

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DESTEKLİ DAYANMA YAPILARINDA ETKİN PARAMETRELERİN
BELİRLENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELİMCAN TURHAN

HAZİRAN 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DESTEKLİ DAYANMA YAPILARINDA ETKİN PARAMETRELERİN
BELİRLENMESİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selimcan TURHAN

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

ZONGULDAK

Haziran 2019

KABUL:

Selimcan TURHAN tarafından hazırlanan “Destekli Dayanma Yapılarında Etkin Parametrelerin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 19/06/2019

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ömer Faruk ÇAPAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Üye : Doç. Dr. Utkan MUTMAN

Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

ONAY:

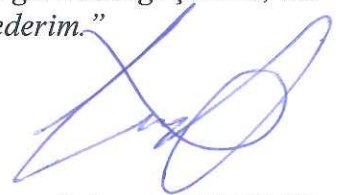
Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2019



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Selimcan TURHAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DESTEKLİ DAYANMA YAPILARINDA ETKİN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Selimcan TURHAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

Haziran 2019, 77 sayfa

Günümüz şehir planlamasında derin kazılar mühendislik açısından oldukça önemli bir değere sahiptir. Çok katlı yapıların oturtulacağı zemine göre yerleşimini sağlayabilmek; tünel gibi inşaat yapılarını faaliyete sunabilmek için inşaat mühendisleri derin kazı yapımı esnasında çevresinde bulunan zeminde güvenliği sağlama önemlidir. Sürekli artış gösteren nüfus, diğer ülkelerde görüldüğü gibi bizim ülkemizde de zeminlerin düzgün olduğu bölgelerdeki konutların hızlıca tükenmesine ve zemini elverişli olmamasına rağmen yeni arazilerin imara açılması zorunluluğunu beraberinde getirmiştir. Bu süreçte zemini elverişli olmayan arazilerde ortaya çıkan taşıma gücünün yetersizliği, yüksek deformasyon, yapının oturma durumlarına karşı zemin güçlendirme ve zemin yapısının özelliğine göre iyileştirme yapılmaya başlanması oldukça yaygınlaşmıştır.

Bu çalışmada; temel zemin özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan sondaja dayalı zemin etüdüne göre Zonguldak iline bağlı Merkez ilçesinde yapımı devam eden istinat duvarı inşaatı ve iksa sistemlerinin yapım aşaması nasıl gerçekleştirildiği üzerinde çalışılmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

İnceleme alanında geoteknik amaçlı olmak üzere 2 adet toplam 30,0 metre derinliğinde sondaj yapılmıştır. Sondajlarda geçilen seviyelerde, yüzeyden aşağıya doğru alınan karot numunelerine göre kireçtaşlarından oluştuğu gözlenmiş, zemin kaya sınıfında değerlendirilmiştir. İnceleme alanına göre istinat duvarları temelleri kireçtaşına oturtulmuştur. Kireçtaşına göre taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Yıkılacak olan bina 4 kat bodrum dâhil olmak üzere 12 kattan oluşmaktadır. Mevcut yapı zemini bitkisel toprak, devamlılığı olmayan kireçtaşı vb. kısımlar araziden sıyrılmıştır. İnşaat esnasında deniz tarafına kaya düşmesi gibi olumsuzluklara neden olmamak için gerekli tedbirler alınarak yıkım süreci yapının üst kısmından başlanmıştır. Yapının alt kısmına doğru 11,25 metre kazı yapıp öncelikli var olan zemin durumuna göre iksa sistemi yapıp; ankraj gövde boyu, kök boyu hesabı sonlu elemanlara dayalı (Plaxis V9 Dinamik modül) programda yapılmıştır. Diğer hesaplamalar betonarme statik programında (Sta4Cad programı) istinat duvarı modellenip beton, demir, kalıp hesabı yapılmıştır. Daha sonra zeminin cinsi değiştirilerek yeniden ankraj gövde boyu ve kök boyu hesabı yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taşıma gücü, ankraj, dayanma yapısı, kireçtaşı.

Bilim Kodu: 624.01.00.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DETERMINATION OF EFFECTIVE PARAMETERS IN SUPPORTED RESISTANCE STRUCTURES

Selimcan TURHAN

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL

June 2019, 77 pages

In today's city planning, deep excavations are very important in terms of engineering. To provide the placement of multi-storey buildings according to the ground; In order to present the construction structures such as tunnels and subways, civil engineers are obliged to keep the ground in the vicinity during deep excavation. As seen in other countries, the population, which has been continuously increasing, brought with it the necessity to open new lands to the reconstruction of the land despite the rapid depletion of the dwellings in the regions where the floors are smooth and the ground is not favourable. In this process, low load bearing capacity, high deformation, ground strengthening and soil structure improvement are very common.

In this study; the construction of the retaining wall construction and retaining systems, which are still under construction in the central district of Zonguldak province, is studied according to local soil properties. In the study area, a total of 30.0 meters 2 deep drilling was performed for geotechnical purposes. According to the drilling logs; the lime stones were formed and the ground rock class are observed. The foundations of retaining walls are constructed on

ABSTRACT (continued)

limestone. Therefore, the bearing capacity is calculated according to limestone. The building to be demolished consists of 12 floors, including 4 floors. The sections were stripped of the field. During the construction, necessary measures were taken in order not to cause any negative effects such as rock falling on the sea side and demolition process was started from the upper part of the building. 11,25 meters to the lower part of the existed structure of the excavation of the ground according to the existing soil conditions are made; anchor body length, root length calculation was made in finite elements (Plaxis V9 dynamic module) program. According to the accounts that saved program is a software developed for structural engineering (Sta4Cad program) in the retaining wall model, concrete, iron calculations were made. Afterwards, the length of the floor was changed and re-anchor body length and root length were calculated. Different sensitivity analyses were performed according to changing soil conditions.

Keywords: Bearing capacity, anchor, retaining wall, limestone.

Science Code: 624.01.00.

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinden tezin son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren, yoğun iş temposu arasında çok değerli vakitlerini ayırarak bana destek ve yardımlarını esirgemeyen, akademik kariyerime başladığım günden beri tecrübeleriyle bana ı ışık tutan, Tez danışmanı saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL’e teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimimde özellikle tez aşamasında emeğini ve yardımını hiçbir zaman benden esirgemeyen değerli hocam Öğr. Gör. Hüseyin MÜNGAN’a teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün Mira Mühendislik çalışanlarına yüksek lisans çalışmam süresince yardımları ve gösterdikleri anlayıştan dolayı teşekkür ederim.

Hayatım boyunca sevgileri, destekleri ve güvenleri ile her zaman yanımda olan aileme sonsuz kez teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
 BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	 1
 BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	 3
 BÖLÜM 3 YANAL TOPRAK İTKİSİ.....	 5
 3.1 SÜKUNETTEKİ TOPRAK BASINCI	 5
3.2 RANKİNE TEORİSİ.....	7
3.2.1 Aktif Rankine Toprak İtkisi	7
3.2.2 Pasif Rankine Toprak İtkisi	8
3.3 COULOMB KAMA TEORİSİ	9
3.3.1 Coulomb Aktif Toprak İtkisi.....	9
3.3.2 Coulomb Pasif Toprak İtkisi	11
3.4 ÇEŞİTLİ ZEMİN YÜKLEME DURUMLARINDA TOPRAK BASINÇLARI.....	13
3.4.1 Duvar Arkasındaki Zeminin Aynı Olması Durumunda	13
3.4.2 Duvar Arkası Zeminin Aynı ve Üniform Yayılı Yük Olması Durumunda.....	13
3.4.3 Duvarın Arkasında Tabaka Halinde İki Farklı Zemin Bulunması Durumu.....	14

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.4.4 Duvar Arkasındaki Zemin Aynı ve Yer Altı Suyunun Bulunması Durumu	15
3.4.5 Duvar Arkasında Zemin Yüzeyinin Eğimli Olması Durumu.....	15
3.4.6 Duvarın Arkası Eğik Olması Durumunda	16
3.4.7 Duvar Arkasındaki Zeminin Kohezyonlu Olma Durumu	17
3.4.8 Duvar – Zemin Sürtünmesi	18
3.4.9 Yer Altı Su Seviyesi	19
3.4.10 Kohezyonlu Zeminlerde Drenaj Koşulları	19
3.5 YATAY TOPRAK BASINCINA ETKİYEN DEĞİŞKENLER	20
3.6 ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNE GELEN YATAY TOPRAK BASINCI VE DAĞILIMI	20
3.7 KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ÇOK SIRA İKSA SİSTEMLERİNE GELEN YATAY TOPRAK BASINÇ DAĞILIMI.....	21
3.7.1 Terzaghi – Peck Toprak Basınç Dağılımı	21
3.7.2 Tschebotarioff Basınç Dağılımı	22
3.7.3 Lehmann Toprak Basınç Dağılımı	22
3.7.4 İsveç Yapı Şartnamesi Toprak Basınç Dağılımı	23
3.8 KOHEZYONLU ZEMİNLERDE ÇOK SIRA ANKRAJLI SİSTEMLERE GELEN YATAY TOPRAK BASINÇLARI	24
3.8.1 Terzaghi – Peck Toprak Basınç Dağılımı	24
3.8.2 Tschebotarioff Toprak Basınç Dağılımı.....	25
3.8.3 Sert Kohezyonlu Zeminlerde Terzaghi – Peck Toprak Basınç Dağılımı.....	25
3.8.4 Sert Kohezyonlu Zeminlerde Tschebotarioff Toprak Basınç Dağılımı	26
BÖLÜM 4 DESTEKLEME SİSTEMLERİ	27
4.1 DİYA FRAM DUVAR	27
4.2 FORE KAZIKLI PERDE.....	29
4.3 PALPLANŞ.....	30
4.4 DESTEK.....	31
4.5 ANKRAJLAR	31
4.5.1 Ankrajların Yapısı	32

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

4.5.2 Ankraj Tipleri	33
4.5.2.1 Kaya Bulonları	34
4.5.2.2 Kaya Zeminde Kullanılan Ankrajlar	35
4.5.2.3 Başka Zeminlerde Kullanılan Ankrajlar	35
4.5.2.4 Kullanım Sürelerine Göre Ankrajlar	35
4.5.2.5 Yapım Yöntemlerine Göre Ankrajlar	35
4.5.3 Ankrajların Teşkili	37
4.5.4 Ankrajlarda Aderans	39
4.5.5 Ankrajların Enjeksiyonu	40
4.5.6 Ankrajda Tendonlar	40
4.5.7 Ankrajların Korozyona Karşı Korunması	41
4.5.8 Ankrajların Ön Gerilmesi	42
4.5.9 Ankrajlarda Taşıma Gücü	42
4.5.9.1 Çelik Halatta Kopma	43
4.5.9.2 Zeminde Göçme	43
4.5.9.3 Enjeksiyon Tendon Sıyrılması	44
4.5.9.4 Zemin Enjeksiyon Sıyrılması	45
 BÖLÜM 5 ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİ	 47
 5.1 PROJELENDİRME ÖNCESİ YAPILMASI GEREKENLER	 48
5.2 ÇOK SIRA ANKRAJ İKSA SİSTEMLERİNİN TASARIMI	49
5.3 TASARIM AŞAMALARI	49
5.3.1 Sisteme Etkiyecek Toprak Basınç Dağılımının Belirlenmesi	49
5.3.2 Kazı Yüksekliği Bilinen Toprak Basıncının Hesaplanması	50
5.3.3 Düşey Ankraj Aralığının Belirlenmesi	50
5.3.4 Kademeli Çözüm Sonucunda Elverişsiz Ankraj Kuvvetlerinin ve Açıklık Momentlerinin Belirlenmesi	51
5.3.5 Ankraj Kök Boylarının Hesabı	51
5.3.6 Ankraj Serbest Boylarının Hesabı	53
5.3.7 Ankraj Toplam Boyunun Belirlenmesi	53

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

5.3.8 Ankraj Kablolarının Hesabı (Tendon Hesabı)	53
5.3.9 Yatay Ankraj Aralığı Seçimi	53
5.3.10 Tahkiklerin Yapılması	53
5.3.11 Perdenin Boyutlandırılması	54
5.3.12 Duvar Ankraj Sistemi Duraylılığı	54
5.3.13 Göğüsleme Kirişlerinin Boyutlandırılması	54
5.4 SİSTEMİN STABİLİTESİ	54
5.5 DUVARDA OLUŞACAK DEPLASMAN ETKİLEYEN FAKTÖRLER	55
 BÖLÜM 6 VERİ, MODEL VE ANALİZ	 57
6.1 HOEK BROWN MODEL	60
6.2 PEKLEŞEN ZEMİN MODELİ (HARDENING SOIL MODEL)	63
6.3 MOHR COULOMB MODEL	66
6.4 LİNEER ELASTİK MODEL	68
 BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER	 71
 KAYNAKLAR	 73
 ÖZGEÇMİŞ	 77

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Sükunet toprak basıncı yanal gerilme hali.	6
Şekil 3.2 Aktif Rankine kırılma zarfı.	7
Şekil 3.3 Pasif Rankine kırılma zarfı	8
Şekil 3.4 Kama metodunun grafik hali.....	9
Şekil 3.5 Toplam itkinin analitik görünümü	10
Şekil 3.6 Kama metodunun grafik hali.....	11
Şekil 3.7 Kama metodunun grafik hali.....	11
Şekil 3.8 Aktif toprak basınç dağılımı	13
Şekil 3.9 Üniform yayılı yükün zeminde oluşturduğu toprak basınç dağılımı	14
Şekil 3.10 Tabaka halindeki zeminlerde yatay toprak basınç dağılımı.....	14
Şekil 3.11 Yer altı su olması halinde toprak basınç dağılımı.....	15
Şekil 3.12 Zeminin eğik olması halindeki yatay toprak basınç dağılımı	16
Şekil 3.13 Duvarın arka kısmının eğik olma halindeki toprak basınç dağılımı	17
Şekil 3.14 Duvar arkasındaki zeminin kohezyonlu olma durumunda yatay toprak basıncı	17
Şekil 3.15 Genel şekliyle duvara etki eden pasif toprak basınç dağılımı.....	18
Şekil 3.16 Yanal toprak basıncında yer altı su seviyesinin etkisi	19
Şekil 3.17 Kohezyonlu zeminlerde Terzaghi - Peck toprak basınç dağılımı.	21
Şekil 3.18 Tschebotarioff yatay toprak basınç dağılımı.....	22
Şekil 3.19 Lehmann yatay toprak basınç dağılımı	23
Şekil 3.20 İsveç yapı şartnamesi yatay toprak basınç dağılımı.....	23
Şekil 3.21 Kohezyonlu zeminler için Terzaghi - Peck toprak basınç dağılımı.....	24
Şekil 3.22 Kohezyonlu zeminler için Tschebotarioff yatay toprak basınç dağılımı	25
Şekil 3.23 Sert kohezyonlu zeminlerde Terzaghi - Peck toprak basınç dağılımı.....	25
Şekil 3.24 Sert kohezyonlu zeminlerde Tschebotarioff toprak basınç dağılımı	26
Şekil 4.1 Diyafram duvar yapımı	28
Şekil 4.2 Aralıklı kazık ve kesişen kazık türleri.....	29
Şekil 4.3 Palplanş perde	31

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.4 Ankraj kesiti.....	33
Şekil 4.5 Yapım yöntemlerine göre ankrajlar	37
Şekil 4.6 Çelik halatta kopma	43
Şekil 4.7 Zeminde göçme.....	44
Şekil 4.8 Enjeksiyon ile tendon ve zemin ile enjeksiyon sıyrılması	45
Şekil 6.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası	57
Şekil 6.2 İnceleme alanının uydudan ölçeksiz görüntüsü	58
Şekil 6.3 Zonguldak İli ve yakın çevresinin genelleştirilmiş jeomorfolojisi	58
Şekil 6.4 Sta4Cad programında modellenen İstinat Duvarı	59
Şekil 6.5 Kaya ortamında ankrajsız Hoek Brown yöntemi ile çözülen zemin modelimiz.....	61
Şekil 6.6 Ankrajsız yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	61
Şekil 6.7 Kaya ortamında ankrajlı Hoek Brown yöntemi ile çözülen zemin modelimiz.....	62
Şekil 6.8 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma	62
Şekil 6.9 Ankrajlı yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	63
Şekil 6.10 Ankrajsız ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma	64
Şekil 6.11 Ankrajsız yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	65
Şekil 6.12 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma	65
Şekil 6.13 Ankrajlı yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	65
Şekil 6.14 Ankrajsız ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma	67
Şekil 6.15 Ankrajsız yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	67
Şekil 6.16 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma	67
Şekil 6.17 Ankrajlı yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	68
Şekil 6.18 Ankrajsız ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma	69
Şekil 6.19 Ankrajsız yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	69
Şekil 6.20 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma	69
Şekil 6.21 Ankrajlı yapılan kazığin oluşturduğu deformasyon.....	70

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Zemin türleri için K_0 değerleri	7
Çizelge 3.2 Zemin cinsine göre duvar – zemin sürtünme açıları	12
Çizelge 4.1 Ankraj güvenli katsayıları	42
Çizelge 6.1 Sta4Cad programında modellenen İstinat Duvarı'nın demir metrajları	59
Çizelge 6.2 Kaya ortamı Hoek Brown zemin modeli parametreleri	60
Çizelge 6.3 Ankraj gövde ve kök yükleri	62
Çizelge 6.4 Kaya ortamsız Hardening Soil zemin modeli parametreleri	64
Çizelge 6.5 Kaya ortamsız Mohr – Coulomb zemin modeli parametreleri	66
Çizelge 6.6 Kaya ortamsız Lineer Elastik zemin modeli parametreleri	68



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

K_p	: Pasif toprak basıncı katsayısı
K_0	: Sükûnetteki toprak basıncı katsayısı
K_a	: Aktif toprak basıncı katsayısı
σ_h	: Yatay gerilme
σ'_v	: Düşey efektif gerilme
u	: Su basıncı
K_{0c}	: Aşırı konsolide killerin sükunetteki toprak basıncı katsayısı
P_a	: Aktif toprak basıncı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
H	: Duvar yüksekliği
K_{ac}	: Coulomb aktif toprak basıncı katsayısı
W	: Kama ağırlığı
R	: Kuvvet bileşeni
γ_{eq}	: Eşdeğer birim hacim ağırlığı
β	: Zeminin yatay ile yaptığı açı
P_p	: Zemin pasif itkisi
K_{pc}	: Coulomb pasif toprak basıncı katsayısı
δ	: Sürtünme açısı
$\emptyset$	: Kayma düzleminin yatay ile yaptığı açı
γ_A	: Suyun altındaki birim hacim ağırlık
c	: Kohezyon
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
c_u	: Drenajsız kohezyon
T_f	: Ankraja gelen kuvvet
D	: Ankraj çapı
L	: Ankraj kök boyu

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

τ	: Maksimum taşıma gücü
c_a	: Adezyon
γ_{unsat}	: Doygun olmayan birim hacim ağırlığı
γ_{sat}	: Doygun birim hacim ağırlığı
E	: Young modülü
ν	: Poisson oranı
φ	: İçsel sürtünme açısı
Ψ	: Dilatansi açısı

KISALTMALAR

GS	: Güvenlik Sayısı
HS	: Hardening Soil
MC	: Mohr Coulomb
PVC	: Poli Vinil Clorür
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus sonucu, şehirlerin geniş alanlara yayılması ihtiyacını doğurmuştur. İmara açılan araziler her zaman düz ve sağlam zeminler olmaktan çıkmış, dar alanlara derin kazılar yapmak zorunda kalınmış ve çok katlı yapılar yapılmıştır. Bunların dışında trafik sıkıntısından kurtulmak için yapılan metro şantiyelerinde de derin kazılar yapılmaktadır. Böyle derin kazılarda yüksek deformasyonu, göçmeyi engellemek ve çukurların dengesini sağlamak amacı ile iksa sistemleri geliştirilmiştir. Ankrajlı iksa sistemleri ve fore kazıklar bunların başlıca örnekleridir. Bu yöntemlerle çalışmalar daha güvenli, fonksiyonel ve ekonomik hale gelmektedir.

Kazıda iksa sistemlerini kurgulayabilmek için deformasyonlara sebep olan, kazı çukurlarının dengesini bozan yanal toprak basınçlarını bilmek gerekmektedir. Fakat istinat duvarlarının rijitlikleri, iksa sistemlerinin rijitliklerine göre fazladır ve toprağın yığılması neticesinde sisteme gelen yükler daha fazla olmaktadır. Bu da destek uygulanan derin kazıların sayısal yöntemlerle analizini daha değerli kılmaktadır.

Bu çalışma; Zonguldak İli, Merkez İlçesinde yapılması planlanan İstinat Duvarı'nın Plaxis 2D (2016) Sonlu Elemanlar yazılımında modellenerek, duvarın ankrajlı ve ankrajsız olması halindeki deformasyonlarını belirlemesi hedeflenmiştir. Kullanılan malzeme modellerine göre de ankrajlı ve ankrajsız olma durumları için deformasyonlarına bakılmıştır. Ayrıca ankrajlı durumlar için ankraj aralığı, ankraj gövde ve kök boyu değiştirilerek modelleme yapılmıştır.

İkinci bölümde konuyla ilgili daha önce farklı bilgisayar programları kullanılarak veya yeni program üreterek yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde konuyla ilgisi olan yanal toprak itkisinden ve etkiyen parametrelerinden bahsedilmiştir.

Dördüncü bölümde üzerinde çalıştığımız iksa sistemleri, ankrajlı ve ankrajsız olma durumları ayrıca diğer destek elemanlarından söz edilmiştir.

Beşinci bölümde iksa sistemlerinin tasarım aşamasında ve modelleme kısımlarında nelere dikkat edilmeli konusundan bahsedilmiştir.

Altıncı bölümde konunun inceleme alanı belirtilmiş; veri, model ve analiz kısımları girilmiş oluşan deformasyonlar gösterilmiştir.

Son olarak yedinci bölümde yapılan çalışma ile ilgili çıkan sonuçlar belirtilmiş, hangi parametrelerle çözüm yapılması gerektiği öneri olarak verilmiştir.



BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Derin kazılar, iksa sistemler, yanal basınçlar, ankrajlı duvarlar günümüze kadar birçok kez araştırma konusu olmuştur. Bunlar üzerinden çalışmalar yapılmış, günümüzde kullanılan yazılımlar geliştirilmiştir. Konuyla ilgili yapılan çalışmalardan özet şeklinde aşağıdaki gibi literatür çalışması yapılmıştır.

Bir yapıda yapılacak bodrum kazısı, yumuşak zemin ve yükselmiş yer altı suları gibi koşullarda iksa sistemlerinin zemine yapılan öngermeli ankrajlarla desteklenmesi sonucu oluşmuş, destek sistemi gerçekleştirilmiştir [1]. İksa duvarlar, çap olarak 65 cm alınmış, fore kazıklar birbirleriyle 15 cm kesiştirilmiş ve geçirimsiz bir iksa duvarı oluşturulmuştur. Duvarların açısı yatayla 5° - 15° ve iki sıra desteklenmiş zemin ankrajlarıyla oluşturulmuştur. Kazı Plaxis programı ile modellenmiş, nümerik analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre, tabanda kum ve çakıl bulunmasından dolayı soketlenemeyeceği bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Stabilite sorununu aşmak için ankrajlar, göçme ihtimali yüksek olan çemberin dışına çıkartılarak açıları ve boyu ayarlanmıştır.

Fore kazıklı, ankrajlı ve derin kazılarda destek sistemleri üzerinde inceleme yapılmıştır [2]. Yeni excel programı yapılmış, iksa fore kazıklı, iksa sistemleri, çok ve tek sıra ankrajlı çözüm yapılmıştır. Çözümünden sonra, maliyetler arasında karşılaştırma yapılmış ve çok sıra ankrajlı sistemin derin kazılarda diğerlerine göre daha ekonomik olduğu saptanmıştır. Derin kazılar için hem düşük maliyet hem de güvenlik için yeni bir program oluşturulmuştur. Program yer altı su seviyesinin var olmadığı ve zeminin kohezyonsuz kabul edildiği durumlar için yapılmıştır. Program önce fore kazıklı, sonra tek ve çok sıra ankrajlı olarak çözülmüştür.

Derin kazı yapılacak bir yapı inşaatında, kesişen kazıklı ve ankrajlı duvar imalatı yapılmıştır [3]. Yapı; zemini alüvyon olan, yer altı su seviyesinin yüzeye yakın bulunan yerde yapılacaktır. Var olan zemin ve yer altı suyunun yüksekliği dikkate alınarak, kazının

dayanıklılığını sağlamak amacıyla kesişen kazıklı ve ankrajlı duvar modellenmiştir. Projede derinlik 9.50 m alınmıştır. Kazık çapı 65 cm, duvar boyu 17 m ve kazık aralıkları 50 cm olan fore kazıklar kullanılmış, kökü 7 m ve boyu 30 m-35 m arasında olan ankrajlar 35°'lik açıyla hesaplama yapılmıştır. Kazı çukuruna doğru gidildikçe oluşan deformasyonlar taban kotunun üstünde maksimum seviyeye gelmiştir. Ortamın şartları ve halatların uzun olması sebebiyle ötelenmeler önce yükselmiş, devreye giren destek sistemi sayesinde durma aşamasına gelmiştir. Çalışmadan sonuca bakılarak, gerçek arazi ile proje arasında farklılıkların olduğu saptanmıştır. Sahada kontrole daha çok önem verilmesi gerekliliği görülmüştür.

Geoteknik alanında bilgisayar çözümü ve hesaplamaları toplu olarak veren çalışma yapılmıştır [4]. İksa hesabı, sıvılaşma ve istinat duvarı gibi hesaplamaları yapıp, analizler gerçekleştirilmiştir. Bunlar VBA basic gibi programlama dilleriyle yapılmıştır. Jetgrouting için hesaplamalar yapılmıştır. Ek olarak Plaxis'ten yararlanılmıştır. Taş kolon, şev stabilitesi, enjeksiyon ile iyileştirme ve diğer Geoteknik'in diğer konularının ileri seviyelere getirilmesi önerilmiştir.

Fore kazık ile yapılan iksa sistemleri ile derin kazılarda çok rastlanan ankrajlı iksa sistemleri arasında karşılaştırma yapabilmek için başka bir programdan yararlanılmıştır [5]. Program sayesinde iki yöntem için analizler yapılmış, tasarım ve maliyet karşılaştırılmalarına bakılmıştır. Derinliğin az olduğu yerlerde kazıklı sistemlerin daha ekonomik olduğu görülmüştür. Program sayesinde iki sistemde çözülüp, uygun olanı bulmak mümkün hale gelmiştir.

Zemine çivili bir duvarın toprak kayması sonucu hareketleri incelenmiştir [6]. Buradaki amaç toprak kayması olmuş bir bölgede zemin çivisinin uygulanabilirliği saptanmıştır. Yüksekliği 3 m olan çivili duvar, 15°'lik eğim ile boyu 12 m olan çivilerle desteklenmiştir. Yatayda 1.8 m, düşeyde ise 1.2 m aralıklarla yerleştirilmiştir. 8 m'lik çivili duvar, boyu 10 m olan çiviler yardımı ile şeve tutturulmuştur. Yataydaki açıklık 1.7 m, düşeyde 2.1 m aralıklar yerleştirilmiştir. Hesaplar limit denge durumuna göre yapılmıştır.

BÖLÜM 3

YANAL TOPRAK İTKİSİ

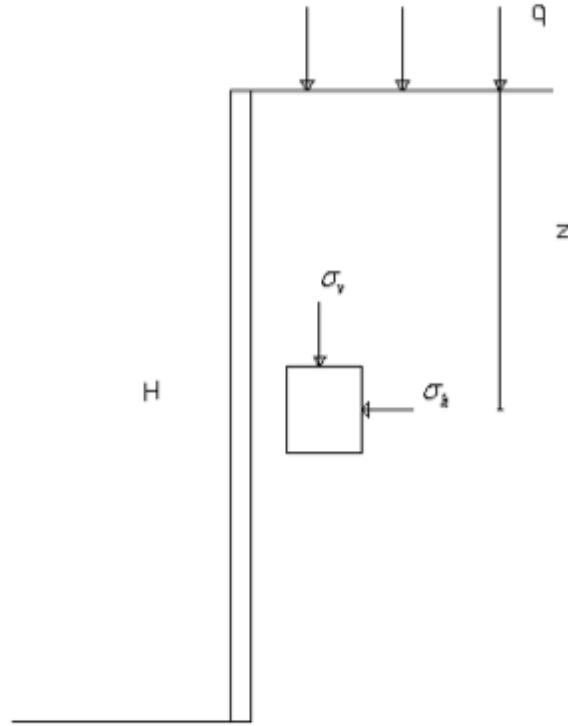
Toprağın kazılması, üstüne yük bindirilmesi veya toprağın eşelenip yer değiştirmesi gibi durumlarda zeminde denge bozuklukları görülür. Kazı işlemi yapıldıktan sonra şev eğimleri olması gereken sınırı aşmış ise zeminde yanal hareket görülür. Uygulamalarda iksa sistemleri, alınan topraktan sonra yan tarafta bulunan yüzeyleri tutabilmek ve fazla yanal hareketleri engelleyebilmek amacıyla geliştirilmiştir. Yapıları projelendirebilmek ve boyutlandırabilmek amacıyla toprağa gelen yanal basınçları bilmek gerekmektedir. Özellikle dikkat edilmesi gereken yer deformasyonların, yanal toprak basıncına ne derecede etki ettiği, Zemin ile yapı arasındaki rölatif hareketler yanal toprak basıncının davranışını etkiler. Bunlar için sınır değerler belirtilmiştir.

Sükunetteki toprak basıncı; zeminin duvara veya duvarın zemine karşı hareket göstermediği durumdaki basınçtır. Aktif toprak basıncı; zeminin, kazıya yönelmesiyle birlikte yapıya dayandığı sırada, sistemin kazıya doğru hareketi sonucu oluşturduğu basınçtır. Pasif toprak basıncı; sistemin arkaya hareketi sonucu zemini sıkıştırarak, iksaya etkiyen ve sistemin zemine doğru yer değiştirmesiyle oluşan basınçtır. Aktif toprak basıncının en düşük değerde olmasıyla, zeminin iç kısma yönelmesiyle kırılma anında oluşur. Pasif toprak basıncının en yüksek değerde olmasıyla, zeminin şişmesi ile kırılma durumu olmadan önce desteğe gelen basınçtır.

$$K_p > K_0 > K_a \quad (3.1)$$

3.1 SÜKUNETTEKİ TOPRAK BASINCI

Zemine, ince bir madde sürtünme olmaksızın düşey bir şekilde sokulursa, yer değiştirme yapmayacak şekilde önü açılarak maddeye etki eden gerilmeler sükunetteki yanal gerilmelerdir.



Şekil 3.1 Sükunet toprak basıncı yanal gerilme hali.

Yanal itki duvar arkasında, Z düşey mesafesinde suyun da olduğu kabul edilerek;

$$\sigma_h = \sigma'_v + K_0 u \quad (3.2)$$

Denklemleri ile sağlanabilir. Burada σ'_v ; z mesafesinde efektif düşey gerilme, u istenilen yerdeki suyun basıncı, K_0 katsayısı sükûnetteki toprak basıncıdır.

K_0 Katsayısı deneysel olarak;

Granüler zeminlerde; $K_0 = 1 - \sin \theta^1$

Normal konsolide killerde; $K_0 = 0.95 - \sin \theta^1$

Aşırı konsolide killerde; $K_{0c} = K_{0nc} \sqrt{OCR}$

Şeklinde tahmin edilebilir.

K_0 değerleri bazı zemin çeşitleri için aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

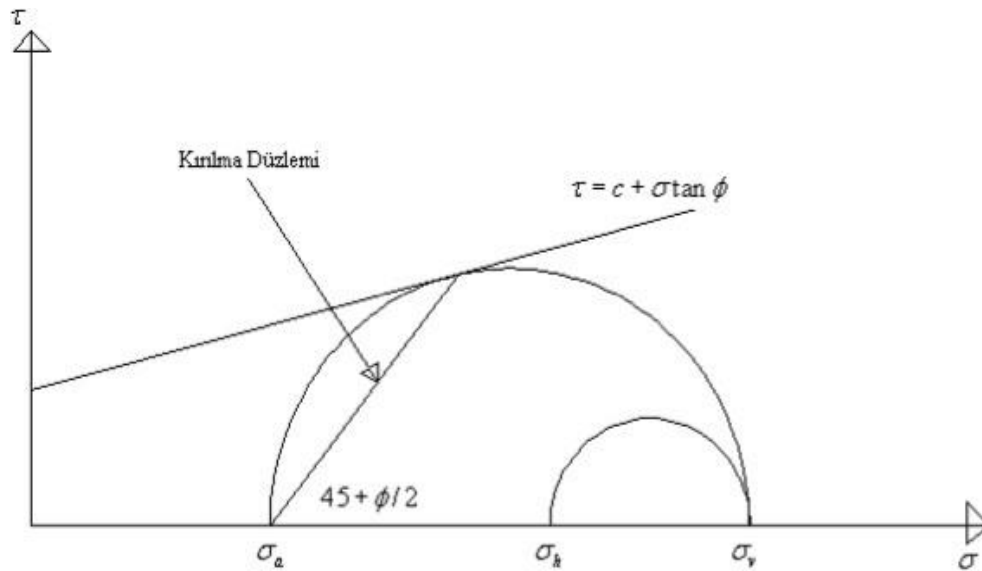
Çizelge 3.1 Zemin türleri için K_0 değerleri.

Zemin Türü	K_0
Gevşek Kum	0.50
Sıkı Kum	0.35
Sıkıştırılmış Kum	1 – 1.5
Normal Konsolide Kil	0.5 – 0.7
Aşırı Konsolide Kil	1 – 4
Sıkıştırılmış Kil	1 - 2

3.2 RANKİNE TEORİSİ

3.2.1 Aktif Rankine Toprak İtkisi

Şekil 3.1’de verilen duvar yanal şekilde dışa doğru yönelir veya alt kısmı tarafında öne doğru dönme yaparsa zemin elemanlarında düşey yönde olan gerilmeler değişime uğramazken yanal yönde olan gerilmelerde azalma gözlenir. Üzerinde çalışılan kısımda düşey gerilmeye nazaran azalan yanal gerilmeler minimum değere geldiğinde Şekil 3.2’deki gibi zeminde kırılma meydana gelir. Ulaşılan değer aktif zemin itkisi olarak adlandırılır.

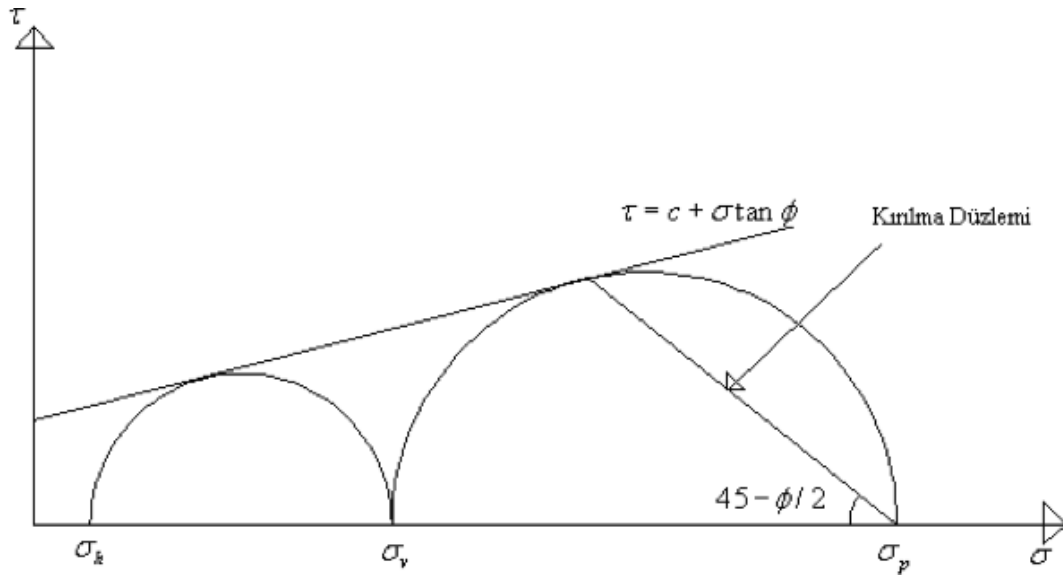


Şekil 3.2 Aktif Rankine kırılma zarfı.

Duvarın sürtünmesiz, düşey ve arka kısmının düz olması halinde yanal ve düşey gerilmeler asal gerilme haline gelip duvarın arka kısmında kırılma anına geldiğinde aktif gerilme küçük, düşey gerilme ise büyük asal gerilme değerindedir.

3.2.2 Pasif Rankine Toprak İtkisi

Aşağıda Şekil 4.3'te gösterilen duvar zemin tarafında doğru ötelenme yapar veya alt kısım tarafında zemine taraf dönme yaparsa, zemin elemanında düşey gerilmeler değişime uğramazken yanal gerilmeler artmaya başlar.



Şekil 3.3 Pasif Rankine kırılma zarfı.

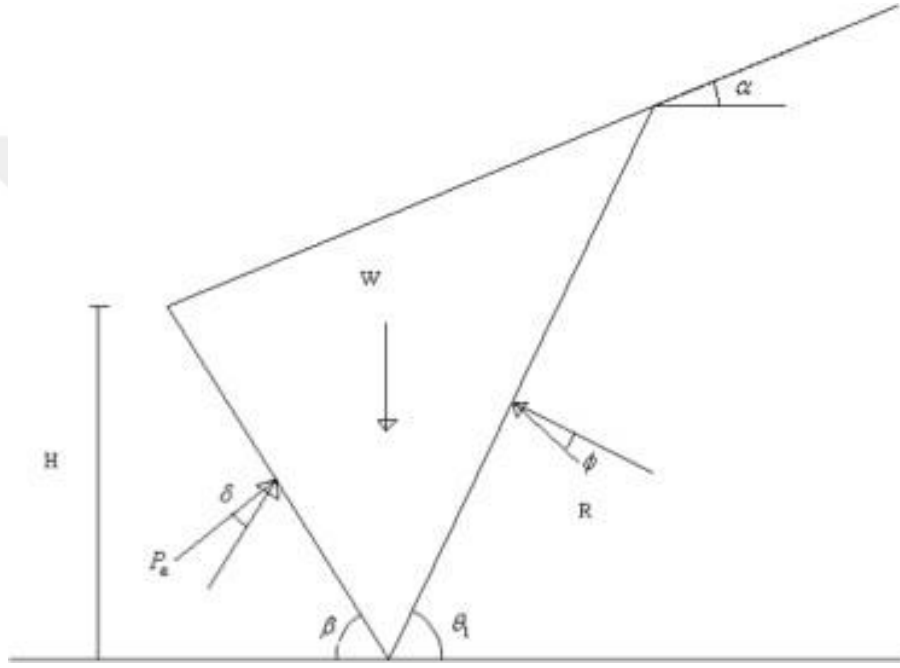
Normal şartlar altında yanal gerilmeler, düşey gerilmelerden azdır ve önce düşey gerilmelere eşitlenir. Artan değerlerin σ_p limit değerine ulaşması durumunda zeminde kırılma gözlenir. Geline bu değer pasif zemin itkisidir. Yukarıdaki şekillerde Mohr daireleri kullanılarak gösterilmiştir.

“Pasif yanal itki eğer aktif itkiden daha fazla yan kısma doğru ötelenme hareketi yapması halinde oluşur. Duvar üst noktasının gevşek kumda, $0.006H$, sıkı kumda $0.002H$, yumuşak kilde $0.04H$, katı kilde $0.02H$ mertebelerinde yer değiştirmesi gerekmektedir. [7].”

3.3 COULOMB KAMA TEORİSİ

3.3.1 Coulomb Aktif Toprak İtkisi

Yukarıda verilen Rankine itkilerinden farklı olarak duvarın arkasında (arka zeminde yatayla yapılan α açısının, arkada sürtünme doğan durumlar ve duvarın düşey olmadığı) yapılan çözümler zeminin granüler olduğu zaman Coulomb tarafından kohezyon sıfır olarak verilmiştir.

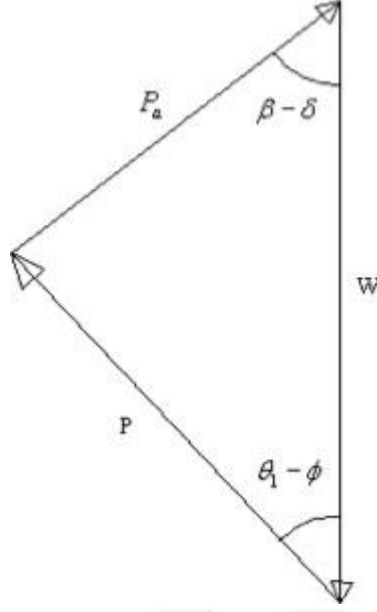


Şekil 3.4 Kama metodunun grafik hali.

Toplam itki kuvveti analitik çözüm olarak;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{ac} \quad (3.3)$$

ile hesaplanabilir.



Şekil 3.5 Toplam itkinin analitik görünümü [35].

Yukarıdaki şekilde verilen θ_1 açısı duvarın arka kısmında deneme kırılma alanının belirlendiği zeminin kütle dengesi ele alındığında kamaya etki eden kuvvetler W ağırlığı, kırılma yüzeyinde oluşan R kuvveti ve duvarın verdiği tepki P_a 'dır. Yana ve aşağıya doğru yer değiştirmeye çalışan kama için R ve P_a engel olabilmek için eğik olma zorundadır. Duvarın sürtünme açısı δ , P_a duvara dik doğrultudan δ kadar aşağı, zeminin sürtünme açısı ϕ , kırılma yüzeyine dik R , ϕ açısı yapacak şekilde aşağıya doğru yönlenmişlerdir. Düşey yönü bilinen ve kama için hesaplanabilen W ağırlığı ele alınınca, R ve P_a bulunabilir. θ_1 açısını değiştirerek P_a 'lar bulunabilirse en çok zemin itkisi veren Coulomb yanal itkisi olacaktır.

Coulomb itki katsayısı (K_{ac}) ;

$$K_{ac} = \frac{\sin^2(\beta + \theta)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta + \delta) \sin(\theta - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.4)$$

İle bulunabilir.

Eğer duvarın arka kısmında yayılı q yükü var ise;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma_{eq} H^2 K_{ac} \quad (3.5)$$

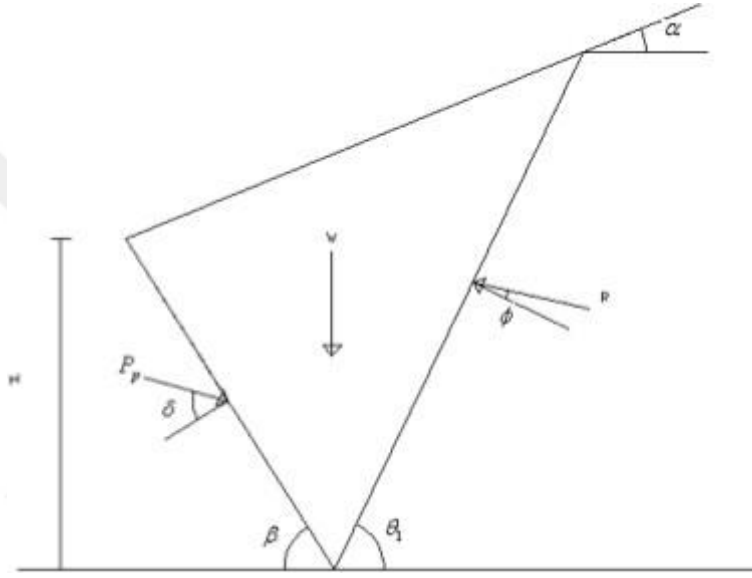
ile toplam itki bulunur. γ_{eq} eşdeğer birim hacim ağırlığıdır.

$$\gamma_{eq} = \gamma + \left[\frac{\sin \beta}{\sin(\beta + \alpha)} \right] \left(\frac{2q}{H} \right) \quad (4.6)$$

İle bulunur.

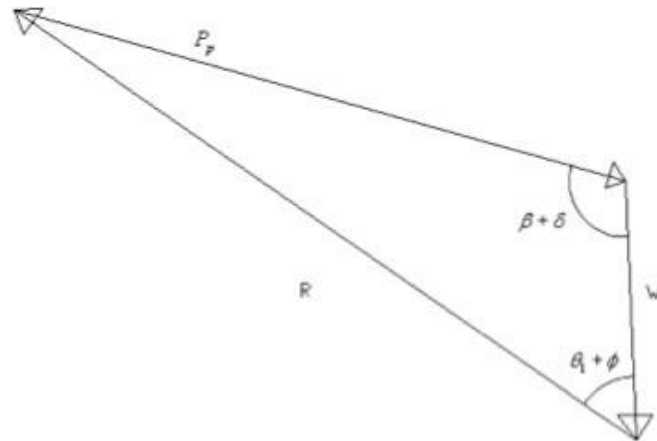
3.3.2 Coulomb Pasif Toprak İtkisi

Duvarın ve arka zemininin Rankine şartlarından farklı olduğu hallerde pasif itki, kamanın denge durumu Coulomb tarafından hesaplanmıştır.



Şekil 3.6 Kama metodunun grafik hali [35].

Temel mühendisliğinde kullanılmamasına rağmen granüler zeminler için grafik yukarıda Şekil 3.6’da analitik görünümü aşağıda Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7 Kama metodunun grafik hali [35].

Zemin kaması yer değiştirmesi halinde zeminde kırılma ihtimali vardır. Bu sefer P_p yukarı doğru δ , ϕ kadar yukarı doğru yönelmişlerdir. W'nin yönü ve büyüklüğü, R ve de P_p 'nin yönleri bilindiğinden P_p ve θ_1 bulunabilir. P_p bulunduğu için bulunacak diğerk değerler arasında en az değerde olanı zemin pasif itkisi olacaktır.

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{pc} \quad (3.7)$$

$$K_{pc} = \frac{\sin^2(\beta - \theta)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta + \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (3.8)$$

elde edilir.

Zemin ile duvar malzemesi arasında duvarın arka kısmında oluşacak δ açıları aşağıdaki Çizelge 3.2'deki gibidir.

Çizelge 3.2 Zemin cinsine göre duvar-zemin sürtünme açıları.

Zemin Cinsi	δ (°)
Temiz çakıl, çakıl kum karışımı, iyi derecelenmiş kaya dolgu	22-26
Temiz kum, siltli kum-çakıl karışımı, tek boyutlu sağlam kaya	17-22
Siltli kum, çakıl veya siltli ya da kille karışmış kum	17
İnce kumlu silt, plastik olmayan silt	14

Yukarıdaki değerler prekast beton veya kalıplı beton için verilmiştir. Betonun kalıpsız dökülme durumlarında katı, orta katı, siltli kilde 17-19°, sert kilde 22-26°, temiz kum çakıl karışımlarında 29-31°, temiz kayada 35° alınabilir [8].

3.4 ÇEŞİTLİ ZEMİN YÜKLEME DURUMLARINDA TOPRAK BASINÇLARI

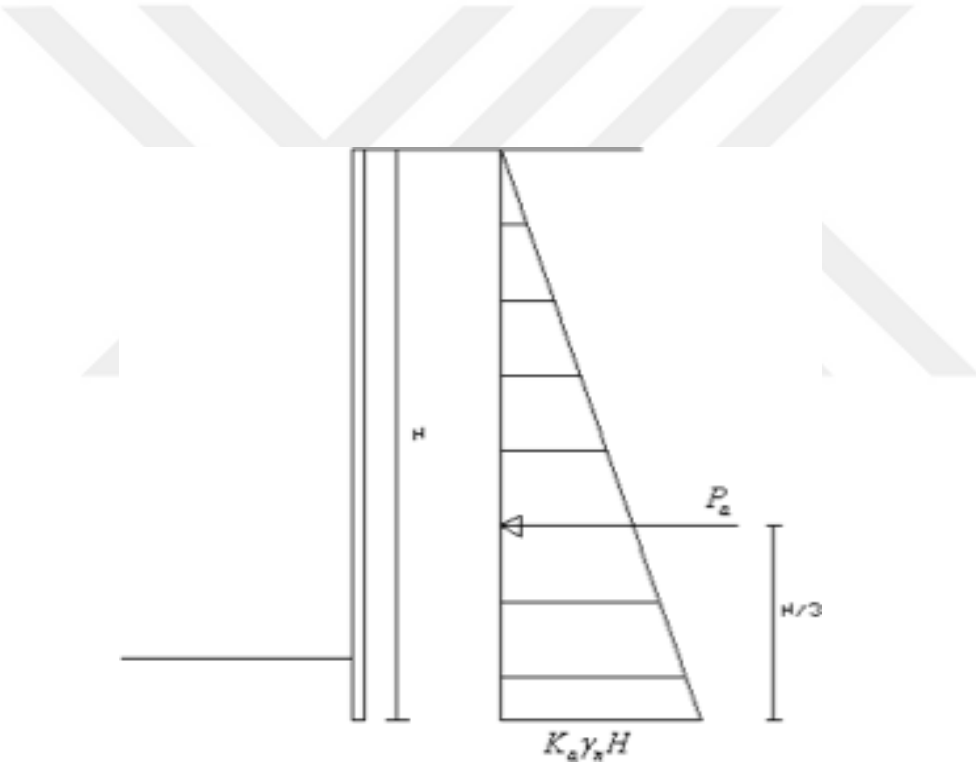
3.4.1 Duvar Arkasındaki Zeminin Aynı Olması Durumunda

Aktif yanal basıncın dağılım hali üçgen şeklindedir ve derinlik ile lineer olarak artış gösterir.

Toplam basınç ;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (3.9)$$

Basınç aşağıdaki Şekil 3.8’de gösterildiği şekilde duvar tabanının H/3 kadar üst kısmından etki eder.



Şekil 3.8 Aktif toprak basınç dağılımı [35].

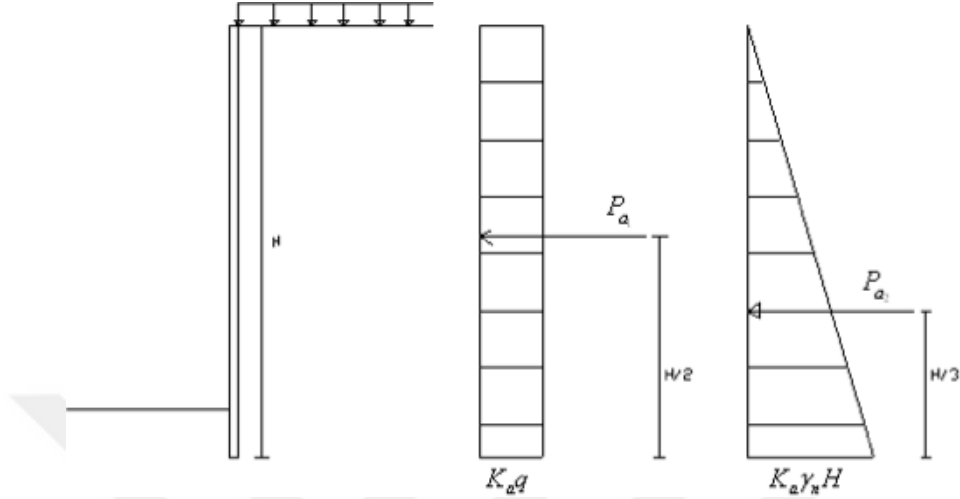
3.4.2 Duvar Arkası Zeminin Aynı ve Üniform Yayılı Yük Olması Durumunda

Üniform yayılı yük belli bir yükseklikte toprak itkisi yaratır.

Zeminin yüzeyinde oluşan toprak basıncı ; $K_a q$

Duvarın alt kısmında oluşan toprak basıncı ; $K_a q + K_a \gamma_n H$

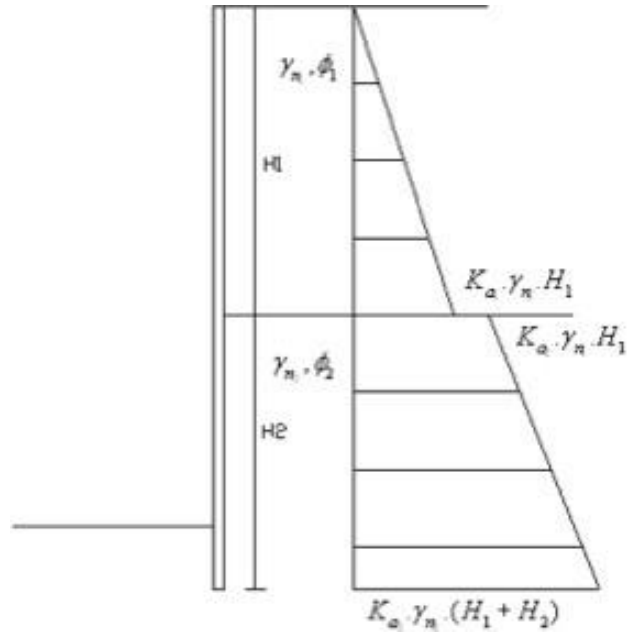
Bu halde oluşan basıncın dağılımı yamuk şeklini alır. Aşağıdaki Şekil 3.9’da gösterildiği üzere yamuk, üçgen ve dikdörtgenden oluşur. Alanlarının oluşturduğu toplamda basınç değerleri ve ağırlık merkezleri tatbik noktalarını belirtir.



Şekil 3.9 Üniorm yayılı yükün zeminde oluşturduğu toprak basınç dağılımı.

3.4.3 Duvarın Arkasında Tabaka Halinde İki Farklı Zemin Bulunması Durumu

Aşağıda Şekil 3.10’da gösterildiği gibidir fakat bu $\phi_1 > \phi_2$ halleri için geçerlidir.



Şekil 3.10 Tabaka halindeki zeminlerde yatay toprak basınç dağılımı [35].

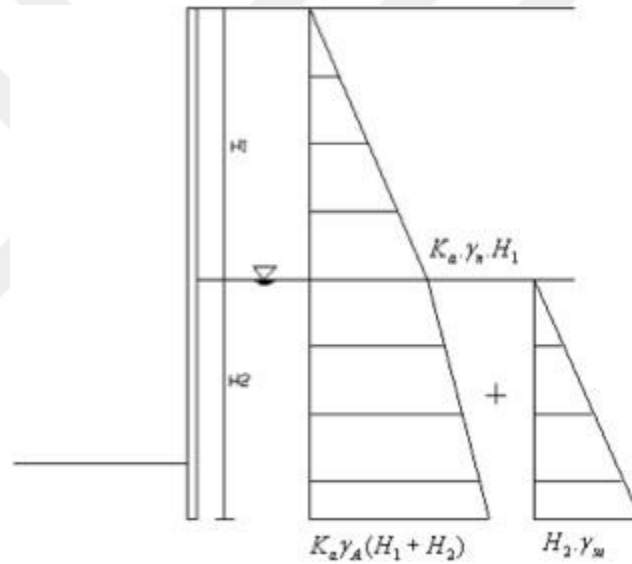
3.4.4 Duvar Arkasındaki Zemin Aynı ve Yer Altı Suyunun Bulunması Durumu

Hidrostatik basıncın ve yanal toprak basıncının olması durumudur. Üzerinde durulması gereken kısım, suyun altında zemin itki hesaplandığı için suyun birim hacim ağırlığı alınması gerekmektedir. Aşağıdaki Şekil 3.11’de kesit verilmiştir.

Suyun altındaki birim hacim ağırlığı;

$$\gamma_A = \gamma_d - \gamma_w \quad (3.10)$$

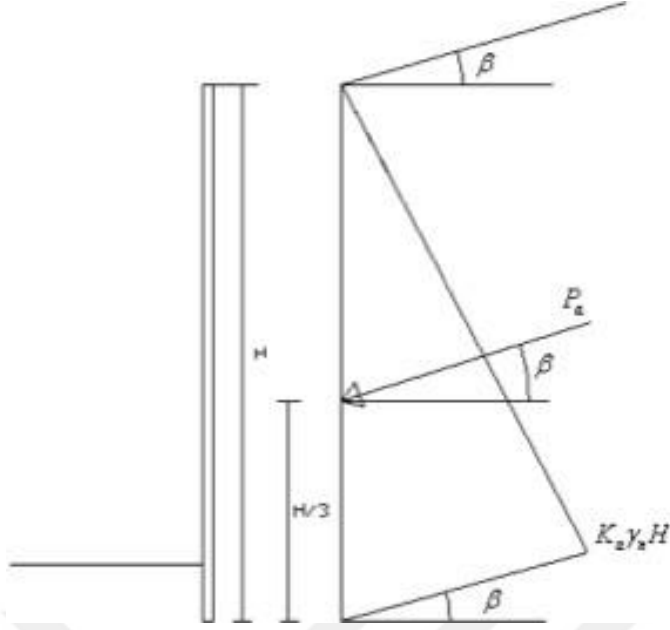
şeklinde hesaplanır.



Şekil 3.11 Yer altı su olması halinde toprak basınç dağılımı [35].

3.4.5 Duvar Arkasında Zemin Yüzeyinin Eğimli Olması Durumu

Bahsedilen durum aşağıdaki Şekil 3.12’de verilmiştir. Zemin ile yatay arasında β açısı oluşur. Açı baz alınarak verilen formülde bir K_a değeri hesaplanır.



Şekil 3.12 Zeminin eğik olması halindeki yatay toprak basınç dağılımı.

$$K_a = \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \phi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta + \cos^2 \phi}} \quad (3.11)$$

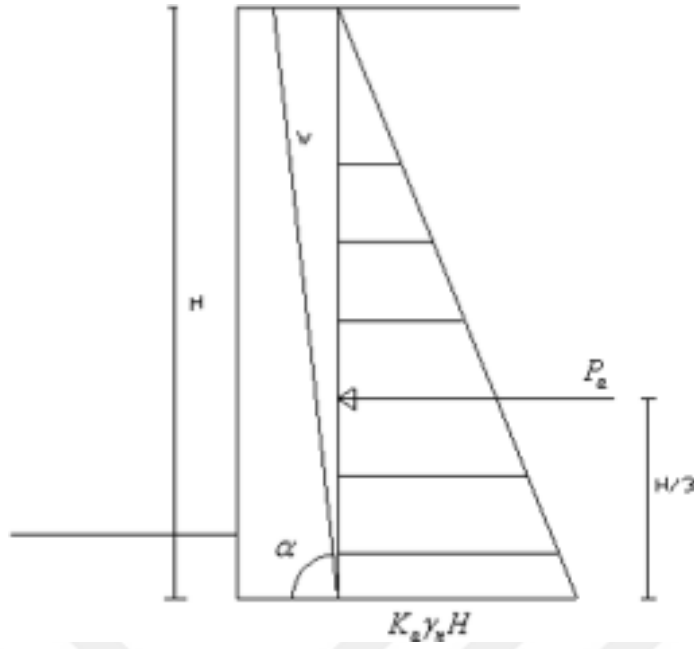
Toplam basınç;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (3.12)$$

Zemin eğer su altında ise, yanal zemin basınçları yatayda β açısı oluşturur. Suyun basıncı duvarın arka kısmına dik olarak etki eder.

3.4.6 Duvarın Arkası Eğik Olması Durumunda

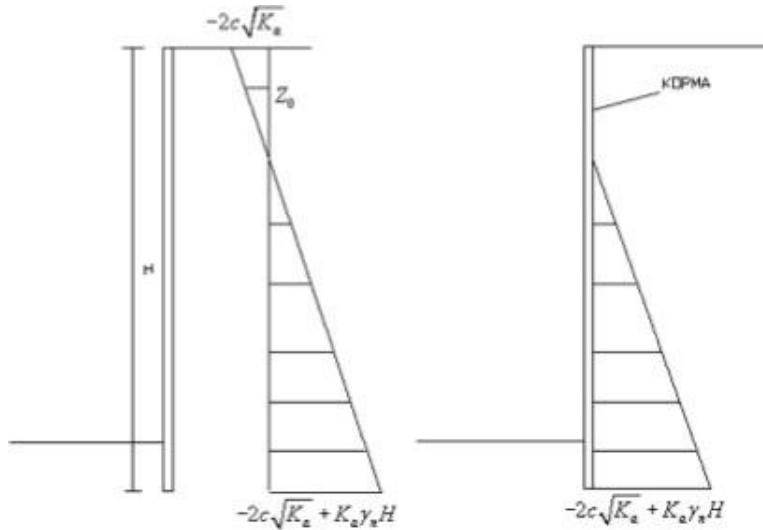
Aşağıdaki Şekil 3.13'te verildiği gibi arada oluşan zemin kamasının ağırlığı ve aktif toprak basıncı etki eder [9].



Şekil 3.13 Duvarın arka kısmının eğik olma halindeki toprak basınç dağılımı.

3.4.7 Duvar Arkasındaki Zeminin Kohezyonlu Olma Durumu

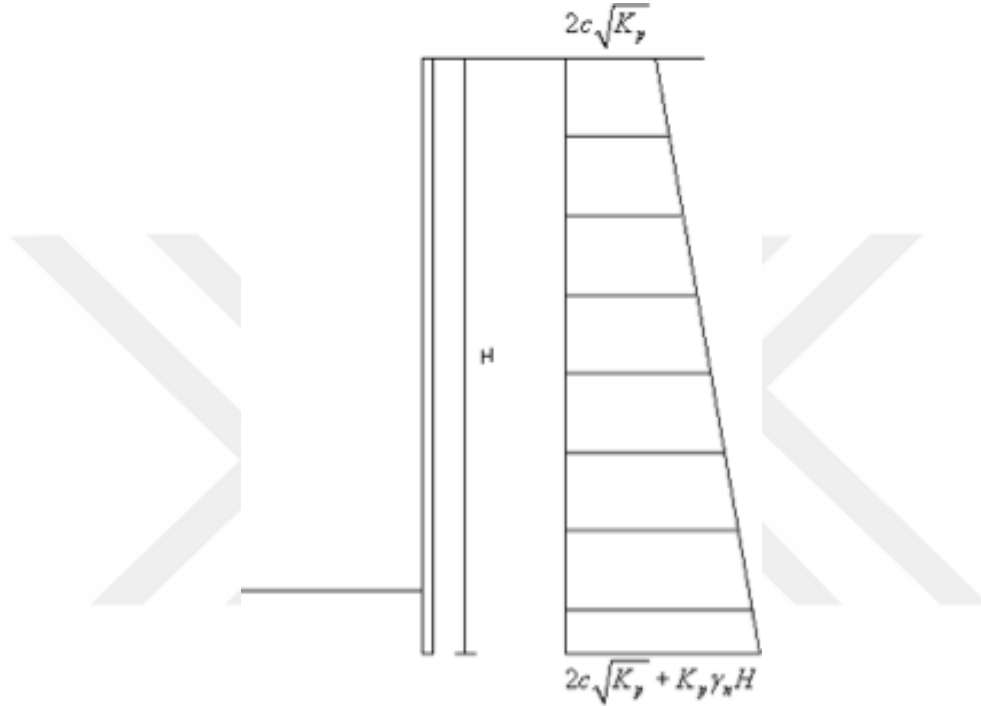
Zeminin üst bölümünde çekme gerilmesi olması beklenir fakat pratikte bu durum gerçekleşmez. Z_0 kadar derinlikte zemin ile duvarın arkasındaki temas kaybolur. Bu durumda yanal zemin basıncı etki edemez.



Şekil 3.14 Duvar arkasındaki zeminin kohezyonlu olma durumunda yatay toprak basıncı.

$$Z_0 = \frac{2c\sqrt{K_a}}{\gamma_n K_a} \quad (3.13)$$

$2Z_0$ derinliğince kohezyonlu zeminlerde, kaplamaya gerek duyulmadan kazı yapılabilir. Dik yan yüzölçü kazı yapılabilmesinin sebebi net yanal itkinin sıfır olmasıdır. Rankine teorisine göre kohezyonsuz zeminde pasif durumlarda duvarın arka kısmına etkiyen pasif yanal basınç derinlikle lineer olarak artar. Genel olarak bir zeminde $c \neq 0$, $\phi \neq 0$, şeklindedir. Aşağıdaki Şekil 3.15'te duvarın arka kısmına gelen pasif toprak basıncı Rankine teorisine göre gösterilmiştir [8].



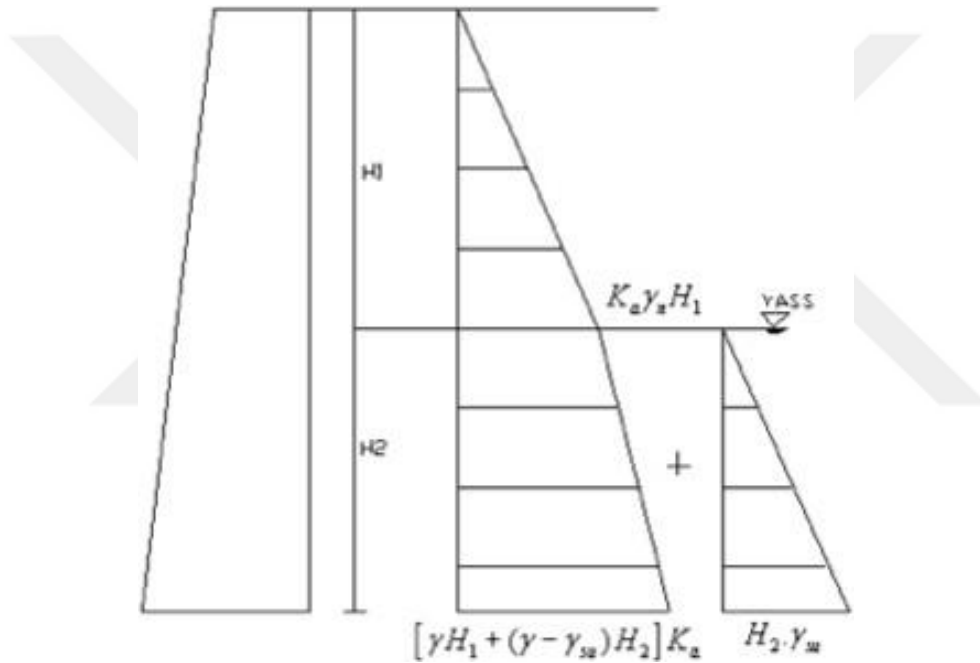
Şekil 3.15 Genel şekliyle duvara etki eden pasif toprak basınç dağılımı.

3.4.8 Duvar – Zemin Sürtünmesi

Duvar ile zemin arasındaki sürtünmenin hesap yapılırken etki edilip edilmeyeceği konusu tartışılmıştır. Packshaw bu konu ile ilgili çalışma yapıp içsel sürtünme açısı ile duvar sürtünme açısı arasında bir bağ olmadığını göstermek için, kohezyonsuz zeminlerde δ 'nın 17 ile 30 derece aralığında bir değer aldığını söylemiştir. Eğer deney yoksa, tuğla ve beton duvarlar için 20, bitümlü kaplı çelik palplanşlar veya katran için 30 ve de kaplı olmayan palplanşlar için 15 derece alınabilir. Daha önce Rankine teorisinde duvar sürtünmesinin alınmadığı ifade edilmiştir. Eğer sürtünme hali var ise aktif toprak basınç değerinde azalma görülür [2].

3.4.9 Yer Altı Su Seviyesi

Zeminin birim hacim ağırlığı, YASS'nin durumu ve su muhtevası ile değişiklik gösterebilir. Yer altı su seviyesinin üst kısmında bulunan zeminin killi zeminlerde doymun olduğu varsayılır. Suyun altındaki zeminin ağırlığı doğal birim hacim ağırlığından birim hacim ağırlık kadar azdır. Bu da toprağın basıncını düşürür. Aşağıdaki Şekil 3.16'da verildiği gibi yer altı su seviyesi üstündeki basınç zeminin doğal birim hacim ağırlığından oluşuyormuş gibi alınır. Su seviyesinin altında oluşan basınç ise, hem su seviyesinin durumuna tekamül eden hem de zeminin suyun alt kısmındaki birim hacim ağırlığından, hidrostatik basıncın etkisi ile oluşur.



Şekil 3.16 Yanal toprak basıncında yer altı su seviyesinin etkisi.

3.4.10 Kohezyonlu Zeminlerde Drenaj Koşulları

Duvar inşaatı esnasında ve ardından yapılan stabilite analizlerinde kullanılması gereken parametreler stabilite analizlerinde kullanılan drenajsız kayma mukavemetleridir. Toplam gerilemelere göre yapılan bu hesapları, boşluk basıncı için bir azalış olmadan zeminin bütün ağırlığı göz önüne alınmalıdır. $\emptyset = 0$ alınarak killi zemin doymun ise basitleştirme yapılabilir. Fakat killi zeminlerde 1 – 2 m derinliklerde çatlaklar oluşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Su ile çatlaklar dolabilir. Su seviyesi duvarın arkasına gelecek toplam basınçta hesaba katılmalıdır. Eğer uzun zamanlı bir stabilite hesabı yapılacak ise efektif

gerilmeler de düşünölmelidir. Duvarın arka bölümünde drenaj yapılmış ise, boşluk basıncını hesaplayabilmek için akım ağı çizmek gerekmektedir.

3.5 YATAY TOPRAK BASINCINA ETKİYEN DEĞİŞKENLER

Yanal toprak basıncının azalmasında etkili faktörlerden biri duvarın kazı bölgesine doğru hareketidir. Yatay hareketler; kazının arka kısmında dolgu zemine doğru artış gösterecektir. Zemin eğimi; yanal toprak basınçları dolgu zeminin eğiminin artması ile artacaktır. Zemin kayma mukavemeti; aktif toprak basıncı zemin kayma mukavemetinin artması ile azalış, pasif toprak basıncı ise artış gösterecektir. Zemin ile destekleme sistemleri arasındaki sürtünme kuvvetinin artması ile pasif toprak basıncı artma, aktif toprak basıncı azalış gösterecektir. Birim hacim ağırlık arttıkça her iki toprak basıncı da artış gösterecektir. Kazının derinliği ise arttıkça pasif ve de aktif toprak basınçları da artış gösterecektir [9].

3.6 ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNE GELEN YATAY TOPRAK BASINCI VE DAĞILIMI

İki grupta dayanma yapıları incelenebilir. Rijit dayanma yapıları; deformasyonları az olur (istinat duvarları), eğilme rijitlikleri fazladır. Esnek dayanma yapılarında ise deformasyonları rölatif olarak daha büyüktür ve eğilmeye karşı rijitlikleri azdır. Palplanş perdeler örnek olarak verilebilir.

İksa sisteminin rijitliğine ve iksanın esnekliğine göre yanal toprak basınçları değişiklik gösterebilir. Boyutlandırılması sisteme gelen toprak basınçlarına göre yapılır. Basıncı da sistemin yaptığı deformasyonlara göre değişebilir. Duvarın yaptığı hareket aktif basınç durumundayken bileşke kuvvetin etkidiği noktayı belirtir, bundan dolayı eğilme momentlerinin değerleri farklılık gösterir. Duvarın altından veya üstünden uç kısımları tarafından dönmesi sonucunda oluşan basınç dağılımları, uygulama esnasında baz aldığımız lineer davranıştan farklılık gösterir.

Duvarların hareketlerinin farklı olmasında buna bağılı olarak farklı toprak basıncı dağılımlarının meydana gelme nedeni; zemini ortam olarak modelleyebilmekten dolayıdır. Eğer zemini yay grupları gibi düşünüp modeli oluşturursak asıl oluşacak toprak basıncı dağılımlarına ulaşmak zor olacaktır. Modellemelerde yaylar bağımsızdır bundan dolayı

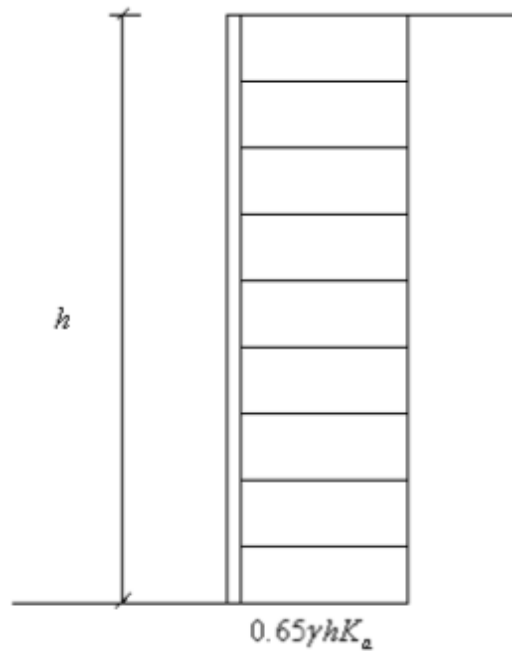
süreklilik arz eden bir ortamda gerçekte zeminde oluşacak karşılıklı etkileşme hesaba katılmaz, incelenmez.

Bu sebeplerden dolayı; Coulomb ve Rankine toprak basınç teorileri çok sıra ankrajlı iksa sistemlerinde kullanılmazlar. Sistemin kırılma noktalarının farklı olmasına, sistem yapılırken uygulanan aşamalarına, duvarın yapmış olduğu deformasyon çeşidine bağlıdır. Toprağın bir bölgeye yığılmaya sonucunda oluşan toprak basıncı destek elemanlarında aşırı yük oluşur, buna bağlı olarak sistemin toptan kırılmasına sebep olacak ardışık kırılmalar oluşabilir. Önlem alabilmek adına destek elemanları tasarlanırken, desteklere binecek yüklerin ortalama değerine nazaran olabilecek maksimum yatay destek yükleri girilmelidir. [10].

3.7 KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ÇOK SIRA İKSA SİSTEMLERİNE GELEN YATAY TOPRAK BASINÇ DAĞILIMI

3.7.1 Terzaghi – Peck Toprak Basınç Dağılımı

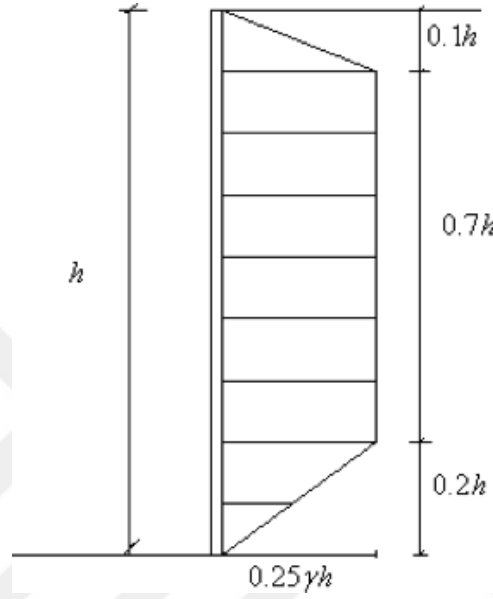
Bu dağılım modelinde desteğe binecek maksimum yük öğrenilir. Maksimum yük desteğe gelen en fazla yükten %35 oranında daha azdır. Bu oran kazı derinliği 8.5 – 12 m olduğu zaman ortaya çıkmıştır. Aşağıdaki Şekil 3.17’de bu durum gösterilmiştir [11].



Şekil 3.17 Kohezyonlu zeminlerde Terzaghi – Peck toprak basınç dağılımı.

3.7.2 Tschebotarioff Basınç Dağılımı

Aşağıdaki Şekil 3.18’de Tschebotarioff’un kohezyonsuz zeminlerde önermiş olduğu toprak basınç dağılımı verilmiştir. Maksimum değer; $0.25\gamma h$ formülü ile hesaplanır. Bu değer bir yamuğu oluşturur. Zemin yüzeyinin $0.1h$ kadar aşağısında başlar, kazı tabanından $0.2h$ kadar yukarıda biter [10].

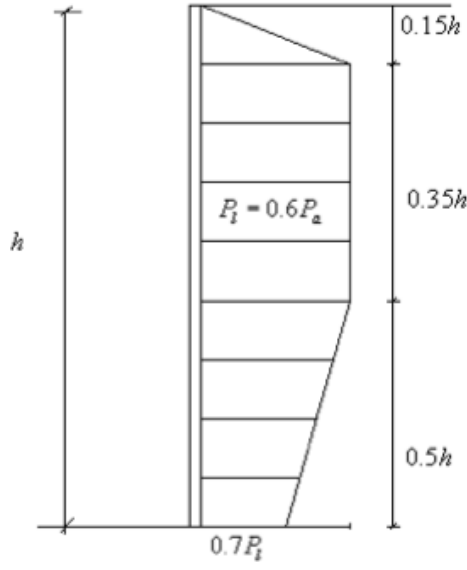


Şekil 3.18 Tschebotarioff yatay toprak basınç dağılımı.

3.7.3 Lehmann Toprak Basınç Dağılımı

Aşağıdaki Şekil 3.19’da Lehmann’ın kohezyonsuz zeminler için önerdiği toprak basınç dağılımı verilmiştir. P_a ; toplam aktif toprak itkisi. P_i ; toprak basıncının maksimum değeri. P_i ’nin değeri $0.6P_a$ kadardır. Kazının tabanının $0.7P_i$ ’lik gerilme dağılımı mevcuttur [11].

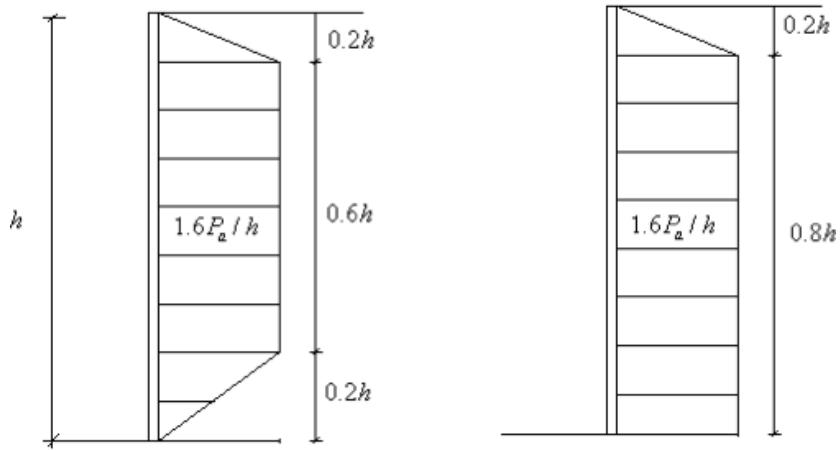
$$P_a = \frac{(\gamma h K_a)h}{2} \text{ 'dir.} \quad (3.14)$$



Şekil 3.19 Lehmann yatay toprak basınç dağılımı.

3.7.4 İsveç Yapı Şartnamesi Toprak Basınç Dağılımı

Kazı tabanındaki toplam aktif toprak itkisi P_a 'dır. Aşağıdaki Şekil 3.20'de buna bağlı oluşan yatay toprak itki dağılımları verilmiştir [12].



Şekil 3.20 İsveç yapı şartnamesi yatay toprak basınç dağılımı.

3.8 KOHEZYONLU ZEMİNLERDEÇOK SIRA ANKRAJLI SİSTEMLERE GELEN YATAY TOPRAK BASINÇLARI

3.8.1 Terzaghi – Peck Toprak Basınç Dağılımı

Teori tam olarak gelişemediği için azaltma katsayısı olarak “m” kullanılmıştır.

$$K_a = 1 - m \frac{4c_u}{\gamma h} \quad (3.15)$$

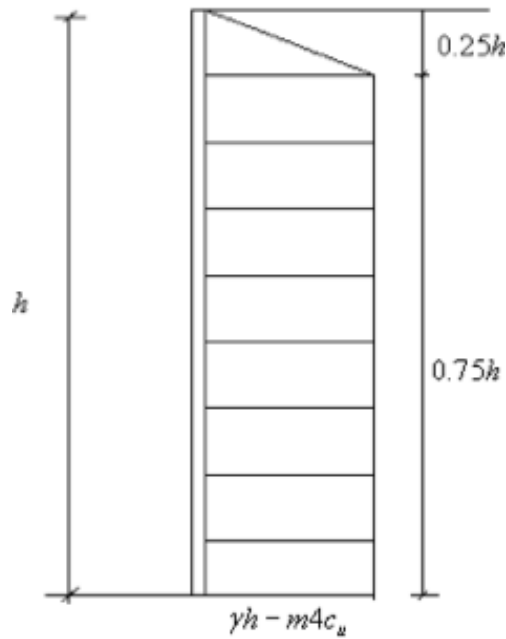
denklemini ile bulunur.

K_a : Aktif toprak basınç katsayısı.

c_u : Drenajsız kayma mukavemeti.

m : 0.4 – 1 arasındaki değer.

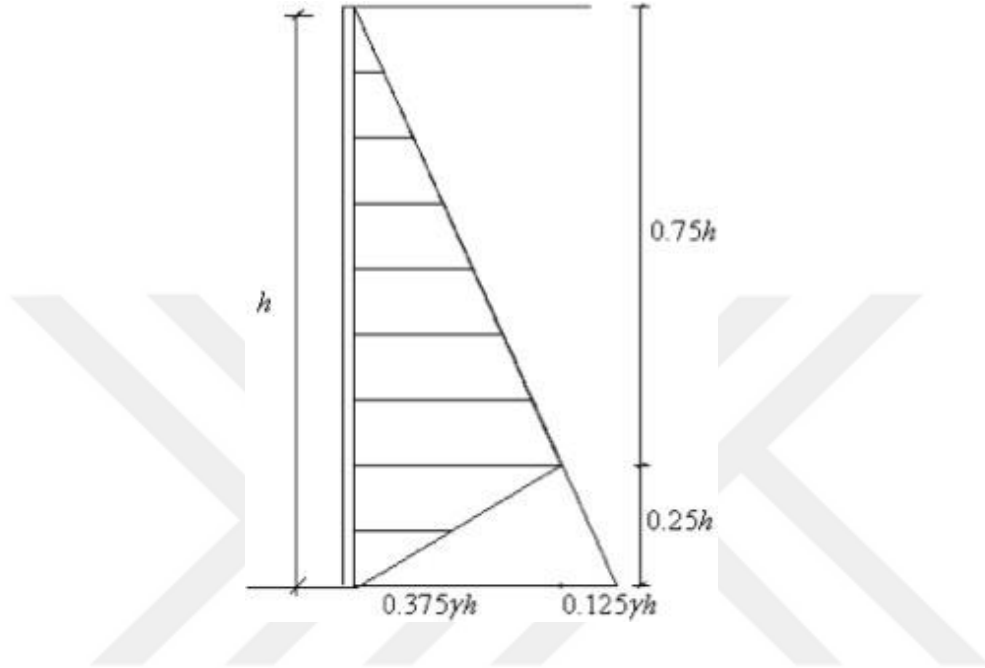
Yumuşak killerde m=0.4, katı killerde m=1 olarak alınabilir. Aşağıdaki Şekil 3.21’de yatay toprak itkisi dağılımı verilmiştir. Dağılımın geometrisi yamuk şeklindedir. Maksimum toprak basınç değeri $\gamma h - m4c_u$ ‘dir [13].



Şekil 3.21 Kohezyonlu zeminler için Terzaghi – Peck toprak basınç dağılımı.

3.8.2 Tschebotarioff Toprak Basınç Dağılımı

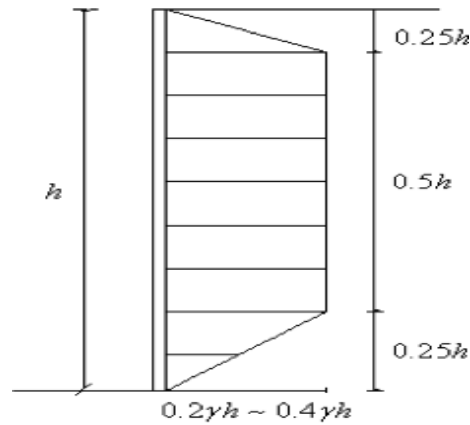
Bu dağılım sürekli destek sistemleri ve orta katı killerde kullanıma uygundur. Aşağıdaki Şekil 3.22’de basınç dağılımı verilmiştir. Maksimum toprak basınç değeri $0.375\gamma h$ ile kazı tabanından $0.25h$ yukarıdadır [14].



Şekil 3.22 Kohezyonlu zeminler için Tschebotarioff yatay toprak basınç dağılımı.

3.8.3 Sert Kohezyonlu Zeminlerde Terzaghi – Peck Toprak Basınç Dağılımı

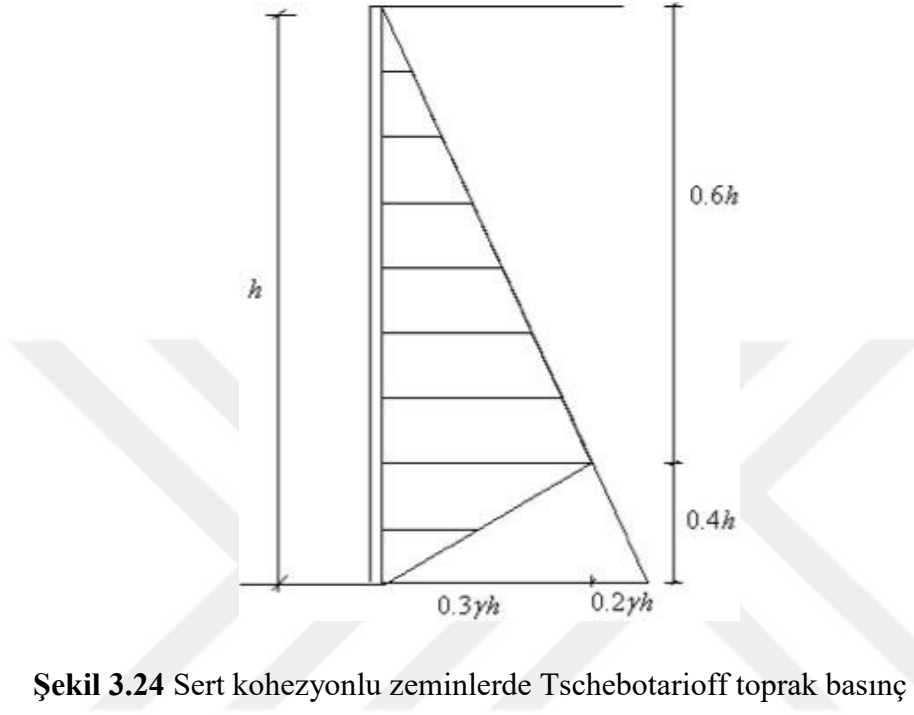
Aşağıdaki Şekil 3.23’te maksimum hesap basıncı verilmiştir. $0.2\gamma h$ ile $0.4\gamma h$ arasında değişir.



Şekil 3.23 Sert kohezyonlu zeminlerde Terzaghi – Peck toprak basınç dağılımı.

3.8.4 Sert Kohezyonlu Zeminlerde Tschebotarioff Toprak Basınç Dağılımı

Aşağıdaki Şekil 3.24'te yanal toprak basınç değerleri ve dağılımı verilmiştir. Maksimum toprak basınç değeri $0.3 \gamma h$ ile kazı tabanından $0.4h$ yukarıdadır [15].



Şekil 3.24 Sert kohezyonlu zeminlerde Tschebotarioff toprak basınç dağılımı.

BÖLÜM 4

DESTEKLEME SİSTEMLERİ

İçerisine yapıların temel bölümünün yerleştirildiği çukurlara temel çukuru denilmektedir. Temel çukuru açılırken yakınında bulunan diğer zeminlerde oturmalar, taşıma gücünde azalmalar veya yanal hareketler biçiminde oluşabilecek tehlikelere karşı güvenli olmak gerekmektedir.

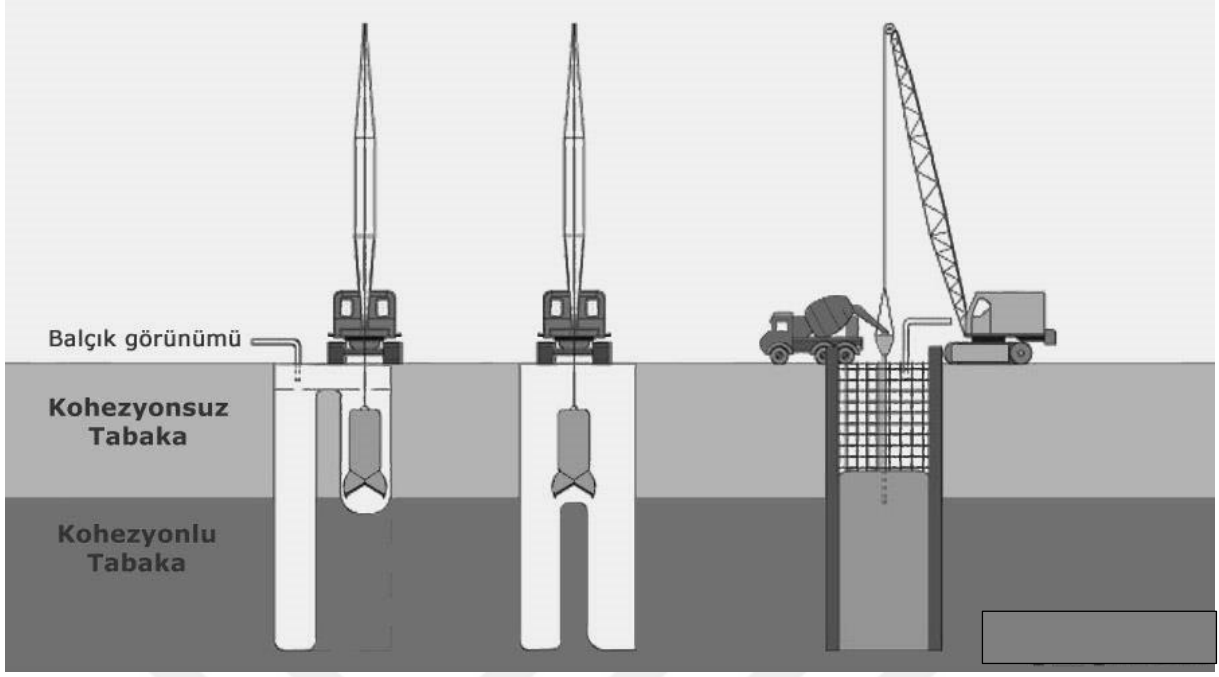
Yer altı suyu şartları, zemin türü, şevin koruması, dayanım parametreleri, taban ve kenar duraylılığı, yan parsellerde oluşabilecek yatay ve düşey yer değiştirmeler ile bunlara bağlı olarak yakındaki yapılarda oluşacak etkiler kazı sisteminin tasarımında ve seçiminde etkili olan etkenlerdir [14].

4.1 DİYAFRAM DUVAR

Temel duvarları ve iksa sistemleri için yapılan yer altı elemanlarıdır. Derinliği, yer altı suyu bariyerlerinin derinliği kadar olan yerlerde de kullanılırlar.

Diyafram duvarlar, öncelikle Avrupa’da kullanılan ülkemizde de son otuz yıldır kullanımına başlanmış bulamaç hendek tekniği ile yapılır. Dar hendekler açılır, bulamaçla veya iç sıvı ile doldurulma işlemi yapılır. Hendek duvarlara hidrolik basınç uygulayan bulamaçlar aynı zamanda göçmeyi engellemek için destek işlevi görür. Bulamaç hendek kazıların her türlü zeminlerde inşa edilmesi mümkündür.

Genellikle yerinde yapılan duvarlar bentonit bulamaç kullanılarak kazılır. Zeminin durumuna ve projeye bağlı kalmaya çalışarak ekskavatör gibi kazı aletleri uygulamada kullanılabilir. Diyafram duvar yapımı hendeğin paneller veya kesikli kesitler şeklinde kazınmasıyla başlar. Eklem oluştursun diye kaplama boruları, birincil panelin uçlarına bitişik şekilde ikincil panellere düşey olarak yerleştirilir. Panellerin genişliği 0.6 metre ile 1.8 metre arasında, uzunluğu ise 3 ile 6 metre arasında değişir.



Şekil 4.1 Diyafram duvar yapımı.

Zemin içerisindeki yeraltı su seviyesi altındaki diyafram duvar panel veya anolarının kazısı ile teşkil edilen hendeğin iç stabilitesi, kazı çukuru içinde seviyesi sabit tutulan bir bulamaç (bentonite çamuru veya polimer) kullanılarak sağlanır. Böylelikle hendek içerisindeki bulamaç çamurunun pozitif basıncı ile kazı anosu betonlama aşamasına kadar stabil tutulur.

Bu yapım yöntemi; su seviyesi yüksek, kendini tutamayan (kohezyonsuz) zeminlerde derin kazıların yapılabilmesi için geçirimsiz betonarme perde oluşturur. Yüksek yapıların derin temel kazılarının yapımında konsol perde ya da ankrajlı sistemler olarak dizayn edilmektedir.

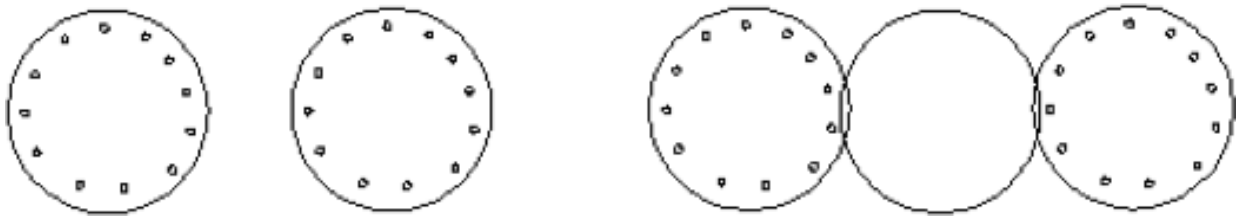
Öndökümlü diyafram duvarlar da bu tekniğin başka bir yöntemidir. Bu yöntem ile hendek veya kendi kendisine sertleşen çimento bentonit bulamaç altında uzun panel kazılır. Bulamacın süreç boyunca sıvı halde kalabilmesi için yapımı geciktirilir. Yeterli derinlikte kazı yapıldıktan sonra vinç yardımıyla öndökümlü betonun duvar kesiti hendeğin iç kısmına taşınır. Çimento bentonit bulamaç sertleşerek duvarın şeklini almaya başlar. İlk olarak bentonit bulamacın altında hendek kazılır ve çimento ile bentonit bulamaç ile değiştirilir. Bu duvar çeşidi genellikle nüfusun yoğun olduğu bölgelerde kullanılır. Mevcutta bulunan temellerin destek kaybını engellemeye çalışarak, var olan yapıların yakın bölgelerine yapılabilirler. Drenaja gerek duyulmaz bu yüzden çökme sorunları ile karşılaşmaz. Başka bir metot olan aç-kapa sistemi tünel inşaatlarında kullanılır. Birbirlerine paralel olarak

yerleştirilen diyafram duvarların arasında kalan bölüm kazılır. Zemin ve tavan plakları dökülerek tavanın üstünde kalan bölüme duvar arkası dolgu yapılır.

4.2 FORE KAZIKLI PERDE

Bu tarz perdeler birbirine kesen, aralıklı veya yan yana olacak şekilde üretilen fore kazıklarla oluşturulur. Desteksiz kendini tutan zeminlerde ve yer altı suyunun derinde olması halinde kazık aralıkları, kazık çaplarının üç katına kadar çıkabilir. Kazık aralıkları, zemin türüne ve istenilen modelin momentine bağlı olarak seçilebilir. Olması gerekenden fazla kazık aralıkları bırakılırsa önlem almak gerekmektedir. Uygulamada genelde tercih edilen kazık çapları; 0.65, 0.8, 1.0 m'dir.

Sızdırmazlık istenmesi halinde birbirini kesen kazıklar kullanılmaktadır. Aşağıdaki Şekil 4.2'de kesişen ve aralıklı kazık çeşitleri verilmiştir. Kesişen kazıklarda atlamalı şekilde birinin donatılı diğerinin donatısız olarak uygulanması yaygındır. Kazık çapları 0.1 m ile 2 m arasında değişebilir. Kazının derinliği az ve kazık çapları büyük ise kazıklı perde konsol olarak çalışmakta ve kazıklar birbirleri mütemadi bir kiriş ile bağlanmalıdır. Eğer kazının derinliği büyük ve çapları küçük ise destek sistemlerinin yatayda deformasyon yapması istenmediği için kazıklı perdeler ankrajlar yardımı ile geriye doğru bağlanmaktadır.



Şekil 4.2 Aralıklı kazık ve kesişen kazık türleri [35].

Çevre, yol ve yapılara zarar gelmemesi için derin temel kazıklar destekleme sistemleri olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Ankraj grubu, kuşak kirişinden oluşan; çevresel yüklere, kazının derinliğine, zeminin koşullarına göre seçilen fore kazıklar yüksek güvenlik gerektiren ortamlarda tercih edilir [15].

4.3 PALPLANŞ

Beton, ahşap ve çelik olarak yapılabilen palplanşlardan en çok uygulananı çeliktir. Tercih edilmesinin sebepleri mukavemetinin yüksek olması ve tekrar kullanılabilmesidir. Palplanşlar esnek duvarların modellenmesinde kullanılırlar. Yer altı su seviyesi yüksek olan bölgelerde geçirimsizlik perdesi olarak uygulanır. Yapımı esnasında suyun uzaklaştırılmasına gerek duyulmadığı için palplanş perdeler diğer iksa sistemlerine göre bir avantajdır. Kendilerine taşıma gücünün düşük olduğu bölgelerde veya yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yerlerde kullanma alanı bulurlar. Palplanş perdelerin modellenmesi yapılırken toprak basınç teorileri kullanır fakat perdeye etki eden basınç gerçek durumu tam şekliyle yansıtmaz. Deneylere ve arazi ölçümlerine bakılır.

Geniş ve ince çelik kazık olmak üzere oluşurlar. Titreşim yoluyla veya çakılarak itilebilirler. Çelik levhalardan oluşan bu diziye palplanş duvar adı verilir. Kazıkların uçlarındaki kenetlenme eklemleri yan yana gelerek duvarı oluşturur.

Yüksekliği az olan palplanş kazıklarını zemine konsollama imkânı vardır. Fakat zemin yüzeyinin üst kısımlarında yanal destek gerekmektedir. Bağlama ankrajlarıyla veya destek elemanları ile iki farklı biçimde yapılabilir. Destek elemanları duvarı destekleyen yatay basınç elemanlarıdır. Çekme elemanları olan bağlama ankrajları, duvarın arka kısmındaki zemine delgi ile yerleştirilir. En çok kullanılan türü çelik halat içeren çimentolu ankrajlardır.

Konsol palplanşlarda palplanşın önünde doğan pasif direnç karşılanabilir. Konsolun arka kısmında palplanşın gömülü mesafesinde zemin itkisi meydana gelir. Zemin itkisi hem geriye doğru hem de pasif olan palplanşlarda ankrajlar tarafından karşılanır. Bu durum destekli palplanşlarda zemin itkisinin çukur içinde bulunan iç kuşakların basınca karşı çalışması ile karşılanır. Kazılardan farklı olarak deniz, göl, akarsu gibi su seviyesi yüksek olan yerlerde de kullanılırlar. Aşağıdaki Şekil 4.3'te örnek palplanş perde gösterilmiştir [16].



Şekil 4.3 Palplanş perde.

4.4 DESTEK

Destekler de yapı elemanlarından birisidir. Ankrajlara benzer şekilde olan destekler derin kazı çukurlarını desteklemek amacıyla kullanılır. Ankrajlardan ayrılan yanı çekme elemanı yerine basınç elemanı olmasıdır. Duvarın arka bölümünde oluşan zemin itkisini malzemelerin normal rijitliği ile karşılar. Genel olarak uygulamalarda çelik boru kullanılarak oluşan destekler ankrajlar gibi çok sıra olarak da kullanılabilirler [17].

4.5 ANKRAJLAR

İksa sistemlerinde kullanıma başlanması 19.yy'nin başlarına dayanmaktadır. İlk bilinen ankraj Cezayir'de baraj rezervuarıdır. Son 50 yıllık süreçte bütün dünyada yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Ankrajlar yeri ve yapısı uygun olursa diğer destek elemanlarına nazaran daha ekonomik ve teknik olması açısından avantajlıdır. Esnekliği ve kullanım alanları sayesinde son yıllarda inşaatlarda çok tercih edilen eleman olmuştur. Teori olarak davranışlarını açıklamak zor olduğundan deneylere gereksinim duyulmuştur. Ankrajın ömrü, zeminden ayrılmasına sebep olacak yüke etki eden parametreler, uygulama esnasında zeminde oluşacak değişiklikler incelenmesi gereken önemli noktalardır.

Ankrajları çok yaygın kullanım alanları vardır. Örnek olarak; kaymayı engellemek, düşeyde oluşacak yer değiştirmeleri önlemek, dönme riskine karşı güvenlik oranını arttırmak, zemin ön konsolidasyonu, yapılarda depremsel stabiliteler, yer altı yapılarının dayanımı, dar

bölgelerde ön germe sağlamak gibi daha birçok şey sayılabilir. Ayrıca suyun kaldırma kuvvetine karşı yapılacak temellerde tespitler için, depreme karşı yapıların temellerinin derindeki tabakalara tutturmak için de ankrajlara ihtiyaç duyulur. Kullanımının yaygın olmasının nedenleri arasında metotlarının fazla ve sade olması da yer almaktadır.

Bir taraftan kazı yapılırken bir taraftan ankraj çubukları zemini delip geçebilir ve buna benzer şekillerde zeminler bozulmuş olabilir. Bozulmuş zeminlerden geriye kalan kısımlarda ve zemin dirençlerden yararlanırken arada kalan zeminleri kurtarmak mümkündür. Ankraj yapıldıktan sonra arada kalan zemin çatlaklarının kapatılması ile daha sert bir duruma gelebilir. Dağlık bölgelerdeki yollarda, barajlarda, termik santrallerde oluşabilecek şev stabiliteyi ankrajlar yardımı ile çözülebilir. Daha güvenli bir istinat yapısı elde edilirken aynı zamanda büyük kaya kütleleri de ekonomik anlamda daha emniyetli hale gelmiş olur [18].

4.5.1 Ankrajların Yapısı

Ankrajlar tel veya gergi çubuklardan meydana gelen üç kısımdan oluşur. Bunlar;

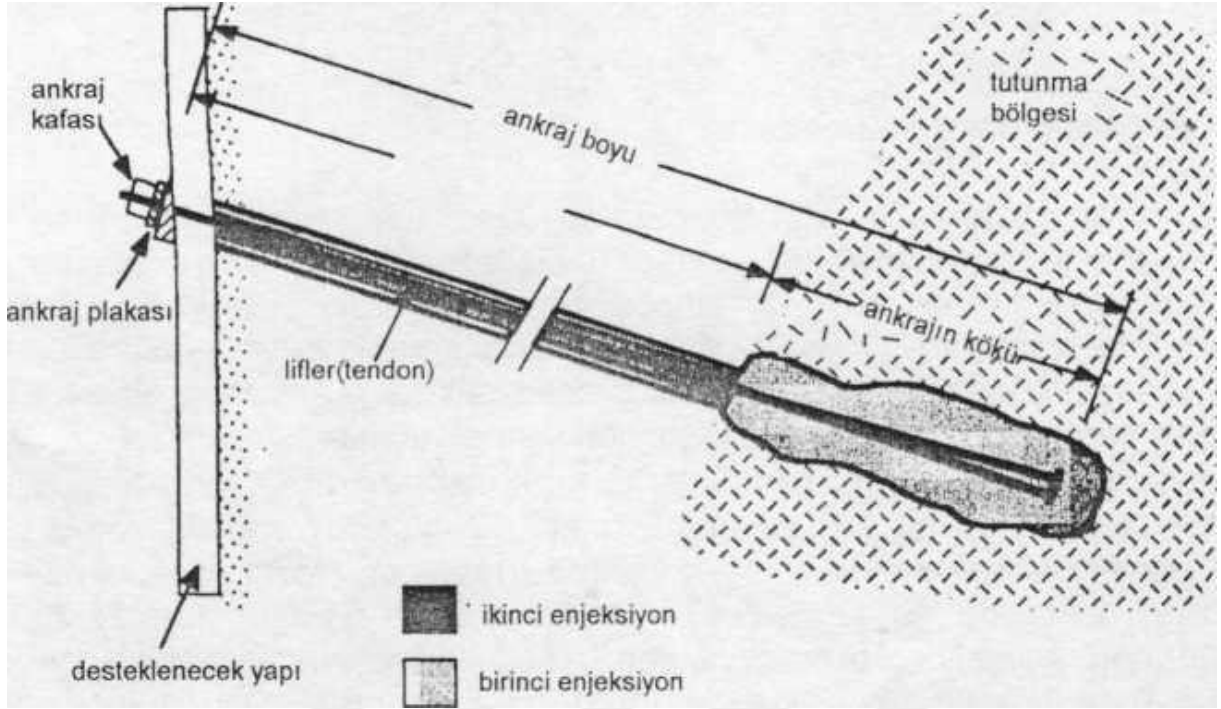
1. Kafa
2. Gövde
3. Kök

Çevresine çimento enjekte edilen, ankraj çubuğunu zemine sabitleyen bölüm kafa kısmıdır. Zemine ön germe kuvvetini aktarır.

Ankrajın düşey perde dışında kalan kısmı uç olarak adlandırılır. Ankrajı perdeye sabitlemek amacıyla yapılır. Teller ile perdeyi bir arada tutma görevi yapar. Ön germe kuvvetlerini yüzeye yayma görevini üstlenir. Gerilen ankrajın kilitlenmesi ve ön germe uç bölümünde yapılır. Tendonlar, germe kafası, ankraj plakası ve sıkıştırıcı kamalardan meydana gelir. Kontrol edebilmek amacıyla ankrajlara koruyucu bir kapak yapılması istenir.

Gövde bölümü kafa ile uç bölümler arasında kalan kılıfların ve tellerin bulunduğu kısımdır. Görev olarak kuvveti iletmeye yarar. Üretilecek veya seçilecek ankraj gövde kısmının cinsi; geçici veya kalıcı olma durumuna, mekanik örselenmeye, korozyona, ankrajın ömrüne, çekme kuvvetini ölçme durumuna, aşamalı şekilde gerilmesine, zeminin yatay yer değiştirmesine

bağlı olarak değişir. Aşağıda Şekil 4.4'te ankraj kesitleri gösterilmiştir. Bu sistemlerin görevi taşıyıcı zemine çekme yüklerini aktarmaktır [19].



Şekil 4.4 Ankraj kesiti.

4.5.2 Ankraj Tipleri

İmal şekillerine ve yerine göre; ankraj kazığı, kaya bulonu, bağlama kirişi, enjeksiyonlu kablo denilmektedir. Ankraj gergisi tel veya çelik çubuktan yapılır. En fazla kullanılan çeşitleri 5 ile 10 mm çaplarında gerilmiş çubuk, gerilmiş tel, beton ile uyumu iyi olan boru kesitli çubuklardır. Çalışma prensibi olarak 2 çeşittir. Bunlar;

1. Basit ankrajlar
2. Öngermeli ankrajlar

Çimento enjeksiyonu ile kaplı çelik borulardan oluşan basit ankrajlar, yükü çevre sürtünmesi ile zemine aktarır. Ankraj kuvveti yükün artmasıyla büyür. Büyük rölatif hareketlere basit ankrajlar engel olamazlar.

Öngermeli ankrajlar, önceden gerilmiş kablolardan oluşur. Perdenin deformasyonu ve geride kalan masif zemin birbirini izler.

Daha büyük ankraj kuvvetine ulaşabilmek için ankraj kafasının genişletilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda perde hareketine yüksek oranda engel olur. İmalat şartlarının ve zeminin bilinmesi ile hangi çeşit ankraj kullanılacağına da karar verilir. Ankraj modeli veya projesi hazırlanma aşamasında; yer altı su seviyesi, zemin profili, kayma direnci, zemin özellikleri ve yan parsellerde bulunan yapıların temelleri hakkında verilere sahip olunmalıdır [20].

4.5.2.1 Kaya Bulonları

Gerilmiş kablolar tercih edilebilir. Enjeksiyon yapılabilir. Kazı yaparken komşu bölgelerde başka yapıların olması, istinat yapılarının gerekli ve ekonomik görülmemesi veya enjeksiyon yapılmış fakat gereken emniyet sağlanamamış ise kaya bulonları tercih sebebidir. Yüzeydeki kayanın ayrılmasını engelleyen, derinde bulunan sağlam kayaya bağlanan tiptir. Kaya bulonlar imal edilme şekillerine göre 3 çeşittir. Bunlar;

1. Ucu yarık çubuklu
2. Ucu genişleyen çubuklu
3. Betonlanabilen kaya bulonlar

Kaya bulonlar sayesinde beton kaplama duvarlarının hacmi yüksek oranda azaltılmış neredeyse kullanımından vazgeçilmiştir. Bulonlardan devamlı yararlanabilmek amacıyla ankraj çubuğu etrafına enjeksiyon yapılmış bu sayede de korozyon ihtimaline önlem alınmıştır.

Şev durumlarının en kötü halleri, kubbe çatlaklarının sık görüldüğü ve çevresel faktörlerden oluşan çatlakların esas çatlak sistemini oluşturmasıyla görülmüştür. Bitki kökleri ve don etkisi sebebiyle oluşan çatlaklar plaklar şeklinde ayrılmıştır.

Kaya bulonlarının sık olması nedeniyle kayada oluşan deformasyonlar bulonlarda gerilmeler meydana getirmektedir. Deformasyonlar yüzeye yakın bölgelerde fazla olması sebebiyle uzun bulona göre kısa bulonlar daha fazla deformasyona maruz kalırlar. Kaya bulonun ömrü enjeksiyon sayesinde artmakta ve gerginliğin azalmasını sağlamaktadır. Yer altı su seviyesinin azaltılması da ankrajın ömrünü uzatan etkenlerdendir [21].

4.5.2.2 Kaya Zeminde Kullanılan Ankrajlar

Ankrajlar kuvvetlerini kayadan elde eder. Ankraj delikleri delici bir alet ile delik konik şeklinde genişletilebilir fakat bu belli bir uzunluğa ulaştıktan sonra mümkündür. Bu sayede büyük sıyrılma yüklerine ulaşılır. Örnek olarak 150 mm çapında 30 m uzunluğundaki ankrajlar 10 m kadar kaya içine yerleştirilmiştir.

4.5.2.3 Başka Zeminlerde Kullanılan Ankrajlar

Kohezyonsuz ve kohezyonlu ayrımı yapılabilir. Bu zeminlerde kullanılan ankrajlar arasındaki belirgin fark enjeksiyonun nüfuz çapıdır.

4.5.2.4 Kullanım Sürelerine Göre Ankrajlar

Süresine göre ankrajları 2'ye ayırmak mümkündür. Bunlar;

1. Sürekli ankrajlar
2. Geçici ankrajlar

Kazı destekleme sistemlerinin ve sürekli yapıların servis edeceği süre boyunca güvenliği ve stabiliteyi sağlamak amacıyla sürekli ankrajlar yapılır. Bu ankrajların ömrünün 75 ile 100 yıl arasında olması beklenir.

Yapılacak bir inşaat sırasında kısa süreli kuvvetleri engelleyen, çalışma ortamını güvenli tutan ankraj çeşitlerine geçici ankrajlar denilir. Genellikle 18 ile 36 ay arasında kullanım süreleri vardır. Yapılan projeye göre bu süre değiştirilebilir.

4.5.2.5 Yapım Yöntemlerine Göre Ankrajlar

Bir ankrajın taşıma kapasitesi geometrisine göre farklılık gösterir. Kök kısmının zemine aktardığı gerilmeler, ankrajın imalat yöntemine, delme ve enjeksiyon yöntemlerinden etkilenir. Bu nedenle aşağıdaki gibi sınıflandırılmışlardır.

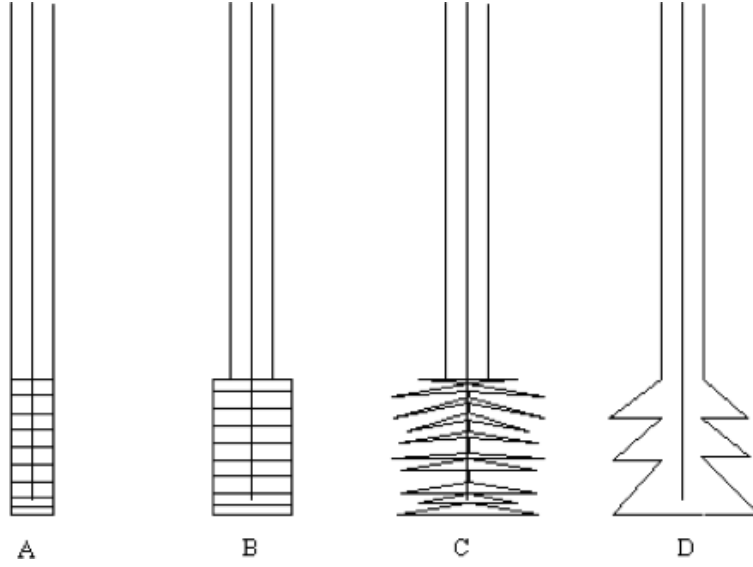
1) A Tipi Ankrajlar: Kök kısmındaki sıyrılmaya karşı zemin ile harç arasındaki kayma mukavemetini Tremie metoduna göre harçlanan direnci oluşturur. Dayanım açılan deliğin stabilitesine bağlıdır. Doğrusal olmayan veya doğrusal düz şaftlı ankrajlardır. Genellikle sert kohezyonlu zeminde veya kayalarda kullanılır. Mukavemeti, zemin ile enjeksiyon yüzeyi arasında ortaya çıkan yüzey kayma gerilmesine göre değişir.

2) B Tipi Ankrajlar: Ankraj kök çapının genişletilirken en az seviyede tahribat oluşturmaları için çimento harcının 1000 kN/m^2 değerindeki basınç altında, çatlaklara ve boşluklara girmesiyle yapılan ankraj çeşididir. Kaba alüvyonlarda, yumuşak çatlaklı kayalarda da kullanılabilir fakat genelde iyi derecelenmiş kohezyon olmayan zeminlerde kullanılır. Kök etrafındaki zeminin, kohezyon bulunmayan zeminlerde çimento geçirimsizliğinden yararlanılarak, basınç ile sıkıştırılması sonucu geniş bir ankraj kökü meydana gelir. Fakat enjeksiyon basıncı her koşulda jeolojik gerilmelerden az olmalıdır. Kayma mukavemetinden sebep ankraj kök kısmında direnç oluşur.

3) C Tipi Ankrajlar: 2000 kN/m^2 'den daha büyük bir basınç ile çimento harcının zemin boşluklarına iletilmesiyle ankraj kökü genişletilebilir. Birinci enjeksiyon sertleştikten sonra, basınç ikincil enjeksiyon esnasında uygulanır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde de uygulanabilir. Tasarım kapasitesi kayma mukavemetinin ankraj kökü boyunca varlığına göre hesaplanır.

4) D Tipi Ankrajlar: Tremie yöntemi uygulanan patlayıcılarla veya mekanik aletlerle oluşturulmuş bir dizi kökten oluşur. Sert kohezyonlu ve katı zeminlerde uygulanan bu ankrajlar, uç mukavemeti ve kayma mukavemeti sıyrılmaya karşı direnç oluşturur. Uygulama alanı çok yaygın olmasa da kohezyonsuz zeminlerde de kullanılır [21].

Aşağıdaki Şekil 4.5'te üst tarafta belirtilen ankraj çeşitlerinin kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 4.5 Yapım yöntemlerine göre ankrajlar.

4.5.3 Ankrajların Teşkili

Aşağıda belirtilen adımlar izlenir.

1. Ankraj çukurunun açılması
2. Ankraj çubuğunun ve tellerinin yerleştirilmesi
3. Enjeksiyon yapılması
4. Tendonun test edilmesi
5. Servis yüküne kilitlenmesi
6. Uç kısmının tespiti

Genellikle 75 ile 230 mm çukur yıkamalı sondaj veya darbeli yöntem ile açılır. Kaplama boruları kendisini tutamayan zeminlerde kullanılır. Delik çapının tellerinin veya çubuk çapından yeterli oranda büyük olmasına önem verilir.

Kafa bölümünden başlayarak tellerin veya çubukların tespitinde çimento enjeksiyonu kullanılır. Karışımın çeşitlilik göstermesine rağmen bağlayıcı olarak çimento esas alınır. Enjekte edilen betonun prizi alması için gereken zaman geçince uç kısım tespit edilir, tellere veya çubuğa germe yapılır. Bu sayede derinde veya geride bulunan sağlam tabakalardan zemin yüzeyinde gerek duyulan pasif kuvvet sağlanır.

Ankrajlar yatay, düşey veya eğimle oluşturulabilirler. Kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde imalatı aşağıdaki gibidir.

1. Kaplama borusu açılan deliğin göçmemesi için yerleştirilir.
2. Ankraj dış borusu indirilir.
3. Kaplama borusu çekilir.
4. Dış borunun üst kısmı betonlanır.
5. Dış borunun alt kısmı yüksek basınçlı betonla betonlanır.
6. Ankraj teli dış boruya tespit edilir.

Gevşek ve yumuşak zeminlerde kullanılan ankraj türüdür. Zemine düzgün tutturulan teller zor yerleştirilmemektedir. Korozyona karşı ankraj teli kolay korunur. Ankraj sürekli kullanılıyor olması halinde de telin gerginliği kontrol edilebilir ve gerek duyulması halinde ayarlanabilir.

Ankrajın çimento doldurulmuş zemine sokulması da başka bir ankraj sistemidir. Basınçlı hava ile şişirilen bir lastik tıkaç ankrajın kafa kısmına basınç uygular.

Gevşek ayrı daneli ve yumuşak kohezyonlu zeminlerde kullanılmak üzere özel bir ankraj sistemi geliştirilmiştir. Ankraj deliklerinden ilkinin dolduran beton delik boyunca yerleştirilen genişleme özelliği bulunan borunun şişirilmesi ile delik çeperlerine itilmektedir. Etrafı betonla kaplanmış ortası boş deliğe gergi çubukları sokulur, delik betonlanır. Direk olarak deliğe yerleştirilip betonlanan ankrajlı sistemlere göre sıyrılma mukavemeti daha büyük oranda elde edilir. Hangi metotla ankraj deliklerinin açılmasına karar verebilmek için;

1. Zemin özellikleri ve zemin tabakalaşma
2. İş alanının topoğrafyası
3. Ankrajların yapılacağı noktaya ulaşma yolları
4. Yıkama yapma olanağı
5. Ankraj sisteminin özellikleri

Açılacak deliğin uzunluğu ve çapı, ankraj şekli ve boyutları ile alakalıdır. Zemin koşulları delik delmede kullanılacak yöntem ve aletler hakkında karar verme aşamasında önemli etkindir. Örnek verecek olursak yumuşak kayalarda darbeli delik açma yöntemi olumlu sonuç verirken gevşek malzemede kullanılamaz [22].

4.5.4 Ankrajlarda Aderans

Aderans; kayma öncesinde başlangıç aderansını sağlar. Oluşumu çelikteki girinti ve çıkıntıların onu saran enjeksiyon ile fiziksel olarak kenetlenmesi sonucudur. Girinti ve çıkıntıların ebatlarından fazla kayma meydana gelirse kenetlenme kaybolur.

Mekanik kenetlenme; enjeksiyonun bükümlere ve eğriliklere doğru hareket etmesiyle artar. Aderans faktörü kısa boylu ankrajlarda daha fazla öneme sahiptir. Uzun ankrajlarda her 3 kenetlenme işlemelidir. İlk olarak ankraj kafasına doğru olan ve serbest boyda oluşan aderans, mekanik kenetlenme ve sürtünme ile giderilecektir. Kenetlenme ve sürtünme dirençleri kenar gerilimle azalır, kenar basınçla artmaktadır. Tendon malzemesinin ve enjeksiyonun kayma mukavemeti adersana etki eden önemli faktörlerdir.

Öngermeli beton için aderans dağılımları incelenmiştir. Ankrajın üst kısmında kayma yükün artmasıyla meydana gelir, alt kısma doğru artarak aderans gerilmeleri ilerler. Toplam direnç artarak devam eder.

Pasın adersana etkisi; pas adersasının düşmesi 6-8 ay açıkta kalma sebebiyle olur. Daha iyi aderans sağlamak istenirse gevşemiş olan bölgelerin temizlenmesiyle olabilir. 3 aylık bir süreçte açıkta kalarak az da olsa paslanan çubuklar, pası temizlenen veya passız çubuklardan daha fazla aderans sağlar.

Tendonların enine kesit alanı; uygun düğümlenen birden fazla elemandan oluşmuş örgü tellerin %20'sinden, delik alanının birbirleri ile paralel birden fazla elemandan oluşmuş tendonların %15'inden fazla olamaz. Hedeflenen amaç adersanın bozulmasını azaltmaktır.

Ankraj testi deneyleri kontrolleri sayesinde aderans boyuna karar vermek daha kolay yol olacaktır. Tendonun yüzey şartlarından aderans mukavemeti etkilenir. Yağlayıcı özelliği bulunan veya kısmen gevşek malzemelerin yüzeyde olması aderans mukavemetini etkiler. Tendonların yüzeyleri zeminden, paslardan, yağdan, boyadan ve sabun gibi yağlayıcı maddelerden arındırılmalıdır [23].

4.5.5 Ankrajların Enjeksiyonu

Malzemelerine göre enjeksiyonlar 2 türe ayrılır.

1) Çimentolu enjeksiyonlar; standart portland çimentosunun dışından katkılı çimentolar da (sülfata dayanıklı, yüksek fırın cürufu, düşük ısı vb.) kullanılır. Sülfat oranı %4'ten fazla olmamalıdır. Klor değeri %1'i geçmemelidir. Kireçtaşı tozları ve kum gibi ağır dolgu malzemelerine çimento enjeksiyonunda izin verilebilir.

2) Reçineli enjeksiyonlar; ankraj kökünün korunması veya kaya bulonlarının korunması için polyester reçineler ve epoksi kullanılır. Uygulamalardan edinilen tecrübelerden ve testlerden yararlanılarak istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığına bakılır.

Kaplamalar için elekten geçecek enjeksiyon dolgu malzemelerinin %100'ü 200 mm'lik olmalıdır.

4.5.6 Ankrajda Tendonlar

Çelik çubuklar genellikle halatlardan ve tel kablolardan oluşur. Tendonların çapları çoğunlukla 26 ile 64 mm arasında değişmektedir. Boyları 18 m'ye kadar varmaktadır. Tendon malzemesi seçilirken dikkat edilmesi gereken hususlar;

1. Yük taşıma kapasitesi
2. Ankraj uzunluğu
3. Ankraj sayısı
4. Kullanım kolaylığı
5. Arazide germe şartları

Kabul edilen çalışma yükleri, karakteristik dayanımın sürekli ankrajlarda %50'sini ve geçici ankrajlarda %62.5'ini geçmemelidir.

Çubuklar orta kapasiteli, düşük ve kısa ankrajlarda kullanılır. Grup şeklinde de uygulanabilir. 2 metreyi aşması halinde yüksek kaliteden yapılmış çelikten öngermeli çubuklar kullanılır. Eğer teller öngermeli olarak istenirse düz kablo çeliğinden üretilir. Yağ ile tavllanmış ve

sertleştirilmiş çeşitleri de mevcuttur. Sonuç olarak çekme mukavemeti telin çapı ile ters orantılıdır.

Telin elastisite modülü standartlarda 200 kN/mm^2 olarak verilmiştir. Ankrajlar için uygun seçim 184 kN/mm^2 elastisite modülü ve 1000 saate %6.8 gevşemeli 5 mm teldir. Ankraj kapasitesine bağlı kalarak Tendonlar genellikle 10 ile 100 adet arasında 5 ile 8 mm çapında tel içerirler.

Örgü teller ise daha büyük ön germe kuvvetleri uygulayabilmek amacıyla belirli bir sayıda telin bir araya getirilip bükülmesiyle elde edilir. Örgü teller hem tellerin mekanik özelliklerinden yararlanmayı hem de bükülebilme özelliği sağlar. Örgü teller yaygın olarak 7 tel ile yapılmaktadır.

Tendonlar genel olarak %62.5 emniyet gerilmesi ile tasarlanmıştır, güvenlik katsayısı $GS=2$ 'dir. Geçici ankrajlar için $GS=1.6$ 'dır. kalıcı ankrajlar için $GS=2$ olarak alınır. Merkezleyiciler tendonların ankrajın merkezinde düğün bir şekilde toplanması sağlar. Merkezleyiciler aynı zamanda fazla örgü tel kullanılan ankrajlarda tellerin birbirlerinde ayrık durmasını sağlar. Gerek duyulan penetrasyon boyu sağlandığından uygun aderans boyu elde edilir. Aralayıcılarda görevi, birbirine karışmasını ve temasını önlemektir. Eğer tendonlar tasarım geometrisin kaybederse gerilme esnasında serbest uzunlukta dağılabilir. Üst ankraj kafasının alt bölümünde yüksek gerilmeler olur. Delik göbekli olan bu aralıklar arasındaki mesafe 4 ile 8 mm arasındadır.

Enjeksiyon ankraj gölgelerindeki bu aralıklar, enjeksiyonun tendon elemanları arasına girmesine hedeflemektedir. Sonuç olarak aderans etkin olarak sağlanır. Tendonun çamurdan kirlenmesi merkezleyicilerin ve aralayıcıların yapılmasıyla önlenir. İyi bir aderans ve aşınmaya karşı sağlam bir koruma sağlanır [23].

4.5.7 Ankrajların Korozyona Karşı Korunması

Kullanılan çelik malzemede oluşacak bir kesit kaybı ihtimali Zemin koşullarında sistemin bütününe etkilemektedir. Herhangi bir yerde ortaya çıkacak kesit kaybı son derece önemlidir. Korozyonun, ankrajın kesitini azaltması halinde taşıma kapasiteni de azaltır. Bunlar için korozyon oluşma ihtimaline karşın bu bölgelerde önlem alınmalıdır. Tuzlar, klorürler,

çimento şerbetinde bulunan homojen olmayan maddeler korozyona neden olurlar. Örnek verilecek olursa; çimento şerbetinin pH değerini 9 ile 12 arasında yapmak, çelik yüzeyi ile sülfatların, sülfatların, klorürlerin temasını engellemek, gerilme altında bulunan aşınma eğilim oranı düşük olan çelikler seçmek, su drenajı sayılabilir. Korumak için montaj öncesinde kılıf kullanılmaktadır. PVC kaplama kılıf olarak uygun bir alternatiftir. Montaj esnasında germeden sonra serbest uzunluk kaplama ilkesine dayanır.

4.5.8 Ankrajların Ön Gerilmesi

Bilinen bir kuvvet ankraja uygulanarak ankraj denenir, varsa hatalı olanlar tespit edilir. Kullanılan süre boyunca ankrajın maruz kaldığı yüke servis yükü denilmektedir, statik hesap yaparak bulunur. Belirlenen katsayılarla ankraj hesap yükünün çarpımıyla elde edilir. Katsayılar arazi deney sonuçlarından veya standartlardan elde edilir. Aşağıdaki Çizelge 4.1’de standart değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Ankraj güvenli katsayıları.

İncelenen Mukavemet	Güvenlik Sayısı
Ankraj çubuğu nihai mukavemeti	1.65 – 2.00
Ankraj çubuğu akma kuvveti	1.33 – 1.65
Ankraj kökünün nihai mukavemeti	1.60 – 1.70

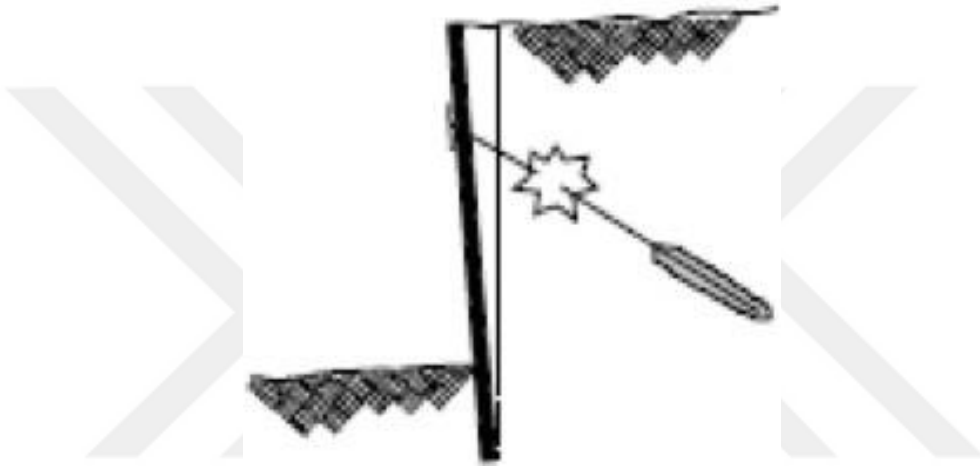
Servis yükünün zemine iletilip ileilmeyeceğinin denemesi ve emniyet katsayılarının kontrolü amacıyla test yüklü uygulanır. Ankrajların sıyrılması için gereken yük maksimum test yüküdür [18].

4.5.9 Ankrajlarda Taşıma Gücü

Ankrajlı çözümlerin yapılabilirliği ankrajların güvenle taşıyabileceği yük ile belirlenmektedir. Ankraj aralığı da perdenin yapısal modelini buna bağlı olarak etkilemektedir. Ankraj yapımcıları tarafından geliştirilen birçok yöntem, uygulanan delme metodu ve ankraj türü taşıma tahmini için edinilen deneyimlere bağlıdır. Aşağıdaki durumlar bir ankrajın taşıma kapasitesini belirlemektedir.

4.5.9.1 Çelik Halatta Kopma

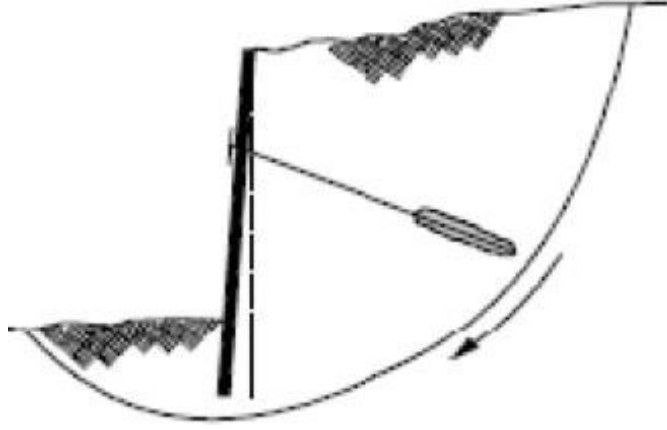
Gelen yük fazla ise halatın taşıma gücünü aşmışsa kopma kaçınılmaz bir durumdur. Ankraj deneylerinde 0.8 katını, tasarımlarda ankraja binen yük halat kopma yükünün 0.6 katını geçmemelidir. Ankrajlarda tendonlar bükümlü halat, halat veya çubuk şeklinde olabilirler. Paslanmaya karşı kalıcı ankrajlarda çubuklar daha rahat korunurlar. Buna karşın başka çeşitlerin taşınmaları ve depolanmaları daha kolay, mukavemetleri daha fazladır. Aşağıdaki Şekil 4.6'da örnek kopma verilmiştir.



Şekil 4.6 Çelik halatta kopma.

4.5.9.2 Zeminde Göçme

Kök etrafında zemin kütlelerinin ankraj köküne gelen yüklerle birlikte kayması söz konusu olabilir. Derin olmayan ankraj köklerinde; kabarma ile kök önünde başlayan, pasif göçme yüzeyine benzeyen bir başka yüzeyde göçme ile sonuçlanan hareket ortaya çıkabilir. Kökü 5 metreden daha derinde olan ankrajlarda göçme riski daha az görülmektedir. Aşağıda Şekil 4.7'de örnek verilmiştir.



Şekil 4.7 Zeminde göçme.

4.5.9.3 Enjeksiyon Tendon Sıyırılması

Tendonun enjeksiyondan sıyırılma mukavemetini mekanik kilitlenme, sürtünme ve adezyon ile tanımlanan bileşenlerin oluşturduğu bilinmektedir. Mikroskobik ölçü kadar küçük olan adezyon enjeksiyon ile pürüzlü çelik arasında fiziksel bir ilişki olup, sürtünmeye hareket arttıkça dönüşür. Büyüklüğü; hareketin derecesine, uygulanan gerilmeye ve pürüzlülüğe bağlıdır. Toplam sıyırılmanın temel bileşenini burgular ve çıkıntı gibi süreksizlerle mekanik kilitlenme arasındaki ilişki oluşturur. Pürüz olmayan çelik tendonlarda tendon enjeksiyon ilişkisi, zemin ile enjeksiyon ilişkisi gibi ilerledikçe gelişen biçimde seferber olur.

Yapılan araştırmalar sonucunda tendon enjeksiyon sıyırılmasının basınç mukavemeti ile direk olarak ilgisinin olmadığını söylemektedir. Sıyırılma yükü tendonun enjeksiyon içerisinde bulunan uzunluğunun artması ile aynı oranda artışına neden olur. Atmosfer ortamlarından doğan pas, tendonların sıyırılmasında etkin rol oynamaz. Yapraklanan pas sıyırılma mukavemetini azaltır. Ayrıca levhalar temizlenerek pürüzlü yüzey elde edilebilir ve pas olmayan tendona eşit veya daha fazla dayanım elde edilebilir. Sıyırılma yönünden elverişli olmaları halinde bile karıncalanmış tendonlar kabul edilemezler. Aşağıdaki Şekil 4.8’de tendon sıyırılmaları verilmiştir.



Şekil 4.8 Enjeksiyon ile tendon ve zemin ile enjeksiyon sıyrılması.

4.5.9.4 Zemin Enjeksiyon Sıyrılması

Uygulanan enjeksiyon basınçlarına ve zemin cinsine göre başlıca üç çeşit ankraj kökünden bahsedilebilir. Denetimli olarak yüksek basınçla genişletilen silindir, enjeksiyon ile doldurulan silindir ve mekanik olarak genişletilen silindir.

Genellikle kayalarda enjeksiyon ile doldurulmuş silindir, kendini tutamayan zeminlerde yüksek basınçla genişletilmiş silindir oluşturulur. Normal delik çapından dört kat fazla genişletilme yapabilmek için kılıf çekilirken verilen yüksek basınçlı enjeksiyon sayesinde yapılabilir. Mekanik olarak genişletilmiş silindirlerde kesici uçlardan yararlanılabilir. İçeride hava hapsedilme ihtimaline karşın gerekli önlemler alınmalıdır.

Yük iki biçimde ankraj köküne aktarılabilir. İlk yapılan düzenlemelerde tendonlar enjeksiyon içinde gömülü haldedir. Yük uygulanmaya başlanınca zemin ile enjeksiyon arasında normal ve kayma gerilmeler oluşur. Kökün üst kısmından alt kısmına doğru gelişir. Sonuç olarak çatlaklar ve çekme gerilmesi enjeksiyonda oluşabilir. Paslanma olasılığı olan, kalıcı ankraj uygulamalarında bu düzenlemeler uygun değildir. Bunun dışında plaka sayesinde yük kökün alt kısmına aktarılır, ilk enjeksiyondan bir boru yardımı ile ayrı tutulabilir. Basınç gerilmeleri oluşması enjeksiyonda sağlanabilir. Zemin ile ankraj kökü arasındaki bağ, köke etki eden gerilme, adezyona veya sürtünmeye bağlıdır. Taban direnci de mekanik olarak genişletilmiş köklerde söz konusudur. Önceden kazanılan deneyimlere göre 9 – 12 m'yi aşan kök boylarının taşınan yüklerin oranıyla büyük ölçüde artmadığı gözlenmiştir [24].



BÖLÜM 5

ÇOK SIRA ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİ

Derin kazılarda izin verilen alanlar içerisinde yatay hareketlerin kalabilmesi adına son yıllarda çok sıra destekli iksa sistemlerinin kullanımı oldukça hızlı biçimde artmıştır. Teknoloji ile birlikte imkânlardan da faydalanarak, derin kazıların olduğu projelerde çelik boru destekli elemanlar veya çok sıra ankrajlı sistemler oldukça kullanılmaktadır. Kazı aşamaları esnasında iksa duvarları ankrajlarla ya da çelik borularla desteklenebilmektedir. Bu destekler birbirlerine yakın mesafede, aralıkları çok uzak değilse sistemde oluşacak olan eğilme momentinin değerlerini en aza indirmektedir [24].

Kayaçta veya kendisinden destek bulan zemin ankrajı, uygulanan yapısal yükleri veya zemin kütlelerini tutan eleman olarak bilinmektedir. Kentsel alanlarda, nüfusun yoğun olduğu bölgelerde derin kazılar için çok sıralı ankrajlı sistemlerin kullanımı sayesinde ekonomik ve güvenli olarak sağlanabilmektedir. Zeminden direncini alan plağa veya duvara aktaran bir yapı elemanıdır ankrajlar.

Farklı yapısal elemanlar da ankraj duvarlarda kullanılabilirler. Yer altı suyu ve zemin koşulları; yapım yönetmeliklerine ve yerel deneyime göre püskürtme beton ile fore kazık, yerinde dökme diyafram duvar, yerinde dökme beton perde, hazır yatay destekli sistemler veya destek kazıları ile birlikte yerinde dökme, püskürtme beton ile palplanş ve ağ duvar olabilir. Klasik duvarlara göre birçok üstünlüğü bulunur bu tür yapılmış iksa sistemlerinin;

1. Kalıcı yapının bir bölümü olarak geçici iksa kazı sistemi kullanılabilir.
2. Yatayda kazı alanı azaltılır.
3. Duvar için yapılacak temelin beton ve kazı işi yoktur.
4. Yapı betonarmesinden daha az donatı koyulabilir.
5. Duvar arkası dolguya ihtiyacı yoktur.
6. Örselenme dar kazı yapılacak zeminlerde daha az olmaktadır.
7. Beklenmeyen zemin şartlarıyla karşılaşıldığında başka çözüme olanak sağlar.

Yukarıda belirtilen olumlu durumların dışında olumsuz durumları da bulunmaktadır.

1. Kalıcı ankrajlara ulaşım imkânı sağlanması kolay değildir.
2. Zemin drenajında ince daneli zeminlerde sorun çıkabilir.
3. Ankraj taşıma gücü sorunu yumuşak kohezyonlu zeminlerde oluşabilir.
4. Yer altı yapılarının tasarlanması ankrajlı bölgelerde sorun teşkil edebilir.

5.1 PROJELENDİRME ÖNCESİ YAPILMASI GEREKENLER

Esas olan nokta diğer zemin mühendisliği problemlerinde yaşandığı gibi burada da zeminin özelliklerini bilmektir. Gerekli oranda geoteknik etüt çalışmaları yapılmalıdır. Proje öncesi araştırmalar yapılırken, yapılması planlanan ankrajlı sistemler için ekonomik ve teknik açıdan gereken fizibilite çalışmalarına ihtiyaç duyulur.

Kazı tabanının oldukça altında bulunan zemin profilleri diyagramları sistematik bir şekilde sondaj yerleri seçilerek çıkartılmalıdır. Ankrajlı iksa sistemi uygulamak ve arsada komşu yapılar var ise eğik sondaja, ankraj köklerinin ortaya çıkaracağı zemin tabakalarının özelliklerini belirlemek için ihtiyaç duyulur. Ankraj köklerinin yer alacağı ve destekleme perdesi boyunca komşu yapılar olmaması halinde düşey sondajlar yeterli olacaktır. Sürekli örselenmemiş numune ankraj köklerinin ortaya çıkaracağı formasyon içerisinde alınmalıdır. Kayadan alınan karotlar 55 mm çaptan küçük olmamalıdır. Laboratuvar deneyleri ve arazi ile tabakalara ait olan parametreler güvenilir ve yeterli olarak belirlenmelidir [25].

Yer altı suyu incelenerek; betona zarar verecek madde içinde barındırıp barındırmadığına, seviyesi ve tabakalardaki su taşıyan basınçlar belirlenmelidir. Komşu yapıların yaşları, taşıyıcı sistemleri, oturmalar, temel derinlikleri belirlenmelidir. Açılacak temel çukurunun ebatlarına göre mevsimler ve kazı çukurunun açık kalacağı süreler bilinmelidir.

Ankrajlı iksa sistemlerinin geçici veya kalıcı olmasına çalışma süresine bakılarak karar verilir. Aralarındaki süre 2 yıldır. Destekleme sistemine gelecek su basıncı, komşu yapılardan iletilen yükler ve toprak basınçları hesaplanmalıdır. Destekleme elemanları aşırı deformasyona ve burkulmaya uğramadan su basıncını ve toprak basıncını güvenle taşımalıdır. Düşük kapasiteli sık ankraj, yüksek kapasiteli seyrek ankraj uygulamasına göre tavsiye edilir. Ankrajlar ön germe yapılar ve geriye bağlanarak uygulanması oturmaların istenmediği durumlardır [26].

5.2 ÇOK SIRA ANKRAJ İKSA SİSTEMLERİNİN TASARIMI

Ankrajların tasarımında önemli olan etkenler aşağıdaki gibidir;

1. Toptan göçme tahkiki
2. Gömme derinliği
3. Grup etkisi
4. Ankraj kökünün boyutları

5.3 TASARIM AŞAMALARI

5.3.1 Sisteme Etkiyecek Toprak Basınç Dağılımının Belirlenmesi

Kohezyon değeri uzun süre açık kalacak çukur için $c=0$ olarak alınabilir. Uygun dağılımlar seçilerek basınç hesaba katılır. Her noktada deformasyonlar çukur içine doğru olduğu için aktif itki yükü alınır. Duvara etkiyecek zemin etkileri bilinmelidir. Duvara gelen gerilmeler duvara ve arkasında bulunan zeminin eğimini dikkate alarak zemin itki katsayısı ile bulunur. İtki katsayısı sükunetteki itki katsayısı K_0 ile aktif itki katsayısı K_a arasında duvarda izin verilen harekete ve yapım yöntemine göre değişecektir. Yer altı yapılarının olmadığı veya duvardan $2H$ kadar uzaklıkta kötü zemin koşullarında aktif itki katsayısı destek sağlanmadığı süre boyunca dikkate alınmalıdır. Güvenli bölgede kalmak adına tasarım yapan kişiler büyük itki katsayısı seçmelidir. Fakat bu tarz bir çözüm ekonomik olmayacağı gibi duvarın da kazıya doğru pasif hareket yapmasına neden olur. Bu da olması gerekenden daha fazla ankraj kuvveti anlamına gelir. Pasif direncin az olduğu kesimlerde ilk sıra ankrajlar gibi bu konu önem arz etmektedir. İtki katsayısı seçilirken duvar yapım tekniği, duvar ile zemin sürtünmesinin zemin mukavemeti, göreceli hareketin büyüklüğü ve duvar pürüzlülüğü gibi etkenlerin tahminlerinin zor olduğu düşünülmeli ve çok geçerli bir sebep yok ise sürtünmenin sıfır olduğu varsayılmalıdır. Oluşacak duvar oturması, ankraj kuvvetinin düşey bileşeni nedeni ile yatay duvar hareketinin az olduğu durumlarda sürtünmenin oluşmasını engelleyebilmektedir. Sürşarj, zemin ve su yüklerinin yapım aşamalarında gerilme dağılışı çizilir [27].

5.3.2 Kazı Yüksekliği Bilinen Toprak Basıncının Hesaplanması

Duvarın gömülü olan bölgelerinin taşıma gücünün değerlendirilmesi: Ankrajın taşıdığı yüke ek olarak ankraj duvarlarda kazı tabanı altında kalan bölümün etkisinin olduğu düşünülmelidir. Yatay destekle oluşturulan ve aralıklı kazıklarla yapılarda kazıkların gömülü olan kısımlarında taşıma gücü Broms kuramı ile değerlendirilebilir. Kohezyonlu eminlerin drenajlı analizlerinde ve kohezyonsuz zeminlerde pasif direnç, Rankine pasif itki katsayısı ile kazık genişliğinin 3 katı kadar genişlikte tahmin edilebilir.

Coulomb pasif direnç veya Rankine pasif direnç sürekli eleman olarak kazı derinliğinin altına inen duvarlarda kullanılarak bulunabilir. Taşıma gücü, kazı seviyesinde sağlanması istenen R destek kuvveti ile gömülü olan bölümde güvenlik için pasif itki katsayısının 1.5 ile bölünmesi ile karşılaştırılabilir. Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı taşıma gücü tahminlerinde 0 olarak alınmalıdır. Gömülü olan derinliğin dış kısmında aktif itki kohezyonsuz zeminde göz önüne alınırken 1 m genişlik sürekli perdelerde dikkate alınacaktır. Negatif olması beklenen sert, katı kohezyonlu zeminlerde gerilmeler ihmal edilmelidir. Pasif itkinin oluşabilmesi için orta-yumuşak katı killerde ve gevşek granüler zeminlerde aşırı deformasyon gerekebilir. Duvarın $0.2H$ 'dan daha derine gömülmesi uzatma gereği yok ise önlenmelidir. En alt bölümde ankraj seviyesinde duvarın kesimi konsol gibi dikkat edilmelidir. Bu momentin duvar kesitini belirleyeceği göz önüne alınmalıdır. Konsola etkiyen yük kazı bölümünde pasif, seviyenin alt kısmında dış tarafta aktif gerilmeler olarak ele alınmalıdır [28].

5.3.3 Düşey Ankraj Aralığının Belirlenmesi

Yatayla yapılan açılar ankrajlar için 10 ile 15 derece alınabilir. Aralıklar pratikte 1.5 m ile 2 m arasında değişir. Yer altı yapısı veya komşu temellerle ankrajın kök bölümü arasındaki mesafe 3 m'den fazla olmamalıdır. Kök bölümünün derinliği üzerinde yüzeysel temel bulunması haline 5 m'den fazla olmamalıdır.

Ankraj aralığının belirlenmesi: Ankrajların desteklediği basınç dağılımının yüksekliği ve genişliği bulunur. Güvenli desteksiz kazı yüksekliği veya güvenli konsol duvar yüksekliği ilk sıra ankraj için basınç dağılışı düşünülerek ilk sıra ankrajlar 0.3 – 0.6 m üzerine yerleştirilir. Yatay aralık bütün kazı derinliği için belirlenen basınç dağılımına göre ilk sıraya gelecek ankraj yüküne bölünmesiyle bulunur. Düşey elemanların yeterli görüldüğü miktarda kazı

aşamalarında zemine gömülü olduğu belirtilmelidir. Uygun çözümler için düşey aralık değiştirilerek yatay aralık sabit tutulmalıdır. Genelde aralıklar düşeyde 2.5 – 3.5 m, yatayda 2 – 3 m arasında olur. Bu değerlerin dışındaki sonuçlar ankraj taşıma güçlerinin değiştirilmesini gerektirebilir. Ankraj kökleri en az 1.5 m aralıklı, düşeyde ve yatayda kök çapının 4 – 5 katı olmalıdır. Yatay ile 10 derece eğimli ankraj yaparak enjeksiyon ve tendon yerleştirme işlemleri gerçekleştirilebilir. 45 derece eğimli ankrajlar temelleri geçmek için veya taşıyıcı tabakaya ulaşmak düzenlense bile düşey ankraj yükünü karşılayacak hesapla belirtilmelidir. Özel enjeksiyon cihazlar daha fazla eğimli yerler için gerekmektedir.

5.3.4 Kademeli Çözüm Sonucunda Elverişsiz Ankraj Kuvvetlerinin ve Açıklık Momentlerinin Belirlenmesi

Yatay ankraj kuvvetlerini mesnet reaksiyonları verir.

5.3.5 Ankraj Kök Boylarının Hesabı

Belli formüller ile ankrajın taşıma gücüne göre hesaplanır. Zeminin çevre yüzeyi boyunca göçtüğü yük olarak ankrajların en yüksek taşıma gücü kabul edilir. Ankrajların taşıma gücü problemleri genel olarak ankrajların sıyrılmasıdır. Ankrajların deformasyon göstermeden sabit yük altında taşıyabileceği en fazla kuvvete sıyrılma yükü denir.

Ankraj taşıma gücüne etki eden faktörler;

1. Ankraj kök şekli
2. Ankrajın kökü çevresindeki tabakalaşma durumu ve zeminin cinsi
3. Ankrajın kökü üzerindeki jeolojik yük
4. Ankrajın boyutları
5. Enjeksiyon sayısı ve basıncı
6. Ankrajın deformasyon – gerilme bağıntısı

Ankraj yükleme deneyleri ankrajın taşıma gücünü belirlerken kullanılan en doğru metottur. Kaya zeminlerde A ve D tipi ankrajlar kullanılır. Kök taşıma kapasitesi;

$$T_f = \pi D L \tau \quad (5.1)$$

Bu formülde ;

D : Ankrajın çapı (m)

L : Ankraj kök boyu (m)

τ : Maksimum taşıma gücü (kN/m²)

T_f : Ankraja gelen kuvvet (kN)

Efektif kayma mukavemeti açısına göre grafiklerden taşıma gücü belirlenebilir. B ve C tipi ankrajlarla kohezyonsuz zeminlerde ankrajın taşıma kapasitesi hesaplanır. C tipi ankrajlarda; arazi deneylerinden elde edilen sonuçlara göre hazırlanmış tasarım eğrileri kullanılır. Mekanik özelliklerin kullanıldığı ampirik ya da teorik bağıntılar çok tercih edilmez [5].

Kumlarda taşıma gücü genel anlamda;

$$P_u = \pi D L \sigma'_v K \tan \phi \quad (5.2)$$

σ'_v : Ortalama düşey efektif gerilme

$$K = K_0$$

Killerde durum;

$$P_u = \pi D L c_a \quad (5.3)$$

c_a : Adezyon = $2/3 c_u$

c_u : Drenajsız kohezyon

$$P_{servis} = \frac{P_u}{GS} \quad (GS = 1.5 \sim 2.0) \quad (5.4)$$

Kalıcı işlerde güvenlik sayısı 2, geçici işlerde 1.5 olarak alınır. Sıyrılma yükü, ankraj yükünün güvenli bölgede kalabilmek için 6 katı olarak alınabilir. Her türlü zemin için kök uzunluğu 3 m'den az 10 m'den fazla olmamalıdır.

5.3.6 Ankraj Serbest Boylarının Hesabı

Geometrik şekillerle düzlemin dışına çıkacak şekilde serbest boy bulunur. Kayma düzlemi sınırı ile kök boyu arasındaki mesafe en az 1 – 2 m olmalıdır. Zemin yüzeyinden 5 – 6 m derinde ankraj kök bölümünün orta noktası olmalıdır. Bu şekilde derin olmayan bölgelerde pasif kaymalar oluşmayacaktır. Kritik kesit zemin için geoteknik ve jeolojik özelliklere göre seçilir ve serbest boy aşağıdaki durumlara göre seçilir.

1. Duraylılık analizlerine göre elde edilecek yüzeyin dış tarafında kalması sağlanmalıdır.
2. Rankine aktif yüzeyinden $0.2H$ uzaklıkta ona paralel olan yüzeyin dış kısmında kalmalıdır.
3. Eğik serbest boy duvar yüzeyinden köke kadar en az 4.5 m olmalıdır.

Ankraj taşıma gücü; kayalarlarda 7.5 m , zeminlerde 12 m civarında kök uzunluğu yukarıda belirtilen şartlara göre bulunmalıdır. Ankraj eğimi ve güvenlik katsayısı dikkate alınarak izin verilir ve oluşacak maksimum yatay ankraj yükü tahmin edilmelidir.

5.3.7 Ankraj Toplam Boyunun Belirlenmesi

Kök boyu ile serbest boyun toplamına eşittir.

5.3.8 Ankraj Kablolarının Hesabı (Tendon Hesabı)

Tendonların mukavemeti üretilen fabrikanın elinde veya standartlarda bulunur.

5.3.9 Yatay Ankraj Aralığı Seçimi

Ankrajlara etki eden kuvvetler ile toprak basıncı kıyaslanarak yatay ankraj aralığı bulunur.

5.3.10 Tahkiklerin Yapılması

Göçme tahkiki, germe yükü ve kablo aderans tahkiki.

5.3.11 Perdenin Boyutlandırılması

Betonarme perdelerde perde genişliği ve donatı seçiminde hiperstatik çözümlerde hesaplanan maksimum momentler kullanılır.

5.3.12 Duvar Ankraj Sistemi Duraylılığı

Özellikle duvarın alt bölümünde yumuşak zemin var ise veya duvara yakın yapılar var ise duvar ankraj sisteminin duraylılığını belirtmek gereklidir. Ankraj kökleri ile birlikte oluşacak bir göçme durumunda yapının önemine göre 1.5, toptan göçme durumuna karşı 1.3 güvenlik sayısının olduğu belirtilmelidir. Bu değerler sağlanmıyorsa ankrajlar uzatılır, öngörülen en az değer sağlanmalıdır.

Ankrajın gerilme durumunda; ana kitleden zemin kamasının koparılmasına karşın, güvenliğin sağlanıp sağlanmadığına bakılması ankraj duvarlarda duraylılığın dikkat edilmesi gereken bir başka durumdur. Dikkat edilmesi gereken başka durum ankraj kök kısmının ortasının duvarın altıyla ve düşeyle birleştiği yüzeylerin belirlediği bloğun dengesidir. Dikkat edilen ankraj kökü için saptanan bloğun dengesinde başka ankraj köklerinin yeri, başka ankraj kuvvetlerinin dengede etkili olmasını belirlemektedir [29].

5.3.13 Göğüsleme Kirişlerinin Boyutlandırılması

Modellenen göğüsleme kirişi seviyesindeki kiriş boyunca ankraja gelen yükün üniform olarak etki ettiği kabul edilerek sürekli kiriş olarak hesap yapıp maksimum momente göre boyutlandırma yapılır.

5.4 SİSTEMİN STABİLİTESİ

Sistemin stabilite tahkikini, sınır denge durumunun zemin kaması etrafında ankraj yüzünden meydana geleceği kabul edilerek yapılabilir. Kranz, ankraj kökünün orta noktasını ile perdenin dönme noktasını birleştiren doğruyu ele alıp, kuvvet çokgenini çizmiştir. Genelde tek ankrajlı perdeler için kullanılan bu yöntem çok ankrajlı perdeler için de geçerlidir [30].

Çok ankrajlı sistemlerde;

1. Aktif kayma kamasının içinde üstte bulunan ankrajın boyunun altta kalan ankrajın içinde kalması durumu.
2. Aktif kayma kamasının içinde üst kısımda bulunan ankrajın boyunun daha uzun olması durumu.
3. Aktif kayma kamasında üst kısımda bulunan ankrajın alt kısımdaki ankrajdan dışarıda kalma durumu.

Zemin kütlelerinin ankrajın çekilmesi durumunda sınır denge durumuna geleceği kabulüne bu hesaplar ile dayanır. Denge sağlanamazsa kayma yüzeyi üzerinde sistem kayar veya kayma düzlemi ankrajın başından perde ayağına doğru gelerek perde önünde doğru ankrajların boşalması ile devrilir [31].

5.5 DUVARDA OLUŞACAK DEPLASMANI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

1. İksa sisteminin geometrik ve yapısal özellikleri
2. Destek sisteminin ön gemesi
3. Yapım metodu
4. İşçilik kalitesi
5. Çevresel faktörler
6. Kazının geometrisi
7. Zemin iyileştirme yöntemlerinin uygulanıp uygulanmadığı
8. Düşünüldenden fazla açılan kazı

şeklinde sayılabilir.

Geoteknik Mühendisleri'ne derin desteklenmiş kazılarının çevresinde bulunan yapıların oturmaları iyi bir araştırma konusu olmuştur. Önceden yapılan çalışmalarda ankrajlı veya destekli iksa sistemlerinin arka kısmında yer alan zemin yüzeyinde oluşan oturmalar incelenmiştir. Sebep olarak iksa sistemine ve kazı derinliğine olan mesafe görülmüştür. Yapılan kazılardan kazı derinliğinin 3 – 4 katı mesafede yapı temellerinin etkilendiğini bulmuşlardır. İksa sisteminin arkasında oluşan oturmaların sebebi olarak bazı araştırmacılar;

destekleme sistemleri ve duvarın rijitliklerinin önemine değinmiştir. Zemin hareketini destekleme sistemi ile duvarın 2 kat kadar etki edebileceğı söylenmiştir.

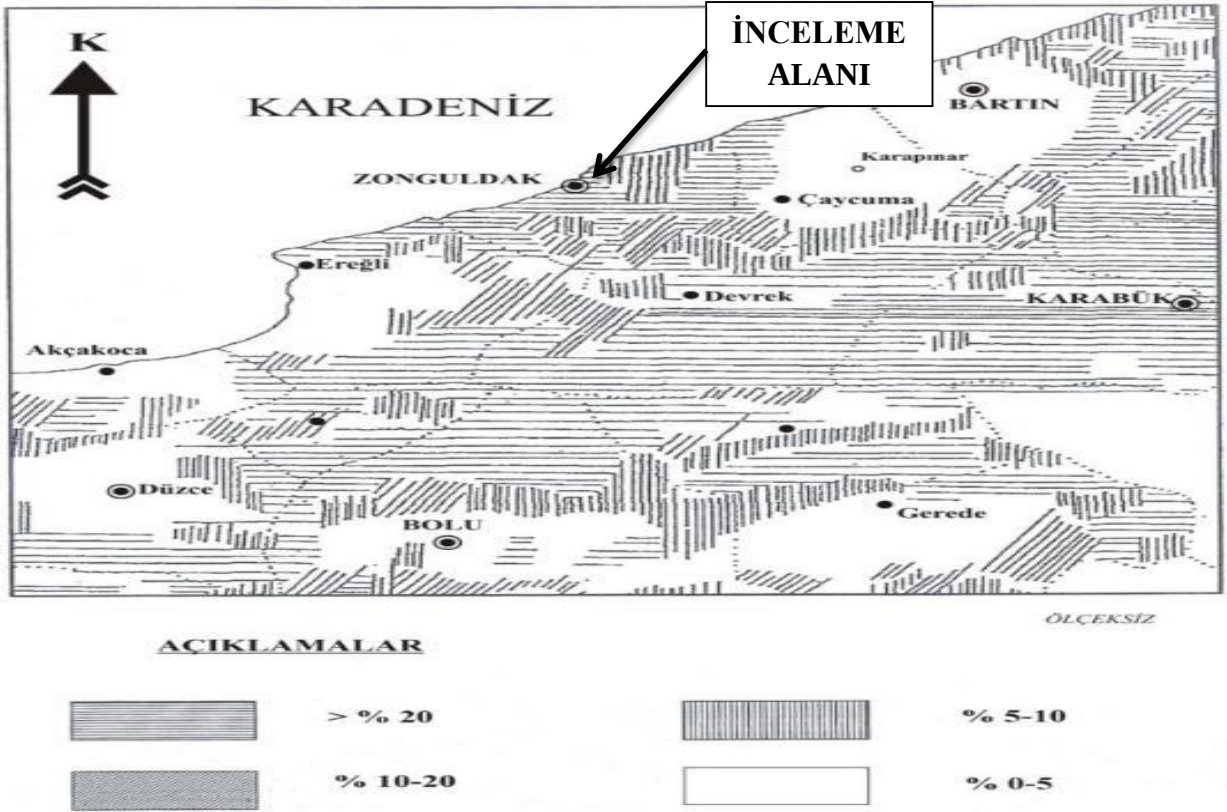
Perde alt kısmı, derin kayma düzlemi yerine toptan göçme tahkikinde öne doğru hareket yapar. Toptan göçme, zeminin eğri bir yüzey üzerinde zemin içinde bütün olarak düşünöp kaymasıdır. Dilim yöntemi bu bölümde kullanılabilir. Kaymaya direnen kuvvetlerin momentleri ile, kaymaya zorlayan kuvvetlerin momentlerinin oranı ile sistemin güvenliğine ulaşılır. Dairenin içinde kalan bölümler hesaba katılmazken daire tarafından kesilen ankraj kuvvetleri hesaba alınır [32].





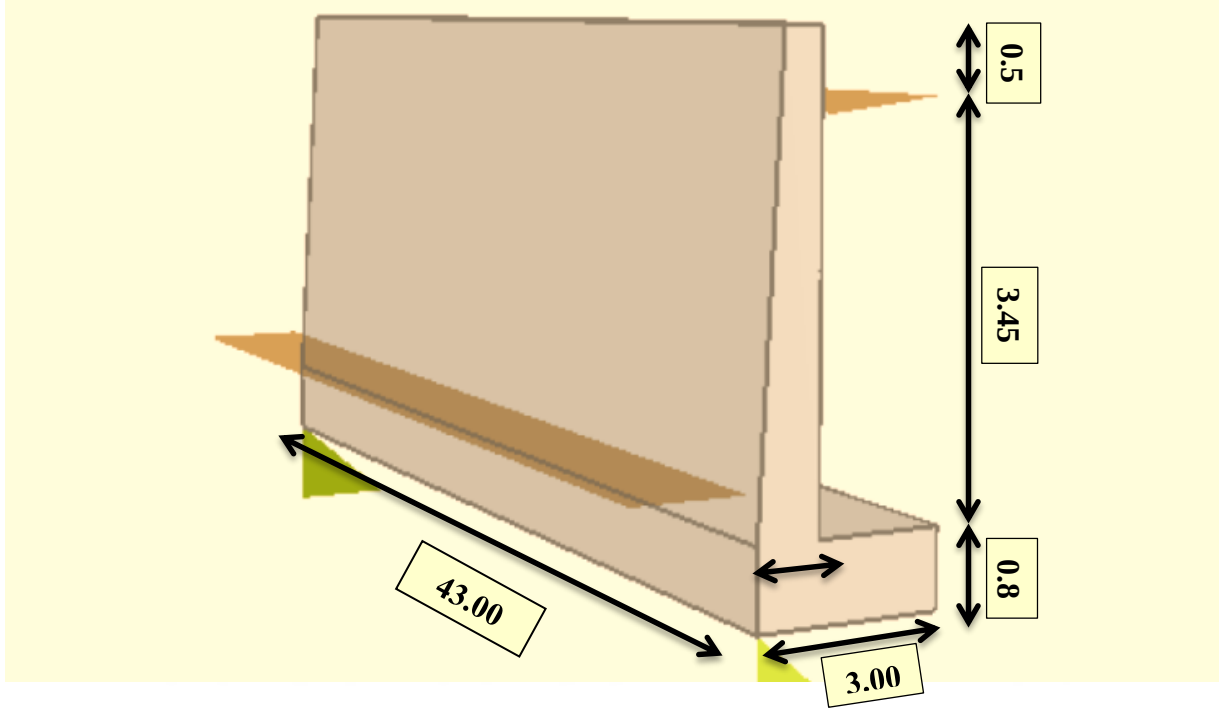
Şekil 6.2 İnceleme alanının uydudan ölçeşiz görüntüsü.

İnceleme alanı genelleştirilmiş Zonguldak İli ve çevresi genel eğim haritasına göre; > %20 eğimli alanlar içerisinde yer almaktadır.



Şekil 6.3 Zonguldak İli ve yakın çevresinin genelleştirilmiş jeomorfolojisi.

Çalışmada; parametreler zemin etüdü raporlarına göre belirlenmiştir. Rapora göre 0.00-1.00 metre arası dolgu geriye kalan 20 metrelik kazı kısmında 12.8 metre kalınlığına sahip kireç taşına rastlanmıştır. Kireçtaşı sert bir malzeme olduğu için ankraja gerek duyulmamıştır. İstinat duvarı yapımı uygun görülmüş, duvarın temeli kireçtaşına oturtulmuştur. Duvar Sta4Cad programında modellenip, çözülmüş; demir, beton ve kalıp metrajları çıkartılmıştır.



Şekil 6.4 Sta4Cad programında modellenen İstinat Duvarı.

Çizelge 6.1 Sta4Cad programında modellenen İstinat Duvarı'nın demir metrajları.

Adet	Çap	Uzunluk (m)	Ağırlık (kg)
430	Ø16	5.35	3631
430	Ø16	3	2036
430	Ø18	2.9	2491
430	Ø18	4.3	3694
430	Ø10	5.15	1365
276	Ø12	11.12	2724
43	Ø10	0.4	11
43	Ø10	0.48	13
43	Ø10	0.56	15

Sta4Cad programında modellenip, çözülen istinat duvarımızda; 15980 kg demir, 179,63 m³ beton, 417,34 m² kalıp metrajı çıkartılmıştır. Güvenli bölgede kalabilmek için duvarın arkasında yük varmış gibi çözülmüştür.

Zeminimiz sağlam, sert olduğu için; ankraj gövdesi, ankraj kökü, ankraj aralıkları gibi deformasyonları etkileyecek parametreler belirlenememiştir. Zemin türü değiştirilerek analizler tekrarlanmıştır.

6.1 HOEK BROWN MODEL

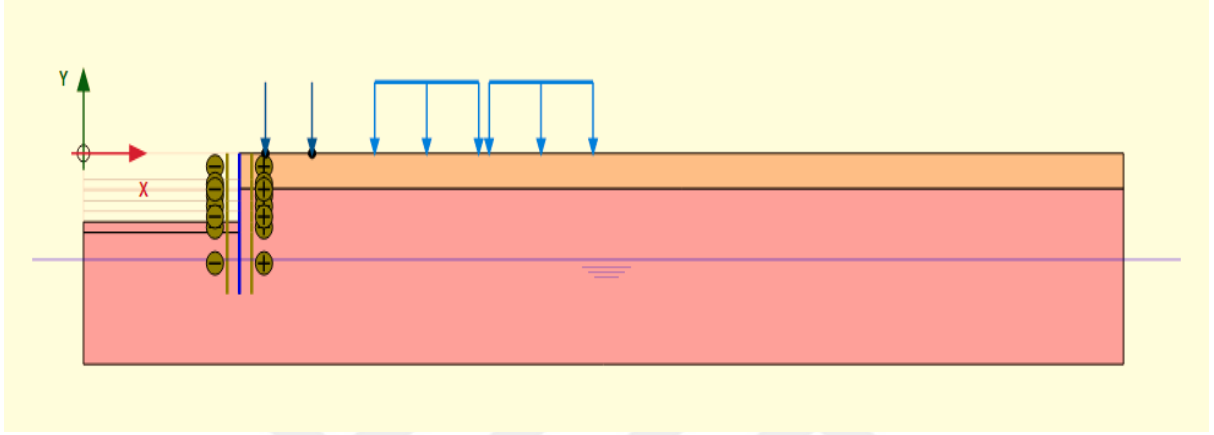
Kayaçlar küçük ölçekte dikkate alındıklarında kayaç malzemesi önem kazanırken, ölçek büyüdükçe sağlam kayaç malzemesinden eklemli kayaç kütesine geçiş söz konusudur. Bu nedenle çok sayıda süreksizlik içeren kaya kütlelerinin davranışını kayaç malzemesi ile birlikte süreksizlikler denetler. Bu nedenle, çatlaklı kaya kütesinin dayanımını belirlemek amacıyla Hoek ve Brown (1980) tarafından ampirik bir yöntem geliştirilmiştir.

Aşağıda Çizelge 6.2’de zemin değerleri değerlendirilerek zeminin parametreleri verilmiştir. Burada yine kaya ortamına göre çözüm yapılmıştır.

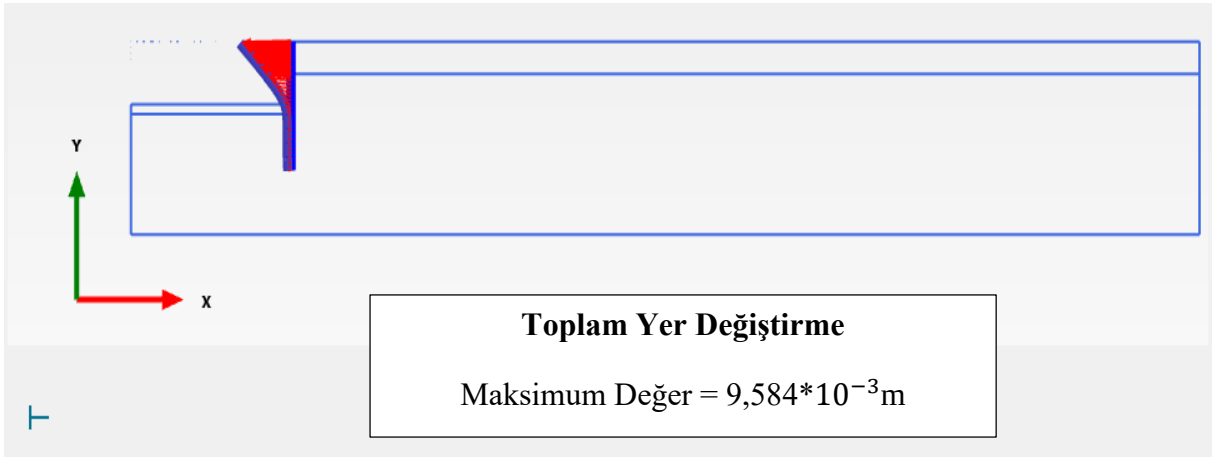
Çizelge 6.2 Kaya ortamı Hoek Brown zemin modeli parametreleri.

	Kum Taşı	Kil Taşı
Malzeme Modeli	Hoek Brown	Hoek Brown
Drenaj Durumu	Drenajlı	Drenajlı
γ_n (kN/m ³)	24.20	24.50
γ_{sat} (kN/m ³)	25	25
E (kPa)	1.050 x 10 ⁶	1,700 x 10 ⁶
ν	0.3	0.3
σ_{ci} (kPa)	3000	5000
m_i	7	10
GSI	15	25

Şekil 6.5'te gösterilen modeli ön kısmı deniz olduğu için yük belirtilmemiştir. Arka tarafında yol, yolun bittiği bölümde var olan binaların yüklerin tanımlanmıştır. Yapılacak binanın ön kısmında 11,25 metre kazı yapılacak şekilde tasarlanmıştır. Modellerde hem ankrajlı hem de ankrajsız olarak çözüm yapılmıştır. Ankrajlı modelde; gövde boyu 10 m, kök boyu 5 m, yanıl destekli kazıklarımızın çapları 120 cm olarak belirlenmiştir. Tekil yükler 15 kN, yayılı yükler 75 kN/m² olarak hesaplanıp seçilmiştir. İki çeşit zemin cinsi girilmiştir.



Şekil 6.5 Kaya ortamında ankrajsız Hoek Brown yöntemi ile çözülen zemin modelimiz.

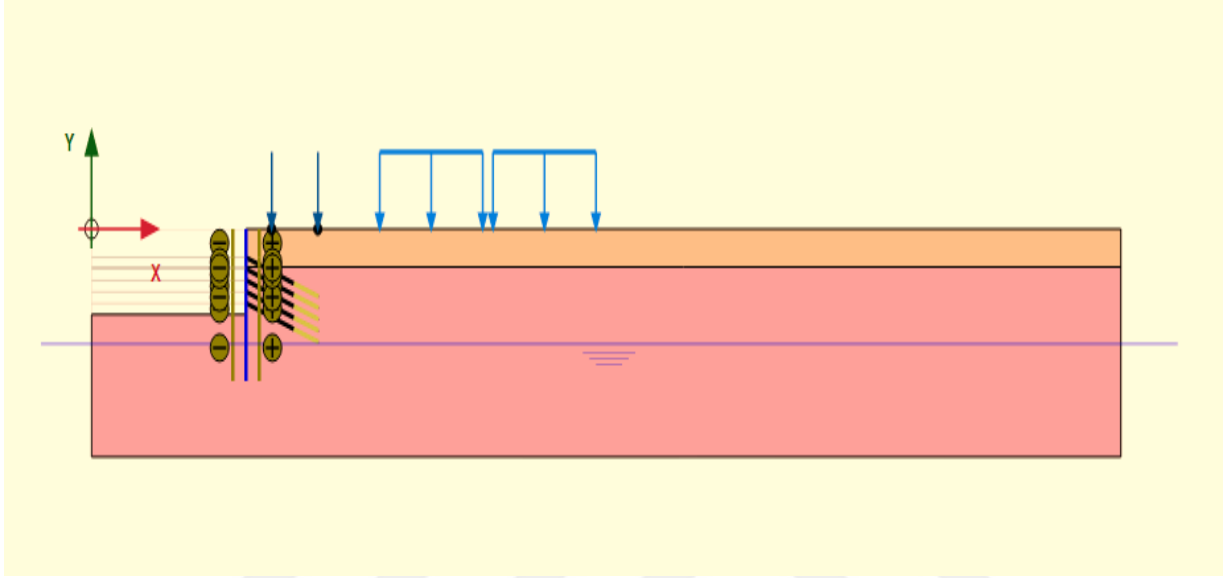


Şekil 6.6 Ankrajsız yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.

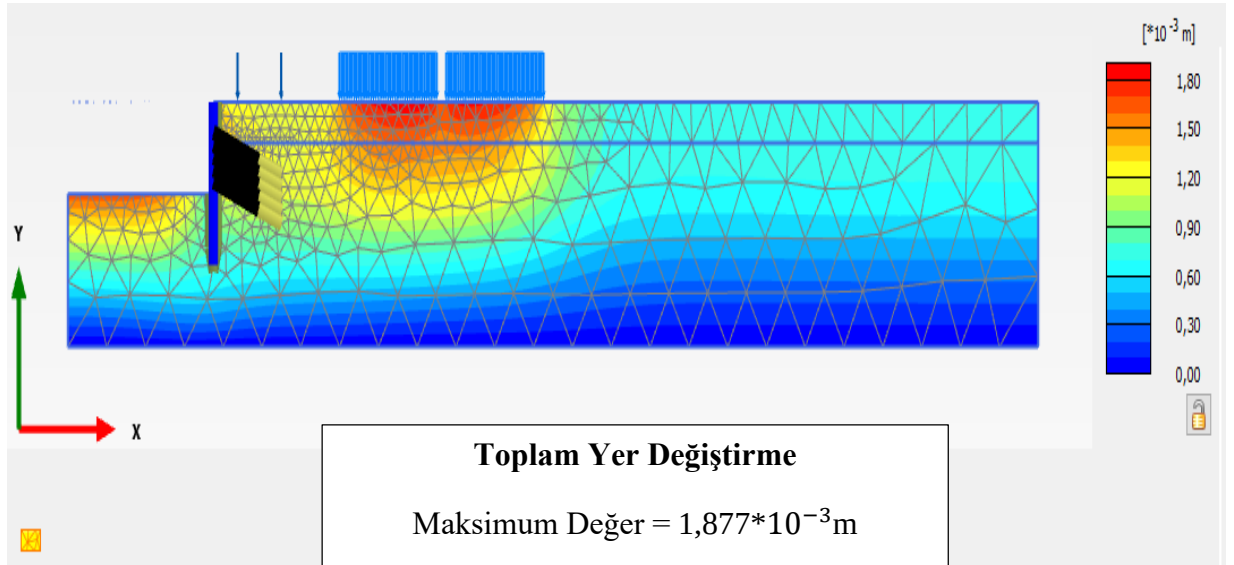
Hoek Brown zemin modeli ile kaya ortamında ankrajsız çözüm yapıldıktan sonra modele belirtilen yüklerde, aralığı belirtilen ankraj gövdesi ve kökü girildikten sonra tekrar çözüm yapıp hem duvarda olan deformasyona bakılmış, hem de zeminde meydana gelen oturma incelenmiştir.

Çizelge 6.3 Ankraj gövde ve kök yükleri.

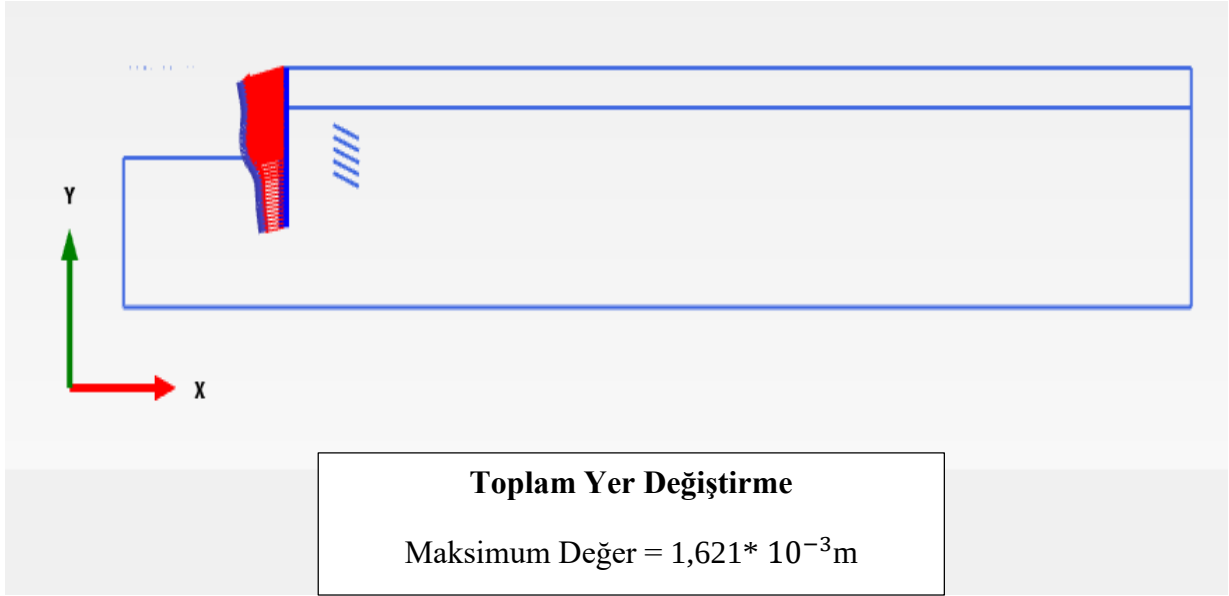
Ankraj Gövdesi		Ankraj Kökü	
EA (kN)	5.10×10^{15}	E (kN)	5.50×10^6
Aralık (m)	1,75	Aralık (m)	1,75



Şekil 6.7 Kaya ortamında ankrajlı Hoek Brown yöntemi ile çözülen zemin modelimiz.



Şekil 6.8 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma.



Şekil 6.9 Ankrajlı yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.

Çözümler sonucu elde edilen değerler Zonguldak İlinde mevcut zemine çok yakın seçilen kaya ortamındaki zemin sınıfıdır. Diğer modelde farklı zemin özelliklerinde imalat değerlendirmesi yapılması için; zeminin cinsi değiştirilip kum ve killi olması durumu incelenmiştir. Buralarda zeminin cinsi sabit kalıp modelleme yöntemleri değiştirilerek kazıkta deformasyonları etkileyen parametrelere bakılmıştır.

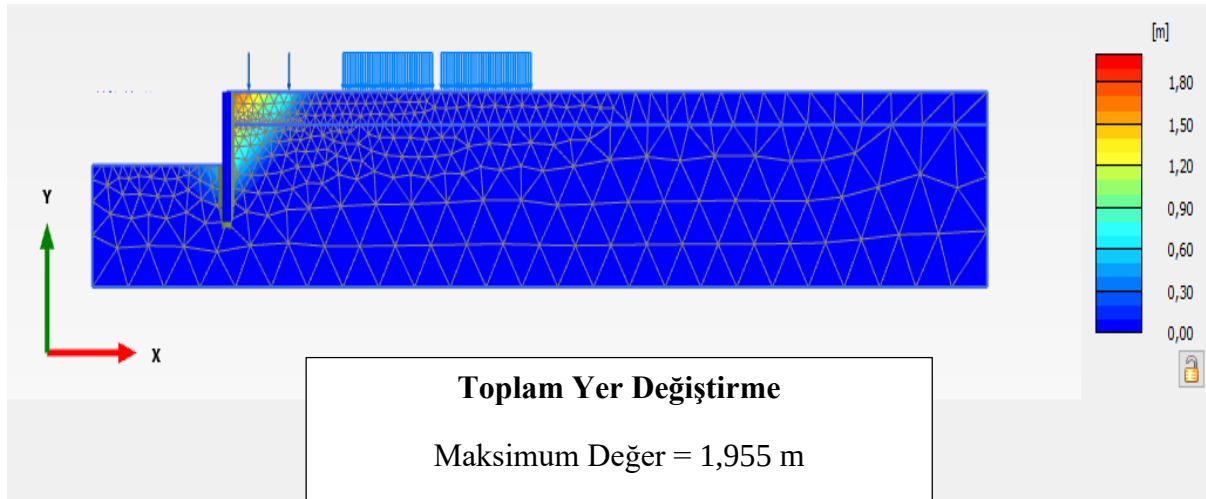
6.2 PEKLEŞEN ZEMİN MODELİ (HARDENING SOIL MODEL)

Gelişmiş bir zemin modeli olan Hardening Soil (Pekleşen Zemin) Model plastisite teorisi baz alınarak oluşturulmuştur [33]. Hardening Soil Model hiperbolik modelden çok daha ilerletilmiş, gelişmiş bir versiyonudur [34]. Modelin hiperbolik modelden farklı kılan özelliği plastik teoriyi, elastik teori yerine tercih etmesidir. Teoriye bağlı kalınarak hesaplanan plastik şekil değiştirmeler, multi surface (çoklu yüzey) akış kriterine göre hesaplanmaktadır. Artan basınçla birlikte rijitlikler de artmaktadır. Bu yüzden HS model gerilmeye göre rijitlik değerlerini dikkate alır.

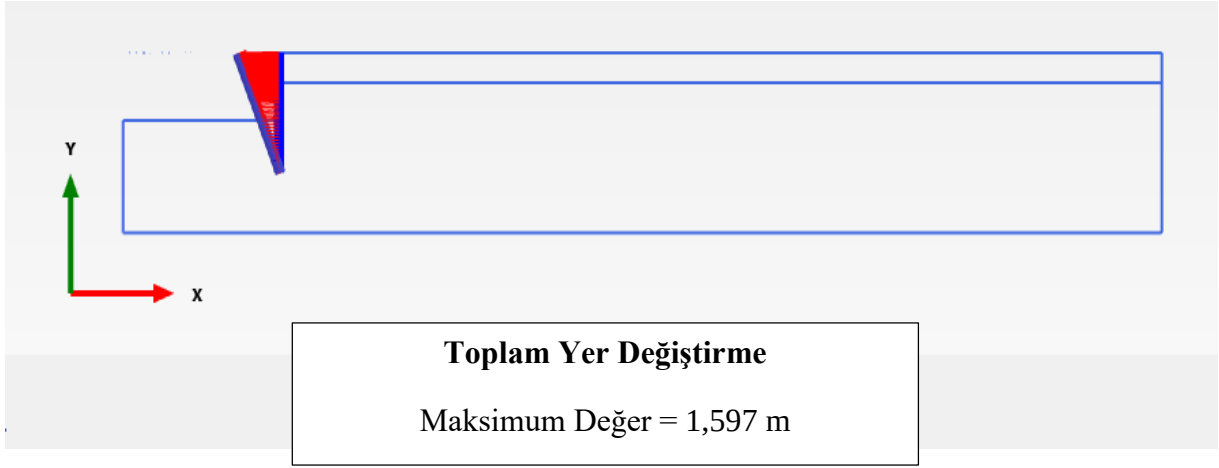
Çizelge 6.4 Kaya ortamsız Hardening Soil zemin modeli parametreleri.

	Kil	Kum
Malzeme Modeli	Hardening Soil	Hardening Soil
Drenaj Durumu	Drenajlı	Drenajlı
γ_n (kN/m ³)	18	18
γ_{sat} (kN/m ³)	18	18
E_{50}^{ref} (kPa)	6750	8800
E_{oed}^{ref} (kPa)	6750	8800
E_{ur}^{ref} (kPa)	20250	26400
ν'_{ur}	0,2	0,2
c' (kPa)	2	1
ϕ' (°)	27	33
Ψ (psi)	0	3

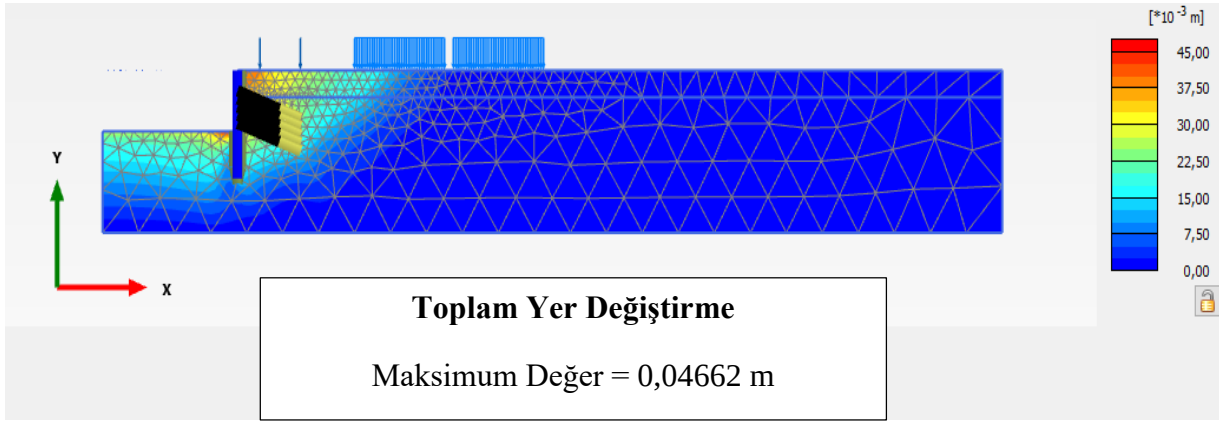
Modele etkiyen yükler aynı bırakılarak, zemin sınıfı, modeli değiştirilerek deformasyonlar incelenmiştir.



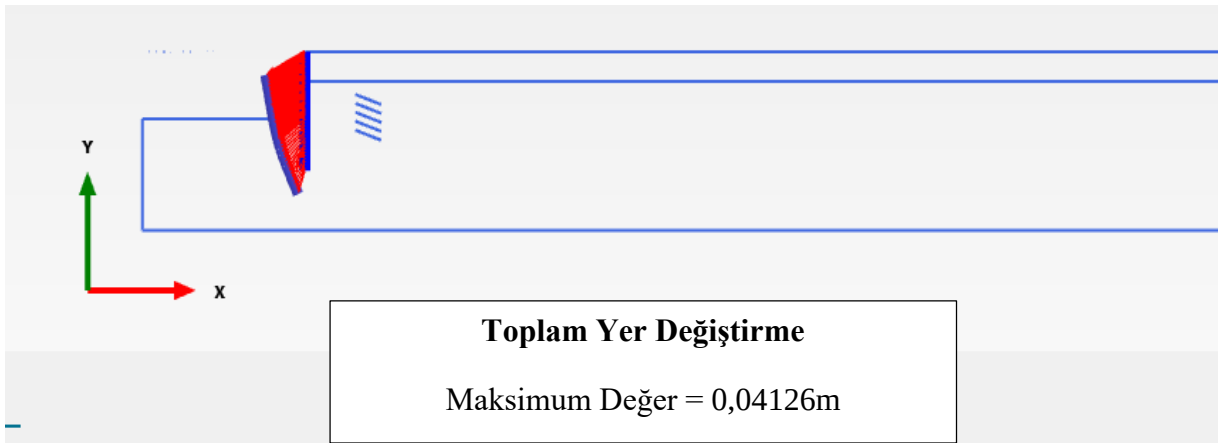
Şekil 6.10 Ankrajsız ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma.



Şekil 6.11 Ankrajsız yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.



Şekil 6.12 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma.



Şekil 6.13 Ankrajlı yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.

Kaya ortamsız HS modelde kazığın ankrajlı ve ankrajsız olma durumlarındaki yaptığı deformasyonlar incelenmiştir. Ankraj aralıkları değiştirilmiş, ankraj kök ve gövde boyutları

da değiştirilerek duvarda oluşan deformasyonlar incelenmiştir. Bunlar sonuç kısmında belirtilmiştir.

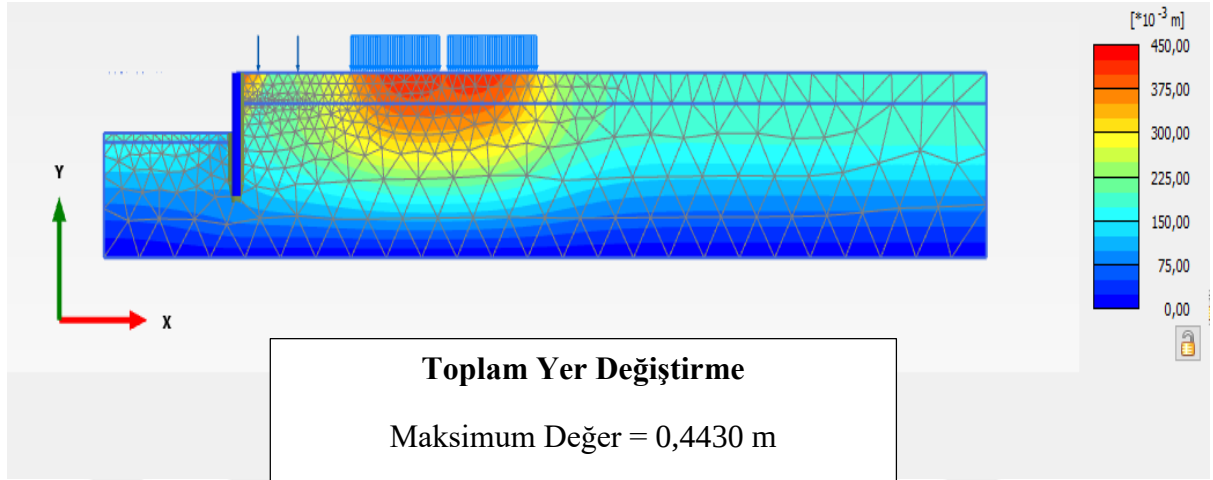
6.3 MOHR COULOMB MODEL

Mohr – Coulomb Modeli'nin varsayımı; MC zemin modelinin gerilme-şekil değiştirme grafiğinde (eğrisinde) ilk bölgede elastik, ikinci bölgede plastik malzeme olduğuna dayanır. MC modelde zeminin göçme kriteri esnasındaki değeri ile gerilme durumları ifade edilmektedir. Bu nedenle, kullanımları ön analizlerde uygun görülür. MC model zemin katmanlarının sertliklerinin derinlikle ilişkisi olmadığını kabul edip, yaptığı deformasyon değerlerini ortalama bir sertlik parametresi kullandığı için gerçek saymamakta fakat daha hızlı analizler yapılmaktadır. Bu model pekleşme, yumuşama özelliklerini zeminlerin gerilme durumunda modelleyemez. Ayrıca dilatansi özellik içermeyen hacimsel olarak artmak yerine hacimsel azalış gösteren gevşek kumlar ve konsolide olmuş kil davranışını da çok iyi modelleyemez. Model, yükleme-boşaltma halleri arasında ayırım yapamaz. Bu olumsuzluklardan dolayı kazı problemlerinde çok önerilmezler. Bu durumların dışında; yüzeye yakın temellerde taşıma gücü hesabında, limit analiz problemlerinde (toprakla doldurulmuş şevlerin, barajların, istinat duvarlarının çözümlerinde) kullanılması daha uygundur.

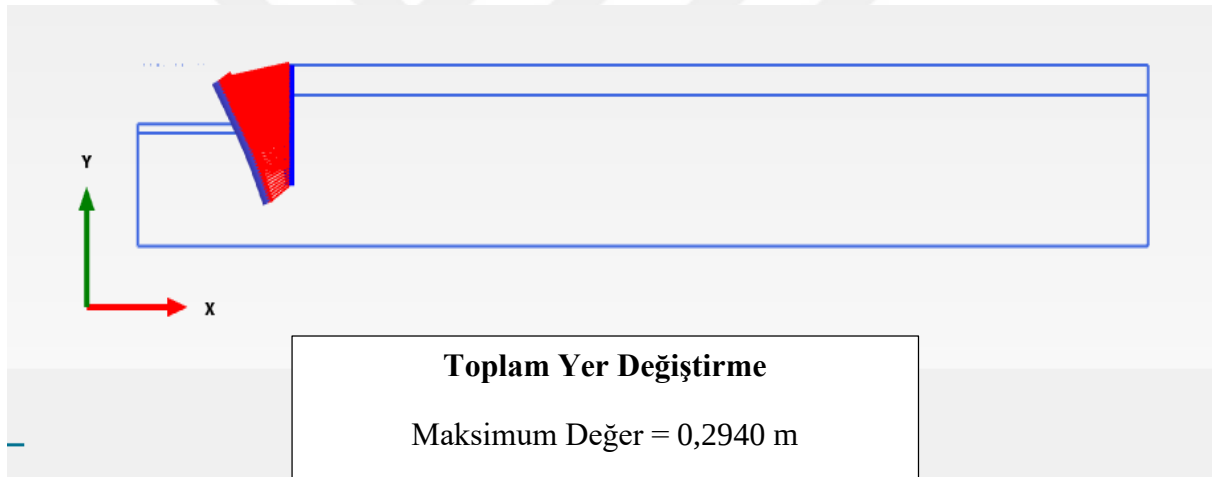
Çizelge 6.5 Kaya ortamsız Mohr - Coulomb zemin modeli parametreleri.

	Kil	Kum
Malzeme Modeli	MC	MC
Drenaj Durumu	Drenajlı	Drenajlı
γ_n (kN/m ³)	18	18
γ_{sat} (kN/m ³)	18	18
E (kPa)	6750	8800
ν	0.2	0.2
c' (kPa)	2	1
ϕ' (°)	27	33
Ψ (psi)	0	3

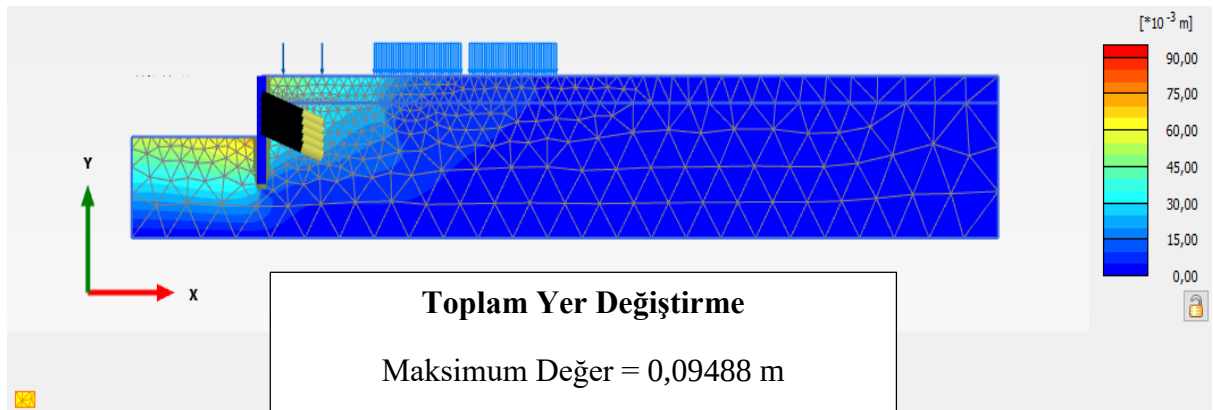
Modele etkiyen yükler değiştirilmeden, yalnızca zemin modeli değiştirilip oluşan deformasyonlar incelenmiştir.



Şekil 6.14 Ankrajsız ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma.



Şekil 6.15 Ankrajsız yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.



Şekil 6.16 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma.



Şekil 6.17 Ankrajlı yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.

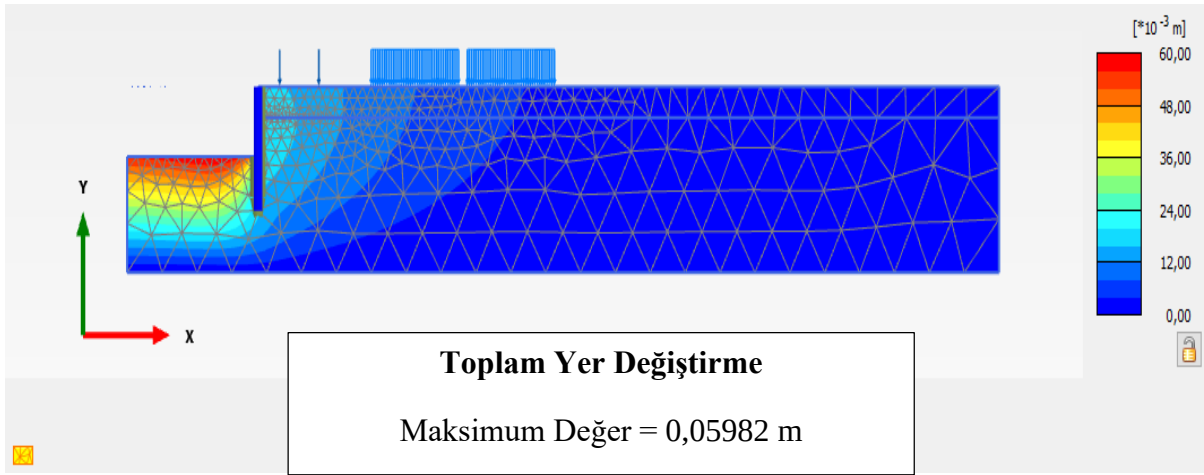
Yukarıdaki şekillerde kaya ortamsız MC modelde kazığımızın ankrajlı ve ankrajsız olma durumlarındaki yaptığı deformasyonlar incelenmiştir.

6.4 LİNEER ELASTİK MODEL

Hooke kanunu esaslarına dayanan bu modelde izotropik lineer malzemelerin davranışlarına bakılır. Başlıca iki parametre zemin davranışını belirler. Bunlar ν , Poisson oranı ve E , elastisite modülüdür. Ancak bu modelin kullanımı zemin davranışlarında kısıtlıdır. Genel olarak zemin içerisinde bulunan daha sert yapıların modellenmesinde kullanışlıdır. Aşağıdaki tabloda aynı kil ve kum tabakası kullanılmış sadece zemin modeli lineer elastik olarak değiştirilmiştir. Kohezyon, sürtünme açısı parametreleri kullanılmamıştır.

Çizelge 6.6 Kaya ortamsız Lineer Elastik zemin modeli parametreleri.

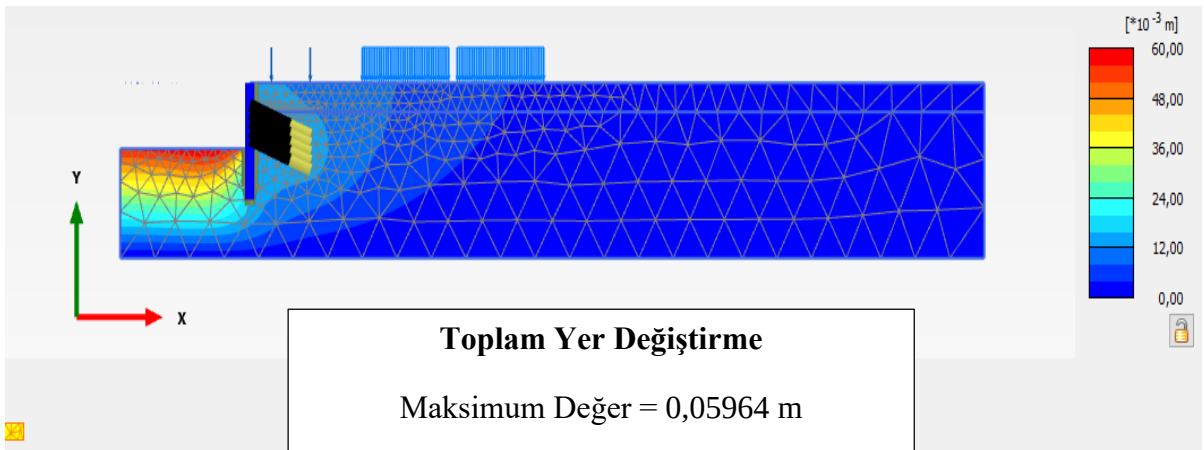
	Kil	Kum
Malzeme Modeli	Lineer Elastik	Lineer Elastik
Drenaj Durumu	Drenajlı	Drenajlı
γ_n (kN/m ³)	18	18
γ_{sat} (kN/m ³)	18	18
E (kPa)	6750	8800
ν	0.2	0.2



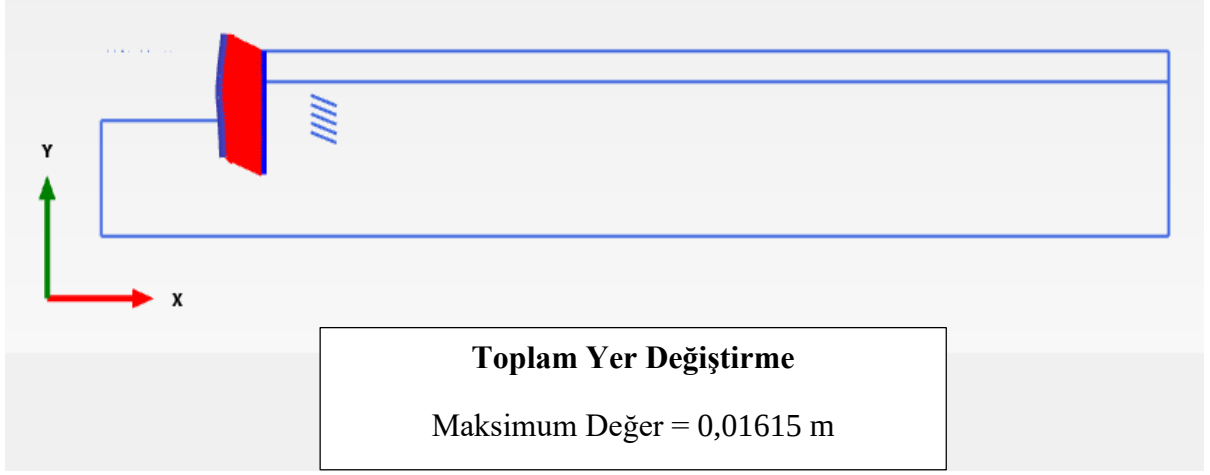
Şekil 6.18 Ankrajsız ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma.



Şekil 6.19 Ankrajsız yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.



Şekil 6.20 Ankrajlı ortamda yayılı yüklerin oluşturduğu oturma.



Şekil 6.21 Ankrajlı yapılan kazığın oluşturduğu deformasyon.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Zonguldak İlinde yapılacak kazı projesinde açılacak derin kazının, zeminin çökmesini engellemek için yapılan bu çalışmada; yerinde var olan zemin durumu incelenmiş ve ankrajlı yanal kazıya gerek duyulmamıştır. Var olan zemin, sert kireçtaşıdır. İstinat duvarı yapımına karar verilmiştir. İstinat duvarı Sta4Cad programında modellenmiş, temelleri kireçtaşına oturtulup; ekonomik, güvenli çözüm yapılmıştır.

Çalışmada ankrajı etkileyen parametreleri görebilmek için ise; önceden zemin etüdü hazırlanmış daha kötü bir zemin seçilmiştir. Yine kaya ortamında modelleme yapılmıştır. Hooke Brown zemin modeli seçilmiş, hem ankrajlı hem de ankrajsız olma durumlarına bakılmıştır. İki durumda da deformasyonlar çok az bulunmuş ankrajlı yanal kazıya ihtiyaç duyulmamıştır.

Seçilen kötü zeminde kaya ortamı kaldırılarak tekrar modelleme yapıp, Mohr-Coulomb zemin modeli ile çözüm yapılmıştır. Ankrajsız oluşan deformasyon göz ardı edilemeyecek kadar fazla çıktığından ankrajlı yanal kazık önerilmiştir. Aynı zeminde Lineer Elastik zemin modeli seçilerek yapılan çözümlemede ise ankrajsız ve ankrajlı olma durumlarında deformasyonlar çok az çıktığı için ankrajlı yanal kazıya gerek görülmemiştir.

Zeminde Hardening Soil yöntemiyle çözülen modelde ankrajı etkileyecek parametreler üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Önce ankrajlı ve ankrajsız olarak çözüme bakılıp ankraja gerek duyulduğu görülmüştür. Daha sonra ilk kısımda ankraj aralıkları sırasıyla 1 m, 1.5 m, 2 m ve 2.5 m olarak değiştirilip yaptıkları deformasyona bakılmıştır. Bütün değişen aralıklarla da deformasyon az olduğu için ekonomik olması adına 2.5 m aralıklarla yapılması öngörülmüştür. Ankrajın gövdesi sabit tutularak, kök boyu %50 oranında azaltılmıştır. Oluşan deformasyon farkı göz ardı edilebilecek düzeyde olduğu için ekonomik durum göz önüne alınıp, kök boyu azaltılarak yanal kazık yapılabilir. Daha sonra hem ankraj gövdesi hem

ankraj kökü ikisi birlikte %50 oranında azaltılmıştır. Ancak bu durumda oluşan deformasyon miktarı istenmeyecek kadar fazla çıkmış olduğu için çözüm önerisi olarak gösterilemez.



KAYNAKLAR

- [1] **Nalçakan M S** (2002) İksa ve Derin Temel Sistemlerin Sayısal Analizi. *15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2:1219-1222.
- [2] **Alkaya D ve Yeşil B** (2010) Excel VBA ile Ankrajlı ve Ankrajsız İksa Yapısı Tasarımı. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1) : 71-82.
- [3] **Önalp A ve Sert S** (2016) *Geoteknik Bilgisi III Bina Temelleri*. 3rd edition, ISBN: 975-511-465-3, Birsen Yayınevi, İstanbul, 445 s.
- [4] **Yeşil B** (2011) Geoteknik Mühendisliği'nde Bilgisayar Destekli Tasarım. *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Denizli, 214 s.
- [5] **Arslan B ve Öztoprak S** (2005) Derin Kazılarda Çok Sıra Ankrajlı İksa Sistemleri ile Ankastre Fore Kazık İksa Sistemlerinin Tasarımı ve Maliyet Karşılaştırması. *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi*, 17-19 Kasım, İstanbul, Türkiye, 429-440.
- [6] **Turner J P** (2005) Lessons Learned from Anchored Slide Stabilization. *International Conference on Quality Assurance and Quality Control in Geo Construction*, November 2005, Dallas, America, 8-25.
- [7] **Özden K, Eren İ, Öztürk T ve Trupia A** (1988) *Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeleri*. 1st edition, ISBN: 975-561-034-0, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 213 s.
- [8] **Özaydın K** (2005) *Zemin Mekaniği*. 1st edition, ISBN: 975-511-145-X, Birsen Yayınevi, İstanbul, 350 s.
- [9] **Coduto D P** (2001) *Foundation Design Principles and Practices*, Pearson Company. 3rd edition, ISBN: 978-013-341-189-8, Pearson Education, California, 816 pp.
- [10] **Tomlinson M J** (2001) *Foundation Design and Construction*. 7th edition, ISBN: 978-013-031-180-1, Prentice Hall, Edinburgh, 584 pp.
- [11] **Yıldırım S** (2004) *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. 3, ISBN: 978-975-511-293-6, Birsen Yayınevi, İstanbul, 448 s.
- [12] **Kumbasar V ve Kip F** (2000) *Zemin Mekaniği Problemleri*. 6, ISBN: 978-975-436-036-3, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 671 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [13] **Mingfei L, Nakamura A, Cai F and Ugai K** (2008) Application of FEM Analysis to Braced Excavation. *Tsinghua Science And Technology*, October 2018, Tokyo, Japan, *Tsinghua University Press*, 13, ISBN: 1007-0214, e-book, 40-45.
- [14] **Simpson B** (1992) Retaining structures: displacement and design. *Géotechnique*, 4, 42, ISBN: 0016-8505, Arup Geotechnics, London, 541-576.
- [15] **Tschebotarioff G** (1951) *Foundations, Retaining and Earth Structures*. 1st edition, ISBN: 1007-065377-1, McGraw-Hill, New York, 624 pp.
- [16] **Bowles, J E** (1990) *Foundation Engineering and Design*. 5th edition, ISBN: 0-07-118-844-4, Mc-Graw Hill, New York, 1170 pp.
- [17] **Terzaghi K, Peck R B and Mesri G** (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 3rd edition, ISBN: 978-0-471-08658-1, Wiley-Interscience, New York, 512 pp.
- [18] **Ergün, M U** (2008) Deep Excavation. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 13: 2-32.
- [19] **Tung G and Kung C** (2009) Comparison of Excavation-Induced Wall Deflection Using Top-Down and Bottom-Up Construction Methods in Taipei Silty Clay. *Computer and Geotechnics*, 36:117-140.
- [20] **Tan Y and Paikowsky S G** (2008) Performance of Sheet Pile Wall in Peat. *American Society of Civil Engineering*, 134(4): 445-458.
- [21] **Sabatini P J, Pass D G and Bachus R C** (1999) *Geotechnical Engineering Circular*. 4th edition, ISBN: DTFH61-94-C-00099, Office of Bridge Technology, Washington, 312 pp.
- [22] **Johnson L, Turner M and Boundy B** (2002) Performance of Permanent Ground Anchors for Landslide Stabilization. *Batter Highways Through Applied Geology. 53rd Annual Highway Geology Symposium*, 8 August 2012, San Luis Obispo, Kaliforniya, 383-394.
- [23] **Tunç A** (2002) *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*. 1, ISBN: 975-657-21-6, Atlas Yayınevi, İstanbul, 912 s.
- [24] **Georgidas M and Anagnostopoulos C** (1999) Displacement of Structures Adjacent to Cantilever Sheet Pile Walls. *Soils and Foundations*, 15 April 1999, Thessaloniki, Greece. 109-104.
- [25] **Cundall, P A** (2001) A Discontinuous Future for Numerical Modelling in Geomechanics ?. *Proceedings of The Institution of Civil Engineer*, January 2001, Minneapolis, 41-47.
- [26] **Carrubba P and Colonna P** (2000) A Comparison of Numerical Methods for Multi-tied Walls. *Computer and Geotechnics*, September 2000, United Kingdom, 373-385.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [27] **Tefera T H, Nordal S, Grande L, Sandven R and Emdal A** (2006) Ground Settlement and Wall Deformation From a Large Scale Model Test on a Single Strutted Sheet Pile Wall in Sand. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*, June 2006, Trondheim, Norway, 1-13.
- [28] **İsmail K M H** (2013) Effect of historical earthquakes on pre-stressed anchor tie back diaphragm wall and on near-by building, *HBRC Journal*. April 2013, El-Guedida, Egypt, 60-67.
- [29] **Andrus R D and Stokoe K H** (1997) Liquefaction Resistance Based On Shear Wave Velocity. *NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils*, 31 December 1997, Utah, America, 89-128.
- [30] **Ansal A M ve Güneş M** (1987) Konsolidasyon Özelliklerinin İstatistiksel Bir Değerlendirmesi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği İkinci Ulusal Kongresi*, 11-13 Mayıs 1987, İstanbul, Türkiye, 15-29.
- [31] **Apaydın B S** (2003) Derin Kazılar ve Destekleme Sistemleri. *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 244 s.
- [32] **Aytekin M** (2004) *DeneySEL Zemin Mekaniği*. 2. Baskı, ISBN: 978-111-112-457-1, Teknik Yayınevi, Ankara, 624 s.
- [33] **Schanz T, Vermeer P and Bonier P** (1999) Formulation and Verification of the Hardening Soil Model. *In beyond 2000 in Computational Geotechnics*, January 1999, Balkema, Rotterdam, 1-16.
- [34] **Duncan J M and Chang C Y** (1970) Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 1 September 1970, New York, America, 1629-1653.
- [35] **Altun G** (2013) Ankrajlı ve Ankrajsız Derin Kazı İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler İle Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 107 s.



ÖZGEÇMİŞ

Selimcan TURHAN, 1994 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2012 yılında; Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği ABD (Geoteknik) yüksek lisans eğitimine başladı. 2019 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İş Sağlığı ve Güvenliği tezsiz yüksek lisans eğitimine başladı.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres : Kent Koop Mah. Umutyolu Sitesi F2/7 Batıkent/ANKARA

Tel : (+90) 533 288 09 09

E-posta : scanturhan@gmail.com