) nihai zemin-enjeksiyon sıyrılması dayanımı ile çarpılmış hali olarak alınır. Nihai sıyrılma dayanımı lokal deneyimlerle, yayımlanmış bilgilerle veya arazi deneyleriyle belirlenebilir ve genellikle birim çivi uzunluğuna düşen kuvvet terimiyle gösterilir.

Tablo 4.6 ün birinci kolonundaki çivi mukavemet katsayıları I. Grup yük kombinasyonuna uygulanır. Diğer yük kombinasyonu grupları için tablo 4.6 deki I. Grup çivi yük katsayıları tablo 4.1 deki son kolonun katsayılarının yüzdesine göre arttırılır. Daha önceden belirtildiği üzere, zemin çivili duvar uygulamaları için yük kombinasyon grupları I, IV, ve VII’nin çoğu tasarım koşulları için kontrolü benzerdir. Bu yüzden yük kombinasyon grupları IV ve VII için çivi yük katsayıları ayrıca tablo 4.6 de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Mukavemet ve güvenlik katsayıları, SYT (Byrne ve diğ., 1998)

Eleman	Yük Katsayısı (Grup I) α	Yük Katsayısı (Grup IV)	Yük Katsayısı (Grup VII) (Sismik)
Çivi Başı Kuvveti	$\alpha_F = \text{Tablo 4.4}$	$\alpha_F = \text{Tablo 4.4}$	$\alpha_F = \text{Tablo 4.4}$
Çivi Tendonu Çekme Kuvveti	$\alpha_N = 0,55$	$1.25(0.67)=0,83$	$1.33(0.55)=0,73$
Zemin-Enjeksiyon Sıyrılma Dayanımı	$\alpha_Q = 0,50$	$1.25(0.50)=0,63$	$1.33(0.50)=0,67$
Zemin	$F = 1.35 (1.50^*)$	$1.08 (1.20^*)$	$1.01 (1.13^*)$
Zemin-Geçici Yapım Durumu †	$F = 1.20 (1.35^*)$	Mevcut değil	Mevcut Değil

Notlar:

Kabul Edilebilir Çivi Başı Yüğü (T_F) = α_F (Nominal Çivi Başı Kuvveti) = $\alpha_F T_F$

Kabul Edilebilir Çivi Tendon Yüğü (T_N) = α_N (Tendon Akma Kuvveti) = $\alpha_N T_{NN}$

Kabul Edilebilir Sıyrılma Dayanımı (Q) = α_Q (Nihai Sıyrılma Dayanımı) = $\alpha_Q T_U$

Gerekli Minimum Global Zemin Güvenlik Sayısı “F” (Grup I) = 1.35 (=1.50 kritik yapılar için)

Gerekli Minimum Global Zemin Güvenlik Sayısı “F” (Grup IV) = $1.35 / 1.25 = 1.08$ (=1.20 kritik yapılar için)

Gerekli Minimum Global Zemin Güvenlik Sayısı “F” (Grup VII) = $1.35 / 1.33 = 1.01$ (=1.13 kritik yapılar için)

Gerekli Minimum Global Zemin Güvenlik Sayısı “F” – Geçici İnşaat Durumu = 1.20 (=1.35 kritik yapılar için)

* Kritik Yapılar için Zemin Güvenlik Katsayıları

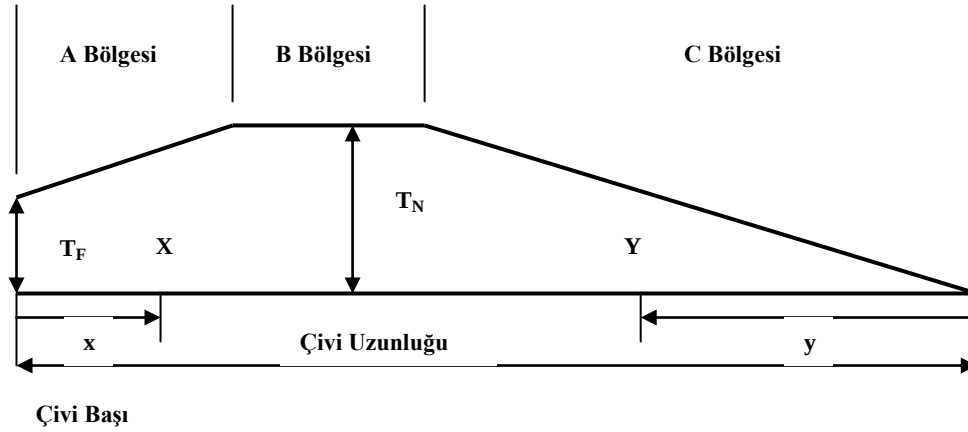
† Çivi yerleştirilmesinden önceki mevcut yarma kazısını takip eden geçici durumu.

Tablo 4.7 Çubuk boyutları (İngiliz ve Soft Metrik *) (Byrne ve diğ., 1998)

Çubuk Numarası	Nominal Çap, inch [mm]	Nominal Alan, inch ² [mm ²]
3 [10]	0.375 [9.6]	0.11 [71]
4 [13]	0.500 [12.7]	0.20 [129]
5 [16]	0.625 [15.9]	0.31 [199]
6 [19]	0.750 [19.1]	0.44 [284]
7 [22]	0.875 [22.2]	0.60 [387]
8 [25]	1.000 [25.4]	0.79 [510]
9 [29]	1.128 [28.7]	1.00 [645]
10 [32]	1.270 [32.3]	1.27 [819]
11 [36]	1.410 [35.8]	1.56 [1006]
14 [43]	1.693 [43.0]	2.25 [1452]
18 [57]	2.257 [57.3]	4.00 [2581]

- Soft Metrik Çubuk Numarası, nominal çaplar ve alanlar parantez içersindeki değerlerdir. Çubuk numaraları, nominal çubuk çapının milimetre cinsinden yaklaşık değeridir.

Yük ve Dayanım Katsayıları yönteminde de, her bir çivi için tasarım çivi kuvvetleri çivi uzunluğu boyunca bir fonksiyon olarak tanımlanır. Şekil 4.2 de görüldüğü üzere kabul edilebilir tasarım çivi kuvveti, çivi uzunluğu boyunca bulunulan noktaya göre değişecektir ve tasarım çivi başı kuvvetine, tasarım çivi tendon kuvvetine ve tasarım çivi-enjeksiyon sıyrılma dayanımına bağlıdır.



A Bölgesi'nde X noktasındaki çivi desteği = $T_F + Q_x$

B Bölgesi'ndeki desteği = $T_F + Q_x$

C Bölgesi'nde Y noktasındaki çivi desteği = Q_y

T_F = Çivi başı kaplama bağlantısı kuvveti = Kabul Edilebilir Çivi Başı Yüğü (SYT)
= Tasarım Çivi Başı Kuvveti (YDKT)

T_N = Çivi tendon çekme kuvveti = Kabul Edilebilir Çivi Tendon Yüğü (SYT)
= Tasarım Çivi Tendon Kuvveti (YDKT)

Q = Çivi-Sıyrılma dayanımı = Kabul Edilebilir Sıyrılma Dayanımı (SYT)
= Tasarım Sıyrılma Dayanımı (YDKT)

Şekil 4.2 Çivi destek diyagramı (Byrne ve diğ., 1998)

Tasarım çivi başı kuvveti 2. adımda tablo 4.5’de gösterilen YDKT dayanım katsayıları kullanılarak belirlenmiştir.

Tasarım çivi tendon kuvveti, tendon akma kuvvetiyle tablo 4.8’de gösterilen dayanım katsayısının çarpımı olarak alınır (AASHTO, 1994).

Tablo 4.8 Dayanım katsayıları– YDKT (Byrne ve diğ., 1998)

Eleman	Dayanım Katsayısı (Yük Limit Durumları) Φ	Dayanım Katsayısı (Ekstrem Limit Durumları) (Sismik)
Çivi Başı Kuvveti	$\Phi_F = \text{Bkz. Tablo 4.5}$	Bkz. Tablo 4.5
Çivi Tendon Çekme Kuvveti	$\Phi_N = 0,90$	1,0
Zemin-Enjeksiyon Sıyırılma Dayanımı	$\Phi_Q = 0,70$	0,8
Zemin Kohezyonu	$\Phi_C = 0,90 (0,90^*)$	1,0 (1,0 [*])

Eleman	Dayanım Katsayısı (Yük Limit Durumları) Φ	Dayanım Katsayısı (Ekstrem Limit Durumları) (Sismik)
Zemin Sürtünmesi	$\Phi_\phi = 0,75 (0,65^*)$	1,0 (0,9 [*])

Eleman	Dayanım Katsayısı (Yük Limit Durumları) Φ	Dayanım Katsayısı (Ekstrem Limit Durumları) (Sismik)
Zemin Kohezyonu – Geçici Yapım Durumu†	$\Phi_C = 1,0 (1,0^*)$	Mevcut Değil
Zemin Sürtünmesi - Geçici Yapım Durumu†	$\Phi_\phi = 0,85 (0,75^*)$	Mevcut Değil

* “Kritik” yapılar için zemin yükleri dayanım katsayıları

Notlar:

Tasarım Çivi Başı Kuvveti (T_F) = Φ_F (Nominal Çivi Başı Kuvveti) = $\Phi_F T_{FN}$
Tasarım Çivi Tendon Kuvveti (T_N) = Φ_N (Tendon Akma Kuvveti) = $\Phi_N T_{NN}$
Tasarım Sıyırılma Dayanımı (Q) = Φ_Q (Nihai Sıyırılma Dayanımı) = $\Phi_Q Q_U$
Tasarım Zemin Kohezyonu (c) = Φ_C (Nihai Zemin Kohezyonu) = $\Phi_C c_U$
Tasarım Zemin Sürtünme Açısı (ϕ) = $\tan^{-1}(\Phi_C [\tan \phi_u])$

YDKT’ye göre katsayılarla azaltılmış dayanımlar katsayılarla arttırılmış yüklere eşit ya da arttırılmış yüklerden büyük olması gerekmektedir(dayanım/yük ≥ 1).

† Çivi yerleştirilmesinden önceki mevcut yarma kazısını takip eden geçici durumu. No.19 çubuğu (Standart çubuk boyutunda No.6 ya denk geliyor) zemin çivisinde kullanılan minimum çubuk boyutu olarak önerilmiştir. Ama No.25’den küçük çivi boyutlarında yapım aşamasında düşük rijitlik nedeniyle uzun çivi boyları kullanılması durumu

problemlere neden olabilir. Tablo 4.7’de çubuk boyutları ve isimlendirilmesi gösterilmiştir.

Tasarım çivi sıyrılma dayanımı, tasarım çivi kuvvetinin çivi uzunluğu boyunca değişim oranını belirleyecektir ve nihai zemin-enjeksiyon sıyrılması dayanımının bir dayanım katsayısıyla (bkz. Tablo 4.8) çarpımı olarak alınır. Nihai sıyrılma dayanımı yerel deneyimlerle, yayımlanmış bilgilerle veya arazi deneyleriyle belirlenebilir ve genellikle birim çivi uzunluğuna düşen kuvvet terimiyle gösterilir.

Tablo 4.8’de YDKT’de, tablo 4.2’deki Limit Durum I ve IV ile Ekstrem Limit Durum I (sismik yükleme) için, önerilen dayanım katsayıları özetlenmiştir. (Byrne ve diğ., 1998)

4.4.5 Deneme çivi aralıklarının ve boylarının seçilmesi

Deneme çivi düzeni için çivi aralıkları ve boylarının seçiminde kullanılmak üzere Byrne ve diğ. (1998) ve Lazarte ve diğ. (2003) tarafından yapılan tasarım önerileri aşağıda verilmiştir.

Lazarte ve diğ. (2003) tarafından önerilen servis yükü tasarımını baz alan deneme çivi düzenleri uniform veya değişen boylarda zemin çivileriyle oluşturulabilir.

Duvar deformasyonları ile ilgili katı sınırlamaların olmaması durumunda uniform boyda bir çivi dağılımı seçilebilir. Çivilerin, yapım aşamasında ve kalite kontrolünde kolaylık sağlaması açısından uniform boyda yerleştirilmesi oldukça yaygındır. Çivilerin uniform olarak yerleştirilmesi ayrıca kullanılan toplam çivi uzunluğunun daha az olmasını sağlar. Bu çivi yapısı genelde yüksek bir kayma güvenlik sayısı değeri verir.

Duvar deformasyonlarının kontrol edilmesi gereken durumlarda değişen çivi uzunluklarına sahip çivi düzeni kullanılabilir. Zemin çivili duvar tasarımında farklı uzunluklarda çiviler kullanılması durumunda uniform dağılımına göre sistemin global analizdeki dengesi ve deformasyon dağılımı değişecektir. Zemin çivili duvarlarda yapılan arazi ölçümleri, duvar yüksekliğinin üçte ikilik üst kısmındaki çivi uzunluklarının alt kısımdan büyük olması durumunda duvarın şekil değiştirmelerinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Duvar tepe noktası yakınlarına ilave donatı yerleştirilmesi tepe noktasına yakın kritik bölgelerdeki duvar hareketlerine karşı daha yüksek dayanım sağlayacaktır. Uniform olmayan çivi

düzeninde alt çivilerin daha kısa olması, kayma stabilitesi güvenlik sayısının daha düşük olmasını sağlar.

Şekil 4.3'de eşit yükseklikteki duvarlar için toplam tasarım çivi boyları 1.35 güvenlik sayısını (servis yükü tasarımı kullanılarak) sağlayacak şekilde farklı çivi düzeni tasarımları gösterilmiştir. Hesaplanan en büyük toplam çivi boyu değeri (Şekil 4.3d'ye karşı gelen), uniform düzen için gerekenden (Şekil 4.3a) %12 daha fazladır. Bu tasarım örneklerinde kıyaslama açısından, güvenlik sayısının derinlikle çivi dağılımına karşı çok hassas olmadığını göstermiştir. Buna karşın, kesin çivi uzunluğu dağılımları yakın güvenlik sayılarına sahip olmalarına rağmen diğer dağılımlara göre daha az duvar deformasyon ile sonuçlanabilir. Ek olarak, bazı çivi uzunluğu dağılımlarında duvarın alt kısmında çok kısa çivi uzunlukları bulunabilir ve bu istenmeyen durum göçmeye sebebiyet verebilir.

Zemin çivili duvarların performansları, üst sıralardaki çivilerin çok kısa olduğu durumlarda daha büyük deformasyonların gözlemlendiğini göstermektedir. Zemin çivili duvarlardaki deformasyonlarda, yapının üst kısımlarındaki çivi uzunluklarının stabilite analizi için gerekli olan uzunluktan fazla olması durumda önemli bir düşüş olabilmektedir. Genel olarak, zemin çivili bir duvarın global güvenlik sayısı arttıkça duvar deformasyonları azalmaktadır. Bu yüzden diğer tüm değişkenler aynıken yapılan analizde şekil 4.3c ve 4.3d'de görülen çivi dağılımlarında benzer sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre özellikle duvar tepe noktası yakınlarında, daha küçük duvar deformasyon değerleri elde edilmiştir.

Duvar tabanında göreceli olarak daha fazla kayma stabilitesi sağlayan kohezyonsuz sıkı zeminler bulunan duvarlarda, zemin çivileri duvarın üst üçte ikilik kısmında uniform olarak, alt kısımda ise en küçük değer $0.5H$ 'den (H , duvar yüksekliğini vermek üzere) fazla olmak üzere başarılı bir şekilde yerleştirilir. Pratikte, alt sıralardaki çivi uzunlukları asla $0.5H$ 'den kısa olmamalıdır, çünkü $0.5H$ 'den kısa çivi uzunlukları kayma stabilitesi şartlarını sağlamakta yeterli olmayacaktır. Tüm durumlarda, özellikle de alt kısımlarda zemin çivisi boylarının azaldığı durumlarda kaymayı dikkate alan stabilite analizlerinin yapılması detaylı tasarımın bir parçası olarak gerekmektedir.

Genellikle, değişen çivi boyları daha komplike bir yerleşimle sonuçlanır ve daha fazla çivi malzemesi gerektirir. Bununla beraber, çoğu zemin çivisi projesinde

performans kriterinin baz alındığı belirtilmiştir, müteahhitler deformasyonları azaltmak için üst sıralarda daha uzun çiviler kullanmayı tercih edebilirler. Proje şartnameleri, kamulaştırma alanı sınırlamaları, yeraltı şebekeleri veya altyapının bulunması ve özel deformasyon kriterleri şartlarını sağlamalıdır.

Bu bölümde yukarıda tartışılan durumlar baz alınarak zemin çivisi uzunlukları ve dağılımıyla ilgili olarak Lazarte ve diğ. (2003), aşağıdaki önerilerde bulunmuşlardır:

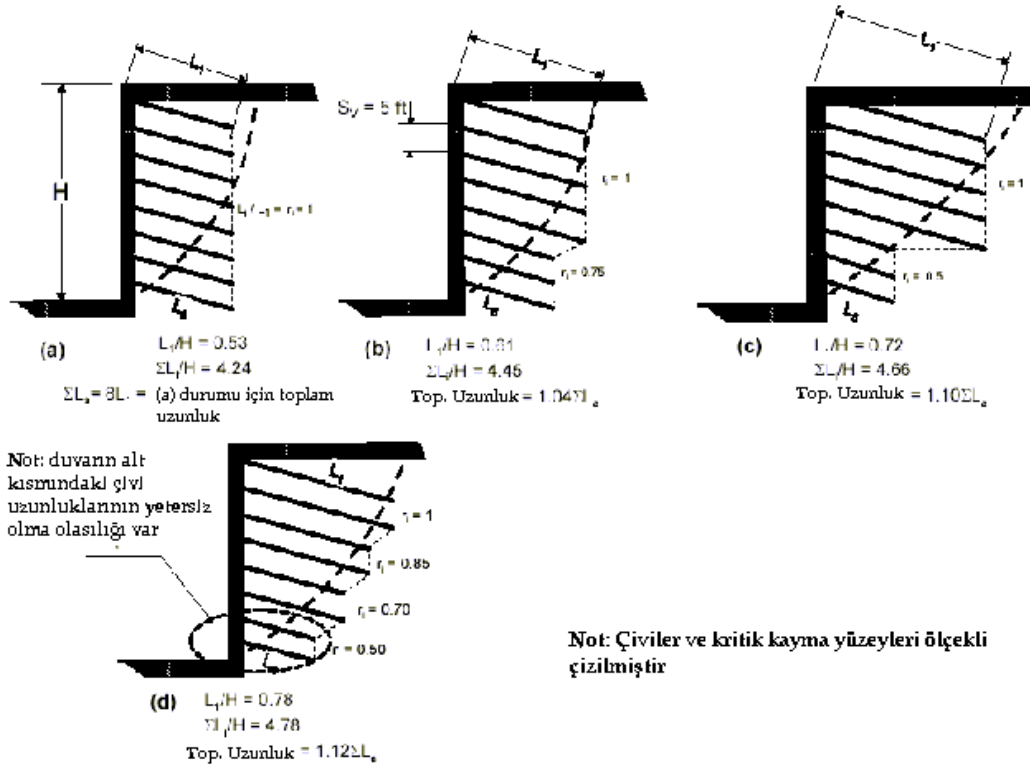
- Mümkün olduğunca uniform uzunlukta bir çivi dağılımı tercih edilmelidir.
- Duvarın üst bölümündeki deformasyonu düşürmek için amaçlanan güvenlik sayısı için gereken miktardan daha uzun çiviler kullanılmalıdır.
- Duvarın üst bölümünde kısa çivilerin kullanılmasından kaçınılmalıdır.
- Duvarın alt bölümünde çok kısa çivilerin kullanılmasından kaçınılmalıdır. Alt sıralara yerleştirilen kısa çivilerin kayma stabilitesi şartlarını sağlayıp sağlamadığı belirlenmelidir. Tabandaki kısa çiviler $0.5H$ 'den kısa olmamalıdır.
- Çok farklı koşullardaki zemin tabakalarıyla karşılaşılması durumunda uniform olmayan çivi uzunluğu dağılımı kullanılabilir.

Fizibilite değerlendirmeleri için, ön tasarımda çivi boyları $0.7H$ olarak alınabilir. Eğer büyük bir sürşarj yükü varsa veya duvar yüksekliği fazlaysa (10 m 'den büyük) çivi boyları 0.7 'den büyük olabilir.

Byrne ve diğ. (1998) tarafından önerilen çivi yerleşimi her iki tasarım yöntemi için şu şekildedir:

Mukavemetin limit durum şartlarını sağlaması, tasarımın uygun olmasında yeterli olmayacaktır. Uygun bir çivi yerleşim düzeni için ilave sınırlamaların sağlanması gerekir. Bu yüzden, aşağıda belirtilen çivi boyu tasarım analizi ampirik sınırlamalarının, limit denge tasarımı hesaplarında kullanılması önerilmiştir.

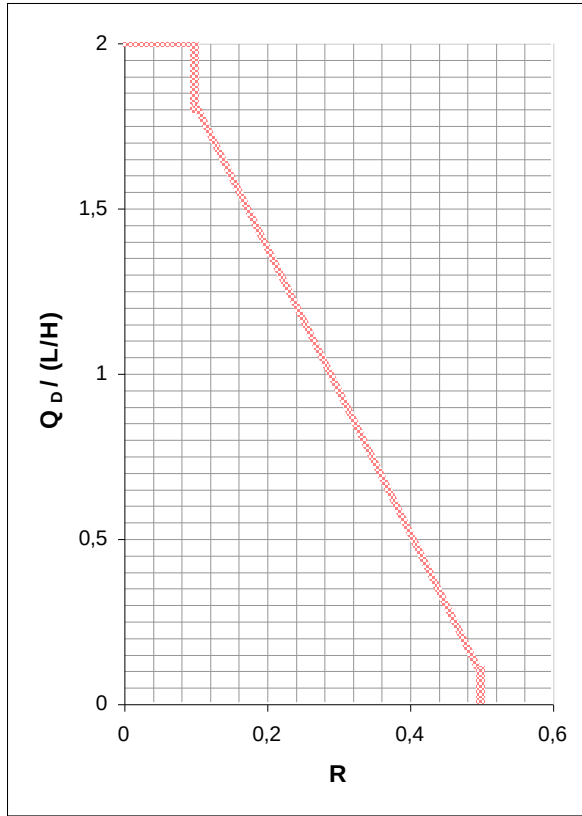
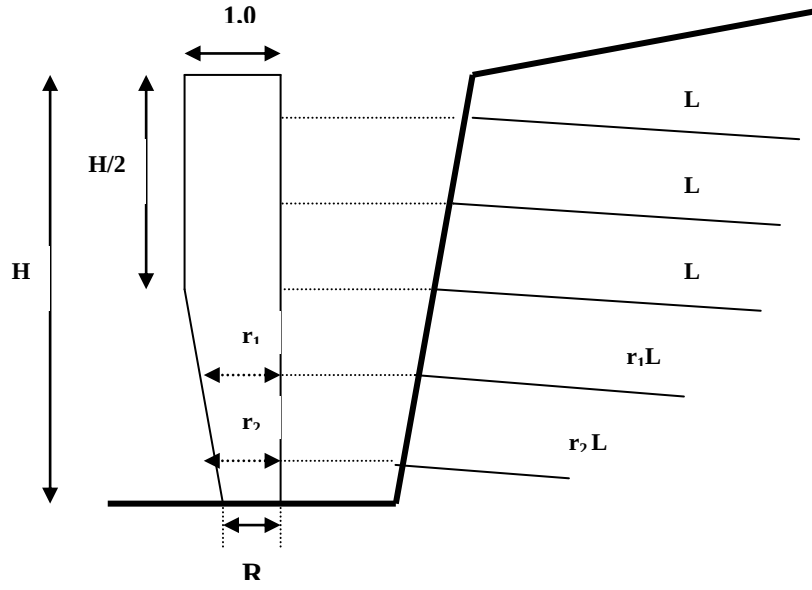
- (a) Baş kısımları duvar yüksekliğinin üst yarısında bulunan çivilerin boyları uniform olmalıdır.
- (b) Baş kısımları duvar yüksekliğinin alt yarısında bulunan çiviler şekil 4.4 de verilen şekilde azaltılan çivi uzunluklarına sahiptir.



Birim Hacim Ağırlık	γ	120 pcf
Zemin Sürtünme Açısı	ϕ'	35 °
Kohezyon	c'	100 psf
Delik Çapı	D_{DH}	4 inch
Nihai Bağ Kuvveti	q_u	20 psi
Sıyırılma Güvenlik Sayısı	FS_P	2,0
Global Güvenlik Sayısı	FS_G	1,35

Şekil 4.3 Farklı çivi uzunluğu dağılımlarının etkisi (Lazarte ve diğ., 2003)

Bu tasarım önerilerinin amacı, duvarın üst kısmında kurulacak yeterli (uzunluk ve mukavemetçe) çivi donatısı sağlamaktır. Çivi yüklerinin ve duvar hareketlerinin ölçüldüğü zemin çivili duvar görüntülenmesi ve enstrümantasyonu işlemleri, zemin çivili duvarın yukardan aşağıya doğru olan yapım yönteminin sonucu olarak, duvarın üst kısmındaki çivilerin alt kısımdakilere göre gelişen direnç kuvveti ve deplasmanın kontrolünde önemli miktarda önde olduğunu göstermiştir. Eğer hesaplanan limit durum kuvveti alt çivilere düşen payı aşarsa, bu durumda duvarın üst kısmında daha kısa çivilerin ve/veya küçük tendon boyutlarının bulunmasının etkisi olabilir, bu da servis performansını düşürdüğü için istenmez.



Not: “r” değeri duvar orta yüksekliğinde 1.0 değeri ile duvarın tabanında “R” değeri arasında lineer interpolasyon ile saptanmaktadır.

L = Maksimum Çivi Uzunluğu

H = Duvar Yüksekliği

Q_d = Boyutsuz Sıyırılma Dayanımı

$= \alpha_Q Q_U / (\gamma S_H S_V)$ (SYT)

$= \Phi_Q Q_U / (\Gamma_w \gamma S_H S_V)$ (YDKT)

α_Q = Sıyırılma dayanımı mukavemet katsayısı (SYT)

Φ_Q = Sıyırılma dayanımı katsayısı (YDKT)

Q_U = Nihai sıyırılma dayanımı

γ = Birim hacim ağırlık

S_H = Yatay çivi aralığı

S_V = Düşey çivi aralığı

Γ_w = Zemin ağırlık yük katsayısı (YDKT)

Şekil 4.4 Çivi uzunluğu dağılımları (Byrne ve diğ., 1998)

Yukarıda verilen tasarım hesaplamalarında kabul edilen çivi boyu dağılımı önerisinin yerleştirilen çivi dağılımının tamamen bu örneğe karşı gelmesi gerektiğini anlamına gelmediğine dikkat edilmelidir. Çivilerin, yapım aşamasında kolaylık sağlaması açısından uniform boyda yerleştirilmesi oldukça yaygındır. Dış stabilite şartları

sağlandığında (bkz. 8. adım) duvarın alt kısmına daha kısa çivilerin yerleştirilmesi mümkün olabilir.

4.4.6 Nihai zemin mukavemetlerinin (Servis Yüğü Tasarımı) / Tasarım zemin mukavemetlerinin (Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı) belirlenmesi

Analiz için, Servis Yüğü yönteminde nihai zemin mukavemetleri; Yük ve Dayanım Katsayıları yönteminde ise tasarım zemin mukavemetleri belirlenir. Uygun doğruluktaki zemin mukavemet karakteristikleri tasarım aşamasının önemli bir parçasıdır ve tecrübeli kalifiye geoteknik personeli tarafından yapılmalıdır.

Tasarım zemin kuvveti, nihai zemin kuvveti değeri tablo 4.8’de verilen dayanım katsayıları ile çarpımı sonucunda elde edilmektedir. (Byrne ve diğ., 1998)

4.4.7 Güvenlik sayısının hesaplanması (Servis Yüğü Tasarımı) / Dayanım/yük oranının hesaplanması (Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı) :

Limit denge güvenlik katsayısı her bir potansiyel kayma yüzeyi için, deneme düzenindeki zemin çivileri tarafından sağlanan ilave stabilizasyon kuvvetleri de dikkate alınarak hesaplanır. Kritik olmayan yapılar için hesaplanan minimum global zemin güvenlik katsayısının 1,35 olması önerilir, kabul edilebilir çivi yükleri ve nihai zemin mukavemetleri de hesaba katılır. 1,35’lik global zemin güvenlik katsayısı tablo 4.1’deki 1. Grup yük kombinasyonuna uygulanır. Diğer yük kombinasyonu grupları için, tablo 4.6’daki global zemin güvenlik katsayıları tablo 4.1’in son kolonundaki yüzde katsayılarına göre azaltılır. Tablo 4.6 IV. ve VII.(sismik yükleme) Grup yük kombinasyonları için önerilen global zemin güvenlik katsayılarının sırasıyla 1,08 ve 1,01 olduğunu göstermektedir. Tablo 4.6 ayrıca bu gereken minimum güvenlik katsayılarının zemin çivili duvarın kritik bir yapıyı (köprü ayağı vb.) desteklemesi durumunda arttırılması gerektiğini belirtmektedir.

Ayrıca zemin çivili duvarın yapım aşamasında da stabilitesinin kontrolü gerekecektir. Bu değerlendirmede yapım aşamasındaki kazı yapılırken bir önceki aşamada kurulan çivinin uyguladığı kuvvetler gibi geçici durumlar dikkate alınmalıdır. Bu şartlar altında, benzer geçici doğal durumlar nedeniyle uygulanan çivi mukavemet katsayılarının tablo 4.6’da gösterilen şekilde aynen uygulanması, fakat gerekli global zemin güvenlik katsayısının 1,2 (kritik yapılarda 1,35) değerine düşürülerek uygulanması önerilmektedir. Genelde çoğu uygulamalarda ve tipik

yapım koşullarında, yapım stabilite şartları tasarım da kontrol edilmeyecektir. Ama, duvara komşu bulunan önemli büyüklükteki sürşarj yükü gibi belirli durumlarda yapım aşaması daha kritik olabilir.

Yük ve Dayanım Katsayıları yönteminde de, limit denge dayanım/yük oranı her bir potansiyel kayma yüzeyi için, deneme düzenindeki zemin çivileri tarafından sağlanan ilave stabilizasyon kuvvetleri de dikkate alınarak hesaplanır. YDKT için, tüm yükler katsayılarla artırılır ve zemin kayma mukavemeti dahil olmak üzere tüm dayanım kuvvetleri katsayılarla azaltılır. Azaltılmış dayanım değerlerinin arttırılmış yük değerlerine eşit olmasını veya bu değerleri aşmasını sağlamak için tasarım çivi mukavemetleri ve tasarım zemin mukavemetleri (bkz. Tablo 4.8) ile hesaplanan en düşük global dayanım/yük oranının 1.0 olması gerekmektedir. Tablo 4.8, tavsiye edilen zemin mukavemeti dayanım katsayılarının zemin çivili duvarın kritik yapıları desteklemesi durumunda azaltıldığını göstermektedir.

Ayrıca zemin çivili duvarın yapım aşamasındaki stabilitesinin de kontrolü gerekecektir. Özellikle, kazının yapıldığı fakat çivilerin henüz yerleştirilmediği geçici yapım aşaması göz önüne bulundurulmalıdır. Bu durumda, bu tip koşulların geçici olması nedeniyle çivi dayanım katsayılarının tablo 4.8 de gösterilenlerle aynı alınıp uygulanması önerilmektedir, fakat zemin mukavemeti dayanım katsayılarının tablo 4.8 de görüldüğü gibi zemin sürtünmesi için 0.85 (kritik yapılarda 0.75) ve zemin kohezyonu için 1.0 değerlerine artırılmalıdır. Genellikle çoğu uygulamalarda ve tipik yapım koşullarında, yapım stabilite şartları tasarımda kontrol edilmeyecektir. Ancak, yapım sırasında duvara bitişik olarak bulunan önemli büyüklükteki sürşarj yükü gibi belirli durumlarda yapım aşaması daha kritik olabilir.

4.4.8 Dış stabilite kontrolü

Potansiyel dış göçme modları için stabilite analizleri uygulanır. Kayma yüzeyi yöntemiyle dikkate alınması gereken potansiyel dış göçme modları zemin çivili kütlenin dış toptan göçmesini ve yanal yüklenmiş zemin çivili ağırlık duvarının altındaki temel taşıma gücü göçmesini içerir. Göçme modlarının analiz metotları, ağırlık istinat yapıları için kullanılanlarla aynıdır.

Servis yükü tasarımında, şev toptan göçme analizi için gereken güvenlik katsayısı Grup I yüklemesi için 1,3 'tür (eğer köprü ayakları zemin çivili duvarla destekleniyorsa 1,5'dir). Yük ve dayanım katsayıları tasarımında ise şev toptan

stabilitesinde, limit durum yüklemesi (AASHTO, 1992) için nihai zemin mukavemetlerine uygulanan uygun dayanım katsayısı 0.85'dir. Şev toptan göçme stabilite kontrolü yapılırken, dikkate alınan potansiyel kayma yüzeyinin duvar tabanının altından ve dış arka şev veya duvar topuğunun önünden geçtiği verilmelidir. Bu durum eğer yeraltı su seviyesi duvar tabanına yakınsa daha kritik olacaktır. Bu nedenle, eğer stabilite analizlerinin onayladığı derin göçme modları kontrol edilmeyecekse, duvarın alt kısmındaki çivi boylarının kısaltılması önerilmez.

Taşıma gücünün tasarımda nadiren kontrol edilmesine rağmen, global stabiliteden emin olmak için kaba bir taşıma gücü kontrolü yapılmalıdır. Genelde, taşıma gücü zemin çivili kütlenin genişliğine eşit derinliklerde kohezyonlu zeminlerin olması durumunda kontrol edilmelidir. Aşağıdaki (4.11), (4.12) ve (4.13) denklemleri taşıma gücü problemi veya tabanın kalkması probleminin olup olmadığını belirlemek için kullanılmalıdır.

- Temel altındaki kohezyonlu zemin derinliği zemin çivili blok genişliğinden çok çok küçükse:

$$FS = \frac{N_c C_u}{H(\gamma - C_u / y)} \leq 2.5 \quad (4.11)$$

- Temel altındaki kohezyonlu zemin derinliği zemin çivili blok genişliğine eşitse:

$$FS = \frac{5,14 C_u}{\gamma H} \leq 2.5 \quad (4.12)$$

- Temel altındaki kohezyonlu zemin derinliği zemin çivili blok genişliğinden büyükse:

$$FS = \frac{5,14 C_u}{H(\gamma - C_u / y)} \leq 2.5 \quad (4.13)$$

H : kazı yüksekliği

y : temel altındaki kohezyonlu zemin derinliği

c_u : nihai kohezyon

γ : birim hacim ağırlık

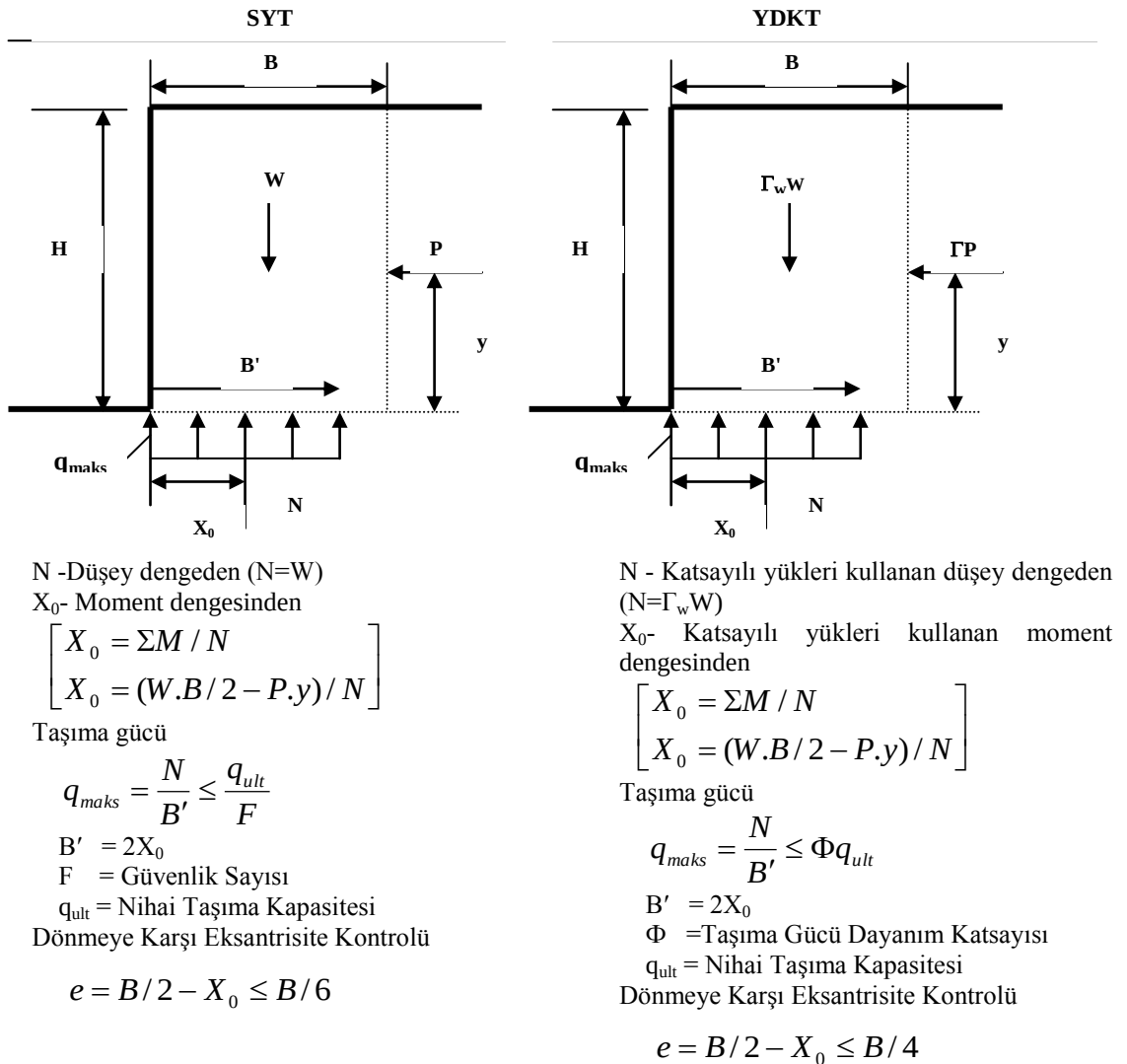
N_c : taşıma gücü katsayısı

Bu analizlerden elde edilen güvenlik katsayıları 2,5 'den azsa şekil 4.5'deki gibi daha titiz bir taşıma gücü analizi yapılmalıdır.

Servis yükü tasarımında, I. Grup yük kombinasyonu için taşıma gücü göçmesine karşı güvenlik katsayısının minimum 2,5 değerini alması önerilir. Diğer yük kombinasyonu gruplarında hassas analiz için gerekli minimum güvenlik katsayısı

tablo 4.1'in son kolonunun yüzde katsayılarına göre azaltılmalıdır (IV. Grup için güvenlik katsayısı $2,5/1,25=2,0$ ve VII. Grup için güvenlik katsayısı $2,5/1,33=1,9$).

Yük ve dayanım katsayıları tasarımında ise hassas analizde Limit Yük Durumu I ve IV için nihai taşıma kapasitesine uygulanan uygun dayanım katsayısı AASHTO YDKY Köprü Tasarım Şartnamelerinde bölüm 10.5.4'de verilmiştir (AASHTO, 1994). Ekstrem Limit Durumlarda uygun dayanım katsayısı 1,0'dır.



NOT:

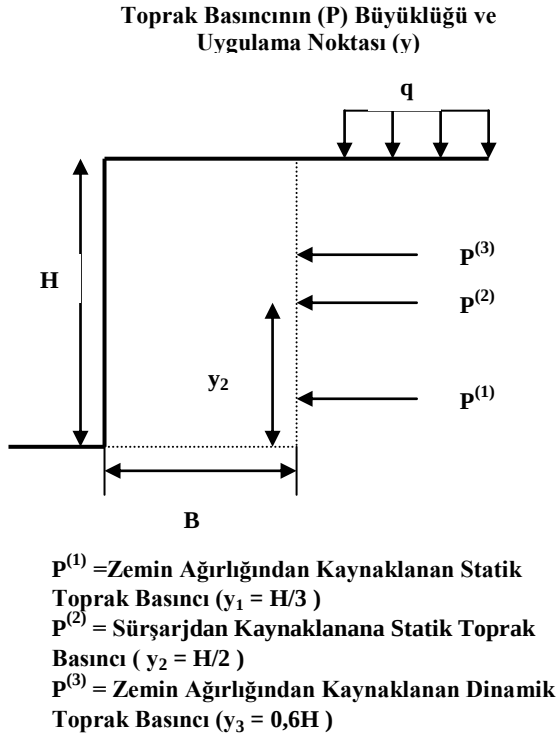
W = Güçlendirilmiş Bölgenin Ağırlığı

P = Toprak Basıncı Yükü

y = P'nin Uygulama Noktası

B = Zemin Çivili Bloğun Taban Genişliği

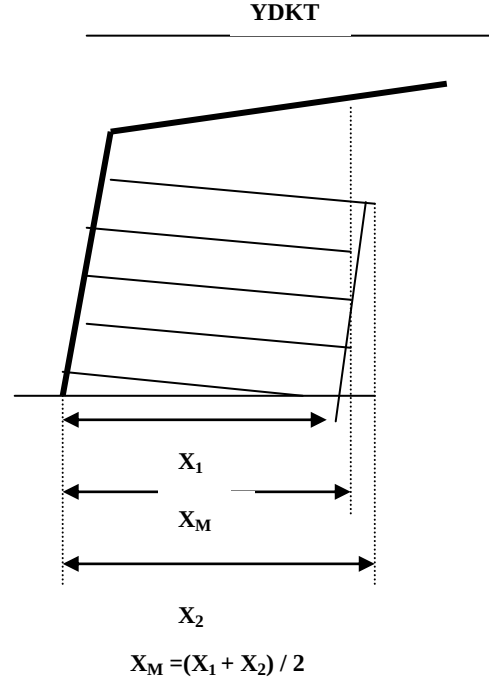
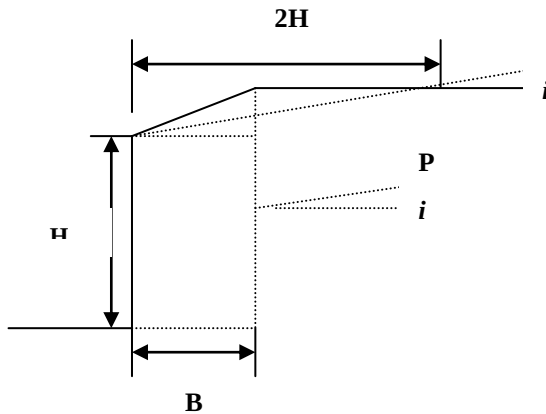
Şekil 4.5 Zemin alt kotundaki taşıma gücü metodolojisi (devamı arka sayfada)



Coulomb ve Mononobe-Okabe Yöntemleri
Kullanılarak Belirlenen Toprak Basıncı Yükü Bileşenleri:

P Toprak Basıncı Yükünün Eğimi

- Yatay Arka Şev -Yatay P
 - Eğimli Arka Şev - Eğimli P
- P'nin yatayla yaptığı açı arka şevin Yatayla Yaptığı açı, β kadardır.
- Kırıklı Arka Şev – i acısında P



Nihai Taşıma Gücü, q_{ult}

$$q_{ult} = c_u N_c s_c i_c + 0,5 \gamma B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

N_c, N_γ - Taşıma Gücü Katsayıları

s_c, s_γ - Şekil Katsayıları

i_c, i_γ - Yük Eğim Katsayıları

γ - Temel Zemininin Birim Hacim Ağırlığı

Yeraltı suyunun duvar tabanının B-1,5B derinliği değerleri içerisinde olması halinde, kaldırma kuvveti etkilerinin dahil edilmesi için AASHTO (15. Basım) 4.4.7.1.1.6 veya AASHTO (LRFD, 1. Basım) 10.6.3.1'e göre uygun küçültme katsayıları kullanılır

q_{ult} 'ın belirlenmesinde, kabul edilmiş diğer yaklaşımlar da kullanılabilir.

Şekil 4.5 (devam) Zemin alt kotundaki taşıma gücü metodolojisi (Byrne ve diğ., 1998)

4.4.9 Üst konsol kontrolü

Üst konsol kontrolü her iki tasarım yönteminde de aynı şekilde uygulanır. Zemin çivili duvar yüzünün en üstteki çivi sırasının üzerinde kalan konsol bölümü, komşu zeminin kendi ağırlığından ve sürşarj yüklemelerinden veya komşu zeminin üzerine etkiyen atalet kuvvetlerinden meydana gelen toprak basınçlarına maruzdur. Bu toprak basınçlarının büyüklüğü sadece zemin mukavemetine bağlı değil, eğer varsa konsol arkasında bulunan dolgunun oluşturulma yöntemine de bağlıdır. Yapım sırasında üst konsolun arkasında dolgu yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sonucundaki gerilmenin bulunmaması durumunda duvarın üst konsol bölümü için bir aktif toprak basıncı katsayısı varsayılabilir. Çünkü üst konsol, komşu açıklıklara doğru zemin kemerlenmesiyle yeni bir yük dağılımı oluşturamaz, eğer en üst çivi sırasının altında kalan kaplamada kemerlenme olursa konsoldaki denge durumu mukavemeti, şekil 4.6'da anlatıldığı gibi konsol tabanında moment ve kesme için kontrol edilmelidir.

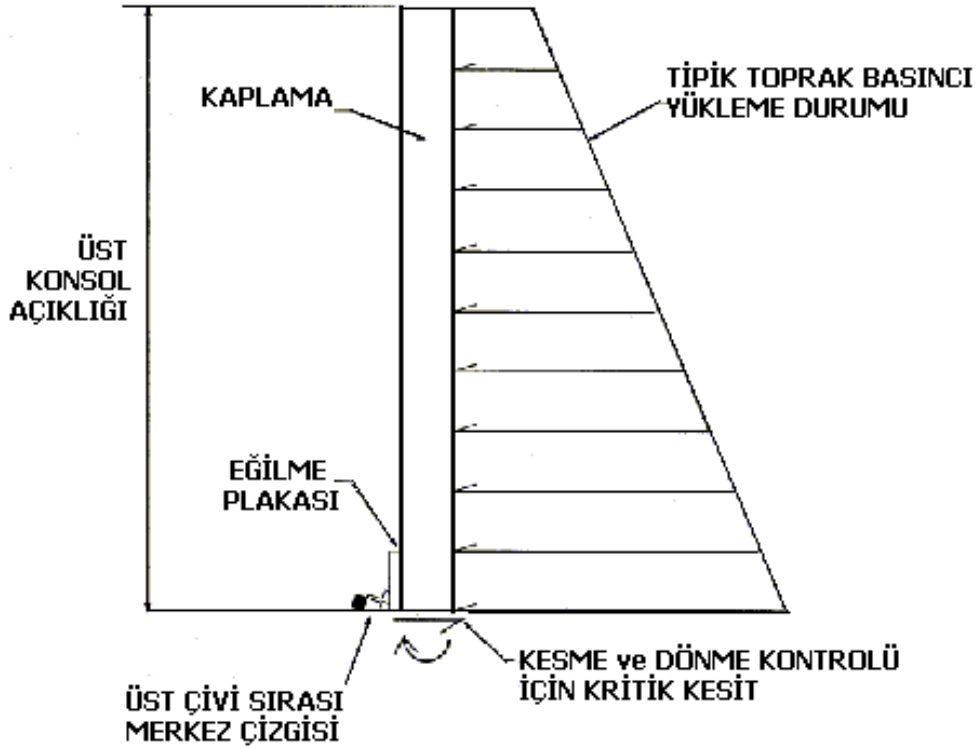
Eğer duvarın üst konsol bölümünün yakınlarında ağır kompaksiyon varsa, ek yanıl toprak basınçları duvara etkiyecektir. Bu nedenle eğer bu bölgede dolgu sıkıştırma işlemi yapılması gerekiyorsa hafif sıkıştırma ekipmanları kullanılmalıdır.

Yatay açıklık doğrultusunda, konsol açıklıklar zemin çivili duvarın sonlarında ve kalıcı kaplamanın düşey genleşme bağlantıları bölgelerinde olacaktır. Genellikle pratikte genleşme bağlantıları için aynı çivi örneği ve uniform yatay çivi açıklığı kalan duvar bölümünde olduğu gibi tutulur ve genleşme bağlantıları iki çivi kolonu arasına yerleştirilir. Konsollu son açıklıklar için normal tasarım ve yapımda konsol açıklığı genellikle ortalama çivi aralıklarının üçte biri veya üçte ikisi oranındadır. Eğer bu kritere bağlı kalınırsa bu bölgelerde kaplama için ilave formal tasarım gerekmez.

Bu yapı uygulamalarında yatay konsol açıklıklarının iyi performansı ile ilgili tutarlı sonuçlar vermektedir. Yukarıda anlatılan geometri sınırlamalarının ana nedeni konsol açıklığı arkasındaki zeminin komşu iç açıklıkta oluşan küçük deformasyon artışlarıyla yeniden basınç dağılımı yapılmasına izin vermektir.

Duvar tabanındaki konsolda yapım yöntemi genellikle yapım aşamasında konsol bölümde minimal veya sıfır yüklemeye neden olur. Ayrıca bu bölgedeki herhangi bir uzun süreli yükleme durumunda bu kaplama bölümü boyunca kazı tabanına doğru kemerlenme potansiyeli vardır. Bu nedenle taban konsolunda formal kaplamaya

gerek yoktur. Ayrıca duvar tabanı ile alt çivi sırası arası mesafenin ortalama çivi aralıklarının üçte ikisini geçmemesi önerilir.



Tasarım Kontrolü (SYT):

- 1) Yukarıda belirtilen kritik kesitte, servis kesme kuvveti (Konsoldaki kuvvet dengesinden hesaplanır.) kabul edilebilir kesme kuvvetini (Geçerli AASHTO Köprü Şartnamelerini temel alan konsol nominal kesme kuvveti ile tablo 4.4'deki kaplama zımbalaması için çivi başı yük katsayısı ile çarpımı şeklinde hesaplanır.) aşmamalıdır.
- 2) Yukarıda belirtilen kritik kesitte, servis momenti (Konsoldaki moment dengesinden hesaplanır.) kabul edilebilir momenti (Geçerli AASHTO Köprü Şartnamelerini temel alan konsol nominal eğilme mukavemeti ile tablo 4.4'deki kaplama eğilme yük katsayısı ile çarpımı şeklinde hesaplanır.) aşmamalıdır.

Tasarım Kontrolü (YDKT):

- 1) Yukarıda belirtilen kritik kesitte, katsayılı kesme kuvveti (Konsoldaki kuvvet dengesinden hesaplanır.)tasarım kesme kuvvetini (Geçerli AASHTO Köprü Şartnamelerini temel alan konsol nominal kesme kuvveti ile tablo 4.5'deki kaplama zımbalaması için çivi başı kuvveti katsayısı ile çarpımı şeklinde hesaplanır.) aşmamalıdır.
- 2) Yukarıda belirtilen kritik kesitte, katsayılı moment (Konsoldaki moment dengesinden hesaplanır.) tasarım momentinin (Geçerli AASHTO Köprü Şartnamelerini temel alan konsol nominal eğilme mukavemeti ile tablo 4.4'deki kaplama eğilme dayanımı ile çarpımı şeklinde hesaplanır.) aşmamalıdır.

Şekil 4.6 Üst konsol tasarım kontrolleri (Byrne ve diğ., 1998)

4.4.10 Kaplama donatı detayları kontrolü

Kaplama donatı detayları kontrolü kapsamında Servis Yüğü yöntemin de yatay donatı kontrolü, minimum donatı oranları, minimum kaplama şartları,

4.4.11 Servis kontrolü

Aşırı deformasyon ve çatlaklara bağı duvar fonksiyonları kontrol edilir. (örn. Servis limit durumu kontrolü) Aşağıdaki durumlar göz önünde bulundurulmalıdır:

4.4.11.1 Kaplamanın servis çökmesi ve çatlak genişlikleri

ACI Betonarme Yapım Şartları Standardı (plaklar AASHTO'da belirtilmemiştir) 'in plaklar için alınan tedbirlerine göre, zemin çivili duvar kaplamasının çatlak genişlikleri kontrol edilmez. Fakat ACI, 1995, ulaşılması gereken minimum açıklık/derinlik oranları veya çökme/açıklık oranları ile plak çökmesi kriterini sağlamaktadır. Kalıcı ve geçici duvarların her ikisinde de açıklık-derinlik oranı asla 20'yi geçmediğı için servis yükü seviyelerinde meydana gelen yapısal çökme önemsizdir.

Zemin çivili kalıcı duvarların üst konsolları aslında konsol çalışan plaklardır ve içteki iki yönlü açıklıklara göre daha büyük efektif açıklık-derinlik oranına sahip olabilirler. Bu yüzden servis çatlak genişlikleri (donatıdaki gerilmeler) geleneksel konsol istinat duvarı mesnedinde olduğu gibi kontrol edilmelidir. Servis yükü tasarımında Karayolu Köprüleri Standart Şartnameleri, 15. Basım'ın 8.16.8.4. bölümündeki, yük ve dayanım katsayıları tasarımında ise AASHTO YDKY Köprü Tasarım Şartnameleri bölüm 5.7.3.4'deki önlemler çatlak genişliklerini kontrol etmek için kullanılır (AASHTO, 1992; AASHTO, 1994). Çoğu geçici kaplamalarda (geçici bir iksa sisteminin parçası veya kalıcı duvarın kaplama yapısı olsa da) servis gerekçelerinde dikkate alınması gereken herhangi bir estetik veya durabilite kaygısı olmadığından dayatma yapılmaz.

4.4.11.2 Duvar yapısının toplam deplasmanı

FHWA-SA-96-069R bölüm 2.4.6 da deplasman miktarları ve çeşitli zemin tiplerinde uygulanan zemin çivili duvar yapılarındaki tipik örnekleri tartışılmıştır. Duvarın servis durumunun komşu yapıların üzerindeki potansiyel etkilerle değerlendirilmesi gerektiğı için bölüm 2.4.6'daki bilgiler bu tanımlamaları yapmak için kullanılabilir.

Tabi ki duvar yapısıyla ilgili deplasman değerlendirmesi zemin çivili duvarın uygunluğunun belirlenmesi için projenin başında yapılmalıdır (Byrne ve diğ.,1998).

4.4.11.3 Kaplamanın düşey genleşme ve bzölme bağlantıları

Düşey bağlantılar geçici püskürtme beton yapı kaplamalarında gerekli değildir.

Her bir bzölme bağlantısı (Servis Yükü yönteminde AASHTO, 1992 Bölüm 5.5.6.5, Yük ve Dayanım Katsayıları yönteminde ise AASHTO, 1994 Bölüm 11.6.1.5, YDKT ve Bölüm 5.5.6.5) yaklaşık 10 m'yi ve genleşme bağlantısı yaklaşık 30m'yi aşmayacak şekilde yerleştirilir ve yerinde oluşturulan veya püskürtme beton kalıcı duvar son kaplamalarında kullanılabilir.

4.4.12 Sismik tasarım

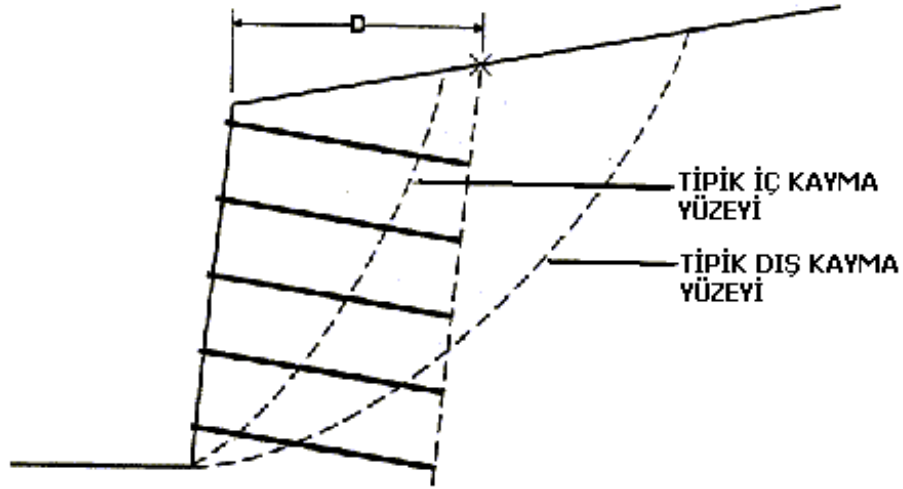
Servis Yükü Tasarımı yöntemine göre, sismik yükleme durumunda, yapısal mukavemet katsayıları ve zemin güvenlik katsayısı tablo 4.1'de verilen yüzdelere modifiye edilmelidir. Yük kombinasyon grubu VII için öneriler daha önceden tartışılmıştır. Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı yönteminde ise, Sismik yükleme durumunda, dayanım katsayıları tablo 4.8'de verilen değerlere göre oluşturulmalı ve tablo 4.2'deki Ekstrem durum I için yük katsayıları ve yük kombinasyonu değerlendirilmelidir.

Her iki yöntemde de, kaplama kısıtlı bir süre kullanılacak olması durumunda sismik yükleme durumunun göz önünde bulundurulması gerekmemektedir. Sismik yükleme, pseudo-statik bir atalet kuvvetinin sismik katsayısı uygulaması ile hesaplanır. Aşağıda uygun sismik tasarım katsayısının tanımlanması ile ilgili öneriler bulunmaktadır:

1. Uygun deprem tasarım pik yer ivmesi A_{PK} seçilir. Arazi spesifik bilgilerinin veya yerel sismik haritanın olmaması durumunda A_{PK} AASHTO, 1992 Bölüm 1A (her iki yöntem için ayrı) yatay ivme haritalarından alınabilir.
2. İ kayma yüzeyi (rn. Kayma yüzeyinin vileri kesmesi durumu) için sismik dizayn katsayısı $A=(1,45-A_{PK})A_{PK}$ olarak tanımlanır. (SYT için AASHTO, 1992 Karayolu Köprüleri Standart şartnameleri, 15. Basım, bölüm 5.8.10 toprakarme duvarlar için neriler; YDKT için AASHTO, 1994 YDKT Köprü Yapım şartnameleri, 1. Basım, Bölüm 11.9.6 toprakarme duvarlar için neriler) Bu sismik dizayn katsayısı bir pseudo -statik deprem ivmesi olarak

iç kayma modları için uygulanabilir. İç kayma modları şekil 4.7’de tanımlanmıştır.

3. Dış kayma yüzeyi (örn. Kayma yüzeyinin zemin çivilerini hiç kesmemesi veya çok az kesmesi durumları) için, sismik pseudo-statik katsayısı A , tasarım boyunca tölare edilebilen istinat duvarı kalıcı deplasmanına göre çeşitlilik gösterir. Örneğin, eğer duvar $250 A_{PK}$ mm’nin (A_{PK} , tasarım deprem ivmesinin yerçekimi ivmesine oranı) üzerindeki kalıcı deformasyonu tölare edilebiliyorsa, $0,5 A_{PK}$ ’lık bir tasarım sismik katsayısı kabul edilebilir (SYT için Bölüm 6, Kısım 1A-Sismik Tasarım, AASHTO,1992 15. Basım; Bölüm 11, Ek A, AASHTO,1994 YTKT, 1. Basım). Diğer tölare edilebilir kalıcı deplasmanlar için uygun sismik ivme katsayısı AASHTO’ya göre belirlenebilir.
4. Güçlendirilmiş zemin bloğunun sismik taşıma gücü değerlendirmesi için sismik tasarım katsayısının $0,5 A_{PK}$ alınması önerilir.



İç Kayma Yüzeyleri – Zemin Yüzeyiyle Kesişme Mesafesi $< D$

Dış Kayma Yüzeyleri – Zemin Yüzeyiyle Kesişme Mesafesi $> D$

D = Çivi uçlarının zarfının zemin yüzeyiyle kesişme noktasının duvarın üst noktasına yatay uzaklığı

Şekil 4.7 Sismik yükleme şartları için iç ve dış kayma yüzeylerinin tanımları (Byrne ve diğ., 1998)

5. ZEMİN ÇİVİLİ İSTİNAT YAPILARININ TASARIMIYLA İLGİLİ KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEME

Zemin çivili istinat yapıları tasarımında kullanılan parametreler olan zemin parametreleri, ve geometrik parametrelerin ve tasarım yaklaşımlarının hesapları ne şekilde etkilendiği yapılan çalışma kapsamında incelenmiştir.

5.1 Zemin Çivili Duvar Tasarımında Kullanılan Hesap Yöntemi

Yapılan tez çalışmasında, Excel kullanılarak bir hesap programı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu program FHWA tarafından zemin çivili duvar hesabı için hazırlanan FHWA-SA-96-069R şartnamesini temel alarak, şartnamenin içerdiği her iki tasarım yöntemiyle (SYT, YDKT) birden hesap yapmaktadır. Böylece iki tasarım yöntemini karşılaştırma imkanı sunmaktadır.

Excel programında hazırlanan tablolarla sürşarj yükü olmayan, dik geçici duvarlar için (arka şev açısı, $\beta = 0$ ve duvar açısı, $\alpha = 0$) her iki tasarım yaklaşımıyla (SYT, YDKT) statik hesap yapılabilmektedir.

Hesap yönteminde ilk olarak, zemin parametreleri (birim hacim ağırlık, γ ; sürtünme açısı, ϕ ; kohezyon, c ; nihai sıyrılma dayanımı, Q_u) ve geometrik parametreler (duvar yüksekliği, H ; yatay çivi aralığı, s_h ; düşey çivi aralığı, s_v) girilerek ön tasarım çivi boyu hesaplanmakta ve uygun çivi donatısı seçilmektedir. Ön tasarım çivi boyu hesabı için, şartnamede bulunan ön tasarım kartları kullanılmıştır. Bu tasarım kartları, bir yazılım programı kullanılarak kartlar üzerindeki her bir eğriden yaklaşık 350 noktanın koordinatları alınıp tekrardan Excel'de oluşturulmuştur. Yeniden çizilen eğriler üzerinden, en büyük hata % 0,1 olacak şekilde polinomik yaklaşım eğrileri geçirilmiş ve bu eğrilerin (dolayısıyla en büyük sapma % 0,1 olmak üzere orijinal eğrilerin) formülleri elde edilmiştir. Elde edilen bu formüller eklenerek bölüm 4.4.1'de detaylı olarak anlatılmış olan ön tasarım çivi boyu hesabını her iki tasarım yöntemi (SYT ve YDKT) için hesaplayan tablolar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu tablolar Ek A'da gösterilmiştir.

İkinci aşamada zemin çivisi ile ilgili iç stabilite kontrolleri yapılmaktadır. Program geçici duvarların statik durumu için hesap yaptığından, iç stabilite kontrollerinden bu durum için şartnamede belirtilen kaplama eğilmesi ve zımbalama kontrolleri yapılmaktadır. İç stabilite kontrollerinin sağlanması için uygun kaplama kalınlığı, enjeksiyon çapı, ezilme plakası genişliği, hasır donatı, ve malzemelerin mukavemet değerleri (donatı akma mukavemeti ve 28 günlük beton mukavemeti) seçilir.

Üçüncü aşamada ise birinci aşamada önerilen ön tasarım çivi boyunu dikkate alarak tasarım çivi boyu seçilir. Program seçilen çivi boyları için Servis Yüğü Tasarımında tanımlanan güvenlik sayısı; Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımında tanımlanan dayanım/yüğü oranı hesabını ve şartnamede belirtilen dış stabilite kontrolleri (taşınma gücü ve eksantrisite kontrolleri) ile üst konsol kontrolünü yapmaktadır. Seçilen çivi boyu şartname uyarınca Servis Yüğü Tasarımı için en az 1,2'lik güvenlik sayısını; Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı için en az 1,0'lık dayanım/yüğü oranını ve dış stabilite kontrolleri ile üst konsol kontrolünü sağlamalıdır.

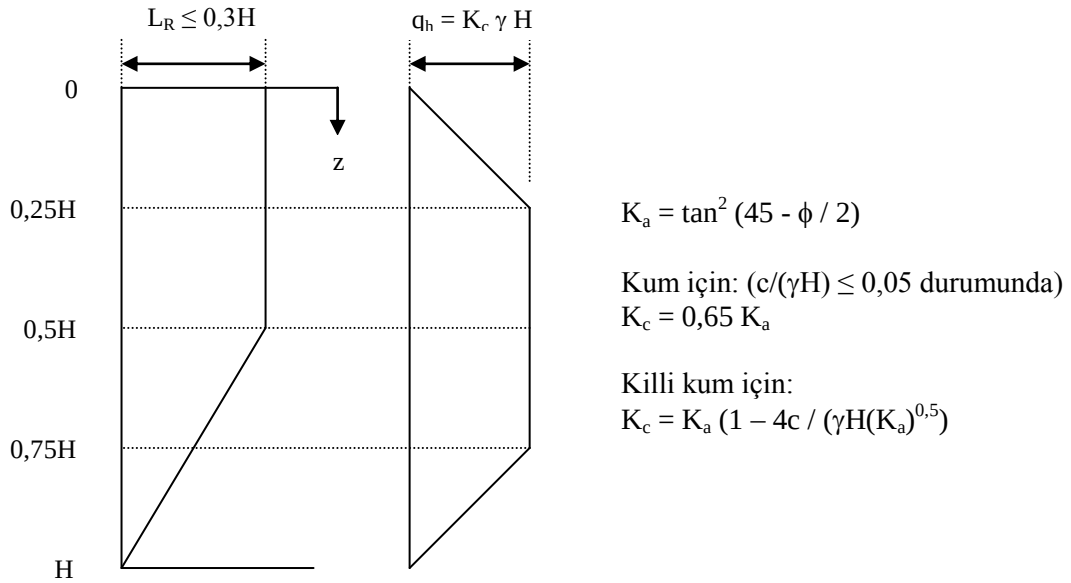
Programda çivi yerleşim düzeni şartnamede 5. adımda önerilen düzene göre yapılmaktadır (Şekil 4.4). Ancak, isteğe bağılı olarak FHWA tarafından hazırlanan FHWA0-IF-03-017 şartnamesinde önerilen Şekil 4.3'deki çivi düzenlerinden biri de seçilebilmektedir.

Programda Güvenlik sayısının (Servis Yüğü Tasarımı) ve dayanım/yüğü oranının (Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı) hesabı geliştirilmiş Rankine kayma kaması yaklaşımı ile yapılmıştır (Şekil 5.1).

5.2 Yapılan Hesaplar

Zemin çivili duvarlarla ilgili yapılan çalışmada Bölüm 5.1'de anlatılan program kullanılarak farklı parametrelerle hesaplar yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Farklı zemin parametrelerine sahip 10 zemin türü ve 11 (5,6,.....,15 m) farklı duvar yüksekliği için iki tasarım yöntemi kullanılarak toplam 220 adet duvar hesabı yapılmıştır. Yapılan hesapların sonuçları incelenerek çeşitli parametrelerin değişimine göre kullanılan zemin çivisi miktarının değişiminin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kullanılan zemin parametreleri Tablo 5.1'de gösterilmiştir. Zemin türlerinin seçiminde yapılan çalışmanın uygulamaya yönelik olması amacıyla standartlarda bulunan zemin türleri temel alınmıştır. Nihai sıyrılma dayanımı değeri

(Q_u) ise, piyasada yapılan uygulamalardan elde edilmiş veriler değerlendirilerek belirlenmiştir.



Şekil 5.1 Geliştirilmiş Rankine kayma kaması ve toprak basıncı diyagramı yaklaşımları

Çivi aralıkları olarak, uygulamada yaygınlığı açısından FHWA şartnamesinde tavsiye edilen, ve uygulamaların hemen hepsinde tercih edilen 1,5 m'lik yatay ve düşey çivi aralıkları seçilmiştir.

Ayrıca, hesaplarda 200 mm'lik kaplama kalınlığı, 250 mm'lik ezilme plakası genişliği, 150 mm'lik enjeksiyon alanı çapı, Q295/295 hasır donatısı, $\Phi 14$ yatay ve düşey donatı ve malzeme mukavemet değerleri (28 günlük beton mukavemeti:

$f'_c = 30$ MPa, donatı akma mukavemeti: $F_Y = 420$ MPa) karşılaştırma açısından sabit tutulmuştur.

Analizlerde kullanılmak üzere karşılaştırma değeri olarak duvarın m^2 'sine düşen çivi uzunluğu, s , terimi tanımlanmıştır. Karşılaştırma terimi, s , denklem 5.1'e göre hesaplanmaktadır.

$$s = L / (H \times s_H) \quad (5.1)$$

L: Kesitteki toplam çivi boyu (m)

H: Duvar Yüksekliği (m)

s_H : Yatay çivi aralığı (m)

Tablo 5.1 Hesaplarda kullanılan zemin parametreleri

Zemin	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	Q_u (kN/m)
Z1	18	30	5	80
Z2	18	32	5	85
Z3	18	34	5	90
Z4	18	36	5	95
Z5	18	38	5	100
Z6	19	30	5	85
Z7	19	32	5	90
Z8	19	34	5	95
Z9	19	36	5	100
Z10	19	38	5	105

Hesaplar, Servis Yüğü Tasarımı için en az güvenlik sayısı olan 1,2 ve Yüğü ve Dayanım Katsayıları Tasarımı için en az dayanım/yüğü oranı olan 1,0 değerini sağlayan çivi uzunluklarının belirlenmesi şeklinde yapılmıştır.

5.3 Hesapların Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan hesapların değerlendirilmesinde izlenen yöntem, sırayla çeşitli parametreler sabit tutularak karşılaştırma değeri olarak belirlenen s değerinin değişiminin incelenmesi şeklinde olmuştur.

İlk olarak, yapılan hesapların sonuçları kullanılarak sabit birim hacim ağırlık değerleri için ($\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$ ve 19 kN/m^3) duvar yüksekliği arttıkça, s değerinin değişimi her iki tasarım yöntemi için ayrı ayrı ikişer grafik olarak oluşturulmuştur. Grafiklerde iki farklı birim hacim ağırlığı değerine karşı, değişen sürtünme açısı değerleri de Z1, Z2,....., Z10 şeklinde adlandırılmış eğriler tarafından gösterilmiştir. Tablo 5.1’de bu zemin türlerine ait zemin parametreleri bulunmaktadır.

Daha sonra her bir zemin türü için duvar yüksekliğine göre s değerinin değişimi iki farklı tasarım yöntemine göre incelenmiştir. Her bir zemin türü için ayrı ayrı oluşturulan grafiklerde değişim SYT ve YDKT ile adlandırılan ikişer eğriyle gösterilmiştir. Böylece iki yöntem arasında bir karşılaştırmaya gidilmiştir.

Son olarak da, duvar yüksekliklerine göre seçilen farklı çivi yerleşim düzenlerinin s değerine etkisi araştırılmıştır.

Yapılan hesaplamalardan 2 adet örnek ek-D’de bulunmaktadır.

6. SONUÇLAR

Dünyada bir çok ülkede özellikle Amerika, Fransa, Almanya ve İngiltere’de yaygın olarak kullanılmaya başlayan zemin çivisi tekniği mevcut zemin içinde imal edilen pasif elemanlardan oluşan zemin iyileştirme özelliği de bulunan bir destekleme tekniğidir.

İncelenen tasarım yöntemleri içerisinde, Fransız araştırma programı Clouterre ve Eurocode7 de açıklanan ve Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımıyla hemen hemen aynı yöntem olan Kısmi Katsayılar Tasarımı yöntemi Eurocode’un güncellenmesiyle tamamen gündeme gelecektir. Bu yöntemin yaygınlaşması ile Yük ve Dayanım Katsayıları yöntemi, şu anda zemin çivili duvar tasarımında en yaygın kullanılan yöntem olan Servis Yüğü Tasarım yöntemine göre önem kazanacaktır.

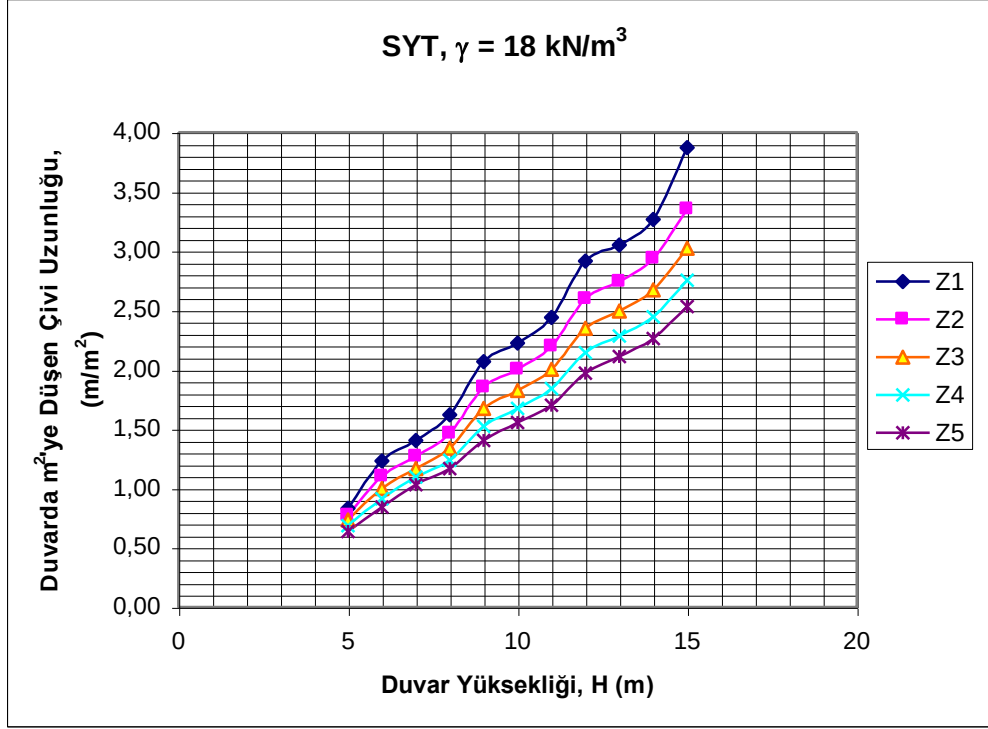
Bu tez çalışmasında ülkemizde geoteknikte kullanım bulamamış olan Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarım yönteminin tanıtılması da amaçlanmıştır. Ayrıca bu yöntemle Servis Yüğü Tasarım yöntemi arasındaki benzerlikler ve farklar belirtilmiştir.

Yapılan tez çalışmasında 5. bölümde detaylı bir şekilde anlatılan hesap yöntemiyle, farklı zemin parametreleri ve geometrik parametreler kullanılarak 220 zemin çivili duvar (iki farklı tasarım yaklaşımıyla, 11 farklı yükseklik ve 10 farklı zemin türü için) hesabı yapılmıştır. Yapılan hesaplar, çeşitli parametreler sabit tutularak karşılaştırma değeri olarak belirlenen s değerinin değişiminin incelenmesi şeklinde değerlendirilmiştir.

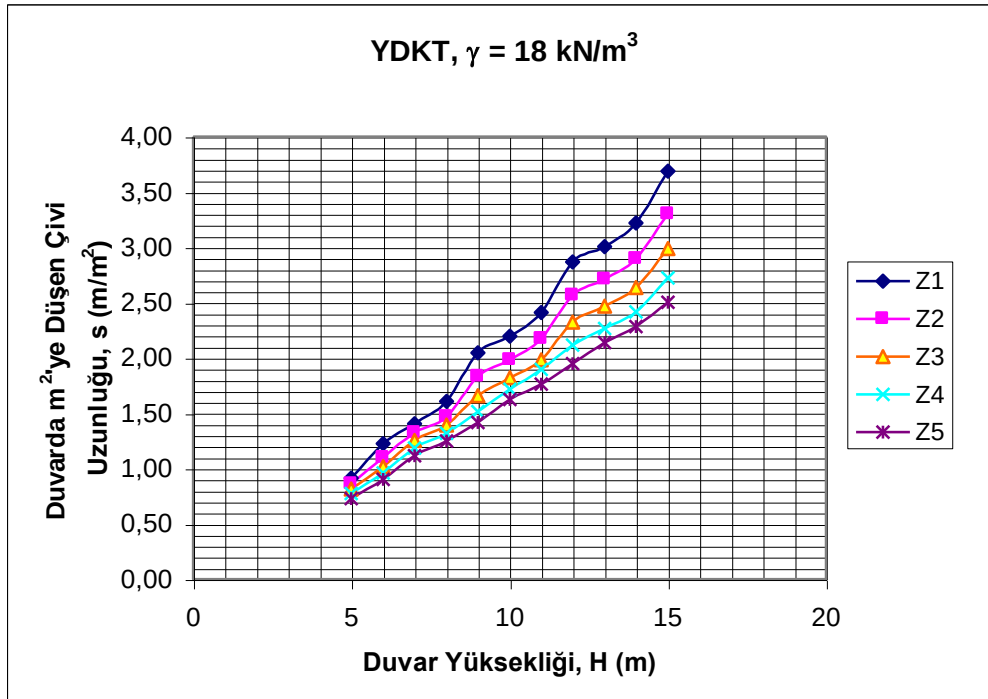
İlk inceleme sabit birim hacim ağırlık değerleri için ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ve 19 kN/m^3 için ayrı ayrı) duvar yüksekliği ile s değerinin değişimi için yapılmıştır. Sonuçlar her iki tasarım yöntemi için ikişer grafik olarak gösterilmiştir.

Şekil 6.1 ve şekil 6.2’de sırasıyla SYT ve YDKT ile 18 kN/m^3 ’lük birim hacim ağırlık değeri için s değerinin yükseklikle değişimi farklı sürtünme açısı değerleri için farklı eğrilerle gösterilmiştir.

Grafiklerden, sabit birim hacim ağırlık değeri için sürtünme açısı arttıkça duvarda birim m^2 'de kullanılan zemin çivi miktarının azaldığı görülmüştür.



Şekil 6.1 SYT ile $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği

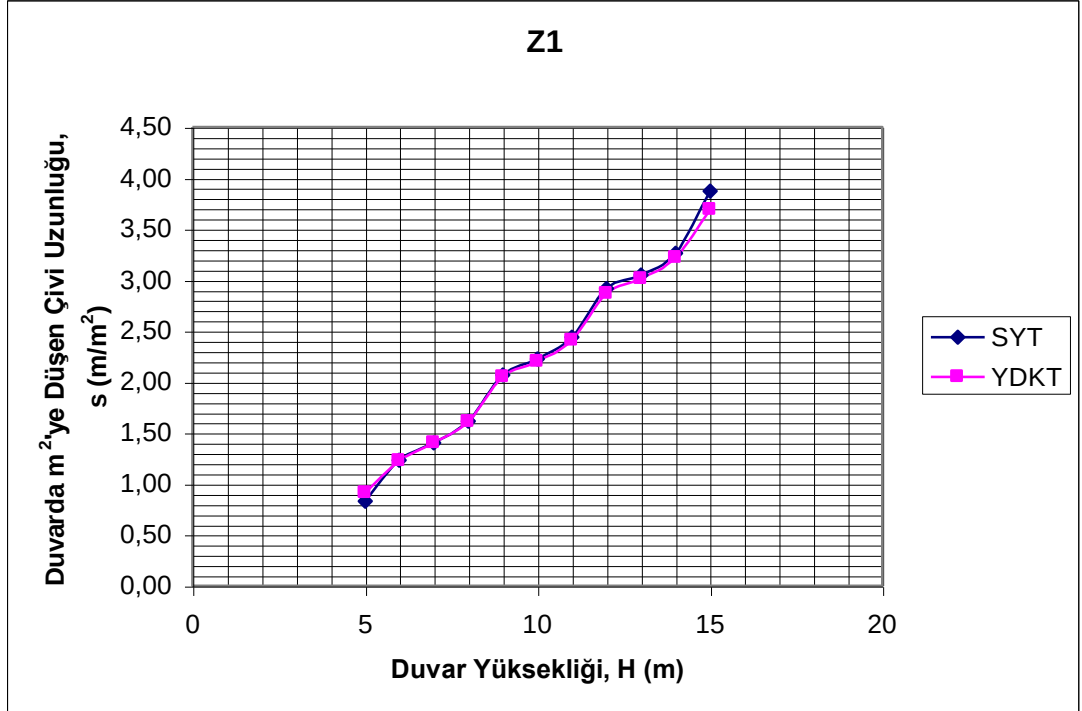


Şekil 6.2 YDKT ile $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği

19 kN/m³'lük γ değerinde her iki tasarım yöntemi için grafikler ek-B'de gösterilmiştir.

Daha sonra, her bir zemin türü için ayrı ayrı hazırlanan grafiklerle iki farklı tasarım yönteminin sonuçları H-s grafiğinde beraber gösterilmiştir. Bu şekilde SYT ve YDKT arasında bir inceleme yapılmıştır. Şekil 6.2'de Z1 ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 30^\circ$) için H-s değişimi her iki tasarım yaklaşımıyla gösterilmiştir. Diğer zemin türleri için karşılaştırma grafikleri Ek-C'de bulunmaktadır.

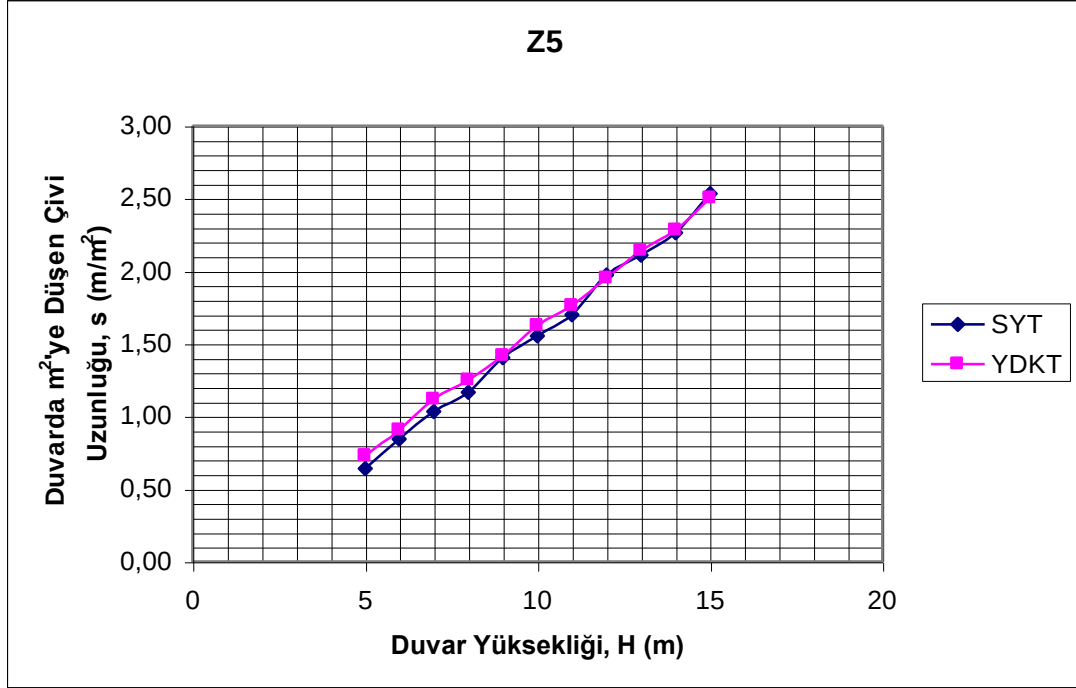
Grafikler incelendiğinde her iki yöntemin de yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Yalnız küçük farklarla da olsa küçük yüksekliklerde YDKT için daha fazla zemin çivisi kullanılırken duvar yüksekliği arttıkça SYT için daha fazla çivi kullanılması gerekmektedir.



Şekil 6.3 Z1 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği

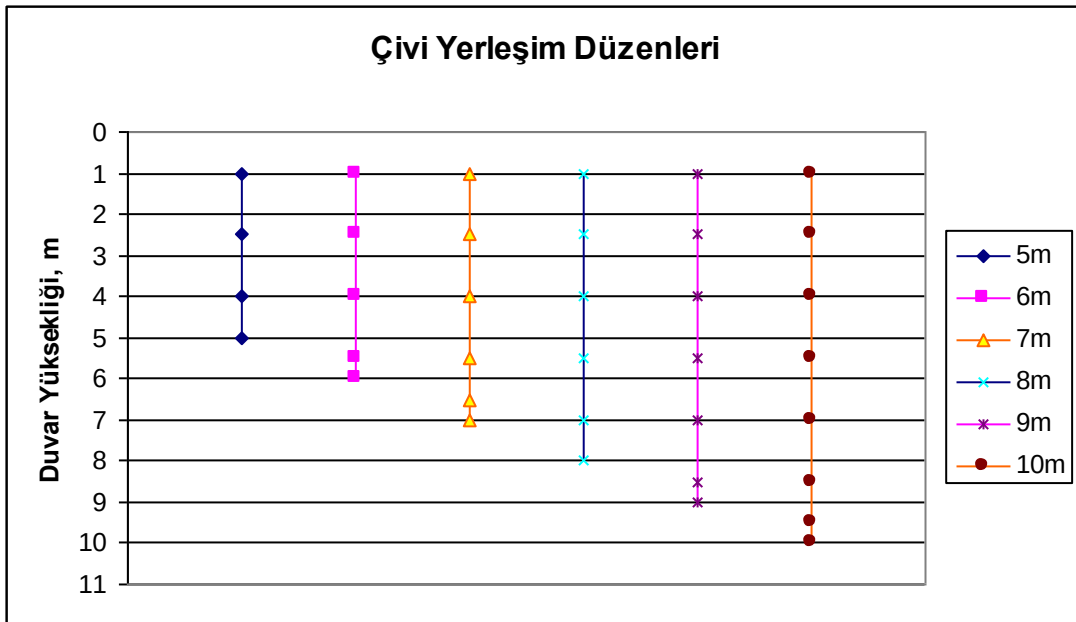
İki yöntem arasındaki farkların sürtünme açısı değerinin artışıyla arttığı görülmüştür. En büyük farka 38°'lik sürtünme açısında ulaşılmıştır. Sürtünme açısı değerinin artışıyla her iki yaklaşım için de azalma olmuştur. Bu azalma küçük duvar yükseklikleri için YDKT'de eksantrisite problemine neden olabilmıştır. Eksantrisite probleminin aşılması için bu durumlarda çivi uzunluklarını artırma yoluna gidilmiştir. Çivi uzunluklarının artırılması ile de gerekli en az dayanım/yük oranı olan 1,0 değeri aşılmak durumunda kalınmıştır. Böylece bu bölgelerde, YDKT'nin

eksantrisite hesabına karşı duyarlılığı nedeniyle iki yöntem arasındaki en büyük farklar oluşmuştur. Şekil 6.4’de iki tasarım yaklaşımı arasındaki en büyük farkların görüldüğü Z5 için H-s grafiği gösterilmiştir.



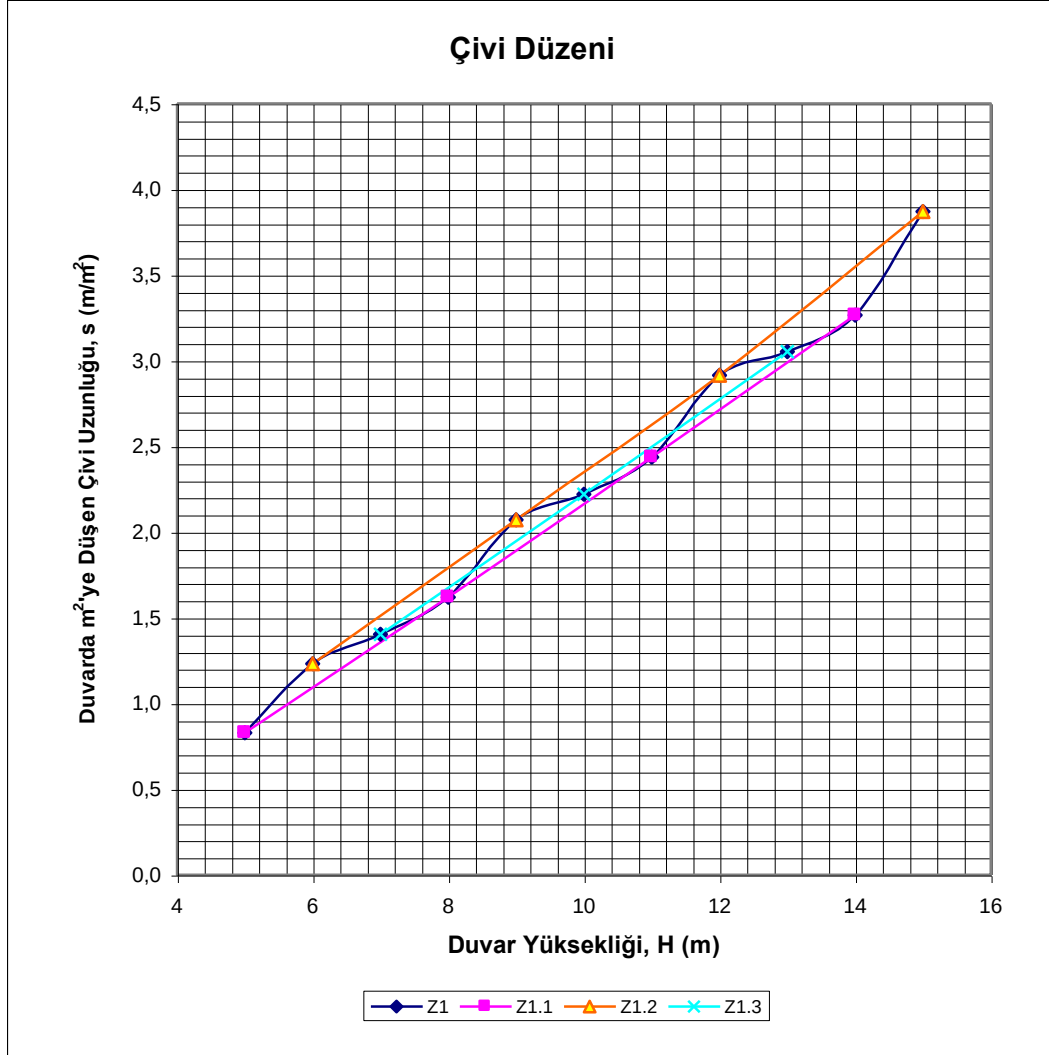
Şekil 6.4 Z5 için SYT ve YDKT’ye göre H-s grafiği

Son olarak da, sonuç grafiklerinde oluşan dalgalı görünüm araştırılmış ve bu görünümün farklı yüksekliklerde seçilen çivi yerleşim düzenlerine bağlı olduğu görülmüştür.



Şekil 6.5 Yüksekliklere göre seçilen çivi yerleşim düzenleri ($s_v = 1,5m$ için)

Zemin çivili duvar homojen bir yapı olmadığı için yüksekliğe ve konstrüktif kurallara bağlı olarak, sabit düşey çivi aralığı (s_v) değeri için duvar yüksekliğinin tam sayılarla artışıyla çivi yerleşimi arasında Şekil 6.4'de gösterilen mod 3'e bağlı bir döngü bulunmaktadır. Bu döngüye bağlı olarak 5-8-11-14. metrelerde (mod3'e göre 2), 6-9-12-15. metrelerde (mod3'e göre 0) ve 7-10-13. metrelerde (mod3'e göre 1) aynı tür çivi düzeni bulunmaktadır.



Şekil 6.6 Yüksekliklere göre seçilen çivi yerleşim düzenlerinin s değerine etkisi

($s_v = 1,5$ m için)

Mod3'e göre aynı çivi düzenine sahip duvar yükseklikleri birleştirildiğinde de bu metreler için H-s grafiğinde doğrular elde edilmiştir. Bu doğrular şekil 6.5'de gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

- ACI, 1995**, ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete, 318-95, *American Concrete Institute*, Detroit, MI.
- Advice Note HA68/94**, 1994. Design methods for the reinforcement of highway slopes by reinforced soil and soil nailing techniques, *The Department of Transport*, United Kingdom, February
- AASHTO, 1992**, Standard Specifications for Highway bridges, 15th edition, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington D.C.
- AASHTO, 1994**, LRFD Bridge Design Specifications, 1st edition, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington D.C.
- Bang, S. and Erickson, D.A.**, 1989. Analysis of in-situ soil nailing, *Engineering Geology and geotechnical Engineering*, Balkema, Rotterdam, 109-113
- Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C. and Ueblacker, G.**, 1998. Manual for design and construction monitoring of soil nail wall, *United States Federal Highway Administration*, Publication No. FHWA-SA-96-069R, October
- Elias, V. and Juran, I.**, 1991. Soil nailing for stabilization of highway slopes and excavations, *United States Federal Highway Administration*, Publication No. FHWA-RD-89-193, June
- Gassler, G. and Gudehus, G.**, 1981. Soil nailing – statistical design, *Proceedings of the 8th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Helsinki, Vol 2, 491-494
- Gassler, G.**, 1997. Design of reinforced excavations and natural slopes using new Euro Codes, *Earth Reinforcement*, Ochiai et al (eds), Balkema, Rotterdam, 943-961
- Geo Report No. 56**, 1999. Application of prescriptive measures to slopes and retaining walls, *Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department*, Hong Kong
- Kim, J. S., Kim, J Y., Lee, S. R.**, 1997. Analysis of soil nailed earth slope by discrete element, *Computers and Geotechnics*, **20**, 121-126.
- Lazarte, C.A., Elias, V., Espinoza, R. D., Sabatini, P. J.**, 2003. Geotechnical Engineering Circular No.7 Soil Nail Walls, *United States Federal Highway Administration*, Publication No. FHWA0-IF-03-017, March

- Mitachi, T., Yamamoto, Y. and Muraki, S.,** 1992. Estimation of in-soil deformation behavior of geogrid under pull-out loading, *Proceedings of the International Symposium on Earth Reinforcement Practice*. Japan, Vol 1, 121-126.
- Powell, G.E. and Watkins, A.T.,** 1991. Improvement of marginally stable existing cut slopes by soil nailing in Hong Kong, *Performance of Reinforced Soil Structures*, McGraw et al (eds), Thomas Telford Ltd., London, 241-247
- Reccomendations CLOUTERRE,** 1991. Soil nailing recommendations 1991, *Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Clausses*, English Translation, July
- Sağlam, A.,** 2002. Soil Nailed Retaining Walls: Design and Practice, *5th International Congress and Advances in Civil Engineering*, ITU, İstanbul, September 25-27
- Singla, S.** 1999. Demonstration Project 103: Design & construction monitoring of soil nail walls, *Project Summary Report, United States Federal Highway Administration*, Paris, 463-474
- Stocker, M.F., Korber, G.W., Gassler, G. and Gudehus, G.,** 1979. Soil nailing, *Proceedings of International Conference on Soil Reinforcement*, Publication No. FHWA-RD-89-193, June
- Üstündağ, Ö.,** 2003. Zemin çivisi ile şev stabilitesi ve derin kazıların desteklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Watkins, A.T. and Powell, G.E.,** 1992. Soil nailing to existing slopes as landslides preventive works, *Hong Kong Engineer*, Publication No. FHWA-RD-89-193, June
- Yeo, K.C., Leung, S.K.,** 2001. Soil nail design with respect to Hong Kong conditions, *Landmarks in Earth Reinforcement*, Ochiai et al (eds.), Swets&Zeitlinger
- Caltrans 97,** California Foundation Manual, California Transportation, Office of Structure Construction, July 1997

EK-A

**ZEMİN ÇİVİSİ ÖN TASARIMI İÇİN BASİTLEŞTİRİLMİŞ TASARIM
KARTLARI**

SYT

$$\phi_D = \tan^{-1}[\tan(\phi_u) / F]$$

$$c_D = c_u / (F\gamma/H)$$

$$T_D = \alpha_N T_{NN} / (\gamma H S_v S_H)$$

$$Q_D = \alpha_Q Q_u / (\gamma S_v S_H)$$

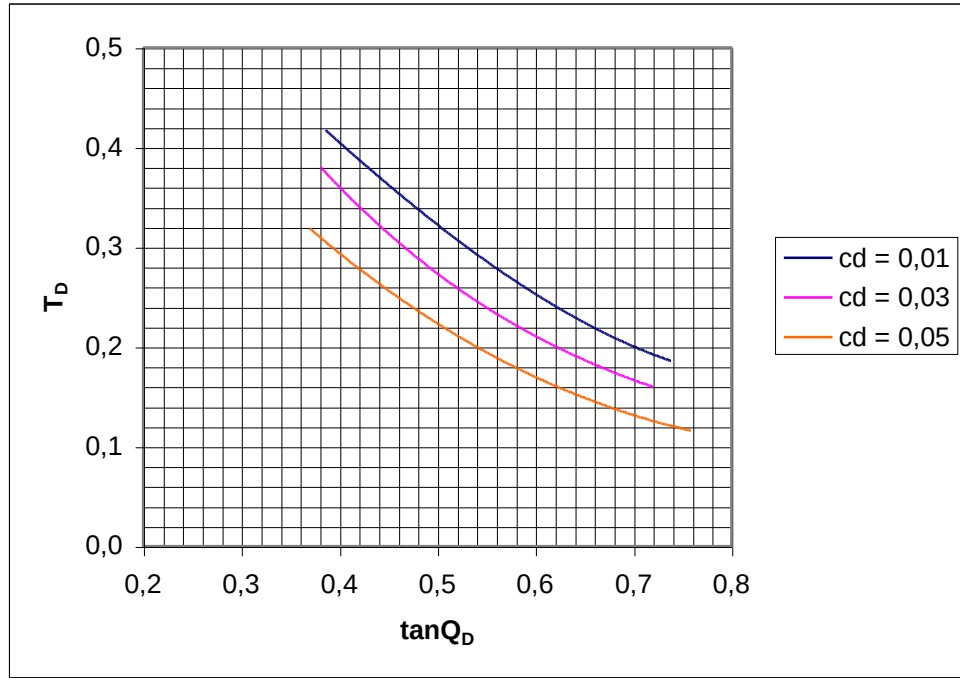
YDKT

$$\phi_D = \tan^{-1}[\Phi_\phi \tan(\phi_u)]$$

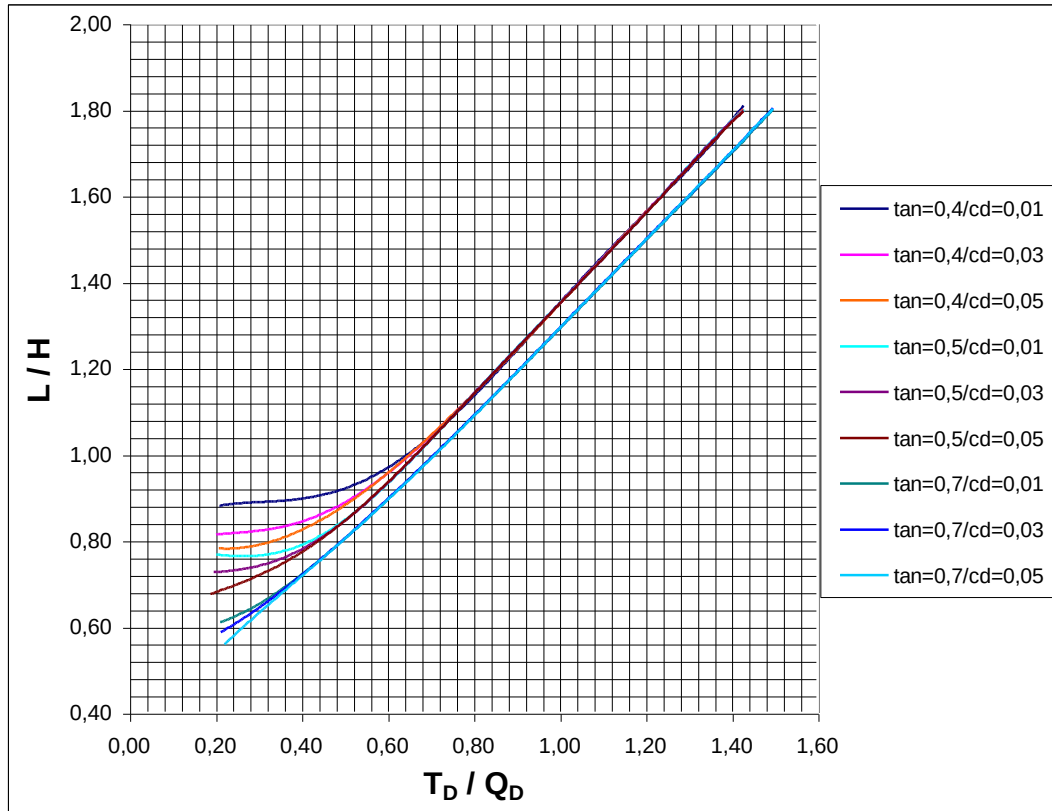
$$c_D = \Phi_c c_u / (\Gamma_w \gamma H)$$

$$T_D = \Phi_N T_{NN} / (\Gamma_w \gamma H S_v S_H)$$

$$Q_D = \Phi_Q Q_u / (\Gamma_w \gamma S_v S_H)$$



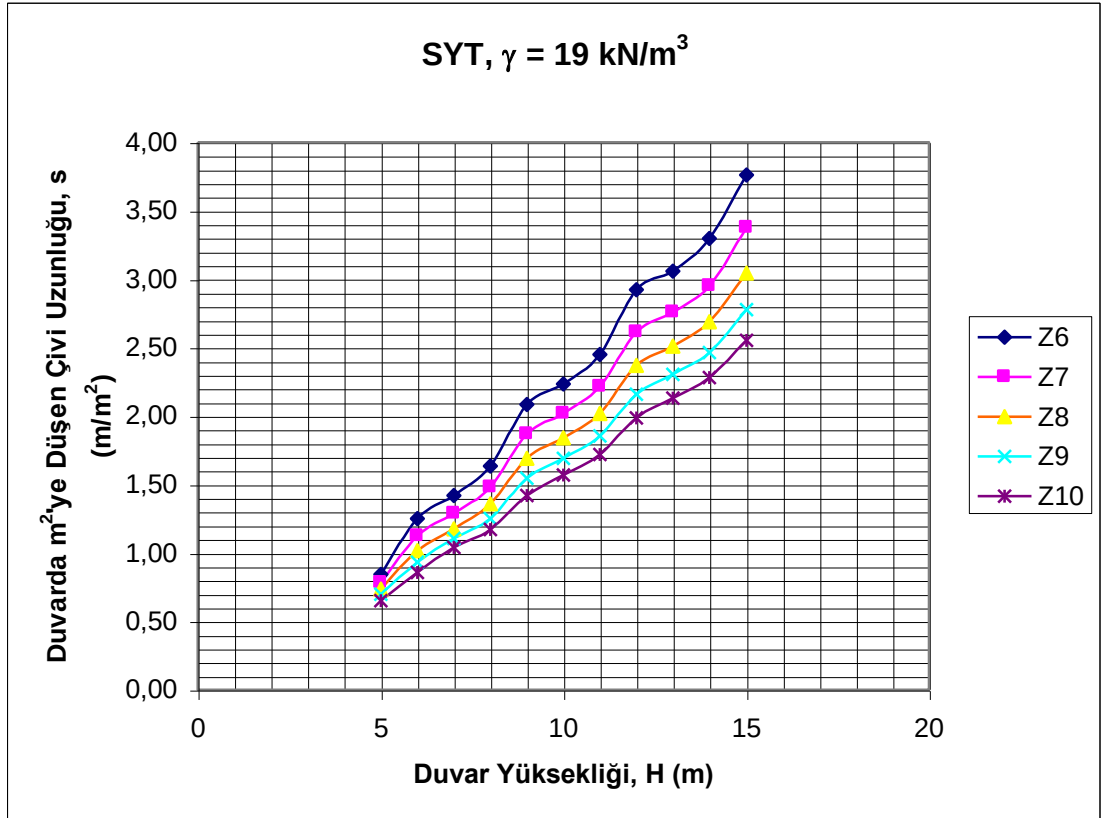
Şekil A.1 $\alpha = 0$ ve $\beta = 0$ için A1 öntasarım kartı



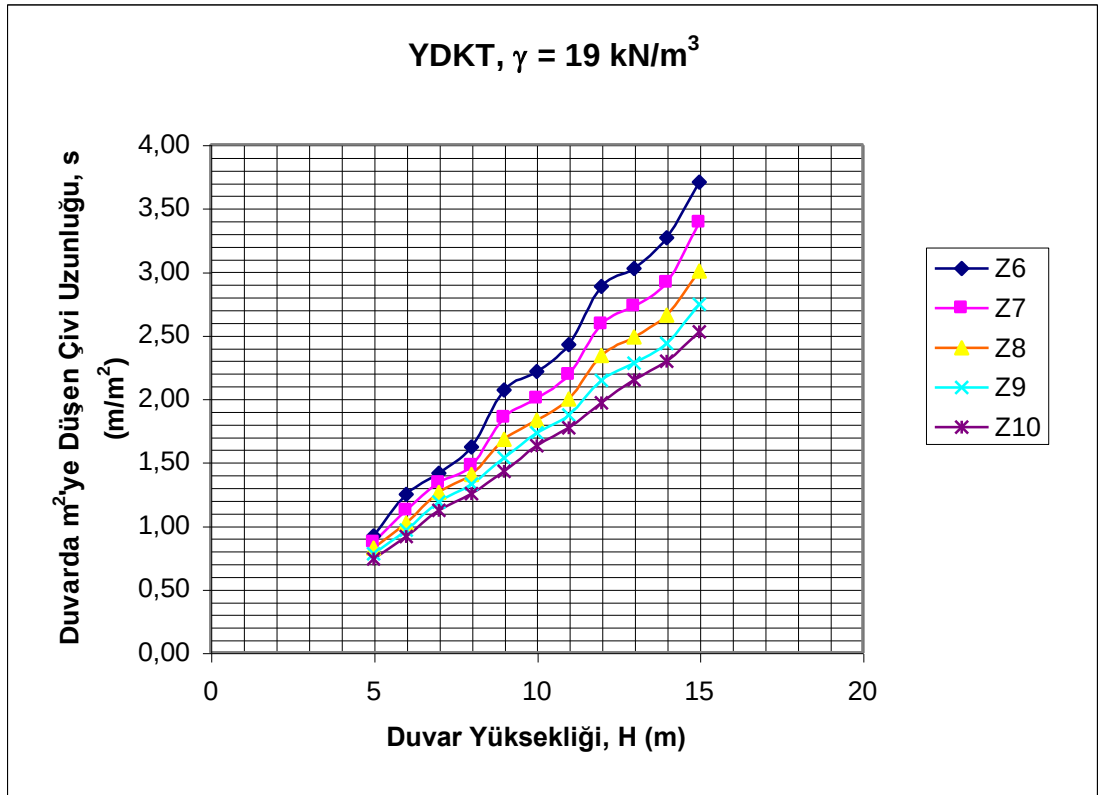
Şekil A.2 $\alpha = 0$ ve $\beta = 0$ için B1 öntasarım kartı

EK-B

$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ DEĞERİ İÇİN SYT ve YDKT H-S GRAFİKLERİ



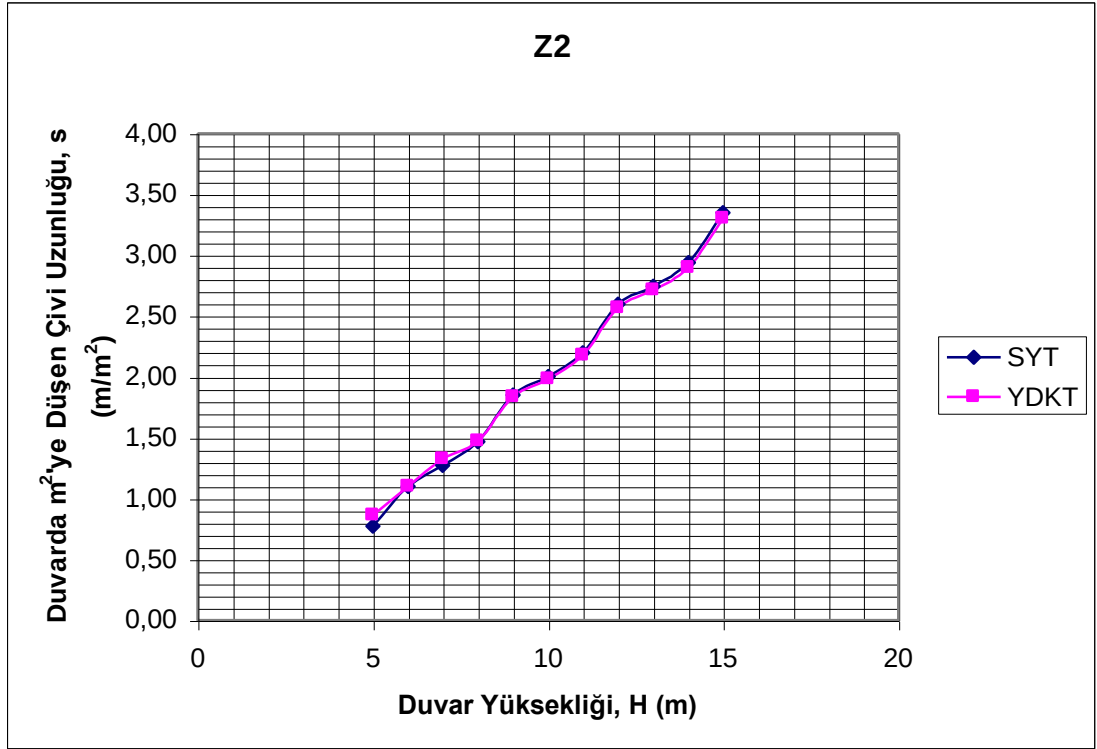
Şekil B.1 SYT ile $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği



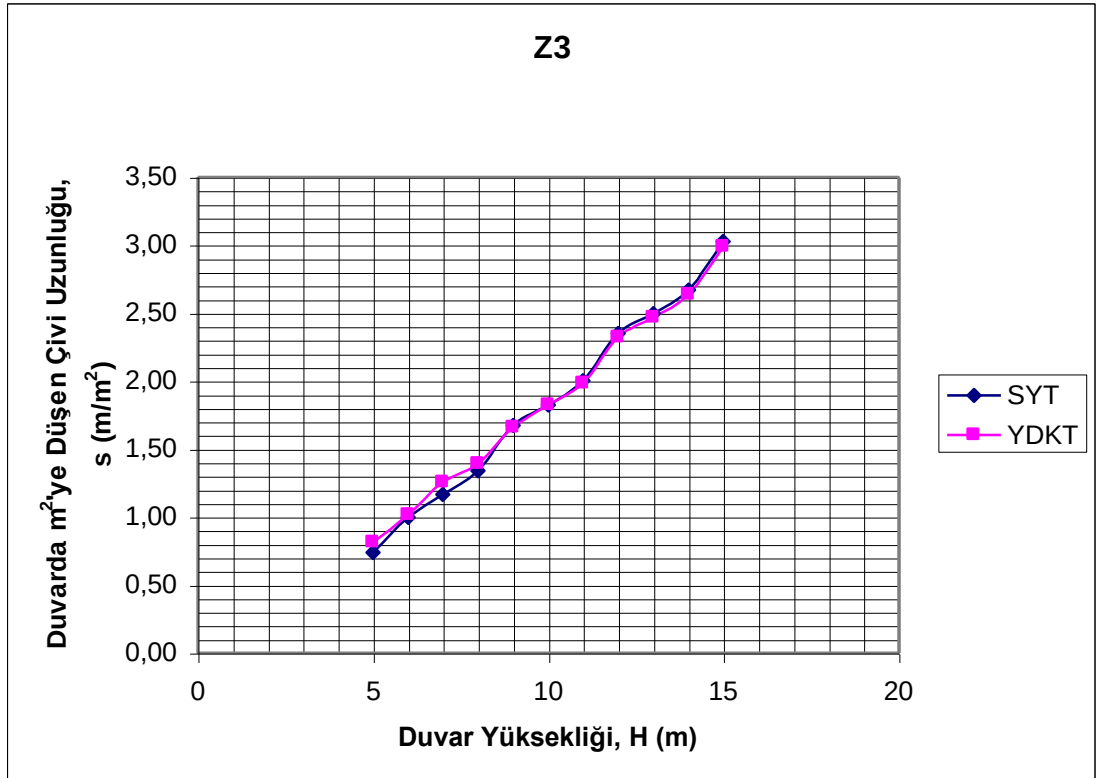
Şekil B.2 YDKT ile $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ için H-s grafiği

EK-C

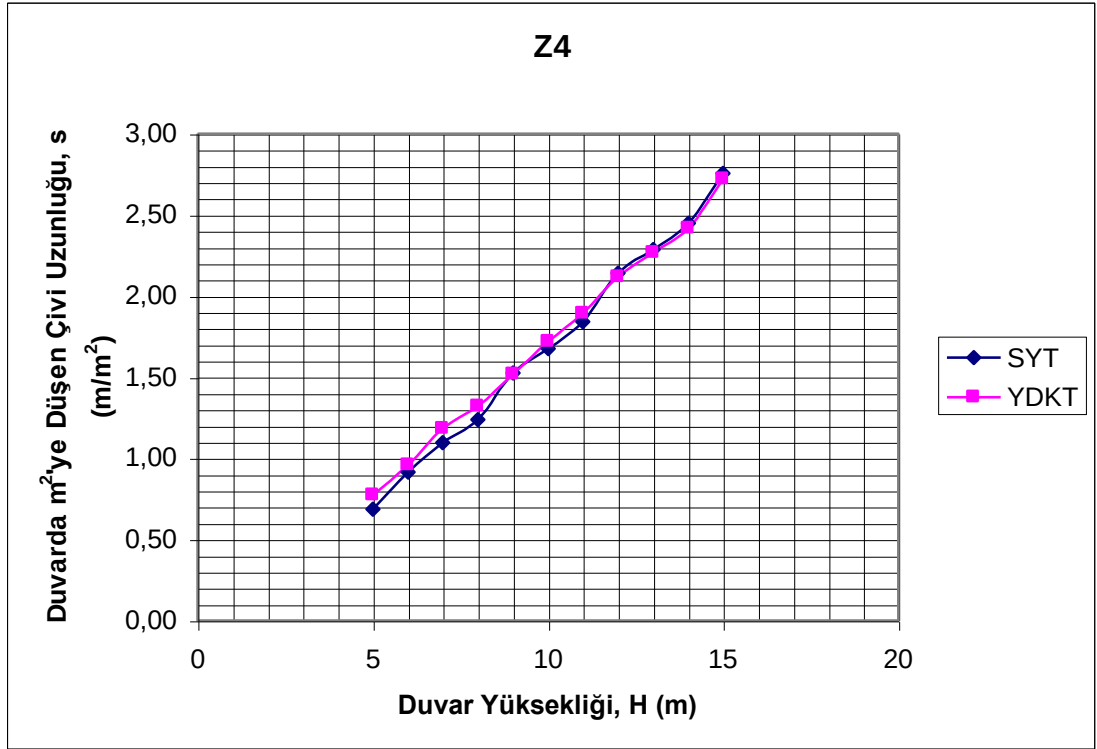
**FARKLI ZEMİN TÜRLERİ İÇİN SYT VE YDKT'NİN H-S
GRAFİKLERİNDE KARŞILAŞTIRILMASI**



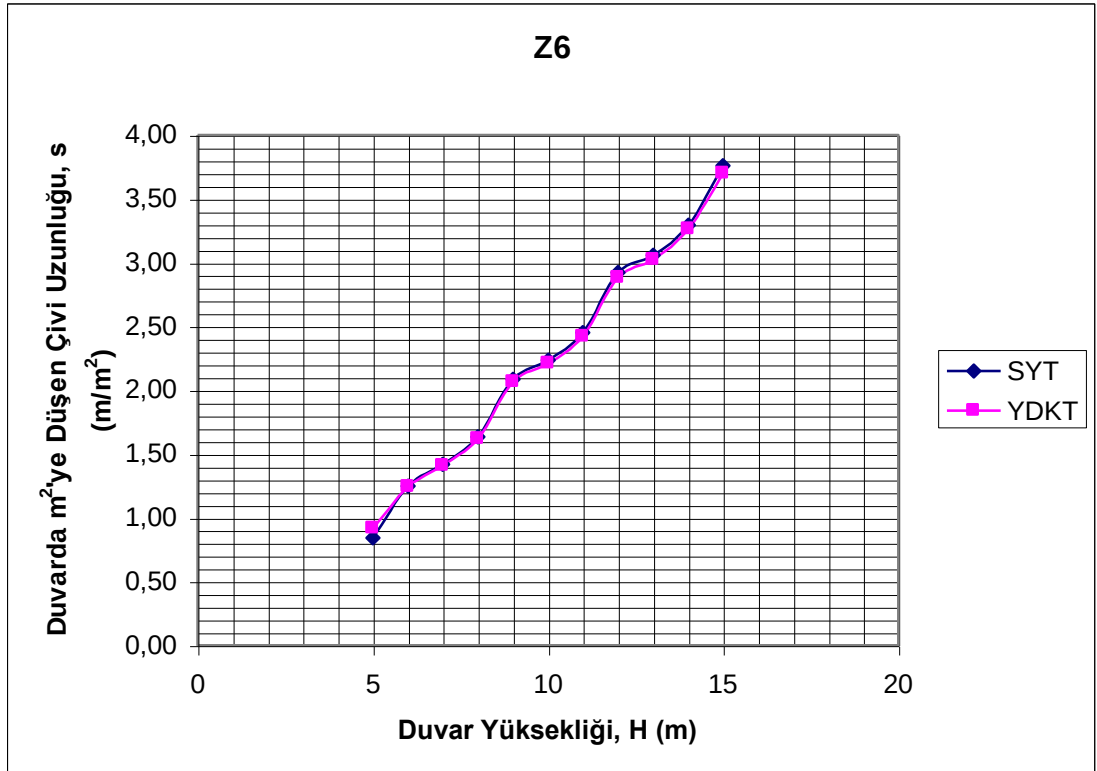
Şekil C.1 Z2 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği



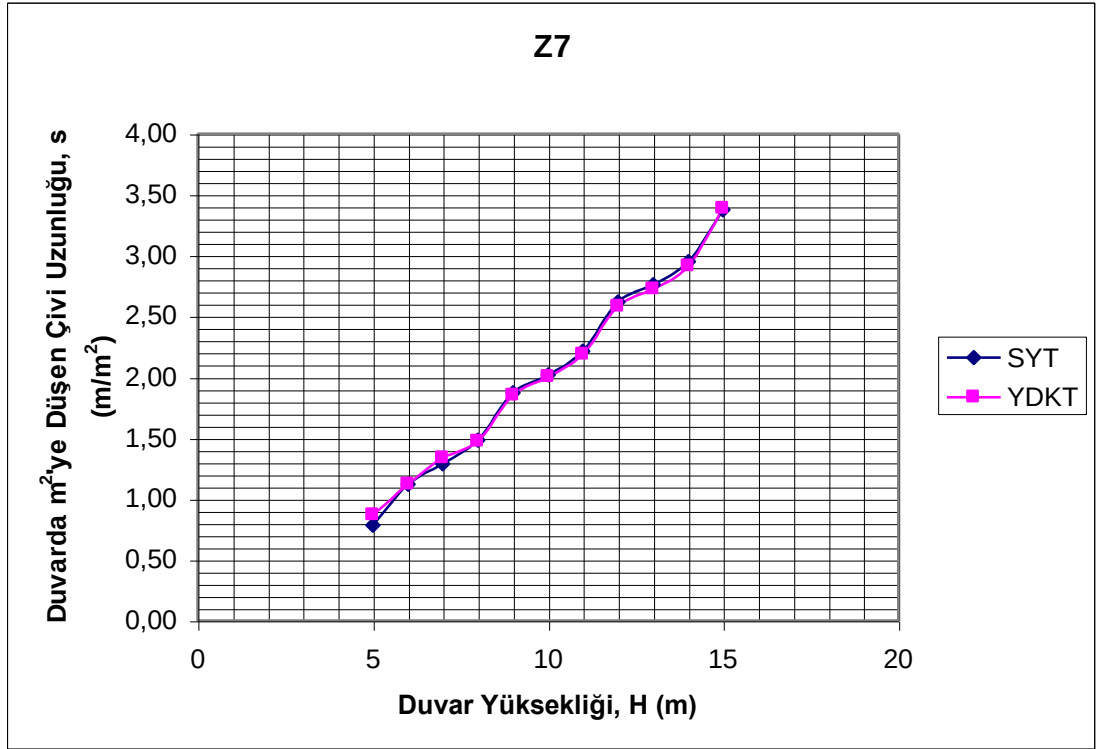
Şekil C.2 Z3 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği



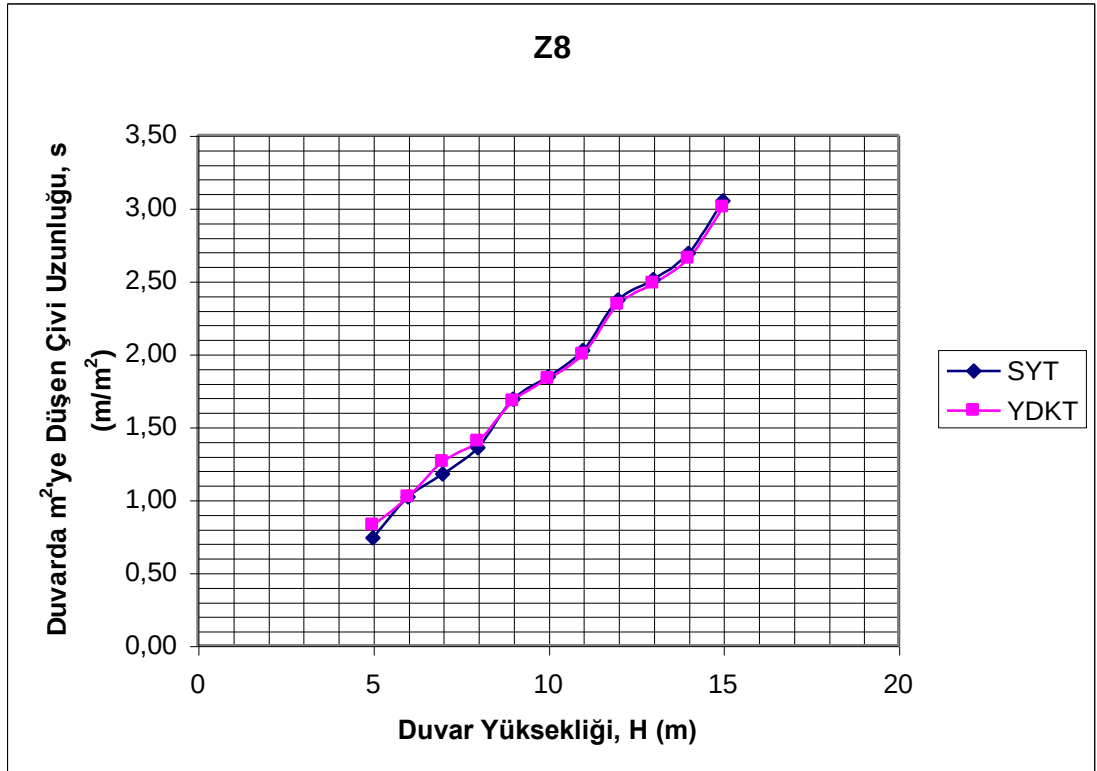
Şekil C.3 Z4 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği



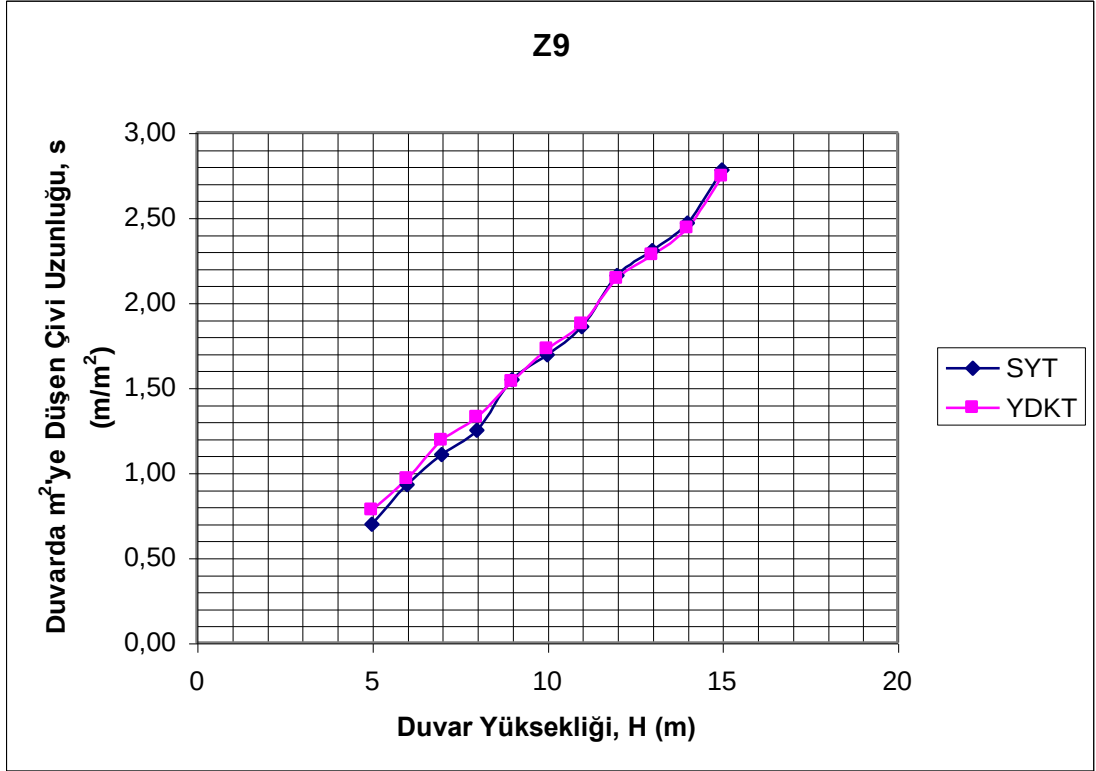
Şekil C.4 Z6 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği



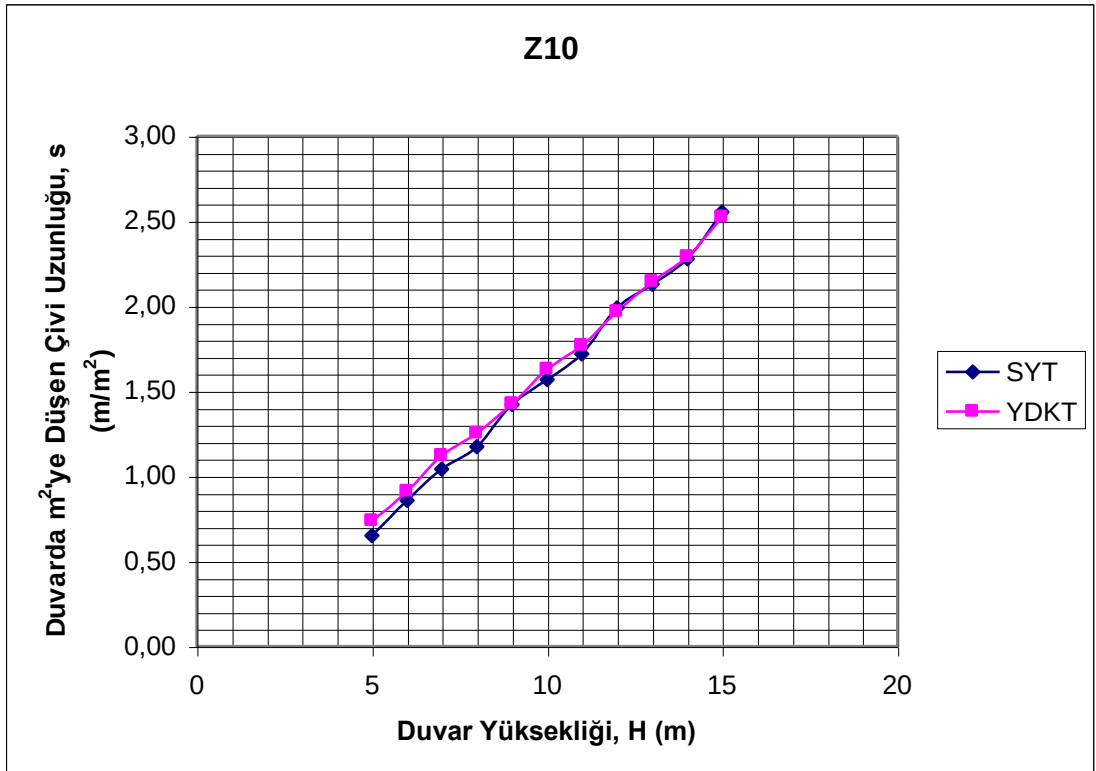
Şekil C.5 Z7 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği



Şekil C.6 Z8 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği



Şekil C.7 Z9 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği



Şekil C.8 Z10 için SYT ve YDKT'ye göre H-s grafiği

EK-D

ZEMİN ÇİVİLİ DUVAR TASARIMI ÖRNEKLERİ

SERVİS YÜKÜ TASARIMI (Z1-10m)

γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	H (m)	S _h (m)	S _v (m)	Q _u (kN/m)
18	30	5	10	1,5	1,5	80

Ön Tasarım Çivi Boyu Hesabı

ϕ_D (°)	23,2	$\phi_D = \tan^{-1}[\tan(\phi_u)/F]$ F = 1,35 (Global zemin güvenlik katsayısı)
$\tan(\phi_D)$	0,43	
c_D	0,021	$c_D = c_u/(F\gamma/H)$
T_D	0,38	1A kartından $T_D = \alpha_N T_{NN}/(\gamma H S_v S_H)$
T_{NN} (kN)	280	$\alpha_N =$ Çivi tendon mukavemet katsayısı
$(A_B)(mm^2)$	667	$A_n = T_{NN}/F_y$ $F_y = 0,42$ KN/m ²
$(A_B)(mm^2)$	819	Tablo 4.7'den Uygun donatı seçilir (No.32)
Q_D	0,99	$Q_D = \alpha_Q Q_u/(\gamma S_v S_H)$ $\alpha_Q = 0,5$ (Mukavemet katsayısı)
T_D/Q_D	0,39	
L/H	0,84	1B kartından
L (m)	8,41	(Ön tasarım çivi boyu)
L (m)	6,15	(Seçilen maksimum çivi boyu)

Kabul Edilebilir Çivi Başı Yükünün Hesaplanması

Kaplama Kalınlığı, h _C (mm)	Ezilme Plakası Genişliği, b _{PL} (mm)	f' _C (Mpa)	F _Y (Mpa)	Kaplama Eğilme Basınç Faktörü, C _F	Zımbalama Kesmesi Basınç Faktörü, C _S	Enjeksiyon Kolonu Çapı, D _{GC} (mm)	Hasır Donatı Alanı (mm ² /m)
150	250	30	420	1,5	2	150	221

A _{S-neg} (mm ²)	A _{S-poz} (mm ²)	D' _C (mm)	Zımbalama Kolonu Çapı, D _C (mm)	Zımbalama Kesme Kuvveti (kN)	Zımbalama Kolonu Alanı, A _C (mm ²)	Enjeksiyon Kolonu Alanı, A _{GC} (mm ²)	Kaplama Eğilme Kriteri (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (kN)
640	332	400	550	341	237583	17671	236	425

Kabul Edilebilir Çivi Başı Yüğü

Kaplama Eğilme Kriteri (YDKT) (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (YDKT) (kN)
158	285

$$(Eğilme) T_{FN} = C_F (m_{v-neg} + m_{v-poz}) \times 8 \times S_H \times S_V$$

$$m = A_S \times F_Y / b (d - A_S \times F_Y / (1,7f'_c))$$

$$(Zımbalama) T_{FN} = V_N (1 / [1 - C_S (A_C - A_{GC}) / (S_V \times S_H - A_{GC})])$$

$$V_N = 0,33 (f'_C) 1/2 p \times D'_C \times h_C$$

Kabul Edilebilir Çivi Başı Yüğü(Kritik Durum) = 158kN

Kabul Edilebilir Minimum Çivi Başı Servis Yüğü Kontrolü (SYT)

K_A	t_F (kN)
0,359	73

$$t_F = 73 \text{ kN} < 158 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Çivi Kuvvetlerinin Hesaplanması - Çivi Yerleşimi ve Boylarının Seçilmesi

$Q_D / (L / H)$	R	T_F	T_N	Q
1,17	0,25	158	189	40

Çivi Sırası	Kazı Derinliği (m)	Çivi Uzunluğu (m)	Kayma eğrisiyle kesişme noktası	Çivi Destek Kuvveti 1 (kN)	Çivi Destek Kuvveti 2 (kN)
1	1	6,2	3,0	126,0	
2	2,5	6,2	3,0	126,0	
3	4	6,2	3,0	126,0	
4	5,5	5,7	2,3		134,4
5	7	4,3	1,6		109,9
6	8,5	2,9	0,8		85,4
7	9,5	2,0	0,3		69,0
	10				

Toplam Çivi Boyu (Kesitte) (m)
33,3

Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)	Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)
252,0	265,8

Not: Çivi uzunlukları 15° eğik uzunluklardır.

Güvenlik Katsayısının Hesaplanması

$W =$	405
$K_A =$	0,333
$F_{EA} =$	46,1

$$FS_R = 1,20$$

Dış Stabilité Kontrolleri

K_A	P_{EA} (kN/m ²)	s_c	s_γ	i_c, i_γ	N_q	N_c	N_γ
0,333	54,2	1	1	1	18	30	22

B (m)
5,94

	Kuvvet (kN/m)	Moment Kolu (m)	Topuğa Göre Moment (kN-m/m)
$P_{EA} =$	245,0	3,33	-816,8
$W =$	1069,3	2,97	3176,0

$N =$	1069,3
$X_0 =$	2,2
$q_{maks} =$	242
$q_{ult} =$	1040
$q_{all} =$	416
$e = B/2 - X_0$	0,76
$B/6 =$	0,99

q_{maks}	<	q_{all}	OK!
------------	---	-----------	-----

Taşıma Gücü Kontrolü

e	<	$B/6$	OK!
-----	---	-------	-----

Eksantrisite Kontrolü

Üst Konsol Kontrolü

Kesme Kontrolü

v (kN/m)	3,23
V_{NS} (kN/m)	45,5
V (kN/m)	30,5

Eğilme Kontrolü

m_s (kN-m/m)	1,07
$m_{v,neg}$	12,81
M (kN-m/m)	8,58

$$M = \alpha_F \times m_{V,NEG}$$

$$\alpha_F = 0,67$$

v	<	V	OK!
-----	---	-----	-----

m_s	<	M	OK!
-------	---	-----	-----

YÜK ve DAYANIM KATSAYILARI TASARIMI (Z1-10m)

γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	H (m)	S _h (m)	S _v (m)	Q _u (kN/m)
18	30	5	10	1,5	1,5	80

Ön Tasarım Çivi Boyu Hesabı

ϕ_D (°)	23,4	$\phi_D = \tan^{-1}[\Phi_\phi \tan(\phi_u)]$
$\tan(\phi_D)$	0,43	$\Phi\phi = 0,9$ (Zemin sürtünme direnci katsayısı)
c_D	0,019	$c_D = \Phi_c c_u / (\Gamma_w \gamma H)$ $\Gamma_w = 1,35$
T_D	0,38	1A kartından $T_D = \Phi_N T_{NN} / (\Gamma_w \gamma H S_v S_H)$
T_{NN} (kN)	231	
(A_B) (mm ²)	550	$A_n = T_{NN} / F_y$ $F_y = 0,42$ kN/m ²
(A_B) (mm ²)	645	Tablo 4.7'den Uygun donatı seçilir (No.19)
Q_D	1,02	$Q_D = \Phi_Q Q_u / (\Gamma_w \gamma S_v S_H)$ $\Phi_N = 0,7$ (Dayanım katsayısı)
T_D / Q_D	0,37	
L/H	0,84	1B kartından
L (m)	8,37	(Ön tasarım çivi boyu)
L (m)	6,11	(Seçilen maksimum çivi boyu)

Çivi Başı Mukavemetinin Hesaplanması

Kaplama Kalınlığı, h _c (mm)	Ezilme Plakası Genişliği, b _{PL} (mm)	ϕ'_c (Mpa)	F _y (Mpa)	Kaplama Eğilme Basınç Faktörü, C _F	Zımbalama Kesmesi Basınç Faktörü, C _s	Enjeksiyon Kolonu Çapı, D _{GC} (mm)	Hasır Donatı Alanı (mm ² /m)
150	250	30	420	1,5	2	150	221

A _{S-neg} (mm ²)	A _{S-poz} (mm ²)	D' _c (mm)	Zımbalama Kolonu Çapı, D _C (mm)	Zımbalama Kesme Kuvveti (kN)	Zımbalama Kolonu Alanı, A _C (mm ²)	Enjeksiyon Kolonu Alanı, A _{GC} (mm ²)	Kaplama Eğilme Kriteri (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (kN)
640	332	400	550	341	237583	17671	236	425

Çivi Başı Mukavemeti (YDKT)

Kaplama Eğilme Kriteri (YDKT) (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (YDKT) (kN)
212	383

$$(Eğilme) T_{FN} = C_F (m_{v-neg} + m_{v-poz}) \times 8 \times S_H \times S_V$$

$$m = A_S \times F_y / b (d - A_S \times F_y / (1,7f'_c b))$$

$$(Zımbalama) T_{FN} = V_N (1 / [1 - C_S (A_C - A_{GC}) / (S_v \times S_H - A_{GC})])$$

$$V_N = 0,33 (f'_c)^{1/2} p \times D'_c \times h_c$$

Çivi Başı Mukavemeti (Kritik Durum) = 212kN

Minimum Çivi Başı Mukavemeti Kontrolü (YDKT)

K_A	$\Gamma_{EH} \times t_F$ (kN)
0,356	108

$\Gamma_{EH} = 1,5$ (Yatay Toprak Basıncı Yüğü Katsayısı)

$\Gamma_{EH} \times t_F =$	108kN	<	212kN	OK!
----------------------------	-------	---	-------	-----

Çivi Kuvvetlerinin Hesaplanması - Çivi Yerleşimi ve Boylarının Seçilmesi

$Q_D / (L / H)$	R	T_F	T_N	Q
1,22	0,24	212	244	56

Çivi Sırası	Kazı Derinliği (m)	Çivi Uzunluğu (m)	Kayma eğrisiyle keşişme noktası	Çivi Destek Kuvveti 1 (kN)	Çivi Destek Kuvveti 2 (kN)
1	1	6,1	3,0	174,2	
2	2,5	6,1	3,0	174,2	
3	4	6,1	3,0	174,2	
4	5,5	5,6	2,3		185,7
5	7	4,2	1,6		150,7
6	8,5	2,8	0,8		115,7
7	9,5	1,9	0,3		92,3
	10				

Toplam Çivi Boyu (Kesitte) (m)
33,0

Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)	Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)
348,3	363,0

Not: Çivi uzunlukları 15° eğik uzunluklardır.

Dayanım/Yük Oranının Hesaplanması

W =	405
$K_A =$	0,3
$F_{EA} =$	46,1

$FS_R = 1,00$

Dış Stabilité Kontrolleri

K_A	P_{EA} (kN/m ²)	s_c	s_γ	i_c, i_γ	N_q	N_C	N_γ
0,333	54,2	1	1	1	18	30	22

B (m)
5,90

	Kuvvet (kN/m)	Moment Kolu (m)	Topuğa Göre Moment (kN-m/m)	Eksantrisite için en kritik yüklemé	Kuvvet (kN/m)	Moment Kolu (m)	Topuğa Göre Moment (kN-m/m)
$P_{EA} =$	367,6	3,33	-1225,2	$P_{EA} =$	406,7	3,33	-1355,7
$W =$	1434,1	2,95	4232,0	$W =$	1062,3	2,95	3134,8

$N =$	1434,1
$X_0 =$	2,10
$q_{maks} =$	342,0
$q_{ult} =$	981
$\Phi_q q_{ult} =$	441

$N =$	1062,3
$X_0 =$	1,67
$e = B/2 - X_0$	1,28
$B/4 =$	1,48

q_{maks}	<	$\Phi_q q_{ult}$	OK!
------------	---	------------------	-----

Taşıma Gücü Kontrolü

e	<	$B/4$	OK!
-----	---	-------	-----

Eksantrisite Kontrolü

Üst Konsol Kontrolü

Kesme Kontrolü

v (kN/m)	3,20
$\Gamma_{EH} v$	4,8
V_{NS} (kN/m)	45,5
V (kN/m)	40,9

Eğilme Kontrolü

m_s (kN-m/m)	1,06
$\Gamma_{EH} m_s =$	1,6
$m_{v,neg}$	12,81
M (kN-m/m)	11,53

$$\Gamma_{EH} = 1,5$$

$$M = \alpha_F \times m_{v,NEG}$$

$$\alpha_F = 0,67$$

$\Gamma_{EH} v$	<	V	OK!
-----------------	---	-----	-----

$\Gamma_{EH} m_s$	<	M	OK!
-------------------	---	-----	-----

SERVİS YÜKÜ TASARIMI (Z7-15m)

γ (kN/m³)	ϕ (°)	c (kN/m²)	H (m)	S _h (m)	S _v (m)	Q _u (kN/m)
19	32	5	15	1,5	1,5	90

Ön Tasarım Çivi Boyu Hesabı

ϕ_D (°)	24,8	$\phi_D = \tan^{-1}[\tan(\phi_u)/F]$ F = 1,35 (Global zemin güvenlik katsayısı)
$\tan(\phi_D)$	0,46	
c_D	0,013	$c_D = c_u/(F\gamma/H)$
T_D	0,36	1A kartından $T_D = \alpha_N T_{NN}/(\gamma H S_v S_H)$
T_{NN} (kN)	421	$\alpha_N =$ Çivi tendon mukavemet katsayısı
(A_B) (mm²)	1002	$A_n = T_{NN}/F_y$ $F_y = 0,42$ KN/m²
(A_B) (mm²)	1006	Tablo 4.7'den Uygun donatı seçilir (No.36)
Q_D	1,05	$Q_D = \alpha_Q Q_u/(\gamma S_v S_H)$ $\alpha_Q = 0,5$ (Mukavemet katsayısı)
T_D/Q_D	0,34	
L/H	0,81	1B kartından
L (m)	12,16	(Ön tasarım çivi boyu)
L (m)	9,60	(Seçilen maksimum çivi boyu)

Kabul Edilebilir Çivi Başı Yükünün Hesaplanması

Kaplama Kalınlığı, h _c (mm)	Ezilme Plakası Genişliği, b _{PL} (mm)	f' _c (Mpa)	F _y (Mpa)	Kaplama Eğilme Basınç Faktörü, C _F	Zımbalama Kesmesi Basınç Faktörü, C _s	Enjeksiyon Kolonu Çapı, D _{GC} (mm)	Hasır Donatı Alanı (mm²/m)
150	250	30	420	1,5	2	150	221

A _{S-neg} (mm²)	A _{S-poz} (mm²)	D' _c (mm)	Zımbalama Kolonu Çapı, D _c (mm)	Zımbalama Kesme Kuvveti (kN)	Zımbalama Kolonu Alanı, A _c (mm²)	Enjeksiyon Kolonu Alanı, A _{GC} (mm²)	Kaplama Eğilme Kriteri (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (kN)
640	332	400	550	341	237583	17671	236	425

Kabul Edilebilir Çivi Başı Yüğü

Kaplama Eğilme Kriteri (YDKT) (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (YDKT) (kN)
158	285

$$(Eğilme) T_{FN} = C_F (m_{v-neg} + m_{v-poz}) \times 8 \times S_H \times S_V$$

$$m = A_S \times F_y / (d - A_S \times F_y / (1,7f'_c b))$$

$$(Zımbalama) T_{FN} = V_N (1 / [1 - C_s (A_c - A_{GC}) / (S_v \times S_H - A_{GC})])$$

$$V_N = 0,33 (f'_c)^{1/2} p \times D'_c \times h_c$$

Kabul Edilebilir Çivi Başı Yüğü(Kritik Durum) = **158kN**

Kabul Edilebilir Minimum Çivi Baş Servis Yüğü Kontrolü (SYT)

K_A	t_F (kN)
0,334	107

$$t_F = 107 \text{ kN} < 158 \text{ kN} \quad \text{OK!}$$

Çivi Kuvvetlerinin Hesaplanması - Çivi Yerleşimi ve Boylarının Seçilmesi

$Q_D / (L / H)$	R	T_F	T_N	Q
1,30	0,22	158	232	45

Çivi Sırası	Kazı Derinliği (m)	Çivi Uzunluğu (m)	Kayma eğrisiyle kesişme noktası	Çivi Destek Kuvveti 1 (kN)	Çivi Destek Kuvveti 2 (kN)
1	1	9,6	4,5	229,5	
2	2,5	9,6	4,5	229,5	
3	4	9,6	4,5	229,5	
4	5,5	9,6	4,5	229,5	
5	7	9,6	4,1	232,4	
6	8,5	8,6	3,4		232,4
7	10	7,1	2,6		203,1
8	11,5	5,6	1,8		170,4
9	13	4,1	1,0		137,8
10	14,5	2,6	0,3		105,1
	15				

Toplam Çivi Boyu (Kesitte) (m)
76,0

Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)	Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)
766,9	565,9

Not: Çivi uzunlukları 15° eğik uzunluklardır.

Güvenlik Katsayısının Hesaplanması

W =	961,875
K_A =	0,307
F_{EA} =	122,6

$$FS_R = 1,20$$

Dış Stabilité Kontrolleri

K_A	P_{EA} (kN/m ²)	s_c	s_γ	i_c, i_γ	N_q	N_c	N_γ
0,307	82,0	1	1	1	23	35	30

B (m)
9,27

	Kuvvet (kN/m)	Moment Kolu (m)	Topuğa Göre Moment (kN-m/m)
$P_{EA} =$	576,3	5,00	-2881,3
$W =$	2642,8	4,64	12253,1

$N =$	2642,8
$X_0 =$	3,5
$q_{maks} =$	373
$q_{ult} =$	2213
$q_{all} =$	885
$e = B/2 - X_0$	1,09
$B/6 =$	1,55

q_{maks}	<	q_{all}	OK!
------------	---	-----------	-----

Taşıma Gücü Kontrolü

e	<	$B/6$	OK!
-----	---	-------	-----

Eksantrisite Kontrolü

Üst Konsol Kontrolü

Kesme Kontrolü

v (kN/m)	3,17
V_{NS} (kN/m)	45,5
V (kN/m)	30,5

Eğilme Kontrolü

m_s (kN-m/m)	1,05
$m_{v,neg}$	12,81
M (kN-m/m)	8,58

$$M = \alpha_F \times m_{v,NEG}$$

$$\alpha_F = 0,67$$

v	<	V	OK!
-----	---	-----	-----

m_s	<	M	OK!
-------	---	-----	-----

YÜK ve DAYANIM KATSAYILARI TASARIMI (Z7-15m)

γ (kN/m ³)	ϕ (°)	c (kN/m ²)	H (m)	S _h (m)	S _v (m)	Q _u (kN/m)
19	32	5	15	1,5	1,5	90

Ön Tasarım Çivi Boyu Hesabı

ϕ_D (°)	25,1	$\phi_D = \tan^{-1}[\Phi_\phi \tan(\phi_u)]$	$c_D = \Phi_c c_u / (\Gamma_w \gamma H)$	$\Gamma_w = 1,35$
$\tan(\phi_D)$	0,47			
c_D	0,012	1A kartından	$T_D = \Phi_N T_{NN} / (\Gamma_w \gamma H S_v S_H)$	$T_D = 0,35$
T_D	0,35			
T_{NN} (kN)	340	$A_n = T_{NN} / F_y$	$F_y = 0,42 \text{ KN/m}^2$	Tablo 4.7'den Uygun donatı seçilir (No.32)
(A_B) (mm ²)	809			
(A_B) (mm ²)	819	$Q_D = \Phi_Q Q_u / (\Gamma_w \gamma S_v S_H)$	$\Phi_N = 0,7$ (Dayanım katsayısı)	1B kartından
Q_D	1,09			
T_D / Q_D	0,32	1B kartından	(Ön tasarım çivi boyu)	(Seçilen maksimum çivi boyu)
L / H	0,80			
L (m)	12,05			
L (m)	9,67			

Çivi Başı Mukavemetinin Hesaplanması

Kaplama Kalınlığı, h _c (mm)	Ezilme Plakası Genişliği, b _{PL} (mm)	f' _c (Mpa)	F _y (Mpa)	Kaplama Eğilme Basınç Faktörü, C _F	Zımbalama Kesmesi Basınç Faktörü, C _S	Enjeksiyon Kolonu Çapı, D _{GC} (mm)	Hasır Donatı Alanı (mm ² /m)
150	250	30	420	1,5	2	150	221

A _{S-neg} (mm ²)	A _{S-poz} (mm ²)	D' _c (mm)	Zımbalama Kolonu Çapı, D _c (mm)	Zımbalama Kesme Kuvveti (kN)	Zımbalama Kolonu Alanı, A _c (mm ²)	Enjeksiyon Kolonu Alanı, A _{GC} (mm ²)	Kaplama Eğilme Kriteri (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (kN)
640	332	400	550	341	237583	17671	236	425

Çivi Başı Mukavemeti (YDKT)

Kaplama Eğilme Kriteri (YDKT) (kN)	Zımbalama Kesmesi Kriteri (YDKT) (kN)
212	383

$$(Eğilme) T_{FN} = C_F (m_{v-neg} + m_{v-poz}) \times 8 \times S_H \times S_V$$

$$m = A_S \times F_y / b (d - A_S \times F_y / (1,7f'_c b))$$

$$(Zımbalama) T_{FN} = V_N (1 / [1 - C_S (A_c - A_{GC}) / (S_v \times S_H - A_{GC})])$$

$$V_N = 0,33 (f'_c)^{1/2} p \times D'_c \times h_c$$

Çivi Başı Mukavemeti (Kritik Durum) = 212kN

Minimum Çivi Başı Mukavemeti Kontrolü (YDKT)

K_A	$\Gamma_{EH} \times t_F$ (kN)
0,331	159

$\Gamma_{EH} = 1,5$ (Yatay Toprak Basıncı Yüğü Katsayısı)

$\Gamma_{EH} \times t_F =$	159kN	<	212kN	OK!
----------------------------	-------	---	-------	-----

Çivi Kuvvetlerinin Hesaplanması - Çivi Yerleşimi ve Boylarının Seçilmesi

$Q_D / (L / H)$	R	T_F	T_N	Q
1,36	0,20	212	310	63

Çivi Sırası	Kazı Derinliği (m)	Çivi Uzunluğu (m)	Kayma eğrisiyle kesişme noktası	Çivi Destek Kuvveti 1 (kN)	Çivi Destek Kuvveti 2 (kN)
1	1	9,7	4,5	309,6	
2	2,5	9,7	4,5	309,6	
3	4	9,7	4,5	309,6	
4	5,5	9,7	4,5	309,6	
5	7	9,7	4,1	309,6	
6	8,5	8,6	3,4		309,6
7	10	7,1	2,6		284,7
8	11,5	5,6	1,8		236,5
9	13	4,0	1,0		188,4
10	14,5	2,5	0,3		140,2
	15				

Toplam Çivi Boyu (Kesitte) (m)
76,2

Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)	Toplam Çivi Kuvveti (Kesitte) (kN/m)
1031,9	772,9

Not: Çivi uzunlukları 15° eğik uzunluklardır.

Dayanım/Yük Oranının Hesaplanması

$W =$	961,875
$K_A =$	0,3
$F_{EA} =$	122,6

$FS_R = 1,00$

Dış Stabilité Kontrolleri

K_A	P_{EA} (kN/m ²)	s_c	s_γ	i_c, i_γ	N_q	N_C	N_γ
0,307	82,0	1	1	1	23	35	30

B (m)
9,34

	Kuvvet (kN/m)	Moment Kolu (m)	Topuğa Göre Moment (kN-m/m)	Eksantrisite için en kritik yükleme	Kuvvet (kN/m)	Moment Kolu (m)	Topuğa Göre Moment (kN-m/m)
$P_{EA} =$	864,4	5,00	-4321,9	$P_{EA} =$	922,8	5,00	-4613,9
$W =$	3593,8	4,67	16783,8	$W =$	2662,0	4,67	12432,4

$N =$	3593,8
$X_0 =$	3,47
$q_{maks} =$	518,2
$q_{ult} =$	2150
$\Phi_q q_{ult} =$	968

$N =$	2662,0
$X_0 =$	2,94
$e = B/2 - X_0$	1,73
$B/4 =$	2,34

q_{maks}	<	$\Phi_q q_{ult}$	OK!
------------	---	------------------	-----

Taşıma Gücü Kontrolü

e	<	$B/4$	OK!
-----	---	-------	-----

Eksantrisite Kontrolü

Üst Konsol Kontrolü

Kesme Kontrolü

v (kN/m)	3,14
$\Gamma_{EH} v$	4,7
V_{NS} (kN/m)	45,5
V (kN/m)	40,9

Eğilme Kontrolü

m_s (kN-m/m)	1,04
$\Gamma_{EH} m_s =$	1,6
$m_{v,neg}$	12,81
M (kN-m/m)	11,53

$$\Gamma_{EH} = 1,5$$

$$M = \alpha_F \times m_{v,NEG}$$

$$\alpha_F = 0,67$$

$\Gamma_{EH} v$	<	V	OK!
-----------------	---	-----	-----

$\Gamma_{EH} m_s$	<	M	OK!
-------------------	---	-----	-----

ÖZGEÇMİŞ

Aslı Senem Açikel, 1979 yılında İzmir, Bornova’da doğmuştur. 1993 yılında Bursa Fen Lisesi’ne başlamıştır. 1997 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimine başlamış ve 2002 yılında tamamlayıp aynı yıl İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programına girmeye hak kazanarak yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.