

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİNİN
ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Faruk SEFİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİNİN
ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Faruk SEFİ
(501111323)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Aykut ŞENOL

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501111323 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Faruk SEFİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİNİN ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA ÜZERİNE ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Aykut ŞENOL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Aykut ŞENOL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. İsmail Hakkı AKSOY
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Saadet Arzu BERİLGİN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **28 Mayıs 2014**

Babam Mevlüt SEFİ

ve

Annem İfakat SEFİ'ye

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca beni teşvik eden ve yönlendiren, bilgi ve tecrübesinden her zaman yararlandığım, tez danışmanım, Sn. Doç.Dr. Aykut ŞENOL'a; engin bilgi ve tecrübesi ile tez konusunun şekillendirilmesini sağlayan değerli hocam Sn. Prof.Dr. M.Mete İNCECİK'e; tez içeriğini oluşturan yarı-top-down inşaat yöntemi hakkında şantiye bilgilerini bizimle paylaşan ve bu tez çalışmasında beni yürekten destekleyen TUNA YAPI Cephe Sist. San. Tic. Ltd. Şti. ailesinden Proje Koordinatörü Sn. Yük.Mimar Korhan İREN'e; mesleki gelişimimde büyük katkısı bulunan TEMELKON Mühendislik İnşaat Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. ailesine ve şirket sahibi Sn. Yük.İnş.Müh. Habil KIYMET'e; mesleki gelişimime öncülük eden, mesleki birikimleri ile beni donatan değerli Abim Sn. İnş.Müh. Doğu DİLEK'e; bana verdiği fikirler ile bundan sonraki meslek hayatıma katkı sağlayacak Sn. İnş.Müh. Nazif YÖNER'e; bugünlere gelmemi sağlayan değerli Babam Mevlüt SEFİ, değerli Annem İfakat SEFİ ve kardeşim Oktay SEFİ'ye saygılarımı sunar ve en içten dileklerle teşekkür ederim.

Mayıs 2014

Faruk SEFİ

Jeoloji Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
SEMBOL LİSTESİ	xxiii
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. İKSA PERDELERİNE GELEN YANAL TOPRAK BASINÇLARI	3
2.1 Genel Kavramlar	3
2.2 Yanal Toprak Basıncı Katsayısı	5
2.1.1 Yanal toprak basıncı katsayısının arazi deneyleri ile belirlenmesi	5
2.1.2 Yanal toprak basıncı katsayısının ampirik bağıntılar ile belirlenmesi	6
2.3 Sukünetteki Yanal Toprak Basıncı	6
2.4 Aktif Yanal Toprak Basıncı	7
2.5 Pasif Yanal Toprak Basıncı	8
2.6 Yanal Toprak Basıncı Teorileri	9
2.6.1 Rankine Teorisi (1857)	9
2.6.1.1 Rankine aktif yanal toprak basıncı	10
2.6.1.2 Rankine pasif yanal toprak basıncı	12
2.6.1.3 Genel durumlar	15
2.6.2 Coulomb Teorisi (1776)	18
2.6.2.1 Coulomb aktif yanal toprak basıncı	18
2.6.2.2 Coulomb pasif yanal toprak basıncı	20
2.7 Sürüş Etkisi	21
2.8 Suyun Etkisi	22
2.9 Tabakalı Zemin Durumu	23
2.10 Çok Sıralı Destek Sistemlerinde Yanal Toprak Basıncı Dağılımları	23
2.10.1 Terzaghi ve Peck görünür yanal toprak basıncı dağılımı	25
2.10.2 Tschebotarioff görünür yanal toprak basıncı dağılımı	25
3. DERİN TEMEL KAZILARINDA İKSA ELEMANLARI	27
3.1 Düşey İksa Elemanları	27
3.1.1 Kazıklı perde	27
3.1.1.1 Genel	27
3.1.1.2 İmalat esasları	28
3.1.2 Diyafram perde	33
3.1.2.1 Genel	33
3.1.2.2 İmalat esasları	34
3.1.3 Palplanş perde	43
3.1.3.1 Genel	43
3.1.3.2 İmalat esasları	43
3.1.4 Betonarme kuyu perde	47

3.1.4.1 Genel	47
3.1.4.2 İmalat esasları	48
3.1.5 Aç-kapa (kademeli) betonarme perde	51
3.1.5.1 Genel	51
3.1.5.2 İmalat esasları	52
3.1.6 Püskürtme betonlu kaplama	54
3.1.6.1 Genel	54
3.1.6.2 İmalat esasları	54
3.2 Yatay Destek Elemanları	56
3.2.1 Zemin ankrajları	56
3.2.1.1 Genel	56
3.2.1.2 Ankraj kısımları	57
3.2.1.3 Ankrajların sınıflandırılması	59
3.2.1.4 Ankraj malzemeleri	62
3.2.1.5 Ankraj imalat esasları	64
3.2.1.6 Ankraj tasarım esasları	69
3.2.1.7 Ankraj testleri	79
3.2.1.8 Ankraj yenilme şekilleri	86
3.2.2 Zemin çivisi	89
3.2.2.1 Genel	89
3.2.2.2 İmalat esasları	89
3.2.2.3 Tasarım esasları	92
3.2.3 Boru Destek	92
3.2.3.1 Genel	92
3.2.3.2 İmalat esasları	93
3.2.3.3 Tasarım esasları	94
4. TEMEL KAZISINDA İKSA SİSTEMİNİN ALETSEL GÖZLENMESİ	95
4.1 Çatlak Ölçer (Crackmeter)	95
4.2 Eklem Ölçer (Jointmeter)	96
4.3 Deformasyon Ölçer (Strain-gage)	97
4.4 Yük Hücresi (Load Cell) ve Basınç Hücresi (Pressure Cell)	98
4.5 Ekstansometre (Extensometer)	99
4.6 Piyezometre (Piezometer)	101
4.7 Reflektör (Reflector)	103
4.8 Tiltmetre (Tiltmeter)	104
4.9 İnklinometre (Inclinometer)	105
5. DERİN TEMEL KAZI YÖNTEMLERİ	109
5.1 Serbest Şevli Kazı (Sloped Open Cut)	109
5.2 Ankastre Mesnetlenmiş Perde ile Desteklenmiş Kazı	111
5.3 Boru Destekli Perdeli Kazı (Braced Excavation)	111
5.4 Öngermeli Ankrajlı Perde ile Desteklenmiş Kazı (Anchored Excavation)	113
5.5 Zemin Çivili Kaplama ile Desteklenmiş Kazı (Soil Nailed Excavation)	114
5.6 Bölgesel Kazı (Zoned Excavation)	116
5.7 Ada Kazısı (Island Excavation)	117
5.8 Top-Down İnşaat Yöntemi ile Kazı (Top-down Construction)	119
5.9 Yarı-Top-Down İnşaat Yöntemi ile Kazı (Semi-top-down Construction)	121
6. YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİ İLE DERİN TEMEL KAZISI	123
6.1 Giriş	123
6.2 Yarı-top-down İnşaat Yöntemi ile Kazı Aşamaları	124

7. YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİNİN ÇOK SIRA AKRAJLI İKSA ÜZERİNE ETKİLERİ	145
7.1 Giriş	145
7.2 Zemin/Kaya Parametrelerinin Belirlenmesi	146
7.3 İksa Üzerine Gelecek Yanal Yüklerin Belirlenmesi	147
7.4 Ankraj Tasarımı	149
7.4.1. Alan yöntemi ile ankraj yüklerinin belirlenmesi	149
7.4.2. Ankraj serbest boylarının belirlenmesi	152
7.4.3. Ankraj kök boylarının belirlenmesi	152
7.4.4. Ankraj tendon sayılarının belirlenmesi	154
7.4.5. Ankraj kilit yükünün belirlenmesi	154
7.4.6. Perde gömülü boyunun belirlenmesi	154
7.4.7. Ankraj tasarımı hesap özeti	155
7.5 Plaxis Programında Tanımlanan Yapısal Elemanların Özellikleri	156
7.6 Yarı-top-down İnşaat Yönteminin Çok Sıra Ankrajlı İksaya Etkisi	158
7.6.1 Ortamda oluşan deformasyonların kıyaslanması	159
7.6.2 Perdede oluşan yatay hareketlerin kıyaslanması	162
7.6.3 Perdede oluşan düşey hareketlerin kıyaslanması	165
7.6.4 Perdede oluşan momentin ve kesme kuvvetlerinin kıyaslanması	169
7.6.5 Ortamda oluşan plastik noktaların kıyaslanması	171
7.6.6 Ankraj kök bölgelerinde oluşan eksenel gerilmelerin kıyaslanması	173
7.6.7 Genel kayma tahkiki güvenlik sayılarının kıyaslanması	175
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	177
KAYNAKLAR	183
EKLER	185
ÖZGEÇMİŞ	195

KISALTMALAR

BY	: Ankraj testi başlangıç yükü
cm	: Santimetre
CPT	: Koni penetrasyon deneyi
dk	: Dakika
DY	: Ankraj dizayn yükü
FHWA	: Federal Highway Administration
FS	: Güvenlik sayısı
g	: Gram
GS	: Güvenlik sayısı
kg	: Kilo gram
kN	: Kilo Newton
kPa	: Kilo Pascal
LL	: Likit limit (W_L)
m	: Metre
maks	: Maksimum
min	: Minimum
mm	: Milimetre
MPa	: Mega Pascal
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
P	: Birincil kazık imalatı (primer)
Ph	: Hidrojen gücü
PI	: Plastisite indisi (I_p)
PMT	: Pressiyometre testi
PVC	: Polivinil klorür
S	: İkincil kazık imalatı (sekonder)
SPT	: Standard penetrasyon deneyi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Aktif yanal toprak basıncı için gerekli perde yer değiştirme miktarları.	8
Çizelge 2.2 : Pasif yanal toprak basıncı için gerekli perde yer değiştirme miktarları.	9
Çizelge 3.1 : SPT değerleri ile tahmini zemin-enjeksiyon aderansı.....	74
Çizelge 3.2 : Çeşitli kaya tipleri için tahmini kaya-enjeksiyon aderansı.....	75
Çizelge 3.3 : Öngermeli çelik donatı çubuklarının özellikleri.....	79
Çizelge 3.4 : 15-mm. çaplı öngermeli sarmal tel halatlarının özellikleri	79
Çizelge 3.5 : Performans testi aşamaları.....	80
Çizelge 3.6 : Kanıt testi uygulama aşamaları	82
Çizelge 3.7 : Sünme testi uygulama aşamaları	84
Çizelge 5.1 : Çeşitli zemin/kaya ortamları için izin verilebilir şev açısı	110
Çizelge 7.1 : Trakya formasyonuna ait grovak ve diğer kaya türlerine ait mühendislik parametreleri.....	146
Çizelge 7.2 : Tasarımlarda kullanılmak üzere seçilen kaya parametreleri	147
Çizelge 7.3 : Bazı kayaçlar için ankraj kök sürtünme dirençleri	153
Çizelge 7.4 : 0.6" lik öngermeli sarmal ankraj halatının özellikleri	154
Çizelge 7.5 : Ankraj hesap sonuçları özeti	155
Çizelge 7.6 : Plaxis 8.2'de tanımlanan yapısal elemanların özellikleri	157
Çizelge 7.7 : İksa perdesinde izin verilebilir yanal deplasman miktarı.....	162
Çizelge 7.8 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde oluşan perde yatay hareketi	163
Çizelge 7.9 : Kazı ortamında izin verilebilir düşey deplasman miktarı	166
Çizelge 7.10 : Model-1 ve Model-2'de her kazı kademesinde oluşan perde düşey deplasman miktarı	166
Çizelge 7.11 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde perdede oluşan moment değerleri.....	169
Çizelge 7.12 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde perdeye etkiyen kesme kuvvetleri.....	170
Çizelge 7.13 : Model-1 için her kademe de ankraj köklerinde oluşan eksenel kuvvet	173
Çizelge 7.14 : Model-2 için her kademe de ankraj köklerinde oluşan eksenel kuvvet	173
Çizelge 7.15 : Her iki model için ankraj köklerinde oluşan maks. eksenel kuvvetler	174
Çizelge 7.16 : İki modelin her kazı kademesine ait toptan kayma güvenlik sayıları	175

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Destek yapısının hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı durumları ..4	4
Şekil 2.2 : Perdenin hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı4	4
Şekil 2.3 : Sukünetteki yanal toprak basıncı6	6
Şekil 2.4 : Perde üzerine etkiyen yanal toprak, su ve sürşarj basınç diyagramı7	7
Şekil 2.5 : Aktif durumda perdenin dönme ve kayma hareketleri7	7
Şekil 2.6 : Pasif durumda perde hareketi8	8
Şekil 2.7 : Sukünet halinde asal gerilmeler10	10
Şekil 2.8 : Rankine aktif durumu Mohr dairesi üzerinde gösterimi10	10
Şekil 2.9 : Kohezyonlu zeminde Rankine aktif yanal toprak basıncı diyagramı11	11
Şekil 2.10 : Rankine aktif durumda oluşan kayma yüzeyleri12	12
Şekil 2.11 : Rankine aktif durumda sürtünmesiz perdenin dönmesi12	12
Şekil 2.12 : Rankine pasif durumu Mohr dairesi üzerinde gösterimi13	13
Şekil 2.13 : Rankine pasif yanal toprak basıncı diyagramı13	13
Şekil 2.14 : Rankine pasif durumda oluşan kayma yüzeyleri14	14
Şekil 2.15 : Rankine pasif durumda sürtünmesiz perdenin dönmesi14	14
Şekil 2.16 : Rankine Teorisi ile özel durumlar15	15
Şekil 2.17 : Rankine itkileri yeri ve yönü16	16
Şekil 2.18 : Eğimli granüler zeminde dik perde üzerine düşen aktif yanal itki18	18
Şekil 2.19 : Coulomb aktif yanal toprak İtkisi19	19
Şekil 2.20 : Eğimli zemin yüzeyinde Coulomb aktif yanal toprak İtkisi20	20
Şekil 2.21 : Coulomb pasif yanal toprak itkisi21	21
Şekil 2.22 : Üniform sürşarj yükünde perdeye gelen yanal basınç21	21
Şekil 2.23 : Su yükü altında perdeye gelen yanal basınç22	22
Şekil 2.24 : Tabakalı zemin şartlarında oluşan yanal toprak basıncı23	23
Şekil 2.25 : Çok destekli perdede yanal basınç dağılımı24	24
Şekil 2.26 : Çok destekli perdede dizayn yanal toprak basıncı dağılımı24	24
Şekil 2.27 : Terzaghi – Peck görünür yanal toprak basıncı zarfı (Peck, 1967)25	25
Şekil 2.28 : Tschebotarioff görünür yanal toprak basıncı zarfı26	26
Şekil 3.1 : Kazık makinesi28	28
Şekil 3.2 : Önceden hazırlanmış, projesine uygun donatı kafesleri29	29
Şekil 3.3 : Betonlama öncesi askıda bekletilen donatı kafesi29	29
Şekil 3.4 : Tiremi boruları ile yapılan kazık betonlaması30	30
Şekil 3.5 : Kazık başlık filizi ve kazık başlık kirişi imalatı30	30
Şekil 3.6 : Fore-kazıklı perde31	31
Şekil 3.7 : Mini-kazıklı perde31	31
Şekil 3.8 : Aralıklı dizilime sahip kazıklı perde32	32
Şekil 3.9 : Teğet kazıklı perde ve imalat sıralaması32	32
Şekil 3.10 : Kesişen kazıklı perde ve imalat sıralaması33	33
Şekil 3.11 : Kılavuz perdesi35	35
Şekil 3.12 : Diyafram perdeye ait kılavuz perde35	35
Şekil 3.13 : Kelly kontrollü ve halat kontrollü diyafram kuyu kazı makineler36	36
Şekil 3.14 : Diyafram kuyusu kazıcı tipleri.37	37

Şekil 3.15 : Çift çeneli kazıcıda ters dolaşım sistemi	38
Şekil 3.16 : Desender ünitesi ve bentonit bulamacı dolaşımı	38
Şekil 3.17 : Birbirini takip eden panel imalatı	40
Şekil 3.18 : Birincil/İkincil Panel İmalatı	40
Şekil 3.19 : Stop-end boruları ile panellerin bağlantısı	41
Şekil 3.20 : Diyafram perde paneline ait donatı kafesi montajı	42
Şekil 3.21 : Diyafram perde	42
Şekil 3.22 : Ahşap palplanş tipleri	44
Şekil 3.23 : Prefabrik betonarme palplanş tipleri	44
Şekil 3.24 : Kesit şekillerine göre çelik palplanşlar	45
Şekil 3.25 : Çelik palplanşların bağlantı noktaları	46
Şekil 3.26 : Çalışma biçimine göre palplanş perdeler	46
Şekil 3.27 : Ankrajlı palplanş perde	47
Şekil 3.28 : Kazı sahası sınırında komşu yapı varlığı	48
Şekil 3.29 : Kazı sırasında kuyu stabilitesi için kullanılan ahşap destekler	49
Şekil 3.30 : Betonlaması bitmiş kuyu perde ve kazısı bitmiş komşu kuyu	50
Şekil 3.31 : Ankrajlı ve destekli betonarme kuyu perde	51
Şekil 3.32 : Yarım kalan kuyu perdenin, aç-kapa perde ile tamamlanması	52
Şekil 3.33 : Aç-kapa betonarme perde kalıbı	53
Şekil 3.34 : Ankrajlı aç-kapa betonarme perde	53
Şekil 3.35 : Püskürtme beton uygulaması	55
Şekil 3.36 : Zemin çivili püskürtme betonlu kaplama	56
Şekil 3.37 : Zemin ankrajı bileşenleri	57
Şekil 3.38 : Ankraj kafası bileşenleri	58
Şekil 3.39 : Tavsiye edilen ankraj kafası toleransları	58
Şekil 3.40 : İmalat tekniklerine göre ankraj tipleri	60
Şekil 3.41 : Öngermeli sarmal tel halat demeti üzerinde merkezleyici ve aralayıcı	63
Şekil 3.42 : Betonarme perdelerde ankraj öncesi karot delgisi	64
Şekil 3.43 : Öngermeli sarmal halat kesimi	65
Şekil 3.44 : Öngermeli sarmal halatın uygun geometride birleştirilmesi	66
Şekil 3.45 : Serbest boyun kaplama borusu ile kaplanması	66
Şekil 3.46 : Serbest boy ve kök boy arasındaki izolasyon	66
Şekil 3.47 : Ankraj demetine enjeksiyon hortumu montajı	67
Şekil 3.48 : Ankraj tendonun delgi içerisine yerleştirilmesi	67
Şekil 3.49 : Enjeksiyonu tamamlanmış ankrajlar	68
Şekil 3.50 : Ankraj tendonlarının germe makinesine yerleştirilmesi	68
Şekil 3.51 : Alan ve mafsal metodları ile ankraj yüklerinin belirlenmesi	70
Şekil 3.52 : Pratik olarak potansiyel kayma yüzeyinin belirlenmesi	72
Şekil 3.53 : Ankraj serbest boyunun kayma yüzeyi gerisine ötelenmesi	73
Şekil 3.54 : Ankraj kök bölgesi gerilme mekanizması	75
Şekil 3.55 : Performans test verilerinin çizimi	81
Şekil 3.56 : Performans testinde elastik ve residüel hareketlerin çizimi	82
Şekil 3.57 : Kanıt testinde elastik ve residüel hareketlerin çizimi	83
Şekil 3.58 : Sünme testinde elde edilen verilerin çizimi	84
Şekil 3.59 : Ankraj yenilme şekilleri	86
Şekil 3.60 : Zemin çivili iksa perdesi en kesidi	89
Şekil 3.61 : Zemin çivili iksa perdesi en kesidi - detay	90
Şekil 3.62 : Geçici kaplama sonrası tek bir zemin çivisine ait görünüm	91
Şekil 3.63 : Zemin çivisinde oluşan aksenal gerilme mekanizması	92
Şekil 3.64 : Boru desteklerin dayandığı kuşak kirişi	93

Şekil 3.65 : Boru desteklere kuşak üzerinde yüzey oluşturacak çelik plaka	93
Şekil 3.66 : Önyüklemeli boru destek düzeneği	94
Şekil 4.1 : Çatlak ölçer (Crackmeter)	96
Şekil 4.2 : Eklem ölçer (Jointmeter)	97
Şekil 4.3 : Donatı kafesine kaynaklanmış bir deformasyon ölçer	97
Şekil 4.4 : Zemin ankrajına yerleştirilmiş bir yük hücresi	98
Şekil 4.5 : a) Direkt Basınç Hücresi b) Dolaylı Basınç Hücresi	99
Şekil 4.6 : Çubuk ekstansometre bileşenleri	99
Şekil 4.7 : Manyetik ekstansometre bileşenleri	100
Şekil 4.8 : Açık standpipe piyezometre	102
Şekil 4.9 : Pinematik piyezometre	102
Şekil 4.10 : Elektronik piyezometre	103
Şekil 4.11 : İksa perdesi üzerine yerleştirilmiş sabit reflektör bantları	104
Şekil 4.12 : Düşey doğrultuda yerleştirilmiş tiltmetre sistemi	105
Şekil 4.13 : Yatay doğrultuda yerleştirilmiş tiltmetre sistemi	105
Şekil 4.14 : İnklinometre muh. boruları ve kesit üzerinde soket izleri	106
Şekil 4.15 : İnklinometre probu	107
Şekil 4.16 : İnklinometre muhafaza borusu konumu ve ölçüm doğrultuları	107
Şekil 4.17 : Yanal hareketin inklinometre ile ölçülme prensibi	108
Şekil 4.18 : İksa perdesi içine inklinometre muhafaza borusu yerleştirilmesi	108
Şekil 5.1 : Şevli kazı tekniği ile temel çukuru kazısı	110
Şekil 5.2 : Ankastre mesnetlenmiş perde ile desteklenmiş temel çukuru kazısı	111
Şekil 5.3 : Boru destekli perdeli kazı yöntemi ile yapılan temel çukuru kazısı	111
Şekil 5.4 : Destekli perdeli kazı yönteminde kullanılan elemanlar	112
Şekil 5.5 : Öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı yöntemine bir örnek.	113
Şekil 5.6 : Öngermeli ankrajlı kazı yöntemi aşamaları	114
Şekil 5.7 : Zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı yöntemine bir örnek	115
Şekil 5.8 : Zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı yöntemi aşamaları	116
Şekil 5.9 : Bir kazı sahası planı ve perde uzunluğuna bağlı deformasyon	117
Şekil 5.10 : Uzun perde önündeki kazılacak zeminin planlanması	117
Şekil 5.11 : Çok sıra destekler ile yapılan ada kazısı	118
Şekil 5.12 : Ada kazı yöntemi ile yapılan temel çukuru kazısına bir örnek	119
Şekil 5.13 : Top-down inşaat yöntemi ile temel çukuru kazısı	120
Şekil 5.14 : Top-down inşaat yöntemi ile kat kazısı	121
Şekil 5.15 : Yarı-top-down inşaat yöntemi ile kat kazısı	121
Şekil 5.16 : Yarı-top-down inşaat yöntemi kullanılacak temsili kazı sahası planı ..	122
Şekil 6.1 : Yarı-top-down inşaatında iksa perdesinin imalatı	124
Şekil 6.2 : Yarı-top-down inşaatında kullanılan aralıklı dizilime sahip kazıklı perdenin kat içinden görünümü	125
Şekil 6.3 : İlk kademe ankrajları yapılamamış ve “Yarı-top-down” yöntemine geçilmiş cephe	125
Şekil 6.4 : “Yarı-top-down” kazıklarının sağlam tabakaya soketlenmesi	126
Şekil 6.5 : “Yarı-top-down” inşaat yöntemi kullanılacak bölgede kazıkların imal edilmesi	127
Şekil 6.6 : “Yarı-top-down” kazıklarında karşılaşılabilecek imalat problemleri ...	127
Şekil 6.7 : “Yarı-top-down” döşeme imalatı öncesi kazı yüzeyi tesviyesi	128
Şekil 6.8 : “Yarı-top-down” zemin kat döşeme imalatı öncesi perdenin izolasyon malzemesi ile kaplanması	129
Şekil 6.9 : Sonradan imal edilecek anayapı kolon ve perdelerine ait manşonlu donatılar için kum havuzu	130

Şekil 6.10 : Kum havuzlarında korunmuş manşonlu donatının alt kademe kazı sonrası görünümü	130
Şekil 6.11 : Kalıcı kazık-döşeme bağlantı noktaları ve anayapı manşonlu donatılarının “yarı-top-down” yöntemi sırasında hazırlanmasını belirten kesit	131
Şekil 6.12 : Yarı-top-down döşemeleri öncesi grobeton altlık	131
Şekil 6.13 : “Yarı-top-down döşemesi” ile “grobeton altlığı” ayıran izolasyon malzemesi	132
Şekil 6.14 : “Yarı-top-down zemin kat döşeme” donatılarının bağlanması	132
Şekil 6.15 : “Yarı-top-down” zemin kat döşemesinin betonlanması	133
Şekil 6.16 : “Yarı-top-down 1.bodrum kat kazısı”nın yapılması.	133
Şekil 6.17 : Yarı-top-down 1.bodrum kat kazısı	134
Şekil 6.18 : Yarı-top-down 2.kademe ankrajları	135
Şekil 6.19 : Kat içerisinde ikinci kademe ankrajlarının yapılması	135
Şekil 6.20 : “Yarı-top-down kazıkları” ile “döşeme” bağlantısını sağlayacak donatılar için kazıkta delgi	136
Şekil 6.21 : “Yarı-top-down kazıkları” ile döşeme bağlantısını sağlayacak donatıların epoksi ile kazığa yerleştirilmesi	136
Şekil 6.22 : “Yarı-top-down kazıkları” ile “döşeme” bağlantısını sağlayacak donatıların test edilmesi	137
Şekil 6.23 : “Yarı-top-down 1.bodrum kat döşemesi” öncesi micir kullanarak zemin tesviyesi	137
Şekil 6.24 : “Yarı-top-down 1.bodrum kat kazısı”nda iksa perdesi izolasyonunun sürdürülmesi	138
Şekil 6.25 : “Yarı-top-down 1.Bodrum kat döşemesi” imalatı öncesinde, sonradan imal edilecek anayapı kolon ve perdelerine ait manşonlu donatılar için derin kum havuzu	139
Şekil 6.26 : “Yarı-top-down” 1.Bodrum kat döşemesi imalatı öncesinde grobeton döşeme altlığı ve izolasyon kaplama	139
Şekil 6.27 : “Yarı-top-down 1.Bodrum kat döşemesine” ait donatıların bağlanması, döşeme ile kazıkların birleştirilmesi	140
Şekil 6.28 : “Yarı-top-down” 1.Bodrum kat döşeme imalatının tamamlanması	141
Şekil 6.29 : Yarı-top-down yöntemi ile temel seviyesine inilmiş bir inşaat çukuru	142
Şekil 6.30 : Yarı-top-down kalıcı kazıklarının mantolama ile kolon oluşu	143
Şekil 6.31 : “Yarı-top-down döşemeleri”ndeki manşonlu donatı filizlerinin birleştirilerek anayapı perdesi haline getirilmesi	143
Şekil 7.1 : Tasarımlarda kullanılacak iksa perdesi üzerine gelen yükler	148
Şekil 7.2 : Kum için Terzaghi – Peck görünür yanıl toprak basınç zarfı.	148
Şekil 7.3 : Hesaplanan toplam yanıl basınç	149
Şekil 7.4 : Alan yöntemi için basınç diyagramı dönüşümü	150
Şekil 7.5 : Alan yöntemi ile ankraj yatay yüklerinin belirlenmesi	151
Şekil 7.6 : Plaxis 8.2’de çok sıra ankrajlı iksayı temsil eden model / Model-1	156
Şekil 7.7 : Yarı-top-down inşaat yöntemi ile desteklenmiş çok sıra ankrajlı iksaya ait kesit (Plaxis 8.2’de girişı yapılan diğler model / Model-2)	158
Şekil 7.8 : İki durum için Plaxis 8.2’de yapılan modellemeler	159
Şekil 7.9 : İki durum için oluşın deformasyon ağı	160
Şekil 7.10 : İki durum için oluşın toplam deformasyonlar	161
Şekil 7.11 : Model-1 ve Model-2’de kazı kademelerinde oluşın perde yatay hareketi	163

Şekil 7.12 : İki model için ortamda oluşan yatay deplasmanlar	164
Şekil 7.13 : İki modelde nihayi kazı kotunda perdede oluşan yatay deplasmanlar	165
Şekil 7.14 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde oluşan perde düşey deplasman miktarı	167
Şekil 7.15 : İki modelde nihayi kazı kotunda perdede oluşan düşey deplasmanlar	167
Şekil 7.16 : İki model için ortamda oluşan düşey deplasmanlar	168
Şekil 7.17 : İki modelde nihayi kazı kademesinde perdede oluşan moment değeri	170
Şekil 7.18 : İki modelde nihayi kazı kademesinde perdede oluşan kesme kuvveti	171
Şekil 7.19 : İki modelde son kazı kademesi için ortamda oluşan plastik noktalar	172
Şekil 7.20 : İki model için ankraj köklerinde oluşan maks. eksenel kuvvetler	174
Şekil 7.21 : İki modelin kazı kademelerine ait toptan kayma güvenlik sayıları	175
Şekil 7.22 : İki durumun son kazı kademesi için toptan kayma tahkiki	176
Şekil 8.1 : Model-1 ve Model-2 kazı kademelerinde oluşan perde yatay hareketi	179
Şekil 8.2 : Model-1 ve Model-2’de her kazı kademeleri sonunda perdede oluşan düşey deplasman miktarları	179
Şekil 8.3 : Model-2 son kazı kademesinde ortamda oluşan plastik noktalar	180
Şekil 8.4 : İki model için ankraj köklerinde oluşan maks. eksenel kuvvetler	181
Şekil 8.5 : İki modelin kazı kademelerine ait toptan kayma güvenlik sayıları	181
Şekil A.1 : Model-1 için son kazı kademesinde ankrajlardaki eksenel gerilmeler	187
Şekil B.1 : Model-2 için son kazı kademesinde ankrajlardaki eksenel gerilmeler	191

SEMBOL LİSTESİ

p_a :	Aktif toprak basıncı
p_o :	Sukunetteki toprak basıncı
p_p :	Pasif toprak basıncı
σ_z' :	Düşey efektif gerilme
σ_h' :	Yatay efektif gerilme
K :	Yanal toprak basıncı katsayısı
K_0 :	Sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısı
K_a :	Aktif yanal toprak basıncı katsayısı
K_p :	Pasif yanal toprak basıncı katsayısı
γ' :	Zemin efektif birim hacim ağırlığı
z :	derinlik
H :	Kazı derinliği
q_t :	Sondanın zemine penetrasyonu sırasında gördüğü toplam direnci
σ_z :	Düşey gerilme
K_D :	yatak gerilme indisi
θ' :	Efektif kayma mukavemeti açısı
σ_a :	Rankine aktif toprak basıncı
γ :	Zemin birim hacim ağırlığı
σ_p :	Rankine pasif toprak basıncı
c' :	Kohezyon
σ_o' :	Düşey efektif gerilme
θ :	Perdenin zeminle temas yüzünün eğimi
α :	Zemin yüzeyinin eğimi
β :	Toprak basıncının perdeye etki açısı
P_a :	Toplam aktif toprak itkisi
P_p :	Toplam pasif toprak itkisi
$K_{a(R)}$:	Rankine aktif toprak basıncı katsayısı
$K_{p(R)}$:	Rankine pasif toprak basıncı katsayısı
η :	Kayma yüzeyi açısı
W :	Zemin kaması ağırlığı
R :	Reaksiyon kuvveti
P :	Toplam yanal toprak itkisi
δ :	Duvar sürtünme açısı
q_s :	Sürşarj gerilmesi
γ_n :	Zemin doğal birim hacim ağırlığı
γ_a :	Zemin batık birim hacim ağırlığı
S_u :	Kilin drenajsız kayma mukavemetini (c_u)
m :	Güvenlik faktörü
T_n :	n'inci sıra ankrajına ait yatay yükü
T_h :	Toplam yatay ankraj yükü
i :	Ankrajın yatayla yaptığı açı
α :	Kayma düzlemi açısı
T :	Zemin/kaya-enjeksiyon yüzeyindeki sıyrılma direnci

$\emptyset$:	Kayma mukavemeti açısı
T_f :	Ankraj kök bölgesi yük taşıma kapasitesi
L_k :	Kök bölgesi uzunluğu
D :	Kök bölgesi enjeksiyon çapı
N' :	Efektif gerilme ve ankraj çapı gibi değerlere bağlı bir sabit
p' :	Enjeksiyon basıncı
Π :	P_i
a :	Adezyon faktörü
δ_t :	Okunan toplam hareket miktarı
δ_r :	Kalıcı/residüel hareket miktarı
δ_e :	Elastik hareket miktarı
L_a :	Görünür serbest boy
E_s :	Öngermeli sarmal halatın elastisite modülü
A_t :	Öngermeli sarmal halatların toplam kesit alanı
P :	Maksimum test yükü ile başlangıç yükü farkıdır
L_{amin} :	Minimum görünür serbest boy
L_{ger} :	Ankraj germe boyu
L_s :	Ankraj serbest boyu
L_{amaks} :	Maksimum görünür serbest boy
L_e :	Serbest boyun yapabileceği maksimum elastik uzama miktarı
T_{max} :	Maksimum gerilme
E :	Elastisite modülü
ψ :	Dilatasyon açısı
μ :	Poisson oranı
$P_{sürşarj}$:	Sürşarj yükünden gelen yanal basınç
$P_{toplaml}$:	Perdeye gelen toplam yanal basınç
S_v :	Ankrajlar arası düşey mesafe
S_h :	Ankrajlar arası yatay mesafe
p' :	Alan yönteminde oluşan basınç genliği
DY_{max} :	Maksimum dizayn yükü
Y_{kilit} :	Ankraj kilit yükü
$H_{göm}$:	Perdenin gömülü boyu
L :	Toplam ankraj boyu
d :	Kalınlık
E :	Elastisite modülü
I :	Atalet momenti
EI :	Rijitlik modülü
EA :	Ağırlık modülü
w :	Yapısal elemanın bir metresinin ağırlığıdır
δ :	Perdede izin verilen maksimum yanal deplasman miktarı
S :	Perdede izin verilen maksimum düşey deplasman miktarı

YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİNİN ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Derin temel kazılarının, günümüzde yaygınlaşması ve öneminin artması ile birlikte kazı sırasında karşılaşılan zorluklara yönelik yeni yaklaşımlar da üretilmektedir.

Kazı esnasında toprak, su ve sürşarj yükü etkileri ile oluşacak yanal basınç, kazı sınırlarında oluşturulacak destek yapıları ile karşılanmalıdır. Kazı güvenliğini sağlamak için kazı sınırlarında kullanılan destek (iksa) elemanları, düşey ve yatay elemanlar olarak sınıflandırılabilir. Düşey destek elemanları; kazıklı perde, diyafram perde, palplanş perde, betonarme kuyu perde, aç-kapa (kademeli) betonarme perde ve püskürtme betonlu kaplamadır. Düşey destek elemanlarına gerekli durumlarda yatay destek elemanları da eşlik edebilir. Yatay destek elemanları; zemin ankrajı, zemin çivisi ve boru desteklerdir.

Çeşitli düşey ve yatay destek elemanları çeşitli proje şartlarına göre pek çok derin temel kazı yönteminde tercih edilebilir. Bu temel kazı yöntemleri; serbest şevli kazı, ankastre mesnetlenmiş perde ile desteklenmiş kazı, boru destekli perdeli kazı, öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı, zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı, bölgesel kazı, ada kazısı, top-down inşaat yöntemi ile kazı, yarı-top-down inşaat yöntemi ile kazı.

Yarı-top-down inşaat yönteminde, kazı sahasının çeşitli noktalarında üretilen yarı-top-down kazıklarına ilgili kotlarda anayapı döşemesi bağlanır ve alt kademe kazısına geçilir. Bu şekilde temel seviyesine kadar anayapı yukarıdan aşağıya doğru imal edilir. Anayapı yukarıdan aşağıya doğru imal edilirken, anayapı döşemeleri iksa perdesine dayanarak yanal destek görevi görür.

Bu tez çalışmasında, 25 metrelik temsili bir temel kazısı “alan yöntemi” ile “çok sıra ankrajlı” iksa olarak çözülmüştür. Daha sonra bu iksa “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile desteklenmiştir. Bu iki durum Plaxis 8.2 programında modellenmiştir. Bu şekilde, yarı-top-down inşaat yönteminin çok sıra ankrajlı iksa üzerine etkileri incelenmiştir.

Buna göre, çok sıra ankrajlı iksanın yarı-top-down inşaat yöntemi ile desteklenmesi ile; ortamda oluşan toplam deformasyonlar azalmaktadır, iksa perdesi yatay hareketi ortalama % 19.81 oranında iyileşmektedir, iksa perdesi düşey hareketi ilk kazı kademelerinde artmakta fakat daha sonra azalmaktadır, iksa perdesi üzerine gelen moment ortalama olarak % 59.25 oranında artmaktadır, iksa perdesi üzerine gelen kesme kuvveti ise % 42.95 oranında artmaktadır, ankraj kök bölgesinde bulunan plastik noktalar ortadan kalkmakta ve bu noktalar yarı-top-down kazıklarının kayaya soketli kısmına kaymaktadır, her bir ankraj kademesinde ortalama % 8.74'lük ankraj yükü kazancı oluşmaktadır, 25 metrelik temsili bir temel kazısı için toplam yük kazancının 210.84 kN/m olduğu hesaplanmıştır. Ayrıca, 25 metrelik temsili bir temel

kazısında, “yarı-top-down inşaat yöntemi”nin toptan kayma stabilite güvenlik sayısını ortalama olarak % 21.07 oranında arttırdığı belirlenmiştir.

THE EFFECTS OF SEMI-TOP-DOWN CONSTRUCTION

METHOD ON ANCHORED WALL SYSTEM

SUMMARY

Nowadays, with the becoming widespread of the deep foundation, new techniques have been developed for the problems faced during the excavation.

During the excavation, the lateral pressure due to soil, water and distributed load will cause a lateral movement toward the excavation field. So, this lateral pressure should be supported by retaining structures.

To calculate the active or passive lateral earth pressures affecting on retaining structures, Rankine and Coulomb theories, which are based on the plasticity equilibrium on the potential failure surface of the soil, are used. In these two theories, the soil shows lateral movement until the soil collapses along the potential failure surface of the soil.

Terzaghi-Peck (1967) and Peck (1969) have developed empirical lateral earth pressure diagrams for each soil types to calculate lateral earth pressures affecting on the braced retaining structures. These empirical lateral earth pressure diagrams supply benefits to easily calculate the loads on each lateral support structures. These empirical lateral earth pressure diagrams have trapezoidal and rectangle shapes and are valid for the excavations with the depth of more than 6 meters. Also, it is accepted that the water level is located under the excavation level and the sand has drained conditions and the clay has no excess pore pressure.

The retaining structures used in deep foundation excavations for supplying the safety of excavation can be classified into 2 groups, as vertical and horizontal structures.

Vertical structures are walls and these are; the bored pile walls, diaphragm wall, sheet pile walls, caisson wall, staged wall and reinforced shotcrete facing.

Vertical structures can be used with horizontal structures if it is necessary.

Horizontal structures are; soil anchors, soil nails ve braces.

The bored pile walls are produced around the excavation field before the excavation starts. The diameter of the bored piles range between 10 and 200 centimeters. With the properties of high rigidity and low deformation capacity, the bored piles are used as permanent and temporary retaining structures.

The diaphragm walls, which have been developed in Italy in 1950s, are the most rigid elements in retaining structures and they are widely used nowadays. With the rigidity structural properties, diaphragm walls can carry high lateral earth pressure. Also, they are used as cut-off wall in the excavation field in where the water level is high. Moreover, the diaphragm walls can be used as a structure of the main construction after the excavation phase because of its continuous structural body.

The sheet pile walls have firstly used in the U.S.A. in 1900s. The each sheet piles are driven into the soil and they are connected from the contact points of each sheet piles during the driving process resumes. The low capacity of the resisting against lateral earth pressure, the sheet piles are used for excavation with low depth or they are used with anchored system to support lateral earth pressure. Also, they are used as cut-off wall like the diaphragm walls in the excavation field in where the water level is high.

The caisson wall are produced inside the caissons which are excavated around the excavation region by man force. If there is a sensitive neighbour building in the limit of the excavation region, the bored pile wall and the diaphragm wall machine can not be used because of the limited working area. In these conditions, the man made caissons, which can be produced in the limited areas, is used to build the caisson wall to support the lateral earth pressure during the excavation.

The staged walls are another vertical structure to support the lateral earth pressure. In the usage of the bored pile walls, the diaphragm wall, the sheet pile walls, and the caisson wall, the excavation starts after the production of these retaining walls. But, in the usage of the staged walls, the excavation can be resumed in company with the partly production of the staged walls. These walls can be useful if the soil or rock can not be bored because of the high stiffness.

The reinforced shotcrete facing is another retaining structure type that supports the lateral earth pressure. The reinforced shotcrete facing is used like the staged walls in company with the excavation. The shotcrete is applied to the steel mesh reinforcement which is located on the face of excavation side. Most commonly, this type of the wall is used with soil nails which are lateral support systems. The reinforced shotcrete facing support system has low capacity of supporting lateral earth pressure and has high deformation properties so reinforced shotcrete facing support system is not suggested for deep foundation excavations. Generally, the reinforced shotcrete facing is used for supporting lateral earth pressure in railway and highway excavations.

The soil anchors are horizontal structures to support lateral earth pressure. If the excavation depth is high then the vertical retaining systems are not sufficient to support the lateral earth pressure, so the need of horizontal retaining structures increases in such conditions. The soil anchors supply resistance against lateral earth pressure by the friction between anchor bond and the soil/rock media beyond the critical failure surface. The friction force, produced in the anchor bond, between anchor bond and the soil/rock is carried to the vertical retaining wall by the free-length of the anchor system.

The soil nails are another horizontal retaining structures used with vertical retaining structures. The soil nails can be used with retaining walls but most commonly they are used with the reinforced shotcrete facing in shallow excavations or in railway and highway excavations. While the soil starts to move laterally, the soil nails, which are placed horizontally into the soil, resist against the soil movement by the tensile force of the nails.

Braces are used inside the excavation field and they do not have contact with soil or rock media. They are retained the vertical supporting walls from the field side and if the soil body moves through the excavation side the braces resist by the compression strength of its material type.

According to the selection of the vertical and horizontal structures and according to the project conditions, there are several excavation techniques used in deep foundation excavations. These techniques are; sloped open cut, cantilevered open cut, braced excavation, anchored excavation, soil nailed excavation, zoned excavation, island excavation, excavation with top-down construction, excavation with semi-top-down construction.

In excavation with semi-top-down construction, several semi-top-down piles are produced in the excavation field and the floors of the main building are connected to these piles in the project elevations. After the connection of the semi-top-down piles and the floor of the main building, the soil under this floor is excavated. By following these steps, the construction is processed from top to down until reaching the base floor elevation. During the semi-top-down construction, the floors can brace to the vertical retaining structure.

In this study, an imaginary 25-meter-excavation is supported by anchored wall. The anchored wall is designed by using “tributary area method”. After that, the anchored wall is supported by the existence of the semi-top-down construction. These two conditions are modelled in Plaxis 8.2 software and the effects of the semi-top-down construction on anchored wall is examined.

According to this, the support of the semi-top-down construction to anchored wall supplied an decrease in the total deformation of soil media; an averagely % 19.81 percent decrease in lateral displacement of the retaining wall; an increase in vertical displacement of the retaining wall for the first excavation stages and then a decrease in vertical displacement of the retaining wall for the last excavation stages; an averagely % 59.25 percent increase in bending moments of the retaining wall; an averagely % 42.95 percent increase in shear forces of the retaining wall; the plastic points in the anchor bond zone are disappeared and the plastic points are replaced in the region of semi-top-down pile embedded parts; an averagely % 8.74 percent decrease in anchor design load for each anchor stages and this is a 210.84 kN/m design load benefit in a 25-meter-excavation. Moreover, for an imaginary 25-meter-excavation, the support of the semi-top-down construction to anchored wall supplied an averagely % 21.07 percent increase in the safety factor of overall deep-seated failure.

1. GİRİŞ

Günümüzde büyük şehirlerdeki yoğun yapılaşma sonucunda, yeni yapılacak yapılar için arsa yetersizliği oluşmaktadır. Bu durum, ekonomik yönden mevcut arsaların aşırı değerlendirilmesine yol açmaktadır. Hal böyle iken, yapılaşmada alternatif alanların kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Bunun sonucunda yüksek katlı binaların temelleri, alışveriş merkezlerinin temelleri, otoparklar, metro istasyonları gibi birçok yapı yeraltında inşa edilmektedir. Dolayısı ile derin temel kazıları ve iksa sistemleri günümüzde önemli bir aktör olmaya başlamıştır.

İhtiyaçlara göre, gün geçtikçe sayıları artan temel kazısı projeleri ile birlikte yeni teknikler de çeşitli sorunlara çözüm olarak geliştirilmektedir. Bu tez çalışmasında, iksa sistemlerine destek olarak hizmet eden yarı-top-down inşaat yöntemi incelenmiştir.

Tezin 2.Bölümü'nde, iksa perdesine gelen yanal toprak basıncı, yanal su etkisi ve yanal sürüş etkisi açıklanmıştır. Yanal toprak basınçları kavram olarak tanıtılmış, Coulomb ve Rankine Teorileri ile aktarılmıştır. Çok sıra destekli sistemler için Terzaghi ve Peck görünür yanal toprak basıncı dağılımı ve Tschobotarioff görünür yanal toprak basıncı dağılımı verilmiştir.

Tezin 3.Bölümü'nde, derin temel kazılarında kullanılan iksa elemanları düşey elemanlar ve yatay elemanlar olarak tanıtılmıştır. Düşey elemanlar olarak tanıtılan iksa perde türleri şunlardır; kazıklı perde, diyafram perde, palplanş perde, betonarme kuyu perde, aç-kapa (kademeli) betonarme perde ve püskürtme betonlu kaplama. Yatay elemanlar olarak tanıtılan iksa elemanları ise şunlardır; zemin ankrajları, zemin çivisi ve boru destekler.

Tezin 4.Bölümü'nde, derin temel kazılarında kullanılan iksa elemanlarının takibinde yer alan gözlem yöntemleri ve araçları anlatılmıştır. Zemin, iksa ve komşu yapıdaki hareket, basınç ve deformasyon değişimlerini gözlemlemek için kullanılan aletler şunlardır; çatlak ölçer, eklem ölçer, deformasyon ölçer, yük ve basınç hücreleri, ekstansometre, piyezometre, reflektör, tiltmetre ve inklinometre.

Tezin 5.Bölümü'nde, derin temel kazıları için kullanılan kazı yöntemleri açıklanmıştır. Bu yöntemler şunlardır; serbest şevli kazı, ankastre mesnetlenmiş perde ile desteklenmiş kazı, boru destekli perdeli kazı, öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı, zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı, bölgesel kazı, ada kazısı, top-down inşaat yöntemi ile kazı, yarı-top-down inşaat yöntemi ile kazı.

Tezin 6.Bölümü'nde, bu tezin özel konusu olan yarı-top-down inşaat yöntemi ile derin temel kazısı, inşaat aşamaları ile tanıtılmıştır.

Tezin 7.Bölümü'nde, 25 metrelik temsili bir temel kazısı “alan yöntemi” ile “çok sıra ankrajlı” iksa olarak çözülmüştür. Daha sonra bu iksa “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile desteklenmiştir. Bu iki durum Plaxis 8.2 programında modellenmiş ve bu şekilde, yarı-top-down inşaat yönteminin çok sıra ankrajlı iksa üzerine etkileri incelenmiştir.

2. İKSA PERDELERİNE GELEN YANAL TOPRAK BASINÇLARI

2.1. Genel Kavramlar

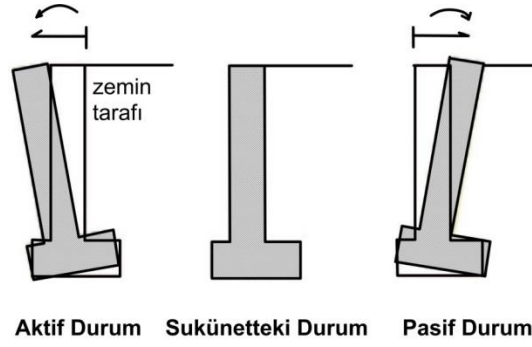
Zeminin kazılması ile zeminde mevcut statik denge bozulmaktadır. Bu durumda zemin kazı bölgesine doğru hareket etmek ister. Bu hareketi engellemek üzere imal edilen istinad perdeleri üzerinde yanal toprak basıncı oluşur.

Temel çukuru için yapılan derin kazılarda, en önemli konulardan biri “yanal toprak basıncı”dır. Temel kazısının güvenli bir şekilde sürdürülebilmesi için, yanal hareketleri engelleyen iksa yapıları (destek yapıları) tasarlanır. Bu yapıların projelendirilmesi, izin verilen deformasyon şartlarına göre yanal toprak basıncının belirlenmesi ile yapılır.

Zeminin, dayanma yapısı ile temas yüzeyinde oluşturduğu basınçlar durumlarına göre; “aktif yanal toprak basıncı”, “sukünetteki yanal toprak basıncı” ve “pasif yanal toprak basıncı” olarak adlandırılır [1].

- Harekete geçmiş olan zemin, duvara dayanınca istinad yapısı kazı çukuruna doğru hareket eder. Duvarın yüzeyinde oluşan basınç, “aktif yanal toprak basıncı” (p_a) denir.
- Zemin kütlesi sukünette iken istinad yapısı yüzünde bulunan basınç, “sukünetteki yanal toprak basıncı”dır (p_0). Toprak basıncının sukünette olduğu durumda perdenin hareket etmediği kabul edilir.
- İstinad duvarının zemine doğru yaptığı hareket sonucunda, zemin direnç gösterir ve “pasif yanal toprak basıncı” (p_p) sisteme etki eder.

Duvarın hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı durumları Şekil 2.1’de belirtilmiştir.



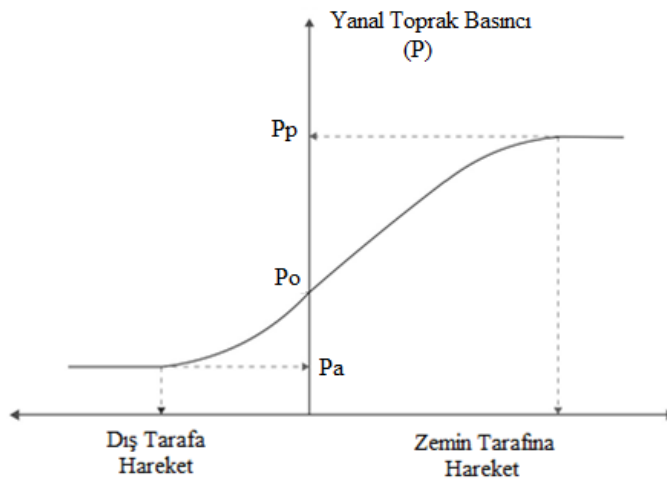
Şekil 2.1 : Destek yapısının hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı durumları.

İstinad perdesi, zemin tarafından kazı çukuruna doğru hareket ederken aktif durum oluşur. Bu durum oluşurken, perde üzerine etkiyen yanal toprak basıncı düşüşe geçer. Düşmekte olan basınç değeri bir noktada minimum değeri bularak sabitlenir. Bu minimum değer, aktif yanal toprak basıncıdır (p_a).

İstinad perdesinin, zemin tarafına doğru hareket ettiğinde ise pasif durum oluşur. Bu durumda; perde üzerine etkiyen yanal toprak basıncı, zemin direnci ile artışa geçer. Artan basınç değeri bir noktada maksimum değere ulaşarak sabitlenir. Bu maksimum değer ise, pasif yanal toprak basıncıdır (p_p).

Aktif durumda, perde yüzeyinde, zeminin rahatlamasından dolayı düşük yanal basınç oluştururken (p_a), hareketin engellendiği sukünet durumunda daha yüksek değer olan sukünetteki yanal toprak basıncı (p_0) oluşmaktadır. Fakat bu değer pasif durumdaki basınç değeri kadar büyük değildir. Buna göre; $p_a < p_0 < p_p$.

Bu durum en genel olarak, Şekil 2.2’de perde hareketleri ile oluşan yanal toprak basınçları olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Perdenin hareketine göre oluşan yanal toprak basıncı.

2.2. Yanal Toprak Basıncı Katsayısı

Yanal toprak basınçları zemindeki yatay gerilmelerin doğrudan bir sonucudur. Zemindeki herhangi bir noktada, yatay efektif gerilmelerin (σ'_h) düşey efektif gerilmelere (σ'_z) oranı “yanal toprak basıncı katsayısı” (K) olarak tanımlanmıştır [2].

$$\sigma'_z = \gamma' * z \quad (2.1)$$

İken, yanal toprak basıncı katsayısı (K)

$$K = \sigma'_h / \sigma'_z \quad (2.2)$$

olarak tanımlanır.

Bu formülde; σ'_h belirli bir derinlikteki yatay efektif gerilmeyi, σ'_z düşey efektif gerilmeyi, γ' zemin efektif birim hacim ağırlığını, z derinliği ifade etmektedir.

Destek yapısı tasarımı sırasında, yanal toprak basıncı katsayısı (K); aktif durum için K_a , sukünetteki durum için K_0 , pasif durum için K_p değeri şeklinde hesaba katılır.

Destek sistemi tasarımı sırasında; yanal toprak basıncı katsayısı, istenilen derinlikteki efektif gerilmeden yanal toprak basıncına geçişte kullanılır.

Bu değerin belirlenmesinde, yerinde yapılan arazi deneyleri veya zemin cinsine göre yapılan ampirik bağıntılar kullanılmaktadır.

2.2.1. Yanal toprak basıncı katsayısının arazi deneyleri ile belirlenmesi

- Kulhawy ve Mayne (1990), killi zeminler için CPT'den K_0 a geçiş için şu bağıntıyı önermiştir,

$$K_0 = 0,1 * \left(\frac{qt - \sigma_z}{\sigma'_z} \right) \quad (2.3)$$

Bu formülde; qt, sondanın zemine penetrasyonu sırasında gördüğü toplam direnci; σ_z , düşey gerilmeyi; σ'_z , düşey efektif gerilmeyi ifade etmektedir.

- Marchetti (1980), dilatometre deneyinden elde edilen “yatak gerilme indisi (K_D)” ile K_0 arasında şu bağıntıyı önermiştir;

$$K_0 = \left(\frac{K_D}{1,5} \right)^{0,47} - 0,6 \quad (2.4)$$

- Sondaj kuyusu yanal çeperlerine uygulanan radyal basınç sonucu zeminde oluşan deformasyonun ölçüldüğü Pressiyometre testinde (PMT), istenilen derinlikteki arazi

yatay gerilmesi (p_0) belirlenir. p_0 ve efektif gerilme oranı ile K_0 değeri direkt olarak belirlenebilir.

2.2.2. Yanal toprak basıncı katsayısının ampirik bağıntılar ile belirlenmesi

- Jaky (1944), normal konsolide zeminler için;

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (2.5)$$

bağıntısını önermiştir. Bu denklemde ϕ' , efektif kayma mukavemeti açısıdır.

- Mayne ve Kulhawy (1982), aşırı konsolide killeri için sukünetteki yanal toprak basıncı katsayısını;

$$K_0 = (1 - \sin \phi') OCR^{\sin \phi'} \quad (2.6)$$

bağıntısı ile ifade etmiştir. Bu denklemde OCR, aşırı konsolidasyon oranıdır.

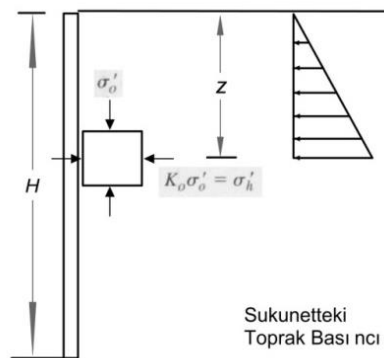
2.3. Sukünetteki Yanal Toprak Basıncı

Rijit, yatay yönde öteleme yapmayacak ve dönmeye maruz kalmayacak bir istinad perdesi oluşturduğumuz vakit, perde arkasındaki zeminde yatay yönde deformasyon engellenmiş olur. Bu durumda, zemine ait gerilmeler doğal haldeki (kazı öncesi durum) şartları korunmuş olur. Bu durumdaki yanal toprak basıncına, sukünetteki yanal toprak basıncı (p_0) denir.

Sukünet durumunda bulunan bir perde üzerine, belirli bir derinlikte etkiyen yanal toprak basıncı;

$$p_0 = K_0 * \gamma' * z \quad (2.7)$$

denklemleri ile belirlenir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Sukünetteki yanal toprak basıncı [3].

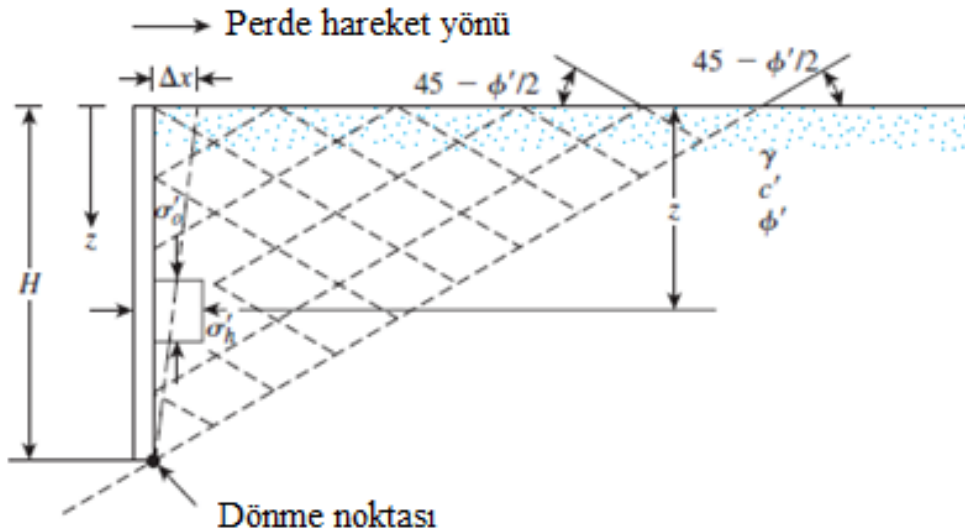
Aktif yanal toprak basıncının oluşabilmesi için, istinad perdesinin yapması gereken yer değiştirme miktarı, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için perde boyuna (H) bağlı olarak Çizelge 2.1’de verilmiştir [4].

Çizelge 2.1 : Aktif yanal toprak basıncı için gerekli perde yerdeğiştirme miktarları.

Aktif Durum	
Zemin Tipi	Gereken Yer değiştirme
Sıkı Kum	0,001 H
Gevşek Kum	0,004 H
Sert Kil	0,010 H
Yumuşak Kil	0,020 H

2.5. Pasif Yanal Toprak Basıncı

Zeminde, perdenin zemine doğru hareket ettiği durumda; belirli derinlikte bulunan düşey gerilme sabit kalırken yatay gerilme oluşan sıkışmadan dolayı artmaktadır. Artmakta olan basınç nedeniyle zeminde kabarma meydana gelirken belirli bir değerde zeminde kayma yüzeyi de meydana gelir. Bu sırada, zemin kamasının istinad perdesine yapmış olduğu basınca “pasif yanal toprak basıncı” denir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Pasif durumda perde hareketi [3].

Pasif yanal toprak basıncının oluşabilmesi için istinad perdesinin zemine doğru yapması gereken yer değiştirme miktarı, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde perde boyuna (H) bağlı olarak Çizelge 2.2’de verilmiştir [4].

Çizelge 2.2 : Pasif yanal toprak basıncı için gerekli perde yerdeğiştirme miktarları.

Pasif Durum	
Zemin Tipi	Gereken Yer değiştirme
Sıkı Kum	0,020 H
Gevşek Kum	0,060 H
Sert Kil	0,020 H
Yumuşak Kil	0,040 H

Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’ de görüldüğü üzere, pasif durum oluşabilmesi için gerekli yer değiştirme miktarı aktif duruma göre daha fazladır. Bu durum Şekil 2.2’de de gözlenmektedir.

Aktif basınç ve Pasif basıncın hesaplanması ve belirlenmesi “Yanal Toprak Basıncı Teorileri” bölümünde incelenecektir.

2.6. Yanal Toprak Basıncı Teorileri

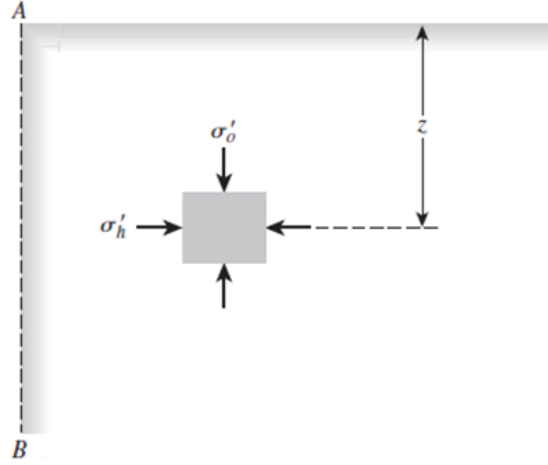
Destek yapılarına etkiyen aktif ve pasif yanal toprak basınçlarının hesaplanmasında plastisite teorisinden hareket eden, Rankine tarafından geliştirilen “Rankine Teorisi” ve Coulomb tarafından geliştirilen “Coulomb (Kama) Teorisi” kullanılmaktadır. Bu teoriler, zeminin kütle içinde kırılma yüzeyleri oluşuncaya kadar, yatay yönde genişlemesi esasına dayanır [5].

2.6.1. Rankine Teorisi (1857)

Zemin ortamında “plastik denge” ifadesi, zemin kütlelerinin her noktasının kırılma sınırında bulunması demektir. İlk olarak kohezyonsuz zeminler için geliştirilen daha sonra tüm zemin türleri için genelleştirilen “Rankine Teorisi”, plastik denge durumunda bulunan zemindeki gerilme durumlarını inceler. Bu teori; zeminin homojen ve izotrop olduğu, perde yüzeyi ile zeminin sürtünme yapmadığı kabullerine dayanır.

2.6.1.1. Rankine aktif yanal toprak basıncı

Zemin kütlesinin Şekil 2.7'deki gibi sürtünmesiz ve sonsuz uzunluktaki bir perde tarafından desteklendiğini düşünelim.

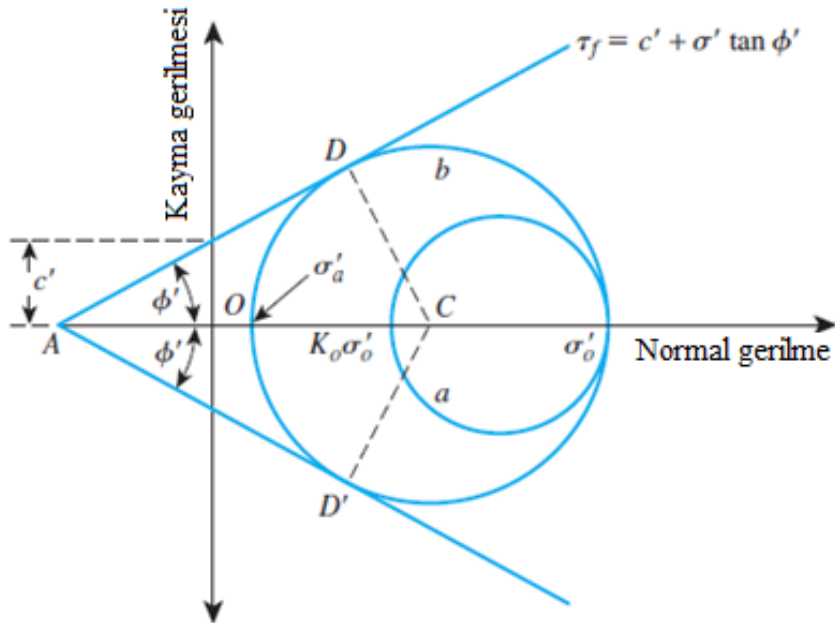


Şekil 2.7 : Sukünet halinde asal gerilmeler [6].

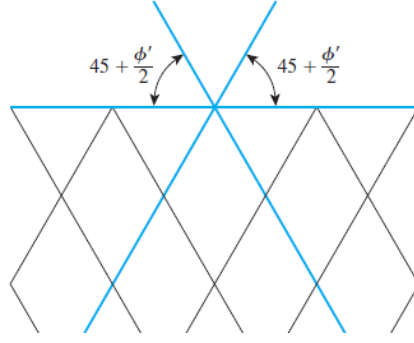
“z” derinliğinde, düşey ve yatay efektif gerilmeler sırası ile σ'_0 ve σ'_h olarak belirtelim. Perdenin hareket etmediği bu durumda; yatay gerilme;

$$\sigma'_h = K_0 * \sigma'_0 \quad (2.8)$$

Bu durum, Şekil 2.8'da Mohr diyagramı üzerinde gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, sukünet halini yansıtan bu durumda zemin elastik dengededir.



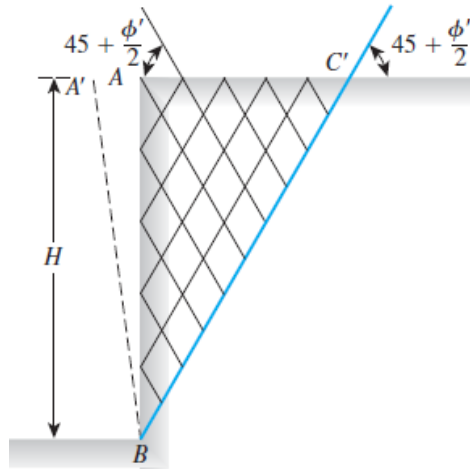
Şekil 2.8 : Rankine aktif durumu Mohr dairesi üzerinde gösterimi [6].



Şekil 2.10 : Rankine aktif durumda oluşan kayma yüzeyleri [6].

Buraya kadar anlatılan kısım teorik olarak sonsuz derinlikte ve sürtünmesiz perde olması durumu içindi. Şimdi hem olayı özetlemek bakımından hem de sınırlı derinlikte ve sürtünmesiz bir perde olması durumunu belirtmek için Şekil 2.11'e bakalım.

Buna göre; AB perdesinin kazı alanına doğru yapmış olduğu hareket sonucunda perdenin yeni konumu A'B olur. Perdenin alt noktasından (B) itibaren, yatayla $45 + \frac{\phi'}{2}$ 'lik açı yapan kayma düzlemi (BC') oluşur. Kayma düzlemi üzerinde kalan ABC' üçgen zemin kütlesi, perdeye aktif yanal toprak basıncı ile dayanır [6].

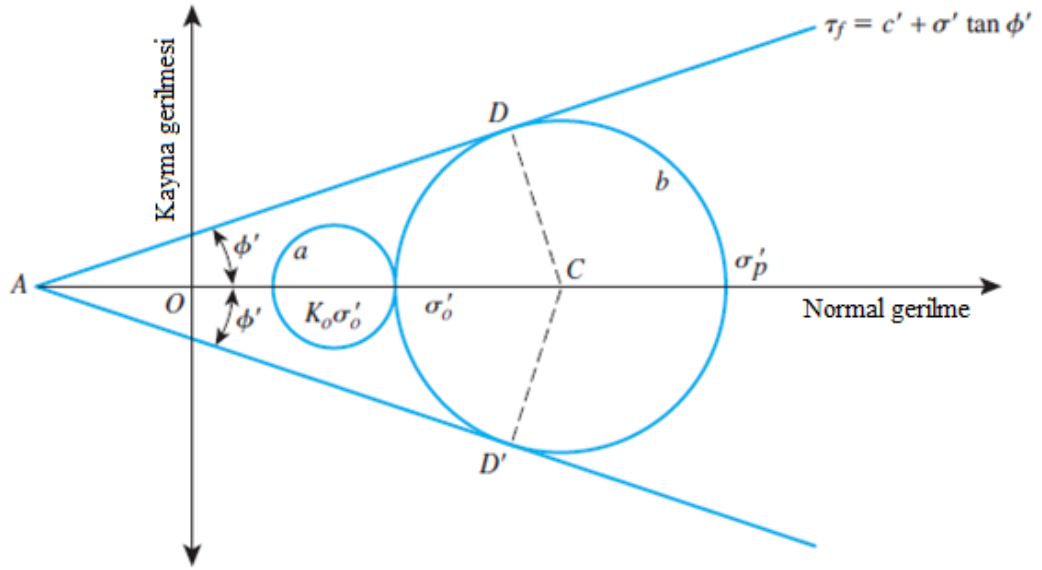


Şekil 2.11 : Rankine aktif durumda sürtünmesiz perdenin dönmesi [6].

2.6.1.2. Rankine pasif yanal toprak basıncı

Tekrar zemin kütlesinin Şekil 2.7'deki gibi sürtünmesiz ve sonsuz uzunluktaki bir perde tarafından desteklendiğini düşünelim. Başlangıç koşulları Şekil 2.12'de Mohr diyagramı üzerinde, a harfiyle belirtilen Mohr dairesidir. Bu sefer, perdenin zemine doğru hareket ettiğini düşünersek, yatay efektif gerilme (σ'_h) giderek artacaktır. Bu artış maksimum bir değere ulaşınca, zeminde kırılma meydana gelecek. Bu duruma, "Rankine pasif durumu" denir. Kırılma anını ifade eden b harfiyle çizilmiş Mohr

dairesi Şekil 2.12’de görülmektedir. Belirli derinlikteki bir zemin kütesinin, kırılma anındaki bu yatay basıncına (σ'_p), “Rankine pasif yanal toprak basıncı” denir.



Şekil 2.12 : Rankine pasif durumu Mohr dairesi üzerinde gösterimi [6].

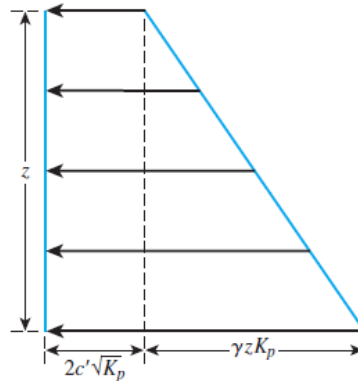
Mohr dairesinde gösterilen Rankine pasif yanal toprak basıncı, σ'_p , geometrik işlemler sonucu γ , c' , ϕ' , z ye bağlı olarak en genel ifade ile belirtilmek istenirse;

$$\sigma'_p = \gamma z \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2 c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.12)$$

Kohezyonuz zeminlerde, $c'=0$ olduğundan bu denklem şu şekle dönüşür;

$$\sigma'_p = \sigma'_o \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.13)$$

En genel ifadeyi veren Denklem 2.12’den yola çıkarak, pasif yanal toprak basıncının derinliğe bağlı olarak değişimi Şekil 2.13’de gösterilmektedir.

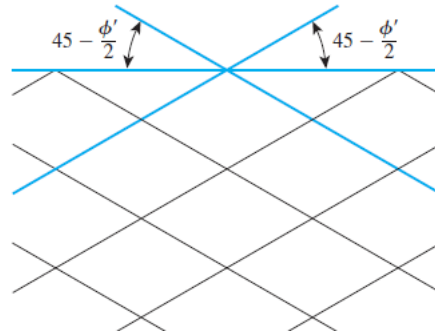


Şekil 2.13 : Rankine pasif yanal toprak basıncı diyagramı (derinliğe bağlı) [6].

Pasif yanal toprak basıncı katsayısı (K_p); pasif durumda kırılma anında oluşan efektif yanal gerilme (σ'_p) ile düşey efektif gerilmenin (σ'_o) oranına eşit olmasından dolayı;

$$K_p = \sigma'_p / \sigma'_o = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (2.14)$$

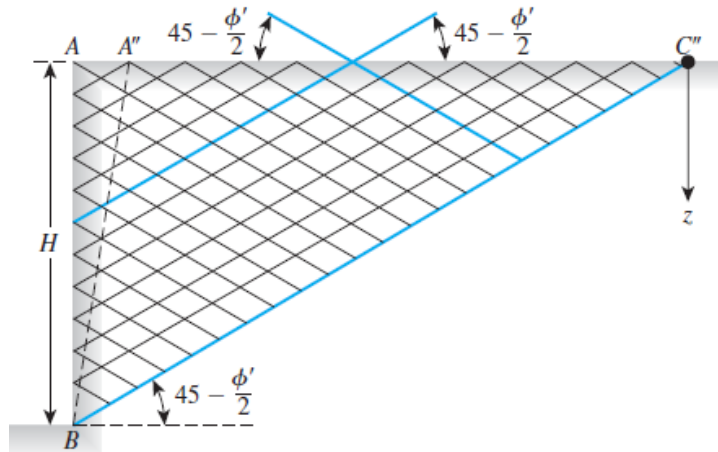
Zemin kırılma anına ulaştığı vakit, yatayla ile $\pm (45 - \phi'/2)$ 'lık açı yapan kırılma yüzeyleri oluşur. Bu kırılma yüzeyleri aynı zamanda muhtemel kayma yüzeyleridir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : Rankine pasif durumda oluşan kayma yüzeyleri [6].

Buraya kadar anlatılan kısım teorik olarak sonsuz derinlikte ve sürtünmesiz perde olması durumu içindi. Şimdi hem olayı özetlemek bakımından hem de sınırlı derinlikte ve sürtünmesiz bir perde olması durumunu belirtmek için Şekil 2.15'e bakalım.

Buna göre; AB perdesinin zemine doğru yapmış olduğu hareket sonucu perdenin yeni konumu A''B olur. Perdenin alt noktasından (B) itibaren, yatayla $45 - \phi'/2$ 'lık açı yapan kayma düzlemi (BC'') oluşur. Kayma düzlemi üzerinde kalan ABC'' üçgen zemin kütlesi, perdeye pasif yanal toprak basıncı ile dayanır [6].



Şekil 2.15 : Rankine pasif durumda sürtünmesiz perdenin dönmesi [6].

2.6.1.3. Genel durumlar

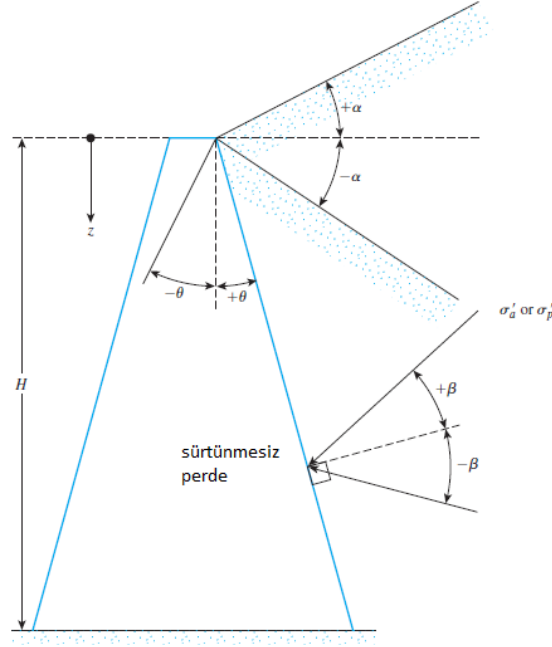
Buraya kadar sürtünmesiz dik perde ve yatay zemin yüzeyine ait Rankine yanal toprak basınçları incelenmiştir. Şimdi ise perdenin ve zeminin eğimli olduğu durumlar için genel formüller verilecektir. Kohezyonsuz zeminler için, çeşitli durumlara ait 1 metre derinliğindeki ve belirli uzunluğa sahip perde üzerine düşen toplam yanal itki ve bu itkinin etki noktası ve yönü belirtilecektir.

perdenin zeminle temas yüzünün eğimi, Θ

zemin yüzeyinin eğimi, α

yanal toprak basıncının perdeye etki açısı, β

olarak gösterilecektir (Şekil 2.16).



Şekil 2.16 : Rankine Teorisi ile özel durumlar [6].

Perde yüzeyi eğimi (Θ) ve arka zemin yüzeyi eğimine (α) bağlı olarak, istenilen bir derinlikteki aktif ve pasif yanal toprak basınçlarının en genel formülleri;

$$\sigma'_a = \frac{\gamma z \cos \alpha \sqrt{1 + \sin^2 \theta' - 2 \sin \theta' \cos \psi_a}}{\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \theta' - \sin^2 \alpha}} \quad (2.15)$$

$$\sigma'_p = \frac{\gamma z \cos \alpha \sqrt{1 + \sin^2 \theta' + 2 \sin \theta' \cos \psi_p}}{\cos \alpha - \sqrt{\sin^2 \theta' - \sin^2 \alpha}} \quad (2.16)$$

Bu formüllerde yer alan ψ_a ve ψ_p şu şekilde belirlenir;

$$\psi_a = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \varnothing'} \right) - \alpha + 2\theta \quad (2.17)$$

$$\psi_p = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \varnothing'} \right) + \alpha - 2\theta \quad (2.18)$$

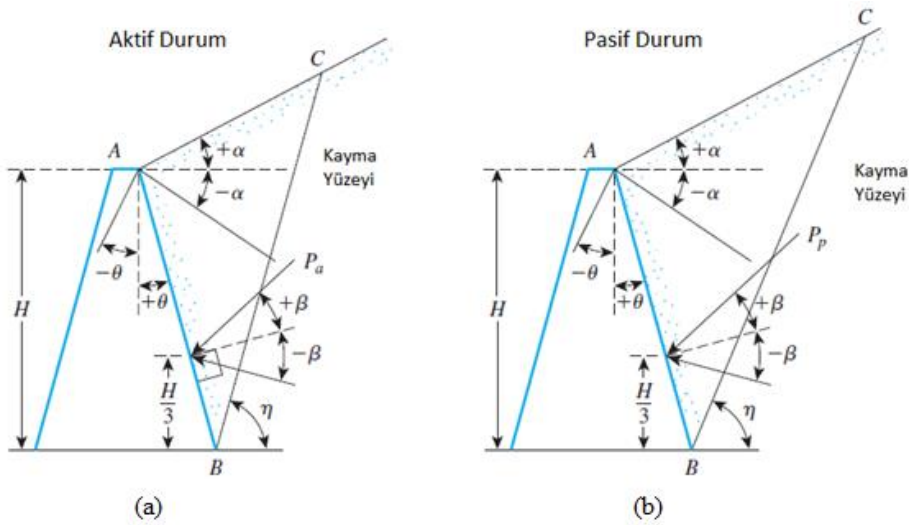
Hatırlanacağı üzere, dik perde ve yatay zemin yüzeyi şartlarında yanal basınçlar yatay doğrultuda etkirken, değişen perde yüzeyi eğimi (θ) ve arka zemin yüzeyi eğimi (α) ile yanal basınçların da doğrultusu değişmektedir. Bu doğrultu perde yüzeyi normaline β açısı yapmaktadır.

Aktif durum için (Şekil 2.17a), β açısı şu şekilde bulunur;

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \varnothing' \sin \psi_a}{1 - \sin \varnothing' \cos \psi_a} \right) \quad (2.19)$$

Pasif durum için (Şekil 2.17b), β açısı şu şekilde bulunur;

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \varnothing' \sin \psi_p}{1 + \sin \varnothing' \cos \psi_p} \right) \quad (2.20)$$



Şekil 2.17 : Rankine itkileri yeri ve yönü [6].

H uzunluğunda ve 1 metre derinliğindeki perde üzerine gelen “toplam aktif yanal toprak itkisi (P_a)” ve “toplam pasif yanal toprak itkisi (P_p)”, perdenin alt ucundan $H/3$ uzaklıkta etkir (Şekil 2.17).

Toplam aktif yanal toprak itki şu şekilde bulunur;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a(R) \quad (2.21)$$

Bu formülde yer alan $K_{a(R)}$, Rankine aktif yanal toprak basıncı katsayısı olup şu şekilde bulunur;

$$K_{a(R)} = \frac{\cos(\alpha - \theta) \sqrt{1 + \sin^2 \theta' - 2 \sin \theta' \cos \psi_a}}{\cos^2 \theta (\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \theta' - \sin^2 \alpha})} \quad (2.22)$$

Toplam pasif yanal toprak itki şu şekilde bulunur;

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{p(R)} \quad (2.23)$$

Bu formülde yer alan $K_{p(R)}$, Rankine pasif yanal toprak basıncı katsayısı olup şu şekilde bulunur;

$$K_{p(R)} = \frac{\cos(\alpha - \theta) \sqrt{1 + \sin^2 \theta' + 2 \sin \theta' \cos \psi_p}}{\cos^2 \theta (\cos \alpha - \sqrt{\sin^2 \theta' - \sin^2 \alpha})} \quad (2.24)$$

Şekil 2.17'de gösterildiği gibi perdenin alt ucundan yatayla η derece açı yaparak oluşan kayma yüzeyi BC, ABC üçgen kamayı sınırlamaktadır.

Kayma yüzeyi açısı η , aktif durum için;

$$\eta = \frac{\pi}{4} + \frac{\theta'}{2} + \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \theta'} \right) \quad (2.25)$$

Kayma yüzeyi açısı η , pasif durum için;

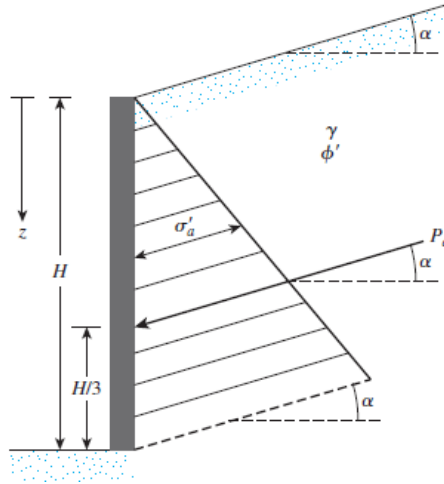
$$\eta = \frac{\pi}{4} - \frac{\theta'}{2} + \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \theta'} \right) \quad (2.26)$$

Perde yüzeyinin dik olduğu ($\theta=0$) ve zeminin α açısı yaptığı koşulda, Rankine yanal toprak basıncı katsayıları şu şekilde bulunur;

$$K_{a(R)} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \theta'}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \theta'}} \quad (2.27)$$

$$K_{p(R)} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \theta'}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \theta'}} \quad (2.28)$$

Ayrıca, perdenin dik olduğu ($\theta=0$) ve zemin α açısı yaptığı durumda, toplam aktif ve pasif yanal toprak itkileri de zemin gibi α açısı yapar (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 : Eğimli granüler zeminde dik perde üzerine düşen aktif yanal itki [3].

2.6.2. Coulomb (Kama) Teorisi (1776)

Rankine teorisinde perde yüzeyi sürtünmesiz olduğu kabul edilmişti. Coulomb teorisinde ise; arka dolgu granüler zeminden oluştuğu kabul edilip, perde üzerine etkileyen yanal toprak basınçları belirlenirken perde ile zemin arasındaki sürtünme dikkate alınmıştır.

Bu teoride; aktif ve pasif etki sonucu, perde kazı alanına veya zemin tarafına hareket eder. Bu durumda; zeminde oluşacak kayma yüzeyi, pratikte parabolik olması beklenirken bu teoride düzlemsel olduğu kabul edilir. Bu kırılma yüzeyi üzerinde bulunan zemin ise bir üçgen kama şeklindedir. Oluşan kamanın rijit ve homojen bir yapı olduğu, kayma yüzeyi ile yaptığı sürtünme kuvvetinin yüzey boyunca üniform dağılım gösterdiği kabul edilir [5].

Bu üçgen kamaya etki eden kuvvetler; kamanın ağırlığı (W), kayma yüzeyi boyunca etkileyen normal ve kesme kuvvetinin bileşkesi olan reaksiyon kuvveti (R) ve toplam yanal toprak itkisi (P). R kuvveti kayma yüzeyi normali ile ϕ açısı yapar. Toplam yanal toprak itkisi (P), perde arka yüzü normali ile δ açısı yapar.

2.6.2.1. Coulomb aktif yanal toprak basıncı

Aktif durumda perde kazı yönüne doğru hareket ederken, perdenin arkasında ABC kaması oluşur. Bu kama, BC düzlemsel kayma yüzeyi boyunca perdeye doğru hareket etmek ister ve perde üzerinde aktif yanal toprak basıncı oluşur (Şekil 2.19a).

W kama ağırlığı, R reaksiyon kuvveti ve P_a aktif yanal toprak itkisi ile dengede duran zeminde, P_a 'yı bulmak için kuvvet denge üçgeni kullanılır (Şekil 2.19b). Buna göre,

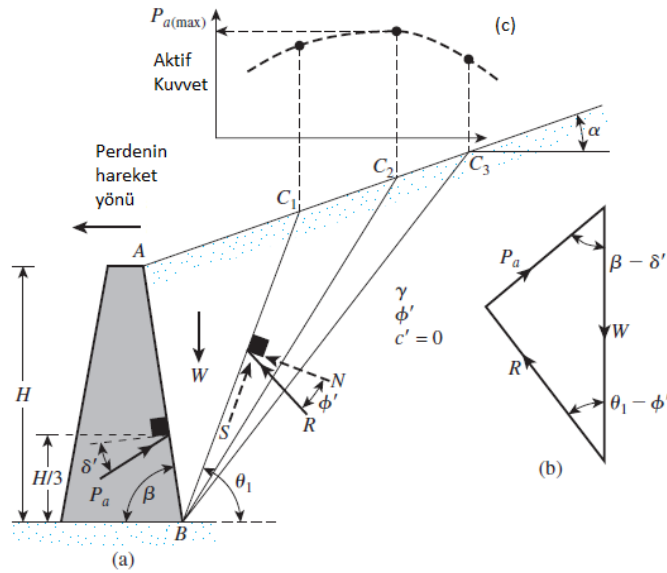
olası kayma düzlemleri (BC_1, BC_2, BC_3) için ayrı ayrı çözüm yapılır ve elde edilen maksimum P_a değeri “Coulomb aktif yanal toprak itkisini” verir (Şekil 2.19c). Bu değer şu şekilde de ifade edilebilir;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{a(C)} \quad (2.29)$$

Bu formülde bulunan Coulomb aktif yanal toprak basıncı katsayısı, $K_{a(C)}$;

$$K_{a(C)} = \frac{\sin^2 (\beta + \phi')}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta') \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \alpha)}{\sin(\beta - \delta') \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.30)$$

Perde boyu H iken; aktif yanal toprak itkisi (P_a), perde tabanının $H/3$ mesafe yukarısında, perde arka yüzünün normali ile δ açısı yaparak etkir (Şekil 2.19a). δ açısı duvar sürtünme açısı olup, $\phi'/2$ ile $3\phi'/2$ arasında olduğu kabul edilir.

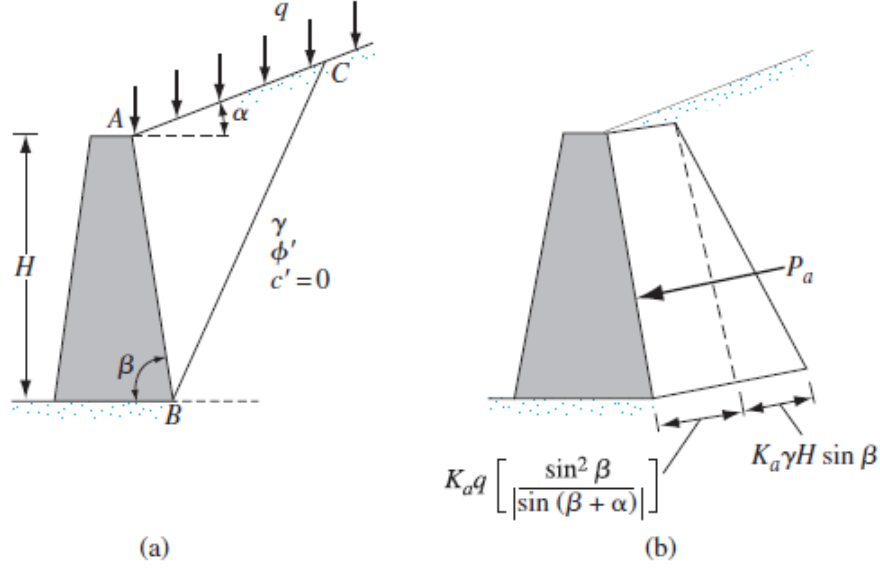


Şekil 2.19 : Coulomb aktif yanal toprak itkisi [3].

Perde arkasında üniform sürşarj yükü olması durumunda (Şekil 2.20), Coulomb toplam aktif yanal toprak itkisi (P_a) şu şekilde bulunur;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_{eq} H^2 K_a \quad (2.31)$$

$$\gamma_{eq} = \gamma + \left[\frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \alpha)} \right] \left(\frac{2q}{H} \right) \quad (2.32)$$



Şekil 2.20 : Eğimli zemin yüzeyinde Coulomb aktif yanal toprak itkisi [3].

2.6.2.2. Coulomb pasif yanal toprak basıncı

Pasif durumda perde zemin yönüne doğru hareket ederken, perdenin arkasında ABC kaması oluşur. Bu kama, BC düzlemsel kayma yüzeyi boyunca perde tarafından itilir ve perde üzerinde pasif yanal toprak basıncı oluşur (Şekil 2.21a).

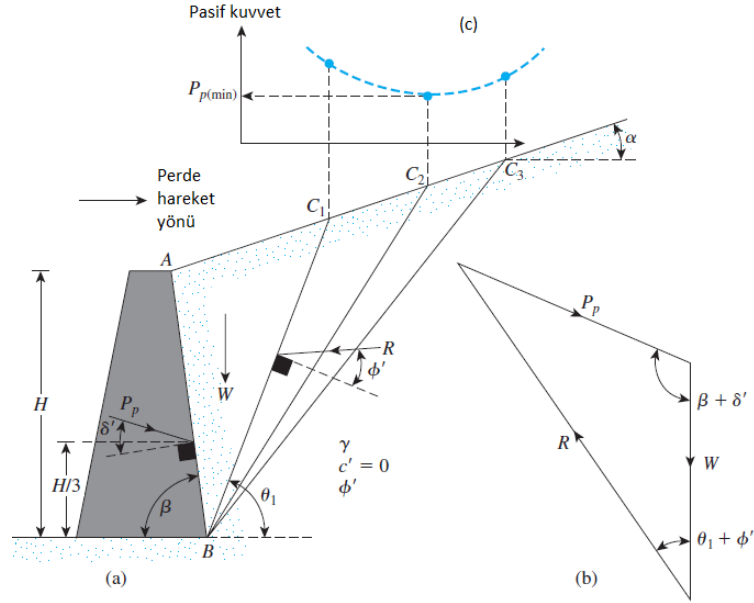
W kama ağırlığı, R reaksiyon kuvveti ve P_p pasif yanal toprak itkisi ile dengede duran zeminde, P_p 'yi bulmak için kuvvet denge üçgeni kullanılır (Şekil 2.21b). Buna göre, olası kayma düzlemleri (BC_1 , BC_2 , BC_3) için ayrı ayrı çözüm yapılır ve elde edilen minimum P_p değeri “Coulomb pasif yanal toprak itkisini” verir (Şekil 2.21c). Bu değer şu şekilde ifade edilebilir;

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{p(C)} \quad (2.33)$$

Bu formülde bulunan Coulomb pasif yanal toprak basıncı katsayısı, $K_{p(C)}$;

$$K_{p(C)} = \frac{\sin^2 (\beta - \phi')}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta') \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' + \alpha)}{\sin(\beta + \delta') \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (2.34)$$

Perde boyu H iken; toplam pasif yanal toprak itkisi (P_p), perde tabanının H/3 mesafe yukarısında, perde arka yüzünün normali ile δ açısı yaparak etkir (Şekil 2.21a). δ açısı duvar sürtünme açısı olup, $\phi'/2$ ile $3\phi'/2$ arasında olduğu kabul edilir.

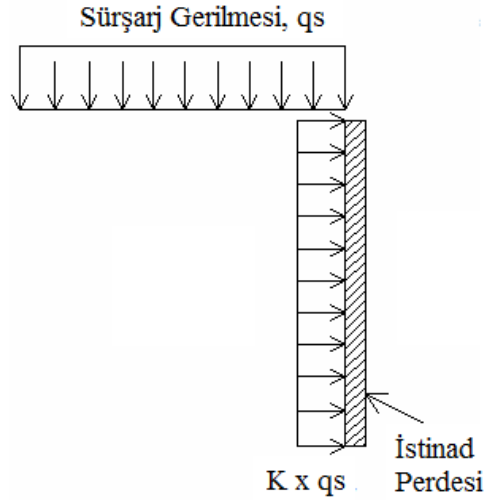


Şekil 2.21 : Coulomb pasif yanal toprak itkisi [3].

2.7. Sürşarj Etkisi

Perde arkasındaki zemin üzerinde bulunan sürşarj, perdeye etkiyen yanal basıncı arttırmaktadır.

Yayılı yükler, perde boyunca derinlikten bağımsız olarak üniform yayılım gösterir (Şekil 2.22).



Şekil 2.22 : Üniform sürşarj yükünden perdeye gelen yanal basınç.

Yayılı yükün, yanal toprak basıncına yapmış olduğu katkı Denklem 2.35’de verilmektedir,

$$\Delta\sigma_h = K q_s \quad (2.35)$$

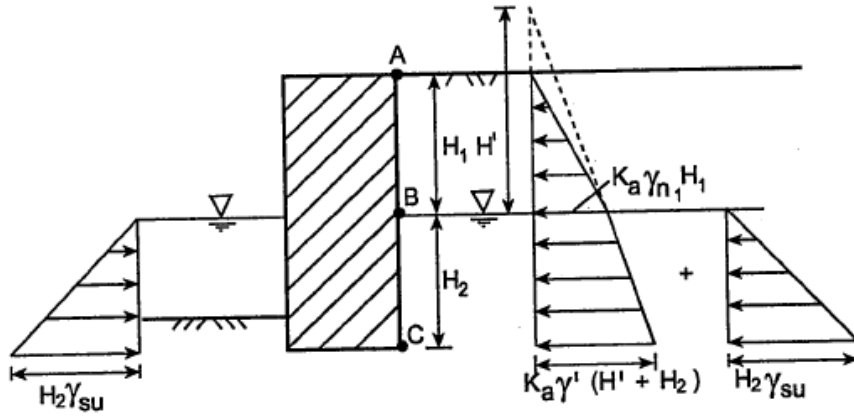
Bu denklemde; K , yanal toprak basıncı katsayısı, q_s ise sürşarj gerilmesidir.

Üniform yüklere; ölü yük olarak, bina ve köprü gibi yapılar, hareketli yük olarak, trafiğe açık yollar ve demiryolları örnek olarak verilebilir. Perdeye yakın bölgede, radye temelli yapılar için 10 kPa; karayolları için 20 kPa; hafif trafikli yollar için 5 kPa yayılı yük (q_s) alınmalı [7].

Perde arkasındaki sürşarj yükü, nokta veya çizgi yük olması durumunda ise basınç artışı derinlikle değişim göstermektedir. Derinlikle değişen gerilme artışı, elastisite teorisine dayanan denklemler sayesinde bulunur.

2.8. Suyun Etkisi

Zemin suyunun varlığı, perde üzerinde fazladan yanal basınç oluşturmaktadır. Su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda; perde üzerine gelen toplam yanal basınç bulurken, yanal toprak basıncına ek olarak hidrostatik basınç da hesaba katılır (Şekil 2.23). Yanal toprak basıncı hesaplanırken; su seviyesinin üzerinde zemin doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) kullanılırken, su tablasının altında kalan zemin için batık birim hacim ağırlığı (γ_a) kullanılır. Hidrostatik yük ise su tablası altından perde alt kotuna kadar etkilidir.

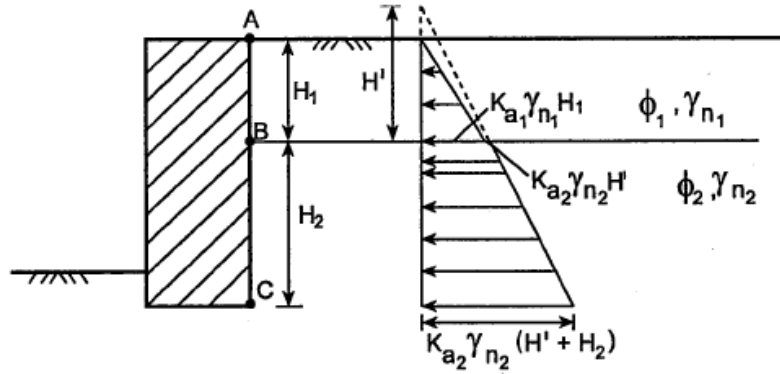


Şekil 2.23 : Su yükü altında perdeye gelen yanal basınç [8].

Ayrıca perde arkasında bulunan su, iklimsel olarak don olayına maruz kalırsa, hacminde oluşacak artış sonucu perdeyi dışarı doğru itmek isteyecektir. Su etkisinden perdeyi korumak için, perde tabanında drenaj sistemi kurulmalı ve sızıntı suları uzaklaştırılmalı. Buna ek olarak, perdede açılacak barbakan drenleri de su basıncını engellemede etkilidir.

2.9. Tabakalı Zemin Durumu

Perde arkasındaki zemin, tabakalı veya farklı sınıflardan oluşması durumunda, gerilme diyagramı, zeminin c , ϕ , γ değerlerine ve tabaka kalınlığına bağlı olarak değişmektedir (Şekil 2.24). Her tabaka için bulunan yanal toprak basınç itkisi, basınç diyagramının geometrik ağırlık merkezine etkir.



Şekil 2.24 : Tabakalı zemin şartlarında oluşan yanal toprak basıncı [8].

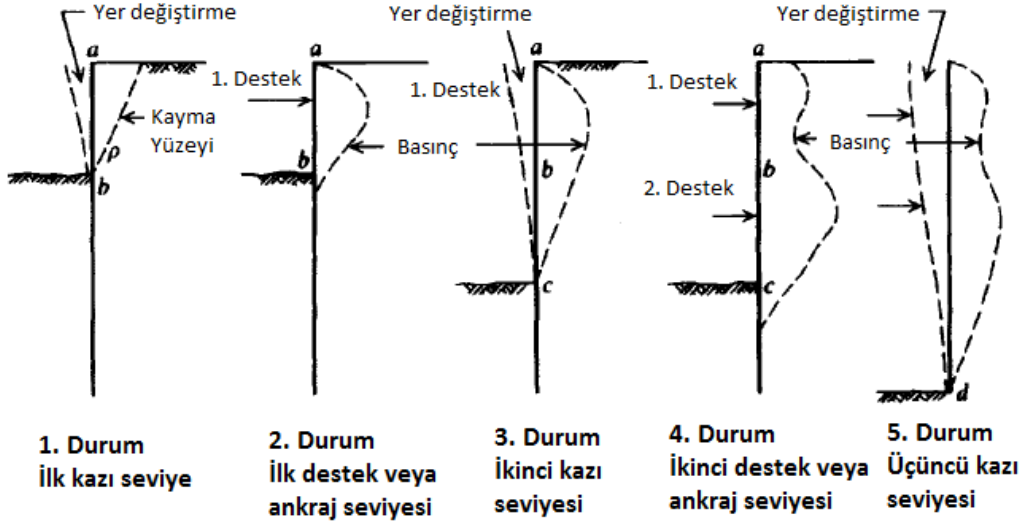
2.10. Çok Sıralı Destek Sistemlerinde Yanal Toprak Basıncı Dağılımları

Rankine ve Coulomb teorilerinden bulduğumuz yanal toprak basınçları; konsol çalışan, tek sıra destekli/ankrajlı ve zemine sabit mesnetli perdelerden gelen yanal basınç değerlerini bulmakta kullanılır. Fakat, deformasyon şekli ve sistem göçme mekanizmalarının değişmesinden dolayı, bu teoriler “çok sıra yatay destekli ve ankrajlı perdelerde” kullanılmaz.

Destekli perdelerde, Şekil 2.25’deki 1.Durumda olduğu gibi; ilk kazı seviyesine kadar kazı yapıldığında, perde konsol olarak çalışır ve kazı yüksekliği boyunca perdeye gelen yanal basınç ve oluşan deformasyon aktif yanal toprak basıncına uygun olarak üçgen dağılım gösterir.

İlk kademe kazısı bittikten sonra, ilk yatay destek/ankraj perdeye uygulandığında yanal toprak basıncının formu değişim göstermektedir (Şekil 2.25 / 2.Durum). Uygulanan yatay iksa yükü sonucunda, perde zemine doğru itilirken, bu noktadaki yanal toprak basıncı aktif yanal toprak basıncından daha yüksek değere erişir. Yanal toprak basıncı diyagramı artık üçgen şekilde değildir.

İkinci kazı kademesine gelindiğinde perdede yeni deformasyonlar oluşurken yanal basınç dağılımı da değişir (Şekil 2.25 / 3.Durum).

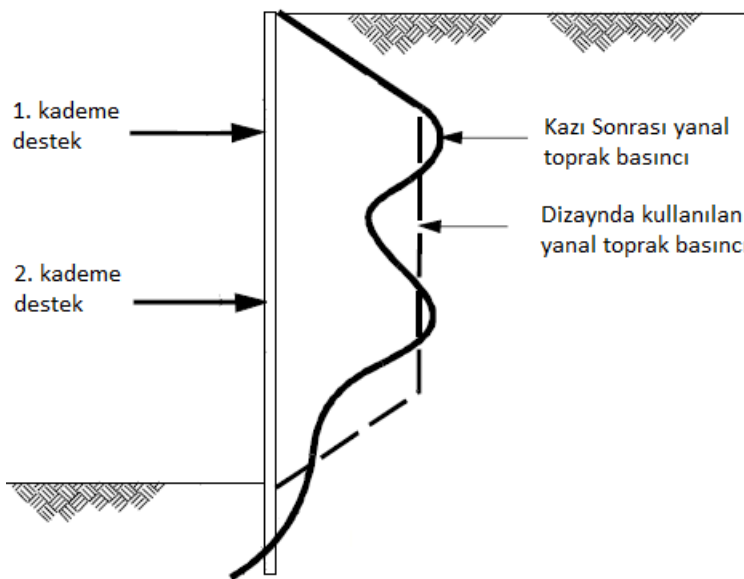


Şekil 2.25 : Çok destekli perdede yanal basınç dağılımı [5].

İkinci destek/ankraj elemanlarının yerleştirilmesi sonucunda yanal basınç trapez formda gözlenir (Şekil 2.25 / 4.Durum). Bu sırada, ilk kademe destek/ankraj elemanlarında yük kaybı oluşabilir.

Üçüncü kademe kazısı yapıldığında ise perdede yeni deformasyon gözlenir (Şekil 2.25 / 5.Durum). Bundan sonraki destek ve kazı kademelerinde ise trapez dağılımı devam eder.

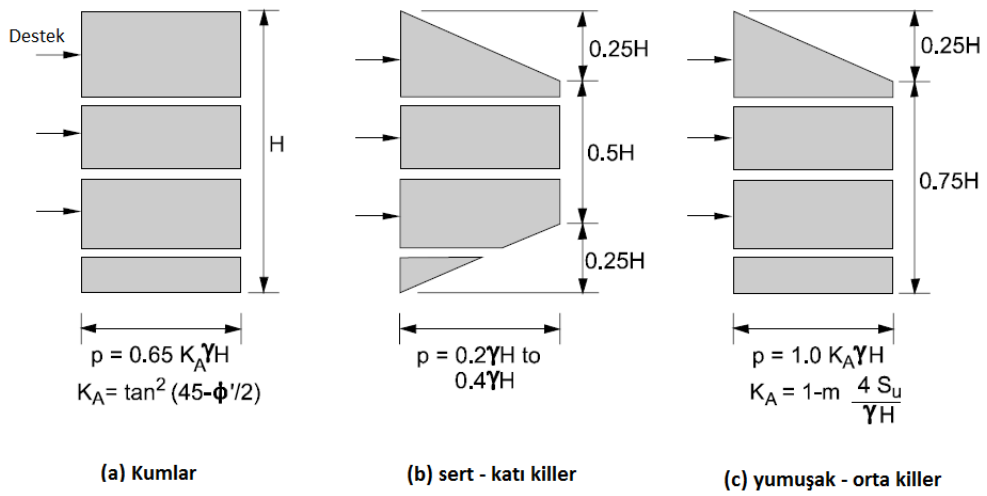
Şekil 2.26’de gösterildiği gibi son kademe kazısı sonrası oluşan yanal toprak basıncı formunun, dizayn esnasında hesap kolaylığı için uygun bir forma getirilebilir. Bu forma “görünür yanal toprak basıncı zarfı” denir [9].



Şekil 2.26 : Çok destekli perdede dizayn yanal toprak basıncı dağılımı [9].

2.10.1. Terzaghi ve Peck görünür yanal toprak basıncı dağılımı

Terzaghi ve Peck (1967) ve Peck (1969) çok sıralı destekli perdeler için ampirik diyagramlar geliştirmiştir (Şekil 2.27). Bu basınç diyagramları, desteklere gelecek yükün bulunmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu diyagramlar, derinleşen kazı kotuna bağlı olarak, her desteğe gelebilecek maksimum dizayn yükünü üretir [9]. Terzaghi ve Peck diyagramları dikdörtgen ve trapez şeklindedir. 6 metreden fazla derinlikte yapılan kazılar için geçerlidir. Ayrıca, su tablasının kazı tabanı altında tutulacağı hesaba katılarak geliştirilmiştir. Kumların drenajlı durumda olduğu, killerde ise boşluk basıncının önemsenmediği kabul edilmiştir.



Şekil 2.27 : Terzaghi – Peck görünür yanal toprak basıncı zarfı (Peck, 1967).

Bu basınç diyagramları, perdeye kazı tabanı seviyesinden itibaren etkililir, gömülü perde kısmına uygulanmaz [9].

Şekil 2.27’de verilen Terzaghi – Peck basınç diyagramlarında yer alan formüllerde;

H, kazı yüksekliğini,

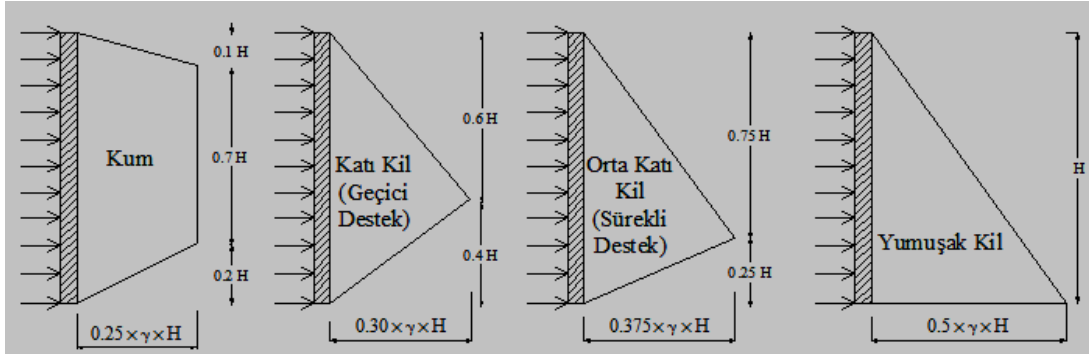
S_u , kazı tabanı altında bulunan kilin drenajsız kayma mukavemetini,

ϕ' , efektif içsel sürtünme açısı,

m, güvenlik faktörü olup, $\frac{\gamma H}{S_u} > 6$ ise 0.4, değil ise 1 alınır.

2.10.2. Tschebotarioff görünür yanal toprak basıncı dağılımı

Tschebotarioff (1973), killi zeminler ve kohezyonsuz zeminler için destekli perde yapılarına gelen görünür basınç diyagramlarını önermiştir (Şekil 2.28).



Şekil 2.28 : Tschebotarioff görünür yanal toprak basıncı zarfı (Tschebotarioff,1973)

3. DERİN TEMEL KAZILARINDA İKSA ELEMANLARI

3.1. Düşey İksa Elemanları

Temel kazısı sırasında, kazı sahasının emniyetini sağlamak ve saha dışındaki zemin/kaya kütlelerinin kazı çukuruna hareketini engellemek için kullanılan düşey elemanlar bu kısımda tanıtılacaktır. Bu düşey elemanlar; kazıklı perde, diyafram perde, palplanş perde, betonarme kuyu perde, aç-kapa (kademeli) betonarme perde ve püskürtme betonlu kaplama olarak tanıtılmıştır.

3.1.1. Kazıklı perde

3.1.1.1. Genel

Temel inşaatı için yapılan açık kazılarda; yanal toprak hareketini kontrol altına almak, çalışma güvenliğini sağlamak, komşu yapıların kazı bölgesine doğru hareketini önlemek üzere kazı sahası yan yüzeylerinde kullanılan düşey destek elemanlarından biri “kazıklı perde”dir.

Kazıklı perde; kazı sahası sınırlarında, çapları 10-200 cm. arasında değişen kazıkların yan yana imalatı sonucu oluşur. Yüksek rijidite ve düşük deformasyon özelliğine sahip olan kazıklı perdeler, istinad yapıları olarak kalıcı ve geçici çözümler için kullanılabilir. Kazıklı perdeler, konsol şekilde yanal toprak basıncını destekleyebileceği gibi proje şartlarına göre yatay destek elemanları ile birlikte de tasarlanabilir.

Kazıklar arasındaki mesafe; tek bir kazığın yanal yük taşıma kapasitesine, kazıkların oturma sınırına, kazıkların grup etkisine, yeraltı suyu varlığına ve zemin cinsine göre belirlenmektedir. Kazıklar arası mesafeye ve kazık dizilimine bağlı olarak kazıklı perde sızdırmazlık perdesi olarak da görev yapabilir.

Kazıklı perde seçiminin avantajları arasında; palplanş perdelerde olduğu gibi çakma esnasında gürültünün olmaması, kazıkların istenilen alt ve üst kotta imal edilebilmesi, kaya ortamda bile karotiyer vasıtasıyla imal edilebilmesi gösterilebilir.

Dezavantajları arasındaki en önemli unsur, diğer perde elemanlarına göre rijit olduğu halde diyafram perde kadar rijit olmamasıdır.

3.1.1.2. İmalat esasları

Perdeyi oluşturacak kazıklar, kazı işlemi başlamadan önce kazı dış sınırlarında zeminin makinelerle düşey olarak delinmesi yöntemi ile veya hazır kazıkların zemine düşey olarak çakılması şeklinde imal edilebilir.

Çakma metodunda; önceden hazırlanmış betonarme kazıkların, ahşap kazıkların yada çeşitli profilde çelik kazıkların zemine çakılması yada vibrasyonla sürülmesi ile kazıklı perde oluşturulur. Çakma esnasında kullanılan basınç, kazık malzemesinin basınç dayanımından fazla olmamasına dikkat edilmelidir.

Delgi metodunda; zemin, yüksek tork gücüne sahip makineler (Şekil 3.1) tarafından auger, karotiyer veya rotary yöntemleri ile düşey olarak delinir ve içi boş kuyular oluşturulur.



Şekil 3.1 : Kazık makinesi.

Bu kuyuların içine statik projeye uygun olarak daha önceden hazırlanmış donatı kafesleri indirilir (Şekil 3.2).



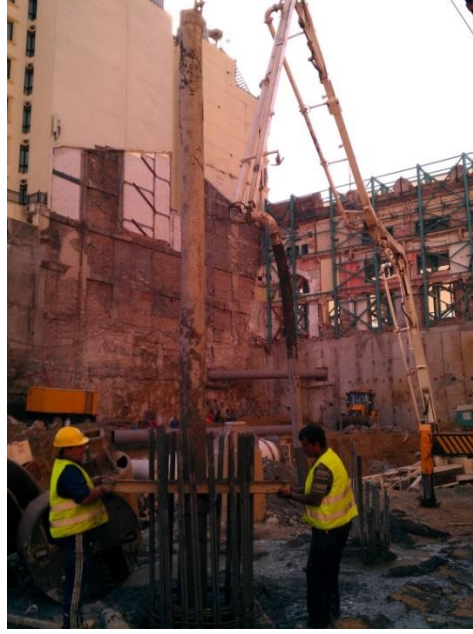
Şekil 3.2 : Önceden hazırlanmış, projesine uygun donatı kafesleri.

Donatı kafesleri, betonlama anına kadar kuyu ağzında askıda kalacak şekilde bekletilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3 : Betonlama öncesi askıda bekletilen donatı kafesi.

Betonlama sırasında segregasyonun önlenmesi için donatı kafeslerinin orta kısmından kuyu dibine doğru tiremi boruları indirilerek betonlama yapılır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Tiremi boruları ile yapılan kazık betonlaması.

Beton, kuyu içerisinde yükselirken tiremi boruları da kademeli olarak sökülerek çıkarılır. Betonlama, kazık proje-üst-kotuna kadar yapılırken kazıkların üzerinde filiz donatıları bırakılır. Perdeyi oluşturan kazıkların imalatı bittikten sonra filiz donatılarını da içine alacak şekilde bütün kazıklar “başlık kirişi” ile birleştirilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 : Kazık başlık filizi ve kazık başlık kirişi imalatı.

Delgi esnasında; kendini tutamayan zemin, kuyu içinde göçük yapıyorsa ve bu yüzden düşeyden sapma oluyorsa, delgi işlemi kuyuya sürülen çelik muhafaza boruları ile sürdürülür. Bu çelik borular, kendini tutabilen tabakaya kadar sürülerek kuyu cidarında destek görevi görür. Ayrıca, delgi esnasında zeminde büyük boşluklar

veya göçükler gözlenirse, kuyu içindeki bu zayıf seviye betonlama ile kapatılır. Daha sonra, prizini almış beton üzerinden delgiye devam edilir.

Delgi ile kazılmış kuyu içerisine donatı indirilerek ve betonlanarak oluşturulmuş, çapı 30 cm.’den büyük narin betonarme kazıklara “fore-kazık”, bu kazıklarla oluşan istinad perdesine “fore-kazıklı perde” denilmektedir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6 : Fore-kazıklı perde.

Çapı 30 cm.’den küçük olan kazıklara ise “mini-kazık” [7], bu kazıklarla oluşan istinad perdesine “mini-kazıklı perde” denilmektedir (Şekil 3.7).

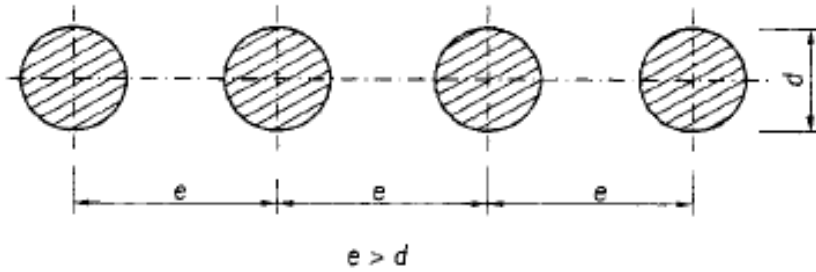


Şekil 3.7 : Mini-kazıklı perde.

Kazıklar, zemin cinsine ve yeraltı suyu varlığına bağlı olarak farklı şekilde imal edilebilirler. Örneğin, killi bir zemin kendini kısmen tutabilirken, kazıklar arasındaki zemin stabil kalabilir. Fakat kumlu zeminlerde kazıklar arasındaki zemin malzemesi kazı alanına doğru akabilir. Benzer şekilde, yeraltı suyu varlığında kazıklar

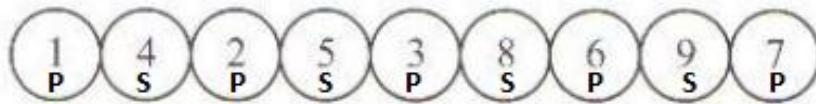
arasındaki mesafe, suyun kazı sahasına kontrolsüz biçimde geçmesine sebep olabilir. Bu gibi durumlarda, kazık dizilim şekline bağlı olarak çözümler üretilir. Dizilimlerine göre kazıklı perdeler; “aralıklı dizilime sahip kazıklı perde”, “teğet kazıklı perde” ve “kesişen kazıklı perde” olarak sınıflandırılır.

Aralıklı dizilime sahip kazıklı perde; yeraltı suyu içermeyen ve kendini tutabilen kohezyonlu zeminlerde yapılır. Bu gibi ortamlarda, kazıklar arasında bulunan malzeme kazı esnasında stabil kalabilmekte ve kazı çukuruna akmamaktadır. Bu tip kazık konumlandırması, kaya ortamı ve kohezyonlu zeminler için uygunken yumuşak killer ve organik zeminler için uygun değildir [10]. Kazıklar arası merkez-merkez mesafesi kazık çapının birkaç katına kadar çıkabilmektedir (Şekil 3.8). Kazıklar arasındaki boşluk; ahşap, püskürtme beton ve çelik plakalar ile kaplanabilir.



Şekil 3.8 : Aralıklı dizilime sahip kazıklı perde.

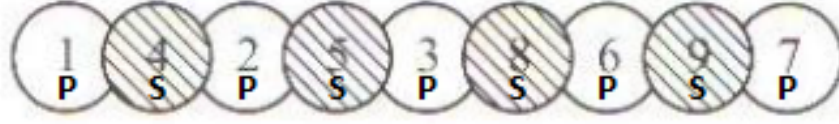
Teğet kazıklı perde; birbirleri ile temasta yada bitişik imal edilmiş donatılı kazıklardan oluşur. Zemin cinsine bağlı olarak kazıklar arası mesafe teorik olarak 2-5 cm. arasında değişmektedir [11]. Genellikle konsol perde olarak çalışacak kazıklar için bu tip dizilim seçilir. Kazıklı perde imalatına, birer atlamalı olarak birincil kazıkların (P) imal edilmesi ile başlanır. Daha sonra birincil kazıkların arasındaki lokasyonlara ikincil kazıklar (S) imal edilir (Şekil 3.9). Yeraltı suyu seviyesi kazı seviyesinin altında değil ise izolasyonu sağlamak için kazıkların arası enjeksiyon ile kapatılabilir.



Şekil 3.9 : Teğet kazıklı perde ve imalat sıralaması.

Kesişen kazıklı perdeler; geçirimsizlik sağlanması için imal edilir. Genellikle, birincil kazıklar donatısız olarak imal edilir. Birkaç gün içerisinde ikincil kazıklar donatılı olarak birincil kazıkları keserek imal edilir ve geçirimsiz bir perde

oluşturulur (Şekil 3.10). Kazıklar arasındaki iç-içe geçme miktarı kazık çapının % 10-20'si kadardır fakat en az 10 cm. olmalıdır. Yapısal olarak, birincil kazıklar dolgu elemanı görevi görürken, düşük dayanımlı beton kullanılır. İkincil kazıklar ise daha yüksek dayanıma sahip beton ile imal edilebilir [11].



Şekil 3.10 : Kesişen kazıklı perde ve imalat sıralaması.

3.1.2. Diyafram perde

3.1.2.1. Genel

Temel çukuru kazılarında kullanılan en rijit düşey destek elemanı olan “diyafram perde” 1950’lerde İtalya’da geliştirilmiş olup, günümüzde dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Kendine has üretim metodu ile yapılan diyafram perdeler zemin yanal yüklerini taşıma amacı dışında geçirimsizlik perdesi olarak yada temel inşaatı sonrasında üst yapının taşıyıcı elemanı olarak da kullanılabilir.

Diyafram perdenin avantajları arasında; perdede oluşabilecek düşük deformasyonlar, perdenin yüksek rijitliği, imalat esnasında düşük titreşim ve gürültü oluşumu, istenilebilen derinlikte ve kalınlıkta perde imalatı yapılabilmesi ve oluşan perdenin gerektiğinde kalıcı bir yapı olarak kullanılabilmesi sıralanabilir. Ayrıca diyafram perdeler, kazıklı temellerde kazık yerine de kullanılabilir [10].

Diyafram perdenin, rijit eleman olarak tasarlandığı durumda kesitleri artacağından, proje gereği istenilen kesitlere indirilmesi için ankrajlı sistem olarak da tasarlanabilir.

Diyafram perdenin dezavantajları arasında ise; imalat süresinin uzun olması, pahalı bir üretim olması, büyük ve fazla ekipman barındırması ve bu ekipmanlar için yer gereksinimi, çakıllı ve iri taşlı birimlerde bu yöntemin uygulanabilir olmaması, sıvılaştıran kumlu seviyelerde ise zorluklarla karşılaşılması gösterilebilir [10].

Bu perdelerin kullanım alanlarını özetlemek gerekirse; perde olarak kullanılması, temel altı elemanı olarak kullanılması ve geçirimsizlik perdesi olarak kullanılmasıdır. Aynı zamanda, düşey yönde yük taşıyacak üst yapı elemanı olarak da tasarlanabilir. Temel elemanı olarak kullanımında ise, köprü derin temellerinde düşey yük taşıyan temel altı elemanı olarak kullanılabilir. Açık kazılarda su seviyesinin yüksek olduğu

durumlarda, geçirimsizlik sağlanması için diyafram perde seçimi yaygın tercihler arasındadır [11].

3.1.2.2. İmalat esasları

Diyafram perdeler, düşey destek elemanı olarak imal edilir. Oluşturulan perde kalınlığı, standart kazıcı kepçesine bağlı olarak 0.4 m. ile 1.5 m. arasında değişebilirken, özel kepçeler ile bu kalınlık 3 m. civarına kadar çıkabilmektedir. Kepçe panelinin (kepçe eni) standart uzunluğu 2.5 m. ile 3.4 m. arasında iken özel veya hassas projeler için seçilen kepçelerde panel uzunluğu 1.8 m.'den 4.3 m.'ye kadar çıkabilmektedir.

Diyafram perde kazısında, derinlik limiti yüksek olup 100-150 m. civarına kadar çıkılabilmektedir. Gerekli önlemler alındığında ve imalat esaslarına uyulduğu takdirde oluşacak perdenin düşeyden sapması % 0.5 mertebesinde [11].

Diyafram perde imalatı sırası ile şu aşamalardan oluşur;

Kılavuz perdelerin yapılması

Diyafram perde imalatının ilk aşaması, kılavuz perde imalatıdır. Bu perdeler, diyafram perdenin proje lokasyonun dış sınırlarında, karşılıklı olarak proje güzergahı boyunca imal edilir. Kılavuz perdelerinin en temel görevi, kazı makinesine kılavuzluk ederek diyafram perdesinin dış sınırlarının projeye uygun olarak üretilmesini sağlamaktır (Şekil 3.11). Ayrıca, kazı hendeğinin üst kısımlarda bentonit bulamacı hendek çeperini desteklemede etkisiz kalmaktadır ve yanıl destek görevini bu safhada kılavuz perdeleri üstlenir.

Konsol olarak çalışan kılavuz perdeleri, yaklaşık olarak 90-180 cm. derinliğindedir ve kalınlıkları ise 15-30 cm. civarındadır (Şekil 3.12).

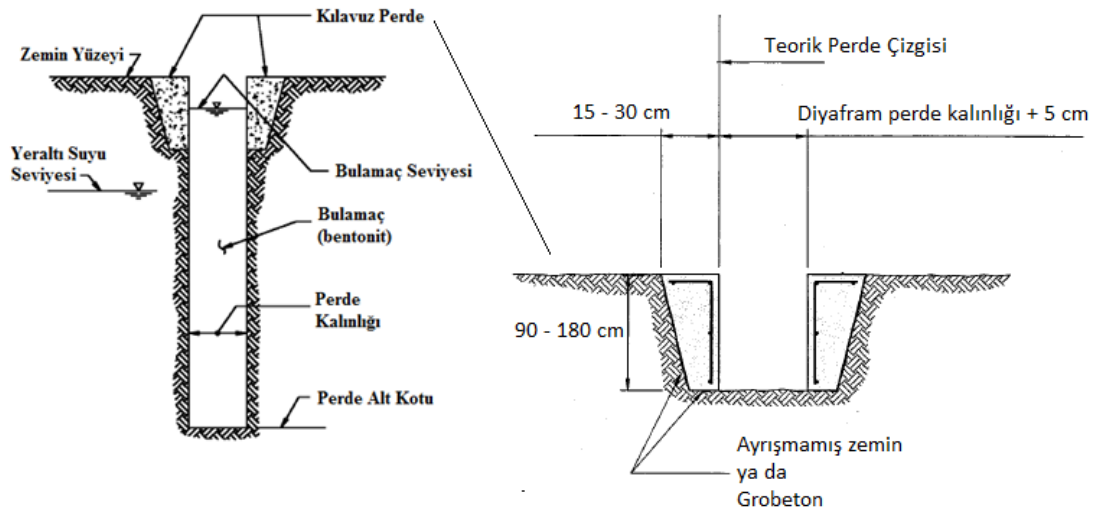
Kılavuz perde imalatı, uygun bir ön kazı sonrası, donatıların yerleştirilmesi, kalıbın konulması ve betonlanması ile gerçekleştirilir. Donatının oturduğu zemin fazla ayrışmış ise donatı yerleştirmeden önce grobeton dökülerek zemin kılavuz perde için uygun hale getirilmelidir.

Karşılıklı kılavuz perdeler arası mesafe; diyafram perde kalınlığı ve kazıcı ekipmanın emniyetli çalışma payı (5 cm.) toplamı kadar olmalıdır (Şekil 3.12).



Şekil 3.11 : Kılavuz perdesi [12].

Kılavuz perdenin üst kotu, yeraltı suyu seviyesinin 1.5 m. üzerinde olmalıdır (Şekil 3.12). Ayrıca, kazıcı makinenin bazı durumlarda kılavuz perdeler ile etkileşime girmesinden dolayı kılavuz perdelerin ve bu perdelerin oturduğu zeminin taşıma gücü de proje öncesi hesaplanmalı ve kılavuz perde tasarımında göz önünde bulundurulmalıdır [12].



Şekil 3.12 : Diyafram perdeye ait kılavuz perde [12].

Diyafram perdesi için kazı yapılması

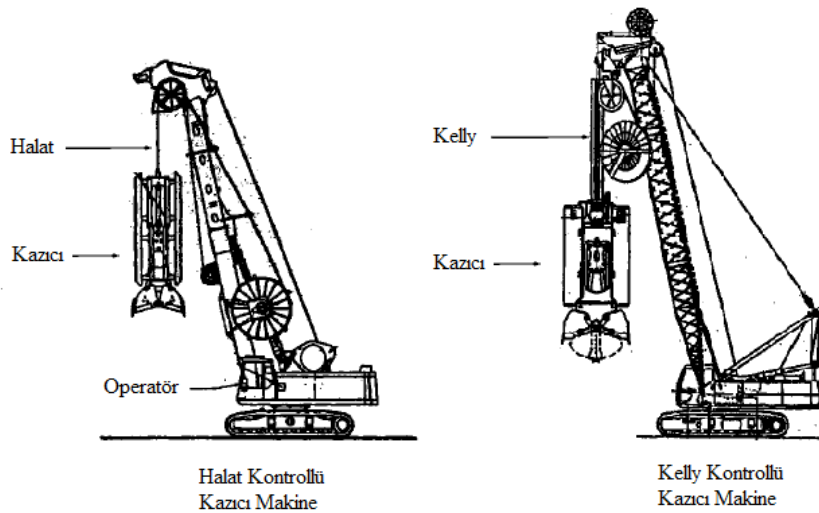
Diyafram perde, özel kazıcı ekipmanlarla kazılmış, kuyu içerisinde parça parça üretilen perdelerin birleştirilmesi sonucu oluşur. Her bir perde parçasına “panel” denir. Bu paneller için yapılacak kazı işlemi sırasında, kuyu içi stabilite kuyuya dışarıdan pompalanan bentonit bulamacı ile sağlanır.

Panel boyutları ne kadar büyük ise, bağlantı noktaları o kadar az olacaktır ve oluşacak diyafram perdesi sızdırmazlık bakımından daha elverişli olacaktır. Fakat, panel boyutlarını belirleyen tek konu bu değildir. Zemin koşulları ve kazıcı ekipman boyutları da oluşacak panel boyutunda etkili değişkenlerdir.

1.8-2.1 m. aralığında yatay uzunluğa sahip paneller, kısa panel olarak adlandırılır ve kendini tutamayan yada fazla sürşarj yüküne sahip zeminler için önerilen panel yatay uzunluğudur.

9 m. yatay uzunluğa kadar çıkabilen paneller, uzun paneller olup kendini tutabilen zeminler ve kaya ortamları için uygulanabilir [12].

Kazı işlemini yapan makinelerde, kazıcının kuyu içine indirilişi kuleye bağlı halatlar ile, “Kelly” kontrolünde veya “halat” kontrolünde sağlanabilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : Kelly kontrollü ve halat kontrollü diyafram kuyu kazıcı makineleri [12].

Halat kontrollü makinelerde, kazıcı kuyuya giriş yaparken savrulma veya odaktan şaşma yapabilir. Özellikle, kazıcının yapacağı savrulma kılavuz perdeye zarar verebilmektedir. Bu yüzden, halat kontrollü makinelerde kılavuz perdelere kazıcının sabitleyici elemanı kurulmalıdır.

Kelly kontrollü makinelerin kullanımı sert zeminlerin kazısında avantaj sağlamaktadır. Kelly'nin ağırlığını kazıcı elemana aktarması sert birimin kazılmasını kolaylaştırır. Ancak, kelly kontrollü makinelerin dezavantajı, ulaşılacak maksimum kazı derinliğinin 50 m. civarında limitlenmesidir.

Kazı işlemini yapan kazıcılar, “kova” veya “çift çeneli” olabilir (Şekil 3.14). Bu iki tip kazıcıdan biri, zemin şartlarına göre tercih edilir. Özellikle yumuşak birimlerde kova tipi kazıcı (Şekil 3.14a), sert birimlerde ise çift çeneli kazıcı (Şekil 3.14b) tercih edilmelidir.



a) kova tipi kazıcı



b) çift çeneli kazıcı

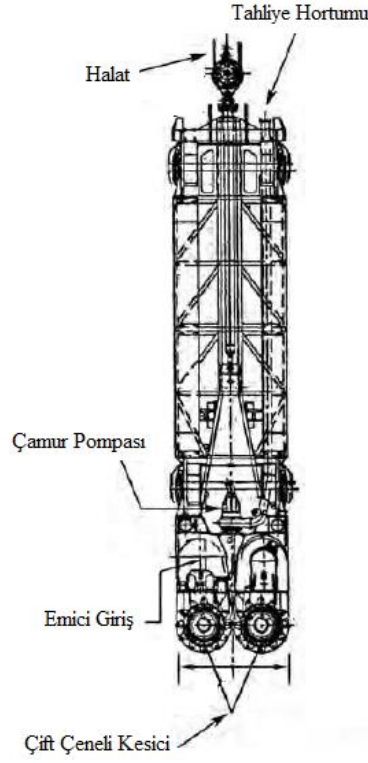
Şekil 3.14 : Diyafram kuyusu kazıcı tipleri [13].

Kova tipi kazıcı ile yapılan kazılarda, kova kanatlarının kapanması ile kesilen zemin malzemesi kova içinde dışarı çıkarılır. Kazı ilerlerken bentonit bulamacının belirli bir düzeyde tutulması önemlidir.

Kova tipi kazıcı, çakıllı zeminler ve kaya ortamı için uygun olmayıp, ulaşılacak maksimum derinlik halat kontrollü makineler ile 100 m. seviyesidir.

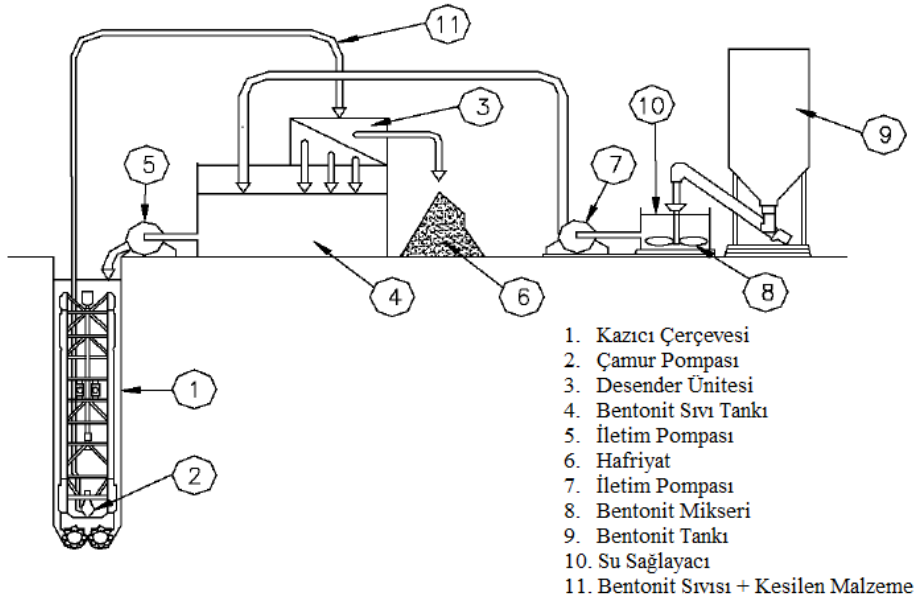
Değişik kova şekilleri bulunmaktadır. Bunlar, kavisli ve köşeli kovalar olabilir. Bu kova seçimleri perde panellerini birbirine bağlamakta kullanılan bağlantı elemanı şekline göre belirlenir. Örneğin, panelleri bağlayan eleman boru şeklinde ise kavisli kova kazıcısı kullanılabilir. Bağlantı elemanı düzlemsel çelik ise köşeli kova seçimi uygun olacaktır [12].

Çift çeneli kazıcılar; iki adet birbirine göre ters yöne dönen kesici başlık tarafından oluşmaktadır. Kesici başlıklar ise elmas bitlerden oluşmaktadır. Kesici başlıkların dönüş hareketi ile kesilen zemin veya kaya malzemesi, kuyu içerisinde bulunan bentonit bulamacına karışır. İki kesicinin ortasında bulunan pompa sistemi (çamur pompası) ile kuyu içerisindeki kesilmiş malzeme bentonit bulamacı ile birlikte kuyu dışına çekilir. Bu şekildeki sıvı akışı ile malzeminin kuyu dışına atılmasına “ters dolaşım” denir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 : Çift çeneli kazıcıda ters dolaşım sistemi [12].

Ters dolaşım ile dışarı çıkarılan zemin/kaya malzemesi ve bentonit bulamacı karışımı “desender” ünitesine pompalanarak ayrıştırmaya tabi tutuluyor. Desender ünitesinde ayrıştırılmış, uygun bentonit bulamacı düz dolaşım ile tekrar kullanılmak üzere kazı çukuruna pompalanırken zemin malzemesi hafriyat için istiflenir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 : Desender ünitesi ve bentonit bulamacı dolaşımı [12].

Kazı esnasında, kuyu içerisindeki stabiliteyi sağlamak için kullanılan en yaygın sıvı bentonit bulamacıdır. Bentonit bulamacının sahada kolay oluşturulabilmesi, bütün jeolojik birimlere uygun oluşu ve yeraltı suyu varlığında dahi etkili olması sebebiyle tercih edilir. Bu bulamaç % 6'lık montmorillonit kil minerali ve suyun karıştırılması ile oluşturulur. Bulamacın viskozitesi ağır ve yoğun kesilmiş malzemeyi askıda tutabilecek kadar olmalıdır. Bu viskoziteye sahip bulamaç, kazı yan yüzeylerinde koruyucu bir filtre tabakası oluşmasını sağlar. Bu filtre tabakasının 3 mm. civarında olması gerekmektedir.

Bentonit bulamacının yoğunluğu, “çamur yoğunluk terazisi” ile belirlenir ve minimum 1.05 g/cm^3 olmalıdır. Viskozitesi, “Marsh Konisi” ile belirlenir ve minimum 32 saniye olmalıdır. Sıvı kaybı, “Filter Press” testi ile belirlenir ve 25 cc.’den düşük olmalıdır. Ph değeri 7-11.5 değerleri arasında olmalıdır [12].

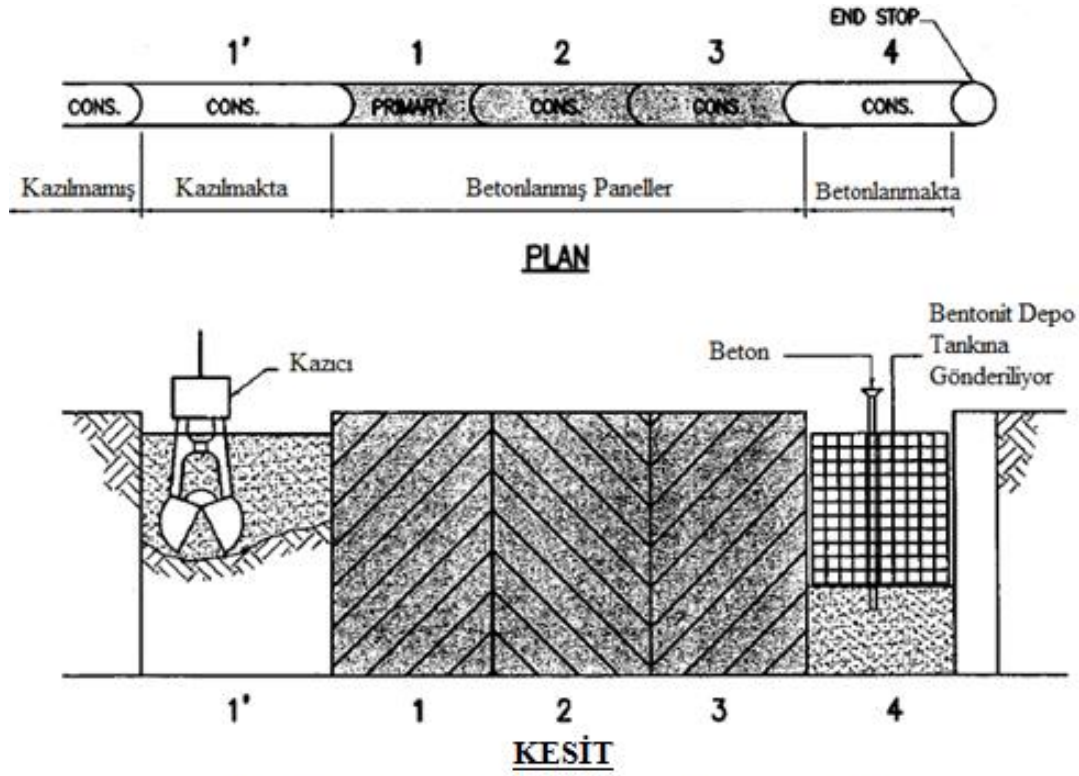
Saha verileri göz önünde bulundurulduğunda; kazı yan yüzeylerinde 3 mm. civarında filtre tabakasının olduğu kuyularda, bentonit bulamacının oluşturacağı sıvı basıncının, aktif toprak basıncı değerinin %65-80'i kadar olduğu durumda kuyu stabilitesi sağlamaktadır [5]. Kazı derinleşirken, kuyu stabilitesinin korunması için bentonit bulamacının yoğunluğu yanal yükleri dengeleyecek şekilde hesaplanarak ayarlanmalıdır.

Diyafram perdenin oluşturulması

Kazı öncesi, klavuz perde üzerine kazısı yapılacak panellerin sınırları çizilmelidir. Kazı makinesinin operatörü, önceden planlanmış panel kazılarını bu sınırlara bağlı kalarak yapmalıdır.

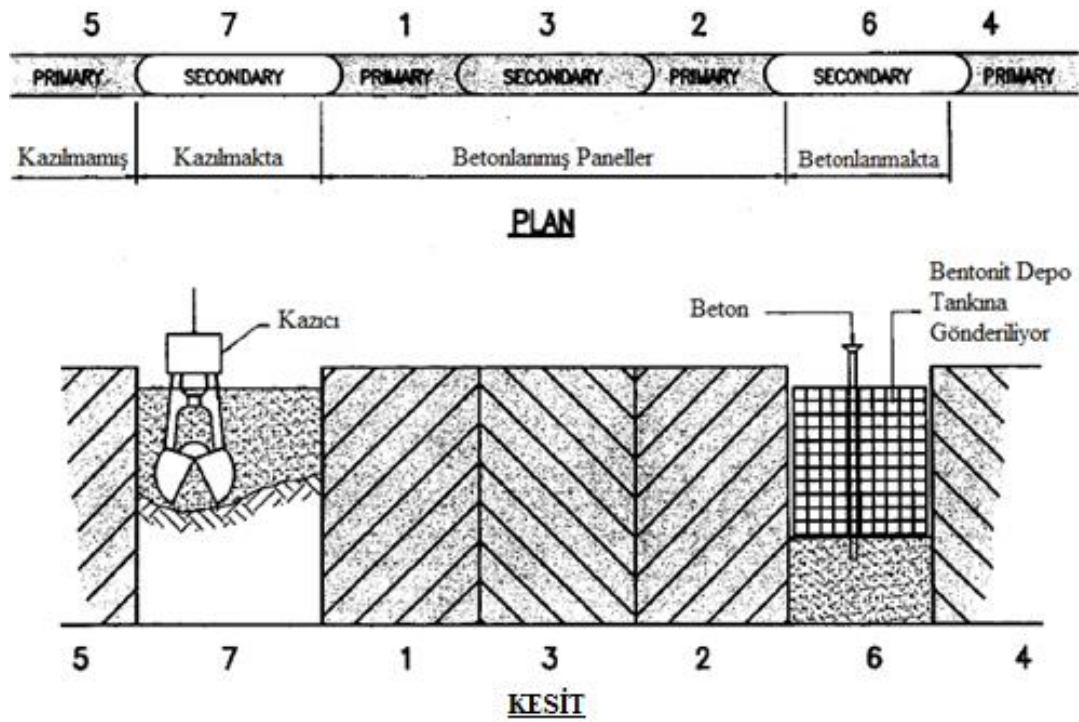
Bölümlendirilmiş panellerin hangi sıraya göre kazılacağı ve perde panellerinin hangi sıra ile oluşturulacağı iki yöntem ile belirlenir. Bu yöntemler; “birbirini takip eden” (Şekil 3.17) ve “birincil-ikincil” (Şekil 3.18) panel üretim teknikleridir.

Perde paneli üretimi şu şekilde yapılır; Bentonit bulamacı ile yapılan panel kazısı proje dip kotuna ulaştığı vakit, kuyu dibinde kalan zemin malzemesi iyice temizlenir. Bu panele ait kuyu içine, komşu panelle birleştiği noktaya “bağlantı elemanı” indirilir. Bağlantı elemanları arasında en yaygın elemanlar dairesel “stop-end” borusu ve düzlemsel “end-plate” çelik kolonlarıdır.



Birbirini Takip Eden Panel Üretim Sıralaması - 1.2.3.4 & 1'

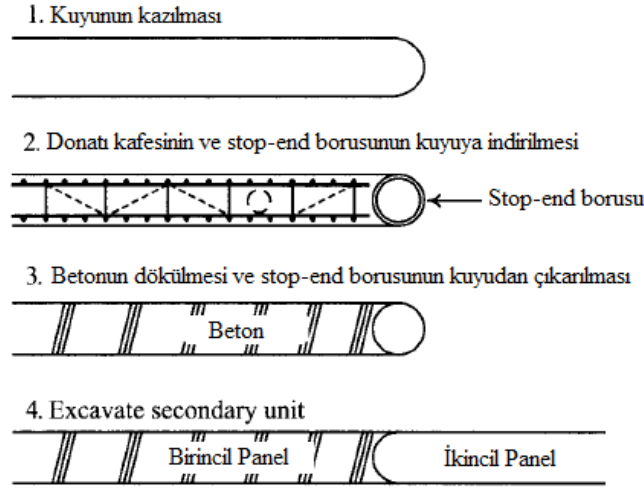
Şekil 3.17 : Birbirini takip eden panel imalatı [12].



Birincil/İkincil Panel Üretimi Sıralaması - 1.2.3.4.5.6 & 7

Şekil 3.18 : Birincil/ikincil panel imalatı [12].

Stop-end bağlantı boruları ile oluşturulan perdelerin sızdırmazlığı yüksektir, fakat paneller arasındaki donatı bağlantıları sağlıklı olmadığından eğilme momentine ve kesme kuvvetine karşı direnci zayıf perdeler oluşur. Bu yöntemle üretilen diyafram perde, geçici perde olarak kullanılabilir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19 : Stop-end boruları ile panellerin bağlantısı [10].

End-plate bağlantı elemanı kalın çelik plaklardır. Birincil panele ait donatılar bu plaktan geçerek ikincil panel ile bindirme yapar. Bu sebepten ötürü, bu bağlantı elemanları ile oluşturulan diyafram perdeler eğilme momentine ve kesme kuvvetine karşı direnci yüksektir. Öte yandan, end-plate bağlantı elemanı ile yapılan diyafram perdeler sızdırmazlık yönünden zayıftır. Bu tip perdeler kalıcı perde olarak kullanılabilir.

Bağlantı elemanı kuyuya yerleştirildikten sonra önceden hazırlanmış “donatı kafesi” kuyuya indirilir. Donatı kafesi kuyuya indirilirken, vinç ile askıda bekletilebilir. Bu esnada kafesin şeklinin bozulmaması ve kafesin dağılmasını engellemek için özel etriyeler ve çapraz çirozlar kullanılmalıdır. Ayrıca, donatı kafesi hazırlanırken tiremi borularının kafese girebileceği şekilde boşluk oluşturulmalıdır (Şekil 3.20).

Donatı kafesinin ortasından kuyu tabanına kadar uzanan tiremi boruları ile betonlama yapılır. Tiremi borusunun çapı 20-25 cm. olmalıdır. Betonlama sırasında beton kuyu dibinde yükselirken tiremi borusu da yukarı doğru çekilir ve betonlama süresince tiremi en az 1.5 m. beton içinde kalmalıdır. Uzun boylu panellerde birden fazla tiremi borusu ile betonlama yapılacaksa, her tiremi borusunun aynı seviyede tutulmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 3.20 : Diyafram perde paneline ait donatı kafesi montajı [14].

Betonlama bittikten sonra beton prizini alırken stop-end borusu kuyudan dışarıya alınır. Benzer işlem komşu paneller için de uygulanarak diyafram perde oluşturulur (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 : Diyafram perde [15].

3.1.3. Palplanş perde

3.1.3.1. Genel

Palplanş perde üretimi 1900'lü yılların başında Amerika'da başlamıştır. Yanal yönde zemin kütlesi taşımak için, palplanş kazıklarının teker teker yanyana çakılması veya itilmesi ile oluşturulan bu tip perdelere “palplanş perde” denir.

Palplanş perdelerin, yanal yük taşıma kapasitesi düşüktür. Genellikle sızdırmazlık perdesi olarak kullanılır. Sızdırmazlık özelliğinden ötürü, su tutma yapısı olarak rıhtımlarda, dalgakıranlarda ve deniz içinde perde inşaatında kullanılmaktadır. Temel kazılarında; su seviyesinin yüksek olduğu ve yanal yükün fazla olmadığı durumlarda tercih edilir.

Diğer perde seçeneklerine göre palplanş perdelerin rijitliği düşüktür. Daha fazla esneme özelliğine sahip bu perde türü, yüksek yanal deplasmana izin verilebilen projeler için uygundur.

Yumuşak zeminlerde çakılması kolayken, çakıllı zeminler ve kaya ortamı için elverişsiz bir seçimdir, fakat çelik palplanşlar bu ortamlarda da kullanılabilir.

3.1.3.2. İmalat esasları

Palplanş perdeler; ahşap palplanş kazıklar, hazır betonarme palplanş kazıklar ve çelik palplanş kazıklar kullanılarak üretilebilir.

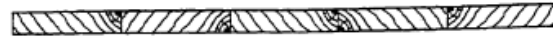
Ahşap palplanş perde

Ahşap palplanş kazıklarla üretilen palplanş perdeler sızdırmazlık konusunda etkisizdir. Bu tip perdeler, yüksek eğilme momenti taşıyamaz ve 3 m.'den düşük kazılar için geçici olarak kullanılır. Sert zeminlerde, çakma yerine önceden kazılmış çukurlara yerleştirilmeleri daha uygundur.

Çeşitli bağlantı yöntemleri ile bu tip perdeler oluşturulabilir. 5 × 30 cm. kesitlerindeki ahşap palplanş kazıklar yanyana çakılarak perde oluşturulabilir (Şekil 3.22a).

Ortadaki palplanş kazığının 5-7 cm. ötelendiği 3 adet ahşap palplanş kazık, çivi ile birleştirilirse oluşan kazık dişi bağlantı elemanına sahip olacaktır. Benzer şekilde üretilmiş kazıkların, bu dişi elemana soketlenmesi ile palplanş perde oluşturulabilir (Şekil 3.22b).

Zemine yanyana çakılan ahşap palplanş kazıklar arasına sonradan metal şeritler çakılması ile perde oluşturulabilir (Şekil 3.22c) [3].



a) Uç - uca çakılmış palplanşlar



b) Birbirine geçmeli palplanşlar



c) Metal şerit ile bağlantılı palplanşlar

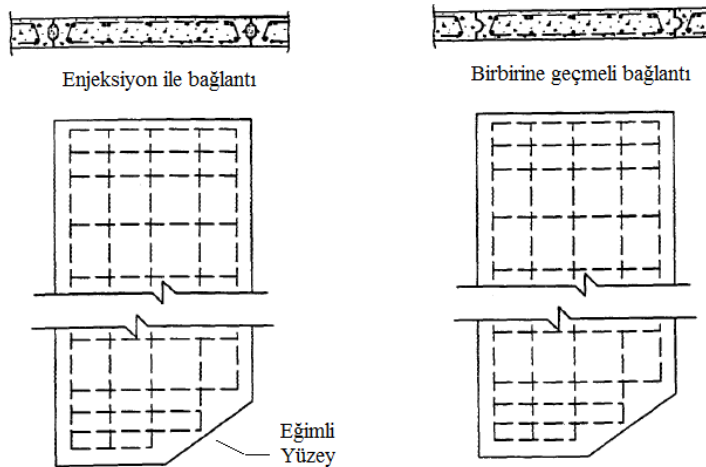
Şekil 3.22 : Ahşap palplanş tipleri [16].

Prefabrik betonarme palplanş perde

Betonarme palplanş perdeler, etkiyen yanal yüklere bağlı olarak istenilen kesitlerde üretilebilir. Her bir palplanş kazık ortalama 50-80 cm. genişliğe, 15-25 cm. kalınlığa sahiptir. Bu tip perdeler yumuşak zemine oturduğunda taşıma problemi ortaya çıkabilir [3].

Yüksek rijitlikte tasarlanarak yüksek eğilme momenti taşıyabilen bu perdeler kalıcı yapı olarak yanal yük taşıyabilir. Çakma esnasında gelebilecek ek yüklerden ötürü, ek donatı ile kazığın üst ve alt kısımlarında donatılar sıklaştırılmalıdır.

Şekil itibariyle alt kısmı eğimli imal edilerek, çakma esnasında komşu kazığa yönelmesi sağlanır (Şekil 3.23). Palplanş kazıkların birbirleri ile bağlantıları, birbirine geçirilerek veya enjeksiyon ile sağlanabilir (Şekil 3.23).

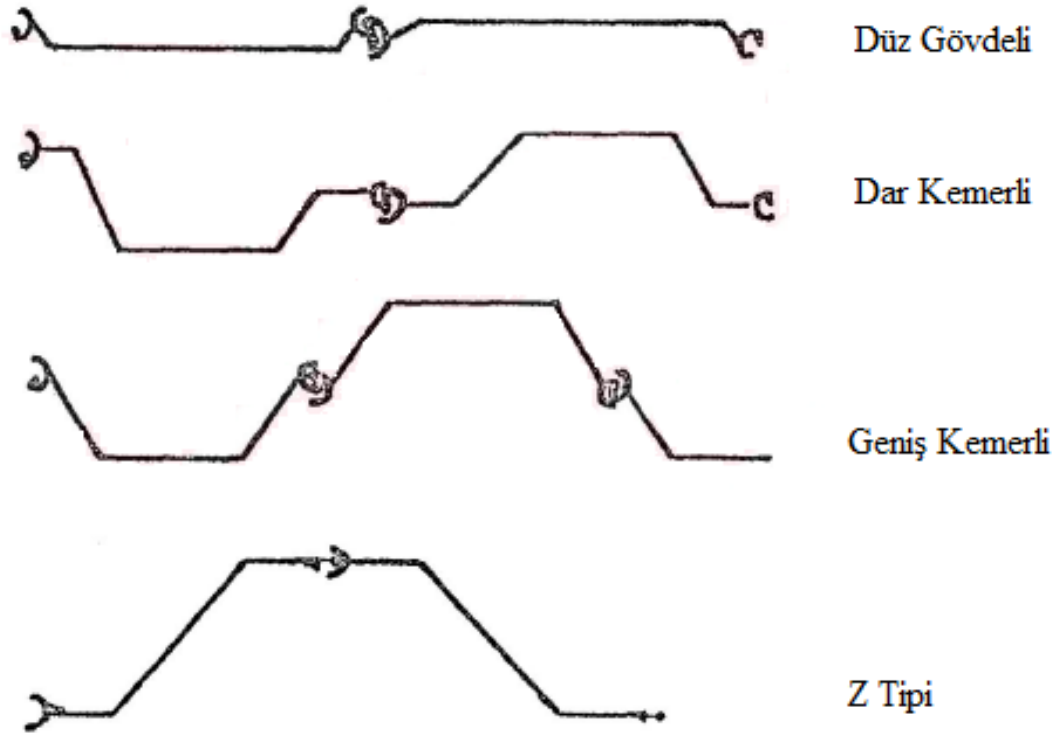


Şekil 3.23 : Prefabrik betonarme palplanş tipleri [16].

Çelik palplanş perde

Çelik palplanşlar daha çok tercih edilen palplanş yöntemidir. Palplanş kazıklarının ağırlığının düşük oluşu, tekrar tekrar kullanılabilir oluşu, çok sert kaya ortamı hariç her türlü zemine çakılabilmesi, yeraltı suyu seviyesinin yüksek olduğu ortamlarda dahi kullanılabilmesi ve uzunluklarının kaynak yapılarak arttırılabilmesi çelik palplanş kazıkların avantajları arasında sayılabilir.

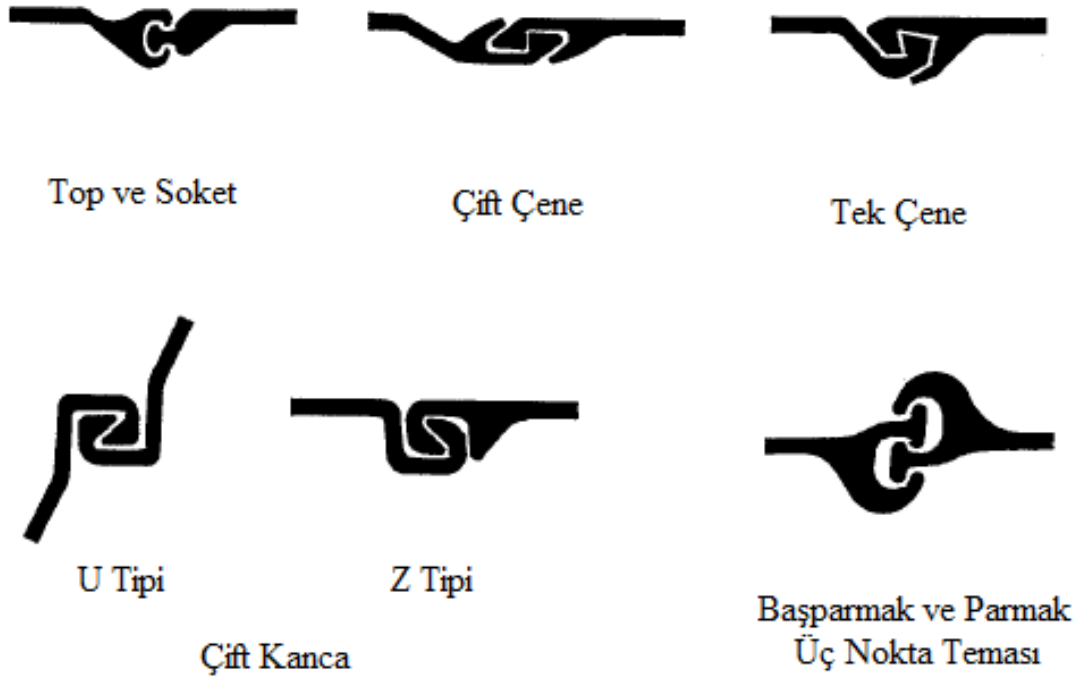
Çeşitli kesit şekillerinden oluşabilen çelik palplanş kazıkları, yaklaşık 10-13 mm. kalınlığına sahiptir. Kesit şekillerine göre; düz gövdeli, dar kemerli, geniş kemerli ve Z tipi çelik kazıklar mevcuttur (Şekil 3.24). Düz gövdeli çelik palplanşların moment dirençleri oldukça zayıftır. Çok yüksek momente karşı tasarlanacak perdelerde H tipi çelik palplanşlar kullanılmalıdır.



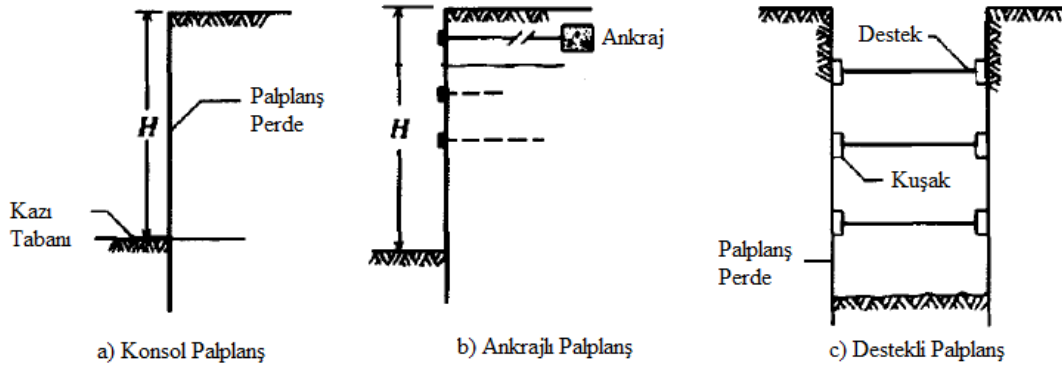
Şekil 3.24 : Kesit şekillerine göre çelik palplanşlar.

Yüksek ısıtma işlemleri sonucu oluşturulmuş, özel şekillere sahip bağlantı elemanları ile çelik palplanşların bütünlüğü sağlanır (Şekil 3.25). Bu bağlantı sayesinde perde geçirimsizlik kazanır.

Yanal yük taşıma kapasitesine bağlı olarak çalışma biçimlerine göre 3 tip palplanş perde tasarımı yapılabilir. Bu tipler; konsol palplanş perde, ankrajlı palplanş perde ve destekli palplanş perde (Şekil 3.26).



Şekil 3.25 : Çelik palplanşların bağlantı noktaları [17].



Şekil 3.26 : Çalışma biçimine göre palplanş perdeler [5].

Konsol palplanş perdeler 6 m.'ye kadar olan kazılar için uygundur. 6 m.'den fazla derinliğine sahip kazılarda genellikle 1 veya 2 kademedeki ankrajlanmış ya da desteklenmiş palplanş perdeler kullanılır.

Ankrajlı ve destekli palplanş perdelerde gömme derinliği konsol palplanş perdelerine göre daha düşüktür.

Şekil 3.27'de ankrajlı palplanş perde ile desteklenmiş bir temel kazısına örnek verilmiştir.



Şekil 3.27 : Ankrajlı palplanş perde (Boston, MA).

3.1.4. Betonarme kuyu perde

3.1.4.1. Genel

Temel inşaatında, kazı stabilitesini sağlamak için kuyu içinde imal edilen düşey betonarme desteklere “betonarme kuyu perde” denir. Bu tip perdeler günümüzde yaygınlığını yitirse de ülkemizde hala özel projelerde uygulanmaktadır.

Betonarme kuyu perdeler, ahşap destek elemanlarının kılavuzluğunda insan gücü ile düşey yönde kazılarak oluşturulan kuyular içinde hazırlanır. Oluşturulan perdenin rijitliği, kazıklı perde ve diyafram perde arasında değişebilmektedir.

Özellikle, kazı sahasının sınırında bir komşu yapının bulunması durumunda betonarme kuyu perde kullanımı tercih edilir (Şekil 3.28). Bu gibi durumlarda, komşu yapının varlığı, kazık makinesi ve diyafram makinesi gibi büyük kazıcı makinelerin kullanımını sınırlamaktadır. Dolayısı ile, sınırlı bir alanda insan gücü ile yapılacak kuyu perde imalatı bu şartlarda önem kazanmaktadır. Ayrıca, bu perde için yapılan kazı esnasında fazla titreşim oluşmaması da komşu yapıya gelecek zararları en aza indirmektedir.



Şekil 3.28 : Kazı sahası sınırında komşu yapı varlığı (Maksim Tuna Otel, 2012).

Bu tip perde seçimi kendini tutamayan ve yumuşak zeminler için uygun değildir. Özellikle sert olmayan kıltaşı ve kumtaşı gibi kayalarda etkili bir seçenektir.

Bu yöntemle, yaklaşık 40 metre derinliğe sahip bir perde oluşturulabilir fakat derinlik arttıkça kuyu kazması zorlaşır ve perde üretim hızı düşer.

Kuyuların ilerleme hızı, işçi gücü ve zemin profiline bağlı olarak günde 1.5-5 m. arasında değişmektedir. Buna bağlı olarak, bu yöntemle perde oluşturmak düşük üretim hızı yönünden dezavantajlıdır.

3.1.4.2. İmalat esasları

Bir cepheye ait projelendirilmiş perde, imalat öncesinde proje üzerinde 2-3 m. genişliğinde yatay aralıklara bölünür. Her aralık bir kuyu noktasını temsil eder. Haritacının sahada belirleyeceği bu noktalarda kuyucu ekibi konumlanır. Kazılacak kuyunun eni ise, projedeki perde kalınlığının yaklaşık 1m. fazlası kadardır. 1m.'lik bu fazla uzunluk, kazıcı ekibin kuyu içinde rahat çalışabilmesi içindir. Özellikle donatı bağlama işi kuyu içinde gerçekleşeceği için bu mesafe oldukça gereklidir.

Kazı sınırları netleştikten sonra bu noktalar içerisinde yaklaşık yarım metrelik serbest bir kazı yapılır. Daha sonra bu çukurun içerisine kuyu stabilitesini sağlayacak ilk yatay eleman olarak ahşap destekler yerleştirilir. Kazı derinliği artarken, yatay ahşap

elemanlar düşey ahşap elemanlarla desteklenir. Yaklaşık her 2 m.'lik kazı derinliği ilerlemesinde, yeni yatay destekler eklenerek kuyu stabilitesi sağlanır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29 : Kazı sırasında kuyu stabilitesi için kullanılan ahşap destekler.

Kendini tutamayan zeminlerde, yatay destekler arasındaki boşluk ahşap kaplamalar ile desteklenir.

Kuyu perde imalatı, yeraltı suyunun yüksek olduğu zeminlerde geçersiz kabul edilse de kuyuya indirilen pompa ile kuyudaki su dışarı alınarak kazıya devam edilebilir.

Kuyu dibinde bulunan işçiler, yumuşak zeminlerde kazma ve kürek kullanarak, sert zeminlerde ise havalı kırıcı ile kazı işlemini yaparlar. Kazı işlemi sonunda kuyu dibinde biriken hafriyat, kuyuya indirilmiş kovalı asansör vasıtasıyla dışarı alınır. Malzeme, kovalı asansörle dışarı alınırken, işçi güvenliğinin sağlanması için kazı durdurulmalıdır.

İstenilen derinliğe ulaşıldıktan sonra kuyu içine tek tek perde donatıları indirilir. Bu donatılar, kuyu içinde bağlanarak perdenin donatı kafesi oluşturulur. Donatı kafesi oluşturulurken komşu perde ile bindirme yapacak filiz donatıları kıvrılarak bekletilir. Komşu kuyunun kazısı bittikten sonra yeni perdenin donatısı hazırlanırken, kıvrılarak bekletilen donatı açılır ve donatı bindirmesi ile perdelerin sürekliliği sağlanır (Şekil 3.30).

Oluşturulan donatı kafesinin kazı sahasına bakan yüzeyine kalıplar çakılır. Böylece perde, betonlama öncesi tek taraflı kalıplanmış olur. Perdenin diğer tarafı zemin ile sınırlı olduğundan kalıba gerek yoktur.

Donatı kafesinin içerisine indirilen tiremi borusu ile betonlama yapıldıktan 24 saat sonra perde kalıpları sökülebilir. Bu andan itibaren, perdenin önünde kalan kuyunun bütün boşlukları kuyudan çıkarılan malzeme ile yada daha sonra kırılmak üzere grobetonla doldurulmalıdır.



Şekil 3.30 : Betonlaması bitmiş kuyu perde ve kazısı bitmiş komşu kuyu.

Kuyu perde imalatına genellikle birer atlamalı olarak devam edilir. Bu şekilde atlamalı olarak ana kuyular imal edildikten sonra ara kuyuların kazısı daha kolay gerçekleşir. Parça parça imal edilen kuyu perdelerin tamamlanması sonucunda başlık kirişi ile perde bütünlüğü sağlanır ve betonarme kuyu perde imalatı tamamlanır (Şekil 3.31).

Betonarme kuyu perdeler konsol, ankrajlı ve destekli olarak kullanılabilir. Ankrajlı perde uygulamasında, betonarme perde zarar görmemesi için perde üzerinde karot delikleri açılmalı ve ankraj matkabının direkt zemin ile temas etmesi sağlanmalı.

Şekil 3.31’de ankrajlı ve destekli betonarme kuyu perde ile desteklenmiş bir temel kazısına örnek verilmiştir.



Şekil 3.31 : Ankrajlı ve destekli betonarme kuyu perde (M. T. Otel, 2012).

3.1.5. Aç-kapa (kademeli) betonarme perde

3.1.5.1. Genel

Aç-kapa (kademeli) betonarme perde, kazı çukurunu desteklemekte kullanılan bir diğer düşey destek elemanıdır. Kazıklı perde, diyafram perde, palplanş perde ve betonarme kuyu perde imal edildikten sonra temel çukuru kazısına başlanırken, aç-kapa betonarme perdeler kademeli olarak kazı ile birlikte inşa edilir.

Kazı kademesine ait aç-kapa betonarme perdeler, anolar halinde imal edilir. Anoların boyutları zemin cinsine göre belirlenir. Kendini tutabilen zeminlerde veya kaya ortamında anoların boyu ve genişliği büyüktür, hatta tek seferde bir cepheyi kaplayabilir. Kendini tutamayan zeminlerde ise anoların boyutları daha kısa tutulmalıdır.

Aç-kapa betonarme perdeler, kazı tabanı altında konsol uzantısı olmamasından dolayı derin kazılarda destekli yada ankrajlı olarak imal edilmelidir.

Özellikle çok sert zeminlerde yada magmatik kayalarda diğer perde türleri elverişli olmayabilir. Bu gibi şantiye şartlarında, diğer perde türleri ertelenip yarım kalmış perde noktaları kazı esnasında aç-kapa betonarme anoları ile tamamlanabilir. Şekil

3.32’de sert kayada yapılmaya çalışılan kuyu perdenin yarım kalması sonucu aç-kapa betonarme perde ile tamamlanmasına örnek verilmiştir.



Şekil 3.32 : Yarım kalan kuyu perdenin, aç-kapa perde ile tamamlanması.

3.1.5.2. İmalat esasları

Aç-kapa betonarme perde imalatı öncesinde; boyutları zemin şartlarına göre belirlenmiş perde anosunun önündeki hafriyat alınır.

Perde anosunun dayanacağı kazı cephesindeki zemin/kaya, excavatör veya havalı tabanca ile tıraşlanır.

Tıraşlanmış zemin/kaya yüzeyinde, anoya ait projeye uygun donatı kafesi bağlanır.

Yan anolar ile sürekliliği sağlamak üzere, donatı kafesinin yan taraflarına bindirme filizleri yerleştirilir.

Alt kademedeki yapılacak anolar ile sürekliliği sağlayacak bindirme filizi, donatı kafesinin altına yerleştirilir ve kıvrılarak bekletilir. Kıvrılmış bindirme filizinin üzeri kumla örtülmeli. Böylece, alt kademe anosu ile bağlantı esnasında filiz rahat kıvrılır ve daha iyi korunmuş olur.

Donatı kafesi bağlandıktan sonra perde kalıbı yerleştirilir (Şekil 3.33). Kalıp önü, sahadaki hafriyat ile desteklenir. Kalıp ağzından betonlama gerçekleştirilir. Betonun prizini almasından sonra perde önündeki destek hafriyatı kaldırılır ve perde kalıbı sökülür. Böylece bir aç-kapa betonarme perde anosu tamamlanmış olur.



Şekil 3.33 : Aç-kapa betonarme perde kalıbı [18].

Anoların yana yana ima edilmesinden sonra oluşan aç-kapa betonarme perde ankrajlar ile yada boru destek ile desteklendikten sonra alt kademe kazısına geçilebilir.

Şekil 3.34’de ankrajlı aç-kapa betonarme perdesi ile desteklenmiş bir temel kazısına örnek verilmiştir.



Şekil 3.34 : Ankrajlı aç-kapa betonarme perde [18].

3.1.6. Püskürtme betonlu kaplama

3.1.6.1. Genel

Püskürtme betonlu kaplama, temel çukurunu koruyan düşey destek elemanlarından biridir. Kazı aynasına yerleştirilen çelik hasır donatı üzerine uygulanan püskürtme betonla elde edilen püskürtme betonlu kaplamalar esnek perdelerdir.

Bu tip kaplamalar, genellikle zemin çivileri ile birlikte kullanılarak kazının yukarıdan aşağı kademe kademe inmesi sırasında destek görevi görür.

Beton hortumu ile yüksek basınçta uygulanan püskürtme betonu, çimento-su-agrega karışımından oluşmaktadır.

Püskürtme betonlu kaplamanın en önemli avantajı; kalıp gerektirmemesi, betonun yerleştirilmesinin ve sıkıştırılmasının bir arada olması ile yüksek hızda üretilmesidir.

Püskürtme betonlu kaplamalar, esnek yapılarından ötürü deprem durumunda iyi performans verebilmektedir.

3.1.6.2. İmalat esasları

Püskürtme betonlu kaplamalar, kazı esnasında kademeli olarak imal edileceğinden öncelikle sahada uygun kota kadar hafriyatın alınması gerekir. Sahadaki kot düşümü kazı kademesine geldikten sonra, püskürtme betonlu kaplamanın yerleşeceği kazı aynası projeye uygun eğimde tıraşlanır. Bu esnada kazı aynasındaki gevşeyen zemin parçaları excavatör ile sıkıştırılarak düzgün bir yüzey oluşturulur. Basınçlı hava ile yüzeydeki tozlar dahi uzaklaştırılır. Zemin betonlama öncesi nemlendirilir.

Kazı aynasının, tesviye ile hazır hale getirilmesinden sonra, çelik hasırlar projeye uygun olarak ayna yüzeyine yerleştirilir ve betonlamaya geçilir.

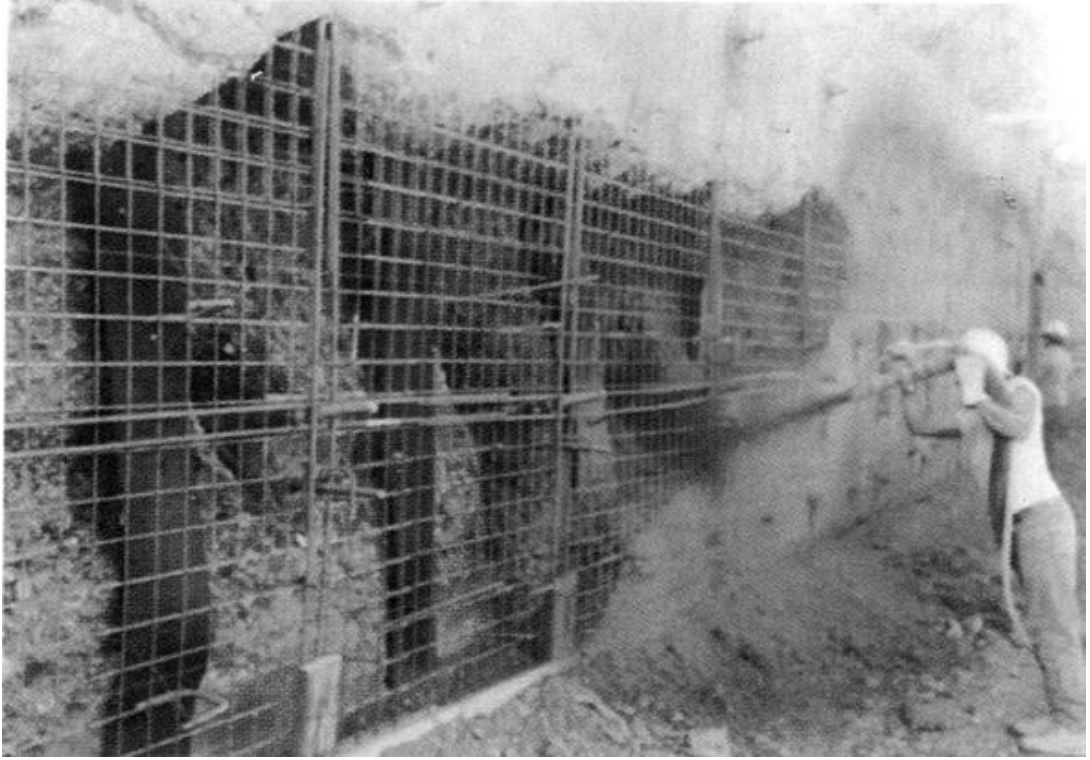
Betonlamada kullanılan püskürtme beton kuru ve yaş yöntemler olmak üzere iki şekilde uygulanabilir. Yaş sistemde çimento, su ve agregalar birlikte karıştırılır ve püskürtme işlemi yaş karışımdan doğrudan yapılır. Kuru sistemde ise çimento ve agregalar kuru olarak karıştırılır. Kuru karışım sıkıştırılmış basınç ile boru ve hortumlardan püskürtme ucuna gelirken, bu sırada karışıma su püskürtülür. Bu şekilde ıslanan karışım, püskürtme tabancasından uygulama yerine püskürtülür. Her iki yöntemle de başarılı uygulamalar yapmak mümkündür fakat yaş yöntemde

uygulama sırasında tozlanma ve geri sekme daha az olur. Her iki yöntemde su-çimento oranı 0.40 civarında olmalıdır [19].

Püskürtme beton kalitesini belirleyen en önemli iki faktör, betonun çimento içeriği ve betonun sahadaki yoğunluğudur. Buna göre; beton karışımındaki çimento miktarı m^3 başına 350-410 kg. arasında olmalıdır.

Betonun sahadaki yoğunluğu, hava içeriği ile değişmektedir. Yaklaşık olarak, beton bünyesine giren % 1 oranındaki hava hacmi beton dayanımını % 5 oranında azaltmaktadır. Fakat, hava girişi beton prizi için gerekli bir faktördür [19].

Betonlama, operatörün marifetinde homojen ve istenilen kalınlıkta kaplama sağlanana kadar sürdürülür (Şekil 3.35). Betonun, yüzeye dik püskürtülmesi ve dairesel hareketlerle uygulanması ile başarılı beton yerleşimi sağlanmaktadır.



Şekil 3.35 : Püskürtme beton uygulaması [19].

Zemin çivili püskürtme betonlu kaplamada perde kalınlığı; geçici durum için 75-100 mm. arasında, kalıcı durumlar için 150-300 mm. arasında değişmektedir [19].

Şekil 3.36'de zemin çivili püskürtme betonlu kaplama ile desteklenmiş bir temel kazısına örnek verilmiştir.



Şekil 3.36 : Zemin çivili püskürtme betonlu kaplama [18].

3.2. Yatay Destek Elemanları

Temel kazılarında destek görevi gören düşey perdeler, kazı derinliğinin arttığı durumlarda yetersiz kalmakta ve ekonomik olmamaktadır. Bu gibi durumlarda, yanal toprak basıncını karşılayacak perde kesitleri çok büyük çıkmaktadır. Bu nedenle, düşey perdelerle yatay destek elemanlarının kullanılması soruna pratik çözümler sunmaktadır.

Bu kısımda yatay elemanlardan “zemin ankraji”, “zemin çivisi” ve “boru destek” tanıtılacaktır.

3.2.1. Zemin ankraji

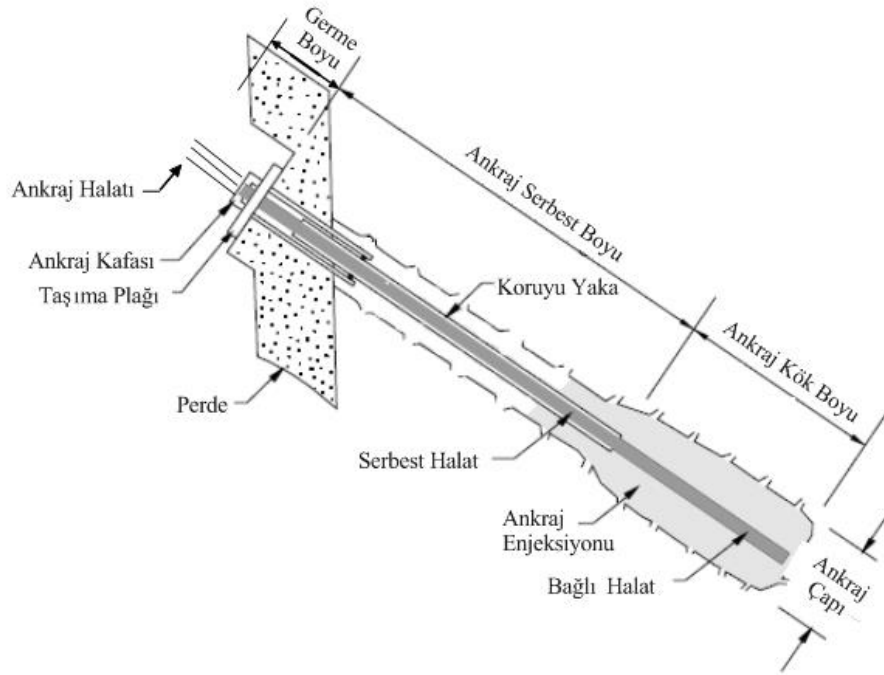
3.2.1.1. Genel

Ankrajlar; derin kazıların emniyetli bir şekilde açılabilmesi için kullanılan yatay destek elemanlarından biridir. Kaya veya zemin ortamlarında yapılacak derin kazılarda, kazı sınırında bulunan düşey perde arkasındaki zemin/kayanın stabilitesini arttırmak veya hareketini minimuma indirmek maksadı ile ankraj sistemleri kullanılır.

Zemin ankraji, üzerine uygulanan öngerme yükünün kayma yüzeyi gerisinde bulunan taşıyıcı zemine aktarılması prensibi ile çalışmaktadır.

3.2.1.2. Ankraj kısımları

Kazı aynasında yatay yada eğimli olarak yapılan delgiler sonucu oluşan kuyularda üretilen zemin ankrajı, temel olarak üç ana kısımdan oluşmaktadır; ankraj kafası, serbest ankraj boyu ve ankraj kökü. Zemin ankrajını oluşturan üç ana kısım ve diğer bileşenler Şekil 3.37’ de belirtilmektedir.



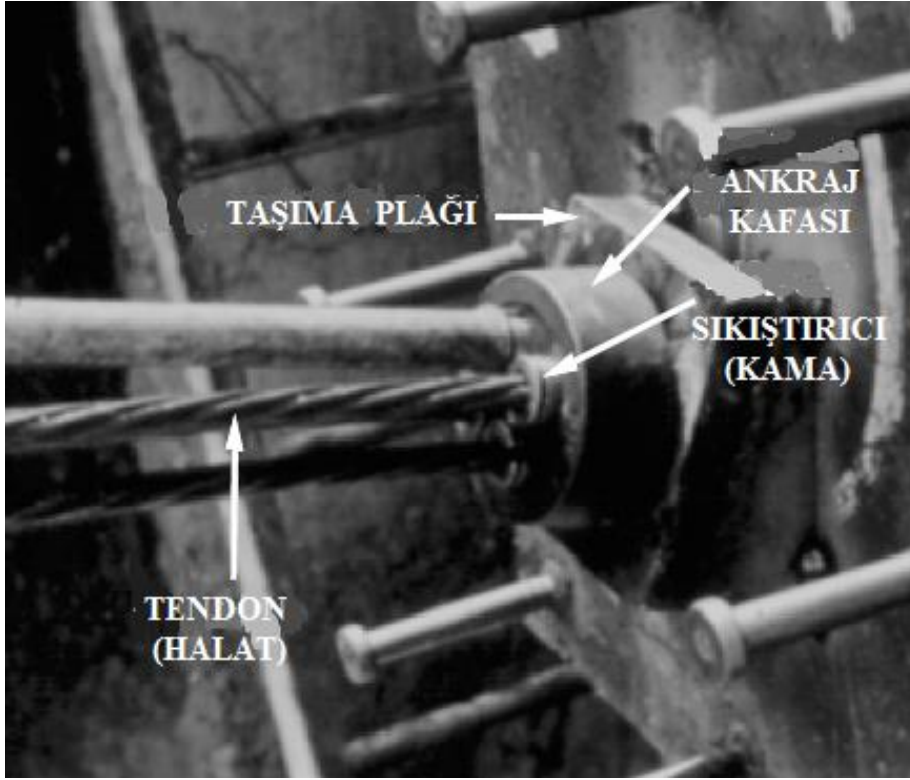
Şekil 3.37 : Zemin ankrajı bileşenleri [9].

Ankraj kafası

Ankraj halatlarının (tendon), kuyuya yerleştirilmesi ve ankraj kök bölgesi enjeksiyonun tamamlanmasından sonra ankraja hidrolik krikoy ile öngermenin uygulandığı kısım “ankraj kafası”dır (Şekil 3.37). Ankraj kökünün taşıyıcı zeminle oluşturduğu direnç kuvveti bu kısımda direkt olarak perdeye aktarılır.

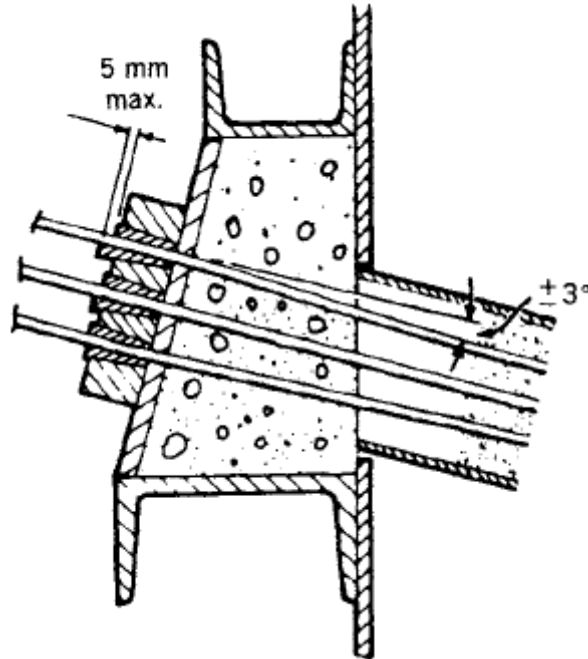
Ankraj kafası, ankrajın son kısmını oluşturur ve bileşenleri ile ankrajın perdeye bağlanmasını sağlar. Bu bileşenler; germe kafası, sıkıştırıcılar (kama, grib), ankraj halatlarının uzantısı (germe boyu) ve taşıyıcı plakadır (Şekil 3.38).

Ankraj kuyusuna, birçok çelik halattan (tendon) oluşan bir halat demeti yerleştirilir. Her bir halat boyca süreklidir ve delgi kuyusu sonundan ankrajın kafa kısmına kadar uzanır. Bu halatlar, ankraj kafa kısmında yaklaşık 80-100 cm. kuyu dışında serbest kalacak şekilde kesilir. 80-100 cm.’lik bu halat uzantısına “ankraj germe boyu” denir (Şekil 3.37). Bu mesafede halatlar germe için kullanılan hidrolik krikoya geçirilerek “ankraj öngermesi” yapılır.



Şekil 3.38 : Ankraj kafası bileşenleri [9].

Ankraj kafası, eğimli ankrajlarda eğimli olarak üretilmiş olmalıdır. Fakat bu eğim ile halatların geliş doğrultusu arasındaki açı 3° 'den fazla olmamalıdır. Aksi halde, uygulanacak öngerme yükünün ankraj sistemine aktarılmasında verim kaybı yaşanacaktır (Şekil 3.39) [20].



Şekil 3.39 : Tavsiye edilen ankraj kafası toleransları [20].

Ankraj serbest boyu

Ankraj serbest boyu, ankraj sisteminin kök ve kafa kısmı arasında kalan, enjeksiyon yapılmamış kısmıdır (Şekil 3.37). Bu kısımdaki halat uzantıları, koruyucu yaka denilen plastik bir elemanla çevrelenmektedir. Koruyucu yaka sayesinde ankraj delgisine gönderilen enjeksiyon, serbest boydaki halatlara etkmeden ankraj kök kısmına iletilir. Böylece, serbest boy içindeki halatlar serbest halde ve enjeksiyona maruz kalmadan bulunur.

Serbest boydaki halatlar, uygulanan öngerme yükü altında elastik sınırdan uzama yaparak yük transferini gerçekleştirir. Bu yük transferi, öngerme yüküne karşılık ankraj kök kısmında oluşan direnç kuvvetinin perdeye iletilmesidir [9].

Ankraj serbest boyu kayıcı zemin içinde bulunur.

Ankraj kökü

Ankraj kökü, serbest boy ile ankraj delgisinin sonu arasında kalan kısımdır (Şekil 3.37). Bu kısımdaki halatlar, enjeksiyon ile bağlanarak ve sarılarak bir gövde oluşturur.

Ankraj kafasından verilen öngerme yükü, ankraj serbest boyundan halatlar vasıtasıyla ankraj kök kısmına aktarılır. Kök kısma aktarılan yük, çimento ile oluşmuş gövdenin dış yüzeyinden zemin veya kayaya aktarılır.

Ankraj kök kısmı kayma yüzeyi ardında kalan taşıyıcı zemin sınırlarında tasarlanır ve imal edilir. Bu yüzden ankraj kök kısmına yük aktarımı sonucu perde taşıyıcı zemine bağlanmış olur.

3.2.1.3. Ankrajların sınıflandırılması

Kullanım sürelerine göre ankrajlar

- Geçici ankrajlar

Geçici ankrajlar, bir proje kapsamında kısa yada belirli bir süre yük taşıması gereken ankrajlara denir. İnşaat sonrası bu ankrajlara gereksinim kalmayabilir yada inşaa edilen yapı sonrası yeni denge durumunda bu ankrajların yük taşıma işlevi ortadan kalkabilir.

Yanal yük karşılamak için kullanılan ankrajın, üretildiği an ile gerekliliğinin ortadan kalktığı an arasındaki süreye ankrajın servis ömrü denir. Bu süre 2 yıl düzeylerinde ise geçici ankraj tasarımı yapılır.

Servis ömrü 6 aydan daha az olacak ankrajlar için korozyon koruması ve sürekli performans gözlemi gereksinimi yoktur. Servis ömrü 6-18 ay arasında olan ankrajlarda ise; yine korozyon koruması fazla önem taşımazken, ankraj performans gözlemi inşaat boyunca takip edilmelidir [20].

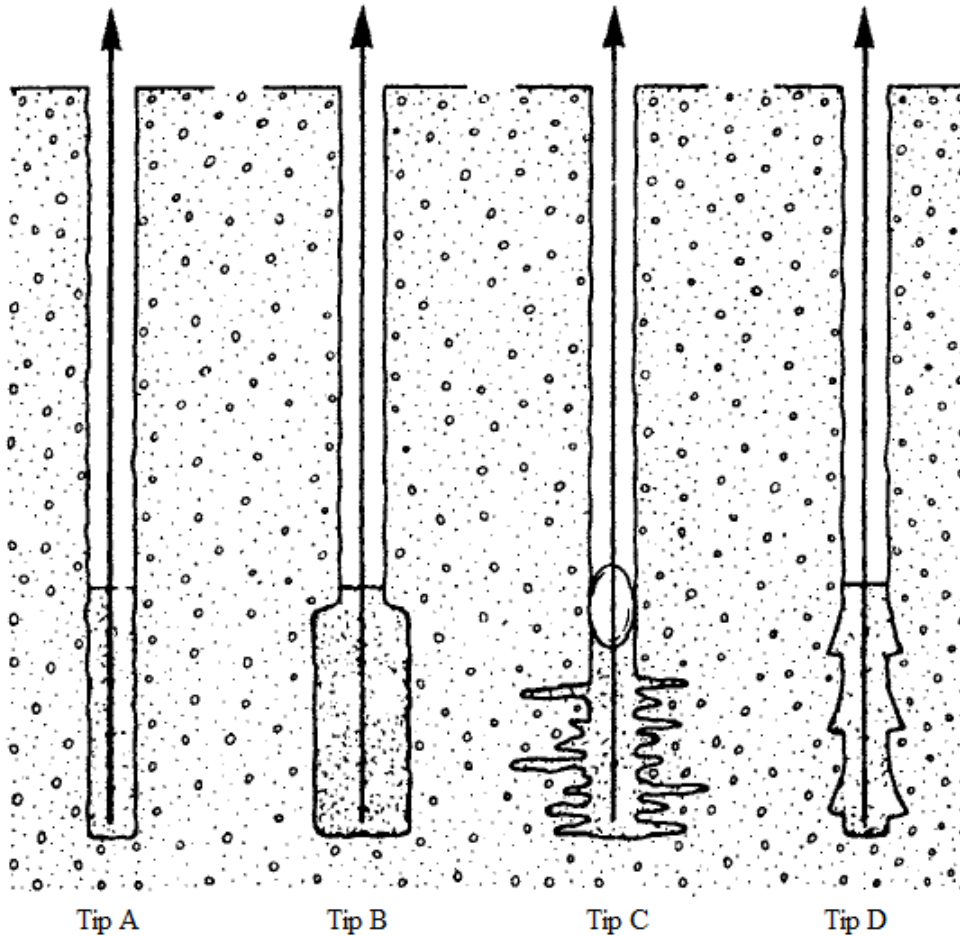
Geçici yapıları desteklemekte kullanıldığı için, derin temel çukuru kazılarında iksa perdesini desteklemek için genellikle geçici ankrajlar kullanılır.

- Kalıcı ankrajlar

Kalıcı yapıları desteklemede kullanılan ankrajlara kalıcı ankrajlar denir. Kalıcı ankrajların servis ömrü 75-100 yıl mertebesinde-dir. Bu tip ankrajlarda, korozyon koruması ve sürekli performans gözlemi önemli ve gereklidir.

İmalat tekniklerine göre ankrajlar

Ankraj delgisi esnasında kullanılan delgi tekniği veya ankraj kök bölgesine yapılan enjeksiyon tekniği, ankrajın farklı kök şekillerine ve boyutlarına sahip olmasına neden olur. Bu gibi, imalat tekniklerine bağlı olarak 4 tip ankraj üretilebilir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 : İmalat tekniklerine göre ankraj tipleri [20].

- A tipi ankrajlar

A tipi ankrajların diğeri adı “düz şaftlı ağırlık-enjeksiyonlu ankrajlar”dır. Bu tip ankrajların üretimi, kaya ve kohezyonlu katı zemin ortamları için uygundur. Ankraj kuyusunun delgisi rotary ve auger yöntemi ile yapılabilir. Delgi çukurunun stabilitesine göre, ankraj imalatı esnasında muhafaza borusu kullanılabilir.

Kök bölgesi enjeksiyonu, düz şaftlı delgi çukuru içinde tiremi yöntemi ile yapılır. A tipi ankrajlarda kök bölgesinde oluşacak ankraj direnci, çimento gövdesi – zemin yüzeyi arasındaki sürtünme direncine bağlıdır [9].

- B tipi ankrajlar

B tipi ankrajların diğeri adı “düz şaftlı basınç-enjeksiyonlu ankrajlar”dır. Bu tip ankrajların üretimi, zayıf kaya ve çakıllı zeminler ortamları için uygundur. Ayrıca iyi boylanmış kohezyonsuz zeminlerde de B tipi ankraj uygulanabilir. Ankraj çukurunun delgisi muhafaza boruları kullanılarak, rotary ve auger yöntemleri ile yapılabilir.

B tipi ankrajların kök enjeksiyonu, 0.35 MPa’dan daha fazla basınçla çimentonun kök bölgesine verilmesi ile yapılır. Enjeksiyonun basınç altında yapılmasından dolayı, kök bölgesindeki normal basınç artar ve çevredeki zemin malzemesi sıkışır. Sonuç olarak, kök bölgesi radyal olarak genişler. Bu teknikle üretilen ankrajlarda kök direnci, tiremi metodu ile yapılan enjeksiyonlu köklere göre daha fazladır [9].

- C tipi ankrajlar

C tipi ankrajların diğeri adı “ikincil enjeksiyonlu ankrajlar”dır. Öncelikli olarak kohezyonsuz zeminlerde, buna ek olarak katı kohezyonlu zeminlerde bu tip ankrajlar uygulanabilir.

Bu tip ankrajlarda, ilk olarak ağırlık-enjeksiyonu ile kök gövdesi oluşturulur. İlk enjeksiyonun yapılmasından 1-2 gün sonra, tendonlara önceden yerleştirilmiş özel tüpler içinden yüksek basınçlı ikincil enjeksiyon yapılır. İkincil enjeksiyon sonucunda, çimento zeminde mikro kırıklar oluşturarak düzensizce ilerler. Sonuç olarak, ankraj kök bölgesi zemine doğru genişlemiş olur [9].

- D tipi ankrajlar

D tipi ankrajların diğeri adı “delgi içinde genişletilmiş ankrajlar”dır. Sert kohezyonlu zeminlerde bu tip ankrajlar uygulanabilir. Bu tip ankrajlarda, kök enjeksiyonu tiremi metodu ile yapılırken özel aletlerle kök bölgesi genişletilir. Bu teknikle üretilen ankrajlarda, çimento gövdesi – zemin yüzeyi arasındaki kesme direncine ek olarak uç direnci de ankraj kök direncine dahil olmaktadır [20].

3.2.1.4. Ankraj malzemeleri

Enjeksiyon malzemeleri

Ankrajlarda kullanılan enjeksiyonun görevi, kök bölgesinde tendonlarla birleşerek bir yük aktarma yapısı oluşturmaktır. Bu yapıya, “ankraj kök gövdesi” denildiği daha önce belirtilmişti.

Kaya veya zeminde yapılan ankraj enjeksiyonunda tipik olarak agrega içermeyen çimento kullanılır. Geniş çaplı ankraj kökü için kum-çimento enjeksiyonu da kullanılabilir.

Yüksek hızlı mikserde hazırlanan çimento-su karışımında, su/çimento ağırlık oranı 0.4-0.55 aralığında olmalıdır [9]. Katkı malzemeleri ve su, mikse önce atılmalı ve sonra çimento atılarak en az 3 dk. karıştırılmalıdır.

Enjeksiyon malzemesi olarak, Standard Portland çimentosu (Tip I) pek çok proje için yeterli olacaktır, fakat bu çimento kimyasal etkilere karşı fazla dayanıklı değildir. Zemin ortamındaki kimyasal etkilerin varlığı önceden belirlenmiş ise, Portland çimentoya sülfat direnci sağlayan katkı (Tip II) ve priz hızlandırıcı (Tip III) eklenmelidir [20].

Genel olarak, çimento malzemesi çapı maksimum 44-100 µm. arasında olmalıdır. Bu çapta malzeme kullanılması ile enjeksiyonun, permeabilitesi $5 \cdot 10^{-6}$ cm/s’den düşük zemine kaçması engellenir [20].

Enjeksiyon hazırlanırken kullanılacak su, bakteri içermeyen her türlü temiz su olabilir.

Tendonlar

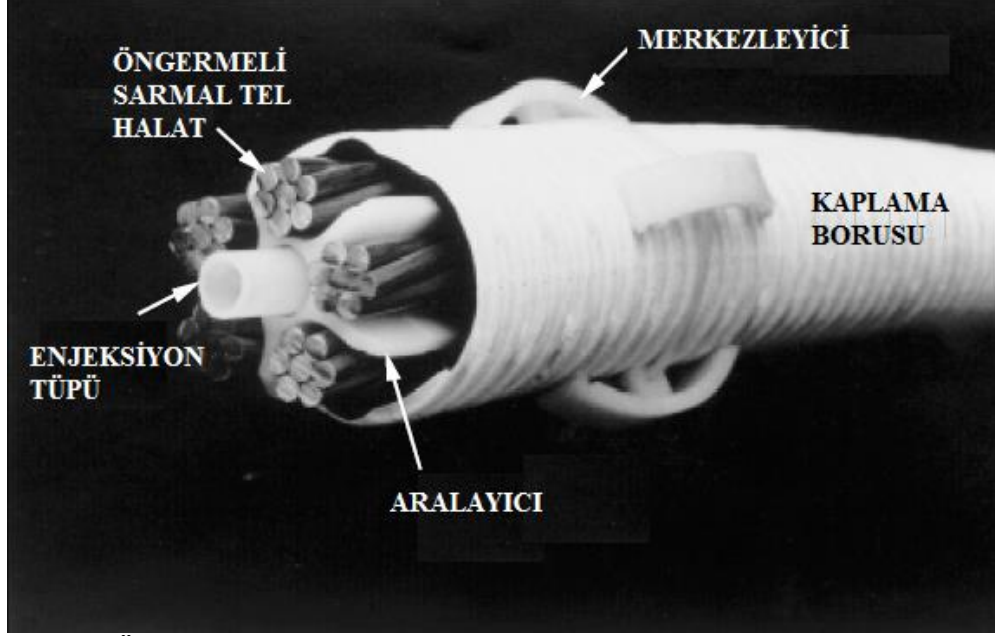
Tendon, ankraja verilen öngerme yükünü ankraj kök bölgesine iletir. Bunlar; yüksek yük taşıma kapasitesine sahip ve elastik uzama kabiliyeti olan çelik donatı çubuklarından, öngermeli tel halatlardan veya öngermeli sarmal tel halatlardan oluşabilir.

- **Çelik donatı çubukları;** düşük ankraj uzunluğuna sahip ve düşük ankraj yükü gerektiren proje noktalarında kullanılması ekonomik olarak daha uygundur. Çubuklar 26, 32, 36, 45, 64 cm. çaplarında olabilmektedir.

- **Öngermeli tel halatları;** genellikle soğuk dökme düz karbon çelikten üretilir. Tel çapları, 5-8 mm. arasında değişebilir. 5mm. çapa sahip bir öngermeli tel halat genel

olarak, 1670 N/mm^2 çekme direncine ve 184000 N/mm^2 elastisite modülüne sahiptir. Bir ankraj delgisinde sayısız adet öngermeli tel halat kullanılabilir [20].

- **Öngermeli sarmal tel halatları;** 4 ile 20 arasındaki tel halatların bir araya getirilip, bükülerek sarmal form kazanması ile elde edilir (Şekil 3.41) [9].



Şekil 3.41 : Öngermeli sarmal tel halat demeti üzerinde merkezleyici ve aralayıcı [9].

Tendon merkezleyiciler ve aralayıcılar

Aralayıcılar ve merkezleyiciler, ankraj kök bölgesinde tendon demeti arasında enjeksiyonun rahatlıkla yapılabilmesi ve tendon demetinin delgi içerisinde merkezde kalmasını sağlayan araçlardır. Bu araçlar, paslanmaz malzemeden imal edilir.

Aralayıcılar, halat demeti içinde 6-13 mm.'lik bir enjeksiyon boşluğu oluşturur. Serbest boyda ve kök boyda kullanılırlar. Serbest boyda, halatların dolaşmasını sağlar ve birbirleri ile etkileşime girmesini engeller. Kök kısmında, halatlar arasında enjeksiyonun rahat ilerlemesini sağlar. Ayrıca, halat demetinin geometrisini muhafaza eder. Genellikle, halatlar üzerinde 3 m. aralıklarla kullanılır.

Merkezleyiciler ise, tendonun delgi içerisinde merkezde yer almasını sağlar. Kök bölgesinde, tendon demeti dışında 13 mm.'lik enjeksiyon boşluğu oluşturarak, tendon demeti çevresinde üniform enjeksiyon kalınlığı elde edilmesini sağlar. Merkezleyiciler sağlıklı bir şekilde yerleştirilmediği vakit, tendon delgi içerisinde zemin malzemesi ile örtülebilir. Bu durumda, tendonla enjeksiyon yeterli temas oluşturamaz ve ankraj yeterince yük taşıyamaz.

Şekil 3.41'de öngermeli sarmal tel halat demetinden oluşmuş ankraj tendonunda merkezleyici ve aralayıcılar görülmektedir.

3.2.1.5. Ankraj imalat esasları

Ankraj imalatı oldukça önemli olup, deneyim ve titizlik gerektirmektedir. İmalat esnasında yapılacak eksiklik veya yanlışlıklar, ankrajda yük kaybına hatta ankrajın tamamen çalışmamasına neden olabilmektedir.

Genel olarak ankraj imalatı şu aşamalardan oluşmaktadır;

- Ankraj delgisi
- Ankraj tendonunu yerleştirilmesi
- Enjeksiyon yapılması
- Öngerme yükünün verilmesi

Ankraj delgisi

Ankraj delgisine başlamadan evvel, betonarme perdelerde ankraj noktası için karotla perde üzerinde delik açılmalı (Şekil 3.42). Kazıklı perdelerde ise ankraj delgisi, kazıklar arasından direkt olarak zemin yüzeyinden yapılır.

Ankraj delgisi esnasında kullanılabilen teknikler; rotary, darbeli ve iki tekniğin birlikte kullanılmasıdır. Delgi için tercih edilecek tekniğin şu ihtiyaçları karşılaması gerekir;

- zemini fazla bozmamalı
- delgi esnasında çukur stabilitesi sağlanmalı



Şekil 3.42 : Betonarme perdelerde ankraj öncesi karot delgisi (M. T. Otel, 2012).

Delgi esnasında çıkan zemin malzemesi kontrol edilmeli. Hedeflenen hacimden fazla malzeme çıkıyor ise delgide göçme söz konusudur.

Kendini tutabilen zeminlerde, rotary sisteme bağlı auger (burgu) tekniği kullanılabilir.

Sert kayalarda, darbeli delgi tekniği kullanılması uygundur. Sık ve ani darbeler, kayanın ayrışmasını sağlayarak delgi hızını artırır.

Yumuşak zeminler için rotary sistem tavsiye edilmektedir.

Göçebilen killerde yapılan delgilerde muhafaza borusu kullanılmalıdır.

Delgi esnasında zaman zaman sapmalar olabilmektedir. Ankrajlar arası yatay aralığın 2 m. ve daha fazla olduğu projelerde, izin verilir delgi sapması 2°'dir. Fakat yatay aralığın düşük olduğu, tabakalı zemin ortamlarında izin verilir delgi sapması 1°'dir ve delgi sapması takip edilmeli [20].

Ankraj tendonunu yerleştirilmesi

Ankraj delgisinin tamamlanmasından sonra hazır hale getirilmiş ankraj tendonu vakit kaybedilmeden delgi içerisine yerleştirilmelidir.

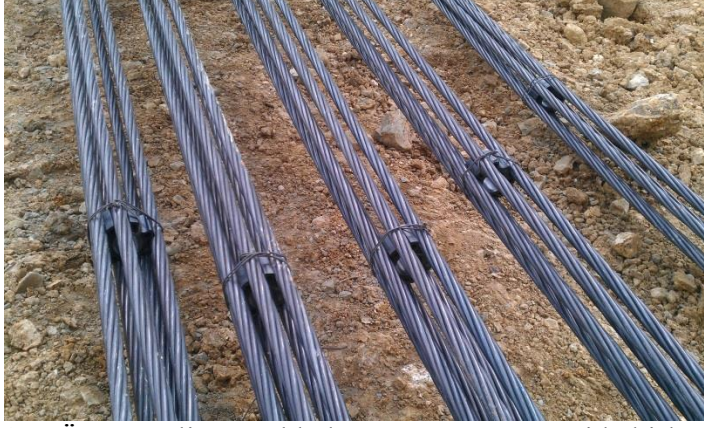
Ankraj tendonu hazırlanmasının ilk aşaması, uygun boylarda halatın kesilmesi yada çelik çubuğun birleştirilmesi ile başlar. Uygun boydan kasıt; ankraj kök boyu, ankraj serbest boyu ve germe boyunun toplamıdır (Şekil 3.43).

Projede belirtilen sayıda halatın kesilmesinden sonra bu halatlar merkezleyici ve aralayıcılar eşliğinde projeye uygun geometride birleştirilir. Birleştirmeyi sağlamak için inşaat çelik telleri de kullanılır (Şekil 3.44).

Birleştirilmiş öngermeli sarmal halatların oluşturduğu halat demetinde, ankraj kök boyu haricindeki kısım polietilen kaplama borusu ile sarılır. Böylece serbest bölgeye enjeksiyon girmesi önlenir (Şekil 3.45).



Şekil 3.43 : Öngermeli sarmal halat kesimi.



Şekil 3.44 : Öngermeli sarmal halatın uygun geometride birleştirilmesi.



Şekil 3.45 : Serbest boyun kaplama borusu ile kaplanması.

Serbest boyun kök bölgesi ile geçiş yaptığı nokta, kaplama borusunun sonudur. Bu noktada izolasyon yapılarak kök bölgesi enjeksiyonunun serbest boya geçmesi önlenmelidir. Bunu sağlamak için köpük malzemesi ile kaplama borusu sonu kapanır ve izolasyon malzemesi ile iyice sarılır (Şekil 3.46).



Şekil 3.46 : Serbest boy ve kök boy arasındaki izolasyon.

İzolasyon sağlandıktan sonra polietilen enjeksiyon hortumu (tüpü) montajı yapılır. Enjeksiyon hortumu serbest boyda kaplama borusunun dışında kalırken, kök boyunda merkezleyicilerin içerisinden geçirilir (Şekil 3.47).



Şekil 3.47 : Ankraj demetine enjeksiyon hortumu montajı (M. T. Otel, 2012).

Bu şekilde öngermeli sarmal halatlardan oluşan ankraj tendonu, delgi içerisine insan gücü ile yerleştirilir (Şekil 3.48).



Şekil 3.48 : Ankraj tendonun delgi içerisine yerleştirilmesi (M. T. Otel, 2012).

Enjeksiyon yapılması

Ankraj tendonun delgi içerisine yerleştirilmesinden hemen sonra kök bölgesine yönelik enjeksiyon, kuyu ağzındaki enjeksiyon hortumu ile yapılmalı.

Enjeksiyon esnasında dikkat edilecek hususlar “enjeksiyon malzemeleri” ve “imalat tekniklerine göre ankrajlar” kısımlarında aktarılmıştı.

Şekil 3.49’da enjeksiyonu tamamlanmış ankrajlar görülmektedir.



Şekil 3.49 : Enjeksiyonu tamamlanmış ankrajlar.

Öngerme yükünün verilmesi

Enjeksiyonun tamamlanmasından 10 gün sonra ankrajın öngerme yapılabilir. Enjeksiyon malzemesine katılacak priz hızlandırıcılarla bu süre 6 güne kadar düşürülebilir.

Ankraj öngerme, ankraja servis yapacağı yükün verilmesi işlemidir. Bu esnada ankraj üzerinde yapılacak testlerle, ankrajın yük taşıma performansı da ölçülür. Bu testler ileriki kısımlarda “ankraj testleri” başlığında açıklanacaktır.

Germe makinesi, gövde ve çekme kafasından oluşmaktadır. Ankraj tendonları, germe makinesinin gövdesinden geçirilir. Daha sonra, tendonlar germe başlığı içine yerleştirilir ve gribler ile sıkıştırılır (Şekil 3.50). Bundan sonra, germe makinesinin bağlı olduğu basınç ünitesi ile ankraj kademeli olarak gerilir. Basınç kademelerinde, tendonların uzama miktarları ölçülerek ankraj testleri yapılır.

Geçici ankrajlarda, germe işlemi bittikten sonra ankraj performansı da yeterli bulunmuş ise germe boyunu oluşturan tendonlar kesilebilir.



Şekil 3.50 : Ankraj tendonlarının germe makinesine yerleştirilmesi.

3.2.1.6. Ankraj tasarım esasları

Çok sıra ankrajlı perde tasarımında izlenilmesi gereken basamaklar, sırası ile 12 adımda şöyle özetlenebilir [9];

Adım 1 – Projeye ait bütün bilgiler toplanmalı. İnşaat sınırı çevresindeki kalıcı ve geçici yük durumları belirlenmeli. Kazı çukurunun ne kadar süre ile desteklenilmesi gerektiği belirlenmeli, buna göre kalıcı veya geçici ankraj sistemine karar verilmeli.

Adım 2 – Kazı sahasını oluşturan zemin yada kaya profili çıkarılmalı ve zemin/kaya özellikleri belirlenmeli.

Adım 3 - Hesapta kullanılacak zemin parametreleri belirli güvenlik sayıları etkisinde belirlenmeli.

Adım 4 - Kazı esnasında, düşey destek perdesine etkiyecek yanal toprak basıncı dağılımı belirlenmeli. Oluşturulan basınç diyagramına; su basıncı, sürşarj yükü ve gerekirse sismik yükler de eklenerek perdeye etkiyecek toplam basınç diyagramı oluşturulmalı. Toplam basınç diyagramları, her kazı kademesi için ayrı ayrı da hesaplanmalı.

Adım 5 – Yaklaşık düşey aralıklarla ankraj noktaları belirlenir. Her kademedeki yatay ankraj yükleri ve perde üzerindeki eğilme momentleri hesaplanır. Eğilme momenti ve yatay ankraj yüklerinin fazla çıkması durumunda, ankraj düşey aralıkları optimum sonuç verecek şekilde revize edilmeli.

Adım 6 – Uygun zemin/kaya tabakası ve yeraltı yapıları dikkate alınarak, ankraj eğim açısı belirlenir

Adım 7 – Eğim açısı belirlendikten sonra, ankraj noktalarındaki yatay yükler tekrar çözülür. Bunun sonucunda, ankraj üzerindeki yük ve ankraj yükünün yatay yük bileşeni hesaplanır.

Adım 8 – Ankraj yatay aralıkları belirlenir.

Adım 9 – İmalat esnasında kullanılacak ankraj tipi seçilir.

Adım 10 – Düşey destek perdesinin düşey ve yanal yük taşıma kapasitesi kontrol edilir. Bu kontrolde, ankraj yüklerinin düşey bileşeni de dikkate alınmalı. Gerekirse, perde kesitleri revize edilir.

Adım 11 – Ankraj sisteminin içsel ve dışsal stabilite analizi yapılmalı. Gerekirse, ankraj geometrisi revize edilir.

Adım 12 – Düşey destek perdesinin, yapabileceği maksimum yatay deplasman ve zemin üzerinde yapabileceği maksimum oturma belirlenmeli. Sınır şartları aşılması durumunda, tasarımda revize yapılmalı.

Perde üzerine etkiyen yanal toprak basıncı dağılımının belirlenmesi

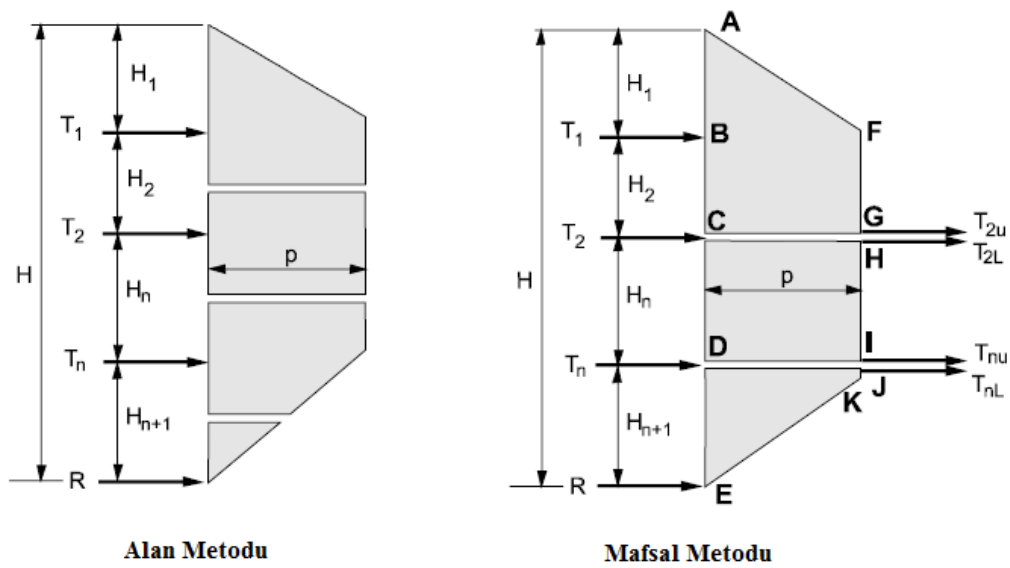
Adım-4’te belirtilen, düşey destek perdesine gelen yanal toprak basıncı dağılımı belirlenmesi; Kısım 2.10’da belirtilen “çok sıralı destek sistemlerinde toprak basıncı dağılımı” başlığında aktarılmıştı. Buna göre; çok sıralı destek sistemlerinde Rankine ve Coulomb teorisi ile belirlenen toprak basınçları yerine bu basınç dağılımlarından türemiş “görünür yanal toprak basıncı zarfı” kullanılmaktadır.

Görünür yanal toprak basıncı zarfı kullanımı, ankraj yüklerinin ve perde üzerine gelen eğilme momentinin belirlenmesinde kolaylık sağlamakta ve bu değerlerin elle basit olarak çözülebilmesine izin vermektedir [9].

Ankraj yüklerinin belirlenmesi

Adım-5’te belirtilen yatay ankraj yüklerinin belirlenmesinde, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bilgisayar programları kullanılabilir. Bunun yanında, görünür yanal toprak basıncı zarfı eşliğinde “Alan Metodu” ve “Mafsal Metodu” ile de yatay ankraj yükleri belirlenebilir.

Alan ve Mafsal metodu ile ankraj yükleri hesabı Şekil 3.51 eşliğinde şu şekilde yapılmaktadır;



Şekil 3.51 : Alan ve mafsal metodları ile ankraj yüklerinin belirlenmesi [9].

Alan Metodu:

$$T_1 = H_1 + H_2/2 \text{ mesafesindeki yanal yük}$$

$$T_2 = H_2/2 + H_n/2 \text{ mesafesindeki yanal yük}$$

$$T_n = H_n/2 + H_{n+1}/2 \text{ mesafesindeki yanal yük}$$

$$R = H_{n+1}/2 \text{ mesafesindeki yanal yük} \quad (3.1)$$

Bu bağıntılarda;

T_1 ve T_2 , üstten bir ve ikinci sıra ankrajlarına ait yatay yükler,

T_n , n'inci sıra ankrajına ait yatay yük,

R , pasif itkiden kaynaklanan zemin reaksiyon kuvveti,

H , kazı yüksekliğidir.

Mafsal Metodu:

$$T_1 = \Sigma M_C = 0 \text{ kabulü altındaki yük}$$

$$T_{2u} = (ABCGF) \text{ alanındaki yanal yük} - T_1$$

$$T_{2L} = \Sigma M_D = 0 \text{ kabulü altındaki yük}$$

$$T_{nu} = (CDIH) \text{ alanındaki yanal yük} - T_{2L}$$

$$T_{nL} = \Sigma M_E = 0 \text{ kabulü altındaki yük}$$

$$R = \text{Toplam yanal yük} - T_1 - T_2 - T_n$$

$$T_2 = T_{2u} + T_{2L}$$

$$T_n = T_{nu} + T_{nL} \quad (3.2)$$

Bu bağıntılarda;

T_1 ve T_2 , üstten bir ve ikinci sıra ankrajlarına ait yatay yükler,

T_n , n'inci sıra ankrajına ait yatay yük,

R , pasif itkiden kaynaklanan zemin reaksiyon kuvveti,

H , kazı yüksekliğidir.

Perde üzerine etkiyen bir reaksiyon tepki kuvvetinin, R , perdenin soket kısmında oluşan pasif direnç ile desteklendiği kabul edilir. Perdenin bu kuvveti dengelemesi için perdenin yeterli miktarda zemine soketlenmesi gerekir. Bazı durumlarda, soket

kısımında oluşan pasif direnç yeterli olmayabilir ve bu yük de son kademe ankrajı tarafından karşılanmalıdır.

Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 ile hesaplanan yatay ankraj yükleri belirli bir metre derinlik içindir, T_{hi} . Toplam yatay ankraj yükü, T_h , ise şu şekilde hesaplanır;

$$T_h = T_{hi} * s \quad (3.3)$$

Burada, s ankrajlar arası yatay mesafeyi belirtmektedir.

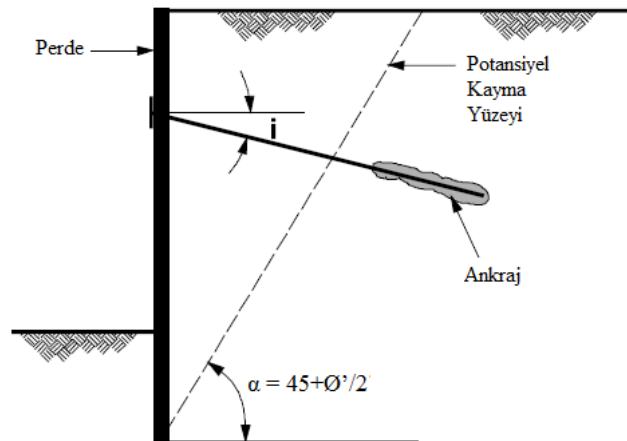
Ankraj kök bölgesi dizaynı için kullanılan yük, T_d , şu şekilde hesaplanır;

$$T_d = T_h / \cos i \quad (3.4)$$

Burada, i ankrajın yatayla yaptığı açığı belirtmektedir [9].

Potansiyel kayma yüzeyinin belirlenmesi

Ankraj tasarımında, potansiyel kayma yüzeyinin belirlenmesi önemlidir. Kayma yüzeyinin belirlenmesinde stabilite analizi kullanılabilir. Pratik olarak kayma düzlemi, perde alt ucunda yatayla $\alpha = 45 + \phi'/2$ lik açı yaparak yüzeye doğru ilerler (Şekil 3.52).



Şekil 3.52 : Pratik olarak potansiyel kayma yüzeyinin belirlenmesi [9].

Alan metodunda, kayma yüzeyi kazı seviyesinden itibaren $45 + \phi'/2$ lik açı yaparak ilerlemektedir.

Ayrıca, kayma yüzeyinin daha hassas belirlenmesinde limit denge yöntemi ve üçgen kama yöntemi de kullanılabilir.

Kayma yüzeyinin gerisinde kalan zemin, taşıyıcı zemin veya ankraj zonu olarak adlandırılır; önünde bulunan zemin kütlesi ise kayıcı zemin olarak adlandırılır [9].

Ankraj serbest boyunun belirlenmesi

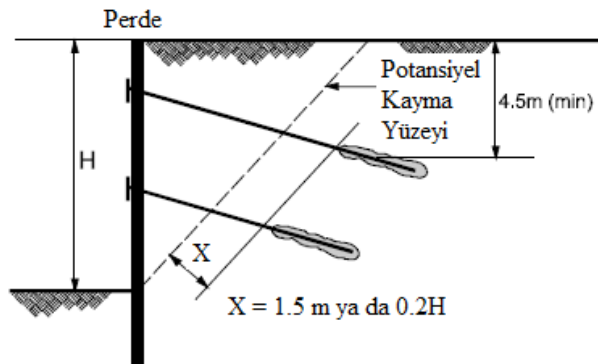
Ankraj toplam boyunun, germe boyu hariç, iki ana kısımdan oluştuğu daha önce belirtilmişti.

Ankraj serbest boyu, potansiyel kayma yüzeyinin belirlediği kayıcı zemin içerisinde kalmaktadır.

Kayada imal edilecek ankrajlar için; öngermeli sarmal halatlar kullanılmış ise 4.5 m., çelik donatı çubukları kullanılmış ise 3 m.'lik minimum serbest boyu kullanılmalıdır. Bu minimum uzunluk seçimleri, ankraj yükleme deneyleri esnasında yük kaybını engellemeye yöneliktir.

Ankraj serbest boyu, bazı durumlarda gereğinden fazla uzunlukta tasarlanabilir; ankraj kök bölgesini daha uygun zeminlere aktarmak için, ankraj sisteminin stabilitesini arttırmak için, ankrajlar arası kök etkileşimini engellemek için.

Genellikle, ankraj kök boyu minimum 1.5 m. yada perde yüksekliğinin 1/5'i kadar potansiyel kayma yüzeyi gerisine ötelenir (Şekil 3.53). Böylelikle, serbest bölgenin ankraj kök bölgesindeki yükten daha az etkilenmesi sağlanır [9].



Şekil 3.53 : Ankraj serbest boyunun kayma yüzeyi gerisine ötelenmesi [9].

Ankraj kök boyunun ve ankraj taşıma yükünün belirlenmesi

Denklem 3.4'de belirlenen ankraj design yükü, ankraj kök bölgesinde zemin ile kök enjeksiyonu arasındaki aderans ile karşılanmalı. Bu direnci elde edilmek üzere kök boyu tasarlanır.

Ankraj kök bölgesinde yük transferi kapasitesi, önceki arazi deneylerine dayanarak yapılabilmekte. Bu korelasyonlardan yararlanırken, korelasyonu sağlayan imalat tekniklerinin denkliğine dikkat edilmeli. Örnek vermek gerekirse, sahada

uygulanacak imalat tekniği ile aynı imalat tekniği altında hazırlanmış korelasyonlar kullanılmalı.

Pek çok proje ve uygulamada, küçük çaplı, düz şaftlı ağırlık-enjeksiyonlu ankraj tipinin kullanılmış olması, bu tip ankrajlar için yeterli veri altında korelasyon çizelgelerinin oluşturulmasını sağlamıştır.

Ankraj kademelerinde yapılacak ankraj testleri sonunda, ankrajın kök boyunun gerekli yükü taşıyıp taşımadığı sınanır ve gerekirse revize edilir.

Zeminlerde tasarlanacak; küçük çaplı, düz şaftlı, ağırlık-enjeksiyonlu ankraj tipleri için zemin-enjeksiyon aderansı SPT değerlerine ve zemin sıklığı veya kıvamına göre tahmin edilebilir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : SPT değerleri ile tahmini zemin-enjeksiyon aderansı [9].

Zemin Cinsi	Sıklık/kıvam (SPT)	Tahmin edilen
		taşıma yükü (kN/m)
Kum ve Çakıl	Gevşek (4-10)	145
	Orta Sıkı (11-30)	220
	Sıkı (31-50)	290
Kum	Gevşek (4-10)	100
	Orta Sıkı (11-30)	145
	Sıkı (31-50)	190
Kum ve Silt	Gevşek (4-10)	70
	Orta Sıkı (11-30)	100
	Sıkı (31-50)	130
Düşük plastisiteli		
silt+kil veya çok ince	Katı (10-20)	30
daneli kum+silt	Sert (21-40)	60
karışımları		
SPT sayılarında jeolojik yük düzeltmesi yapılmıştır		

Kaya ortamında yapılacak ankrajlar için, kaya-enjeksiyon aderans direnci Çizelge 3.2’de çeşitli kaya tipleri için verilmiştir. Kök bölgesinin taşıyabileceği maksimum yükü bulmak için çizelgedeki değerler kök uzunluğu ile çarpılıp güvenlik sayısına

(FS=3) bölünmelidir. Güvenlik sayısının yüksek olmasının sebebi, kayadaki çatlak ve süreksizliklerin belirsizliğidir.

Çizelge 3.2 : Çeşitli kaya tipleri için tahmini kaya-enjeksiyon aderansı [9].

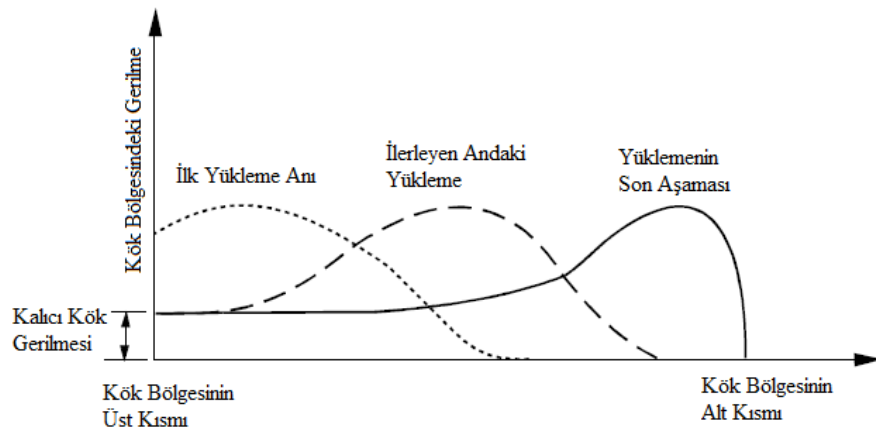
Kaya Tipi	Tahmin edilen taşıma yükü (kN/m)
Granit ya da Bazalt	730
Dolomitik Kireçtaşı	580
Yumuşak Kireçtaşı	440
Kumtaşı	440
Sert Şeyl	360
Yumuşak Şeyl	150

Kaya ankrajlarında, kök uzunluğu minimum 3 m., maksimum 10 m. dir.

Zemin ankrajlarında ise; kök uzunluğu minimum 4.5 m., maksimum 12 m. dir.

Kök boyu arttıkça ankraj direnci artarken, az önce belirtilen maksimum limitlerden sonra ankraj yükünde artış görülmemektedir.

Yapılan deneylerle ankraj kök gerilme mekanizması incelenmiştir. Buna göre, kademeli olarak gerilen ankraj, ilk olarak kökün üst bölgesinde direnç göstererek yükü karşılıyor. Devam eden yük artışı ile direnç belirli bir maksimum değere ulaştıktan sonra düşüyor ve direnç görevi yavaş yavaş kökün aşağı kısımlarına doğru kayıyor (Şekil 3.54). Görüldüğü üzere ankraj kök bölgesinde ortam ile enjeksiyon gövdesi arasında oluşan sıyrılma direnci üniform değildir. Fakat, tasarım için yapılacak hesaplarda bu direnç üniform olarak kabul edilir [9].



Şekil 3.54 : Ankraj kök bölgesi gerilme mekanizması [9].

Düz şaftlı ankraj köklerinde, zemin/kaya ile enjeksiyon yüzeyi arasındaki sıyrılma direncini veren en genel ifade;

$$T_f = \Pi \cdot D \cdot L_k \cdot T \quad (3.5)$$

Burada;

D, kök bölgesi enjeksiyon çapı,

L_k, kök bölgesi uzunluğu,

T, üniform kabul edilen zemin/kaya-enjeksiyon yüzeyindeki sıyrılma direnci,

T_f, ankraj kök bölgesi yük taşıma kapasitesidir.

T, zemin-enjeksiyon yüzeyindeki sıyrılma direnci; adezyon ve sürtünme bileşenlerinin toplamı olarak belirlenir.

Kaya ortamında yapılan düz şaftlı ankrajlar için (Tip A); ankraj kök direnci, serbest basınç direncinin 1/10'u olarak alınabilir. Fakat bu şekilde bir hesap ancak; kaya için kesme deneyi yapılmamış veya arazide ankraj çekme deneyi yapılamamış ise kullanılmalıdır.

Kohezyonsuz zeminler için Tip A,B ve C ankrajları kullanılabilir. Orta sıkı kum ortamında, kök bölgesinin yüksek basınçla oluşturulması, ankraj kök direncinin artmasına neden olacaktır. Bunun sebebi enjeksiyon basıncının zeminde konsolidasyon ve sıkılaştırmaya sebep olmasıdır. Sıkı kum ortamlarında ise, yapılacak ağırlık enjeksiyonu (tiremi metodu) düz şaftlı ankraj kökünün oluşmasını sağlayacaktır. Permeabilitesi 10⁻¹ ile 10⁻² arasında olan kumlarda 0.069-0.28 N/mm² lik enjeksiyon basıncı ile Tip-B ankrajları üretilebilir.

Tip B ankrajının, kök bölgesinde kalınlaşan ankraj olduğunu belirtmiştik. Bu tip ankrajın kohezyonsuz zeminde yapılması durumunda, ankraj taşıma yükünü veren ifade;

$$T_f = L_k \cdot N' \cdot \tan \emptyset \quad (3.7)$$

Burada;

T_f, ankraj kök bölgesi yük taşıma kapasitesi,

L_k, kök bölgesi uzunluğu,

∅, kohezyonlu zeminin içsel sürtünme açısı,

N', efektif gerilme ve ankraj çapı gibi değerlere bağlı bir sabit sayı olup, kum ve çakıl zeminler için 400 - 600 kN/m arasında değişirken, ince kumlardan orta kumlara kadar 130- 165 kN/m arasında değişmektedir.

Kohezyonlu zeminlerde, ankraj kök bölgesi yük taşıma kapasitesi enjeksiyon basıncına bağlı olarak da hesaplanabilir;

$$T_f = p' \cdot L_k \cdot D \cdot \tan \emptyset \quad (3.8)$$

Burada;

T_f , ankraj kök bölgesi yük taşıma kapasitesi,

L_k , kök bölgesi uzunluğu,

D , kök bölgesi enjeksiyon çapı,

$\emptyset$, kohezyonlu zeminin içsel sürtünme açısı,

p' , enjeksiyon basıncıdır.

Killi zeminlerde, ankraj kökünün yük taşıma kapasitesi düşüktür. Fakat, çeşitli yöntemlerle bu kapasite arttırılabilir. Enjeksiyon sıvısına düzensiz çakıl taneleri katmak ve yüksek basınçta enjeksiyon yapmak bu yöntemlere örnektir.

Killi zeminlerde, düz şaftlı ve tiremi enjeksiyonu ile yapılan zeminlerde ankraj kök bölgesi yük taşıma kapasitesi için en genel ifade;

$$T_f = \Pi \cdot L_k \cdot D \cdot a \cdot s_u \quad (3.9)$$

Burada;

T_f , ankraj kök bölgesi yük taşıma kapasitesi,

L_k , kök bölgesi uzunluğu,

D , kök bölgesi enjeksiyon çapı,

a , adezyon faktörü (0.28-0.45 arası bir değer),

s_u , kök bölgesindeki zeminin drenajsız kayma direncidir [20].

Ankrajlar arası boşlukların belirlenmesi

Ankrajların düşey ve yatay aralıkları pek çok duruma göre belirlenebilmektedir.

Örneğin;

- Yanal yükü, düşey perdede daha az deformasyonla karşılamak üzere ankrajların yakın yerleştirilmesi,
- Yeraltındaki jeolojik olumsuzlukların veya yeraltı yapılarına göre ankrajlar arası mesafenin ayarlanması,
- Seçilen düşey destek perdesi tipi (flexible/rijit).

En üst kademe ankrajları, ikinci kademe ankrajları yapılane kadar konsol olarak çalışır. Bu yüzden, en üst kademe ankrajları düşey konumu konsol yüke göre belirlenmeli. Ayrıca üst kademe ankrajları, ankraj performans testleri sırasında

ulaşılan fazla yükler altında pasif direnci fazla arttırmayacak şekilde konumlandırılmalıdır.

Kök bölgesinin orta hizası ile zemin yüzeyi arasında minimum 4.5 m. mesafe olmalıdır (şekil 3.53). Bunun sebebi, enjeksiyon basıncı ile yüzey yapılarına zarar vermemektir.

Ankrajlar arası maksimum yatay aralık, ankraj yüklerine ve düşey destek perdesi eğilme özelliklerine bağlıdır.

Düşey destek perdelerinin anlatıldığı kısımda, perdelerin yapısal olarak sürekli yada panel panel imal edildiği belirtilmişti. Buna göre, ankraj konumları her panele en az bir ankraj gelecek şekilde ve bağlantı noktalarında olmayacak şekilde belirlenmelidir.

Ankraj kök bölgeleri arasında etkileşimi engellemek üzere ankraj aralıkları seçilmelidir. Gerekirse, ankrajların açıları farklılaştırılarak kök bölgeleri arası mesafe açılmalıdır. Kök bölgelerinde oluşan gerilmeler, etkileşime girmesi sonucu istenilen ankraj yükü sağlanamayabilir. Özellikle yüksek basınç altında oluşturulan ankrajlarda kökler arası etkileşim daha fazla olacaktır.

Ankraj yükü uygulandığında, kök bölgesinin 4D uzağına kadar etkiyen gerilme zonu oluşmaktadır. Burada D ankraj kök gövde çapını belirtmektedir. Buna bağlı olarak, komşu ankraj kökleri arasında 2-3 m.'lik bir mesafe bırakılmalıdır. Bu mesafe yatay ve düşey aralıkta muhafaza edilmeli.

Ankraj tendonunun belirlenmesi

Ankraj tendonu, kök bölgesindeki ankraj yükünü güvenli bir şekilde ankraj kafasına taşıyacak şekilde tasarlanmalı. Bunun için, tendon türü ve sayısı belirlenirken güvenli sınırlarda kalınmalı;

- Dizayn yükü, tendon gerilme direncinin % 60'ını aşmamalı,
- Kilit yükü, tendon gerilme direncinin % 70'ini aşmamalı,
- Maksimum test yükü, tendon gerilme direncinin % 80'ini aşmamalıdır.

ASTM standartlarında, elik donatı çubuklarına ve öngermeli sarmal tel halatlarına ait boyut/dayanım bilgileri izelge 3.3 ve izelge 3.4'de verilmiştir;

Çizelge 3.3 : Öngermeli çelik donatı çubuklarının özellikleri [9].

Çelik Sınıfı	Donatı Çapı	Kopma Gerilmesi f_{pu}	Kesit Alanı A_{ps}	Kopma Dayanımı $f_{pu} A_{ps}$	Öngörme Yüğü		
					$0.8 f_{pu} A_{ps}$	$0.7 f_{pu} A_{ps}$	$0.6 f_{pu} A_{ps}$
(ksi)	(in.)	(ksi)	(in. ²)	(kips)	(kips)	(kips)	(kips)
150	1	150	0.85	127.5	102.0	89.3	76.5
	1-1/4	150	1.25	187.5	150.0	131.3	112.5
	1-3/8	150	1.58	237.0	189.6	165.9	142.2
	1-3/4	150	2.66	400.0	320.0	280.0	240.0
	2-1/2	150	5.19	778.0	622.4	435.7	466.8
160	1	160	0.85	136.0	108.8	95.2	81.6
	1-1/4	160	1.25	200.0	160.0	140.0	120.0
	1-3/8	160	1.58	252.8	202.3	177.0	151.7
(ksi)	(mm)	(N/mm ²)	(mm ²)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
150	26	1035	548	568	454	398	341
	32	1035	806	835	668	585	501
	36	1035	1019	1055	844	739	633
	45	1035	1716	1779	1423	1246	1068
	64	1035	3348	3461	2769	2423	2077
160	26	1104	548	605	484	424	363
	32	1104	806	890	712	623	534
	36	1104	1019	1125	900	788	675

Çizelge 3.4 : 15-mm. çaplı öngermeli sarmal tel halatlarının özellikleri [9].

15-mm Çaplı Öngermeli Sarmal Tel Halat Adedi	Kesit Alanı		Kopma Dayanımı		Öngörme Yüğü					
					$0.8 f_{pu} A_{ps}$		$0.7 f_{pu} A_{ps}$		$0.6 f_{pu} A_{ps}$	
	(in. ²)	(mm ²)	(kips)	(kN)	(kips)	(kN)	(kips)	(kN)	(kips)	(kN)
1	0.217	140	58.6	260.7	46.9	209	41.0	182	35.2	156
3	0.651	420	175.8	782.1	140.6	626	123.1	547	105.5	469
4	0.868	560	234.4	1043	187.5	834	164.1	730	140.6	626
5	1.085	700	293.0	1304	234.4	1043	205.1	912	175.8	782
7	1.519	980	410.2	1825	328.2	1460	287.1	1277	246.1	1095
9	1.953	1260	527.4	2346	421.9	1877	369.2	1642	316.4	1408
12	2.604	1680	703.2	3128	562.6	2503	492.2	2190	421.9	1877
15	3.255	2100	879.0	3911	703.2	3128	615.3	2737	527.4	2346
19	4.123	2660	1113.4	4953	890.7	3963	779.4	3467	668.0	2972

3.2.1.7. Ankraj testleri

Ankrajların gerilmesinden sonra kazı kotunun düşürülmesi esnasında ankrajlar servis etmeye başlar. Ankrajların servise geçmesinden önce yapılacak testlerle yük kapasitelerinin ve deformasyon davranışlarının belirlenmesi gerekir. Bu gereklilik kazı güvenliği için önemlidir.

Ankrajların servise uygunluğunun belirlenmesinde kullanılabilecek 3 ankraj testi bulunmaktadır;

- Performans testi (performance test)
- Kanıt testi (proof test)
- Uzun süreli sünme testi (creep test)

En yaygın olarak kullanılan test kanıt testidir. Kazı esnasında her bir ankraja yukarıdaki testlerden biri uygulanarak sonuçların kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu belirlenmelidir [9].

Performans testi

Performans deneyi, ankraja kademeli olarak yük verilerek ve boşaltılarak uygulanır. Test boyunca, ankrajın yüklenmesi ankraj kafa kısmına yerleştirilen basınç hücresi ile yapılır.

Bu deney, ankraj-yük kapasitesinin belirlenmesinde, yük-deformasyon davranışının belirlenmesinde, ankraj hareketinin belirlenmesinde ve kök boyunun yeterliliğinin belirlenmesinde kullanılır.

Bu test genellikle kademede imal edilen ilk iki ankraj üzerinde ve kademedeki diğer ankrajların % 2'si üzerinde yapılır. Zemin profilindeki değişimin çok olduğu projelerde test sayıları arttırılmalıdır.

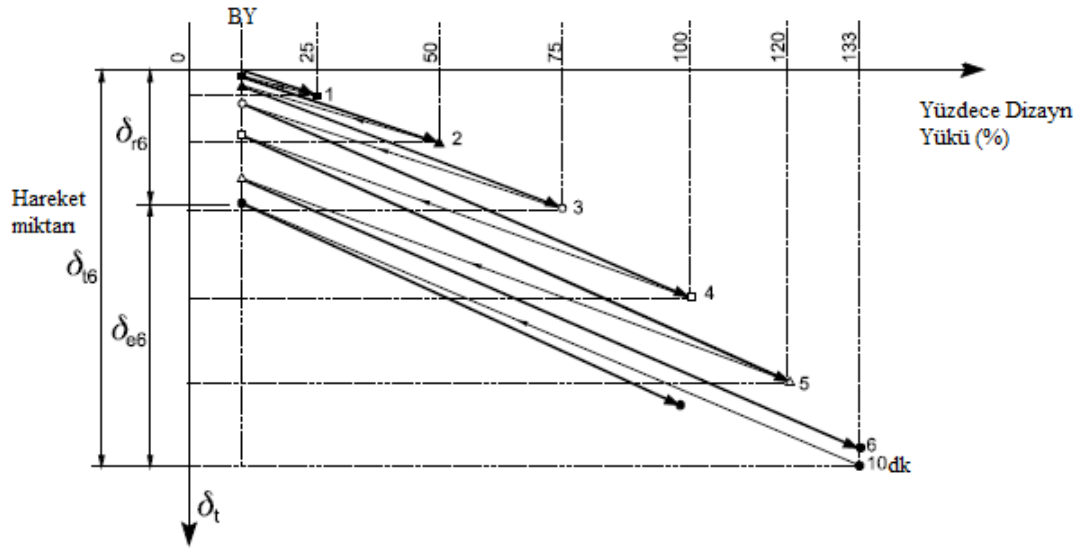
Çizelge 3.5'te bu testte uygulanacak yük artış-düşüş aşamaları ve test prosedürü belirtilmektedir.

Çizelge 3.5 : Performans testi aşamaları [9].

Aşama	Yükleme	Uygulanan Yük	Kaydedilen Toplam Hareket (δ_t)	Kaydedilen Rezidüel Hareket (δ_r)	Elastik Hareket (δ_e)
1	Başlangıç yükünün uygulanması (BY)				
2	Döngü-1	0.25DL BY	δ_1	δ_1	$\delta_1 - \delta_1 = \delta_{e1}$
3	Döngü-2	0.25DL 0.50DL BY	δ_2	δ_2	$\delta_2 - \delta_2 = \delta_{e2}$
4	Döngü-3	0.25DL 0.50DL 0.75DL BY	δ_3	δ_3	$\delta_3 - \delta_3 = \delta_{e3}$
5	Döngü-4	0.25DL 0.50DL 0.75DL 1.00DL BY	δ_4	δ_4	$\delta_4 - \delta_4 = \delta_{e4}$
6	Döngü-5	0.25DL 0.50DL 0.75DL 1.00DL 1.2DL BY	δ_5	δ_5	$\delta_5 - \delta_5 = \delta_{e5}$
7	Döngü-6	0.25DL 0.50DL 0.75DL 1.00DL 1.2DL 1.33DL	δ_6 δ_6 δ_6 δ_6 δ_6 δ_{6s} süzme testi için sıfır okuması	δ_6	$\delta_6 - \delta_6 = \delta_{e6}$
8	Mevcut yükte 10 dk. bekleme yapılır ve çeşitli zamanlarda okuma alınmaya devam edilir				
9	Döngü-6'nın Tersini	BY		δ_6	Döngü-6: $\delta_{e6} - \delta_{e6} = \delta_{e6}$
10	Test başarılı ise kilit yükü verilir				

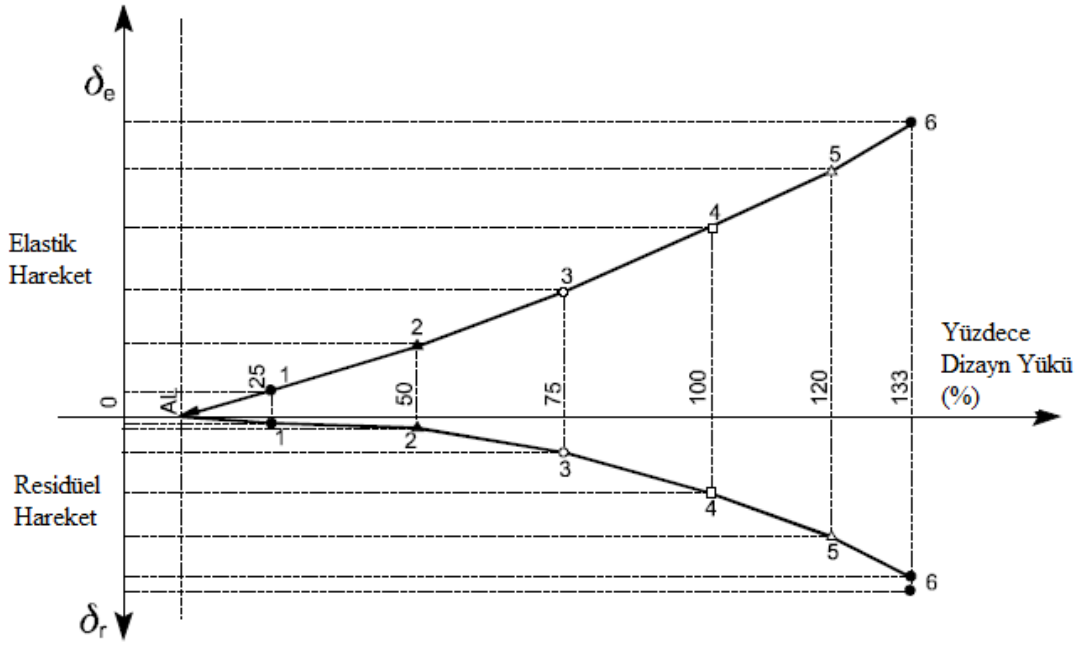
Açıklama: BY = Başlangıç Yükü, DL = Dizayn Yükü.

Testin ilk başında ankraja “başlangıç yükü” uygulanır. Bu yük dizayn yükünün % 5’inden fazla olmamalı. Başlangıç yükü altında ölçülen hareket miktarı “sıfır okuma”dır. Yükleme döngüsü-1’de yük % 25 dizayn yüküne çıkarılır ve hareket miktarı kaydedilir. Daha sonra yük başlangıç yüküne kadar boşaltılır. Bu şekilde “maksimum test yükü”ne kadar, her döngü kademesinde yükleme ve boşaltma yapılarak hareket miktarları kaydedilmeye devam edilir. Maksimum test yükü olarak, kalıcı ankrajlar için % 133 dizayn yükü, geçici ankrajlar için % 120 dizayn yükü kullanılır. Maksimum test yükünde 10 dk. beklenilir ve 1.dk., 2.dk., 3.dk., 4.dk., 5.dk., 6.dk., ve 10.dk.’larda okuma alınır. Bu şekilde, ankrajın zaman-bağlamlı (sünme) hareketi gözlenmiş olunur. Performance testinin bu bekleme bölümü aynı zamanda “sünme testi”nin bir aşamasıdır. Bu aşamada ankraj hareketi izin verilebilen maksimum hareket miktarından fazla ise test süresine 50 dakika daha eklenir. Bu test sonucunda da hareket miktarı fazla ise ya ankraj iptal edilir yada yeniden kök enjeksiyonu yapılmalıdır. Testin bu aşamasından sonra yük, başlangıç yüküne boşaltılır ve sonra dizayn yüküne kadar çıkarılarak kilitlenir (Şekil 3.55).



Şekil 3.55 : Performans test verilerinin çizimi [9].

Performans testi döngü kademelerinde okunan hareket miktarı (δ_t), ankrajın o yük kademesindeki kalıcı/residüel (δ_r) ve elastik hareketin (δ_e) toplamıdır. Test boyunca elde edilmiş verilere göre, her yükleme döngüsü için elastik ve kalıcı hareket miktarları çizilmelidir (Şekil 3.56) [9].



Şekil 3.56 : Performans testinde elastik ve residüel hareketlerin çizimi [9]

Kanıt testi

Kanıt Testi, tek bir yük döngüsünden ve bekleme süresinden oluşmaktadır. Ankrajın baş kısmına yerleştirilen basınç hücresi ile yük okumaları alınır.

Kanıt testi, performans testi yapılamamış ankrajlarda ankrajın uygunluğunun pratik olarak gözlemlenmesinde kullanılır.

Kanıt Testinin uygulama aşamaları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

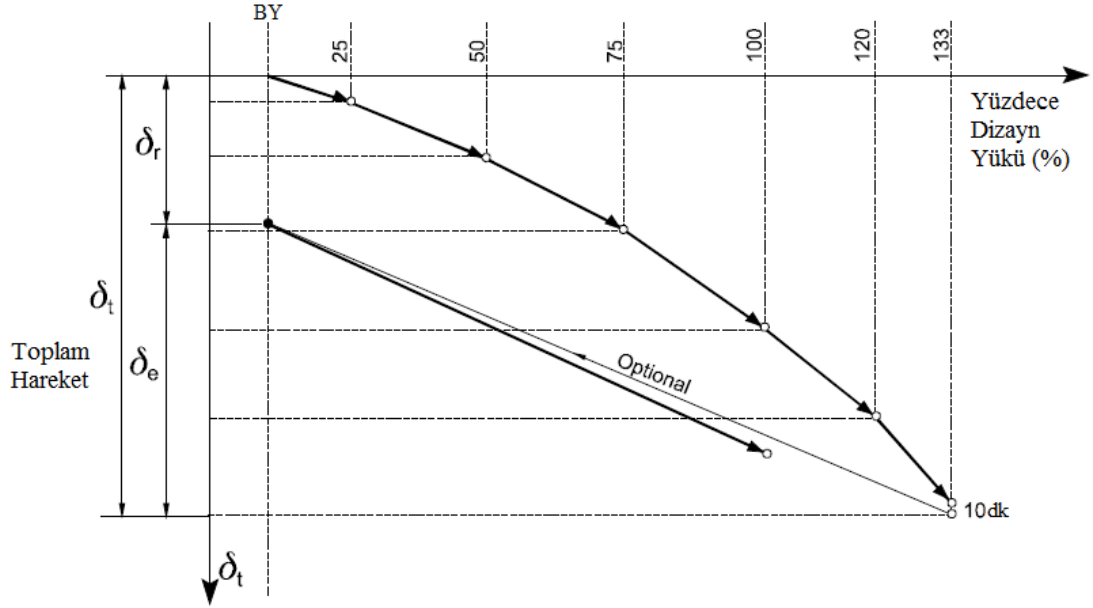
Çizelge 3.6 : Kanıt testi uygulama aşamaları [9].

Aşama-1	Başlangıç yükü (BY) uygulanır ve sıfır hareket okuması alınır
Aşama-2	Kademeli olarak yükler arttırılır; 0.25DY, 0.50DY, 0.75DY, 1.00DY, 1.20DY, 1.33DY ve her yükte hareket okuması alınır (geçici ankrajlarda son yük 1.20DY’dir)
Aşama-3	Maksimum yük kademesinde 10 dakika beklenir ve hareket okuması alınır
Aşama-4	(Opsiyonel) Başlangıç yüküne kadar yük boşaltılır ve residüel hareket okuması alınır
Aşama-5	Sonuçlar kabul edilen sınırlarda ise ankraj yükü dizayn yüküne çıkarılır ve yük kitletir

Her yük kademesindeki toplam hareket miktarı belirlenip çizilmelidir (Şekil 3.57).

Çizelge 3.6’da yer alan boşaltma aşaması (Aşama-4) kanıt testi için opsiyoneldir.

Eğer bu aşama da test esnasında uygulanmış ise ankrajdaki residüel ve elastik hareketler de hesaplanabilir [9].



Şekil 3.57 : Kanıt testinde elastik ve residüel hareketlerin çizimi [9].

Sünme testi

Sünme Testi, ankrajların sünme davranışını belirlemede kullanılan uzun süreli bir testtir.

Genellikle bu test, plastisite indeksi (PI) 20'den büyük veya likit limiti (LL) 50'den büyük kohezyonlu zeminlerde imal edilmiş ankrajlar için uygulanır. Bu gibi zemin ortamında yapılacak ankrajlı kazılarda, her kademedeki minimum iki ankraj üzerinde sünme testi yapılmalıdır.

Testin uygulanma şekli ve ekipmanı performance ve kanıt deneyleri ile benzerdir.

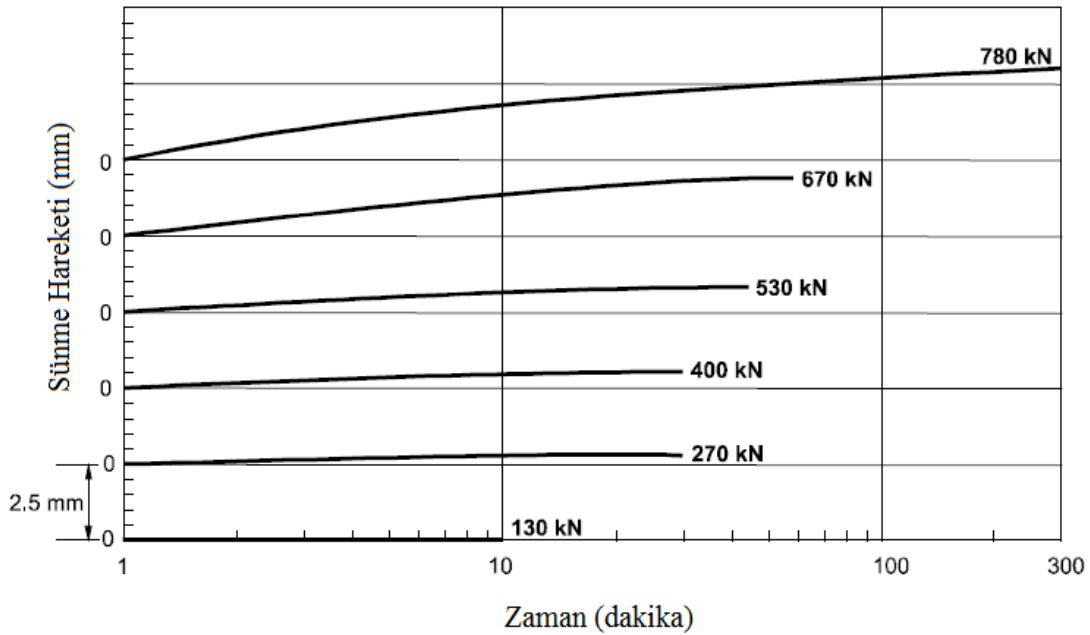
Artan yük kademeleri performance testindeki kademe yüklerine eşittir, fakat her yük kademesinde belirli sürelerde bekleme yapılır. Bekleme esnasında belirli sürelerde ankraj hareketi kaydedilir.

Sünme Testinde uygulanan yük kademeleri, kademedeki bekleme süreleri ve bekleme süreleri içinde hangi ara zamanlarda hareket okuması alındığı Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 : Sünme testi uygulama aşamaları [9].

Yük	Kademedeki	Toplam	Bekleme süresi içinde okuma alınan
Kademesi	Maks. Yük	Bekleme Zamanı (dakika)	alt zaman dilimleri (dakika)
1	0.25DY	10	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10
2	0.50DY	30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30
3	0.75DY	30	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30
4	1.00DY	45	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45
5	1.20DY	60	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60
6	1.33DY	300	1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 300

Sünme testinde elde edilen veriler grafik olarak çizilmeli. Sünme hareket miktarı, toplam ölçülen hareket miktarı ile ilk dakikada ölçülen hareket miktarı arasındaki farktır. Sünme testinde elde edilen tipik sünme eğrileri Şekil 3.58'deki gibidir. Bu şekilde yer alan her bir eğri ilgili yük kademesi için çizilmiştir. Sünme hızı, sünme eğrilerinin eğiminden belirlenir [9].



Şekil 3.58 : Sünme testinde elde edilen verilerin çizimi [9].

Ankraj testleri sonunda kabul edilebilirlik kriterleri

Ankraj testleri sonunda ankrajın uygulanabilir olması için bazı kriterler vardır. Buna göre;

Performans ve kanıt testleri sırasında, maksimum test yükünde 10 dk.'lık bekleme süresinde, ankraj hareketinin 1mm.'yi aşmaması gerekir. Eğer bu kriter sağlanıyorsa, ankraj sünme yönünden kabul edilebilir davranıştır. Fakat 1mm.'den fazla hareket var ise bekleme süresi 50 dk. arttırılır. Bu süre sonundaki kabul edilebilir ankraj hareket sınırı 2 mm.'dir.

Sünme testi sonunda ankrajın uygulanabilir olması için; Sünme miktarı-zaman grafiğinde, her yük kademesi için sünme miktarı 2 mm.'yi aşmamalıdır.

“Görünür serbest boyu (L_a)” olarak isimlendirilen, test esnasında elde edilen elastik uzama miktarı ile ölçülen serbest bölgeye ait tendon uzunluğu bir diğer kriterdir. Bu uzunluk Denklem 3.10 ile belirlenir.

$$L_a = \frac{A_t E_s \delta_e}{P} \times \frac{1}{10^9} \quad (3.10)$$

Buradaki; L_a = görünür serbest boy,
 E_s = öngermeli sarmal halatın elastisite modülü,
 δ_e = test sonucu elastik hareket miktarı,
 A_t = öngermeli sarmal halatların toplam kesit alanı,
 P = maksimum test yükü ile başlangıç yükü farkıdır.

Test verileri ile elde edilen görünür serbest boy, belirli bir minimum değerden fazla olması durumunda tendonların yeterli yük aldığı anlaşılır. Bu minimum değere, “minimum görünür serbest boy (L_{amin})” denir. Minimum görünür serbest boy, germe boyu ile serbest boyun % 80'inin toplamına eşittir (Denklem 3.11). Minimum görünür serbest boydan daha küçük değerde görünür serbest boyu elde edilmesi, ankraj kök kısmının kayma yüzeyi gerisinde kaldığına işaret edebilir.

$$L_{amin} = L_{ger} + \% 80 L_s \quad (3.11)$$

Buradaki; L_{amin} = minimum görünür serbest boy,
 L_{ger} = ankraj germe boyu,
 L_s = ankraj serbest boyudur.

Ankraj kök bölgesi aktif olduğu ve üniform gerilme durumuna geçtiği ana ait serbest boy uzunluğuna “maksimum görünür serbest boy (L_{amaks})” denir. Bu uzunluk, serbest boyun yapabileceği maksimum elastik uzama ve kök bölgesinin % 50'si ile germe

boyunun toplamına eşittir (Denklem 3.12). Ankrajın kabul edilebilir olması için görünür serbest boyun, bu maksimum uzunluğu aşmaması gerekir [9].

$$L_{amaks} = L_e + \%50 L_k + L_{ger} \quad (3.12)$$

Buradaki; L_{amaks} = maksimum görünür serbest boy,

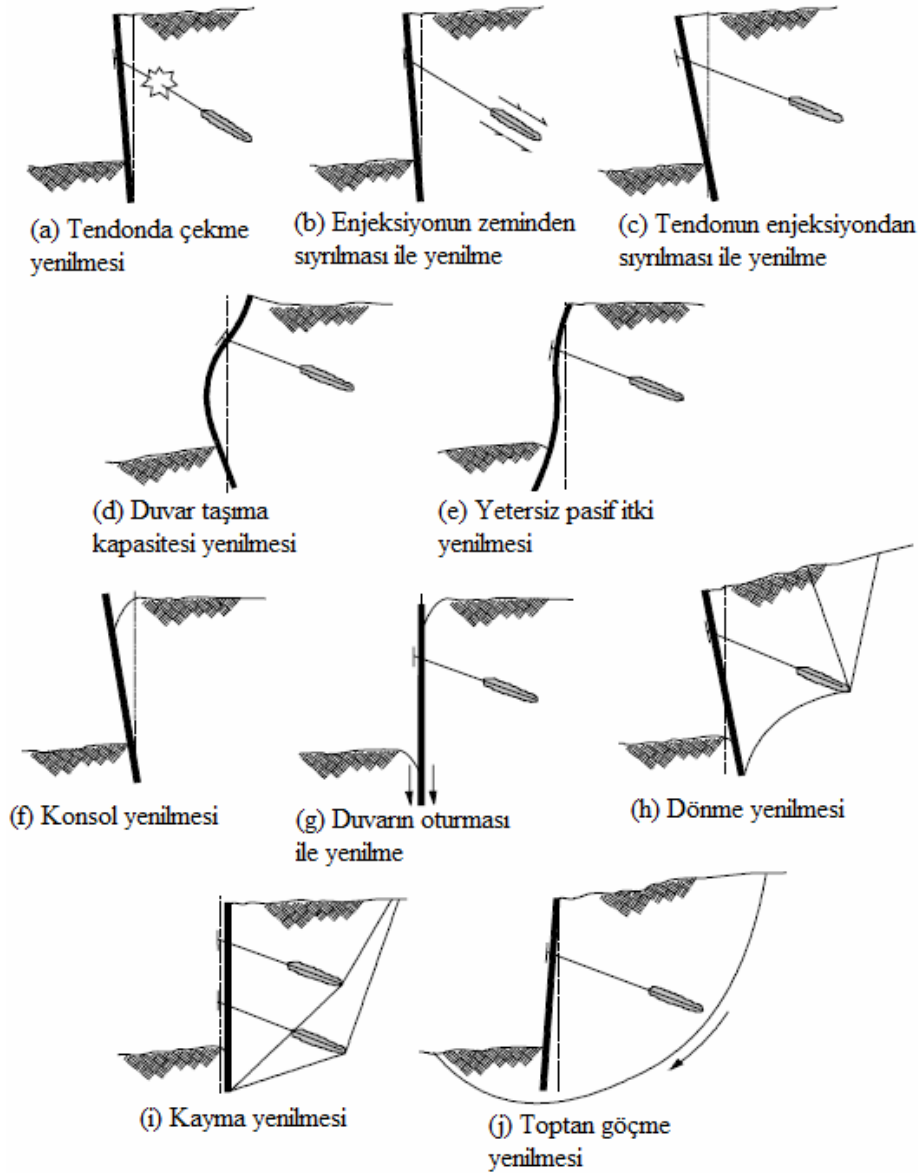
L_k = ankraj kök boyu,

L_e = serbest boyun yapabileceği maksimum elastik uzama miktarı,

L_{ger} = ankraj germe boyudur.

3.2.1.8. Ankraj yenilme şekilleri

Ankrajlı iksa sistemlerin görülebilecek genel ve yerel yenilme şekilleri Şekil 3.59’da verilmiştir.



Şekil 3.59 : Ankraj yenilme şekilleri [21].

(a) Ankraj tendonunda çekme yenilmesi; tendonlarının çekme kapasitesinin aşıldığı yükleme durumlarında görülür. Bu problem başlıca iki sebepten dolayı meydana gelir. Bunlardan birincisi, tendon çekme kapasitesinin üretim hatasından dolayı, hesaplanandan daha düşük olmasıdır. Bu, kendisini ankraj yükleme testleri esnasında gösterebilir. İkincisi ise, zaman içerisinde ankrajlara gelen yükler hesaplanan yüklerden daha fazla olabilir ve ankraj tendonları çekme yenilmesine maruz kalır. Bu durumun birkaç ankrajda oluşması sistemde yıkıcı etkiler yaratmayabilir. Fakat sayının artması durumunda iksa sistemini güvenliği tehlikeye girer. Bu nedenle ankraj dizaynı yapılırken, tendonların çekme kapasitesini $F_s = 0.6$ güvenlik katsayısı ile azaltarak hesap yapmakta fayda vardır.

(b) Enjeksiyon gövdesinin zeminden sıyrılması ile yenilme; ankraj kök bölgesindeki enjeksiyon gövdesi ile zemin arasındaki aderans kuvveti kaybından kaynaklanır. Kök bölgesindeki delik çeperi ile enjeksiyon arasında oluşması beklenen teorik aderans kuvvetinin; zemin mukavemetinin yetersiz olması, enjeksiyon ve enjeksiyonlama kalitesindeki zaafılar nedeniyle ön görülen değerinden düşük olması halinde meydana gelir. Bu durumunun oluşması esnasında tendonların enjeksiyondan sıyrılmaması, buna rağmen kök bölgesinin zeminden kopması zemin ile enjeksiyon arası aderansın tam olarak sağlanamadığının bir diğer göstergesidir. Genellikle, kayma mukavemeti düşük zeminlerde sıklıkla rastlanan bir göçme şeklidir. Bu problem ankraj yükleme deneyleri esnasında çoğunlukla kendini belli eder ve yükleme esnasında ankraj kökü zeminden sıyrılır. Kazı ilerledikçe oluşabilecek beklenmedik yük artışları da buna neden olabilir.

c) Tendonun enjeksiyon gövdesinden sıyrılması ile yenilme; ankraj tendonu ile kök bölgesindeki enjeksiyon arasındaki aderansın kaybolmasından kaynaklanır. Delik çeperi ile enjeksiyon arası aderans kuvvetinin yüksek olduğu kayma mukavemeti yüksek zeminlerde ve kayalarda gözlenir. Enjeksiyon ve enjeksiyonlama kalitesinin düşük olması, tendonların yeterli kalınlıkta enjeksiyonla kaplanmaması ve tendonların yüzeyinin aderans azaltıcı kir, pas, yağ gibi maddelerle kaplı olması bu problemin oluşmasındaki başlıca nedenlerdir. Problem kendisini çoğunlukla yükleme testleri esnasında gösterir.

(d) Duvar taşıma kapasitesinin yenilmesi; düşey destek elemanının, iksa sisteminin yüklenmesi ile oluşan kesit tesirlerini taşıyamamasından kaynaklanır. Yük analizi ve

boyutlandırma hatasından veya kazı kademelerine riayet etmeden kontrolsüz kazı yapılmasından kaynaklanabilir.

e) Yetersiz pasif itki yenilmesi; hesaplamada kullanılan pasif itkinin tam oluşmaması veya pasif itkinin yetersiz olmasından kaynaklanabilir. Bu problemin bir başka sebebi de kalitesiz imalatlardır. Özellikle fore-kazık imalatlarında beton tiremi borusu ile yerleştirilmez ise alt bölgelerde ayrışır ve kazık soketi tam oluşamaz.

(f) Konsol yenilmesi; düşey destek elemanının, kazı taban kotu altında yeteri kadar soketlenmesine rağmen, yatay desteklerle desteklenmemiş iksa sistemlerinin aşırı yanal deplasman yapmasından kaynaklanır. Yatay destekli iksalarda oluşmasının başlıca sebebi, üst bölgelerdeki yatay destekleri yerleştirmeksizin aşırı kazı yapılmasıdır.

(g) Duvarın oturması ile yenilme; düşey destek elemanının yerleştiği zemin üzerinde oturmasından kaynaklanır. Ankrajlı sistemlerde, ankrajların düşey bileşeni, duvarın kendi ağırlığı ile oluşacak oturmaya katkı sağlar. Kademe kazısı yapılması ile birlikte sistemde ani oturmalar gözlenir. Bu oturma sonucu ankrajların köklerinden sıyrıldığı durumlar bilinmektedir.

h) Dönme yenilmesi; iksa sisteminin rijit bir şekilde alt kısmındaki bir nokta etrafında dönmesi ile oluşur. Dönmeye karşı direnen ankraj kuvvetlerinin momenti, devirmeye çalışan kuvvetlerin momentlerinden daha düşük olması durumunda dönme yaşanır. Ankraj kuvvetinin yetersiz oluşu veya ankraj kök bölgesinin kayma kaması içerisinde yer alması durumunda dönmeye karşı direnç azalır.

i) Kayma yenilmesi; iksa sisteminin rijit bir şekilde taban boyunca ötelenerek yer değiştirmesidir. Kaymaya karşı direnen ankraj kuvvetleri ve pasif direncin, kaydırmaya çalışan kuvvetlerden daha düşük olması durumunda kayma yaşanır. Ankraj kuvvetinin yetersiz oluşu veya ankraj kök bölgesinin kayma kaması içerisinde yer alması durumunda kaymaya karşı direnç azalır.

(j) Toptan göçme yenilmesi; iksa sisteminin, altından geçen bir kayma düzlemi üzerinde hareket ederek stabilitesini kaybetmesidir. Ankrajlar genellikle duvar arkasındaki potansiyel kayma kamaları hesaba katılarak boyutlandırılır. Fakat, iksa sisteminin tamamını içine alan güvensiz bir kayma düzlemi oluşması halinde, sistemde ne kadar sık ve kuvvetli ankrajlar olursa olsun toptan göçme yaşanır.

Meydana gelmesi halinde, geri dönüşü olmayan büyük çapta stabilite kaybına neden olur [21].

3.2.2. Zemin çivisi

3.2.2.1. Genel

Derin temel kazılarında, zemin/kaya kütlelerinin yanal yönde desteklenmesinde kullanılan bir diğer yatay eleman “zemin çivisi”dir.

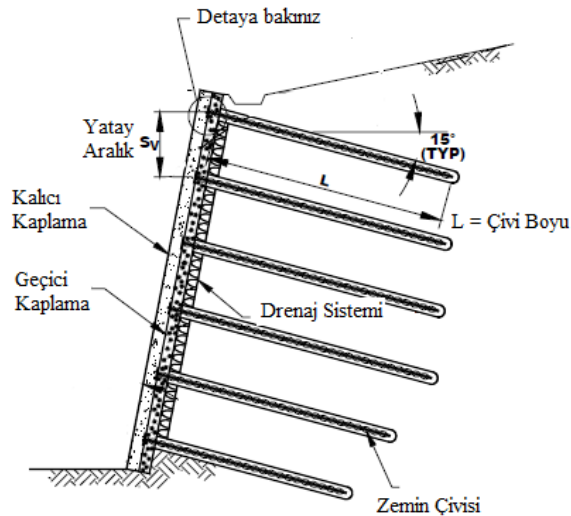
Uygulaması, kazı kademesinde zemin/kayaya açılan delgilere yerleştirilen pasif donatı çubuklarının kazı aynasında donatılı shotcrete kaplama ile desteklenmesi şeklindedir.

İmalat tekniği olarak ankrajlara benzerlik göstermesine rağmen, çalışma prensibi olarak farklılık gösterir. Bu yöntemde, zeminde yatay olarak yerleştirilen pasif donatı çubuklarına öngerme yükü verilmez. Kazı stabilitesi, düşük deformasyonlar altında pasif donatı çubuklarında oluşan çekme direnci ile sağlanır.

Zemin çivisi; temel inşaatında geçici destek elemanı olarak kullanılabildiği gibi, yol destek yapılarında korozyon kaplaması ile kalıcı eleman olarak da hizmet edebilmektedir [19].

3.2.2.2. İmalat esasları

Zemin çivili destek perdesini oluşturan bileşenler; pasif donatı çubuğu (zemin çivisi), delgi içi enjeksiyonu, merkezleyici, zemin çivisi kafası, somun, taşıma plağı, geçici/kalıcı kaplama, ve geokompozit drenaj sistemidir (Şekil 3.60 ve Şekil 3.61).



Şekil 3.60 : Zemin çivili iksa perdesi en kesidi [19].

Somun ve taşıma plağı

Somun ve taşıma plağı, zemin çivisi kafasına yerleştirilir. Pasif donatı çubuğunu ile geçici kaplama (shotcrete) arasındaki bağlantı bu elemanlar tarafından sağlanır.

Geçici/kalıcı kaplama

Zemin çivili sistemlerde, kaplamalar iksa sistemindeki bütünlüğü sağlar. Geçici kaplama (shotcrete), taşıma plağına yüzey oluşturur ve kazı çevresindeki zemini destekler. Kalıcı kaplama ise, geçici kaplama üzerine monte edilir ve kalıcı iksalarda kullanılır.

Geokompozit drenaj sistemi

Geokompozit drenaj sistemi, geçici kaplama öncesi imal edilir. Drenaj sistemi sayesinde, geçici kaplama üzerine gelebilecek zemin suyu, toplanarak ortamdan uzaklaştırılır.

İmalat aşamaları

Zemin çivili iksa sisteminin imalat aşamaları şu şekildedir;

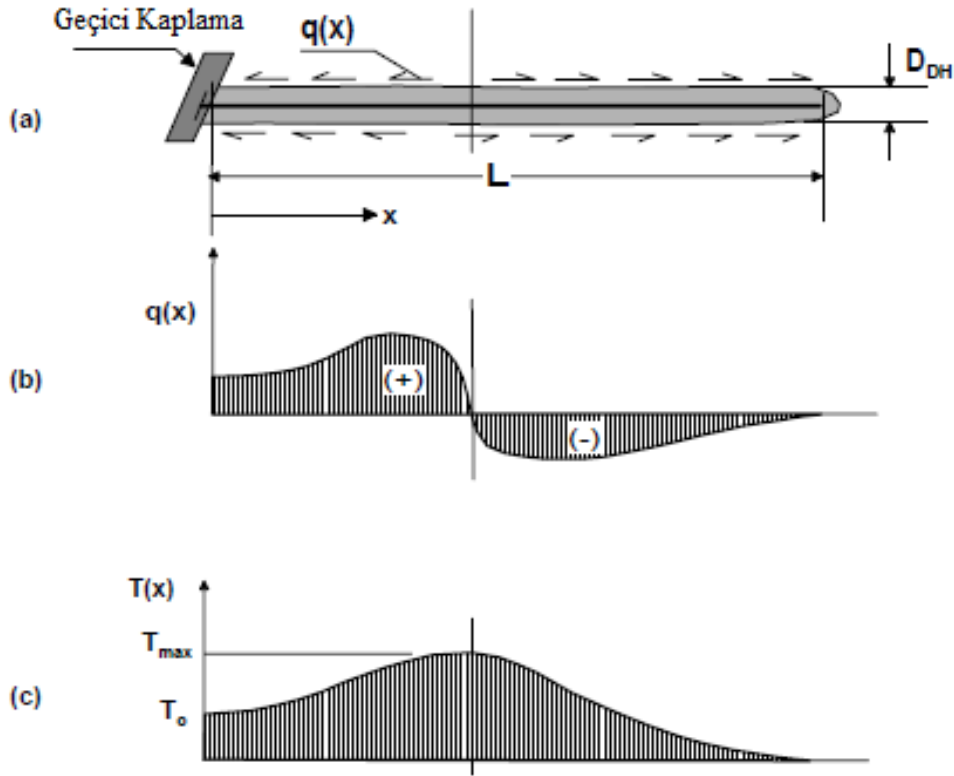
İlk sıra zemin çivisi seviyesinin biraz altına kadar desteksiz kazı yapılır. Zemin çivilerinin projelendirildiği noktalarda uygun çap ve boyda delgiler açılır. Projesine uygun sayıda pasif donatı çubukları delgi içerisine sürülür ve enjeksiyon yapılır. Kazı aynasında geçici kaplama imal edilmek üzere, aynaya çelik hasır yerleştirilir ve püskürtme beton (shotcrete) ile kaplanır. Beton uygulamasından 24 saat sonra, zemin çivileri ile kaplama, taşıma plağı ve somunla bağlanır (Şekil 3.62). Temel kazılarında kullanılacak geçici zemin çivili sistemler için yukarıdaki aşamalar kazı sonuna kadar sürdürülür.



Şekil 3.62 : Geçici kaplama sonrası tek bir zemin çivisine ait görünüm [19].

3.2.2.3. Tasarım esasları

Zemin-zemin çivisi etkileşi ile, zemin çivisi boyunca oluşacak çekme gerilmesi iki farklı bölgede, iki farklı yönde gelişir. Kritik kayma yüzeyi ile geçici kaplama arasında kalan kayıcı kütle içerisinde, zemin çivilerinde oluşan gerilme kayma yönündedir. Kritik kayma yüzeyi ötesinde kalan taşıyıcı kütle içerisinde, zemin çivilerinde oluşan gerilme ise kayma yönünün aksi istikametindedir (Şekil 3.63).



Şekil 3.63 : Zemin çivisinde oluşan aksel gerilme mekanizması [19].

Zemin çivisinde oluşan aksel gerilme; çivinin sonunda sıfır, geçiş noktasında maksimum (T_{max}) ve kaplama kısmına doğru azalan (T_0) bir eğilim gösterir (Şekil 3.63c). Geçiş noktası teorik olarak; üst sıra zemin çivileri için kaplamadan $0.3H$ - $0.4H$ ötede, alt sıra zemin çivileri için kaplamadan $0.15H$ - $0.2H$ ötede bir yerdir (H , kazı derinliği).

3.2.3. Boru destek

3.2.3.1. Genel

Derin temel kazılarında iksa perdesinin, kazı sahası içinden desteklenmesi için kullanılan yatay destek elemanlarından biri “boru destekler”dir.

Boru destekler, dayandığı iksadan aldığı reaksiyon kuvvetini başka bir iksaya yada yapıya aktararak karşılar.

Boru destekler, uygun olmayan zemin koşullarında, ankraj imalatı yapılamıyor ise yatay destek elemanı olarak tercih edilirler.

3.2.3.2. İmalat esasları

Boru desteklerin, iksa perdesine yerleştirilmesinden önce perde üzerindeki ilgili kotta kuşak kirişi yapılır (Şekil 3.64). Boru destekler, bu kuşak kirişlere dayanarak, iksa perdesini desteklemektedir. Kuşak kiriş, çelik profillerden veya betonarme olarak imal edilebilir. Kuşak kirişi, iksa perdesine epoksili filizleri ile bağlanmalıdır.



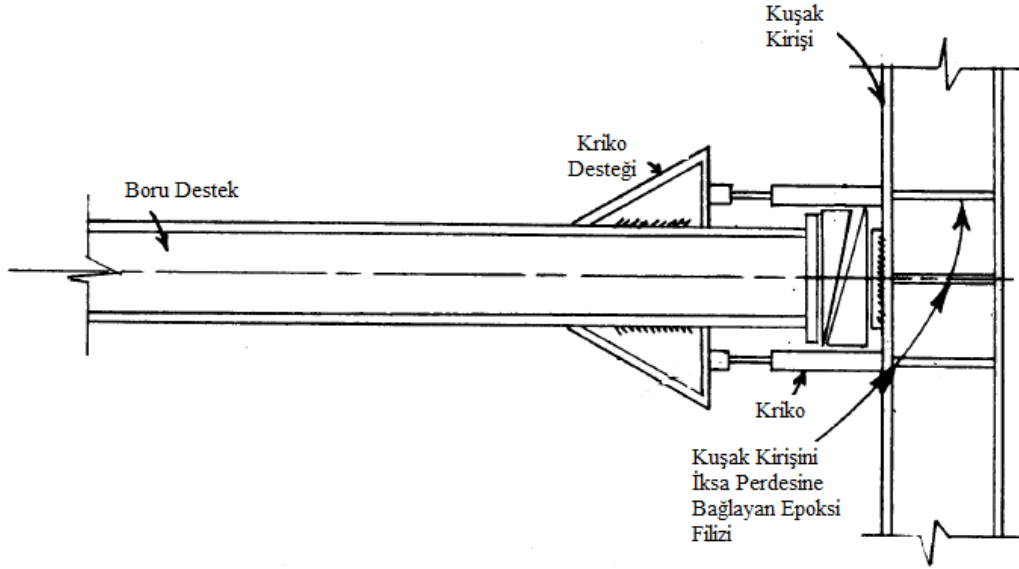
Şekil 3.64 : Boru desteklerin dayandığı kuşak kiriş.

Betonarme kuşak kirişlerinde, boru desteklerin konumlanacağı noktalarda çelik plaklar yerleştirilir ve boru destek bu plakalara kaynatılır. Çelik plakalar ise kuşak kirişe epoksili filizler ile yerleştirilir (Şekil 3.65).



Şekil 3.65 : Boru desteklere kuşak üzerinde yüzey oluşturacak çelik plaka.

Boru desteklere önyükleme yapmak mümkündür. Elastik deformasyon sınırları içerisinde kalacak şekilde, yanal toprak basıncına tepki oluşturmak için boru üzerine basınç ile önyükleme yapılabilir. Bu şekilde, iksa perdesinin yanal deplasman hareketi de düşük seviyelerde tutulabilir (Şekil 3.66).



Şekil 3.66 : Önyüklemeli boru destek düzeneği [22].

3.2.3.3. Tasarım Esasları

Boru destekler, kendi ağırlıklarından ve konumlarından kaynaklanan eğilme momenti ve zemin yanal kuvvetlerden kaynaklanan normal kuvvet altında boyutlandırılır [22].

Zeminden kaynaklanan yanal yükün hesabı, ankraj hesaplarında kullanılan “Alan” ve “Mafsal” metodları ile yapılabilir.

Boru desteklerin boyutlandırılmasında kullanılan eğilme momenti ve normal kuvvete göre boru karelağı ve özellikleri belirlenir. Boruların konumu ve sıklığı belirlenirken, borular arasındaki mesafenin hafriyata müsade edebilir olması gerekir.

4. TEMEL KAZISINDA İKSA SİSTEMİNİN ALETSEL GÖZLENMESİ

Derin temel kazılarında kullanılan iksa elemanlarının bazı yöntem ve araçlarla takip edilmesi önemlidir. Gözlemler yardımı ile, kazı esnasında iksanın performansı ve davranışı yerinde belirlenebilir.

İksa sistemlerinde oluşan deplasman hareketlerinin gözlemler ile kontrol altında tutulması, kazı güvenliği ve kazının devam edilebilirliği açısından önemli veri sağlamaktadır. Kritik deplasman değerleri gözlemlenmiş ise, kazı esnasında göçme gerçekleşmeden önlemler alınabilir.

Kazı sırasında oluşacak yanal deplasmanlar, zemin kabarması ve zemin oturması takip edilir ise komşu yapılarda oluşabilecek hasarlar da engellenebilir.

İksa gözlem yöntemleri vasıtasıyla, tasarım esnasında kullanılan zemin parametrelerinin doğruluğu da sınanmış olunur. Eğer bir tutarsızlık var ise, gözlem verileri ile “geri analiz” yapılarak, daha doğru tasarım parametrelerine erişilebilir. Bu yeni parametreler ile kazının sonraki aşamalarında, iksa davranışları daha öngörülebilir hale getirilmiş olur.

Derin temel kazılarında kullanılan gözlem aletleri genel olarak;

- Zemin, iksa ve komşu yapı hareketinin,
- Zeminde, iksada ve komşu yapıda oluşan basınç ve deformasyon değişiminin,
- Zemin suyu seviyesinin belirlenmesinde kullanılır [10].

Derin temel kazılarında yukarıda belirtilen bilgilerin belirlenmesinde kullanılan başlıca gözlem aletleri şunlardır; çatlak ölçer, eklem ölçer, deformasyon ölçer, yük ve basınç hücreleri, ekstansometre, piyezometre, reflektör, tiltmetre ve inklinometre.

4.1. Çatlak Ölçer (Crackmeter)

Çatlak ölçer (Crackmeter), betonarme bir elemanda veya zemin/kaya ortamındaki çatlakların ilerleme hızının ve miktarının ölçümünde kullanılır.

Çatlak ölçer, mevcut çatlağın ayırdığı iki yakada ankrajlanarak montajlanır. Çatlak mesafesi değişirken, ankraj noktaları arasında kalan bölümde deplasman hareketi hassas olarak okunabilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 : Çatlak ölçer (crackmeter) [23].

Derin temel kazısı esnasında komşu yapılarda oluşabilecek çatlaklar, iksa elemanlarındaki çatlaklar ve kazı çevresinde bulunan yollarda oluşan çatlaklar, çatlak ölçerler ile kontrollü olarak gözlenmelidir.

4.2. Eklem Ölçer (Jointmeter)

Eklem ölçer (Jointmeter), beton bloklar arasındaki derz açılma ve kapanmalarını ölçmek için kullanılan ölçüm aletidir.

Eklem ölçerlerin, çalışma prensibi ve montaj yöntemi çatlak ölçerler ile aynıdır, fakat eklem ölçerlerde daha hassas okuma alınabilir.

Özellikle, düşey iksa elemanlarından olan betonarme kuyu perdelerde, diyafram perdelerde ve kademeli betonarme perdelerindeki ano birleşim noktaları bu ekipman ile kontrol edilmeli (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 : Eklem ölçer (jointmeter) [23].

4.3. Deformasyon Ölçer (Strain-gage)

Deformasyon ölçer (Strain-gage), iksa elemanlarını oluşturan çelik veya betonarme yapılardaki deformasyon veya büzülmeleri takip etmek için kullanılmaktadır.

Deformasyon ölçer, perde imalatı sırasında perdenin donatı kafesine kaynakla bağlanır. Perdenin betonlanması sonrasında, perdenin içinde kalan “deformasyon ölçer”den veriler perde dışına uzanan kablo bileşenlerinden sağlanır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 : Donatı kafesine kaynaklanmış bir deformasyon ölçer.

Deformasyon ölçer ile elde edilecek verilerle, iksa perdesinin ne yönde yareket yaptığı hakkında bir fikir elde edilebilir. Deformasyon ölçerin yerleştirildiği bölgedeki hakim gerilme davranışı belirlenebilir.

4.4. Yük Hücre (Load Cell) ve Basınc Hücre (Pressure Cell)

Yük hücreleri (Load Cell) ve Basınc hücreleri (Pressure Cell), iksa sistemlerinde kullanılan ankraj ve zemin çivilerinin taşıdığı yüklerin takibinde, iksa perdesine gelen yüklerin ölçümünde, kazık yükleme deneylerinde plakalara gelen yüklerin ölçülmesinde kullanılmaktadır.

Ankrajlı iksa perdelerinde kritik noktalarda ankrajlara yerleştirilecek “yk hücreleri” ile ankraj performansı düzenli olarak takip edilebilir. Kazı esnasında, incelenen ankraj üzerindeki yük artışı veya yük kaybı bu hücrelerden alınan okumalar ile izlenebilir (şekil 4.4).

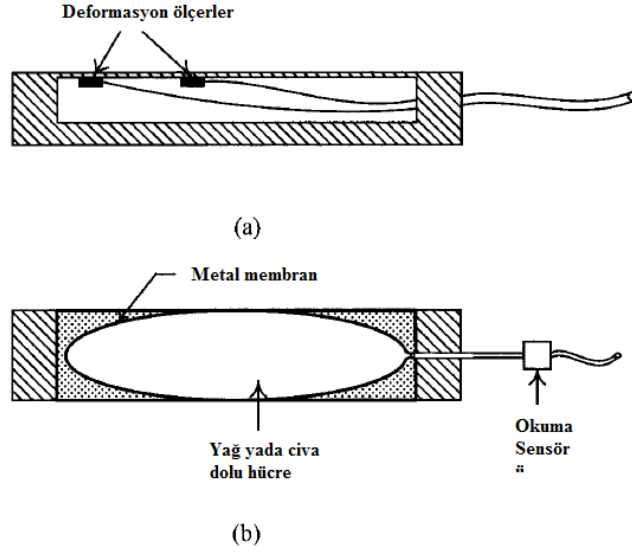


şekil 4.4 : Zemin ankrajına yerleştirilmiş bir yük hücresi [23].

Derin temel kazısı yapılırken iksa üzerine gelen yanal yükler “basınc hücreleri” ile belirlenebilir. Bu işlem için iki tip basınc hücresi kullanılabilir; doğrudan ve dolaylı basınc hücreleri (şekil 4.5).

Doğrudan basınc hücreleri, perde içerisinde bırakılır ve hücre içerinde bulunan deformasyon ölçerlerden faydalanılır. Deformasyon lerler, perde içerisinde bulunan taşıma plağının yer değiştirmesini ölçer ve bu değer basına çevrilir (şekil 4.5a).

Dolaylı basınc hücreleri, perde ile zemin ara yüzünde yer alır. Bu sistemde, yağ veya civa ile doldurulmuş hücreler bulunur ve bu hücreler yanal basınçları taşıma plağına aktarır (şekil 4.5b).

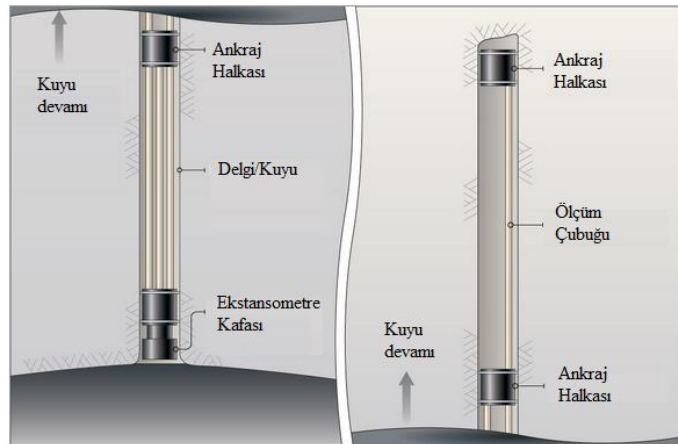


Şekil 4.5 : a) Direkt basınç hücresi b) Dolaylı basınç hücresi [10].

4.5. Ekstansometre (Extensometer)

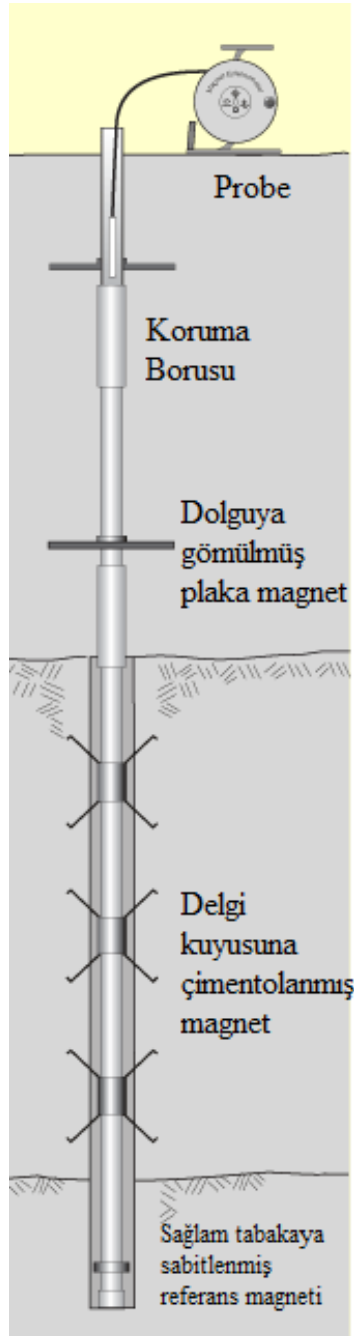
Ekstansometre, bulunduğu eksen üzerindeki kaya veya zeminde oluşabilecek hareketleri ölçmekte kullanılmaktadır. Düşey doğrultuda imal edilecek ekstansometre ile kazı tabanındaki oturma veya kabarmalar incelenebilir. İksa perdesi üzerinde eğimli olarak yapılacak ekstansometre ile kayıcı zemindeki kayma hareketleri gözlemlenebilir.

“Çubuk ekstansometreler” kullanılarak, delgi kuyusu içerisinde belirli aralıklarda bulunan ankraj halkalarından alınan düzenli okumalar ile delgi doğrultusundaki hareket belirlenir (Şekil 4.6). Kuyu dibinde sabitlenmiş ekstansometre kafası ölçümler için referans noktasıdır. Ankraj noktalarındaki deplasman ekstansometre kafasında bulunan sensörler vasıtasıyla ölçülür.



Şekil 4.6 : Çubuk ekstansometre bileşenleri [24].

“Manyetik ekstansometreler”, delgi kuyusu içerisine indirilen koruma borusunun çeşitli noktalarında magnetlerin bulunduğu bir sistemdir (Şekil 4.7). Çeşitli seviyelerde bulunan magnetler zemin ile temas halindedir. Zeminde meydana gelecek kabarma veya oturma ile magnetler de hareket eder. Bu tip ekstansometrelerde okumalar, koruma borusuna indirilen “probe” yardımı ile alınır. Probe, çeşitli derinliklerde bulunan magnetleri yakaladığı zaman magnetin derinliği kaydedilir. Bu şekilde, magnetin hareketi ve o seviyedeki zemin hareketi belirlenmiş olur.



Şekil 4.7 : Manyetik ekstansometre bileşenleri [24].

4.6. Piyezometre (Piezometer)

Temel kazısı esnasında belirli bir derinlikte etki eden su basıncı piyezometre ile belirlenir.

Piyezometreler, kazı sahasında, iksa perdesinde veya kazı sahası dışında konumlandırılabilir. İksa perdesinde yer alacak piyezometre, iksaya gelen yanal su basıncının belirlenmesinde de kullanılır. Kazı sahasında ve saha dışında yapılacak piyezometreler ile kazı sahası susuzlaştırma takibi yapılabilir.

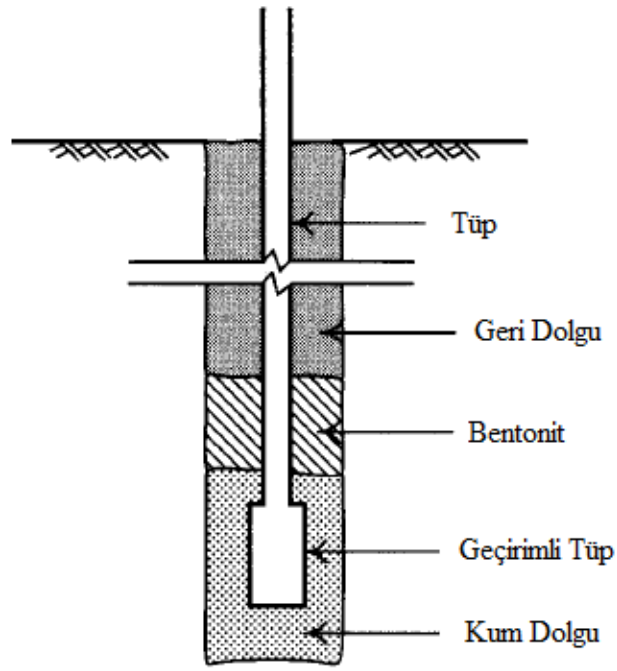
Temel kazıları esnasında kullanılan en yaygın piyezometre tipleri; “açık standpipe”, “pinematik” ve “elektronik” piyezometrelerdir.

Şekil 4.8’de açık standpipe piyezometreye ait imalat bileşenleri görülmektedir. Bu tip piyezometrelerde ana kısım sistemin en altında bulunan geçirimli tüpdür. Geçirimli tüp, kuyunun üst kısımlarına doğru uzanan geçirimsiz PVC tüp ile bağlantılıdır. Zemin suyu, geçirimli tüpden geçince, geçirimsiz PVC tüpde yükselmeye başlar. Su seviyesi belli bir yükselmeden sonra sabitlenir. Bu su yüksekliği, geçirimli tüpün orta noktasına ait seviyedeki su basıncını vermektedir. Geçirimsiz tüpteki sabitlenen su seviyesi ise, kuyuya indirilen probe yardımı ile belirlenir.

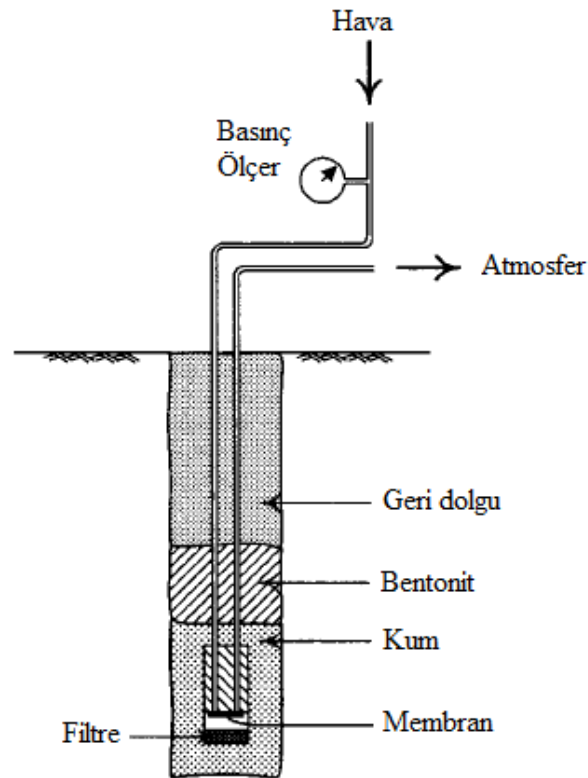
Standpipe piyezometre güvenilir sonuçlar sunması, imalatının kolay olması ve basit bir prensibe sahip olması bakımından tercih edilir. Fakat killi zeminde geçirimsiz tüpde suyun yükselmesi yavaş olacağından, ölçüm için uzun bekleme süresi dezavantaj yaratmaktadır.

Pinematik piyezometreye “kapalı piyezometre” de denir. Şekil 4.9’da pinematik piyezometreye ait imalat bileşenleri görülmektedir. Bu sistemde, hava tüpündeki hava basıncı, su basıncından küçük ise atmosferdeki hava tüpe akmaya devam eder. Tüpteki hava basıncı, su basıncına eşitlendiği yada hafif aştığında, membran dışarı doğru hareket etmeye başlar. Membran dışarı doğru hareketini yaptıktan sonra hava basıncı düşmeye başlar. Neticede, basınç ölçerde okunan en büyük hava basıncı değeri su basıncına eşit olacaktır.

Pinematik piyezometre yönteminde ölçüm için her hangi bir bekleme süresi olmadığı için killi zeminlerde dahi hızlıca okuma alınmasını sağlamaktadır.

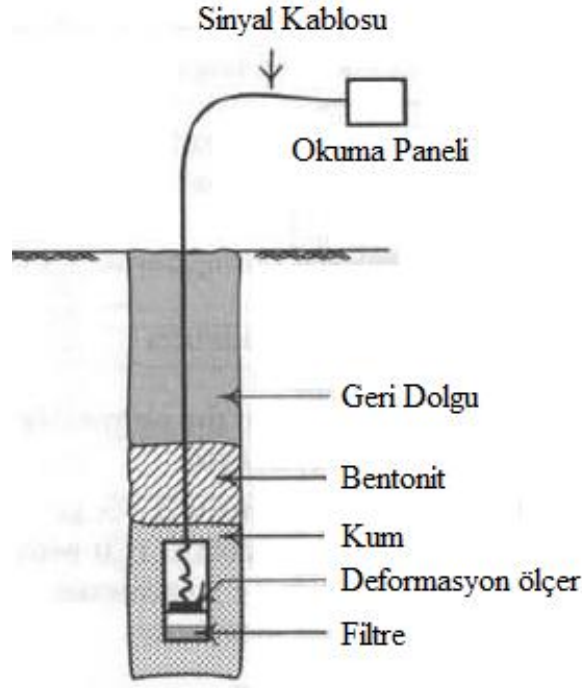


Şekil 4.8 : Açık standpipe piyezometre [10].



Şekil 4.9 : Pinematik piyezometre [10].

Elektronik piyezometrelerde, tek yüzünde geçirimli taş olan bir taşıma plağı bulunmaktadır. Zemine yada iksa-zemin arayüzeyine yerleştirilen bu taşıma plağına giren suyun, basınç değeri elektronik dönüştürücü ile okunur (Şekil 4.10).



Şekil 4.10 : Elektronik piyezometre [10]

Zemine yerleştirilecek piyezometrenin montajı şu aşamalardan oluşur;

- Öncelikle, ölçüm yapılması istenilen derinliğin en az 50 cm. altına kadar bir kuyu açılır.
- Ne tip piyezometre kullanılırsa kullanılsın, piyezometrenin ana parçası kuyu dibine indirilir. İndirilecek derinlik, ölçüm yapılmak istenilen seviye olmalı.
- Piyezometrenin ana parçası, kuyu içerisine atılan kum malzemesi ile örtülür. Böylece geçirimli bir ortam oluşturulur.
- Kum malzemenin üzeri bentonit ile kaplanır.
- Bentonit üzeri ise dolgu ile örtülür.

4.7. Reflektör (Reflector)

Derin temel kazısı yapılırken, iksa elemanlarının ve çevrede bulunan komşu binalarının hareketini gözlemlemekte kullanılan bir diğer yöntem “Reflektör” takibidir.

Sahada bulunan sabit bir nokta üzerine konulacak çelik çubuklu reflektör (hareketli reflektör) ile düzenli olarak optik okuma alınabilir. Bu şekilde sahadaki zemin hareketi incelenmiş olur. Ayrıca, iksa perdesi veya komşu binada çeşitli noktalara yapıştırılacak reflektör bantları (sabit reflektör) ile de optik okuma yapılabilir (Şekil

4.11). Böylece iksa perdesi veya komşu bina hareketleri kazı boyunca takip edilebilir.

Optik okuma esnasında incelenen noktanın hem yatayda doğrultuda hem de düşey doğrultuda hareketi incelenebilir.

Reflektör okumaları sahada haritacı tarafından düzenli olarak yapılır ve noktanın değişimi kıyaslanarak hareket hakkında bilgi edinilir.



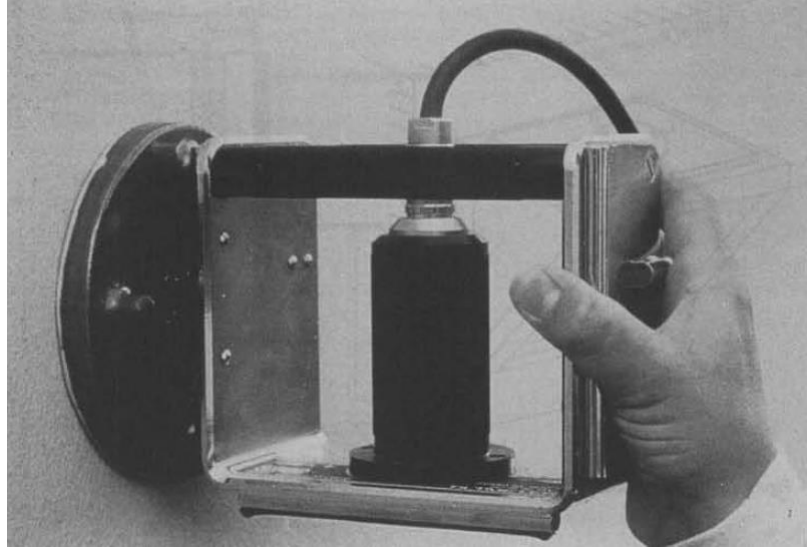
Şekil 4.11 : İksa perdesi üzerine yerleştirilmiş sabit reflektör bantları [25].

4.8. Tiltmetre (Tiltmeter)

Derin temel kazısı esnasında, zemin yanal hareketleri, oturmalar ve kabarmalar sonucunda iksa yapılarında ve komşu yapılarda dönme hareketi gözlenebilir. Bu hareketi takip edebileceğimiz araçlardan birisi “Tiltmetre (tiltmeter)” dir.

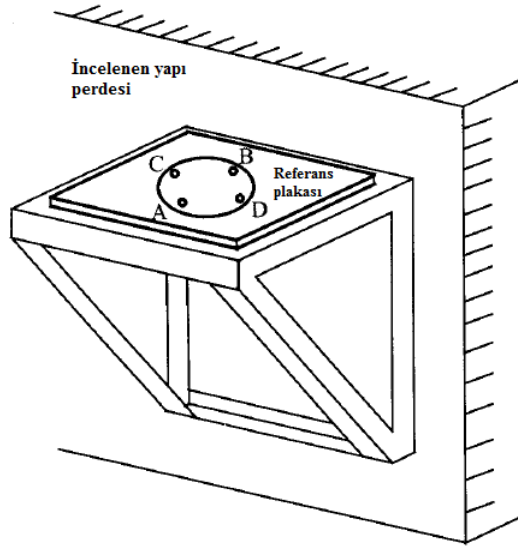
Tiltmetre sistemi, referans plakası, gösterge ve eğim ölçerden oluşmaktadır (Şekil 4.12). Referans plakası gözlem yapılması istenen yapı elemanına sabitlenir. İstenilen gözlem doğrultusuna göre yatay yada düşey yönde yerleştirilebilir. Bu plaka sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyecek malzemeden imal edilmelidir ve genellikle seramikten yapılmıştır.

Referans plakasının sabitlenmesinden sonra üzerine eğim ölçer yerleştirilir ve ilk okuma alınır. Alınan bu ilk okuma referans okumasıdır. İlerleyen kazı safhalarında alınacak okumalar ile, referans okuması arasındaki fark, kazı safhasındaki dönme açısını verecektir.



Şekil 4.12 : Düşey doğrultuda yerleştirilmiş tiltmetre sistemi [10].

Referans plakası üzerinde bulunan 4 çıkıntı noktası iki doğrultuda okumaların yapılmasını sağlamaktadır. Şekil 4.13’de görüldüğü gibi A ve B çıkıntılarına yerleştirilecek sensör ile ilk okuma alınır, daha sonra sensör 180 derece çevrilir ve ikinci okuma alınır. Bu iki okumanın ortalaması A-B doğrultusundaki dönme açısını verecektir.



Şekil 4.13 : Yatay doğrultuda yerleştirilmiş tiltmetre sistemi [10].

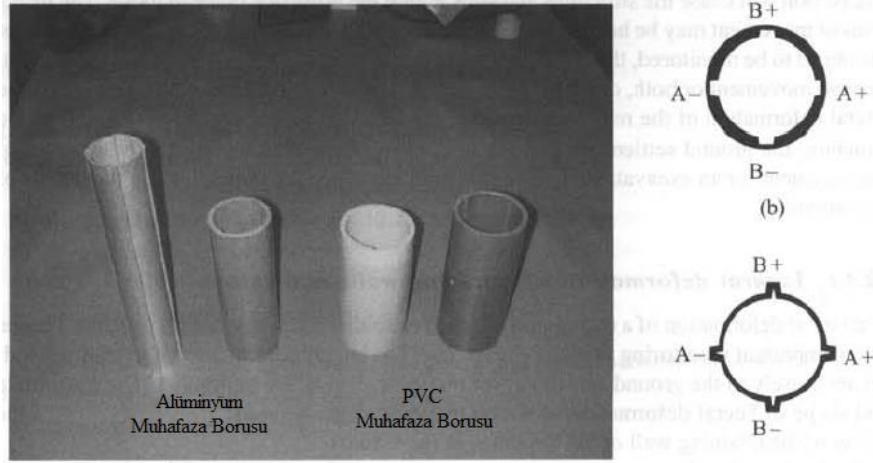
4.9. İnklinometre (Inclinometer)

Derin temel kazılarında gözlenmesi gereken en önemli unsur, iksa perdesinin ve perde arkasındaki zeminin yanıl deplasmanıdır. Bu yanıl deplasmanın gözlenmesi, kazı güvenliği ve komşu yapı güvenliği bakımından gereklidir.

İnklinometre (Inclinometer), kazı esnasında perde ve zeminin yanal hareketinin izlenmesinde kullanılan bir gözlem aracıdır.

İnklinometre ölçüm sistemi, muhafaza borusu, bu boru içerisinde ölçüm alan inklinometre probu ve okuma ünitesinden oluşmaktadır.

Muhafaza borusu, alüminyum veya PVC kaplamadan yapılmış olabilir. Boru kesidine baktığımız zaman, 4 adet “soket izi” olduğu görülür (Şekil 4.14).

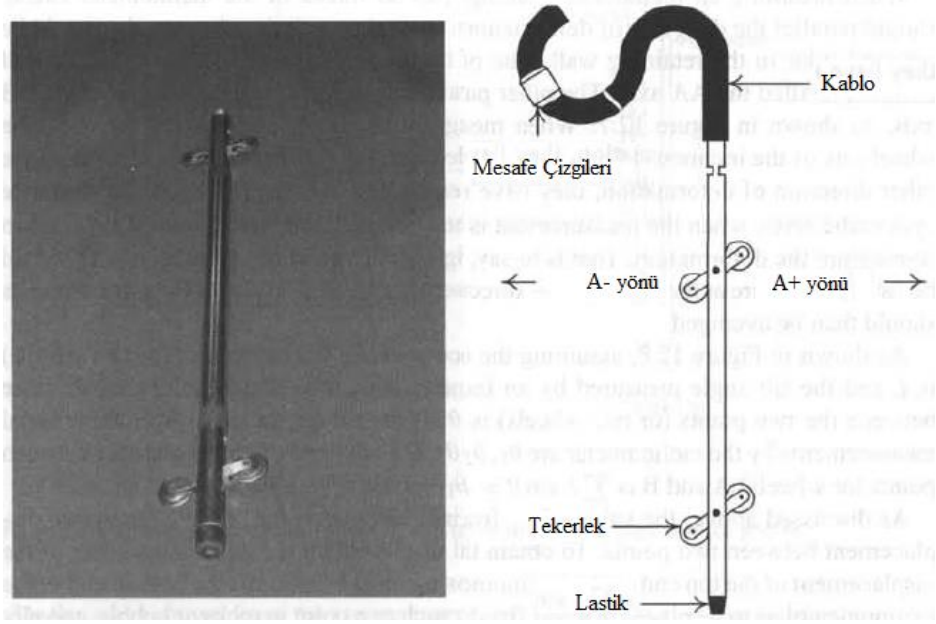


Şekil 4.14 : İnklinometre muh. boruları ve kesit üzerinde soket izleri [10].

Şekil 4.14’deki boru kesidinde görülen 4 adet soket izi, 2 doğrultuda inceleme yapılmasını sağlamaktadır (A-A+, B-B+). Ölçüm alınmak istenilen doğrultudaki 2 soket izine yerleştirilen inklinometre probe tekerlekleri, boru içerisinde doğrultudan sapmadan ölçüm alabilmektedir.

İnklinometre probu, 4 adet tekerleği bulunan ve eğim ölçer barındıran bir aygıttır. Bu aygıt üst tarafında bulunan uzun bir kablo ile kuyu dışındaki ölçüm ünitesine bağlanır (Şekil 4.15).

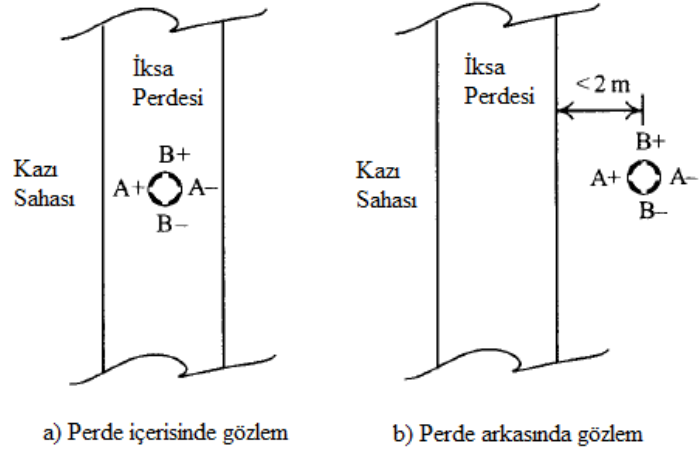
İnklinometreler içinde barındırdıkları sensör tipine göre 3’e ayrılır; “direnç tipi”, “titreşim tipi” ve “kuvvet-denge tipi” inklinometreler. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan tip, kuvvet-denge tipi inklinometredir. Kuvvet-denge tipi inklinometre sensör kısmında, bobin tarafından oluşturulmuş manyetik alanının ortasında bir sarkaç bulunmaktadır. Ölçüm esnasında eğim oluşunca, sensör sarkaçta oluşan düşey hareketi belirler. Daha sonra bu hareket voltaja dönüştürülür. Bobine giden voltaj, sarkacı eski konumuna getirecek kuvvet oluşturur. Bu kuvveti sağlayan voltajdan eğim açısı hesaplanır.



Şekil 4.15 : İnklinometre probu [10].

İnklinometre muhafaza borusu, gözlem tercihinine göre iksa perdesi içine yada perde arkasına yerleştirilebilir.

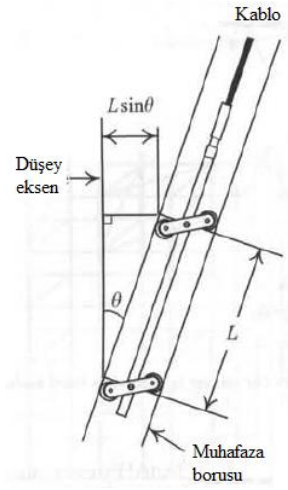
Muhafaza borusu yerleştirilirken, 2 adet soket izi perdeye paralel gelecek şekilde olmalıdır. Perdeye paralel olan doğrultuya A-A doğrultusu, dik olan doğrultuya ise B-B doğrultusu denir (Şekil 4.16).



Şekil 4.16 : İnklinometre muhafaza borusu konumu ve ölçüm doğrultuları [10].

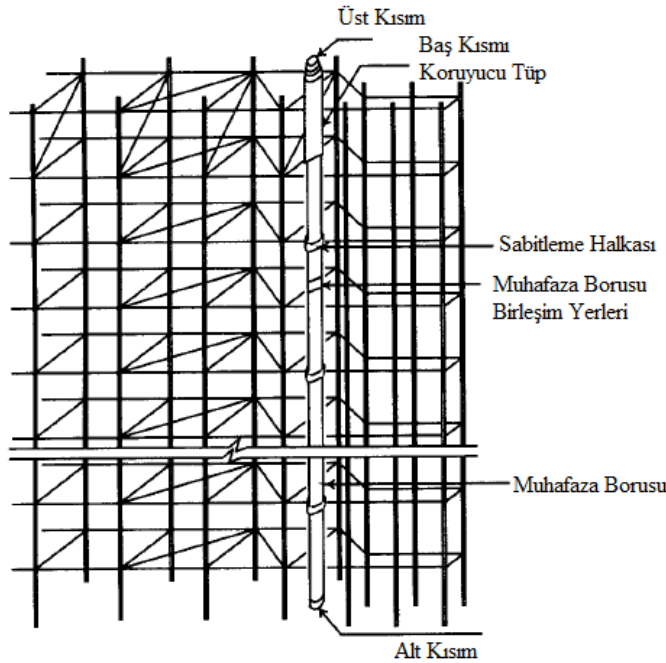
Şekil 4.17’de görüldüğü gibi inklinometre probunda bulunan iki tekerlek arası mesafeyi L olarak kabul edelim. İnklinometre probundan elde edilen eğim açısına ise Θ diyelim. Bu durumda iki nokta arasındaki göreceli yatay mesafe $L \cdot \sin \Theta$ olacaktır. Bu bulunan mesafenin göreceli olduğu belirtilmiştir. Gerçek yatay hareketi

belirlemek için muhafaza borusunun en altındaki okuma referans olmalıdır. Muhafaza borusunun en alt kısmı referans olacağı için sağlam bir zemin tabakasında sabitlenmesine dikkat edilmelidir.



Şekil 4.17 : Yanal hareketin inklinometre ile ölçülme prensibi [10].

Pek çok iksa projesinde, inklinometre muhafaza borusu iksa perdesi içinde imal edillir. Perde donatıları içine sabitlenen borular, perdenin betonlanması ile ölçüme hazır hale gelir. Fakat bu durumda, muhafaza borusu perdeden daha alt kotlara ulaşmamış olur (Şekil 4.18). Muhtemelen, borunun alt kısmı perde ile hareket edecektir. Bu gibi durumlarda gerçek yatay hareketi belirlerken, referans noktası olarak muhafaza borusunun üst kısmı seçilmelidir. Borunun üst kısmında haritacı tarafından alınacak okuma referans noktası olabilir.



Şekil 4.18 : İksa perdesi içine inklinometre muhafaza borusu yerleştirilmesi [10].

5. DERİN TEMEL KAZI YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, derin temel kazıları için kullanılabilecek kazı yöntemleri açıklanacaktır. Bu yöntemlere bağlı iksa sistemlerinin imalat aşamaları belirtilecektir.

Açıklanacak derin temel kazı yöntemleri;

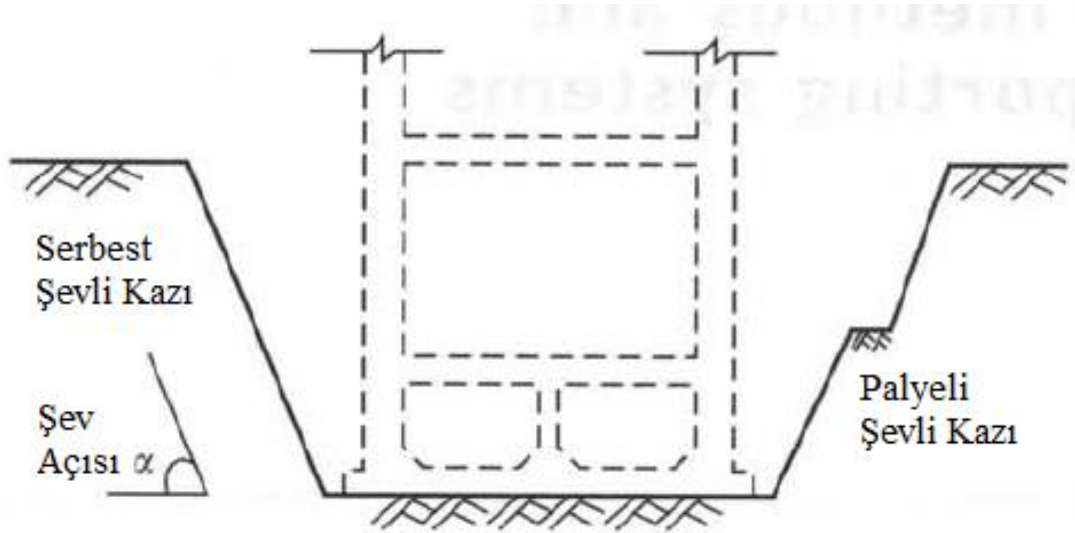
- * serbest şevli kazı,
- * ankastre mesnetlenmiş perde ile desteklenmiş kazı,
- * boru destekli perdeli kazı,
- * öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı,
- * zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı,
- * bölgesel kazı,
- * ada kazısı,
- * top-down inşaat yöntemi ile kazı,
- * yarı-top-down inşaat yöntemi ile kazı.

Bu kadar çok sayıda kazı yöntemi arasında projeye uygun kazı yönteminin belirlenmesi çeşitli unsurlara bağlıdır. Bu unsurlar; inşaat bütçesi, inşaat süresi, kazı sahası çevresindeki komşu yapıların varlığı ve bu yapıların hassasiyeti, inşaat alanının büyüklüğü ve geometrisi, temel tipi, yeraltı suyu seviyesi gibi etkenlerdir.

5.1. Serbest Şevli Kazı (Sloped Open Cut)

Kazı alanın büyük olduğu ve komşu yapıların olmadığı durumlarda temel çukuru serbest şevli olarak kazılabilir. Zemin parametreleri (c, Ø) ile belirlenecek şev açısı, şev stabilitesini sağlamalıdır. Bu yöntemde, kazı derinliğinin fazla olduğu durumlarda, şevli kazı palyeli olarak devam ettirilmelidir (Şekil 5.1).

Şevli kazı yöntemi ile temel çukuru kazısı yapılırken, kazı sınırında iksa elemanlarının kullanılmaması inşaat maliyeti ve süresi açısından avantaj sağlamaktadır. Fakat, inşaat bitiminden sonra şevli alanın geri dolgu ile kapatılması maliyet bakımından dezavantaj sağlayacaktır [10].



Şekil 5.1 : Şevli kazı tekniği ile temel çukuru kazısı [10].

Çeşitli zemin ve kaya ortamlarında yapılacak geçici kazılar için önerilen şev açıları Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu tabloda belirtilen şev açısı, maksimum 6 metrelik düşey mesafe (V) için hazırlanmıştır.

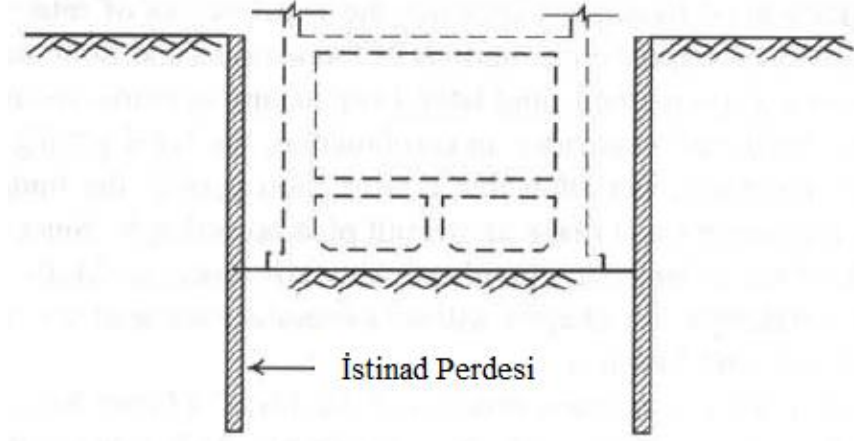
Çizelge 5.1 : Çeşitli zemin/kaya ortamları için izin verilebilir şev açısı [26].

Zemin yada Kaya Tipi	Maksimum Şev Açısı (6 metre max. yükseklik için)
Durağan Kaya	Dik
Tip-A Zemin	3/4H : 1V
Tip-B Zemin	1H : 1V
Tip-C Zemin	1.5H : 1V

Çizelge 5.1’de belirtilen Tip-A zemin; serbest basınç mukavemeti 140 kPa ve daha büyük değerdeki kohezyonlu zeminleri belirtir. Tip-B zemin; serbest basınç mukavemeti 30-140 kPa arasında olan kohezyonlu zeminleri veya yüksek içsel sürtünme açısına sahip kohezyonsuz zeminleri işaret eder. Tip-C zemin ise çimentolaşmamış granüler zemini belirtmektedir [26].

5.2. Ankastre Mesnetlenmiş Perde ile Desteklenmiş Kazı (Cantilevered Open Cut)

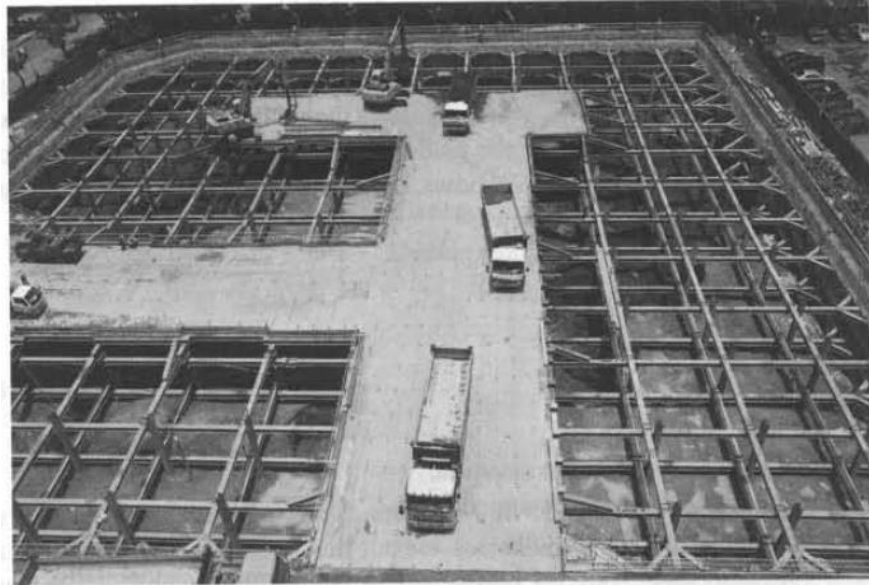
İksa perdesine gelen yanal toprak basıncının, perde rijitliği ve perde soket kısmındaki pasif toprak basıncı ile karşılandığı kazı yöntemine “ankastre mesnetlenmiş perde ile desteklenmiş kazı” denir. Perde imalatı tamamlandıktan sonra temel çukuru kazısı yapılır (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 : Ankastre mesnetlenmiş perde ile desteklenmiş temel çukuru kazısı [10].

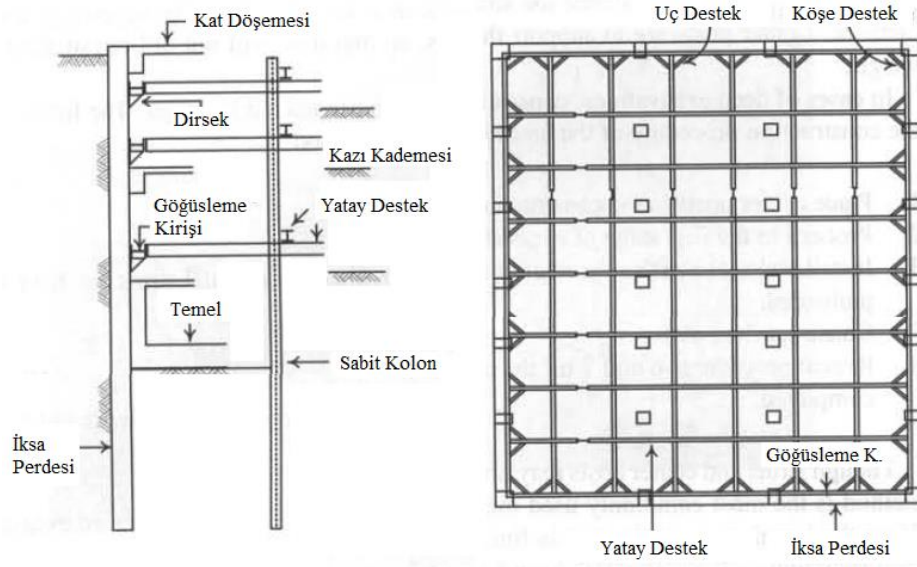
5.3. Boru Destekli Perdeli Kazı (Braced Excavation)

İksa perdesi önüne yerleştirilen yatay desteklerle, perde arkasındaki yanal toprak basıncının karşılandığı kazı yöntemine “boru destekli perdeli kazı” denir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3 : Boru destekli perdeli kazı yöntemi ile yapılan temel çukuru kazısı [10].

Bu yöntemde kullanılan iksa elemanları; iksa perdesi, göğüsleme kirişi, yatay destekler, uç destekler ve köşe desteklerdir (Şekil 5.4).



Şekil 5.4 : Destekli perdeli kazı yönteminde kullanılan elemanlar [10].

Bu kazı yönteminde, iksa perdesi kazı öncesinde de yapılabilir yada kazı safhasında kademeli olarak da yapılabilir.

Göğüsleme kirişi, iksa perdesine gelen yükü yatay desteklere aktarır.

Uç ve köşe destekler ise, yatay destek sayısını arttırmadan kiriş açıklığını düşürmek için kullanılır.

Yatay destek uzunluğunun fazla olduğu durumlarda sabit kolonlar ile destek sağlanır.

Destekli perdeli kazı aşamaları şu şekildedir;

- 1- İksa perdesi ve sabit kolonların imal edilmesi,
- 2- İlk kademe kazısının yapılması,
- 3- İlk kademe desteği için iksa perdesine göğüsleme kirişi yerleştirilmesi,
- 4- Göğüsleme kirişi üzerine yatay desteklerin yerleştirilmesi ve yüklenmesi,
- 5- Hedeflenen kazı dip kotuna kadar 2-3-4'üncü basamaklar tekrarlanır,
- 6- Kazı dip kotu üzerinde yapı temeli inşaa edilir,
- 7- Yapı yükselirken, ilgili kademedeki destekler kaldırılır.

Yatay desteklerin varlığı, hafriyatın yapılmasını zorlaştırırsa da bu yöntemle her derinlikte kazı yapılabilmesi mümkündür [10].

5.4. Öngermeli Ankrajlı Perde ile Desteklenmiş Kazı (Anchored Excavation)

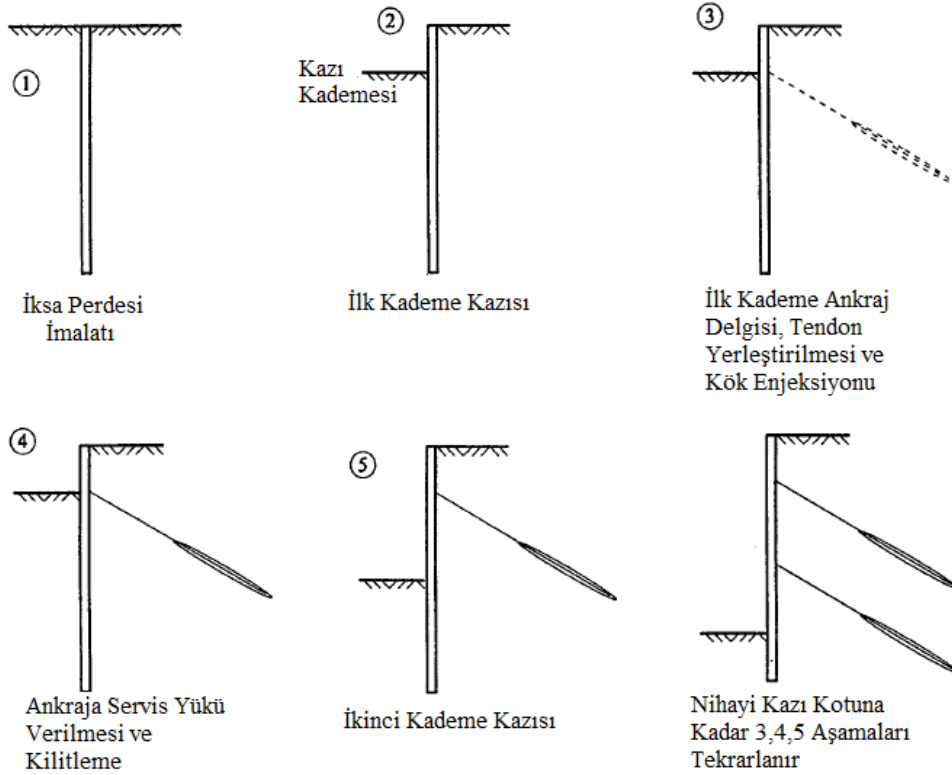
İksa perdesine gelen yanal toprak basıncının, öngermeli ankrajlar ile kayma yüzeyi ardındaki taşıyıcı ortama aktarılması ile desteklenen kazı yöntemine “öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı” denir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 : Öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı yöntemine bir örnek [10].

Öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı aşamaları şu şekildedir;

- İksa perdesinin imal edilmesi,
- İlk kademe kazısının yapılması,
- İlk kademe ankrajları için delgi yapılması,
- İlk kademe ankraj tendonlarının delgi içine yerleştirilmesi,
- Ankraj kök bölgesi enjeksiyonunun yapılması,
- Kök bölgesi enjeksiyon prizini aldıktan sonra ankrajlara testle uygulanır. Test sonucunda ankrajların kabul edilebilirlik kriterlerini sağlaması sonucunda ankrajlar servis yükünde kilitlenir,
- Nihayi kazı kotuna ulaşılan kadar her kazı kademesi için bu aşamalar tekrarlanır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 : Öngermeli ankrajlı kazı yöntemi aşamaları [27].

Öngermeli ankrajlı perde ile desteklenmiş kazı yönteminde, “destekli perdeli kazılarda” olduğu gibi kazı sahası kalabalık değildir. Bu yüzden, hafriyat için elverişli ortam sağlanmaktadır.

Bu kazı yönteminde, imalat süresi kısadır ve yaklaşık olarak 10 günde 1 kazı kademesi geçilebilir. Öte yandan, bu yöntem zayıf taşıma gücüne sahip ortamlar ve su seviyesi yüksek granüler zeminler için uygun değildir [10].

5.5. Zemin Çivili Kaplama ile Desteklenmiş Kazı (Soil Nailed Excavation)

Zemin çivili iksa sistemi, zemine yerleştirilen enjeksiyonlu çelik çubuk (zemin çivisi) ve donatılı shotcrete kaplama kombinasyonundan oluşur. Kazı aynasında oluşturulan bu kombinasyonla, şev stabilitesinin artırıldığı kazı yöntemine “zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı” denir (Şekil 5.7).

Zemin çivili kaplama, çelik çubuğun düşük deformasyonlar altında çekme direncinin mobilize olması ile etkin hale gelir.

Zemin çivili iksa, diğer iksa sistemlerine göre daha az maliyete sahiptir ve genellikle geçici iksa projelerinde kullanılır.



Şekil 5.7 : Zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı yöntemine bir örnek [15].

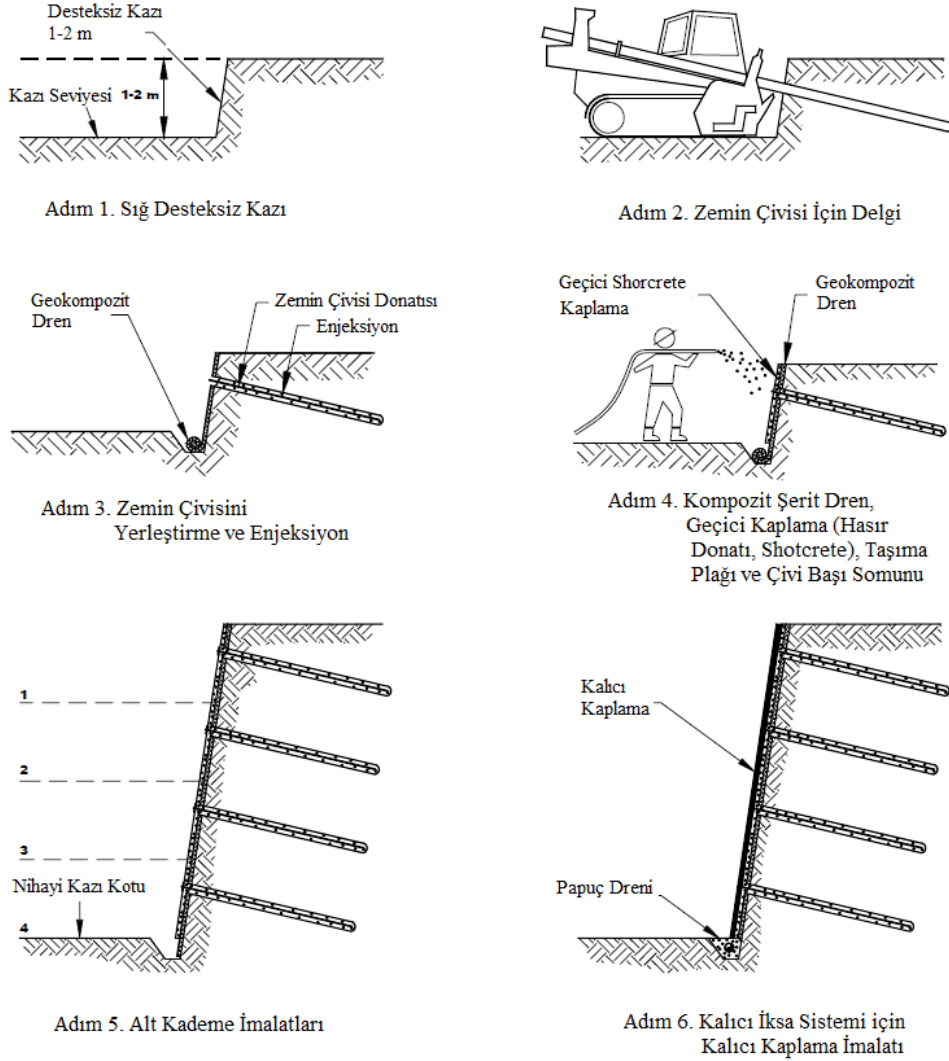
Zemin çivili iksada, öngermeli ankrajlı iksadan farklı olarak zemin içerisine yerleştirilen zemin çivilerine öngerme yükü verilmez. Bu yüzden zemin çivisi olarak kullanılan enjeksiyonlu çelik donatı, pasif durumdadır.

Zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı aşamaları şu şekildedir;

- İlk kademe kazısının yapılması,
- İlk kademe zemin çivileri için delgi yapılması,
- İlk kademe zemin çivilerinin yerleştirilmesi ve enjeksiyonun yapılması,
- Kazı aynasında geçici shotcrete yüzeyinin oluşturulması,
- Nihayi kazı kotuna ulaşılan kadar her kazı kademesi için bu aşamalar tekrarlanır (Şekil 5.8).

İmalat aşamasını detaylı anlatmak gerekirse; öncelikle ilk kademe zemin çivisi seviyesinin biraz alt kotuna kadar desteksiz kazı yapılır. Bu derinlik 1-2 metre civarındır ve 48 saat geçmeden bu yüzeyde zemin çivisi imalatı tamamlanmalıdır. İmalat sırasında; projeye uygun eğimde, çapta, uzunlukta ve yatay aralıkta zemin çivisi için delgi yapılır. Bu delgilerin içerisine, merkezleyiciler ile sabitlenmiş ve enjeksiyon hortumu barındıran çelik çubuk donatılar yerleştirilir. Enjeksiyon hortumundan ağırlık yöntemi ile yada düşük basınçla enjeksiyon verilir. Kaplama üzerine gelecek su basıncını engellemek için kazı aynası ile geçici kaplama yüzeyi arasına geokompozit şerit drenler serilir. Daha sonra, kazı aynasına hasır donatılar

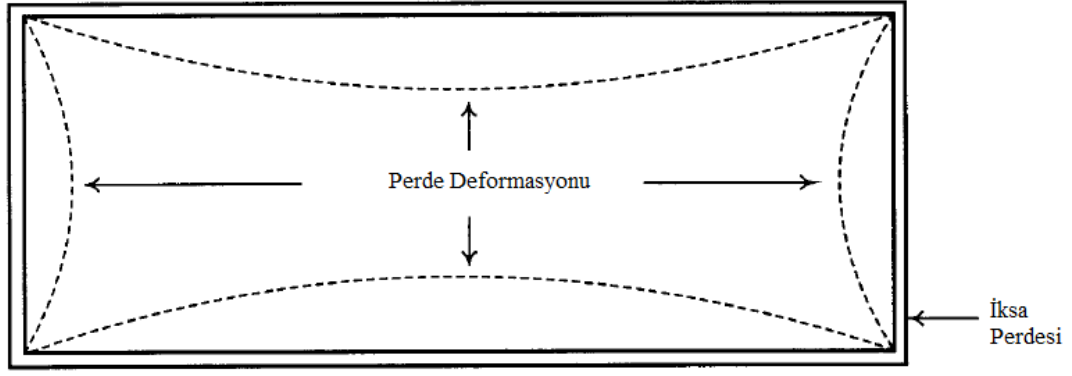
yerleştirilir ve shotcrete beton ile geçici yüzey kaplaması oluşturulur. Zemin çivilerinin geçici kaplama yüzeyini aşan kısımlarına taşıyıcı plak yerleştirilir ve burada çiviler somun ile sıkıştırılır. Shotcrete betonun yaklaşık prizini 3 günde alması ile alt kademe için kazıya geçilir ve benzer aşamalar nihayi kazı kotuna kadar sürdürülür [19].



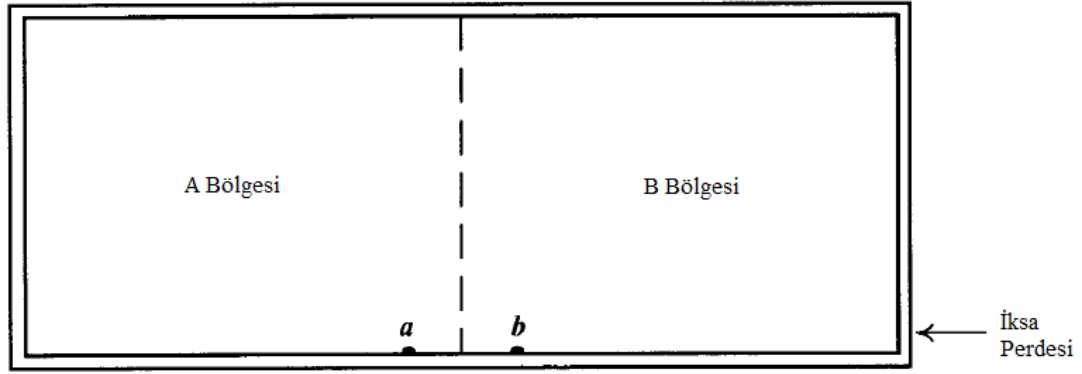
Şekil 5.8 : Zemin çivili kaplama ile desteklenmiş kazı yöntemi aşamaları [19].

5.6. Bölgesel Kazı (Zoned Excavation)

Kazı alanını çevreleyen iksa perdesi, bazı bölgelerde oldukça uzun bazı bölgelerde ise daha kısa olabilir. Kısa uzunluktaki perdelerde, daha düşük deformasyon ve zemin oturması oluşur (Şekil 5.9). Bu sebepten ötürü, uzun perdenin önünde bulunan zemin, iyi bir planlama ile bölgesel olarak kazılabilir (Şekil 5.10). Bu şekilde yapılan temel çukuru kazılarına “bölgesel kazı” denir.



Şekil 5.9 : Bir kazı sahası planı ve perde uzunluğuna bağlı deformasyon [10].



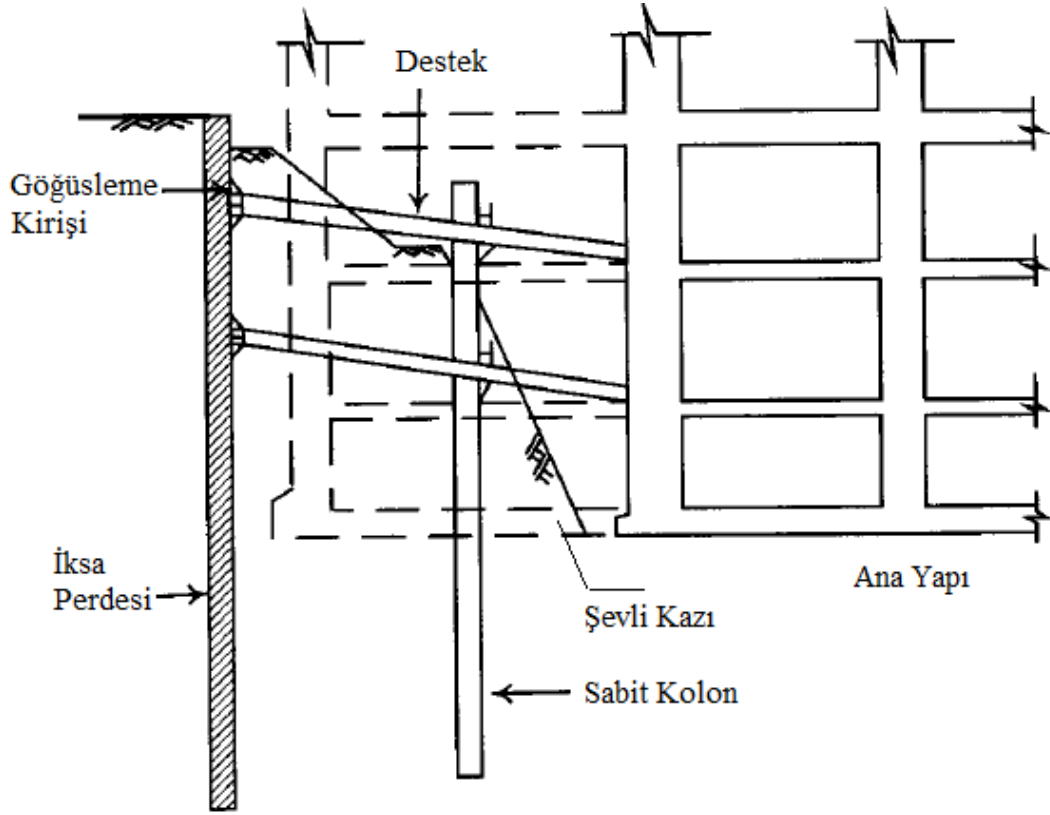
Şekil 5.10 : Uzun perde önündeki kazılacak zeminin planlanması [10].

Şekil 5.10’da belirtilen kazı sahasında, uzun iksa perdesi önünde bulunan saha A ve B bölgelerine ayrılmıştır. Kazı işine A bölgesi ile başladığımızı farz edelim. A bölgesinin kazısı belli bir derinliğe gelene kadar sürdürülürken, B bölgesine dokunulmaz. Bu esnada B noktasındaki zemin perde üzerindeki “b” noktasını desteklemektedir. A bölgesinin destek elemanları yerleştirildikten sonra B bölgesinin kazısına başlanır. B bölgesi kazısı yapılırken, perde üzerindeki “a” noktası A bölgesindeki destekler ile korunmaktadır. B bölgesi kazısı belli derinliğe ulaştıncaya bu bölge de destekler ile korunur. Nihayi kazı kotuna ulaşana kadar bu şekilde kazı devam eder. Neticede, A ve B bölgeleri ile yapılan kazı sayesinde perde üzerindeki “a ve b” noktalarındaki deformasyon kazı boyunca daha düşük seviyede tutulmuş olur.

5.7. Ada Kazısı (Island Excavation)

Ada kazısı ile yapılan temel çukuru kazılarında, sahanın orta kısmı “şevli kazı” ile kazılır. Bu sırada kazı sahasını çeviren iksa perdeleri önündeki zemine dokunulmaz. Orta bölgede kazı bitince, burada ana yapının inşasına başlanır. Orta bölümdeki

inşaat, iksa üst kotuna ulaşınca iksa ile yapı arasındaki zemin “destekli perdeli kazı yöntemi” ile temel seviyesine kadar kazılır (Şekil 5.11). Bu şekilde yapılan temel çukuru kazısına “ada kazısı” denir.



Şekil 5.11 : Çok sıra destekler ile yapılan ada kazısı [10].

Ada kazısı yöntemi, projelendirilmiş ankraj ve zemin çivilerinin sahada uygulanamadığı, destek kullanımının ise mümkün olmadığı geniş kazı alanları için uygun bir çözümdür.

Ada kazısının bir proje için uygulanabilir olması, ilgili kazı alanının yeteri kadar büyük olmasına ve kazı alanı merkezinde anayapının projelendirilmiş olmasına bağlıdır (Şekil 5.12).

Ada kazısı ile temel çukuru kazısı yapılmasının en önemli avantajı inşaat süresini kısaltmasıdır. Ayrıca, bu yöntem maliyet bakımından, “destekli perdeli kazı” yöntemine nazaran daha uygundur.

Bu yöntemin dezavantajı olarak, merkezde tamamlanacak inşaat ile daha sonradan inşaa edilecek kısımlar arasındaki olası soğuk derz gösterilebilir.



Şekil 5.12 : Ada kazı yöntemi ile yapılan temel çukuru kazısına bir örnek [10].

5.8. Top-down İnşaat Yöntemi ile Kazı (Top-down Construction)

Klasik kazı teknikleri ile yapılan temel çukuru kazılarında, kazı işlemi nihayi kazı seviyesine kadar sürdürülür. Kazı işlemi bittikten sonra, temel plağının imalatı yapılır ve bunu takiben yapının inşaatı üst katlara doğru devam ettirilir. Yani, yapı inşaatı “alttan-üste” doğru yapılır.

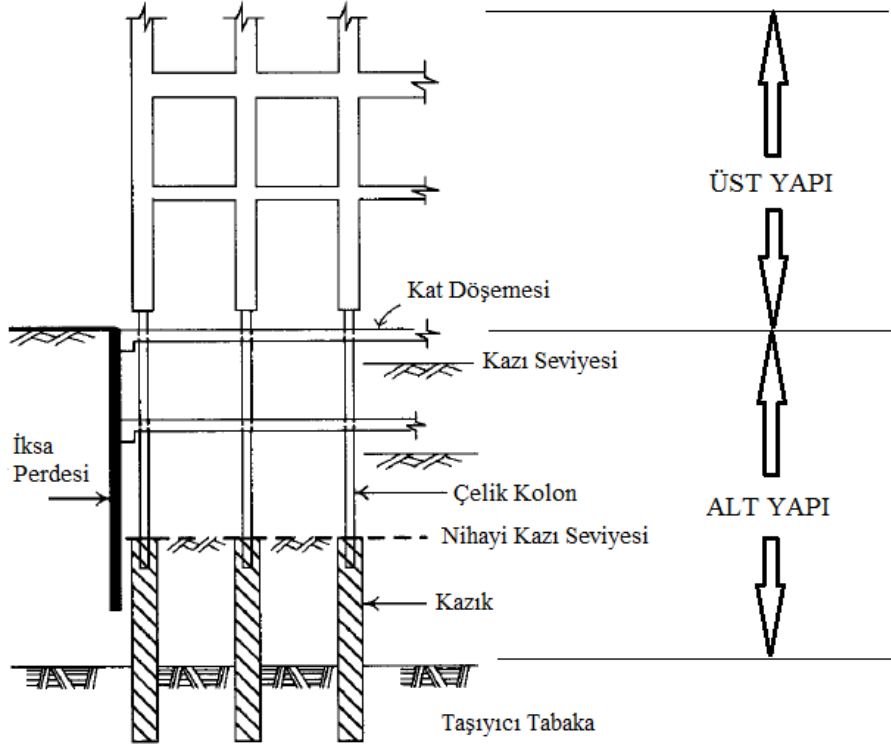
“Altan-üste” inşaat yöntemi aksine “top-down (yukarıdan-aşağı)” inşaat yönteminde, her kazı kademesi sonunda mevcut kazı seviyesi üzerinde anayapıya ait döşeme imal edilir. Kazı ile birlikte anayapı döşemeleri, yukarıdan aşağıya doğru temel seviyesine kadar yapılır.

Bu inşaat yöntemi ile sürdürülen kazılarda; yanal toprak basıncı, kazı kademelerinde imal edilen anayapı döşemeleri tarafından karşılanır. Bundan dolayı, bu yöntemle yapılan inşaatlarda, döşeme üst yapı etkileri dışında yanal toprak basıncını da karşılayacak şekilde projelendirilmeli.

Top-down inşaat yöntemi ve bu yöntem ile kazı aşamaları şu şekildedir;

- Kazı alanı sınırında iksa perdesi imal edilir,
- Top-down kazıkları imal edilir. Döşemeler bu kazıklara bağlanacaktır. Kazıklarda oluşacak farklı veya aşırı oturmalar, döşemelerde sehime sebep olacaktır. Bu yüzden, kazıklar oturması sınırlı, sağlam tabakaya soketlenmelidir,
- Zemin kat döşemesi, kazıklara bağlanarak ve sahayı çevreleyen iksa perdelerine dayanacak şekilde imal edilir,
- Zemin kat döşemesinin oluşturulması sonrasında, döşemede bırakılmış bir boşluktan ilerleyen mini kazıcılar döşeme altındaki hafriyatı alır (ilk kademe kazısı),

- Bu katın kazısı bittikten sonra birinci bodrum kat döşemesi zemin kat döşemesinde olduğu gibi imal edilir,
- Bu şekilde nihayi kazı kotuna kadar inilir ve temel plağı imal edilir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Top-down inşaat yöntemi ile temel çukuru kazısı [10].

Bu yöntemin avantajları;

- Temel çukuru kazısı yapılırken bodrum kat döşemeleri de imal edilir. Ayrıca, zemin kat döşemesi üzerinden üst yapıya ait inşaat da sürdürülebilir. Bu yüzden zaman tasarrufu sağlanır.
- Kazı sahası kullanılabilirlik bakımından oldukça elverişli kalır.
- Yanal toprak basıncını karşılamaya yönelik kullanılan yapıya ait rijit döşemeler, ankraj, zemin çivisi ve desteklere göre daha güvenli bir kazı safhası sağlar.

Bu yöntemin dezavantajları;

- Yüksek maliyet.
- Hafriyat için uygun manevranın kısıtlı olması.
- Alt kademelerde havalandırma ve aydınlatma yetersizliğinden işçilik kalitesinin düşmesi.

Şekil 5.14’de top-down inşaat yöntemi ile kat kazısı gösterilmektedir.



Şekil 5.14 : Top-down inşaat yöntemi ile kat kazısı [28].

5.9. Yarı-Top-Down İnşaat Yöntemi ile Kazı (Semi-top-down Construction)

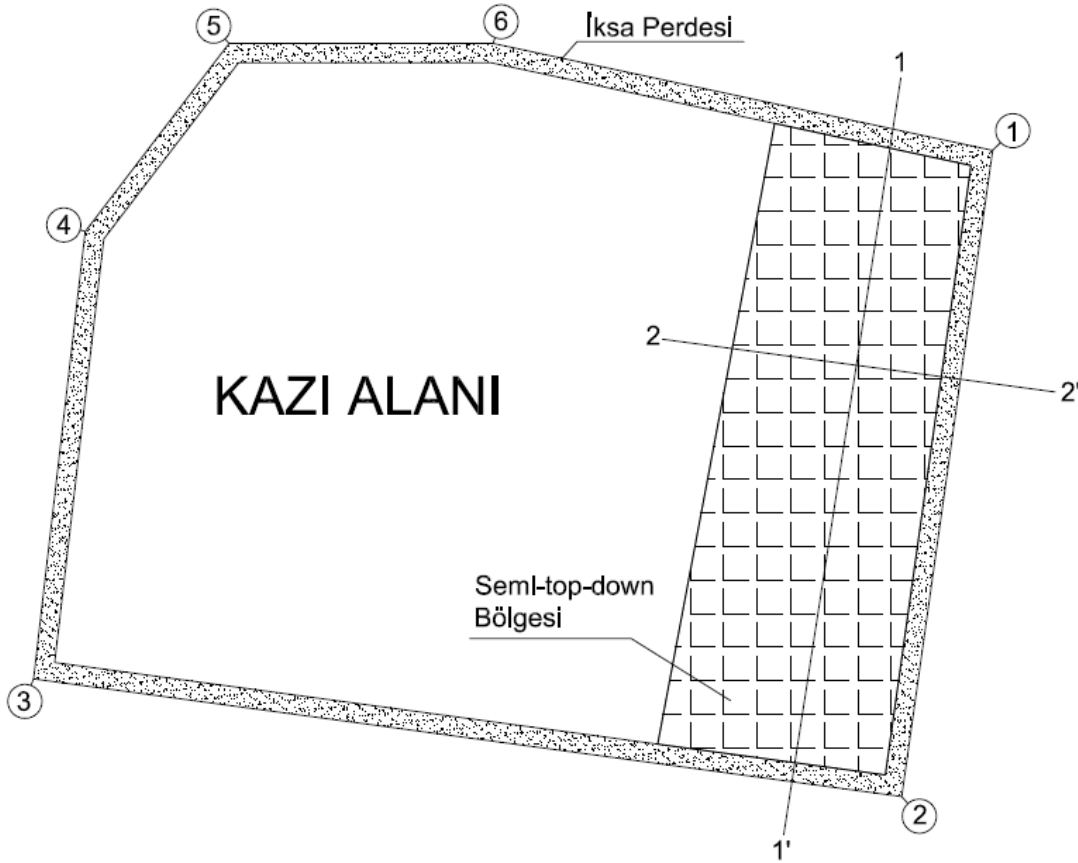
“Top-down inşaat yöntemi” ile yapılan temel çukuru kazılarında, anayapı döşemesi bütün kazı sahasını kaplayarak kazı sahasındaki bütün iksa perdelerine destek görevi görmektedir. Anayapı döşemesinin bütün kazı sahasını kaplamadığı, bölgesel alanlarda yapılan top-down inşaatına “yarı-top-down” inşaatı denir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 : Yarı-top-down inşaat yöntemi ile kat kazısı (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down yönteminde, döşemenin yanal toprak basıncına karşı destek görevi görmediği kesitler vardır. Bu kesitlerde, toprak basıncına karşı ankraj veya zemin çivileri kullanılır. Örneğin, Şekil 5.16’de verilen temsili bir kazı sahası planında, bir kısım alan semi-top-down inşaat yöntemi ile kazılacak olsun. Yarı-top-down bölgesindeki döşemeler, 1-1’ kesitinde iksa perdesine destek görevi görürken, 2-2’ kesitinde etkisiz kalmaktadır. Bu yüzden, 1-2 aksları arasında, iksa üzerine düşen yanal toprak basıncı, kat kazıları sırasında imal edilecek ankraj veya zemin çivileri ile karşılanmalıdır.

Yarı-top-down yöntemi ile temel çukuru kazısı ayrıntılı olarak 6.Bölüm’de aktarılacaktır.



Şekil 5.16 : Yarı-top-down inşaat yöntemi kullanılacak temsili kazı sahası planı.

6. YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİ İLE DERİN TEMEL KAZISI

Bu bölümde; yarı-top-down inşaat yöntemi ve bu yöntem ile derin temel kazı yöntemi tanıtılacaktır.

6.1. Giriş

Kazı sahasını belirli bölgelerinde yapılan top-down inşaatına “yarı-top-down” inşaatı denir. Top-down inşaatından farklı olarak, yarı-top-down yönteminde döşemenin iksa perdesine destek olmadığı kesitler mevcuttur. Bu kesitlerde, iksa perdesi üzerine gelen yanal toprak basıncı, destek elemanları ile karşılanır.

“Yarı-top-down” inşaat yönteminde kullanılan elemanlar, “top-down” inşaat yönteminde kullanılan elemanlarla benzerlik gösterip ek olarak yanal destek elemanları kullanılır. Bu kazı yöntemde kullanılan elemanlar;

- İksa perdesi,
- Yarı-top-down kazıkları,
- Yarı-top-down döşemesi ve kirişleri,
- Yanal toprak basıncına karşı yatay destek elemanları (ankraj, boru destek),
- Temel plağı.

“Yarı-top-down” yöntemi ile yapılan inşaatlarda, “top-down” inşaat yönteminde olduğu gibi, 1-2 bodrum kat döşemesi imal edildikten sonra üst yapı inşaatına da izin verilebilmektedir. Bu yüzden inşaat süresi açısından klasik kazı tekniklerine nazaran avantajlı bir yöntemdir.

Yarı-top-down yönteminin tercih edilme sebepleri;

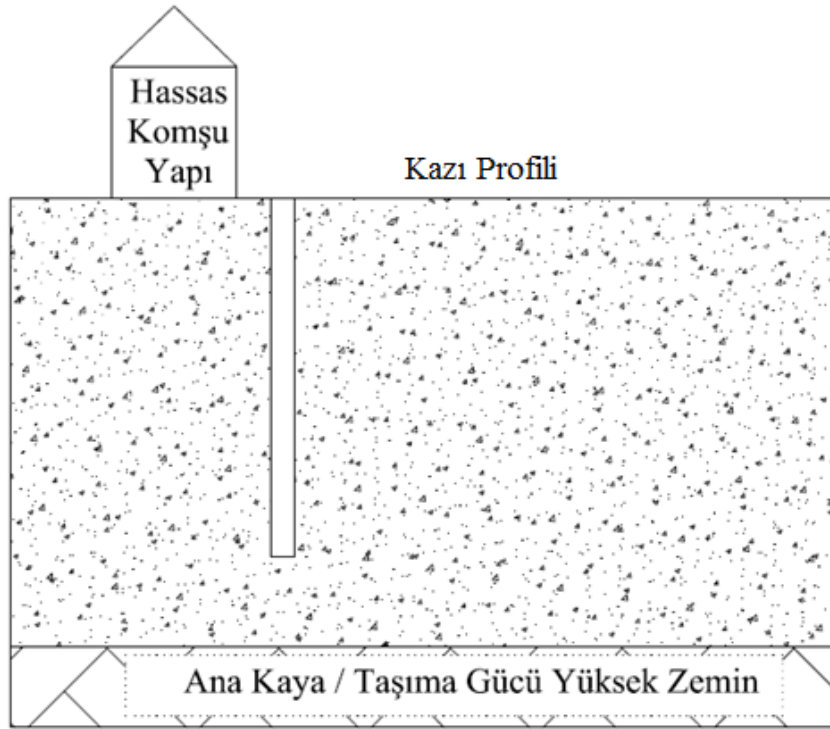
- Kazı sahası çevresinde, iksa hareketine karşı hassas komşu yapılar var ise mevcut iksa sistemine ek önlemler alınabilir. Bu gibi bir durumda, kazı emniyetini arttırmak için komşu yapının bulunduğu cephede yarı-top-down inşaat yöntemi ile temel çukuru kazısı yapılabilir.

- Komşu yapının bulunduğu cephede, projelendirilmiş ankrajlar zemin şartlarına bağlı olarak bazı noktalarda yada bazı kademelerde imal edilememiş olabilir. Ayrıca, imal edilmiş ankrajların, yapılan performans testleri sonucu yeterli yük taşımadı tespit edilmiş olabilir. Böyle bir durumda, iksa perdesini desteklemek için “destek boruları” düşünülebilir. Fakat, kazı sahasının büyük olması durumunda destek boruları montajı da mümkün olmayabilir. Bu şartlarda, yarı-top-down inşaat yöntemi bu cephede çözüm olabilir.

6.2. Yarı-top-down İnşaat Yöntemi ile Kazı Aşamaları

İksa perdesinin imalatı

“Yarı-top-down” yöntemi ile inşaatı başlamadan önce yapılması gereken ilk aşama, bu bölgedeki cephelerde iksa perdelerinin imal edilmesidir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 : Yarı-top-down inşaatında iksa perdesinin imalatı.

Kesişen kazıklı perde, aralıklı dizilime sahip kazıklı perde, diyafram perde, betonarme kuyu perde, aç-kapa betonarme perde gibi perdeler, komşu yapı varlığı ve zemin koşullarına göre iksa perdesi olarak tercih edilebilir (Şekil 6.2).

İksa perdesi proje alt kotuna kadar tek seferde de yapılabilir, kademeli olarak da yapılabilir.

“Yarı-top-down” iksa perdeleri çok sıra destekli sistemler gibi tasarlanmalıdır. İksa sistemi ankrajlı, zemin çivili yada boru destekli olarak hesaplanabilir.



Şekil 6.2 : Yarı-top-down inşaatında kullanılan aralıklı dizilime sahip kazıklı perdenin kat içinden görünümü (Maksim Tuna Otel, 2012/13).

İksa perdesi üzerinde ilk kademe ankrajlarının yapılması

“Çok sıra ankrajlı iksa” olarak başlayan bir kazı projesinde ilk kademe ankrajlarının yapılamaması veya ankrajların tutmaması durumunda (Şekil 6.3), “Yarı-top-down” yöntemine geçilebileceği daha önce belirtilmişti.

“Yarı-top-down” yöntemine geçmeye karar verdikten sonra da ankrajların başarılı bir şekilde imal edilebileceği kot bulunana kadar ankraj denemeleri devam etmeli. Bu kot, perdenin konsol olarak görev yapabileceği sınırı aşmamalı.

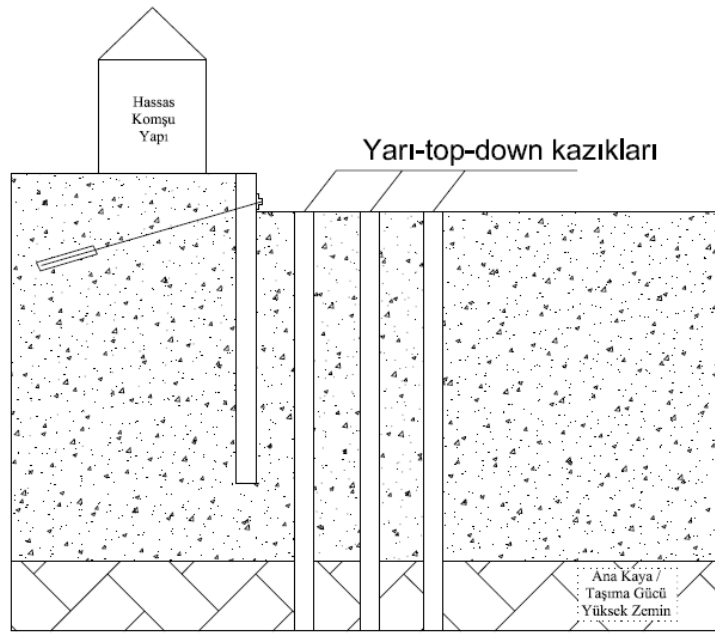


Şekil 6.3 : İlk kademe ankrajları yapılamamış ve “Yarı-top-down” yöntemine geçilmiş cephe (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down kazıklarının imalatı

“Yarı-top-down” yönteminde, döşemeleri taşıyacak ve iksa perdesinin döşeme üzerine dayandığı durumlarda yükü zemine aktaracak düşey elemanlar “Yarı-top-down kazıkları”dır.

Yarı-top-down kazıkları, temel seviyesi altında yüksek taşıma gücüne sahip kaya/zemine kadar uzatılmalı (soket) ve uç kazıkları olarak tasarlanmalıdır (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 : “Yarı-top-down” kazıklarının sağlam tabakaya soketlenmesi.

Yarı-top-down kazıklarının, bir kısmı “kalıcı” bir kısmı da “geçici” elemanlardır.

Kalıcı kazıklar, anayapı kolon akslarında imal edilir. Kazı bitip temel döşemesi döküldükten sonra kalıcı kazıklar, donatı ve betonla bir daha mantolanıp, binanın ana kolonları olarak yapısal görevlerine devam eder.

Geçici kazıklar, temel kazısı bitene kadar döşemelerin emniyetli bir şekilde taşınmasını sağlamak ve döşemede oluşabilecek sehimleri engellemek için kullanılır. Kazının bitmesi ve temel döşemesinin imal edilmesinden sonra anayapı taşıyıcı kolon ve perdeleri alt katlardan üste doğru yapılırken “geçici kazıklar” kırılarak yok edilir.

Şekil 6.5’de “yarı-top-down” inşaat yöntemi ile derin temel kazısı yapılacak bir bölgede “yarı-top-down kazıkları”nın imal edilmesi gösterilmektedir.



Şekil 6.5 : “Yarı-top-down” inşaat yöntemi kullanılacak bölgede kazıkların imal edilmesi (M. T. Otel, 2012/13).

İmalat sırasında, kazıklar için kullanılacak beton miktarı titizlikle takip edilmeli ve bu miktar teorik beton miktarı ile kıyaslanmalıdır. Kazıklar için kullanılan beton miktarının teorik beton miktarından düşük olması, kazıklarda incelmeye yaşandığına yada kazıkların zemin malzemesi ile dolduğuna işaret eder. Kazıklar için kullanılan beton miktarının teorik beton miktarından fazla olması ise, kazıklarda kalınlaşma yaşandığına yada zeminde boşluk varlığına işaret eder. Bu takibin yapılması ile “yarı-top-down” inşaatı sırasında, kazıklarda karşılaşılabilecek problemlerin önceden belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması sağlanabilir.

Şekil 6.6’da “yarı-top-down” inşaatında imal edilmiş kazıklardaki problemler gösterilmektedir. Şekillerde, kazıklarda görülen incelmeler, kalınlaşmalar ve boşluklu yapılar belirtilmiştir.



Şekil 6.6 : “Yarı-top-down” kazıklarında karşılaşılabilecek imalat problemleri (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down zemin kat döşeme imalatı öncesi kazı yüzeyi tesviyesi

“Yarı-top-down kazıkları”nın imal edilmesinden sonra, kazık başları döşeme alt kotuna kadar kırılır. Zira “Yarı-top-down” yönteminde, imal edilecek ilk döşeme kazıkların üst kısmında, diğer döşemeler ise kazıkların ilgili kotunda kazıklara bağlanmaktadır.

Bu kısımda anlatım kolaylığı için ilk döşeme olarak “zemin kat döşemesi” seçilmiştir.

Zemin kat imalatı öncesi, kazı yüzeyini oluşturan zemin tesviye edilmeli. Tesviye kotu belirlenirken zemin kat döşemesi alt kotu ve bu döşemeye taban oluşturacak grobeton kalınlığı dikkate alınmalı. Grobeton kalınlığını ortalama 20 cm. kabul edersek, zemin kat döşeme alt kotunun 20 cm. altına kadar kazı yüzeyi haritacı yetkililer tarafından tesviye edilmeli (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 : “Yarı-top-down” döşeme imalatı öncesi kazı yüzeyi tesviyesi
(M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down iksa perdesi izolasyonu

“Yarı-top-down” yönteminde, döşemeler imal edildikten sonra iksa perdesi ile sonradan yapılacak anayapı dış perdesi arasındaki izolasyonun yapılması zor olacaktır (bohçalama zorluğu). Bu yüzden, her döşeme imalatı öncesi, ilgili döşemenin alt kotunun 30 cm. aşağısına kadar iksa perdesi ve ankraj noktaları izolasyon malzemesi ile kaplanmalı (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 : “Yarı-top-down” zemin kat döşeme imalatı öncesi perdenin izolasyon malzemesi ile kaplanması (M. T. Otel, 2012/13).

Sonradan imal edilecek anayapı taşıyıcı kolon ve perde donatıları için yarı-top-down inşaat yöntemi esnasında manşon havuzlarının oluşturulması

“Yarı-top-down” yöntemi ile temel seviyesine ulaşılp, temel döşemesi imalatı yapılması ile, alt katlardan üst katlara doğru anayapı taşıyıcı kolon ve perdeleri imal edilir.

“Yarı-top-down döşemeleri” imal edilirken, anayapıya ait kolon ve perde aks ve konumlarında özel hazırlık yapılmamışsa, bu elemanların imalatı sırasında döşemenin kesilmesi gerekecektir. Bunun yerine “yarı-top-down döşemeleri” imal edilmeden önce bazı hazırlıklar yapılırsa bu taşıyıcı elemanların döşemedeki uzantıları önceden imal edilir ve kat içindeki uzantılarına bağlantı noktaları oluşturulur.

Sonradan yapılacak anayapı kolon ve perde için hazırlıklar şu şekildedir; anayapı kolon ve taşıyıcı perde yerleri haritacı tarafından belirlenir ve ahşap destekler ile bu bölgeler sınırlanır. Sınırlanacak bu yerler arasında “kalıcı kazık” çevreleri de dahildir. Sınırlanan yerler, döşemeye altlık yapacak grobetonun 5-10 cm. altına kadar kazılır. Sınırlanan ve kazılan bu havuzlar, kum ile doldurulur. Ahşaplar ile sınırlanmış bu kum havuzları, grobeton dökümü esnasında betondan korunmuş olur (Şekil 6.9).



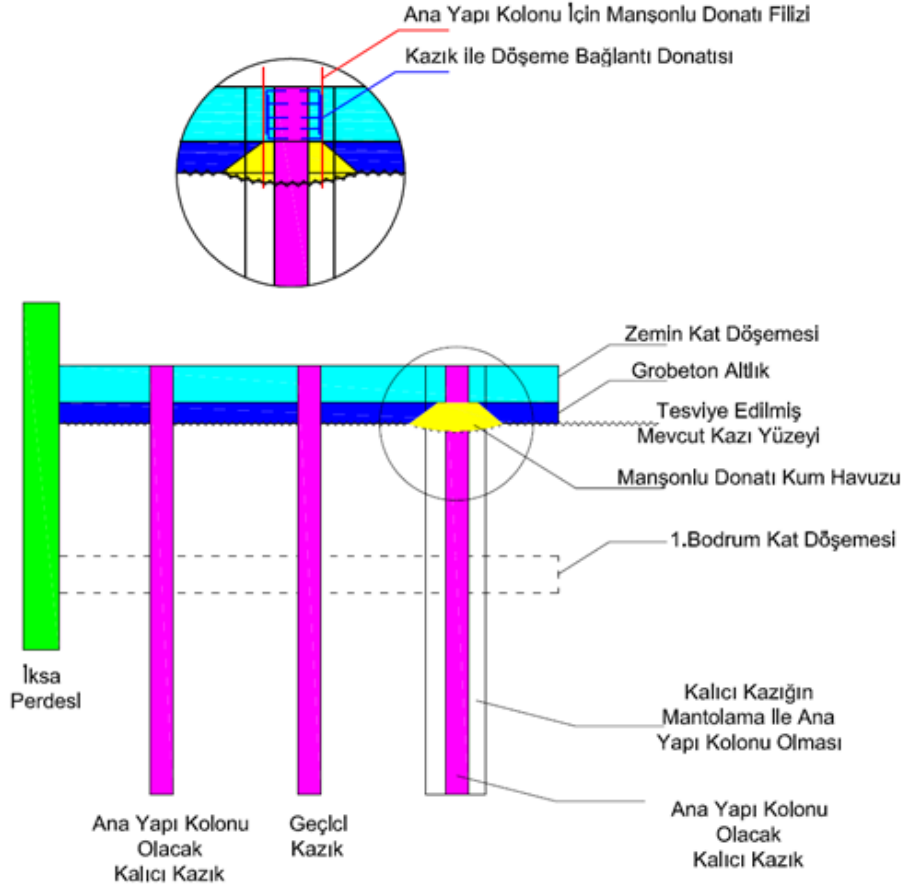
Şekil 6.9 : Sonradan imal edilecek anayapı kolon ve perdelerine ait manşonlu donatılar için kum havuzu (M. T. Otel, 2012/13).

Anayapı kolonları ve perdelerine ait manşonlu donatılar kum havuzlarına oturtulur. Kum sayesinde, döşeme betonu dökülürken manşonlu donatılar betondan korunmuş olur. Alt kademe kazısında, grobeton kırılacak ve kum havuzunda korunmakta olan manşonlu donatı temiz bir şekilde açığa çıkacaktır (Şekil 6.10).



Şekil 6.10 : Kum havuzlarında korunmuş manşonlu donatının alt kademe kazı sonrası görünümü (M. T. Otel, 2012/13).

Şekil 6.11’de bir kesit üzerinde döşeme altlığı olan grobetonun, döşemenin, kazığın ve manşonlu donatı havuzlarının konumu gösterilmektedir. Ayrıca kalıcı kazık ile döşemenin bağlantısını sağlayan donatıların, kum havuzuna oturan anayapı donatılarının konumu da belirtilmektedir. Bu şekle bakıp imalat sırasını doğru belirlemek ve şantiye planlamasını yapmak oldukça kolaylaşacaktır.



Şekil 6.11 Kalıcı kazık-döşeme bağlantı noktaları ve anayapı manşonlu donatılarının “yarı-top-down” yöntemi sırasında hazırlanmasını belirten kesit.

Tesviye edilmiş zemin yüzeyi üzerine döşeme için grobeton altlığı imalatı

“Yarı-top-down” döşemelerinin tesviye edilmiş zemin üzerinde imal edilmesi durumunda döşemenin alt yüzünde pürüzlülük oluşturacaktır. Ayrıca, bu durumda zemin cinsine göre döşemenin sehim yapma ihtimali de vardır. Bu yüzden, pürüzsüz ve sehimsiz bir döşeme oluşturmak için döşeme imalatı öncesi zemin üzerine 20-30 cm.’lik grobeton döşeme altlığı yapılmalıdır (Şekil 6.12). Bu grobeton altlık, alt kat kazı sırasında kırılarak yok edilecektir.



Şekil 6.12 : Yarı-top-down döşemeleri öncesi grobeton altlık (M. T. Otel, 2012/13).

Grobeton altlığın üzerinin izolasyon malzemesi ile kaplanması

“Yarı-top-down döşemeleri”nin imalatı öncesinde yapılan “grobeton altlığı” üzeri polietilen izolasyon malzemesi ile kaplanmalıdır. İzolasyon malzemesi, döşeme ile grobeton altlık arasındaki etkileşimi kesecektir. Böylece, alt kat kazısı sırasında kırılacak olan grobeton altlık, döşemeden kolayca ayrılacak ve grobetonun kırımı sırasında döşeme alt yüzeyi zarar görmeyecektir (Şekil 6.13).



Şekil 6.13 : “Yarı-top-down döşemesi” ile “grobeton altlığı” ayıran izolasyon malzemesi (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down zemin kat döşeme imalatı

Grobeton altlık imal edilip üzerine polietilen izolasyon malzemesinin serilmesinden sonra, projesine uygun olarak döşeme donatıları bağlanır.

“Yarı-top-down” inşaat yönteminde imal edilecek ilk döşeme, “yarı-top-down kazıklarına” kazık üst filizlerinden bağlanır (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 : “Yarı-top-down zemin kat döşeme” donatılarının bağlanması (M. T. Otel, 2012/13).

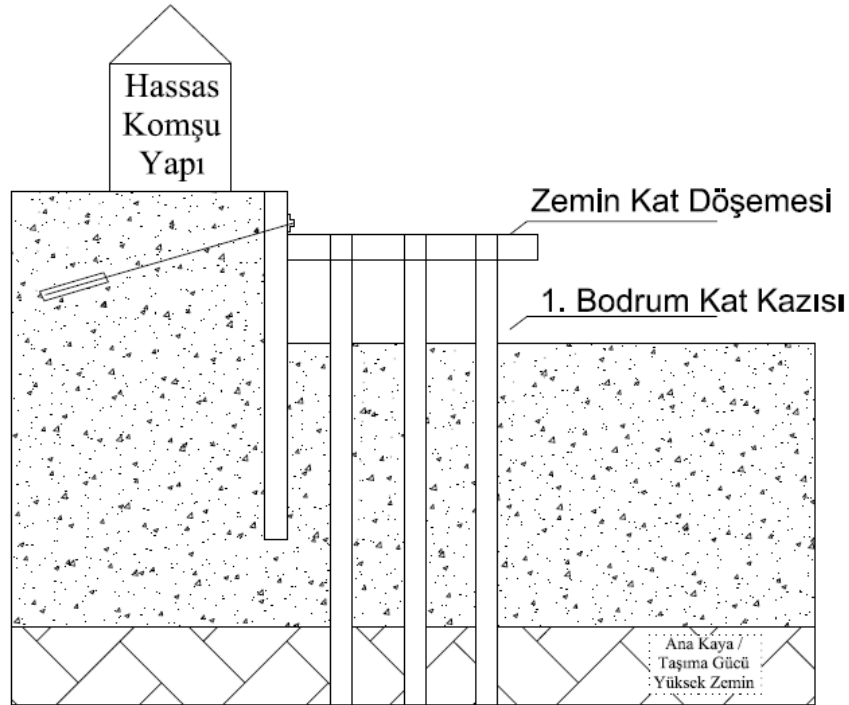
Döşeme donatıları bağlanmasından sonra, “Yarı-top-down zemin kat döşemesi”nin betonlanmasına geçilir (Şekil 6.15).



Şekil 6.15 : “Yarı-top-down” zemin kat döşemesinin betonlanması (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down 1.bodrum kat kazısının yapılması

“Yarı-top-down zemin kat döşemesi”nin betonlanmasından yaklaşık 15-20 gün sonra bir alt kademe kazısına geçilebilir (Şekil 6.16). 1.Bodrum Kat için yapılacak kazı sırasında, zemin kat döşemesi grobeton altlığı da kırılarak hafriyat olarak sahadan uzaklaştırılır.



Şekil 6.16 : “Yarı-top-down 1.bodrum kat kazısı”nın yapılması.

Kazı işlemi kat içerisinde iksa perdesine doğru yapılır. Bu işlem kat yüksekliğine uygun kazıcı araçlar tarafından yapılır (Şekil 6.17). Ayrıca kazı işlemi için seçilecek araçlar kat içerisinde bulunan “yarı-top-down kazıkları” arasında rahatlıkla manevra yapabilecek özellikte olmalı. Verimli olarak çalışıldığında kat içerisinde günde 500-600 m³ hafriyat çıkarılabilir. Bu veri şantiye planlamasında mühendislere bir fikir verebilir.

Kazı yapılmasından sonra ortaya çıkan “yarı-top-down kazıkları”nda bir imalat eksikliği varsa kazıklar hemen onarılmalıdır. Kazıklarda beton boşluğu görülmesi halinde enjeksiyon ile boşluklar doldurulmalıdır. Ayrıca, kazıklarda kalınlaşma var ise fazla kısımlar kırılmalıdır. Kalıcı kazıklar aksından kaymış ise bu bilgi sorumlu kişilere rapor edilmelidir.

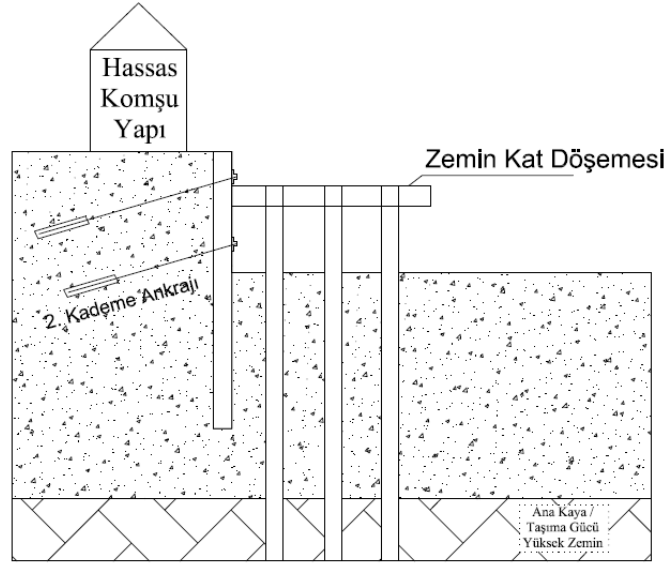


Şekil 6.17 : Yarı-top-down 1.bodrum kat kazısı (M. T. Otel, 2012/13).

İksa perdesi üzerinde 2.kademe ankrajlarının yapılması

“Yarı-top-down 1.Bodrum Kat Kazısı”nın tamamlanmasından sonra açılan iksa perdesi yüzeyinde ilgili kotlarda ankraj imalatına geçilir (Şekil 6.18).

Ankrajlar kat içerisine sokulan delgi makineleri ile yapılır. Ankraj delgileri için seçilecek delici makinenin yüksek manevra kabiliyetine sahip olması gerekir.



Şekil 6.18 : Yarı-top-down 2.kademe ankrajları.

“Yarı-top-down” inşaat yöntemi ile yapılan temel çukuru kazılarında, kat içi ankrajlar projelendirilirken dikkatli olunmalı. Kat içerisinde bulunan “yarı-top-down kazıkları”, kimi zaman iksa perdesinin önünü kapamakta ve ankraj delgi aracı iksa perdenin bu noktalarına yanaşamamaktadır. Kazıkların temel kotuna kadar ilerlediğini düşünürsek, iksa perdesinde belirli düşey kısımları kazı boyunca ankrajla desteklenememektedir. İksa perdesi projelendirilirken, ankraj yapılamayacak düşey doğrultular belirlenmeli ve bu doğrultularda münferit anolu yada kuyu perde tasarlanmamalı. Bu noktalardaki kuyu perde veya anolar geniş uzunlukta tasarlanmalı.

Şekil 6-19’da kat içerisinde imal edilmiş ankrajlara bir örnek verilmiştir.



Şekil 6.19 : Kat içerisinde ikinci kademe ankrajlarının yapılması (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down kazıkları ile 1.bodrum kat döşeme bağlantılarını sağlayacak donatıların yerleştirilmesi

“Yarı-top-down geçici ve kalıcı kazıkları”nı “1.bodrum kat döşemesi”ne bağlayacak donatılar ince ve dikkatli bir işçilik ile bağlanmalı. Bunun için öncelikle, kazıkların döşeme ile birleşeceği aralıklarda kazıklar inceltilir. Daha sonra proje gereği, kazığa girecek donatı bindirme boyunda matkapla kazıklarda delikler açılır (Şekil 6.20). Açılan deliklere hava verilerek, delikteki tozlar ortamdan uzaklaştırılır. Temizlenen delikler, epoksi ile ağzına kadar doldurulur. Epoksi dolgulu deliklere proje normlarındaki donatılar yerleştirilir (Şekil 6.21). Daha sonra, her bir kazıkta en az 5 adet donatı üzerinde çekme deneyi yapılarak donatıların kazık üzerindeki çekme performansları test edilir (Şekil 6.22).



Şekil 6.20 : “Yarı-top-down kazıkları” ile “döşeme” bağlantısını sağlayacak donatılar için kazıkta delgi (M. T. Otel, 2012/13).



Şekil 6.21 : “Yarı-top-down kazıkları” ile döşeme bağlantısını sağlayacak donatıların epoksi ile kazığa yerleştirilmesi (M. T. Otel, 2012/13).



Şekil 6.22 : “Yarı-top-down kazıkları” ile “döşeme” bağlantısını sağlayacak donatıların test edilmesi (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down 1.bodrum kat döşeme imalatı öncesi zemin tesviyesi

“Yarı-top-down” yönteminde, 1.bodrum kat zemin tesviyesi, zemin kat döşemesi öncesinde yapılan zemin tesviyesi gibi yapılır. Fakat kazı derinleştikçe zeminde su etkisi artabilir. Bunu engellemek için tesviye yüzeyine mıcır serilebilir (Şekil 6.23).

Tesviye kotu yine döşeme alt kotunun 20 cm. altına denk gelen kotta yapılmalıdır. Bu şekilde 20 cm.’lik grobeton altlık için uygun kota erişilmiş olunur.



Şekil 6.23 : “Yarı-top-down 1.bodrum kat döşemesi” öncesi mıcır kullanarak zemin tesviyesi (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down iksa perdesi izolasyonun sürdürülmesi

“Yarı-top-down 1.bodrum katı”nda, iksa perdesi yüzeyi için izolasyon ankrajları örtecek şekilde sürdürülür. Öncelikli olarak, izolasyon “1.bodrum katı döşemesi”nin kotlarına denk gelen aralıklarda ve mümkünse döşeme alt kotunun 30 cm. aşağısına kadar sürdürülmeli. Eksik kalan izolasyonsuz kısımlar, anayapı perdeleri imal edilmesinden hemen önce de tamamlanabilir (Şekil 6.24).



Şekil 6.24 : “Yarı-top-down 1.bodrum kat kazısı”nda iksa perdesi izolasyonunun sürdürülmesi (M. T. Otel, 2012/13).

Sonradan imal edilecek anayapı taşıyıcı kolon ve perde donatıları için yarı-top-down inşaat yöntemi esnasında manşon havuzlarının oluşturulması (devam - 1.bodrum kat için)

Bu aşamada, zemin kat döşemesi öncesinde yaptığımız işlem aynen uygunmakta. Daha sonra imal edilecek anayapı kolon ve perde donatıları yine kum havuzlarında muhafaza edilir. Fakat su etkisinin alt kotlarda artmaya başlamasından dolayı, kum havuzunu oluşturan sınır elemanları değiştirilebilir. 5-10 cm.’lik ahşap engeller yerine, daha yüksek boylu, esnek ahşaplardan kum havuzları oluşturulabilir (Şekil 6.25).

Önceden verdiğimiz, Şekil 6.11’den (Kalıcı kazık-döşeme bağlantı noktaları ve anayapı manşonlu donatılarının “yarı-top-down” yöntemi sırasında hazırlanmasını belirten kesit) üretim aşaması takip edilebilir.



Şekil 6.25 : “Yarı-top-down 1.Bodrum kat döşemesi” imalatı öncesinde, sonradan imal edilecek anayapı kolon ve perdelerine ait manşonlu donatılar için derin kum havuzu (M. T. Otel, 2012/13).

1.Bodrum kat döşemesi için grobeton altlık ve izolasyon kaplama

“Yarı-top-down zemin kat döşeme” imalatı öncesi yapılan grobeton döşeme altlığı imalatı ve bu altlığın izolasyon malzemesi ile kaplanması aynen 1.bodrum kat döşemesi için de uygulanır (Şekil 6.26).



Şekil 6.26 : “Yarı-top-down” 1.Bodrum kat döşemesi imalatı öncesinde grobeton döşeme altlığı ve izolasyon kaplama (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down kazıkları ile 1.bodrum kat döşeme donatılarının bağlanması ve döşeme imalatı

Kazık üzerine yerleştirilen epoksili donatının döşeme donatıları ile birleştirilmesi ile

1. Bodrum kat döşemesinin donatı bağlama işlemi tamamlanır (Şekil 6.27).



Şekil 6.27 : “Yarı-top-down 1.Bodrum kat döşemesine” ait donatıların bağlanması, döşeme ile kazıkların birleştirilmesi (M. T. Otel, 2012/13).

1. Bodrum kat döşeme donatılarının bağlanmasından sonra betonlama işlemine geçilir. Şekil 6.28’de 1.Bodrum kat döşemesinin betonlanması sonrası anayapıya ait perdenin “manşonlu donatıları” görülmektedir. Hatırlatmak ve konuyu pekiştirmek için belirtilmesi gerekirse, bu manşonlu donatılar döşemenin betonlanmasından önce “kum havuzlarına” ekilmiş donatılardı.



Şekil 6.28 : “Yarı-top-down” 1.Bodrum kat döşeme imalatının tamamlanması
(M. T. Otel, 2012/13).

Temel plağının imalatı

“Yarı-top-down” yönteminde; yukarıdan aşağı doğru inilerek, sırası ile bütün döşemelerin imal edilmesi ile temel seviyesine kadar inilir. Temel plağının imal edilmesi ile kazı güvenliği sağlanmış bir temel çukuru kazısı başarı ile tamamlanmış olur (Şekil 6.29).

Şekil 6.29’da “yarı-top-down” inşaat yöntemi ile kazısı yapılmış bir projeye örnek olarak “Taksim Maksim Tuna Otel” şantiyesinden bir görünüm verilmiştir.



Şekil 6.29 : “Yarı-top-down” yöntemi ile temel seviyesine inilmiş bir inşaat çukuru (M. T. Otel, 2012/13).

Yarı-top-down kalıcı kazıklarının anayapı kolonlarına dönüştürülmesi

“Yarı-top-down” yöntemi ile temel seviyesine inildikten sonra, temel seviyesinden yukarı doğru anayapıya ait kolon ve perdeler üretilir. Kalıcı “yarı-top-down kazıkları”, donatı ve beton ile mantolanarak “kolon” haline, manşonlu donatı filizleri birleştirilerek “perde” haline getirilir. Şekil 6.30’da kalıcı “yarı-top-down kazıkları”nın anayapı kolonu haline getirilmesine örnek verilmiştir. Şekil 6.31’de ise yarı-top-down döşemeleri”ndeki manşonlu donatı filizlerinin birleştirilerek anayapı perdesi haline getirilmesi gösterilmektedir.



Şekil 6.30 : Yarı-top-down kalıcı kazıklarının mantolama ile anayapı kolonu oluşu.



Şekil 6.31 : “Yarı-top-down döşemeleri”ndeki manşonlu donatı filizlerinin birleştirilerek anayapı perdesi haline getirilmesi.

7. YARI-TOP-DOWN İNŞAAT YÖNTEMİNİN ÇOK SIRA AKRAJLI İKSA ÜZERİNE ETKİLERİ

7.1. Giriş

“Yarı-top-down inşaat yöntemi”, döşemelerin bağlandığı kazıklarda farklı veya aşırı oturmalar oluşmaması için yüksek mukavemetli zeminler veya kaya ortamı için önerilmektedir.

“Yarı-top-down kazıkları”nda oluşabilecek farklı oturmalar, döşemelerde sehime sebep olabilir. Ayrıca, kazıklarda oluşabilecek aşırı oturma değerleri, döşemelerin proje kotundan daha alt kotlara kaymasına yol açacaktır.

Tez çalışmasının bu bölümde; “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile yapılacak “temsili” bir derin temel kazısı incelenecektir. Kazı derinliği olarak 25 metre, kazı ortamı olarak da yukarıda aktarılan “yüksek mukavemetli” ortamı yansıtacak “grovak kaya” seçilmiştir.

İnceleme yöntemi olarak, temsili grovak kaya ortamında 25 m. kazı için “çok sıra ankrajlı” bir iksa sistemi tasarlanmıştır. Daha sonra, bu iksa sistemi “yarı-top-down” inşaat yöntemi ile desteklenmiş ve iki durum arasındaki etkiler sergilenmiştir.

25 metrelik derin kazı için “çok sıra ankrajlı” iksa sistemi, “FHWA-IF-99-015 Ground Anchors and Anchored Systems”da belirtilen “Alan yöntemi” ile tasarlanmıştır.

Alan yöntemi ile hesaplanan ankraj serbest ve kök boyları, 40 cm. kalınlığındaki betonarme iksa perdesi ile Plaxis 8.2 programında modellenmiştir.

Plaxis 8.2 programında zemin modellemesinde “Mohr-Coulomb” yöntemi kullanılmıştır. “Mohr-Coulomb” modelinde tanımlama yapılarak, kayanın plastik davranışlarının gözlenebilmesi sağlanmıştır.

Oluşturulan “çok sıra ankralı” iksa modeli, Plaxis 8.2 programında çözüldükten sonra; perdede oluşan yatay ve düşey hareketler, perde üzerine gelen kesme kuvveti

ve dönme momenti, ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler ve kazı sisteminin her kademesi için güvenlik sayıları belirlenmiştir.

Daha sonra, “çok sıra ankrajlı” sistem değiştirilmeden, “yarı-top-down” inşaat yöntemi sisteme eklenerek yeni bir modelleme oluşturulmuştur. Bu yeni modelle elde edilen veriler, ilk veriler ile kıyaslanmış ve “yarı-top-down” inşaat yönteminin etkileri belirlenmiştir.

7.2. Zemin/Kaya Parametrelerinin Belirlenmesi

“Yarı-top-down” inşaat yönteminin yüksek mukavemetli zeminler veya kaya ortamı için uygulanabilir olmasından dolayı, modellenecek temsili zemin profili Trakya Formasyonuna ait grovak kaya ortamı olarak seçilmiştir.

Kaya parametreleri belirlenirken Çizelge 7.1’deki çeşitli referanslardan yararlanılmıştır.

Çizelge 7.1 : Trakya formasyonuna ait grovak ve diğer kaya türlerine ait mühendislik parametreleri.

Kaya Tipi	Elastisite Modülü (kPa)	Poisson Oranı	Doğal Birim Hacim Ağırlığı, γ_n (kN/m ³)	Kohezyon (kPa)	İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	Referans
Aynışmış Kireçtaşı	78 500	0.3	-	98	46	Barla ve Mascardi (1974)
Orta derece çatlaklı kireçtaşı ve kumtaşı	1 177 000	0.15	-	98	46	
Sağlam Kumtaşı (Grovak)	200 000 - 600 000	0.3	24 - 26	6	45	Özüer, (1975)
Aynışmış Kumtaşı (Grovak)	100 000 - 400 000	0.35	20	0	14-18	Durgunoğlu, (1997)
Sağlam Kumtaşı (Grovak)	2 000 000	0.22	25	500	35 - 40	

Buna göre, tasarımda kullanılmak üzere seçilen kaya parametreleri Çizelge 7.2’de verilmiştir. Seçilen kaya parametreleri, Özüer’in (1975) önerdiği değerlere yakındır.

Çizelge 7.2:Tasarımlarda kullanılmak üzere seçilen kaya parametreleri.

Seçilen Kaya Parametreleri			
Elastisite Modülü	E	kN/m ²	250 000
İçsel Sürtünme Açısı	Ø	°	40
Dilatasyon Açısı	ψ	°	10
Kohezyon	c	kN/m ²	10
Poisson Oranı	μ	-	0,3
Birim Hacim Ağırlık	γ	kN/m ³	25

Çizelge 7.2'deki parametreler, Plaxis 8.2 programında, kayanın tanımlanmasında kullanılmıştır. Plaxis 8.2 programında kaya, Mohr-Coulomb modelinde tanımlanarak kayanın plastik davranışlarının gözlenebilmesi sağlanmıştır.

Zeminin gerilme-deformasyon davranışını lineer elastik olarak ele alan “Mohr-Coulomb” modelinde, elastisite modülü (E), poisson oranı (μ), içsel sürtünme açısı (Ø), kohezyon (c) ve dilatasyon açısı (ψ) olmak üzere beş parametrenin girişi yapılır.

7.3. İksa Üzerine Gelecek Yanal Yüklerin Belirlenmesi

Temsili modelde, iksa perdesinin desteklenmesinde kullanılacak “çok sıra ankrajlı” sistemin, hesabına yönelik iksa perdesi üzerine gelen yanal yükler belirlenmiştir. 25 metrelik derin kazı için iksa perdesi üzerine, yanal toprak basıncı (P_{toprak}) ve çevrede bulunan komşu binadan gelecek sürşarj yükleri ($P_{\text{sürşarj}}$) etkimektedir (Şekil 7.1).

Tasarımda ve hesaplarda, komşu binanın oluşturduğu yayılı yük, q , 90 kN/m² olarak kabul edilmiştir. Bu yükün, en az 5-6 katlı bir yapıya eşit olduğu düşünülmüştür.

Yanal toprak basıncı bulunurken; çok sıra destekli perdeler için kullanılan “Terzaghi – Peck görünür yanal toprak basınç zarfı” (Peck, 1967) kullanılmıştır (Şekil 7.2).

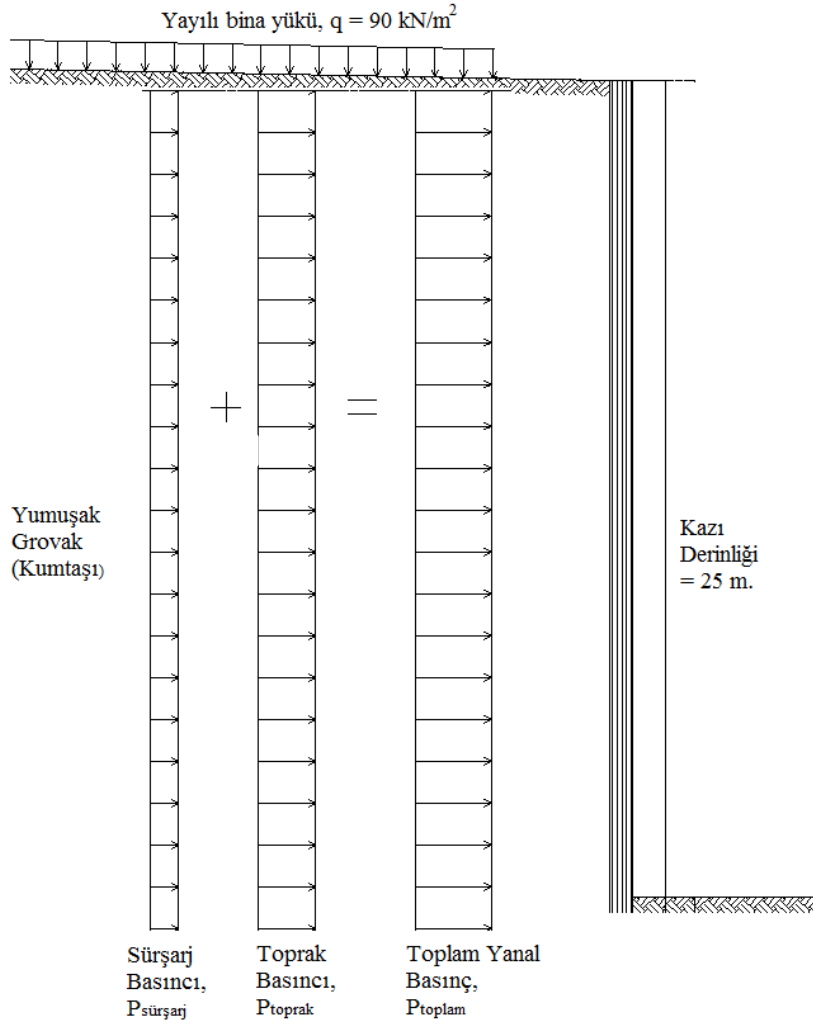
Buna göre;

Aktif toprak basıncı katsayısı, K_a ,

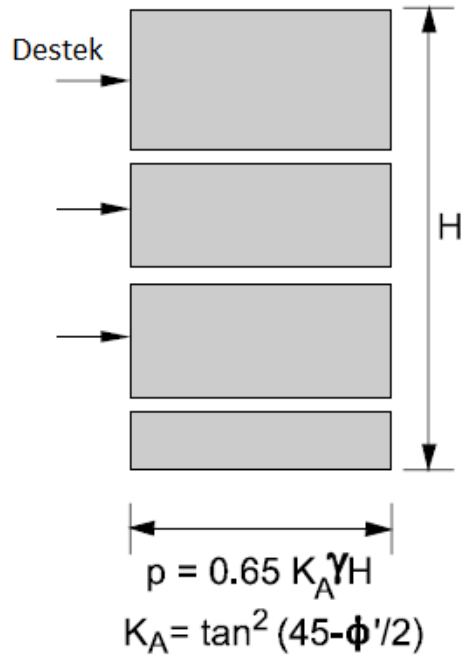
$$K_a = \tan^2(45 - \text{Ø}'/2) \quad (7.1)$$

$\text{Ø}' = 40^\circ$ (Çizelge 7.2'den),

$$K_a = \tan^2(45 - 40/2) = 0.217.$$



Şekil 7.1 : Tasarımlarda kullanılacak iksa perdesi üzerine gelen yükler.



Şekil 7.2 : Kum için Terzaghi – Peck görünür yanal toprak basınç zarfı.

Granüler zemin için görünür toprak basıncı (Peck, 1967), P_{toprak} ,

$$P_{toprak} = 0.65 * K_a * \gamma * H \quad (7.2)$$

$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ (Çizelge 7.2'den),

$H = 25 \text{ metre}$,

$$P_{toprak} = 0.65 * 0.217 * 25 * 25 = 88.15 \text{ kN/m}^2.$$

Sürşarj yükünden gelen yanal basınç, $P_{sürşarj}$,

$$P_{sürşarj} = q * K_a \quad (7.3)$$

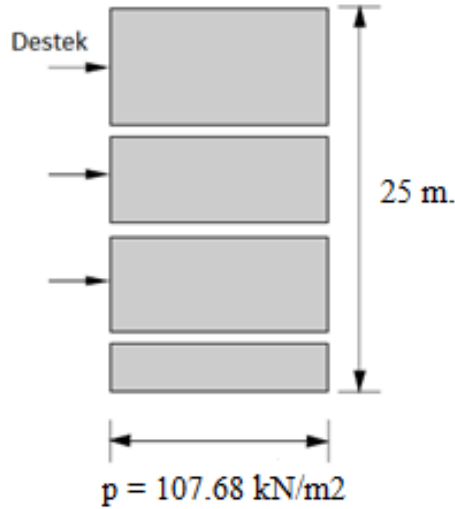
$q = 90 \text{ kN/m}^2$,

$$P_{sürşarj} = 90 * 0.217 = 19.53 \text{ kN/m}^2.$$

Perdeye gelen toplam yanal basınç, P_{toplam} ,

$$P_{toplam} = P_{toprak} + P_{sürşarj} \quad (7.4)$$

$$P_{toplam} = 88.15 + 19.53 = 107.68 \text{ kN/m}^2 \text{ (Şekil 7.3).}$$



Şekil 7.3 : Hesaplanan toplam yanal basınç.

7.4. Ankraj Tasarımı

7.4.1. Alan yöntemi ile ankraj yüklerinin belirlenmesi

Ankraj yüklerinin belirlenmesinde “FHWA-IF-99-015 Ground Anchors and Anchored Systems”da açıklanan “Alan Yöntemi” kullanılmıştır.

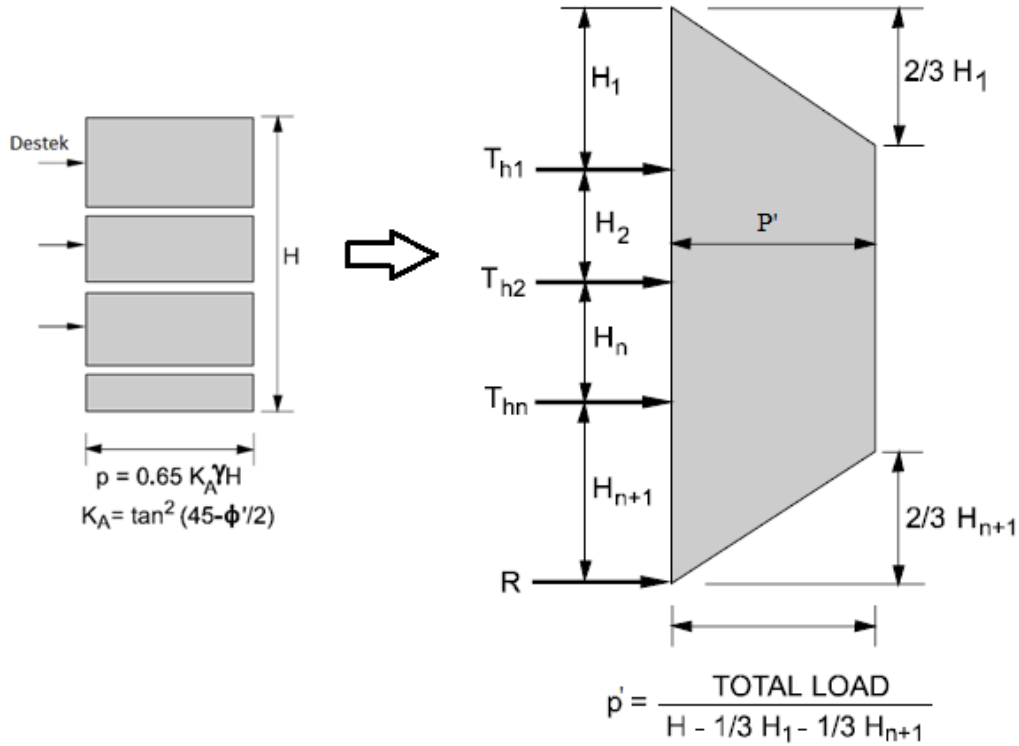
Tasarımda kullanılmak üzeri iksa perdesinde 10 kademede ankrajlar konumlandırılmıştır.

Ankrajlar arası düşey mesafe (S_v), 2.25 metre olarak kabul edilmiştir.

Ankrajlar arası yatay mesafe (S_h), 2 metre olarak kabul edilmiştir.

Ankrajların yatayla yapacağı açı 15° olarak kabul edilmiştir.

Alan Yöntemi kullanılırken, Şekil 7.3'te belirtilen “hesaplanan toplam yanal basınç” ufak bir düzeltme ile yeni bir basınç diyagramına dönüştürülür (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 : Alan yöntemi için basınç diyagramı dönüşümü.

Şekil 7.4'teki gibi Terzaghi – Peck yöntemi ile oluşturulmuş “hesaplanan toplam yanal basınç zarfı”, “alan yöntemi diyagramı”na dönüştürülürken, yeni oluşturulacak basınç genişliği (p') şu şekilde hesaplanır;

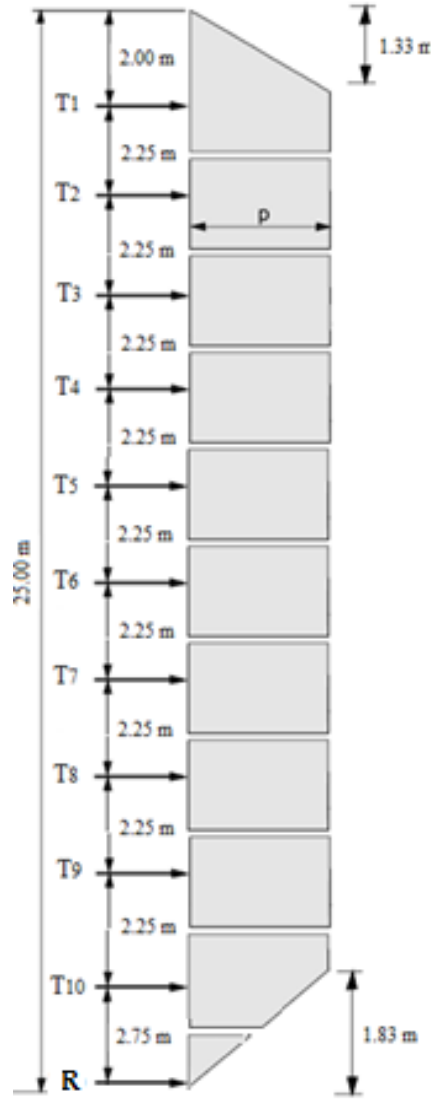
$$p' = \text{Toplam yük} / (H - 1/3 H_1 - 1/3 H_{n+1}) \quad (7.5)$$

Buna göre;

$$p' = 107.68 * 25 / (25 - 2/3 - 2.75/3) = 114.94 \text{ kN/m}^2.$$

İksa perdesi üzerine konumlandırılacak 10 adet ankraj kademesi üzerine gelen yatay yükler ($T_{1,2,\dots,10}$), elde edilen yeni basınç diyagramı üzerinden hesaplanacaktır (Şekil 7.5).

Her bir ankraja ait yatay yük, Şekil 7.5'de belirtilen basınç diyagramındaki ilgili basınç alanındaki yük miktarına eşittir.



Şekil 7.5 : Alan yöntemi ile ankraj yatay yüklerinin belirlenmesi.

Buna göre, ankraj yatay yüklerini veren basınç alanları;

$$T_1 = (2.92 + 4.25) * 114.94 / 2 = 412.1 \text{ kN/m},$$

$$T_{2,3,4,5,6,7,8,9} = 2.25 * 114.94 = 258.6 \text{ kN/m},$$

$$T_{10} = (2.045 * 114.94) + (114.94 + 102.2) * 0.205 / 2 = 257.3 \text{ kN/m}.$$

“Perde gömülü boyu”nun bulunmasında kullanılacak “reaksiyon kuvveti” (R), Şekil 7.5’deki basınç diyagramında en sonda bulunan basınç alanına eşittir;

$$R = 1,625 * 102,3 / 2 = 83.12 \text{ kN/m}.$$

(Bulunan bu yükler 1 m derinlik içindir).

Ankrajlar 15° derece açı ile çalışacağı için bulunan “ankraj yatay yükleri” bu eksene göre dönüştürülmelidir.

Her kademe için, ankrajlar arası yatay mesafe (S_h) olarak seçilen 2 metre uzunluk da hesaba katılarak “ankraj dizayn yükleri” (DY) hesaplanacak (Denklem 7.6).

$$DY_n = T_n * S_h / \cos 15 \quad (7.6)$$

Burada;

DY = ankraj dizayn yükü,

T_n = ankrajlara gelen yatay yükler.

Buna göre, dizayn yükleri;

$$DY_1 = 412.1 * 2 / \cos 15 = 853.1 \text{ kN},$$

$$DY_{2,3,4,5,6,7,8,9} = 258.6 * 2 / \cos 15 = 535.4 \text{ kN},$$

$$DY_{10} = 257.3 * 2 / \cos 15 = 532.1 \text{ kN}.$$

Kök boyunun bulunmasında maksimum dizayn yükü, ($DY_{\max}$), kullanılacaktır;

$$DY_{\max} = DY_1 = 853.1 \text{ kN}.$$

7.4.2. Ankraj serbest boylarının belirlenmesi

Ankraj serbest boyları (L_s) belirlenirken, kazı tabanından perde arkasına $45 + \emptyset'/2$ 'lık açı ile belirlenen kayma yüzeyi temel alınmıştır.

Serbest boylar “FHWA-IF-99-015 Ground Anchors and Anchored Systems” de belirtildiği gibi kayma yüzeyinin 2 metre ötesine kadar uzatılmıştır.

Ayrıca kaya ortamındaki tasarımlar için önerilen minimum serbest boy uzunluğu olan 4.5 metrelik mesafe son kademe ankrajları için dikkate alınmıştır.

7.4.3. Ankraj kök boylarının belirlenmesi

Ankraj noktalarındaki yüklerin, kök bölgesindeki direnç ile karşılanması gerekmektedir. Bu direnç, kök bölgesinin dış yüzeyi ile zemin/kaya arasındaki sürtünme direnci (δ) ile sağlanır.

Bu direnci sağlayacak kök boyu (L_k) bulunurken, ankraj yükleri belirli bir güvenlik sayısı ile çoğaltılır. Kaya ortamı için bu güvenlik sayısı (GS) 3'tür.

Çizelge 7.3'de çeşitli kaya ortamlarına ait ankraj kök bölgesi sürtünme dirençleri verilmiştir. Grovak (kumtaşı) için bu direnç değerleri, 830-1035 kPa olarak

belirtilmiş ve hesaplarda kullanılmak üzere bu değer aralığında bulunan 950 kPa seçilmiştir.

Çizelge 7.3 : Bazı kayaçlar için ankraj kök sürtünme dirençleri (NAVFAC, 1983).

Kayaç tipi (sağlam, bozulmamış)	Ankraj kökünde son kayaç-enjeksiyon gerilmesi ($\bar{\sigma}$) (kPa)
Granit ve Bazalt	1725-3100
Kireçtaşı	2070-2760
Dolomitik Kireçtaşı	1380-2070
Yumuşak Kireçtaşı	1035-1520
Kayrak ve sert Şeyl	830-1380
Yumuşak Şeyl	205-830
Kumtaşı	830-1035
Tebeşir	205-1035
Marn (sert, gevşek, fissürlü)	170-250

Hesaplar 10 ankraj kademesi için elde edilen maksimum dizayn yükü (DY_{max}) olan 853.1 kN için yapılacaktır.

Hesaplamalarda, ankraj kök çapı, (D), 150 mm. olarak seçilmiştir.

Ankraj kök bölgesindeki sürtünme direncinin üniform dağılımda olduğu kabulüne göre, ankraj kök boyu şu denkleme göre belirlenir;

$$DY_n * GS = \Pi \cdot D \cdot L_k \cdot T \quad (7.7)$$

Burada;

DY_n , olarak maksimum dizayn yükü (DY_{max}) alınmıştır,

GS, güvenlik sayısı (kaya için 3),

D, ankraj kök çapı (150 mm.),

L_k , ankraj kök uzunluğu (hesaplanacak değer),

T = 950 kPa (kumtaşı için seçildi), zemin/kaya-enjeksiyon yüzeyindeki sıyrılma direnci (Çizelge 7.3).

Buna göre;

$$L_{kök} = 853.1 * 3 / (\Pi * 950 * 0.15) = 5.7 \text{ m.}$$

$L_{kök} = 6 \text{ m.}$ kabul edilmiştir.

7.4.4. Ankraj tendon sayılarının belirlenmesi

Ankraj tendonu olarak, 0.6" (15.2 mm.) çapında “öngermeli sarmal ankraj halatları” seçilmiştir.

1 adet 0.6" lik öngermeli sarmal ankraj halatının özellikleri Çizelge 7.4’te verilmiştir.

Çizelge 7.4 : 0.6" lik öngermeli sarmal ankraj halatının özellikleri.

Tendon	Kesit Alanı	Kopma Kuvveti	Emniyetli Taşıma
Cinsi	(mm ²)	(kN)	Kapasitesi (kN) GS=1.6
Süper Tendon	140	260.7	163

Buna göre, maksimum dizayn yükü (DY_{max}) olan 853.1 kN için hesap yapılacak olursa;

Tendon sayısı = $853.1 / 163 = 5.2 = 6$ halatlı.

7.4.5. Ankraj kilit yükünün belirlenmesi

“FHWA-IF-99-015 Ground Anchors and Anchored Systems” de belirtilen “Alan yöntemi” ile ankraj dizayn yükleri hesaplandıktan sonra, bu yüklerin yaklaşık %75-100 arasındaki değerde ankrajlar kilitlenir.

Buna göre, maksimum dizayn yükü (DY_{max}) olan 853.1 kN’un %75’i ankraj kilit yükü (Y_{kilit}) olarak belirlenmiştir. Bu değer 640 kN’dur.

Plaxis 8.2’de yapılacak modellemeli analizlerde, bu yük (Y_{kilit}) ankraj öngerme yükü olarak her kademe için kullanılacaktır.

7.4.6. Perde gömülü boyunun belirlenmesi

Perde üzerinde oluşacak reaksiyon kuvveti (R), ankraj yükleri hesaplanırken 83.12 kN/m olarak belirlenmişti.

Bu kuvvet, perdenin gömülü boyu ($H_{göm}$) üzerine gelecek pasif toprak basıncı ile karşılanması gerekir. Bu şekilde, uygun “perde gömülü boyu” belirlenir.

Buna göre;

Pasif toprak basıncı katsayısı, K_p ,

$$K_p = \tan^2 (45 + \phi'/2) \quad (7.8)$$

$\phi' = 40^\circ$ (Çizelge 7.2'den),

$$K_p = \tan^2 (45 + 40/2) = 4.6.$$

Reaksiyon kuvveti, $R = 83.12$ kN/m, bu yük pasif itki ile karşılanmalı;

$$Pasif\ itki = (H_{göm}^2 * \gamma * K_p) / 2 \quad (7.9)$$

$$83.12 = (H_{göm}^2 * 25 * 4.6) / 2,$$

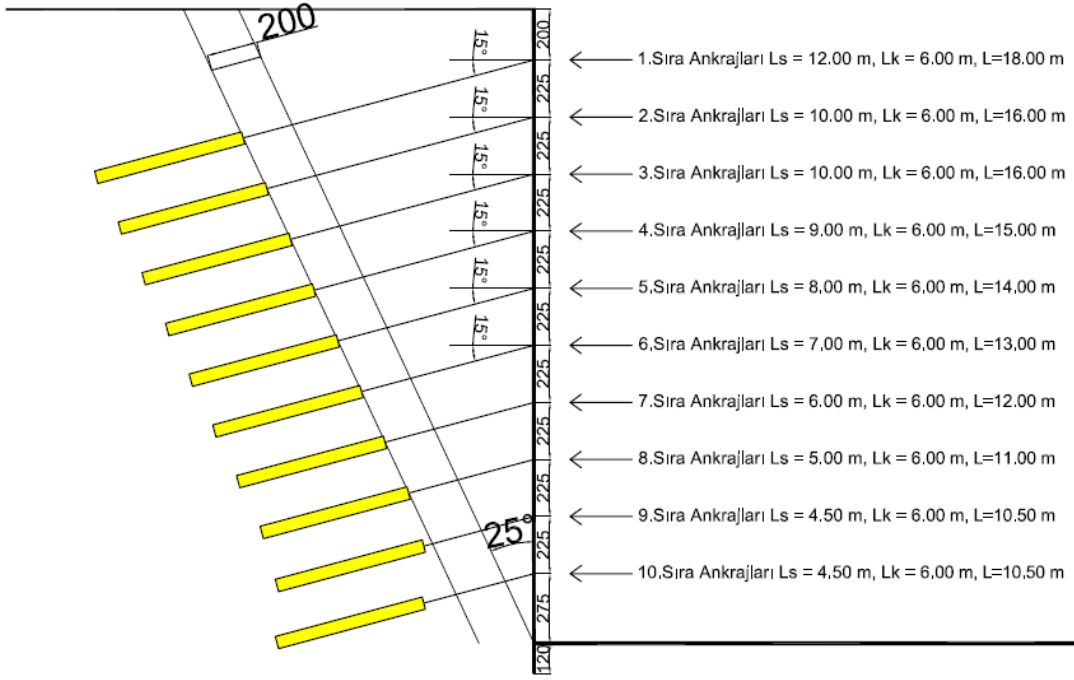
Buradan, $H_{göm} = 1.2$ metre hesaplanır.

7.4.7. Ankraj tasarımı hesap özeti

“Çok sıra ankrajlı” iksa için yapılan ankraj hesap sonuçları özet halinde Çizelge 7.5'te verilmiştir. Sonuçlara ait iksa kesidi Şekil-7.6'da verilmiştir. Şekil 7.6'de bulunan bütün elemanlar, boyutları korunarak Plaxis 8.2'de “çok sıra ankrajlı iksa”yı temsilen modellenmiştir (Model-1).

Çizelge 7.5 : Ankraj hesap sonuçları özeti.

Ankraj Kademe No	Ankraj Eğimi (°)	Serbest Boy, L_s (m)	Kök Boy, L_k (m)	Toplam Ankraj Boy, L (m)	0.6" lik Halat sayısı (adet)	Ankraj Dizayn Yükü, DY (kN)	Ankraj Kilit Yükü, Ykilit Ykilit = DY * 0.75 (kN)
1	15	12	6	18	6	853	640
2	15	10	6	16	6	853	640
3	15	10	6	16	6	853	640
4	15	9	6	15	6	853	640
5	15	8	6	14	6	853	640
6	15	7	6	13	6	853	640
7	15	6	6	12	6	853	640
8	15	5	6	11	6	853	640
9	15	4,5	6	10,5	6	853	640
10	15	4,5	6	10,5	6	853	640



Şekil 7.6 : Plaxis 8.2’de çok sıra ankrajlı iksayı temsil eden model / Model-1.

7.5. Plaxis Programında Tanımlanan Yapısal Elemanların Özellikleri

Plaxis 8.2 programında zemin haricinde tanımlanması gereken diğer unsurlar, kullanılacak yapısal elemanlardır. Çalışma kapsamında programda tanımlanan diğer elemanlar, iksa perdesi, ankraj kök bölgesi, ankraj serbest bölgesi, yarı-top-down kazıkları ve yarı-top-down döşemeleridir.

Çizelge 7.6’te modellerde kullanılan ve Plaxis 8.2’de tanımlanan yapısal elemanların özellikleri verilmiştir.

Çizelge 7.6’de belirtilen semboller;

d, kalınlık,

E, elastisite modülü,

EA, ağırlık modülü,

EI, rijitlik modülü,

ν , poisson oranı,

w, yapısal elemanın bir metresinin ağırlığıdır.

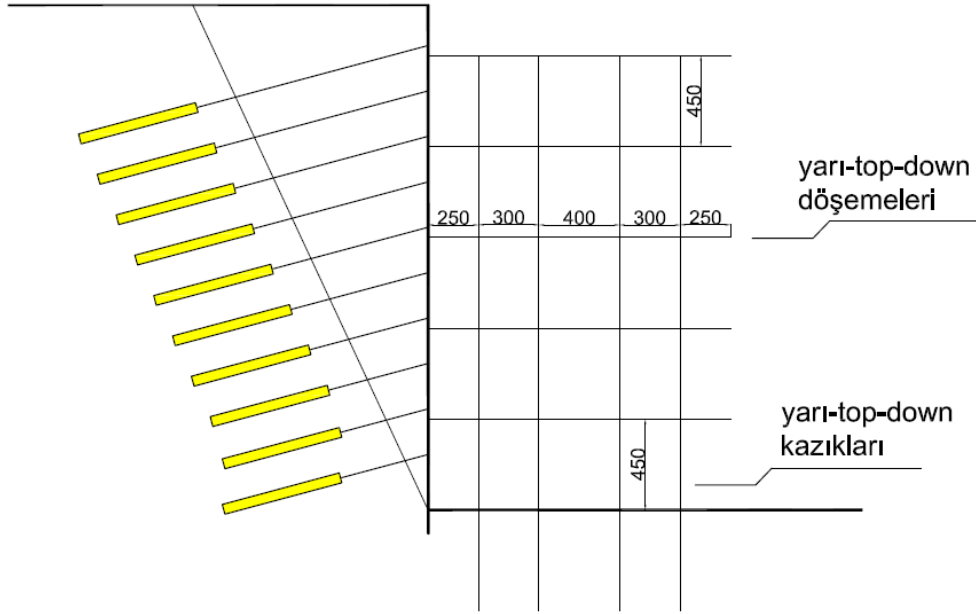
Çizelge 7.6 : Plaxis 8.2’de tanımlanan yapısal elemanların özellikleri.

Malzeme	d (m)	E (kPa)	EA (kN/m)	EI (kNm ² /m)	W (kN/m/m)	ν
İksa perdesi	0.40	30.000.000	12.000.000	160.000	10	0.15
Ankraj serbest bölgesi			200.000			
Ankraj kök bölgesi	0,15	20.000.000	175.000			
Yarı-top-down kazıkları	0.80	33.000.000	16 590 000	885 000	10	0.15
Yarı-top-down döşemesi	0.40	33.000.000	13.600.000	180.000	-	0.15

Modellemede kullanılacak “yarı-top-down kazıkları” 80 cm.’lik kazıklar olarak seçilmiştir. Kazıklar döşemede simetrik olarak konumlandırılmıştır. Bu şekilde hesaplara “eksantrisine” etkisi katılmamış oldu. “Yarı-top-down kazıkları” arasındaki mesafe hafriyat aracının geçişine müsade edecek şekilde 3 ve 4 metre olarak seçilmiştir. Ayrıca, kazıklar nihayi kazı kotundan itibaren 5 metre kayaya soketlenmiştir.

“Yarı-top-down döşemeleri” Plaxis’te tanımlanırken döşemenin kendi ağırlığı tanımlanmamıştır. Bunun yerine, döşemeler üzerine 10 kN/m² lik yayılı yük verilmiştir. Döşemeler arası mesafe standard kat yüksekliklerine uygun olarak 4.5 metre olarak seçilmiştir.

Şekil 7.7’de Plaxis 8.2’de “yarı-top-down inşaat yöntemi ile desteklenmiş çok sıra ankrajlı iksa”yı temsilen tanımlanmış modelin (Model-2) detay çizimi görülmektedir.



Şekil 7.7 : Yarı-top-down inşaat yöntemi ile desteklenmiş çok sıra ankrajlı iksaya ait kesit (Plaxis 8.2’de girişi yapılan diğer model / Model-2).

7.6. Yarı-top-down İnşaat Yönteminin Çok Sıra Ankrajlı İksaya Etkisi

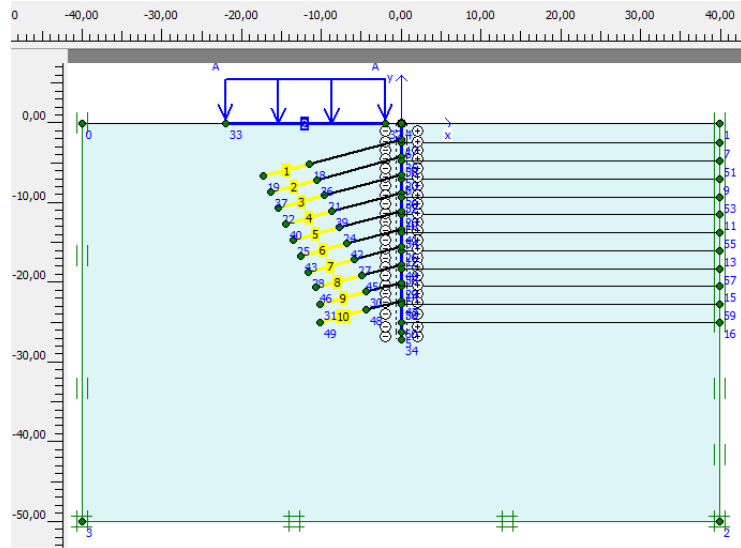
Bu kısımdan sonra, grovak kaya ortamında temsili olarak yapılan “çok sıra ankrajlı iksa” (Model-1) ile bu iksanın “yarı-top-down” inşaat yöntemi ile desteklendiği durum (Model-2) kıyaslanacaktır.

Önceki bölümlerde “alan yöntemi” ile hesaplanmış “çok sıra ankrajlı iksa”, boyutları ve yükleri Plaxis 8.2’e aktarılacaktır. Buna göre, Şekil 7.6 ve Şekil 7.7’deki kesitleri yansıtan iki model Plaxis 8.2’de üretilmiştir (Şekil 7.8).

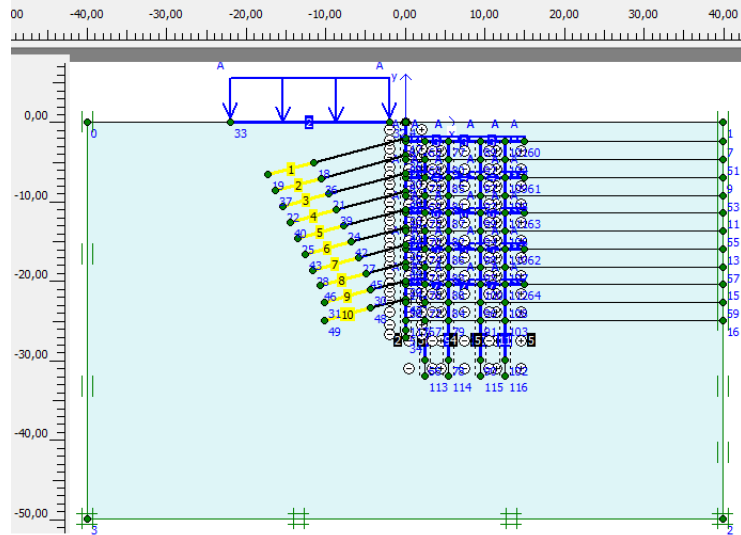
İki durum için yapılan modellemelerde, her kazı kademesi veya nihayi kazı kademesi için;

- Ortamda oluşan toplam deformasyonlar,
- Perdede oluşacak yatay deplasmanlar,
- Perdede oluşacak düşey deplasmanlar,
- Perde üzerine gelen eğilme momentleri,
- Perde üzerine gelen kesme kuvvetleri,
- Ortamda oluşan plastik noktalardaki değişim,
- Ankraj kök bölgelerinde oluşan aksenal gerilmeler,
- Genel kayma tahkiki güvenlik sayıları,

kıyaslanacaktır.



a) Model-1



b) Model-2

Şekil 7.8 : İki durum için Plaxis 8.2’de yapılan modellemeler.

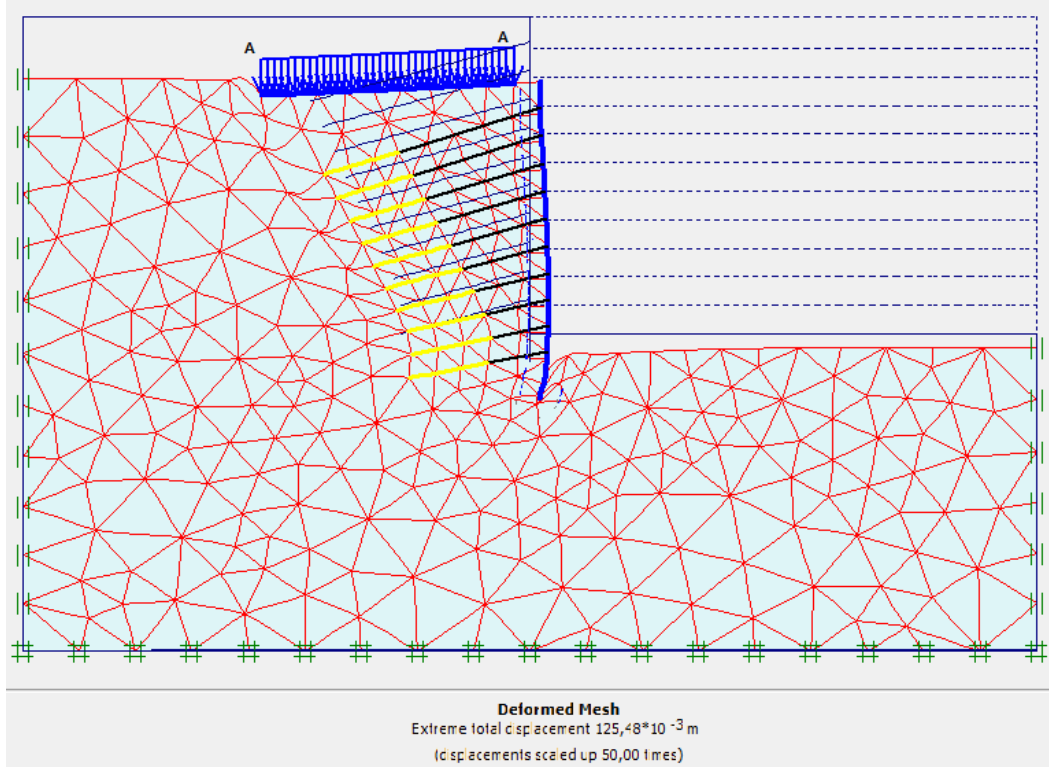
7.6.1. Ortamda oluşan deformasyonların kıyaslanması

İki durum için Plaxis 8.2’de yapılan çözüm sonucunda ortamı yansıtan deformasyon ağı Şekil 7.9’da verilmiştir.

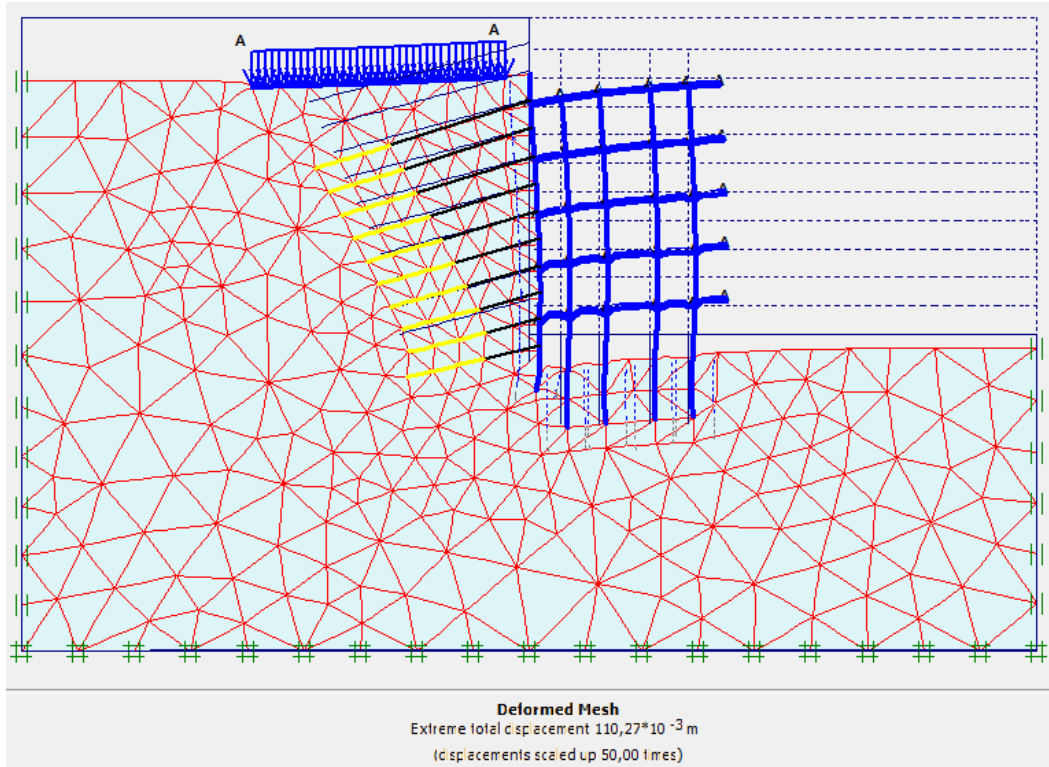
Toplam deformasyonlar, zeminin düşey ve yatay yönde yaptığı deformasyonların bileşkesini yansıtmaktadır. Şekil 7.10’da her iki durum için oluşan “toplam deformasyon” çıktıları görülmektedir.

Toplam deformasyon bakımından, “çok sıra ankrajlı iksa” için elde edilen 125.48 mm.’lik değer, iksanın “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile desteklenmesi ile 110.27 mm.’ye gerilemiştir.

Toplam deformasyon bakımından “yarı-top-down inşaat yöntemi” kazı ortamında pozitif etki yarattığı görülmektedir.

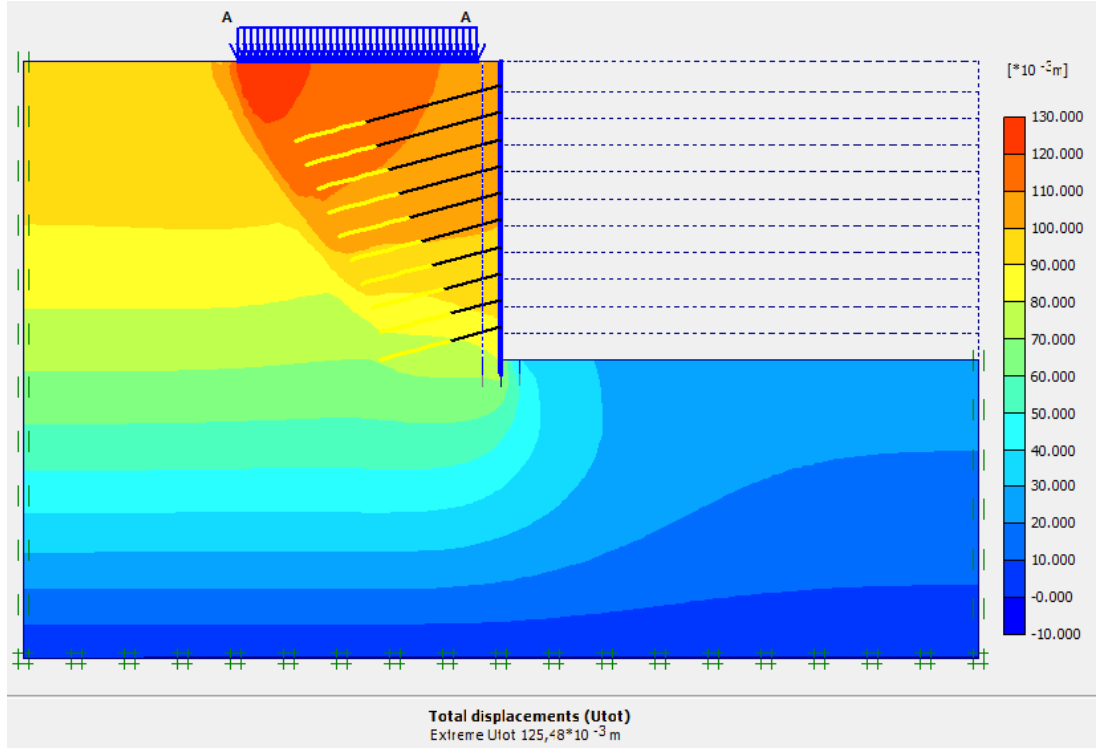


a) Model-1

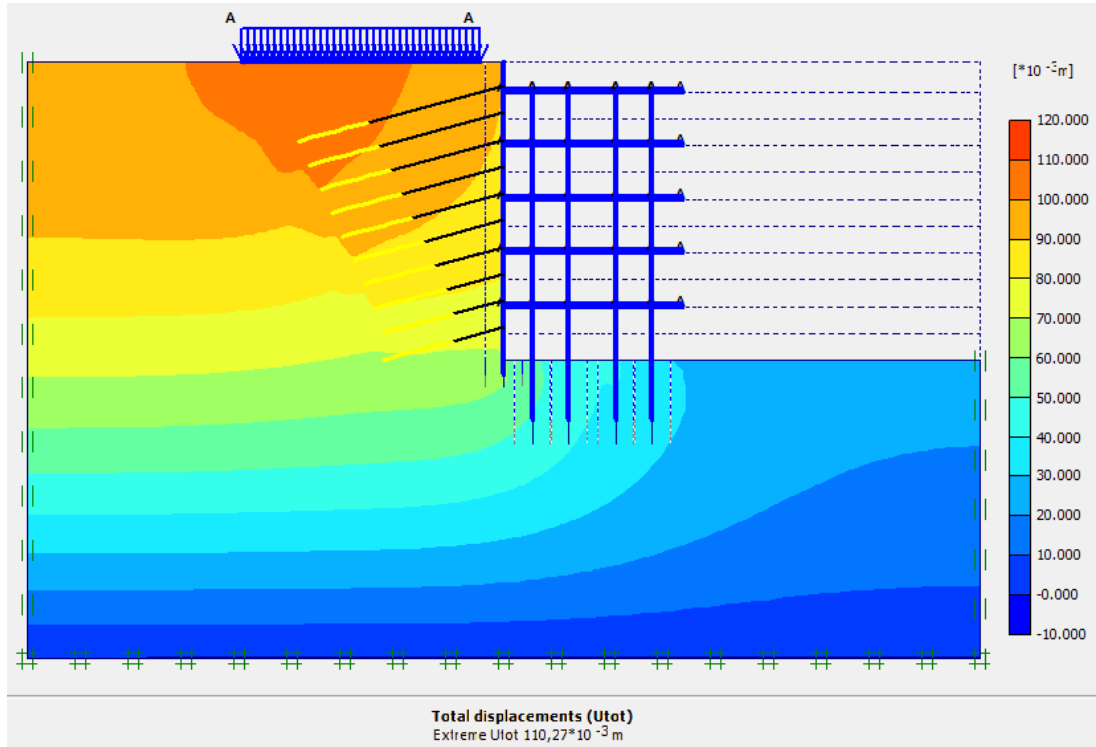


b) Model-2

Şekil 7.9 : İki durum için oluşan deformasyon ağı.



a) Model-1



b) Model-2

Şekil 7.10 : İki durum için oluşan toplam deformasyonlar.

7.6.2. Perdede oluşan yatay hareketlerin kıyaslanması

Bu çalışmada, iksa perdesinin izin verilen sınırlar içinde yatay deplasman yapıyor olması dikkate alınmıştır. Bu sınır şartlarını belirten, çeşitli kaynaklara göre değerler Çizelge 7.7’de verilmiştir. Buna göre 25 metrelik bir perde için izin verilen maksimum yatay deplasman miktarı FHWA-IF-99-015’e göre;

$0.005 \times 25000 = 125 \text{ mm.}$ ’dir.

Çizelge 7.7 : İksa perdesinde izin verilebilir yanal deplasman miktarı.

Zemin Tipi	İksa Perdesi Yüksekliği H (m)	δ/H , (δ =Perdede izin verilen maksimum yanal deplasman miktarı)	Referans
Siltli kil	13,7	0,0011	Mansur ve Alizadeh, (1974)
Sıkı kum, Aşırı konsolide kil	24	0,0030	Shannon ve Strazer, (1970)
Aşırı konsolide kil	20	0,0015	Clough ve diğ., (1975)
Dolgu	17	0,0009	Liu ve Dugan (1972)
Sıkı kum	15	0,0016	Larson ve diğ., (1972)
Kum - Silt	11	0,0040	Rizzo ve diğ., (1972)
Sıkı kum, Katı kil	-	0,002 - 0,005	FHWA-IF-99- 015, (1999)

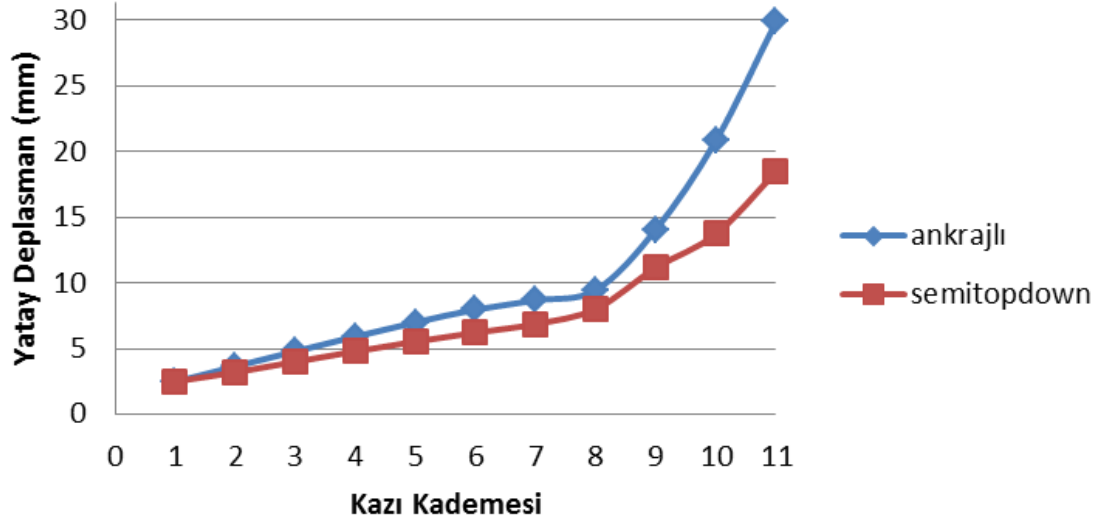
İki model için, her kademe kazısı sonucunda perdede oluşan yatay deplasmanlar Çizelge 7.8’de verilmiştir.

Perde yatay hareketleri kıyaslandığında bütün kazı kademelerinde, “yarı-top-down inşaat yöntemi” pozitif etki oluşturmuştur. Ortalama olarak perde yatay hareketindeki iyileşme % 19.81’dir.

Şekil-7.11’de, iki model için her kazı kademesinde perdede oluşan yatay hareketler grafik olarak çizilmiştir. Perde yatay hareketindeki iyileşme bu grafikte daha açık görülmektedir. Özellikle 8. kazı kademesinden sonraki iyileşme dikkat çekmektedir.

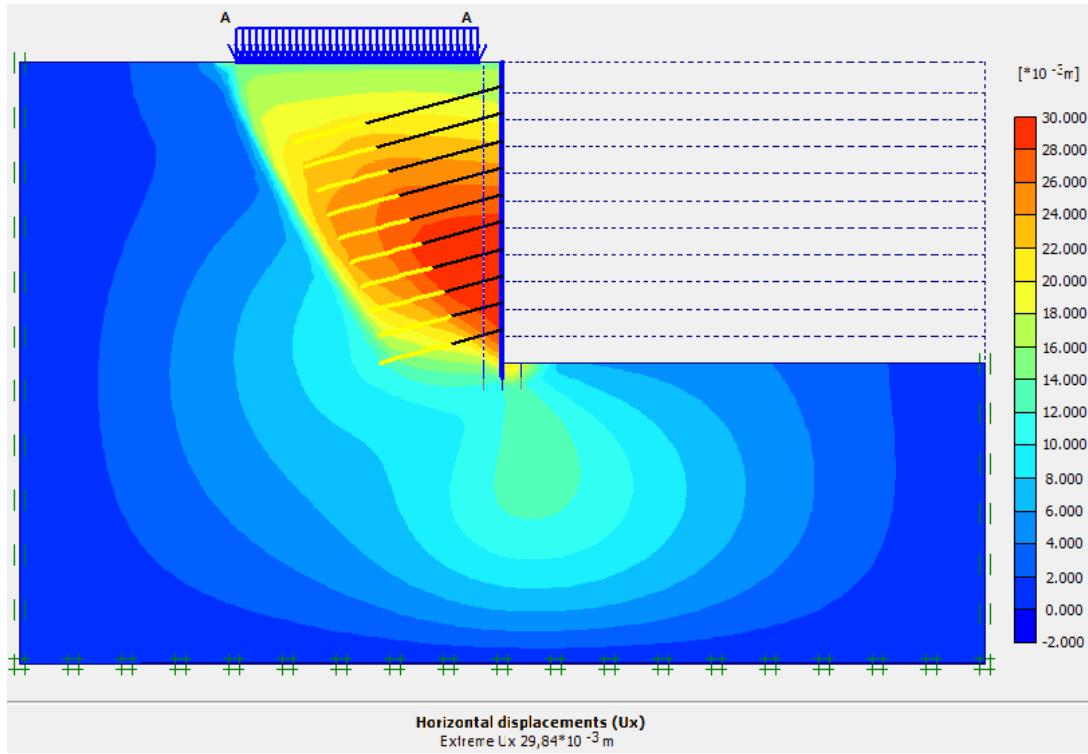
Çizelge 7.8 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde oluşan perde yatay hareketi.

kazı kademesi	perde yatay deplasmanı (mm)		Değişim oranı (%)
	Model-1	Model-2	
1	2,48	2,52	-1,61
2	3,66	3,21	12,30
3	4,81	4,01	16,63
4	5,93	4,80	19,06
5	7,01	5,55	20,83
6	7,98	6,23	21,93
7	8,68	6,88	20,74
8	9,46	8,03	15,12
9	14,06	11,16	20,63
10	20,83	13,73	34,09
Nihayi	29,85	18,45	38,19
		ortalama	19,81

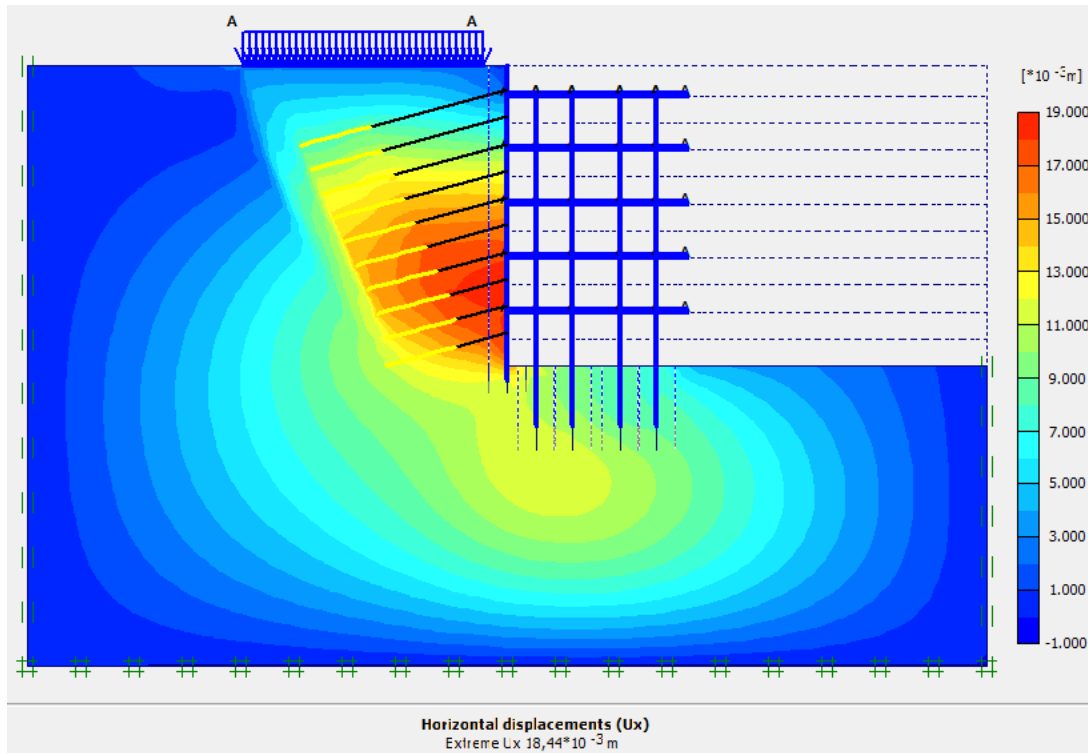


Şekil 7.11 : Model-1 ve Model-2’de kazı kademelerinde oluşan perde yatay hareketi.

İki model için nihayi kazı kademelerinde, ortamda oluşan yatay deplasman hareketleri Şekil 7.12’de verilmiştir.



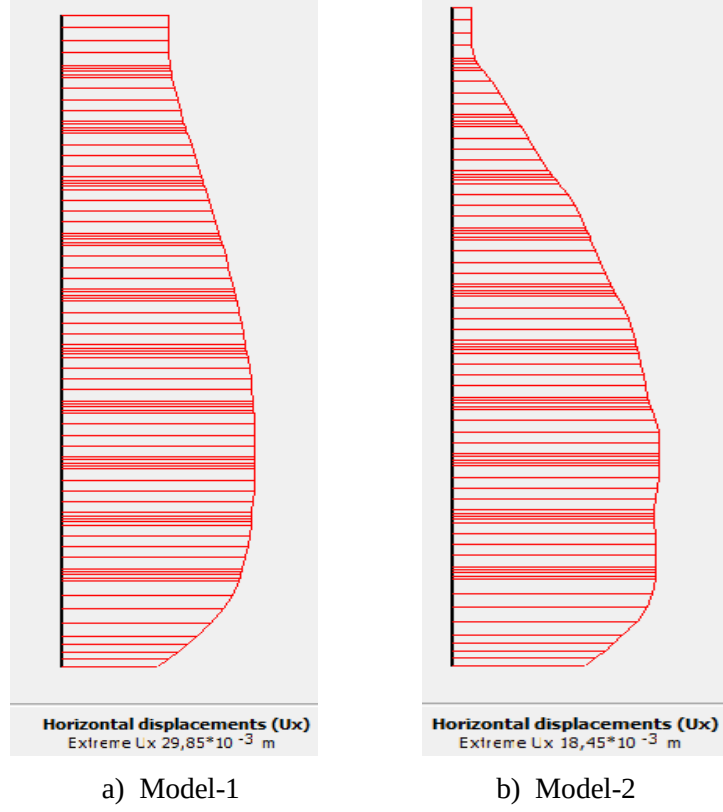
a) Model-1



b) Model-2

Şekil 7.12 : İki model için ortamda oluşan yatay deplasmanlar.

İki model için nihayi kazı kademelerinde iksa perdesinde oluşan yatay deplasman hareketleri ve perde deformasyon formu Şekil 7.13’de verilmiştir.



Şekil 7.13 : İki modelde nihayi kazı kotunda perdede oluşan yatay deplasmanlar.

7.6.3. Perdede oluşan düşey hareketlerin kıyaslanması

Bu çalışmada, kazı sırasında ortamda oluşacak düşey deplasman miktarının izin verilen sınırlar içinde olması da dikkate alınmıştır. Bu sınır şartlarını belirten, çeşitli kaynaklara göre değerler Çizelge 7.9’da verilmiştir. Buna göre 25 metrelik bir kazı için izin verilen maksimum düşey deplasman miktarı FHWA-IF-99-015’e göre; $0.005 \cdot 25000 = 125 \text{ mm.}$ ’dir.

İki model sonucunda, her kademe kazısı sonucunda perdede oluşan düşey deplasmanlar Çizelge 7.10’da verilmiştir.

Perde düşey hareketleri irdelendiğinde, ilk 7 kazı kademesi sonunda “yarı-top-down inşaat yöntemi” iksa perdesindeki düşey deplasmanları arttırmaktadır. Fakat, 7. kazı kademesinden sonra düşey deplasmanlarda Model-1’e göre azalma gözlenmektedir.

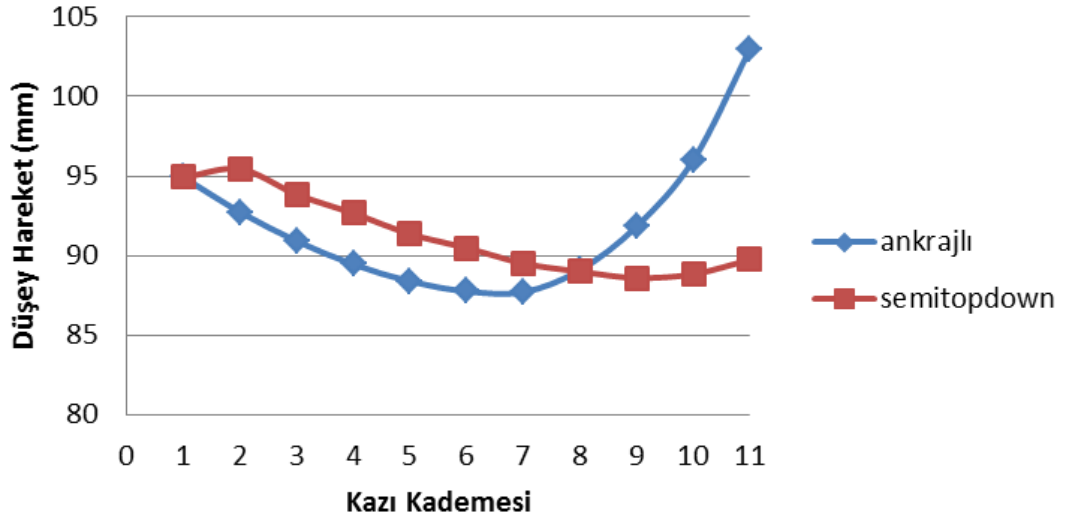
Şekil 7.14’de, iki model için her kazı kademesinde perdede oluşan düşey deplasmanlar grafik olarak çizilmiştir. İki model kıyaslandığında, perde düşey hareketinde ilk 7 kazı kademesindeki kötüleşme ve daha sonraki kademelerdeki iyileşme bu grafikte daha açık görülmektedir.

Çizelge 7.9 : Kazı ortamında izin verilebilir maksimum düşey deplasman miktarı.

Zemin Tipi	İksa Perdesi Yüksektiği, H (m)	S/H, (S=Perde veya arkasındaki oturma miktarı)	Referans
Siltli kil	13,7	0,002	Mansur ve Alizadeh, (1974)
Sıkı kum, Aşırı konsolide kil	24	0,003	Shannon ve Strazer, (1970)
Aşırı konsolide kil	20	0,001	Clough ve diğ., (1975)
Dolgu	17	0,0009	Liu ve Dugan (1972)
Sıkı kum, Aşırı konsolide kil	15	0,0016	Larson ve diğ., (1972)
Sıkı kum, Katı kil	-	0,0015 - 0,005	FHWA-IF-99- 015, (1999)

Çizelge 7.10 : Model-1 ve Model-2’de her kazı kademesinde oluşan perde düşey deplasman miktarı.

kazı kademesi	perde düşey deplasmanı (mm)		Değişim oranı (%)
	Model-1	Model-2	
1	94,92	94,92	0,00
2	92,73	95,43	-2,91
3	90,91	93,84	-3,22
4	89,46	92,66	-3,58
5	88,39	91,36	-3,36
6	87,77	90,49	-3,10
7	87,72	89,52	-2,05
8	89,11	89,01	0,11
9	91,85	88,61	3,53
10	96,01	88,85	7,46
Nihayi	102,97	89,75	12,84
	ortalama		0,52



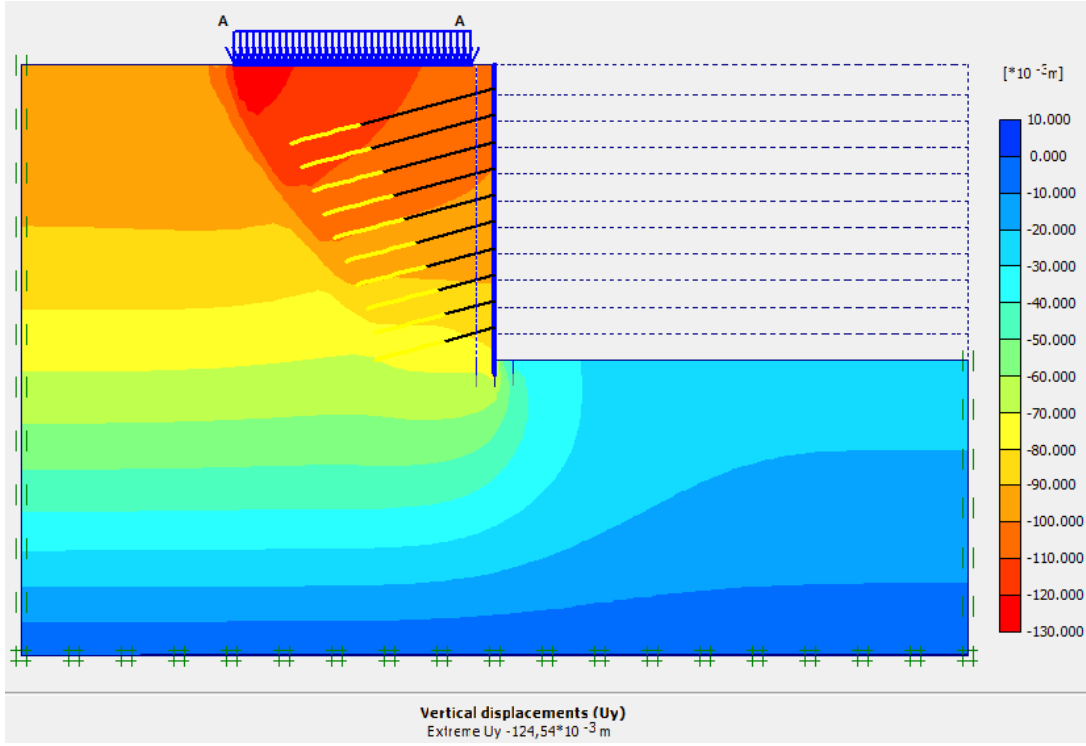
Şekil 7.14 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde oluşan perde düşey deplasman miktarı.

İki model için nihayi kazı kademesinde iksa perdesinde oluşan düşey deplasman hareketleri Şekil 7.15’de verilmiştir.

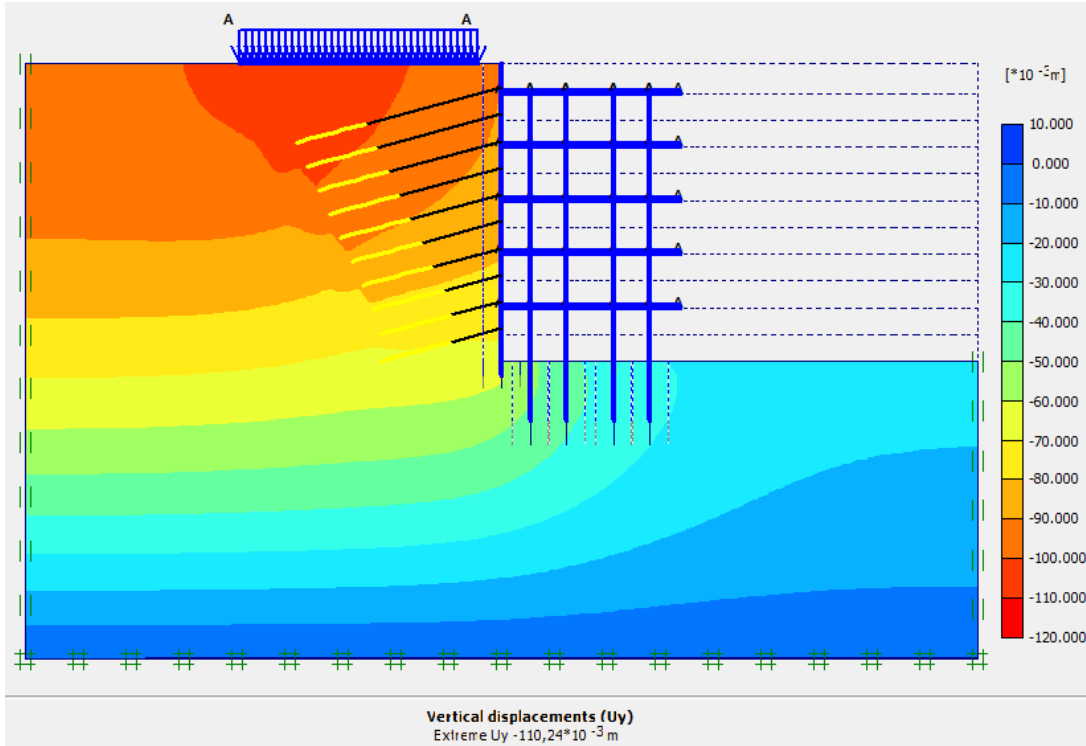
İki model için nihayi kazı kademesinde ortamda oluşan düşey deplasman miktarları Şekil 7.16’da verilmiştir.



Şekil 7.15 : İki modelde nihayi kazı kotunda perdede oluşan düşey deplasmanlar.



a) Model-1



b) Model-2

Şekil 7.16 : İki model için ortamda oluşan düşey deplasmanlar.

7.6.4. Perdede oluşan momentin ve kesme kuvvetlerinin kıyaslanması

İki model kıyaslandığında, “çok sıra ankrajlı” iksa perdesinin “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile desteklendiği durumda, perde üzerine gelen moment ve kesme kuvvetleri artmaktadır.

İki modelde, her kazı kademesi sonucunda perdede oluşan moment değerleri Çizelge 7.11’de, kesme kuvveti değerleri ise Çizelge 7.12’de verilmiştir.

Buna göre, temsili olarak hazırlanmış 25 metrelik bir kazıda, “yarı-top-down inşaat yöntemi” perde üzerine gelen momenti ortalama olarak % 59,25 oranında arttırmaktadır. Benzer şekilde perde üzerine gelen kesme kuvvetleri ise % 42,95 oranında artmaktadır.

Bu veriler; “yarı-top-down inşaat yöntemi”nin, perdenin moment ve kesme kuvveti taşınması yönünden negatif etki oluşturduğunu göstermektedir.

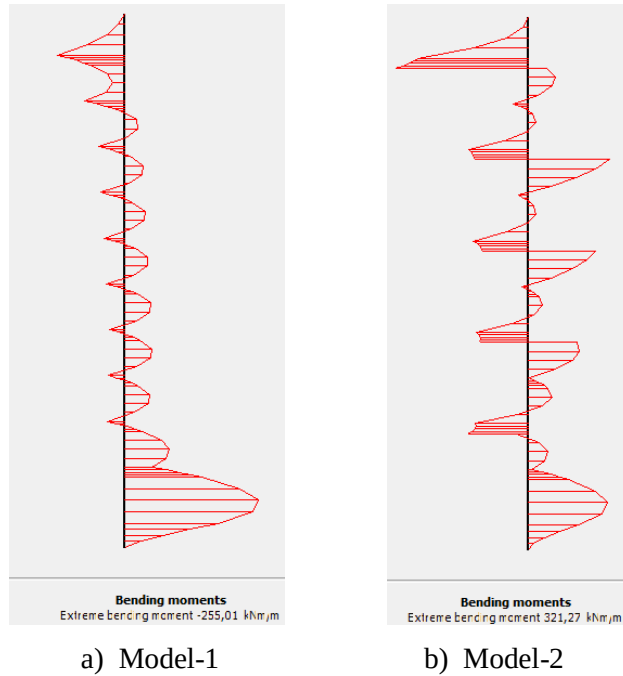
Çizelge 7.11 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde perdede oluşan moment değerleri.

kazı kademesi	perdeye gelen moment (kN.m/m)		Değişim oranı (%)
	Model-1	Model-2	
1	44,63	39,44	11,63
2	112,94	123,22	-9,10
3	111,32	142,89	-28,36
4	108,46	159,12	-46,71
5	108,67	174,18	-60,28
6	109,63	188,65	-72,08
7	110,71	209,33	-89,08
8	113,2	234,5	-107,16
9	118,97	259,49	-118,11
10	140,85	290,94	-106,56
Nihayi	255,01	321,27	-25,98
	ortalama		-59,25

Çizelge 7.12 : Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesinde perdeye etkiyen kesme kuvvetleri.

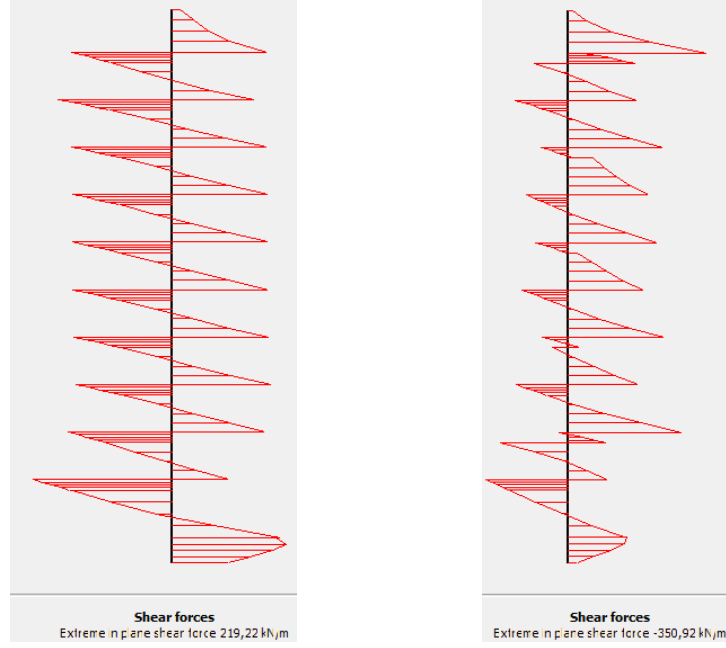
kazı kademesi	perdeye gelen kesme kuvveti (kN/m)		Değişim oranı (%)
	Model-1	Model-2	
1	53,49	56,72	-6,04
2	159,84	174,31	-9,05
3	181,76	200,25	-10,17
4	171,3	219,49	-28,13
5	173,06	237,39	-37,17
6	173,89	253,94	-46,03
7	174,14	269,5	-54,76
8	174,76	287,71	-64,63
9	176,6	305,92	-73,23
10	179,93	329,55	-83,15
Nihayi	219,22	350,92	-60,08
	ortalama		-42,95

İki model için nihayi kazı kademelerinde iksa perdesinde oluşan moment Şekil 7.17’de verilmiştir.



Şekil 7.17 : İki modelde nihayi kazı kademesinde perdede oluşan moment değeri.

İki model için nihayi kazı kademesinde iksa perdesinde oluşan kesme kuvveti Şekil-7.18’de verilmiştir.



a) Model-1

b) Model-2

Şekil 7.18 : İki modelde nihayi kazı kademesinde perdede oluşan kesme kuvvetleri.

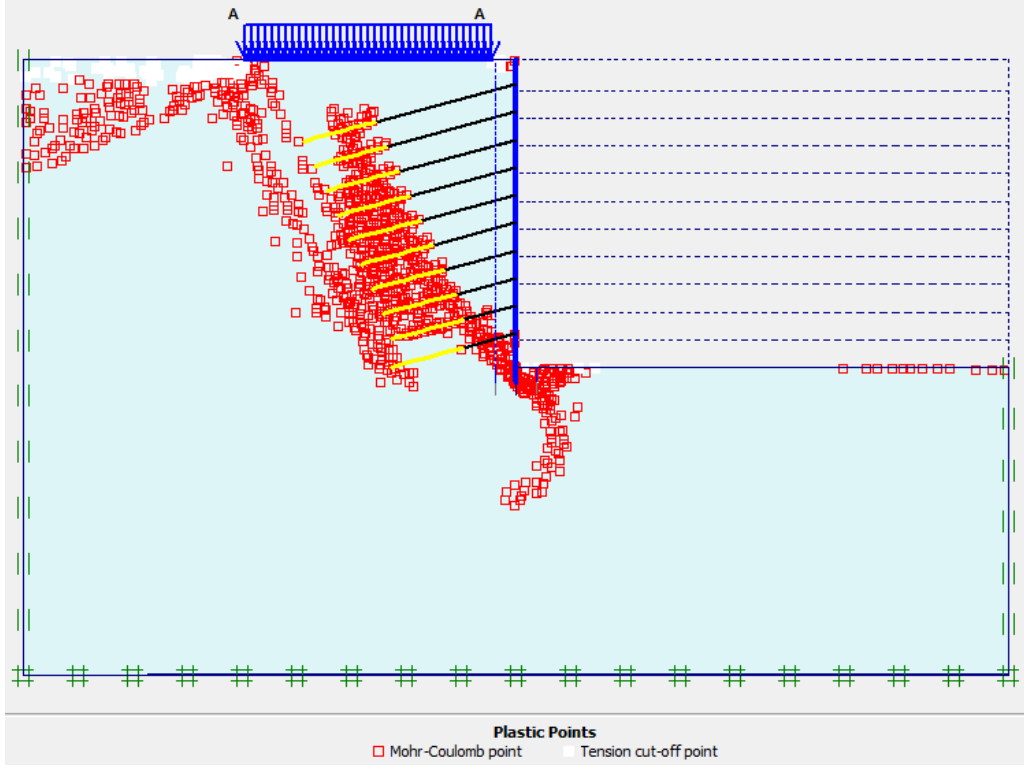
7.6.5. Ortamda oluşan plastik noktaların kıyaslanması

Plaxis 8.2 programında, Mohr-Coulomb göçme mekanizmasında tanımlanan elastik sınırın üzerinde yer alan noktalar plastik Mohr-Coulomb noktası olarak tanımlanır. Bu noktalar, ortamdaki kritik noktalar olup deplasmanların en fazla görüldüğü yerlerdir.

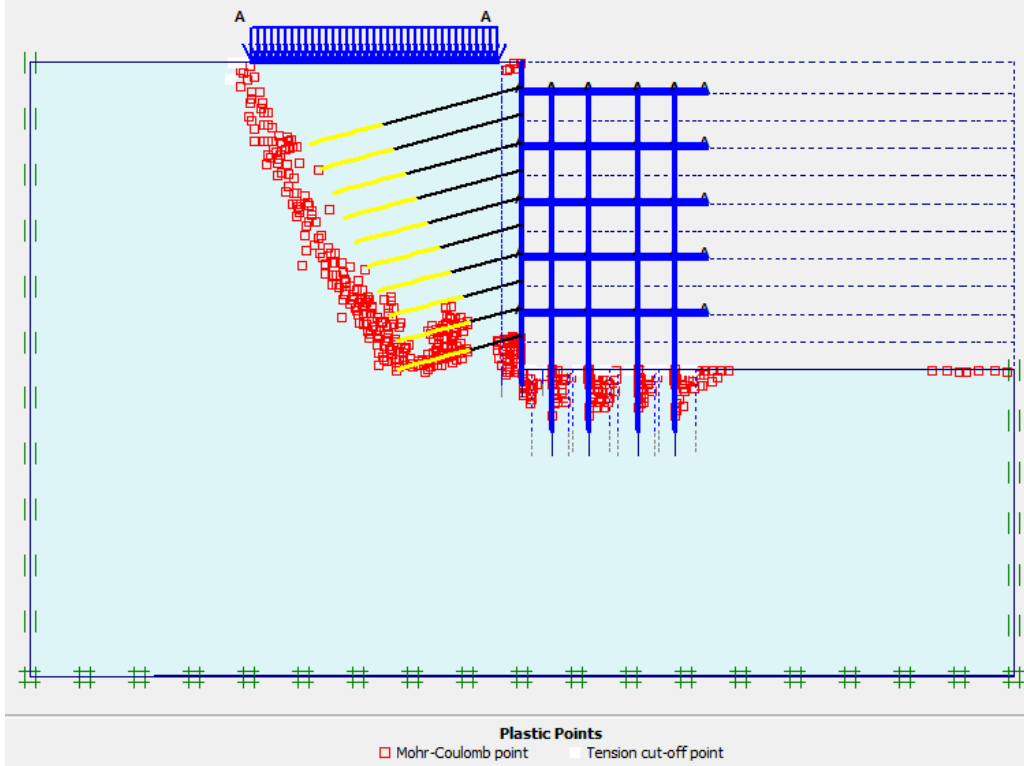
Model-1 olarak isimlendirilmiş “çok sıra ankrajlı iksada” plastik noktaların, iksa arkasında bulunan Rankine kayma yüzeyinde ve ankraj kök bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil-7.19a). Bu gösterge, ankraj kök bölgelerinin doğru konumda projelendirildiğine ve ankraj kök bölgelerinde gerilme varlığına işaret etmektedir.

Model-2 olarak isimlendirilmiş, ve “çok sıra ankrajlı iksa”nın “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile desteklendiği modelde, Rankine yüzeyindeki plastik noktaların ortadan kalktığı görülmektedir (Şekil-7.19b). Bu olay, Rankine kayma yüzeyindeki gerilme ve deformasyonların “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile azaldığını belirtir. Ayrıca, ankraj kök bölgesinde bulunan plastik noktaların da ortadan kalktığı görülmektedir (Şekil-7.19b). Bu ise, ankraj kök bölgesindeki gerilmelerin “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile azaldığı anlamına gelmektedir. Bütün bunlara karşın, “yarı-top-down

kazıkları” soket kısmında yeni oluşan plastik noktalar, ortamdaki gerilmenin kazıklara kaydığını belirtmektedir.



a) Model-1



b) Model-2

Şekil 7.19 : İki modelde son kazı kademesi için ortamda oluşan plastik noktalar.

7.6.6. Ankraj kök bölgelerinde oluşan aksenal gerilmelerin kıyaslanması

Model-1 ve Model-2 için her kazı kademesi sonunda ankraj kök bölgelerinde oluşan aksenal kuvvetler kayıt altına alınmıştır. Model-1 için elde edilen veriler Çizelge 7.13’de, Model-2 için elde edilen veriler Çizelge 7.14’de verilmiştir.

Çizelge 7.13 : Model-1 için her kademedeki ankraj köklerinde oluşan aksenal kuvvet.

kazı kademeleri	Ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal kuvvet (kN/m)									
	1. sıra ankrajı	2. sıra ankrajı	3. sıra ankrajı	4. sıra ankrajı	5. sıra ankrajı	6. sıra ankrajı	7. sıra ankrajı	8. sıra ankrajı	9. sıra ankrajı	10. sıra ankrajı
1										
2	156,28									
3	155,00	170,16								
4	154,48	169,80	171,10							
5	154,84	170,11	171,45	161,21						
6	155,68	170,97	173,01	163,95	174,41					
7	156,22	171,71	174,42	166,79	179,29	177,82				
8	156,83	172,52	175,46	168,52	183,43	186,78	175,89			
9	157,09	173,50	176,69	169,81	184,73	190,34	186,56	195,96		
10	158,91	175,50	179,01	173,24	188,84	194,23	192,41	208,60	202,77	
Nihayi	159,92	176,93	181,23	177,71	193,48	199,99	203,85	241,81	288,33	214,71

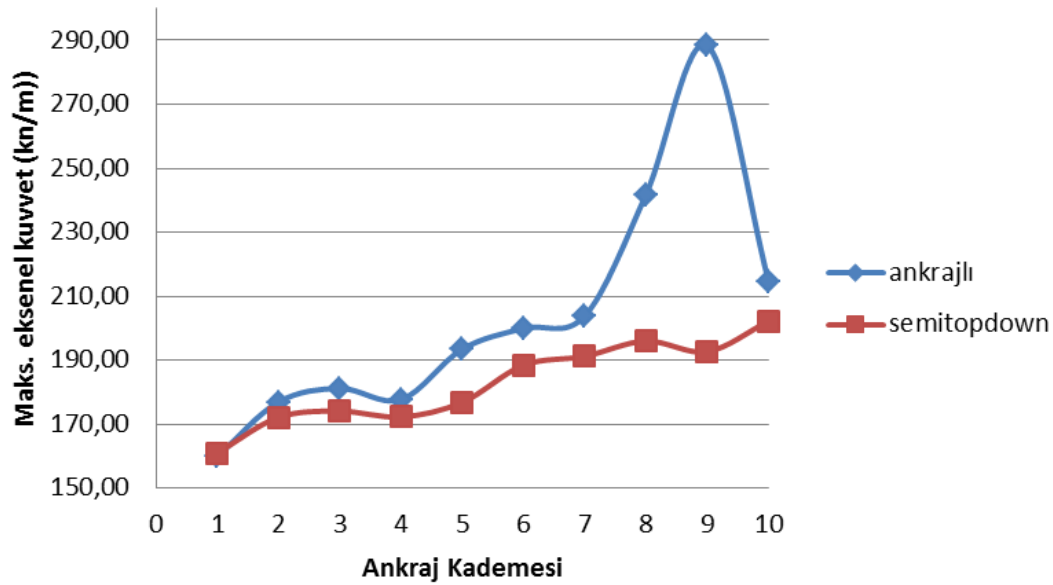
Çizelge 7.14 : Model-2 için her kademedeki ankraj köklerinde oluşan aksenal kuvvet.

kazı kademeleri	Ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal kuvvet (kN/m)									
	1. sıra ankrajı	2. sıra ankrajı	3. sıra ankrajı	4. sıra ankrajı	5. sıra ankrajı	6. sıra ankrajı	7. sıra ankrajı	8. sıra ankrajı	9. sıra ankrajı	10. sıra ankrajı
1										
2	160,70									
3	160,17	169,83								
4	159,25	169,17	170,24							
5	159,32	169,25	170,54	163,47						
6	159,67	169,49	170,96	164,13	163,44					
7	160,28	169,98	172,24	166,61	167,84	176,55				
8	160,79	170,58	172,80	167,98	170,56	180,74	177,95			
9	161,02	171,83	173,60	168,89	171,45	183,50	186,62	188,18		
10	160,84	172,15	174,12	171,39	174,36	186,09	188,53	191,62	181,73	
Nihayi	160,40	171,47	173,65	172,28	176,84	188,47	191,26	196,02	192,71	202,25

İki model için, her ankraj kademesinde kazı boyunca oluşacak maksimum aksenal ankraj kök kuvvetleri Çizelge 7.13 ve Çizelge 7.14’den çekilmiş ve bu kuvvetler kıyaslanmıştır (Çizelge 7.15). Çizelge 7.15’deki veriler Şekil 7.20’de grafik olarak çizilmiştir.

Çizelge 7.15 : Her iki model için ankraj köklerinde oluşan maks. eksenel kuvvetler.

ankraj kademesi	maksimum ankraj kökü eksenel kuvveti (kN/m)		Değişim oranı (%)	Yük Değişimi (kN/m)
	Model-1	Model-2		
1	159,92	161,02	-0,69	-1,10
2	176,93	172,15	2,70	4,78
3	181,23	174,12	3,92	7,11
4	177,71	172,28	3,06	5,43
5	193,48	176,84	8,60	16,64
6	199,99	188,47	5,76	11,52
7	203,85	191,26	6,18	12,59
8	241,81	196,02	18,94	45,79
9	288,33	192,71	33,16	95,62
10	214,71	202,25	5,80	12,46
	ortalama		8,74	toplam 210,84



Şekil 7.20 : İki model için ankraj köklerinde oluşan maks. eksenel kuvvetler.

“Yarı-top-down inşaat yöntemi” etkisindeki “çok sıra ankrajlı” iksalarda, her bir ankraj kademesinde ortalama % 8,74’lük bir ankraj yükü kazancı oluşmaktadır (Çizelge 7.15). 25 metrelik bir temel kazısı için toplam yük kazancının 210,84 kN/m olduğu Çizelge 7.15’de belirtilmiştir. Bu değer aşağı-yukarı 1 kademe ankraja tekabül ettiği açıktır.

Şekil 7.20’de “yarı-top-down inşaat yöntemi”nin pozitif etkisinin özellikle son kademelerde arttığı da görülmektedir.

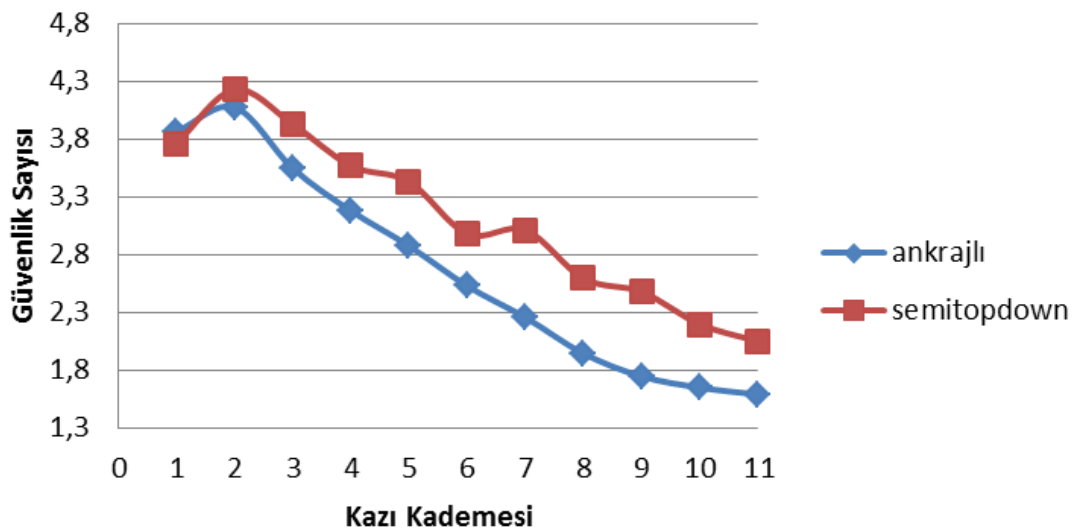
7.6.7. Genel kayma tahkiki güvenlik sayılarının kıyaslanması

Plaxis 8.2’de “Phi/c reduction” çözüm yöntemi ile toptan kayma tahkiki yapılmaktadır. Bu araç kullanılarak, iki modelin her bir kazı kademesine ait toptan kayma tahkikleri yapılmıştır.

Elde edilen veriler Çizelge 7.16’da verilmiştir. Çizelge 7.16’da verilen veriler Şekil 7.21’de grafik olarak çizilmiştir.

Çizelge 7.16 : İki modelin her kazı kademesine ait toptan kayma güvenlik sayıları.

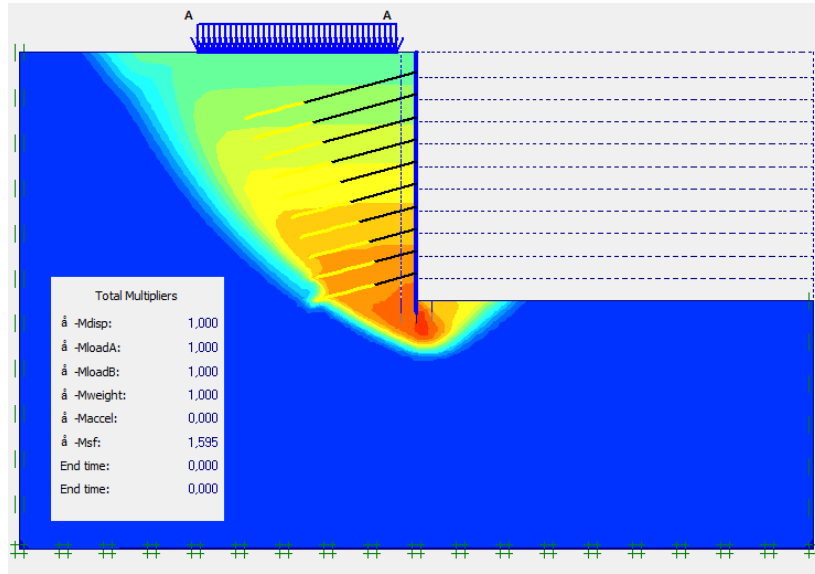
kazı kademesi	genel kayma tahkiki güvenlik sayıları		Değişim oranı (%)
	Model-1	Model-2	
1	3,869	3,767	2,64
2	4,081	4,234	-3,75
3	3,553	3,936	-10,78
4	3,185	3,574	-12,21
5	2,88	3,436	-19,31
6	2,534	2,984	-17,76
7	2,261	3,018	-33,48
8	1,948	2,599	-33,42
9	1,751	2,482	-41,75
10	1,653	2,202	-33,21
Nihayi	1,595	2,054	-28,78
ortalama			-21,07



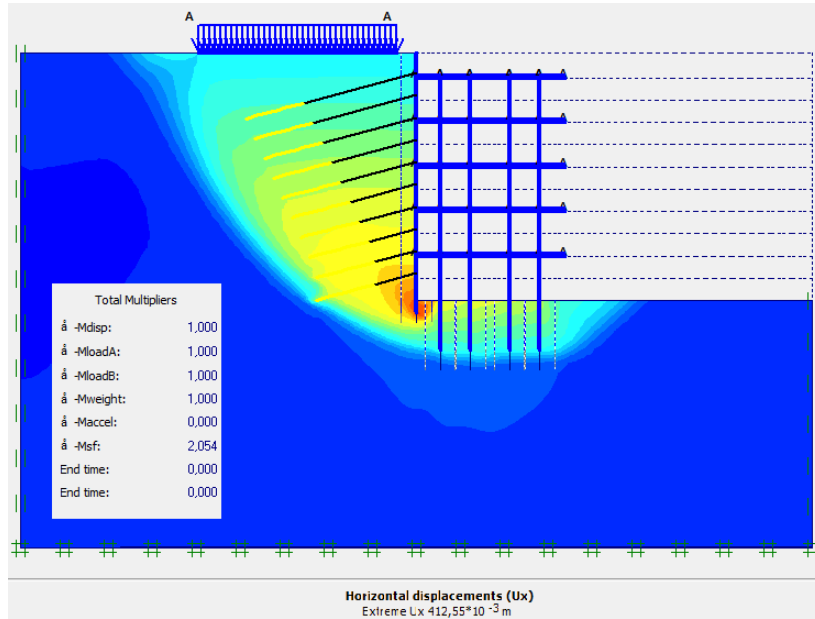
Şekil 7.21 : İki modelin kazı kademelerine ait toptan kayma güvenlik sayıları.

Çizelge 7.16’da belirtildiği gibi, “yarı-top-down inşaat yöntemi”, “çok sıra ankrajlı” iksalar üzerinde toptan göçme stabilitesi bakımından pozitif etki yapmaktadır. 25 metrelik bir temel kazısında, “yarı-top-down inşaat yöntemi” toptan kayma stabilitesini ortalama olarak %21,07 oranında arttırmaktadır. Bu veri, hassas komşu yapılar yanında yapılacak derin temel kazılarında “yarı-top-down inşaat yöntemi”nin tercih sebebi olması için önemli bir husustur.

Şekil 7.22’de iki modelin son kazı kademesine ait “Phi/c reduction” çözümle elde edilmiş toptan kayma güvenlik sayıları verilmiştir.



a) Model-1



b) Model-2

Şekil 7.22 : İki durumun son kazı kademesi için toptan kayma tahkiki.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

► Kazı sahasının belirli bölgelerinde yapılan top-down inşaat yöntemine “yarı-top-down” inşaatı denir. Top-down inşaat yönteminden farklı olarak, yarı-top-down yönteminde döşemenin iksa perdesine destek olmadığı kesitler mevcuttur. Bu kesitlerde, iksa perdesi üzerine gelen yanal toprak basıncı, destek elemanları ile karşılanır.

► “Yarı-top-down” inşaat yönteminde kullanılan elemanlar, “top-down” inşaat yönteminde kullanılan elemanlarla benzerlik gösterir, ek olarak yanal destek elemanları kullanılır. Bu yöntemde kullanılan elemanlar; İksa perdesi, yarı-top-down kazıkları, yarı-top-down döşemesi ve kirişleri, yanal toprak basıncına karşı yatay destek elemanları (ankraj, boru destek).

► “Yarı-top-down” yöntemi ile yapılan inşaatlarda, “top-down” inşaat yönteminde olduğu gibi, 1-2 bodrum kat döşemesi imal edildikten sonra üst yapı inşaatına da izin verilebilmektedir. Bu bakımdan, klasik kazı tekniklerine göre avantajlı bir yöntemdir.

► Kazı sahası çevresinde, iksa hareketine karşı hassas komşu yapılar var ise mevcut iksa sistemine ek önlemler alınmalıdır. Bu gibi bir durumda, kazı emniyetini arttırmak için komşu yapının bulunduğu cephede “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile temel çukuru kazısı yapılabilir.

► Komşu yapının bulunduğu cephede, projelendirilmiş ankrajlar zemin şartlarına bağlı olarak bazı noktalarda yada bazı kademelerde imal edilememiş olabilir. Ayrıca, imal edilmiş ankrajların, yapılan performans testleri sonucu yeterli yük taşımadığı tespit edilmiş olabilir. Böyle bir durumda, iksa perdesini desteklemek için “destek boruları” çözüm olabilir. Fakat, kazı sahasının büyük olduğu durumunda destek boruları montajı da mümkün olmayabilir. Bu şartlarda, yarı-top-down inşaat yöntemi bu cephede tercih edilebilir.

► “Yarı-top-down döşemelerin” bağlandığı kazıklarda farklı veya aşırı oturmalar oluşmaması için yüksek mukavemetli zeminler veya kaya ortamlarında “yarı-top-down inşaat yöntemi” önerilir.

► “Yarı-top-down kazıkları”nda oluşabilecek farklı oturmalar, döşemelerde sehime sebep olabilir. Ayrıca, kazıklarda oluşabilecek aşırı oturma değerleri, döşemelerin proje kotundan daha alt kotlara kaymasına yol açabilir.

► “Yarı-top-down kazıkları” arasındaki mesafe, hafriyat aracının geçişine müsade edecek şekilde en az 3 ve 4 metre olarak seçilmelidir. Ayrıca, kazıklar nihayi kazı kotundan itibaren 5 metre kayaya soketlenmeli ve uç kazığı olarak projelendirilmelidir.

► Tez çalışmasında, 25 metrelik temsili bir temel kazısı “alan yöntemi” ile “çok sıra ankrajlı” iksa olarak çözülmüştür. Daha sonra bu iksa “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile desteklenmiştir. Bu iki durum Plaxis 8.2 programında modellenmiştir. İki durumu yansıtan modeller ayrı ayrı çözümlenerek, her kazı kademesi veya nihayi kazı kademesi için;

- * Ortamda oluşan toplam deformasyonlar,
- * Perdede oluşacak yatay deplasmanlar,
- * Perdede oluşacak düşey deplasmanlar,
- * Perde üzerine gelen eğilme momentleri,
- * Perde üzerine gelen kesme kuvvetleri,
- * Ortamda oluşan plastik noktalardaki değişim,
- * Ankraj kök bölgelerinde oluşan eksenel gerilmeler,
- * Genel kayma tahkiki güvenlik sayıları,

kıyaslanmıştır.

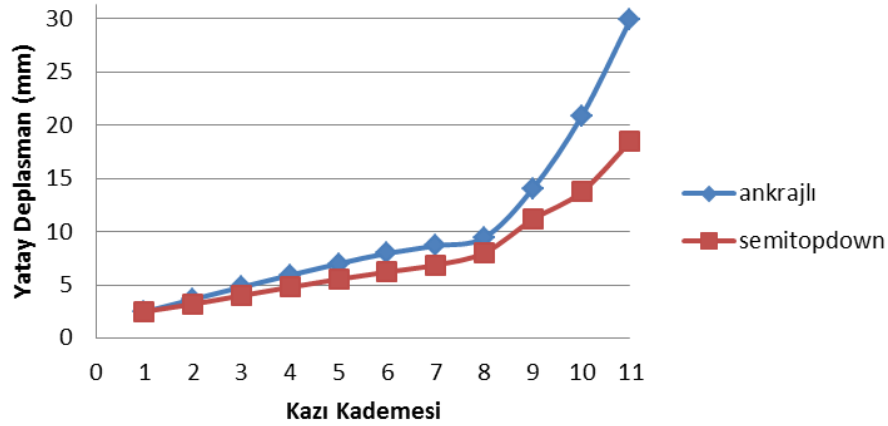
► “Çok sıra ankrajlı iksa” için kaya ortamında en büyük toplam deformasyon 125.48 mm., iksanın “yarı-top-down inşaat yöntemi” ile desteklendiği modelde ise 110.27 mm. bulunmuştur.

Toplam deformasyon bakımından “yarı-top-down inşaat yöntemi” kazı ortamında pozitif etki yarattığı görülmektedir.

► Bütün kazı kademelerinde, “yarı-top-down inşaat yöntemi” perde yatay hareketinde, pozitif etki yapmıştır. “Yarı-top-down inşaat yöntemi” kullanılarak

mevcut “çok sıra ankrajlı” iksada ortalama olarak, perde yatay hareketinde % 19.81 oranında iyileşme gerçekleşmiştir.

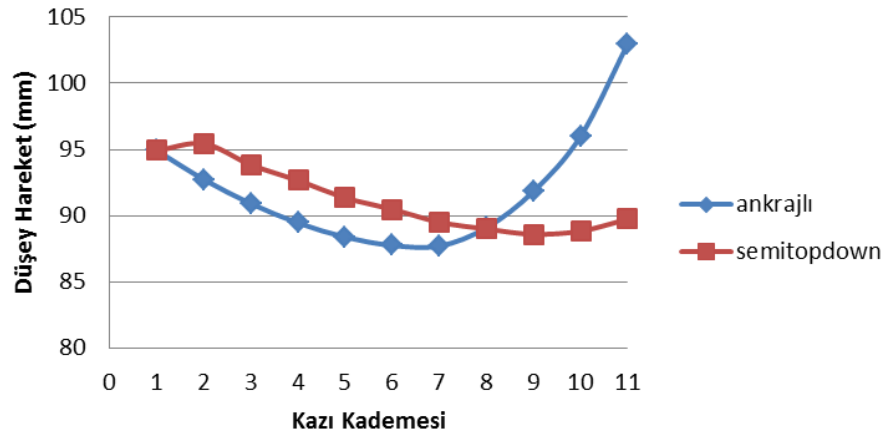
Şekil 8.1’de, iki model için her kazı kademesinde perdede oluşan yatay hareketler grafik olarak çizilmiştir. Perde yatay hareketindeki iyileşme bu grafikte açık şekilde görülmektedir. Özellikle 8. kazı kademesinden sonraki iyileşme dikkat çekmektedir.



Şekil 8.1 : Model-1 ve Model-2’de kazı kademelerinde oluşan perde yatay hareketi.

► Perde düşey hareketleri irdelendiğinde, ilk 7 kazı kademesi sonunda “yarı-top-down inşaat yöntemi” iksa perdesindeki düşey deplasmanları arttırdığı görülmüştür. Fakat, 7. kazı kademesinden sonra düşey deplasmanlarda Model-1’e göre azalmalar gözlenmiştir.

Şekil 8.2’de, iki model için her kazı kademesinde perdede oluşan düşey deplasmanlar grafik olarak çizilmiştir. İki model kıyaslandığında, perde düşey hareketinde ilk 7 kazı kademesindeki kötüleşme ve daha sonraki kademelerdeki iyileşme bu grafikte açıkça görülmektedir.

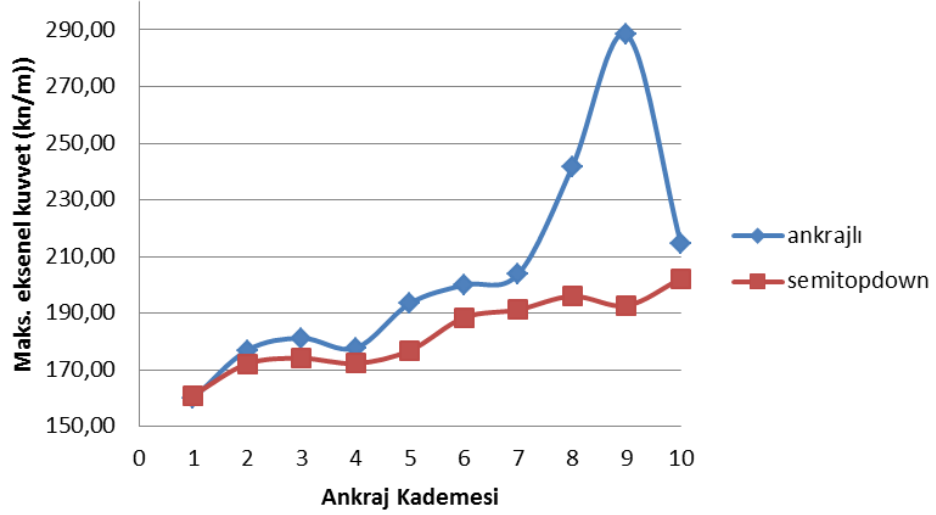


Şekil 8.2 : Model-1 ve Model-2’de her kazı kademeleri sonunda perdede oluşan düşey deplasman miktarları.

Bu veriler; “yarı-top-down inşaat yöntemi”nin, perdenin moment ve kesme kuvveti taşıması yönünden negatif etki oluşturduğunu göstermektedir.

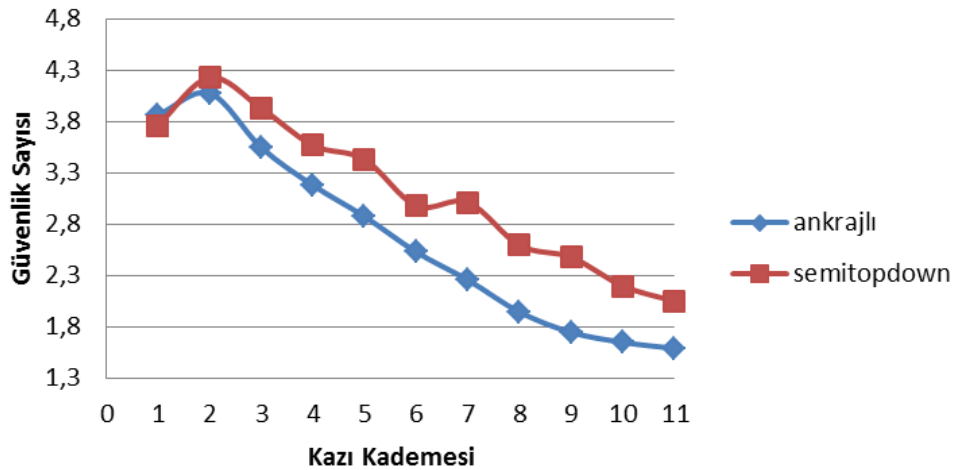
► “Yarı-top-down inşaat yöntemi” etkisindeki “çok sıra ankrajlı” iksalarda, her bir ankraj kademesinde ortalama % 8,74’lük bir ankraj yükü kazancı oluşmaktadır. 25 metrelik temsili bir temel kazısı için toplam yük kazancının 210,84 kN/m olduğu

belirlenmiştir. Bu değer, aşağı-yukarı 1 ankraj kademesine tekabül etmektedir. Şekil 8.4’de “yarı-top-down inşaat yöntemi”nin ankraj kök bölgesindeki eksenel kuvvetlere yaptığı pozitif etki grafik olarak görülmektedir.



Şekil 8.4 : İki model için ankraj köklerinde oluşan maks. eksenel kuvvetler.

► “Yarı-top-down inşaat yöntemi”, “çok sıra ankrajlı” iksa üzerinde toptan göçme stabilitesi bakımından pozitif etki yapmaktadır. 25 metrelik temsili bir temel kazısında, “yarı-top-down inşaat yöntemi” toptan kayma stabilitesini ortalama olarak % 21,07 oranında arttırmaktadır (Şekil 8.5). Bu veri, hassas komşu yapılar yanında yapılacak derin temel kazılarında “yarı-top-down inşaat yöntemi”nin tercih sebebi olması için önemli bir husustur.



Şekil 8.5 : İki modelin kazı kademelerine ait toptan kayma güvenlik sayıları.

KAYNAKLAR

- [1] **Schoklitsch, Armin.**, (1956). Temel İnşaatı, çev. Necati Acun, Kutulmuş Matbaası.
- [2] **Coduto, Donald P.**, (2005). Temel Tasarımı İlkeler ve Uygulamalar, çev. Mollamahmutoğlu ve Kayabalı, Yorum Matbaası.
- [3] **Das, B.M.**, (2007). Principles of Foundation Engineering, United States of America.
- [4] **Coduto D.P.**, (2001), Foundation Design, Prentice Hall, New Jersey.
- [5] **Bowles, J.E.**, (1997). Foundation Analysis and Design, New York.
- [6] **Das, B.M.**, (2006). Principles of Geotechnical Engineering, United States of America.
- [7] **Budhu, M.**, (2007). Soil Mechanics and Foundation, United States of America.
- [8] **Uzuner, B.A.**, (2007). Temel Zemin Mekaniği, Trabzon.
- [9] **FHWA-IF-99-015**, (1999). Geotechnical Engineering Circular No.4: Ground Anchors and Anchored Systems, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington DC.
- [10] **Ou, C.Y.**, (2006). Deep Excavation: Theory and Practice, London.
- [11] **Smoltczyk U.**, (2002). Geotechnical Engineering Handbook, Germany.
- [12] **Deep Foundations Institute**, (2005). Industry Practice Standards and DFI Practice Guidelines for Structural Slurry Walls, United States of America.
- [13] **Url-1** < <http://www.tradekorea.com/productdetail> >, alındığı tarih: 20.01.2014.
- [14] **Url-2** < <http://www.nzta.govt.nz/projects/victoria-park-tunnel/img/diaphragm-walls.jpg> >, alındığı tarih: 15.01.2014.
- [15] **Url-3** <<http://www.kasktas.com.tr>>, alındığı tarih: 17.02.2014.
- [16] **U.S. Army Corps of Engineering**, (1994). Design of Sheet Pile, United States of America.
- [17] **Macnab, A.**, (2002). Earth Retention Systems Handbook, New York.
- [18] **Url-4** <<http://www.zetas.com.tr>>, alındığı tarih: 10.03.2014.
- [19] **FHWA0-IF-03-017**, (2003). Geotechnical Engineering Circular No.7: Soil Nail Walls, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C.
- [20] **Xanthakos, P.P.**, (1991), Ground Anchors and Anchored Structures, New York.

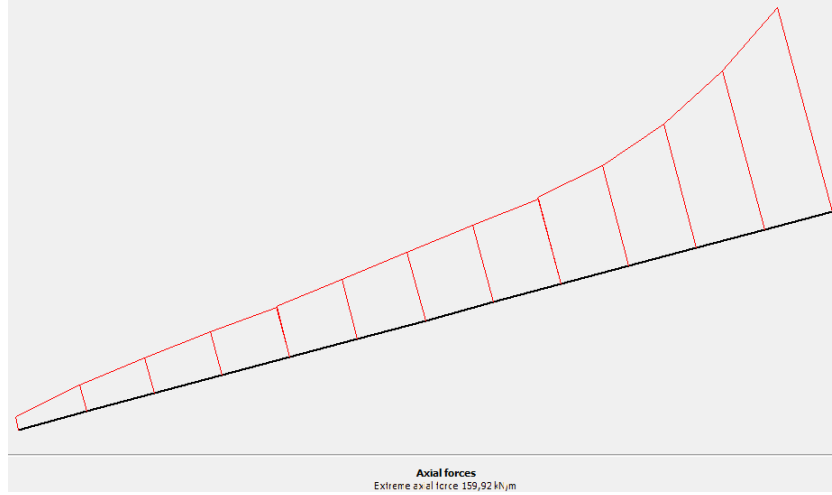
- [21] **Dayıoğlu, M.**, 2010. Derin Kazıların İncelenmesi ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek:Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- [22] **FHWA-RD-75-130**, (1976). Lateral Support Systems and Underpinning, Vol. III. Construction Methods, Washington, D.C.
- [23] **Url-5** <<http://www.echozemin.com>>, alındığı tarih: 03.02.2014.
- [24] **Url-6** <<http://www.slopeindicator.com>>, alındığı tarih: 10.02.2014.
- [25] **Url-7** <<http://www.berntsen.com>>, alındığı tarih: 21.02.2014.
- [26] **Washington State Department of Transportation**, (2010). Geotechnical Design Manual, United States of America.
- [27] **FHWA-RD-98-067**, (1998). Summary Report of Research on Permanent Ground Anchor Walls Volume III, Federal Highway Administration, Washington D.C.
- [28] **Öztorun, N. K.**, Ankara Metrosu Kızılay İstasyonu Örneği ile Yukarıdan Aşağı (Top-Down) İnşaat Yöntemi, İÜ, İstanbul.

EKLER

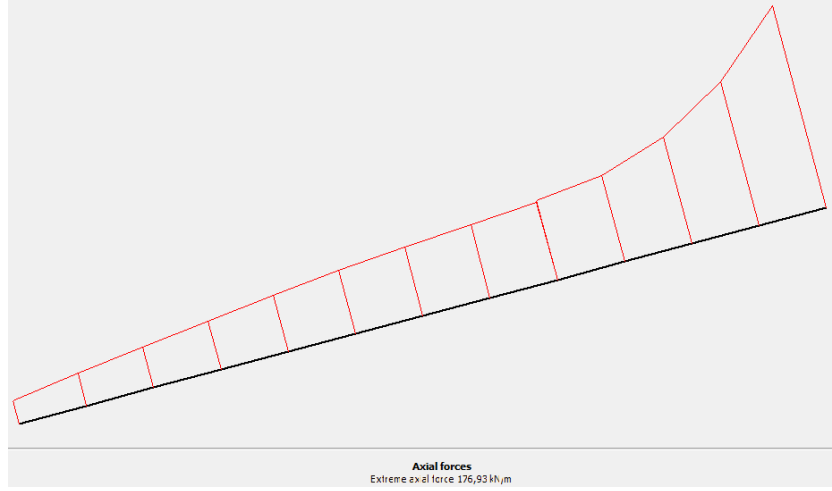
EK A: Model-1 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler

EK B: Model-2 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler

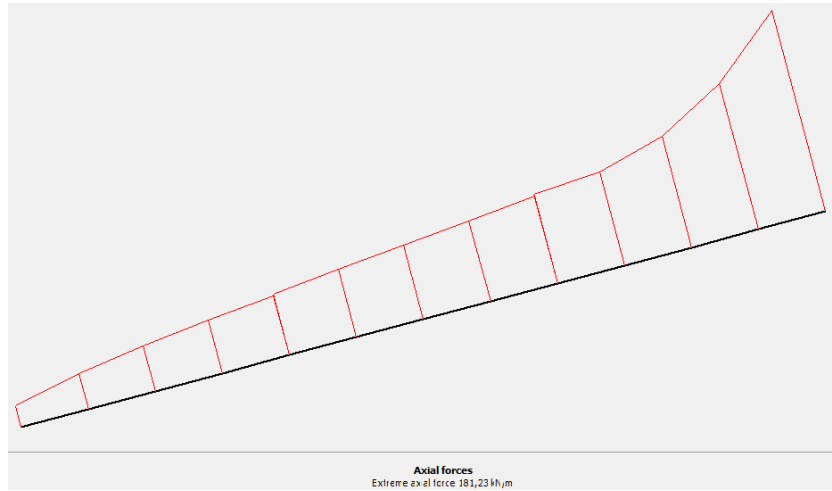
EK A



1. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

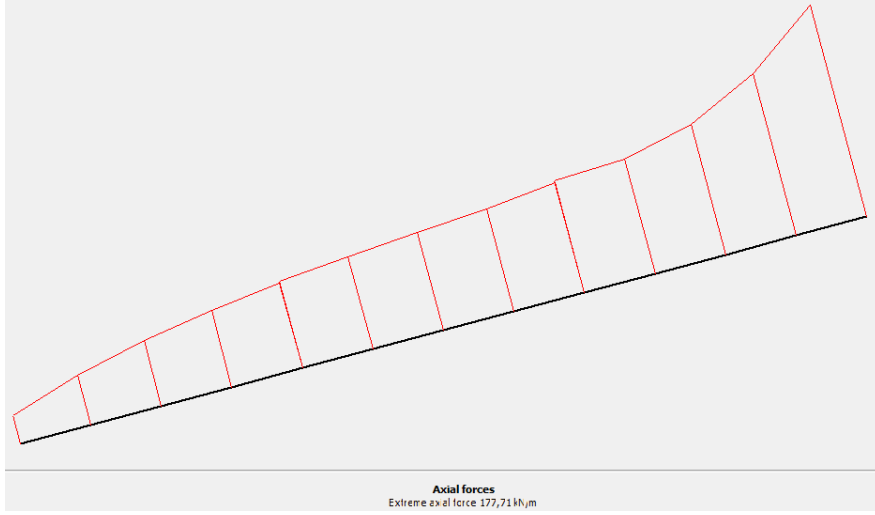


2. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

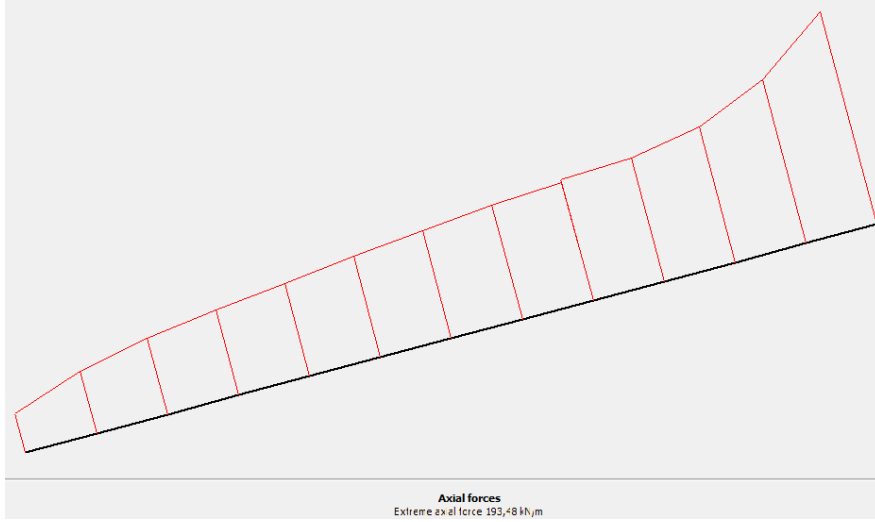


3. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

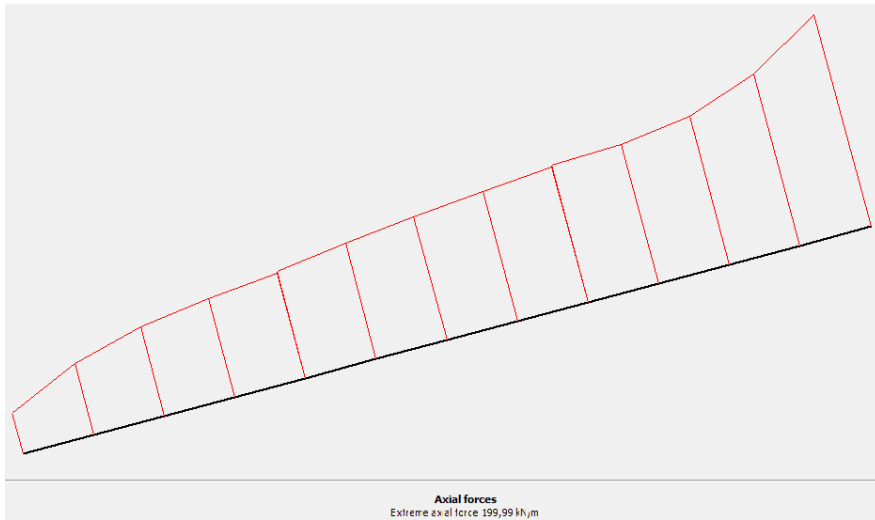
Şekil A.1 : Model-1 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilme



4. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan eksenel gerilme.

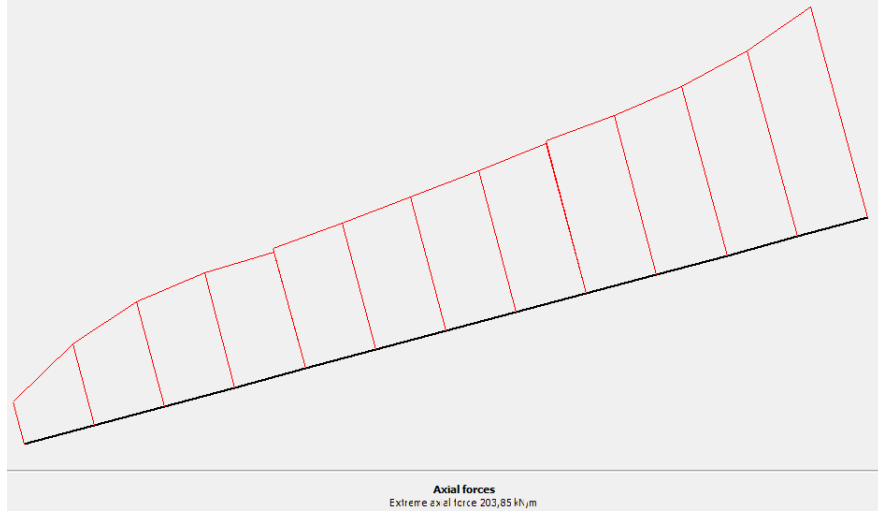


5. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan eksenel gerilme.

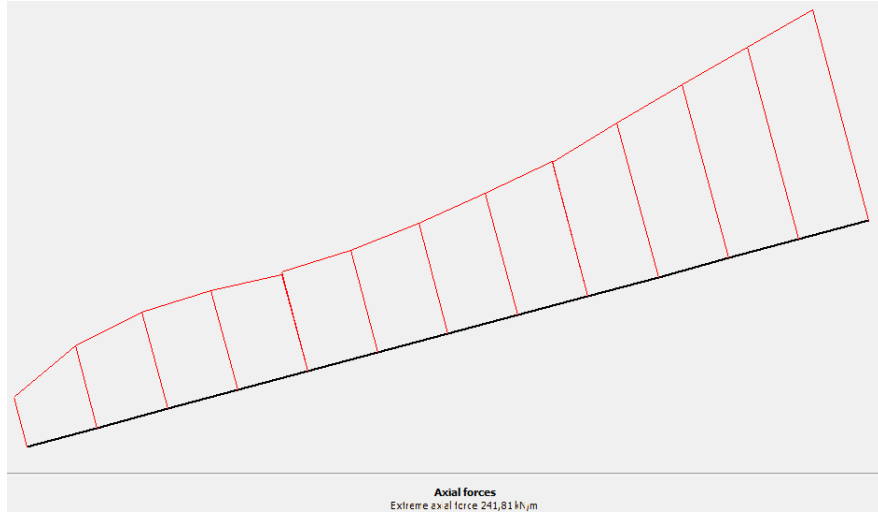


6. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan eksenel gerilme.

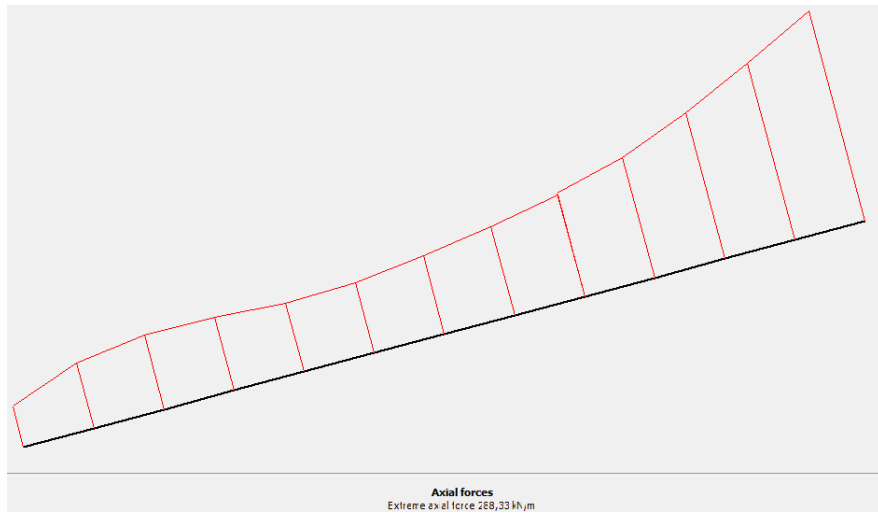
Şekil A.1 : Model-1 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan eksenel gerilmeler (devam-1).



7. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

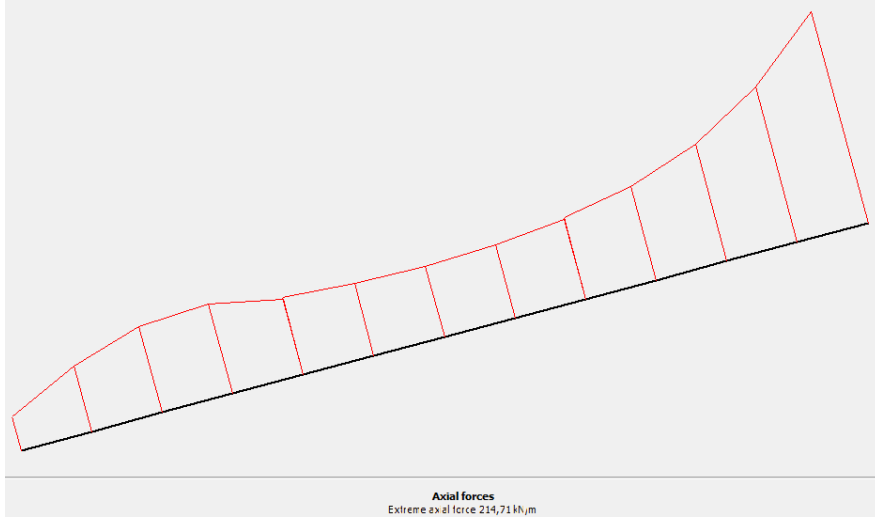


8. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.



9. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

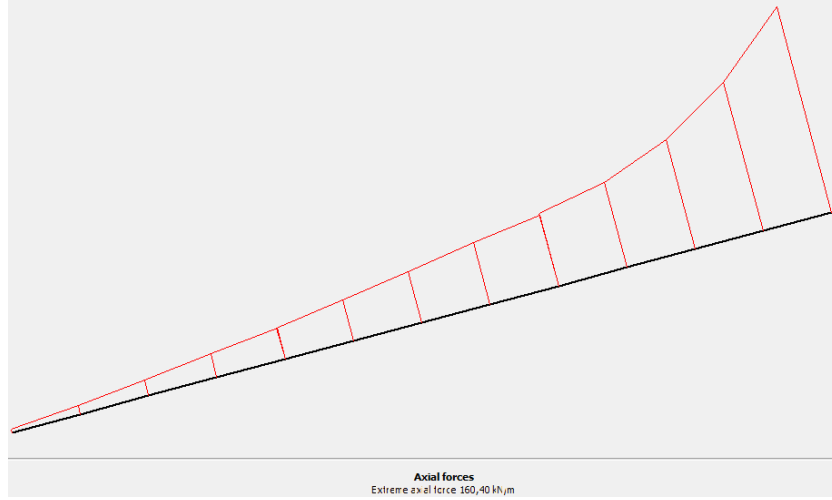
Şekil A.1 : Model-1 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler (devam-2).



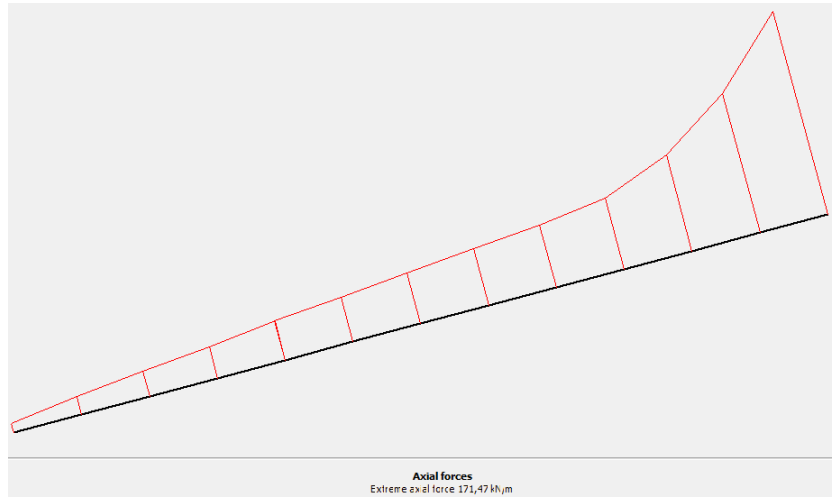
10. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

Şekil A.1 : Model-1 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler (devam-3).

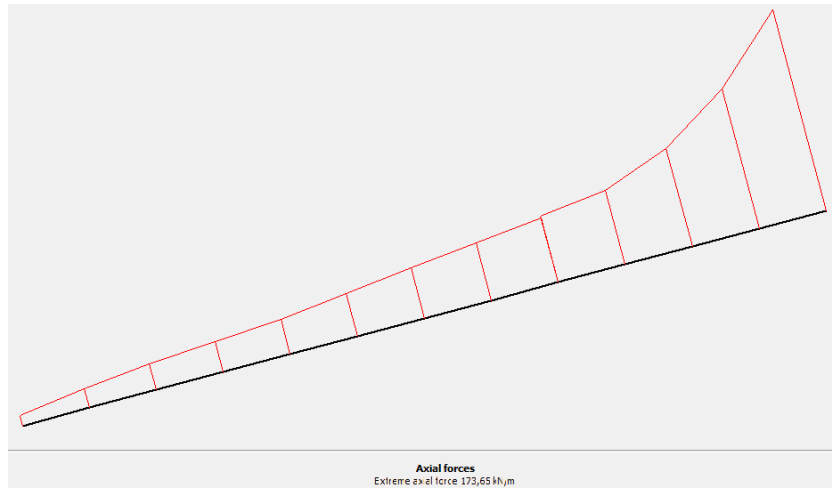
EK B



1. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

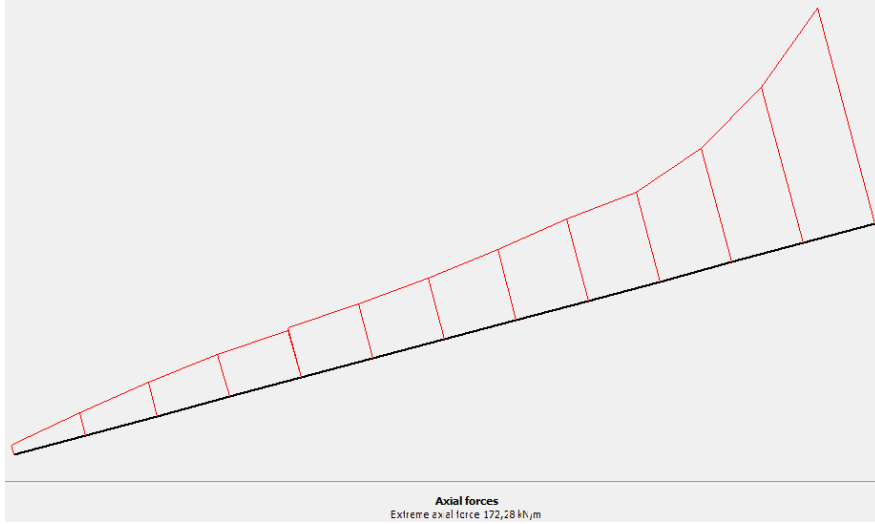


2. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

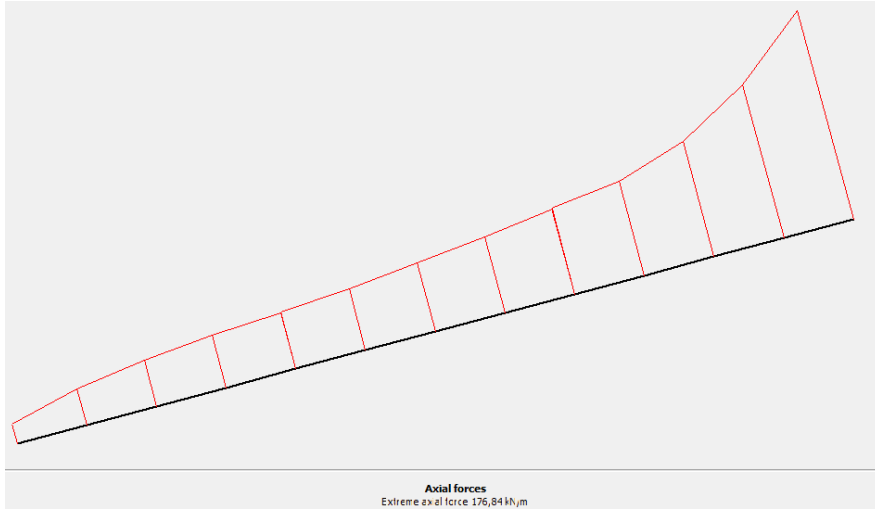


3. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

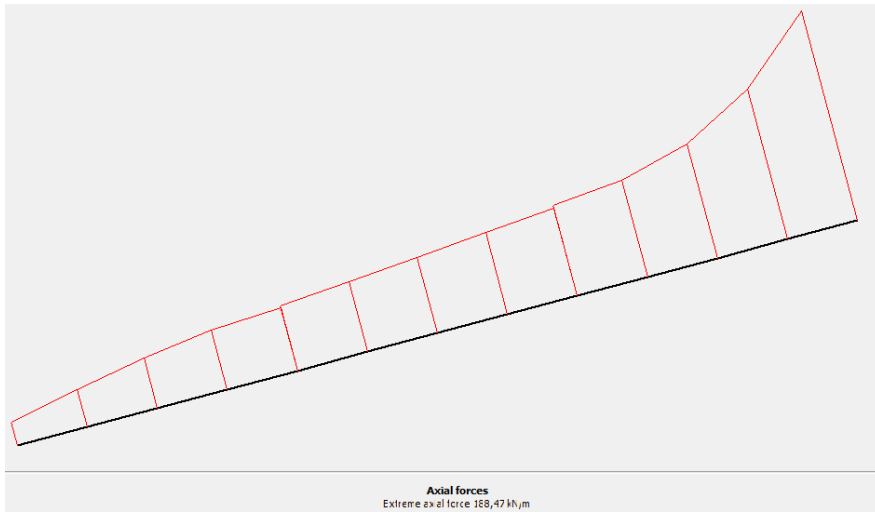
Şekil B.1 : Model-2 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler



4. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

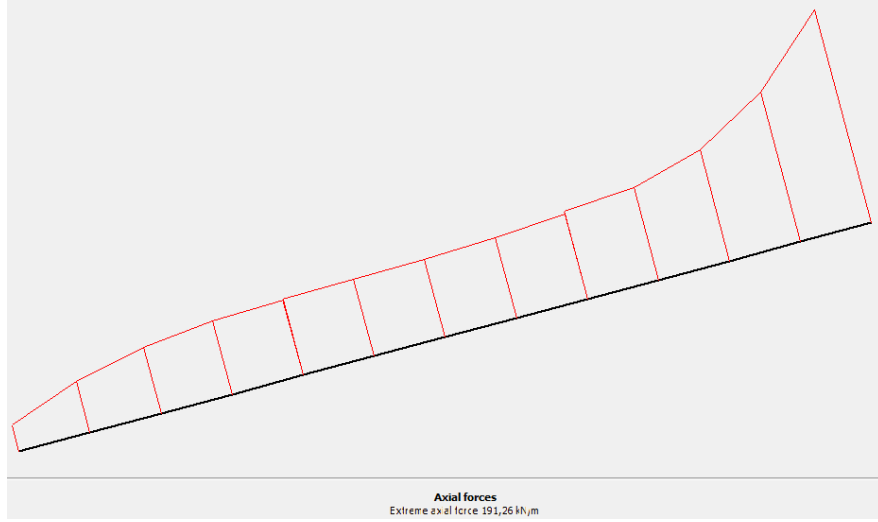


5. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

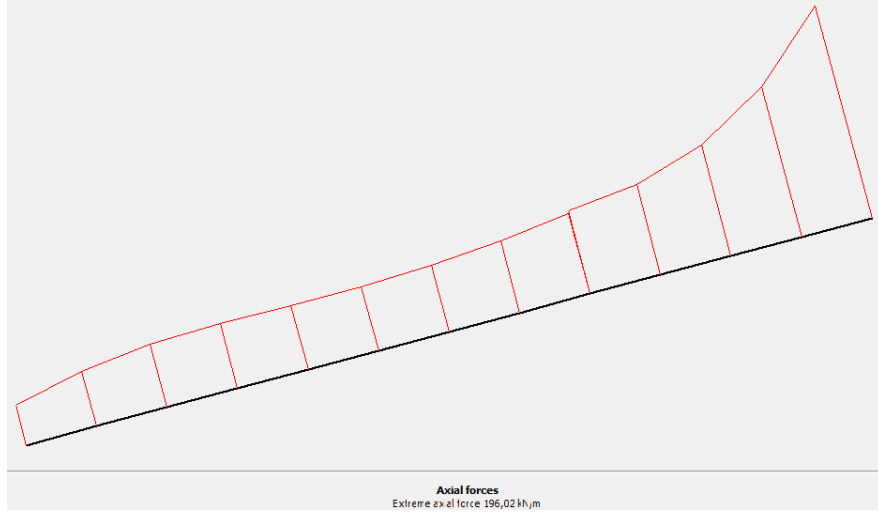


6. Kademe ankraj kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

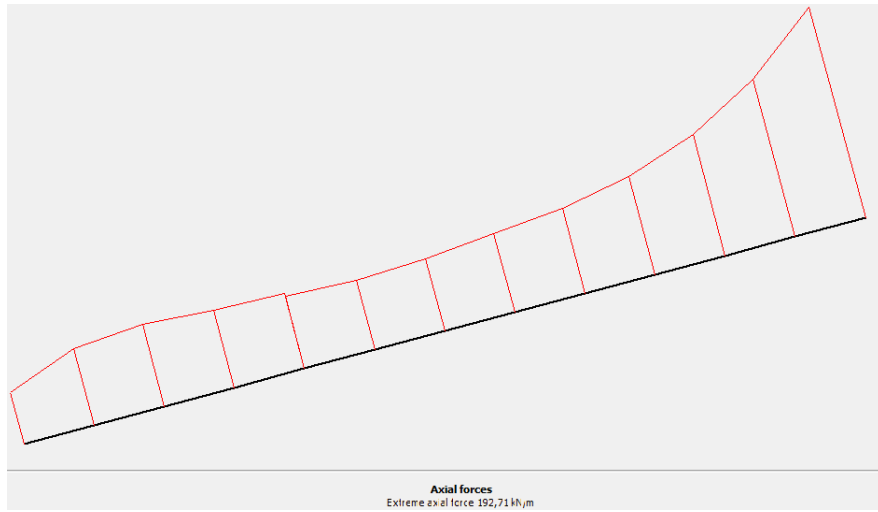
Şekil B.1 : Model-2 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler (devam -1).



7. Kademe ankrajı kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

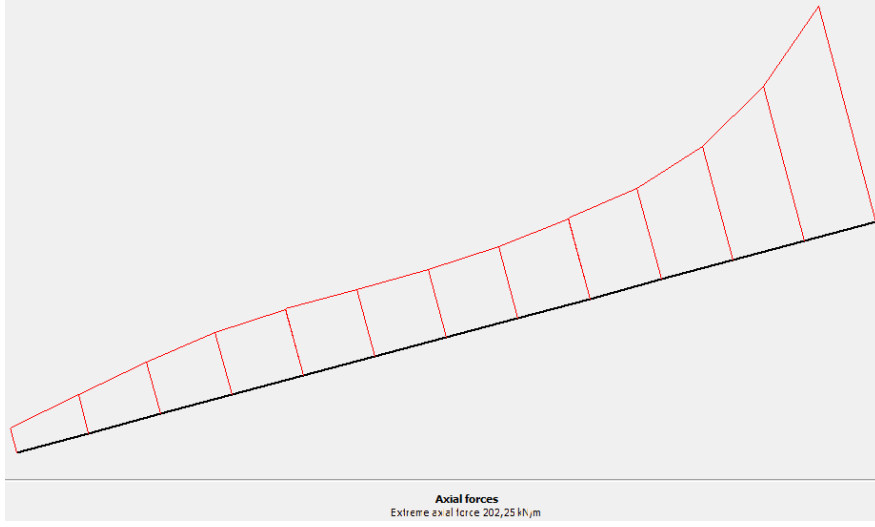


8. Kademe ankrajı kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.



9. Kademe ankrajı kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

Şekil B.1 : Model-2 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler (devam -2).



10. Kademe ankraşı kök bölgesinde oluşan aksenal gerilme.

Şekil B.1 : Model-2 için son kazı kademesinde ankrajlarda oluşan aksenal gerilmeler (devam -3).

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Faruk SEFİ
Doğum Yeri ve Tarihi: Frankfurt, 1985
E-Posta: faruksefi@gmail.com

Eğitim Bilgileri :

2012-2014 İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Lisansüstü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
2012-2013 İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Lisansüstü, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
Bilimsel Hazırlık Programı, İnşaat Mühendisliği
2006-2011 İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
Lisans, Jeoloji Mühendisliği
2004-2006 Kocaeli Üniversitesi
Lisans, Elektrik Mühendisliği (terk)
1996-2004 Kadıköy Anadolu Lisesi
Orta ve Lise Eğitimi

İş Tecrübeleri :

08/2012-11/2013 Temelkon Temel Mühendislik
Maksim Tuna Otel Yarı-Top-Down Temel İnşaatı, Tuna Yapı
Tarlabaşı Dönüşüm Projesi Temel İnşaatı, Gap İnşaat
10/2010-06/2011 Bursa Mudanya İlçesi, Güzelyalı ve Göynüklü Çevresinin
Heyelanlara Karşı Davranışı, Mühendislik Jeolojisi ve
Hidrojeoloji İncelemesi
Lisans Bitirme Projesi