

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YUMUŞAK ZEMİNDE KAZIK GRUPLARI İLE DESTEKLENEN KÖPRÜ
AYAKLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DUYGU BİNGÖL

ŞUBAT 2019

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

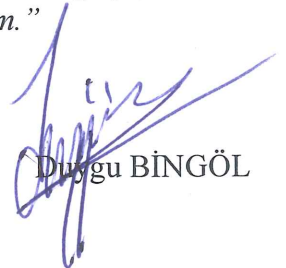
YUMUŞAK ZEMİNDE KAZIK GRUPLARI İLE DESTEKLENEN KÖPRÜ
AYAKLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DUYGU BİNGÖL

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

ZONGULDAK
Şubat 2019

“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.”


Duygu BİNGÖL

KABUL:

Duygu BİNGÖL tarafından hazırlanan “Yumuşak Zeminde Kazık Grupları ile Desteklenen Köprü Ayaklarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analizi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.
18/02/2019

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 : Dr. Öğr. Üyesi Fatih GÖKTEPE

Bartın 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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YUMUŞAK ZEMİNDE KAZIK GRUPLARI İLE DESTEKLENEN KÖPRÜ AYAKLARININ SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Duygu BİNGÖL

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL

Şubat 2019, 83 Sayfa

Bu çalışmada, İl Özel İdaresince yapılması planlanan Kaleoğlu Köprüsü inşaatının temel zemin özelliklerine ait sondaja dayalı zemin etüt raporu incelenerek 4 farklı zemin tabakası üzerinde bulunan köprü ayağı ve temeli Plaxis 2D (2016) sonlu elemanlar programında modellenerek analizler yapılmıştır. Elde edilen oturma değerleri göz önünde tutularak; oluşacak uzun dönem oturmalarına yönelik öngörülen tedbirler yapılan sayısal analizler ışığında değerlendirilmiştir.

Oluşturulan sonlu eleman modeli üzerinde Plaxis programı yardımı ile elde edilen analiz sonuçları ile köprü ayağı altında iyileştirmesiz durum, zemin iyileştirmeli (Jet Grout kolonu uygulaması) durum ve son olarak derin temel uygulamalı durumda (delme kazıklı temel sistemli) elde edilen oturmalar karşılaştırılmıştır. Ayrıca bölgede sık gözlenen taşkın ve sel felaketleri göz önünde tutularak; köprü temelinde yeraltı su seviyesi (YASS) değişiminin köprü temelinde oluşturacağı oturma da analiz edilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Bu çalışmanın sonuçlarına göre yapılması planlanan betonarme köprü için sonlu eleman modelinde elde edilen oturma değerleri göz önünde tutularak; köprü ayağı temel uygulamasının kazıklı temel sistemi kullanılarak tasarlanması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirme, jet grout, kazıklı temel

Bilim Kodu: 624.01.00



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF BRIDGE PIER SUPPORTED BY PILE GROUPS ON SOFT GROUND

Duygu BİNGÖL

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

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL
February 2019, 83 pages**

In this study, the ground floor report of the ground floor characteristics of Kaleoğlu Bridge Construction, which is planned to be constructed by the Provincial Special Administration, was examined and the bridge pier and its foundation on 4 different ground layers were modeled in Plaxis 2D (2016) finite element program and analyzes were performed; the predicted measures for long-term residence are evaluated in the light of numerical analysis.

The results of the analysis obtained with the help of the Plaxis program on the finite element model were compared with the non-improving condition under the bridge pillar, ground improvement (Jet Grout column application), and finally the settlements with deep foundation application (drilling system with pile drilling system) were compared. Considering the frequent flood and flood disasters in the region; The ground level of the groundwater level (YASS) on the basis of the bridge was also analyzed.

ABSTRACT (continued)

In view of the results of the study, considering the living values obtained in the finite element model for the reinforced concrete bridge; It has been proposed to design the bridge pillar foundation application using the pile foundation system.

Key Words: Soil improvement, jet grout, pile foundation

Science Code: 624.01.00.



TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana yardımlarını esirgemeyen, yapıcı öneri ve eleştirileri ile tezime yapmış olduğu tüm değerli katkılarından dolayı değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmama başlamam ile birlikte her zaman büyük desteğini gördüğüm disiplinli çalışması ve çalışkan karakteri ile her anlamda örnek teşkil eden Öğretim Görevlisi Hüseyin MÜNGAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamda proje ve deney verilerini paylaşan Zonguldak İl Özel İdaresi' ne ve Zemin etüt raporunu hazırlayan Karadeniz Mühendislik İnşaat Ltd. Şti.'yekatkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatımın her anına anlam katarak beni hayata sıkı sıkıya bağlayan ve yüzümdeki gülümsemeye sebep olan canım oğlum Yiğit Eren BİNGÖL ve nazlı kızım Eylül İpek BİNGÖL' e tüm kalbimle teşekkür ederim.

Çalışma zamanlarımda, çocuklarıma vakit ayıramadığım zamanlarda yokluğumu hissettirmeyen değerlim Gönül DUYAR' a ve eşi (çocuklarımin dedişi) Halil DUYAR' a sonsuz teşekkür ederim.

Hem eğitim-öğretim sürecimde, hem de iş hayatımda her türlü fikrime destek olarak kariyerimde ilerlememe katkıda bulunan eşim Hüseyin BİNGÖL'e teşekkür ederim.

Aldığım kararlara saygı duyan ve hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
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
1.1 KONUNUN ÖNEMİ.....	1
1.2 TEZİN AMACI VE KAPSAMI	2
 BÖLÜM 2 KONUYLA İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR.....	 5
 BÖLÜM 3 İNCELEME ALANI VE PROJE TANITIMI	 7
3.1 ÇEVRESEL BİLGİLER.....	7
3.2 JEOMORFOLOJİK BİLGİLER.....	8
3.3 PROJEYE AİT BİLGİLER	10
3.4 ZEMİN ÇALIŞMALARI	12
3.4.1 Jeoloji.....	13
3.4.2 Genel Jeoloji	15
3.5 İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ	15
3.5.1 Sondaj Kuyuları	16
3.6 ARAZİ DENEYLERİ.....	16
3.6.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	16

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

3.6.2 Yeraltı ve Yerüstü Suları	18
3.7 LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER.....	18
3.8 ZEMİNLERİN İNDEKS VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ.....	18
3.9 ZEMİNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ	23
3.10 ZEMİN PROFİLİNİN YORUMLANMASI	25
 BÖLÜM 4 GEREÇ VE YÖNTEM.....	 27
4.1 ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ	27
4.2 JET GOUT KOLON UYGULAMASI.....	29
4.2.1 Uygulama Tekniği.....	30
4.2.1.1 Jet 1 Tekniği.....	31
4.2.1.2 Jet 2 tekniği	31
4.2.1.3 Jet 3 Tekniği.....	32
4.2.1.4 Süper Jet tekniği.....	33
4.3 DERİN TEMEL UYGULAMASI.....	34
4.3.1 Ayak Temeller	36
4.3.2 Kesonlar	36
4.3.3 Kazık Temeller.....	36
4.3.3.1 Kazık Tipleri	37
4.4 SONLU ELEMENLAR METODU.....	52
4.5 KÖPRÜ TEMELLERİNİN TASARIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN BAŞLICA ESASLAR	53
 BÖLÜM 5 MODEL VE ANALİZ	 55
 BÖLÜM 6 SONUÇLAR.....	 67
 KAYNAKLAR.....	 69

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
EK AÇIKLAMALAR A	75
SONDAJ LOGLARI VE LABORATUVAR SONUÇLARI.....	75
ÖZGEÇMİŞ	83





ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Zonguldak İli Haritası.....	7
Şekil 3.2 İnceleme Alanı Google Earth Uydu Görüntüsü (Ölçeksiz).....	8
Şekil 3.3 İnceleme Alanı Çizim (Ölçeksiz).....	8
Şekil 3.4 Jeomorfoloji Haritası	9
Şekil 3.5 Zonguldak İli ve çevresinin Genel Eğim Haritası	9
Şekil 3.6 Köprü Ayağı Boykesiti.....	10
Şekil 3.7 Proje Boykesiti.....	11
Şekil 3.8 Sondaj Çalışması SK.1.....	12
Şekil 3.9 Sondaj Çalışması SK 2.....	12
Şekil 3.10 Numune ve Karotlar.....	13
Şekil 3.11 İnceleme Alanının ve Dolayının Genelleştirilmiş Stratigrafik Dikme Kesiti.	14
Şekil 3.12 Sondaj Logu 1.	20
Şekil 3.13 Sondaj Logu 2.	21
Şekil 3.14 Sondaj Logu 3.	22
Şekil 4.1 Jet Grout yöntemi.....	30
Şekil 4.2 Jet 1 Tekniği.....	31
Şekil 4.3 Jet 2 Tekniği.....	32
Şekil 4.4 Jet 3 Tekniği.....	32
Şekil 4.5 Süper Jet Tekniği	33
Şekil 4.6 Derin temelin kısımları: (A) düz temeller. (B) giderek daralan temeller ve (C) tabanı genişletilmiş temeller	34
Şekil 4.7 Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri.....	40
Şekil 4.8 Kazık ile inşa edilen Köprü Ayak ile Temel Yükleri.....	42
Şekil 4.9 Sürtünme Kazığı ve Uç Kazık.....	43
Şekil 4.10 Kazık Grup Etkisi.....	51
Şekil 5.1 Sonlu Elemanlar Metodu İle Temsili Köprü Modeli	57
Şekil 5.2 Toplam Yerdeğiştirme İuI Maksimum Değer 0.1347m. 434 Nolu Eleman 40529 Noktası	58
Şekil 5.3 İyileştirme Yapılmadan Önceki Zamana Bağlı Oturmalar	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.4 Toplam Yerdeğiştirme İuı Maksimum Değer 0.1065m. 434 Nolu Eleman 51789 Noktası	60
Şekil 5.5 Jet Grout Yapıldıktan Sonra Zamana Bağlı Oturmalar.....	61
Şekil 5.6 Toplam Yerdeğiştirme İuı Maksimum Değer 0.07697m. 434 Nolu Eleman 51789 Noktası.	62
Şekil 5.7 Delme Kazık Yapıldıktan Sonra Zamana Bağlı Oturmalar	63
Şekil 5.8 Toplam Yerdeğiştirme İuı Maksimum Değer 0.05807m. 434 Nolu Eleman 51789 Noktası	64
Şekil 5.9 Sel Durumunda Zamana Bağlı Oturmalar	65



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Köprü temellerindeki ve kenar ayakları arasındaki izin verilebilir oturma ve diferansiyel oturma değerleri.....	5
Çizelge 2.2 Analiz sonuçları	6
Çizelge 3.1 Sondaj Litolojisi.....	16
Çizelge 3.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	17
Çizelge 3.3 Yeraltı Su Durumu.....	18
Çizelge 3.4 Laboratuvar Deney Sonuçları.....	19
Çizelge 3.5 Deneylere ait Kohezyon ve İçsel Sürtünme Değerleri.....	23
Çizelge 3.6 Deneylere ait Kohezyon ve İçsel Sürtünme Değerleri.....	23
Çizelge 3.7 Homojen Zeminlerin Sınıflaması.....	24
Çizelge 3.8 Spektrum Karakteristik Periyotları.....	24
Çizelge 3.9 Etkin Yer İvme Katsayısı (Ao).....	24
Çizelge 3.10 Deney Sonuçlarına Göre Zemin Sınıflaması.....	25
Çizelge 3.11 SPT-N ile ϕ' (°) Efektif Kayma Mukavemeti Açısı arasındaki ilişkiyi korelasyon denklemleri	26
Çizelge 4.1 Zemin iyileştirme yöntemleri ve kullanım amaçları	28
Çizelge 4.2 Köprü Temelinde Geoteknik Çalışmaları ve Analizleri	35
Çizelge 4.3 Derin temel tipleri	35
Çizelge 4.4 Sondaj kazıklarının avantaj ve dezavantajları.....	40
Çizelge 4.5 Deplasman kazıklarının avantaj ve dezavantajları.....	41
Çizelge 4.6 Terzaghi Taşıma Gücü Katsayıları.....	45
Çizelge 4.7 Li Değerleri.....	47
Çizelge 4.8 Kazık Tipine Göre K Değerleri.....	48
Çizelge 4.9 Geostatik Katsayıya Oranla K Değerleri	48
Çizelge 4.10 Kazık – Zemin Sürtünmesi Değerleri	49
Çizelge 5.1 Malzeme Parametreleri	55
Çizelge 5.2 Üst Yapı Parametreleri.....	56
Çizelge 5.3 Köprü tasarımında izin verilebilir diferansiyel oturma değerleri.....	56
Çizelge 5.4 Rijit Kolon Parametreleri	61



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

c	: Zeminin kohezyonu
ϕ'	: Efektif Kayma Mukavemeti Açısı
Φ	: İç sürtünme açısı.
Φ_r	: Yoğrulmuş kilin efektif (drenajlı) iç sürtünme açısı.
A_0	: Etkin Yer İvme Katsayısı
qp	: Maksimum kazık uç taşıma drenci
qs	: Maksimum kazık sürtünme drenci
qf	: Kazık ucundaki zeminin birim nihai taşıma kapasitesi
fs	: Birim sürtünme direnci
γ	: Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
fi	: Kazığın Her Bir Zemin Tabakası İçindeki Birim Çevre Sürtünmesi Değeridir.
ψ	: Dilatasyon açısı
ρ	: Zemin birim hacim ağırlığı
E	: Elastisite Modülü
a_{max}	: Deprem maksimum yer ivmesi
e_{max}	: Maksimum boşluk oranı
e_{min}	: Minimum boşluk oranı
g	: Yerçekimi ivmesi
γ_s	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
c_u	: Ortalama drenajsız dayanımdır ($\phi = 0$ hali).
σ_{vi}'	: (i) Zemin tabakasında efektif düşey gerilme.
α_i	: Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısını.
c_i	: Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma dirençlerini.
δ_i	: (i) Zemin tabakasında kazık zemin arası sürtünme açısıdır.
σ_o'	: Kazığın ucundaki düşey efektif geostatik gerilme
η	: Bir kat sayı; dairesel kesitlerde 0.3karese kesitlerde 0.4

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

KISALTMALAR

Ap	: Kazık uç enkesit alanı
As	: Kazık sürtünme alanı
B	: Temel Genişliği, kazık çapı veya kenar uzunluğu
CL	: Killi Zemin
DC_{col}	: Köprü Ayak yükü (ağırlığı)
DC_{net}	: Zemin birim hacim ağırlığı ile kazığın beton birim hacim ağırlığı farkı
DD	: Yumuşak zeminin düşey oturmadan dolayı kazıkta oluşturacağı
Df	: Temel Derinliği
Dr	: Rolatif Sıklık
İ	: Değişik özellikteki zemin tabakaları.
Ki	: İ. zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı.
Koi	: Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının sükûnetteki yatay toprak basıncı katsayısı(Geostatik katsayı).
LL	: Likit Limit
N	: Ölçülen SPT darbe vuruş sayısı
Nc,Nq,N_γ	: Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları
Qf	: Kazık taşıma gücü
Qp	: Kazığın uç taşıma kapasitesi
Qs	: Kazık sürtünme direnci
PI	: Plaste İndisi
PL	: Plastik Limit
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
UD	: Örselenmemiş Numune
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
Vp	: Ölçülmüş kayma dalgası hızı
Wn	: Su muhtevası
WSDOT	: Washington State Department of Transportation
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 KONUNUN ÖNEMİ

İnşaat öncesi alınması gereken önlemlerin ve inşaat sırasında zeminle ilgili dikkat edilmesi gereken husus ve önerilerin belirlenmesine yönelik olarak; sondaj ve gözlemsel verilere dayanarak temele ait zemin özelliklerinin belirlenerek zeminetüdünün yapılması ve sonrasında geoteknik raporun hazırlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada; inceleme alanındaki temel zemin tip veformasyonundaki en düşük dayanımlı birimin taşıma gücünün, statik projelerine veri teşkil edecek zemin parametrelerinin irdelenerek sahanın genel jeolojik ve geoteknik davranışı, yeraltı suyu durumu, trafik yükü gibi faktörlerin bir arada değerlendirilerek, zemin ile ilgili karşılaşılabilecek sorunların önceden tespit edilmesi, yapılaşma öncesi dikkat edilmesi gereken husus ve önerilerin belirlenmesi neticesinde emniyetli ve güvenilir yapıların yapılmasına ışık tutacak bilgiler saptanmaya çalışılmıştır.

Karayolu akarsu geçişlerinde sanat yapısı olarak tasarlanan köprülerin ayak temellerinde meydana gelen oturmalara sebep olan en etkili parametreler zemin cinsi ve zemin tabakalarıdır. Zemin söz konusu olduğunda; sıvılaşma problemi, yetersiz taşıma gücü, yapım sırasında veya sonrasında oluşabilecek aşırı toplam oturma, yapıda zarara neden olabilecek farklı oturmalar, temel kazı problemleri, şev duraysızlığı, kazı sonrası kabarmalar, çökebilen, şişebilen veya organik zemin varlığıdır. Çözüm olarak zemini veya zemin özelliklerini iyileştirme konusunda en temel çözüm, mevcut zemine uygun temel projesi tasarlamaktır. Uygun olmayan zemin için zemin kaldırılarak yerine daha sağlam zemin yerleştirilebilir ya da zemin özellikleri arazide yapılacak iyileştirme yöntemleriyle iyileştirilebilir, zayıf zeminin altında makul derinlikte sağlam zemin var ise yapı yükü mevcut bulunan sağlam zeminlere taşılabilir.

Bu çalışmada oluşturulan sayısal modellerde arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler farklı senaryolar altında değerlendirilmiştir. Zeminde iyileştirme öncesi ve sonrası elde edilen geoteknik parametreler kıyaslanarak, oturma değerlerinin, iyileştirme sonrası azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca sayısal analizlerin projelendirme öncesinde ekonomik olarak fayda getirebileceği bilimsel olarak bu çalışma da tespit edilerek, proje uygulama süreçleri ile ilgili çeşitli öneriler sunulmuştur.

1.2 TEZİN AMACI VE KAPSAMI

Mühendislik mesleğinin özünde ihtiyaçları karşılarken sırası ile “emniyet, ekonomi ve estetik” yani 3E kuralı bulunmakta olup bir mühendisolarak hızlı, doğru ve anlaşılır bir standart çözüm bulurken, ekonomiklikten de uzaklaşmamamız gerekmektedir. Bu tez de Zonguldak İli Merkez İlçesi, Kaleoğlu Köyü sınırları içinde yapılması planlanan **Kaleoğlu Köprüsü** inşaatının köprü ayaklarının bulunduğu zeminde gösterdiği performans incelenmiştir. Arazi sondaj çalışmalarından elde edilen laboratuvar ve arazi verilerini değerlendirilerek gerekliyse zemin iyileştirme kapsamında yapılabilecek geoteknik çözümler tespit edilmiştir. Mevcut zemin koşulları ile inşaat öncesi köprüde meydana gelebilecek taşıma gücü ve oturma problemlerininve bu problemin çözümüne yönelik zemin iyileştirme yöntemleri önerilmiştir. Bu yöntemler jet-grouting kolonu, sağlam zeminin derinlerde olması durumunda ise kazıklı temeller öngörülen problemin çözümü ile ilgili olarak sunulan yöntemlerdir. Aynı zamanda bu yöntemlerin arazide uygulanabilirliğini Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı ile analiz ederek bu analizler ışığında en ekonomik mühendislikuygulamasına ulaşmak hedeflenmiştir.

Bu kapsamda yapılması planlanan betonarme köprü modeli sonlu elemanlar programında numerik modellenerek, köprü ayağı temelinde meydana gelen uzun dönem oturmaları analiz edilmiştir. İzin verilen oturma değeri köprü temellerindeki ve kenar ayakları arasındaki izin verilebilir oturma ve diferansiyel oturma değerleri (WSDOT 2013) için bahsedilen değerlerle uyumluluğu imalat öncesi–iyileştirmesiz/iyileştirmeli ve derin temel uygulaması ile belirlenmiştir.

Analizlerde, köprü ayağı altında iyileştirmesiz durum için ve zemin iyileştirmeli - Jet Grout kolonu uygulaması ve son olarak derin temel uygulaması – delme kazıklı temel sistemli durumlarda elde edilen oturmalar karşılaştırılmıştır. Bölgede sık gözlenen taşkın ve sel

felaketleri göz önünde tutularak; köprü temelinde yeraltı su seviyesi (YASS) değişiminin köprü temelinde oluşturacağı oturmalar analiz edilmiştir. Dört farklı zemin tabakası üzerinde bulunan köprü ayağı ve temeli ile oluşturulan sonlu eleman modeli, yüzeyden 3 m derinlikte YASS altında modellenmiştir. Modelde köprü 27 m tabla açıklığı, 5m*12m boyutlu ayak temeli olacak şekilde 15 düğüm noktalı üçgensel elemanlar ile düzlemsel şekil değiştirme esas alınarak modellenmiştir. İyileştirmesiz durumda köprü ayağı temeli altında 9 cm oturma elde edilmiştir. WSDOT (Washington State Department of Transportation) 2013'a göre bu miktar kabul edilebilir düzeyin dışındadır. Oturma değerlerinin kabul edilebilir düzeye indirilmesi için zemin iyileştirme yöntemlerinden jetgrout kolonu önerilmiştir.

Buna göre; 2m aralıklı 80cm çaplı ve 10m derinde koloni malatı ile oturma değeri 6.3cm olarak elde edilmiştir. Derin temel uygulanması durumu için; köprü ayağına 2m aralıklı 100cm çaplı ve 10 m derinlikte kazık temel uygulaması ile oturma değeri 2.6 cm'e kadar düşürülmüştür.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre Zonguldak il sınırları içinde yapılması planlanan betonarme köprü için sonlu eleman modelinde elde edilen oturma değerleri göz önünde tutularak; köprü ayağı temel uygulamasının kazıklı temel sistemi kullanılarak tasarlanması önerilmiştir.



BÖLÜM 2

KONUyla İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Zemin ve temel etütleri, temel tasarımı ile zemin-temel-yapı etkileşiminin irdelenmesinde kullanılacak zemin özellikleri tayini için yapı alanı ve çevresinde zemin ve yeraltı suyu ile ilgili bütün verilerin toplanması amacıyla yapılan çalışmalar olup bu çalışmaların sonucunda temel ön tasarımı belirlenir. Bu bölümde bu tasarımda ihtiyaç duyulan tez konusu kapsamındaki literatür bilgileri verilecektir.

Çavuş (2015)'e göre; köprülerin ekonomik tasarımında temel zemini geoteknik özelliklerinin önemi ve bir vaka örneği çalışmasında; köprü temellerinin boyutlandırılması ve tasarımında hem köprü güvenliği açısından hem de ekonomisi açısından önemi üzerine durulmuş. Köprü temel tipleri verilerek köprü temellerinin tasarımında dikkat edilmesi gereken temel esaslara değinilerek Çizelge 2.1'de tasarım öncesi gerekli olan geoteknik çalışmalar özetlenmiştir

Çizelge 2.1 Köprü temellerindeki ve kenar ayakları arasındaki izin verilebilir oturma ve diferansiyel oturma değerleri (WSDOT 2013).

Köprü ayağı veya temelindeki toplam oturma (cm)	30 m nin üzerindeki açıklıktaki köprü ayakları arasındaki diferansiyel oturma (cm)	Faaliyet
$\Delta H \leq 2.5$	$\Delta H_{30} < 1.9$	Tasarla ve İnşa et
$2.5 < \Delta H \leq 10$	$1.9 < \Delta H_{30} \leq 7.6$	Köprü'nün bu oturmaya tolere edip etmeyeceğini analiz et
$\Delta H > 10$	$\Delta H_{30} > 7.6$	Tasariya ve inşaata devam edip etmemek için izin al

Kökten (2014), sonra yapılan çalışma; yumuşak zemin üzerinde yer alan köprü yaklaşım dolguları oturmalarının kazıklar ile azaltılması bir vaka analizi ile incelenmiştir. Dört ayaklı ve 125 m toplam açıklığa sahip Surtees Köprüsü'nün yumuşak kil zemin üzerine oturan bir kenar ayağı ve yaklaşım dolgusu taban zemini için, dolgu temel zeminlerinde oturmaları azaltıcı kazıkların teşkil edilmesinin farklı oturmalar üzerindeki etkinliği Midas GTS 3D programı kullanılarak sonlu elemanlar analizleri incelenmiştir. Yaklaşım dolgusu oturma

azaltıcı kazıklarının tasarlanmasında kazıkların temel zemini özellikleri göz önüne alınarak yüzen ya da ana kayaya soketli uç kazığı olarak tasarlanmasının seçimi başlık plakasının kalınlığının belirlenmesinde ve oturmaların doğru olarak sınırlandırılmasında etkin rol oynadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 2.2 Analiz sonuçları (Kökten ve Akbaş 2014).

Tasarım	L _{min} (m)	L _{max} (m)	Sv-ayak (mm)	Sv-dolgu (mm)	Sv-diff (mm)	Sv-dolgu/Sv- ayak
Mevcut Kazıklı Kenar Ayak	-	-	402	740	338	3.86
Basp Kazıklı-1	2	12	102	277	175	2.72
Basp Kazıklı-2	6	16	91	211	120	2.32
Basp Kazıklı-3	12	16	78	156	78	2.00
Basp Kazıklı-4	20	20	51	62	11	1.22

Analiz sonuçlarına göre hazırlanan çizelge 2.2’ de söz konusu geoteknik koşullar altında, kabul edilebilir farklı oturmalar (WSDOT 2013), ancak tüm kazıkların 20.0m boyda imal edildiği dördüncü çalışmada elde edilebilmektedir. Ayrıca Basp kazıklarının başlık plakalarının tasarımında, geosentetik donatıların veya betonarme plakların kullanılabileceği belirlenmiştir.

Sert ve diğ. 2007’ de yayınlanan derin yumuşak kil üzerinde köprü ayağı temeli konulu bildiride; İstanbul Beykoz Belediyesi Riva (Çayağzı) Beylik Mandıra mevkiinde yapımı planlanan köprü için yapılan zemin değerlendirmelerinde köprü ve yaklaşım dolgularının inşaatı sırasında taşıma gücü ve oturma problemlerinin belireceği görülmüştür. Çözüm olarak köprü ayağı altında oturmaların yaklaşık 50 m derinlikte karşılaşılan anakayaya indirilmiş çelik profil kazıklarla sıfırlanabileceği, yaklaşım dolgusu altında meydana gelecek uzun süreli oturmaların da 65 cm çaplı, 15 m boyunda jet-grout kolonları ile kabul edilebilir seviyelere çekilebileceği Plaxis v8 2D sonlu eleman yazılımı ile yapılan analizlerle gösterilmiştir.

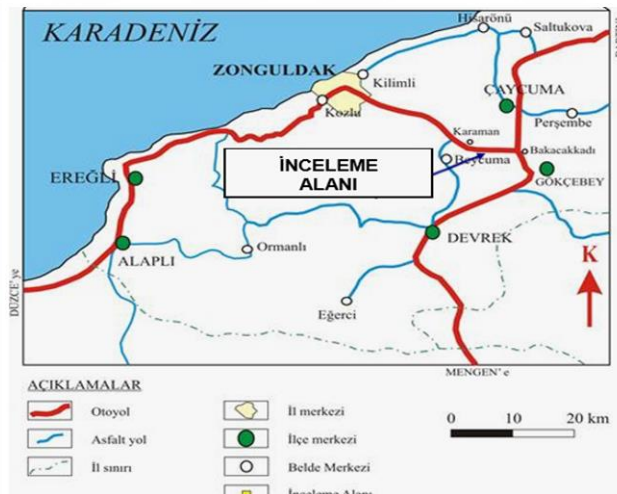
BÖLÜM 3

İNCELEME ALANI VE PROJE TANITIMI

Bu bölümde, yapılması planlanan inşaat alanına ait jeomorfolojik ve çevresel bilgiler ile incelemealanının mühendislik jeolojisinin genel yapısı ve işin ön projesi anlatılmaktadır.

3.1 ÇEVRESEL BİLGİLER

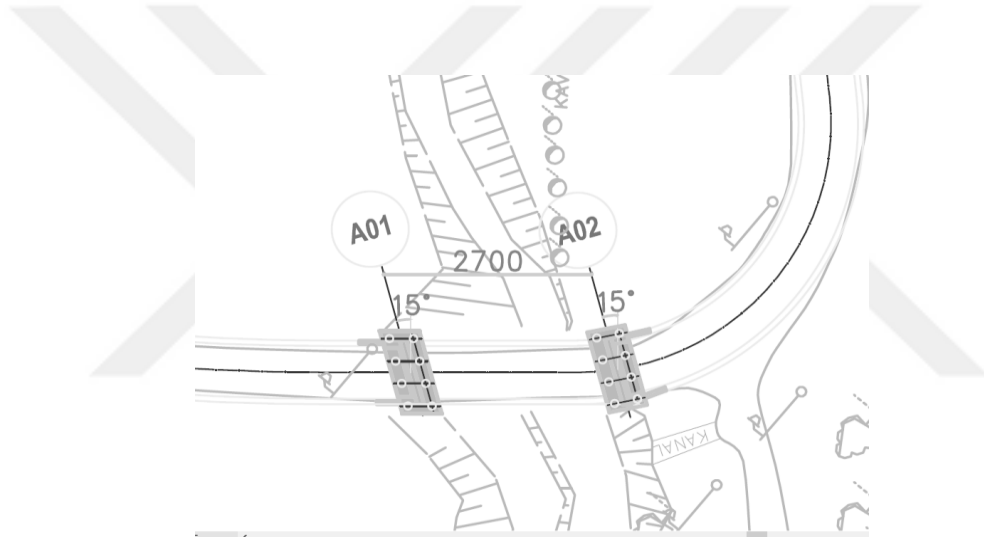
İnceleme alanı; Zonguldak İli, Merkez ilçesi, Kaleoğlu Köyü sınırları içerisinde İnceleme alanına ulaşım Zonguldak-Çaycuma Yolu üzerinden sağlanmaktadır. Çalışma alanına ait yerbulduru haritası ve uydudan görünüm şekiller 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1 Zonguldak İli Haritası.



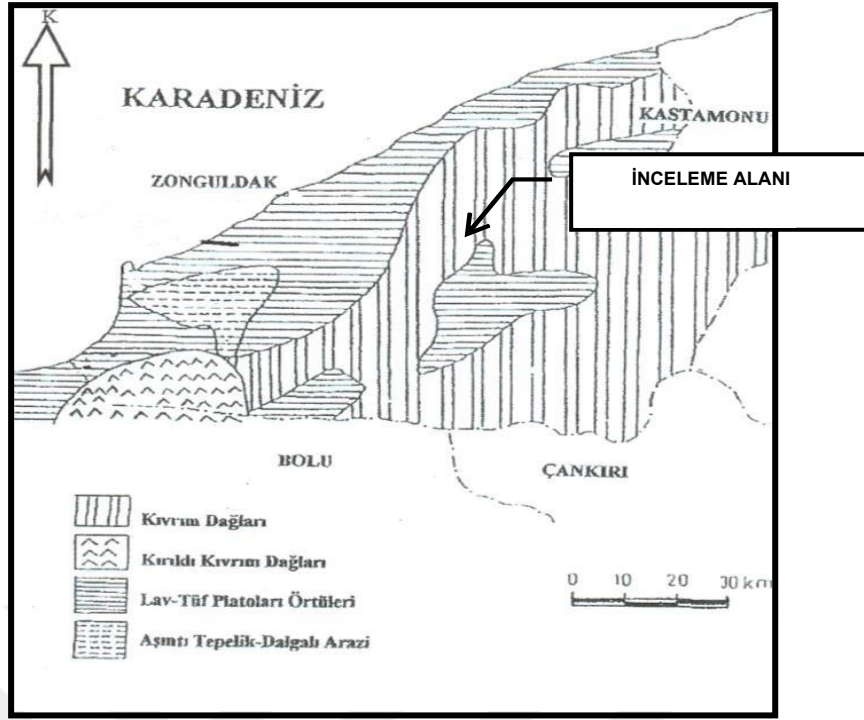
Şekil 3.2 İnceleme Alanı Google Earth Uydu Görüntüsü (Ölçeksiz).



Şekil 3.3 İnceleme Alanı Çizim (Ölçeksiz).

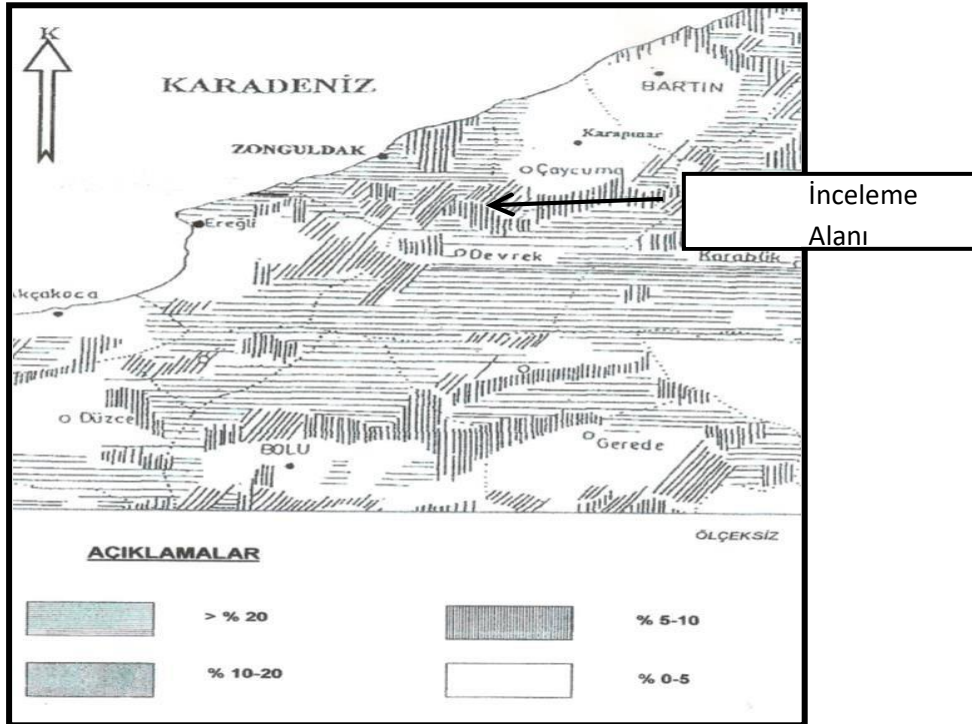
3.2 JEOMORFOLOJİK BİLGİLER

Şekil 3.4'te verilen Zonguldak İli ve Çevresi Genel Eğim Haritası Anonim (1987)' na bakıldığında ve lokal bazda incelendiğinde alan; % 0-5 topoğrafik eğime sahip alanlar içerisinde kalmaktadır.



Şekil 3.4 Jeomorfoloji Haritası (Anonim 1987).

Şekil 3.5'te verilen Zonguldak ve dolayının genelleştirilmiş jeomorfoloji haritasında Anonim (1987) Kıvrım Dağları içerisinde kalmaktadır.

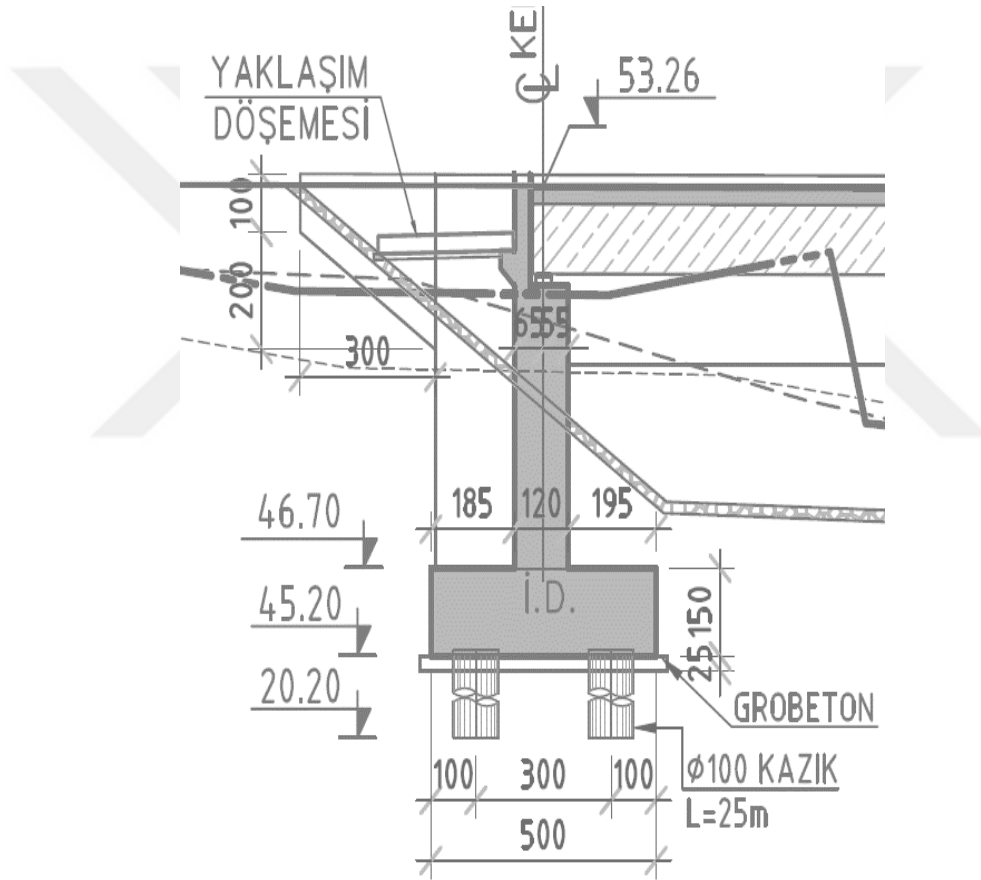


Şekil 3.5 Zonguldak İli ve çevresinin Genel Eğim Haritası (Anonim 1987)

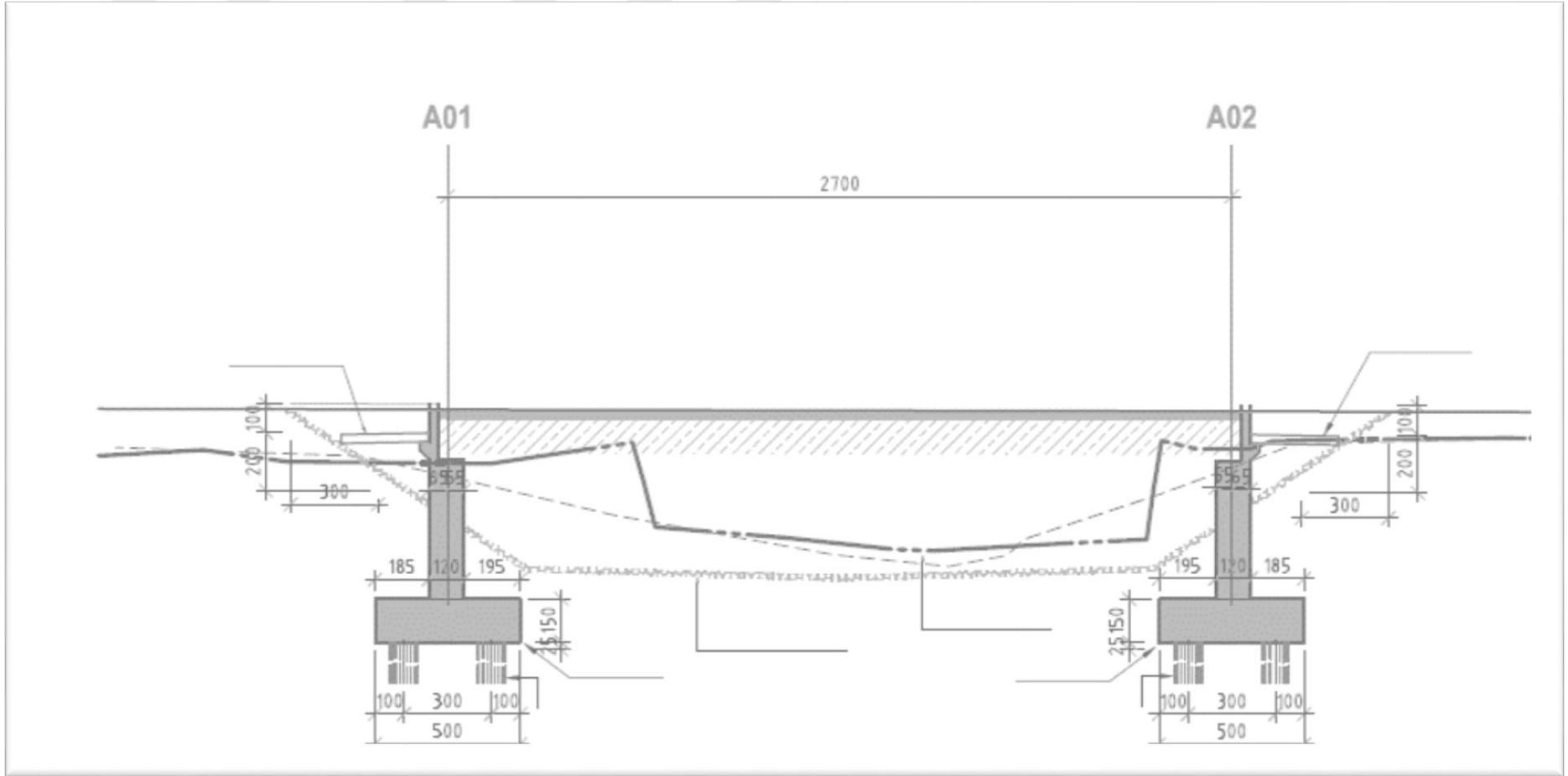
İnceleme alanı ılıman Karadeniz ikliminin altındadır. En fazla yağış sonbahar ve kış mevsimlerinde görülür. Her mevsimi yağışlı ve ılık olan bölgede kurak mevsim görülmemektedir.

3.3 PROJEYE AİT BİLGİLER

Zonguldak İli, Merkez İlçesi, Kale oğlu Köyü, F28A16B3C Pafta sınırları içerisinde, Kale - oğlu Köprüsü yapılması planlanmaktadır. İşe ait köprü ayağı boykesiti Şekil 3.6'daki ve proje boykesiti şekil 3.7'deki gibidir.



Şekil 3.6 Köprü Ayağı Boykesiti.



Şekil 3.7 Proje Boykesiti.

3.4 ZEMİN ÇALIŞMALARI

İnceleme alanında yapılan çalışmalar arazi, laboratuvar deneyleri ve büro olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında; Kaleoğlu Köprüsü yapılması planlanan söz konusu alana ait arazi koşullarının uygun olduğu noktalarda jeoteknik amaçlı sondaj kuyuları açtırılarak başlanılmış şekil 3.8 ve şekil 3.9.'da görüldüğü üzere d-500 sondaj makinası kullanılarak toplam 61.00 metre derinliğinde 3 lokasyonda temel sondajı yapılmıştır.



Şekil 3.8 Sondaj Çalışması SK 1.



Şekil 3.9 Sondaj Çalışması SK 2.

Sondaj Kuyularında 1.5 metrede bir Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Sondaj kuyularında geçilen birimlerden şekil 3.10 da ki örselenmemiş numune (Ud), SPT ve karot numuneleri alınmıştır.



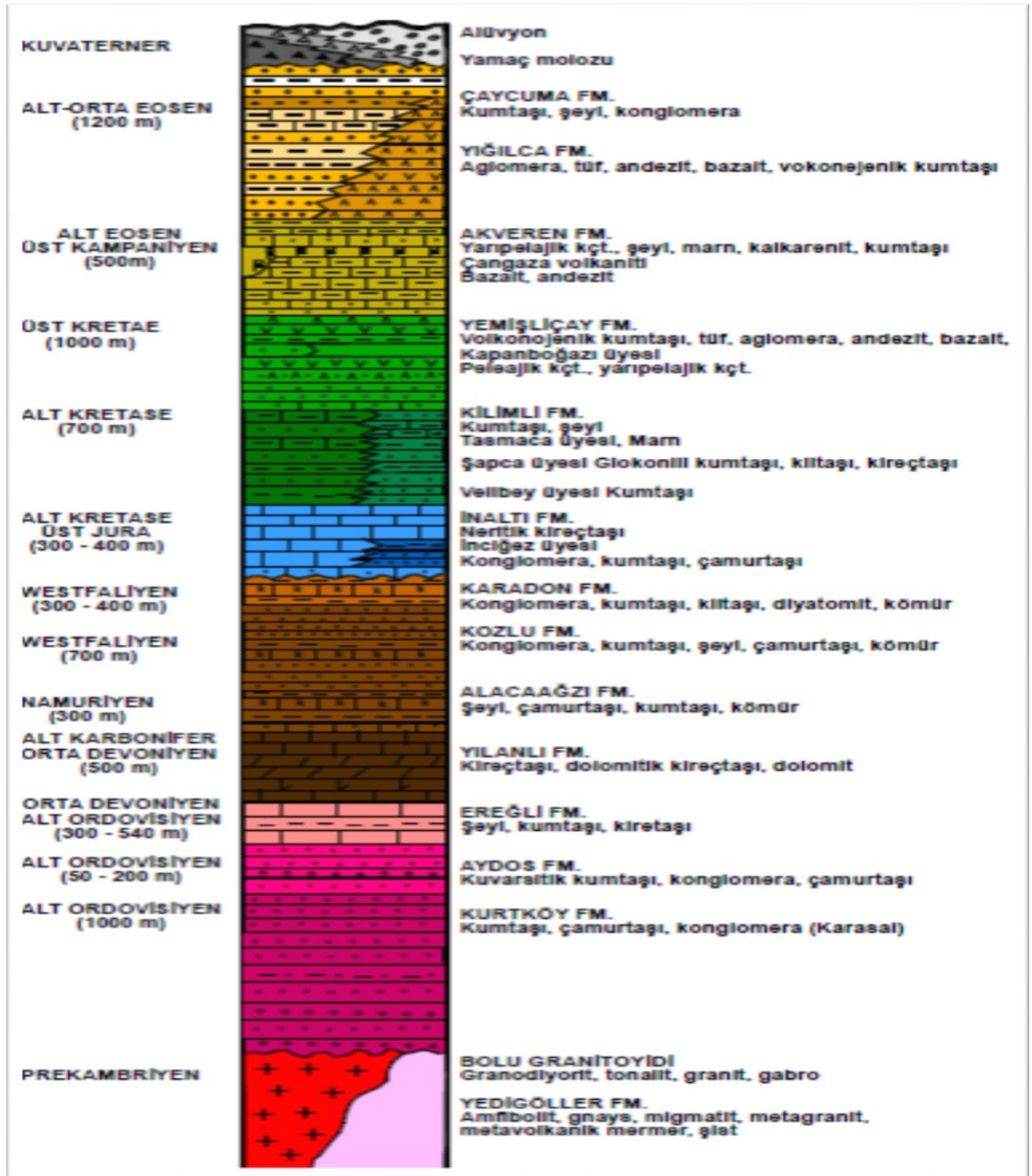
Şekil 3.10 Numune ve Karotlar.

3.4.1 Jeoloji

Kuzey Anadolu Fayı'nın kuzeyinde Kandilli, Zonguldak, Devrek ve Dirgine arasında kalan çalışma alanı, temelde Prekambriyen yaşlı metamorfik kayalardan oluşan Yedigöller Formasyonu ile granit türü kayalardan oluşan Bolu Granitoidi izlenir. Bunların üzerinde sırasıyla: Alt Ordovisiyen yaşlı karasal kumtaşı, çamurtaşı ve çakıl taşından oluşan Kurtköy Formasyonu; kuvarsitik kumtaşı, konglomera ve çamurtaşından oluşan Aydos Formasyonu; Yılanlı Formasyonu üstte geçişli olarak şeyl, çamurtaşı, kumtaşı ve kömür içeren Namuriyen yaşlı Alacaagzı Formasyonu; Westfaliyen yaşlı konglomera, kumtaşı, şeyl, çamurtaşı ve kömürden oluşan Kozlu Formasyonuna ile konglomera, kumtaşı, kil taşı diyatomit ve kömürden oluşan Karadon Formasyonuna geçer. Bunların üzerinde yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşan İnaltı Formasyonu ve konglomera, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan İnciğez üyesi diskordans olarak yer alır. Bu seviyeden itibaren üste doğru birimler geçişli olarak görülür. Bölgede Alt Kretase Kilimli Formasyonu ile temsil edilir. Genelde kumtaşı ve şeyllerden oluşan Kilimli Formasyonu Veli Bey Üyesi, Sapça Üyesi ve Tasmaca üyesine ayrılır. Bunların üzerinde ise sırasıyla; Üst Kretase yaşlı volkanojenik kumtaşı, tuf, aglomera, andezit ve bazaltlarla temsil edilen Yemişliçay Formasyonu ile pelajik-yarı pelajik kireçtaşı ve karbonatlı çamur taşlarından oluşan Kapanboğazı üyesi bulunur. Kireçtaşı, şeyl, kalkarenit,

kumtaşı ve konglomeradan oluşan Akveren Formasyonu; andezitten oluşan bazalt Çangaza Volkanit Üyesi; Alt-Orta Eosen yaşta aglomera, tuf, andezit, bazalt ve volkanojenik kumtaşlarından oluşan Yığılca Formasyonu gelir. Kumtaşı, şeyl ve konglomeradan oluşan Çaycuma Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar yer alır. Bölgede sıkışma tektoniğine bağlı olarak kıvrımlanmalar gözlenmektedir. İnceleme alanına ait stratigrafik kesit şekil 3.11 olarak aşağıda verilmiştir.

Şekil 3.11 İnceleme Alanının ve Dolayının Genelleştirilmiş Stratigrafik Dikme Kesiti.



3.4.2 Genel Jeoloji

İnceleme alanı ve yakın çevresinin Kuvaterner yaşlı Alüvyon içerisinde kaldığı görülmektedir. İnceleme alanında açtırılan sondaj kuyularında yeraltı suyuna rastlanılmıştır ve sondaj kuyuları bazında rastlanan yeraltı sularına ait derinlikler 5.00 metre olarak belirlenmiştir. Yapılması planlanan köprü devamlı akış gösteren Çay Deresi üzerindedir. İnceleme alanı % 0-5 topoğrafik eğime sahip olduğundan kütle hareketleri, kaya düşmesi, heyelan vb. tehlike bulunmamaktadır. İnceleme alanında yapılan sondaj ve jeofizik çalışmalarda karstik boşluk ile ilgili veriye rastlanılmamıştır. Çalışma alanındaki sondaj kuyuları temel alındığında; zeminin üst kesimlerinde ortalama 18.00 metre 'ye kadar CL grubu kumlu kil birimi, alüvyon birimin devamında ise kumtaşı-şeyl ardalanması bulunduğu tespit edilmiştir.

3.5 İNCELEME ALANININ MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ

İnceleme alanı ve yakın çevresinin Kuvaterner yaşlı Alüvyon içerisinde kaldığı görülmektedir.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyuları bazında yüzeyden itibaren geçilen zemin profiliaşağıdaverilmiştir.

Sondaj Kuyusu No:1 (0.00-21.00 metre)

0.00-5.00 mt. kumlu kil
5.00-5.50 mt. az çakıllı kum-kil karışımı
8.50-14.00 mt. siltli kil
14.00-17.00 mt. ince-orta çakıllı kil
17.00-18.00 mt. sert kil
18.00-21.00 mt. Kumtaşı-şeyl

Sondaj Kuyusu No:2 (0.00-20.00 metre)

0.00-5.00 mt. kumlu kil
5.00-8.50 mt. az çakıllı kum-kil karışımı
8.50-14.00 mt. siltli kil

14.00-17.00 mt. ince-orta çakıllı kil

17.00-18.00 mt. sert kil

18.00-20.00 mt. Kumtaşı-şeyl

Sondaj Kuyusu No:3 (0.00-20.00 metre)

0.00-5.00 mt. kumlu kil

5.00-8.50 mt. az çakıllı kum-kil karışımı

8.50-14.00 mt. siltli kil

14.00-17.00 mt. ince-orta çakıllı kil

17.00-18.00 mt. sert kil

18.00-20.00 mt. Kumtaşı-şeyl

3.5.1 Sondaj Kuyuları

İnceleme alanında 3 lokasyonda açtırılan ve toplam 61.00 metre derinliğindeki sondaj kuyularına ait derinlikler aşağıda, kuyu bazında yüzeyden itibaren geçilen zemin profili sondaj logları olarak EK olarak verilmiştir. İnceleme alanında açılan sondajlarda geçilen litoloji;

Çizelge 3.1 Sondaj Litolojisi.

Kuyu No	Derinlik (m)	Numune Türü		YASS (m)	Litoloji	Formasyon
		UD- SPT (ad.)	Karot (ad.)			
SK-1	21	4	2	5.00	Kumlu Kil	Qal
SK-2	20	4	2	5.00	Kumlu Kil	Qal
SK-3	20	4	2	5.00	Kumlu Kil	Qal

3.6 ARAZİ DENEYLERİ

3.6.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sırasında kuyu bazında geçilen birimlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) deneyleri yapılmıştır. Standart Penetrasyon deneyi dış çapı 50 mm, iç çapı 35 mm ve uzunluğu 650 mm olan standart

tip boyuna yarık numune alıcının, şahmerdanın serbest düşmesi ile zemine 15 cmlik kademeler halinde toplam 45 cm çakılması için ihtiyaç duyulan darbe adedi ile tespit edilir. İlk 15 cm'lik kısım oturma kademesi olarak, son iki seviyedeki darbe sayısı toplamı SPT-N (Zeminin Penetrasyon Direnci) olarak alınır. İnceleme alanında açtırılan sondaj kuyularında uygulanan SPT deneylerinden elde edilen SPT ve SPT-N verileri çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).

Sondaj Kuyusu No	SPT NO	DERİNLİK (mt)	SPT DEĞERİ			SPT-N
			N15	N30	N45	
SK-1	SPT-1	1.50-1.95	2	3	3	6
	SPT-2	4.50-4.95	3	3	4	7
	SPT-3	6.00-6.45	3	5	5	10
	SPT-4	7.50-7.95	3	5	5	10
	SPT-5	9.00-9.45	3	4	3	7
	SPT-6	10.50-10.95	3	3	3	6
	SPT-7	12.00-12.45	4	4	5	9
	SPT-8	13.50-13.95	4	4	7	11
	SPT-9	15.00-15.45	5	5	8	13
	SPT-10	16.50-16.95	5	6	9	15
SK-2	SPT-1	1.50-1.95	2	3	3	6
	SPT-2	3.00-3.45	3	4	4	8
	SPT-3	4.50-4.95	3	5	7	12
	SPT-4	8.00-9.45	3	4	7	11
	SPT-5	10.50-10.95	3	3	4	7
	SPT-6	12.00-12.45	4	5	3	8
	SPT-7	13.50-13.95	4	5	6	11
	SPT-8	15.00-15.45	5	5	8	13
	SPT-9	16.50-16.95	5	8	9	17
SK-3	SPT-1	1.50-1.95	3	3	3	6
	SPT-2	3.00-3.45	3	5	3	8
	SPT-3	4.50-4.95	3	5	6	11
	SPT-4	6.00-6.45	3	5	5	10
	SPT-5	7.50-7.95	3	5	3	8
	SPT-6	10.50-10.95	3	4	3	7
	SPT-7	12.00-12.45	4	5	5	10
	SPT-8	13.50-13.95	5	4	4	8
	SPT-9	15.00-15.45	5	5	6	11
	SPT-10	16.50-16.95	6	8	8	16

3.6.2 Yeraltı ve Yerüstü Suları

İnceleme alanında açtırılan sondaj kuyularında yeraltı suyuna rastlanılmıştır ve sondaj kuyuları bazında rastlanan yeraltı sularına ait derinlikler çizelge 3.3'te verilmiştir. Yapılması planlanan köprü devamlı akış gösteren Çay Deresi üzerindedir.

Çizelge 3.3 Yeraltı Su Durumu.

Sondaj No	Yeraltı suyu Durumu (mt)
SK-1	5.00 mt
SK-2	5.00 mt
SK-3	5.00 mt.

3.7 LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme alanında sondaj kuyularından alınan numuneler laboratuvara (Arter Mühendislik Tic. Ltd. Şti. / İstanbul) gönderilmiş; UD örnekler için; zemin tanımlama (atterberg limitleri, elek analizi, su muhtevası, dbha) deneyleri, zeminde üç eksenli sıkışma ve konsolidasyon deneyleri, SPT örnekler için; zemin tanımlama (atterberg limitleri, elek analizi, su muhtevası) deneyleri, karot örnekler için; kayada tek eksenli sıkışma ve nokta yükleme deneyleri yaptırılmış ve deney sonuçları ek olarak verilmiştir.

3.8 ZEMİNLERİN İNDEKS VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Çalışma alanında açtırılan sondaj kuyularından alınan UD ve SPT numunelerine ait laboratuvarında belirlenen Su Muhtevası, Atterberg Limitleri ve Elek Analizi deney sonuçları çizelge 3.4.'te, yapılan sondaj çalışmalarına ait loglar ise şekil 3.12, şekil 3.13 ve şekil 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Laboratuvar Deney Sonuçları.

SK No	Num. No.	Derinlik (mt)	Wn(%)	DBHA gr/cm ³	KBHA gr/cm ³	Atterberg Limitleri			Elek Analizi		Zemin Sınıfı
						LL (%)	PL(%)	PI (%)	4	200	USC
SK-1	UD	3.00-3.50	22.5	1.913	1.561	39.6	18.2	21.4	20.02	79.98	CL
SK-1	SPT	4.50-4.95	28.3			41.1	24.0	17.1	15.8	84.20	CL
SK-1	SPT	7.50-7.95	23.6			38.6	19.0	19.6	18.31	81.69	CL
SK-1	SPT	10.50-10.95	25.9			48.4	20.1	28.3	7.55	92.45	CL
SK-2	SPT	3.00-3.45	26.9			43.7	22.0	21.7	29.73	70.27	CL
SK-2	UD	6.00-6.50	25.8	1.920	1.527	43.3	21.2	22.1	23.56	76.44	CL
SK-2	SPT	8.00-8.45	28.2			42.2	23.9	18.3	30.68	69.32	CL
SK-2	SPT	12.00-12.45	27.1			40.3	22.9	17.4	11.93	88.07	CL
SK-3	SPT	6.00-6.45	26.8			45.9	21.00	24.9	15.42	74.14	CL
SK-3	UD	9.00-9.50	24.6	1.930	1.550	40.9	20.00	20.9	25.86	84.58	CL
SK-3	SPT	15.00-15.45	25.3			45.8	21.00	24.8	25.09	74.91	CL
SK-3	SPT	16.50-16.95	24.4			38.5	19.00	19.5	24.13	75.87	CL

SK 1		
SONDAJ LOGU DERİNLİĞİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA	ZEMİN PROFİLİ
0.50	0.00-5.00 m. : Kumlu Kil	
1.00		
1.50		
2.00		
2.50		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00		
5.50	5.00-5.50 m. Az Çakıllı Kumlu -Kil	
6.00	5.50 -8.50 m. : Kumlu Kil	
6.50		
7.00		
7.50		
8.00		
8.50		
9.00	8.50-14.00 m: Siltli Kil	
9.50		
10.00		
10.50		
11.00		
11.50		
12.00		
12.50		
13.00		
13.50		
14.00	14.00-17.00 m.: ince -Orta Çakıllı Kil	
14.50		
15.00		
15.50		
16.50		
17.00	17.00-18.00 m.:Sert Kil	
17.50		
18.00	18.00-21.00 m.:Marn	
18.50		
19.00		
19.50		
20.00		
20.50		
21.00		
KUYU SONU :21.00 m		

Şekil 3.12 Sondaj Logu 1.

SK - 2		
SONDAJ LOGU DERİNLİĞİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA	ZEMİN PROFİLİ
0.50	0.00-5.00 m. : Kumlu Kil	
1.00		
1.50		
2.00		
2.50		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00		
5.50	5.00-8.50 m. Az Çakıllı Kumlu -Kil	
6.00		
6.50		
7.00		
7.50		
8.00		
8.50		
9.00	8.50-14.00 m: Siltli Kil	
9.50		
10.00		
10.50		
11.00		
11.50		
12.00		
12.50		
13.00		
13.50		
14.00	14.00-17.00 m.:İnce -Orta Çakıllı Kil	
14.50		
15.00		
15.50		
16.50		
17.00	17.00-18.00 m.:Sert Kil	
17.50		
18.00		
18.50	18.00-20.00 m.:Marn	
19.00		
19.50		
20.00		
20.00		
KUYU SONU :20.00 m		

Şekil 3.13 Sondaj Logu 2.

SK -3		
SONDAJ LOGU DERİNLİĞİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA	ZEMİN PROFİLİ
0.50	0.00-5.00 m. : Kumlu Kil	
1.00		
1.50		
2.00		
2.50		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00		
5.50	5.00-8.50 m. Az Çakıllı Kumlu -Kil	
6.00		
6.50		
7.00		
7.50		
8.00		
8.50		
9.00	8.50-14.00 m: Siltli Kil	
9.50		
10.00		
10.50		
11.00		
11.50		
12.00		
12.50		
13.00		
13.50		
14.00		
14.50	14.00-17.00 m.:İnce -Orta Çakıllı Kil	
15.00		
15.50		
16.50		
17.00		
17.50	17.00-18.00 m.:Sert Kil	
18.00	18.00-20.00 m.:Marn	
18.50		
19.00		
19.50		
20.00		
KUYU SONU :20.00 m		

Şekil 3.14 Sondaj Logu 3.

3.9 ZEMİNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

İnceleme alanında açtırılan temel sondaj kuyularından alınan UD numunelerden Zeminde Üç Eksenli Sıkışma Deneyi uygulanmış, deney sonucuna göre tespit edilen kohezyon ve içsel sürtünme açıları çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Deneylere ait Kohezyon ve İçsel Sürtünme Değerleri.

SK No	Numune No	Numune Alınan Derinlik (m)	Zeminde Üç Eksenli Sıkışma	
			Kohezyon (c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (Φ) derece
SK-1	UD	3.00	65.12	8.09
SK-2	UD	6.00	71.08	7.60
SK-3	UD	9.00	74.58	9.08

1) İnceleme alanını oluşturan alüvyon birim;

D-3 grubu zemin sınıfına girdiği çizelge 3.6’da görülen numunenin yerel zemin sınıfı **Z4**’dür (Çizelge 3.7)

Spektrum Karakteristik Periyotlar **T_A=0.20 sn.** **T_B=0.90 sn** (Çizelge 3.8)

Etkin yer ivme katsayısı **A₀= 0.30** (ikinci Derece Deprem Bölgesi) (Çizelge 3.9)

Çizelge 3.6 Deneylere ait Kohezyon ve İçsel Sürtünme Değerleri.

Zemin Grubu	Zemin Grubu	Stand.	Relatif	Basınç	Dalgası
		Penetr.	Sıklık	Direnci	Hızı
		(N/30)	(%)	(kPa)	(m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortulkayalar.	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	>50	85-100	—	>700
	3. Sert kil ve siltli kil	>32	-----	>400	>700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar			500- 1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl	30-50	65-85	-----	400- 700
	3. Çok katı kil ve siltli kil	16-32	-----	200-400	300- 700

Çizelge 3.6 (devam ediyor)

(C)	1.Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	—	-----	<500	400- 700
	2. Orta sıkı kum.çakıl	10-30	35- 65	—	200- 400
	3. Katı kil ve siltli kil	8- 16	-----	100-200	200-300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları				
	2. Gevsek kum	< 1 0	< 3 5	-----	
	3. Yumuşak kil, siltli kil	< 8	—	<	

Çizelge 3.7 Homojen Zeminlerin Sınıflaması (TSE – 2519 - Nisan 1977).

Yerel ZeminSınıfı	Zemin Grubu ve Tabaka Kalınlığı
Z1	(A) Grubu Zeminler H1<15 m. (B)
Z2	H1> 15 m. (B) Grubu Zeminler H1< 15 m. (C)
Z3	15 m. < H1 < 50m. (C) Zeminler H1< 10m. (D)
Z4	H1> 50m. (C) Grubu Zeminler H1> 10m. (D)

Çizelge 3.8 Spektrum Karakteristik Periyotları.

Yerel Zemin Sınıfları	T _A (sn)	T _B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Çizelge 3.9 Etkin Yer İvme Katsayısı (A₀).

Deprem Bölgesi	A ₀
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

İnceleme alanında açtırılan sondaj kuyularından alınan UD numunelere ait Su Muhtevası, Atterberg Limitleri ve Elek Analizi deney sonuçları aşağıda verilmiştir. Atterberg Limitleri kullanılarak yüzeyden itibaren temel zemini hakkında şu sonuçlara varılmıştır.

İnce Taneli Zeminolarak; Siltler ve Killer kısmında; CL: Plastisitesi düşük veya orta inorganik kil, çakıllı kil, kumlu kil, siltli kil, zayıf kil.

Birim gri renklidir. Su muhtevaları (W_n) % 22,5 ile % 28,3 arasında değişmektedir. Bu birime ait Atterberg limitleri yukarıdaki tabloda verilmiştir.

İnceleme alanındaki sondaj kuyuları bazında geçilen SPT-N değerlerine bakıldığında zeminin Gevşek-Orta Sıkı özellik taşıdığı görülmektedir.

Çizelge 3.10 Deney Sonuçlarına Göre Zemin Sınıflaması.

SPT-N	Rolatif Sıklık (D_r)	Sıklık
0-4	0.00-0.15	Çok Gevşek
4-10	1.15-0.35	Gevşek
10-30	0.35-0.65	Orta Sıkı
30-50	0.65-0.85	Sıkı
> 50	0.85-1.00	Çok Sıkı

3.10 ZEMİN PROFİLİNİN YORUMLANMASI

Çalışma alanındaki sondaj kuyuları temel alındığında; zeminin üst kesimlerinde ortalama 18.00 metre' ye kadar CL grubu kumlu kil birimi, alüvyon birimin devamında ise kumtaşı-şeyl ardalanması bulunduğu tespit edilmiştir. SPT-N ile ϕ' (°) Efektif Kayma Mukavemeti açısı arasındaki ilişki korelasyon denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

SPT sonuçları üzerinden plaxis programına veri girişi sağlamak ve analizlerde kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan bazı geoteknik parametrelerin elde edildiği korelasyon denklemleri çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 SPT-N ile ϕ' (°) Efektif Kayma Mukavemeti Açısı arasındaki ilişkiyi korelasyon denklemleri (Toğrol 2009).

Zemin Türü	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (derece)	Referans
Köşeli ve iyi boylanmış zemin tanecikleri	$\phi = (12N)^{0.5} + 25$ (bkz. Not)	Dunham (1954) (#1)
Yuvarlak ve iyi boylanmış veya köşeli ve üniform boylanmış zemin tanecikleri	$\phi = (12N)^{0.5} + 20$ (bkz. Not)	Dunham (1954) (#2)
Üniform boylanmış zemin tanecikleri	$\phi = (12N)^{0.5} + 15$ (bkz. Not)	Dunham (1954) (#3)
Kumlu ve kumlu ince çakıl zemin	$\phi = 28^\circ + (N / 4)$ (bkz. Not)	Peck ve diğerleri (1957)
Kumlu zemin	$\phi = (20N)^{0.5} + 15$ (bkz. Not)	Ohsaki ve diğerleri (1959)
Granüler (Tanecikli – Çakıllı) zemin	$\phi = 20 + 3.5(N)^{0.5}$ (bkz. Not)	Muromachi ve diğerleri (1974)
Kumlu zemin	$\phi = (15N)^{0.5} + 15 \leq 45$ (N >5) (bkz. Not)	Japan Road Association (1990)
Kumlu zemin	$\phi = (20N_1)^{0.5} + 20$ Burada; $N_1 = N$ -değeri Liao ve Whitman (1986) eşitliği kullanılarak 1 tsf örtü yükü basıncına göre normalize edilmiştir. N_1 değeri yerine düzeltilmiş $N_{1,60}$ değerinin kullanılması önerilmektedir.	Hatanaka ve Uchida (1996)

BÖLÜM 4

GEREÇ VE YÖNTEM

4.1 ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ

Hızlı bir şekilde artan dünya nüfusunun barınma ihtiyaçlarını karşılamak, kentlerde inşaat alanlarının daralması, arsa maliyetlerinin veya rantların yüksek olması, kat sınırlamaları gibi nedenlerle yeni yerleşim yerlerine gelişmiş sanayi bölgelerine duyulan ihtiyacı gidermek taşıma gücü düşük zemin şartlarına sahip alanlarda yapılaşmayı zorunlu hale getirmiştir. Geoteknik Mühendisliği'nin amaçlarından bir tanesi doğa ile yapı etkileşimi sonucu oluşabilecek stabilite problemlerine çözüm bulmaktır. Zeminlerin taşıma gücünü arttırmak veya deprem esnasında meydana gelen enerjiyi azaltmak amacıyla, her geçen gün gelişen teknoloji yardımıyla yeni yöntemler geliştirilmektedir.

Zayıf zemine sahip alanların kullanılabilmesi ve bu alanlarda yapılacak proje tasarımına ve inşasına imkân oluşturması nedeniyle zemin iyileştirme teknikleri yeni inşaat projelerinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. İyileştirme de temel amaç, zemindeki boşluk oranının azaltılması ve bu boşlukların, çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulup yeterli taşıma kapasitesine ulaştırılması işlemidir (Tunçdemir 2004).

Türkiye bir deprem ülkesi olduğundan yeni inşaat projelerinden önce önlemlerimizi almak zorundayız. Deprem hareketleri zemin sıvılaşması gibi dinamik sorunlar yaratarak büyük tehlikeleri de beraberinde getirmektedir. Bu sebeple depreme dayanaklı yapılar inşa edilmeli ve kötü zemin şartları için gerekli iyileştirmeler yapılmalıdır. Bu da zemin iyileştirmesinin bir ihtiyaçtan öte ülkemizde ki bütün yapılar için zorunlu bir uygulama olduğunu göstermektedir (Toprak 2005).

Zemin iyileştirme yöntemi seçimi tercih edilirken aşağıdaki unsurlara dikkat etmeliyiz;

- Yapılacak iyileştirmenin maliyeti
- İyileştirme yapılacak bölgedeki yapıların durumları ve bu yapıların çevrede oluşturdukları etkileşim, kullanılacak ekipmanlar ve yeterli iş gücünün temin edilebilmesi.
- Zeminin jeolojik yapısı ve yer altı su seviyesi şeklinde sıralanabilir.

Zemin iyileştirme yöntemleri çizelge 4.1’de gösterilmiş olup bu yöntemlerin uygulanması ile mevcut zeminde kayma dayanımı ve gerilme-deformasyon modülü artarken, sıkışabilirliği şişme ve büzülme potansiyeli, geçirimsizliği ve sıvılaşma potansiyeli azalmaktadır. Tez içeriği kapsamında detaylı olarak jet grout kolonları anlatılacaktır (Kurtoğlu 2014).

Çizelge 4.1 Zemin iyileştirme yöntemleri ve kullanım amaçları (Anonim 2007).

ANA YÖNTEMLER		YÖNTEMLER	ZEMİN TÜRÜ		ZEMİN İYİLEŞTİRME AMACI					
			DANELİ	Kohezyonlu	TAŞIMA GÜCÜ	OTURMA KONTROLÜ	STABİLİTE	ÇEVRESEL NEDENLER	SIVILAŞMA	SU AKIMINI KESME
SIKIŞTIRMA	TİTREŞİMLİ SIKIŞTIRMA İŞLEMLERİ	Vibro Sondalar	**		*	*			**	
		Kum Sıkıştırma Kazıkları	**		*	*			**	
		Vibroflotasyon	**		*	*			**	
		Sıkıştırma Kazıkları	**	**	**	**			**	
	STATİK VEYA DİNAMİK ŞOK	Dinamik Kompaksiyon	**	*	**	**		*	*	
		Patlatma	**		*	*			**	
YAPAY DRENLER KULLANILARAK / KULLANILMADAN ÖNYÜKLEME İLE KONSOLİDASYON		Aşırı Dolgu ile Önyükleme		*	*	*				
		Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi ile Ön Yükleme		*	*	*				
ZEMİN GÜÇLENDİRME		Taş Kolonlar	*	**	**	**	**		**	
		Kireç Kolonlar		*	**	**	**	*		
		Derin Karıştırma	*	*	**	**	**	*	**	*
ZEMİN ENJEKSİYON TEKNİKLERİ (ZEMİN GÜÇLENDİRME II)		Permeasyon (Emdirme-Sızdırma) Enjeksiyonu	*		*	*	*	*	*	*
		Çatlatma Enjeksiyonu		*	*	**		*		
		Kompaksiyon Enjeksiyonu	*	*	*	**			**	
		Jet Enjeksiyonu	**	*	**	**	*	*	**	*

4.2 JET GOUT KOLON UYGULAMASI

Zemin iyileştirme metodları içerisinde hemen hemen tüm zemin çeşitlerinde uygulanabilen bir yöntemdir. Bu tekniğe ait ilk çalışmalar, 1965 yılında Japon uzmanlar Yamakado kardeşler tarafından yapılmıştır. Yöntem zeminin mekanik mukavemet değerlerini arttırarak zeminin taşıma kapasitesi ve elastisite modülü değerini yükseltip zeminin geçirgenliğini azaltmaktır. Jet grouting yöntemi ile istenilen çap ve boyda ve istenilen mukavemette kolonlar imal edilerek kil veya kum-çakıl gibi farklı türdeki zeminlerin ıslahı mümkün olmaktadır. Bu yöntemle diğer klasik enjeksiyon sistemlerinden farklı olarak ihtiyaç duyulan malzemenin miktarı, zeminin geçirgenlik durumu, iyileştirilmiş zeminin taşıma kapasitesi gibi çeşitli zemin parametrelerinin bilinmesi ile proje hazırlık aşamasında işin maliyeti belirlenir.

Jet gout kolon yöntemin köprü ve yaklaşım dolgularına uygulanmasında önceki çalışmalara Sert vd. (2007) örnek olarak verilebilir. Bu çalışmada zemin değerlendirmesi yaptırılmış bir köprü için köprü ve yaklaşım dolgularının inşaatı sırasında taşıma gücü ve oturma problemlerinin belireceği öngörülerek uygun bir çözüm aranmıştır. Çalışmada köprü ayağı altında oturmaların sıfırlanabilmesi için yaklaşık 50m derinlikte karşılaşılan ana kayaya indirilmiş çelik profil kazıklar kullanılması gerektiği ve yaklaşım dolgusu altında meydana gelecek uzun süreli oturmalarında 65cm çaplı, 15m boyunda jet grout kolonları ile kabul edilebilir seviyelere çekilebileceği yapılan sayısal analizle gösterilmiştir.

Jet grout kolonların tez konusu kapsamında kullanım amaçları aşağıda sıralanmaktadır.

1. Temel altında, düşey yükler için basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü
2. Döşeme altında düşey ve özellikle yüksek yayılı yükler altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü
3. Dolgu altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü
4. Köprülerde yaklaşım dolguları altında düşey dolgu yüklerinin taşınması, dolgu altında oturma kontrolü ve kenar ayak kazıklarına negatif çeper sürtünmesi intikalinin önlenmesi (Durgunoğlu 2004).

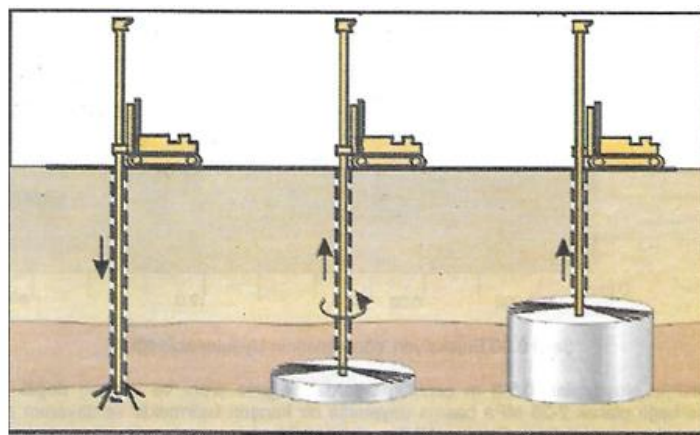
Delgi ve enjeksiyon olmak üzere iki aşamalı jet grout yöntemi için Türkiye’de “TS EN 12716 Özel Geoteknik Uygulamalar – Jet Enjeksiyon” yönetmeliği esas alınmaktadır.

4.2.1 Uygulama Tekniği

Zeminin veya zayıf kayacın parçalanması ve imento şerbeti ile karışması sonucu oluşan kısmi yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Zeminin, minimum 300 bar basınçla püskürtülen bir stabilizerle karışırılması olup stabilizerler, genellikle su - imento karışımıdır (grout). Bu karışım, homojen özellikte olduğundan, neredeyse her tür zayıf zemin tiplerinde diğer iyileştirme metotlarından daha hızlı, emniyetli, dayanıklı ve ekonomik bir çözüm alternatifidir.

Jet Grout tekniğinde zeminde istenilen derinliğe kadar sonda ile delinerek örselendikten sonra sondanın yukarıya doğru çekilmesiyle sondanın ucundan 3 mm çaplı bir memeden yüksek basınçla su ve imento birlikte verilerek zemin içinde kolon oluşturulan zemin iyileştirme türüdür (şekil 4.1). Su/imento oranı genel olarak 1/1 dir. Priz alma süresinin uzun olması ve istenilen dayanımın alınması için genellikle su ve imento ile birlikte katkı maddeleri de verilmektedir.

Jet Grout yöntemi zemin iyileştirmelerinin yanı sıra temel altı yatak oluşturulması tünel korumada kazı desteklenmesinde ve yanal itki azaltmada da kullanılan bir yöntemdir. Zeminin ortamında taşıma gücünü arttırarak oturmaları azaltmaktadır (Küsin 2009). Uygulama öncesi ilk aşamada zemin küçük çapta sondaj tiji ile delinmektedir. İmal edilecek jet kolonun en alt seviyesine ulaşana kadar Nozzlelar ile delme işlemi devam etmektedir. Sonra tijler kendi etrafında döndürölerek yukarı ekiliraynı zamanda zemine nozzlelardan olduğa yüksek basınçta grout enjekte edilmektedir. Kolon, belirlenen seviyeye ulaştırılınca enjeksiyon işlemi sona erdirilmektedir.



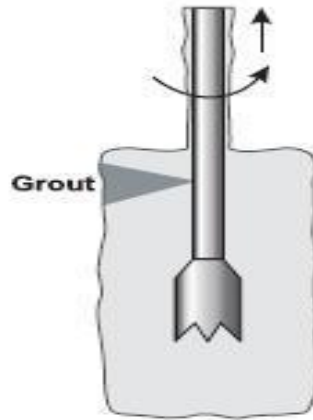
şekil 4.1 Jet Grout yöntemi (Önalp ve Sert 2010).

Jet grouting teknikleri Jet 1, Jet 2, Jet 3 ve Süper Jet yöntemleri olmak üzere dört çeşit olup bu jetler amaçlarına ve kullanım şekline göre zemin koşullarına, istenen jet grout kolon özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir.

4.2.1.1 Jet 1 Tekniği

En çok kullanılan tekniktir. Zeminin parçalayarak çimentonlaması, çimento şerbeti ile sağlanır. Tek çeşit akışkanın yüksek enerji jeti şeklinde uygulandığı jet enjeksiyon işlemidir. Jet 1 yönteminde grout delme - enjeksiyon takımı tek çeperli borudan 200m/sn hızla 300 - 600kg/cm² (bar) basınçla basılır.

Zemin türlerine ve parametre aralıklarına göre çakıllı zeminlerde 0.6m'den 1.2m çapında kolonlar imal edilebilmektedir. Şekil 4.2'de Jet 1 yöntemi şeması gösterilmiş olup jet 1 yöntem kohezyonlu zeminlerde çakıllı zeminlerdeki gibi yaygın ve etkin olarak kullanılmamaktadır (Akan 2013).

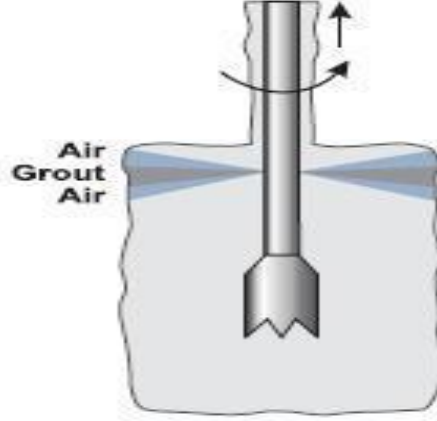


Şekil 4.2 Jet 1 Tekniği (Stark ve diğ. 2009).

4.2.1.2 Jet 2 tekniği

Zeminin parçalanması ve çimentolanmasının yüksek enerjili bir sıvıyla (genellikle bir çimento şerbeti) birlikte ikinci bir akışkan olarak hava jeti ile gerçekleştirildiği sistemdir. Sistemdeki orta borudan grout, dış borudan ise basınçlı hava (8 – 12 bar) geçer. Sistemdeki basınçlı hava, kinetik enerji sürtünme kayıplarını azalttığından kolon çapları jet 1'e kıyasla %60 - 80 daha büyük olur. Jet 2 yöntemi kohezyonlu zeminlerde Jet 1 yöntemine göre daha kullanışlıdır. Jet 2 yöntemi ile kolon çapları orta sıkı zeminlerde 1.0m'den gevşek zeminlerde ise 1.8m'den

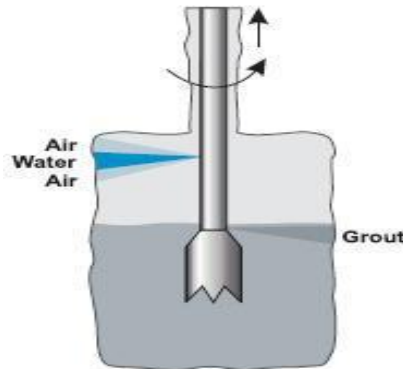
fazla kalınlığa ulaşabilmektedir. Şekil 4.3’de Jet 2 yöntemi şeması gösterilmiştir. Kum içindeki bir uygulamada ikili sistemle jet grout kolonu yapılırken zeminin örselenmesi için 45MPa basınç uygulanmış; harcanan çimento 930kg/m., harç debisi 130lt/dk. harcın birim hacim ağırlığı 16 - 17kN/m³, delgi borusunun dönme hızı 8 - 10devir/dk. iken kolon çapı 1.4m ye ulaşmıştır (Ichihashi vd. 1992).



Şekil 4.3 Jet 2 Tekniği (Stark ve diğ. 2009).

4.2.1.3 Jet 3 Tekniği

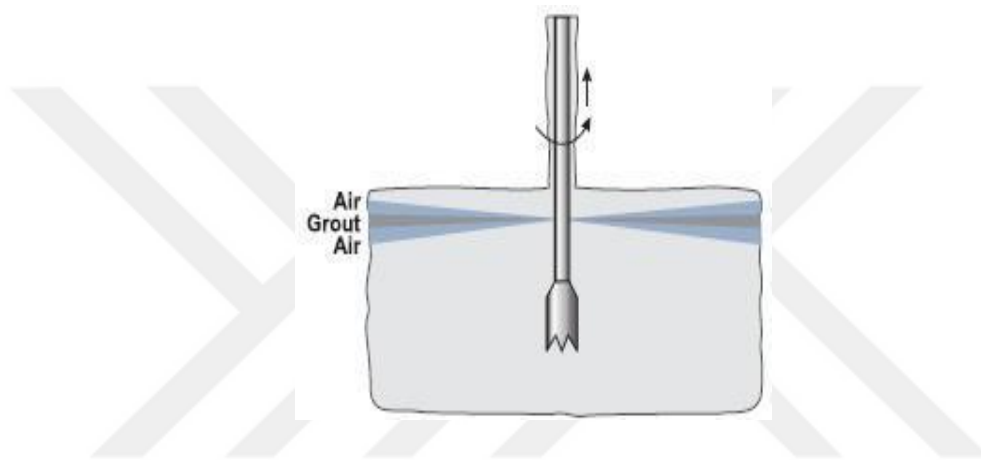
Yüksek enerjili su jeti ile zemini parçalayan, eş zamanlı olarak çimentolanmasının ise ayrı bir enjeksiyon karışım jeti ile elde edildiği jet enjeksiyon işlemidir. Bu metotta iç içe üç borulu takım kullanılmaktadır. Ortasında bulunan borudan 400 – 600bar basınçlı su, ara borudan da 8 – 12 bar basınçlı hava nozzlelerden basılmaktadır. En dış borudansu - hava karışımı içine 30 - 80 bar basınçlı grout ise ayrı bir nozzleden enjekte edilmektedir. Böylelikle grout kolonları boyutları 2m’ yi aşmaktadır. Bu yöntem kohezyonlu zeminler için en etkili yöntemdir. Jet 3 yöntemi şeması Şekil 4.4’te gösterilmiştir (Akan 2013).



Şekil 4.4 Jet 3 Tekniği (Stark ve diğ. 2009).

4.2.1.4 Süper Jet tekniği

Son dönemlerde hızlı ve düşük maliyetlerle büyük kolon çapları elde edebilmek için geliştirilen yöntemlerden birisi de Süper Jet olarak adlandırılan yöntemdir. Bu yöntemle elde edilen kolonlar 3 - 5m çapa kadar zemin - çimento karışımı içerir. Kolon yapım aşamasının ilk adımı 15cm çapa sahip tijin istenilen noktaya indirilmesi ile başlamaktadır. Tijlerin ucundaki yüksek çaplı nozzlelerden çimentolu harç ile hava karışımı yüksek basınçta püskürtülür ve zemin parçalanarak Şekil 4.5'te gösterildiği gibizemin - çimento karışımı kolonlar oluşur.



Şekil 4.5 Süper Jet Tekniği (Küsin 2009).

Süper jet yönteminde tijlerin çekme ve dönme hızları standart jet grouting yöntemindekine göre daha azdır Bell vd. (2003). Süper jet kolonları yapılırken işletim parametreleri olarak 7mm/dakika çekme hızı, 3 – 4 devir / dakika dönüş hızı, 40MPa enjeksiyon basıncı ile 4m çapa kadar kolon boyutu büyütülmüştür. Süper jet yöntemiyle oluşturulan kolonların kolon kesitleri diğer yöntemlerle elde edilen kolon çaplarına göre daha büyüktür. Bu yöntem yatay zemin suyu kontrol altında tutabilmek, sıvılaştırılabilir tabaka stabilizasyonu sağlamak, geçirimsiz perde duvar imal ederken kazı yan yüzlerinin desteklenmesi amacı ile kullanılmaktadır (Akan 2013).

4.3 DERİN TEMEL UYGULAMASI

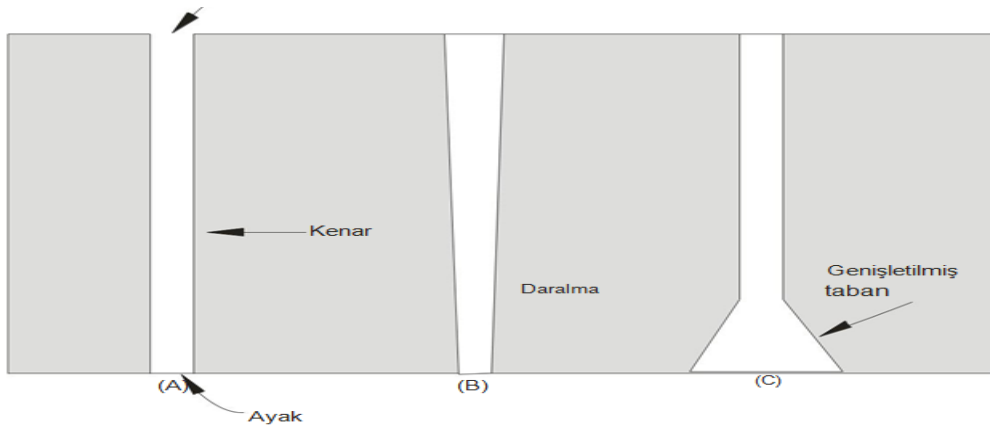
Temeller, zeminde kırılma (kayma) olmaksızın yani taşıma gücünü aşmaksızın ve yapıya zarar vermeyecek oturma koşulları ile üzerindeki yapı yüklerini ve kendi ağırlıklarını zemine aktaran elemanlardır (Uzuner 2006).

Temeller, üst yapıdan gelen yükleri zemine aktarırken yapısal bütünlüklerini korumalı ve üst yapı yüklerini üzerinde bulundukları zeminleri aşırı gerilmelere zorlamadan veya yapısal göçme olmadan üzerinde bulundukları zemin ve/veya kayaya aktarabilmelidir. Aşırı gerilmeler zeminde kayma yenilmesine ve/veya aşırı oturmalara sebep olduğundan temel tasarımları hem jeoteknik hem de yapısal ihtiyaçları ekonomik olarak karşılamak zorundadır (Coduto 2001).

Derin temeller; genişliği derinliğinden daha küçük olan temellerdir. Kazıklı temeller, derin ayak temelleri ve kesonlar derin temel sınıfını oluşturmakla birlikte sıkça kullanılan çeşidi kazıklı temellerdir. Yüzeysel temeller yeterli olmadığında üst yapı yüklerini derinlerdeki sağlam tabakalara aktararak oturmaların istenen sınırlar içinde kalmasını sağlamak için tercih edilen temel yöntemleridir.

Genellikle zeminler derinlikle iyileştirilir. Bu yöntem ile zeminde büyük hacimlikte değişim olduğundan derin temeller genellikle daha büyük yükler taşıyabilir. Ayrıca bu temeller zemin yüzeyinden aşağı 15m- 45m derinliğe kadar inebilirler.

Derin temellerin bölümleri şekil 4.6’da gösterilmiştir.



Şekil 4.6 Derin temelin kısımları: (A) düz temeller. (B) giderek daralan temeller ve (C) tabanı genişletilmiş temeller (Coduto 2001).

Köprü temeli inşasında derin temel tasarımı geoteknik çalışmaları ve analizleri hakkında WSDOT tarafından yapılan çizelge 4.2 aşağıda belirtilmiştir. Derin temel tipleri ayrıntılı olarak çizelge 4.3'te gösterilmiş olup kullanım yerleri; sağlam zeminin derinlerde olduğunda, temelin altında zeminde çökme tehlikesi olduğunda, temellerde büyük konsantre yük mevcut ise, yapı farklı oturmalara hassas ise, limanlar ve köprü ayakları gibi su içinde yapılan yapılarda, palplanş perde yapımında, şevlerin sağlamlaştırılması amacıyla ve kaldırma kuvvetlerinin ve yatay zemin itkilerinin karşılanmasında kullanılırlar.

Çizelge 4.2 Köprü Temelinde Geoteknik Çalışmaları ve Analizleri (WSDOT Geotechnical Design Manual 2013).

Derin temel	• Kazık uç taşıma gücü • Kazık sürtünme miktarı • Oturma analizi • Yatay zemin basıncı analizi • Zemin ve kazık kimyasal uyum analizi • Kazıkların zemine sürülebilirliğinin analizi • Sıkı zeminlerin ve büyük kaya parçalarının zeminde varlığının tespiti • Kazık çakımında oluşan titreşimin civar yapılara olan etki analizi • Sıvılaşma ve genel zemin kayma stabilitesi	• Zemin yüzey altı profili (YAS, zemin cinsleri, katman kalınlıkları) • Sıkışma, şişme ve konsolidasyon parametreleri • Zemin mukavemet parametreleri • Yatay toprak basıncı katsayısı • Zemin birim hacim ağırlığı • Jeolojik harita ve ana kaya özellikleri • Zemin permabilite değeri • Kazık korozyon riski	• Sondaj • SPT • CPT • PMT • Dilatometer • RQD • Jeofizik metotlar • Piezometreler • Vane kayma testi • Şaft yükleme testi • Kazık yükleme testi	• Oedometer testi • Kayma mukavemet testleri • Atterberg Limitleri • Spesifik birim hacim ağırlığı • Birim hacim ağırlığı • Su içeriği • Organik zemin içeriği • Çökme/şişme potansiyel testleri • Kaya elastik modülü • Dane dağılımı • pH drenaj testi • permabilite testi • zemin kazık sürtünme testi • kazık uç drenaj testi
--------------------	--	--	--	--

Çizelge 4.3 Derin temel tipleri (Coduto 2001).

Derin Temeller	Kazıklar
	Mandrelle çakılmış betonla doldurulmuş ince duvarlı borular
	Ankrajlar
	Burgulu yerine dökülmüş kazıklar
	Delgili şaftlar
	Diğer tipler
	Basınçla elde edilmiş sömeller
	Kesonlar

Temel derinliği/temel genişliği oranı genellikle 5’den büyük olanüst yapı yüklerinin bir bölümünü ya da tümünü zemin yüzeyinden daha derinlerdeki tabakalara aktaran temel sistemleri derin temel olarak nitelendirilmektedir. Derin temel çeşitleri olarak kazıklı temeller, ayak/keson temeller ve derin kazı içine yerleştirilen yapı temelleri düşünölebilir (Yıldırım 2004).

Derin temeller üç farklı şekilde gruplandırılabilir.

- Ayak temeller $D_f / B < 20$
- Kesonlar
- Kazık temeller $D_f / B > 20$

4.3.1 Ayak Temeller

Sağlam zemin yüzeye yakın olduğu durumlarda yani kazık kullanmayı gerektirecek kadar derinde olmadığı durumlarda tekil temeller gibi genellikle betonarmeden inşa edilerek oluşturulan temel türüdür. Açık temel çukurunda ve tabanları kare veya çan şeklinde inşa edilen ayakların üst kısımları planda belirtilen duvarların birleşme noktalarına getirilerek birbirlerine betonarme kirişlerle bağlanır.

4.3.2 Kesonlar

Sağlam zemine daha geniş ve dayanıklı temele ihtiyaç olduğu durumlarda keson temeller kullanılır. Et kalınlığı aزی boyutları çok büyük halka veya prizma betonarme eleman kendi ağırlığı ile ya da betonarme elemanlar yerinde dökölüp içlerindeki zemin boşaltılarak zemine ve suya batırılır. İstenilen seviyeye ulaşınca kadar üstüne yeni elemanlar konur. Açık, pnömatik ve yüzen kesonlar olmak üzere genellikle üç guruba ayrılırlar.

4.3.3 Kazık Temeller

Kazıklar, yapı yüklerinin zeminin derin tabakalarına taşıtılması amacı ile inşa edilirler. Ahşap, beton, betonarme veya çelikten imal edilen bir “derin temel” çeşididir. Yapı yükü, zemine çakılan kazıklar kanalıyla derinlerde bulunan sağlam zemine kazığın yan yüzeylerinin sürtünmesinden yararlanarak kazık uçlarıyla aktarılır.

Kazıklı temeller pahalı bir temel şekli olup yüzeysel temellerle oturma limitlerinin sağlanamadığı veya kaymaya karşı yeterli güvenliğin elde edilemediği durumlarda kullanılmalıdır. Kazık temeller uygun şekilde tasarlandıkları sürece söz konusu şartları sağlarlar. Boyu gerektiğinden kısa olan veya kesit alanı yeterli olmayan kazık temeller çok önemli mühendislik problemlerine yol açabilir. Bu nedenle her problem için kullanılacak kazık cinsi, kazık boyu ve kazık kesiti ciddi bir çalışmayla belirlenmelidir. Türkiye’de kazıklı temeller için kullanılan tasarım yönetmeliği TSE EN 1997-1 de Eurocode 7 örnek alınarak oluşturulmuştur.

Kazıkların yaygın olarak kullanıldığı durumlar aşağıda verilmektedir (Bowles 1966, Yurtsever 2016).

- Temelden zemine aktarılan yatay veya düşey yükleri zayıf veya gevşek zemin tabakalarının altında yer alan sağlam zemin veya kaya tabakasına aktarılması.
- Su seviyesi altındaki yapı temeline etkiyen kaldırma kuvvetinin karşılanması.
- Kule yapılarının temellerine etkiyen kuvvetlerindöndürücü momentlerin ve çekme kuvvetlerinin veya yatay yüklerin karşılanmasında.
- Gevşek, kohezyonsuz zeminlerin ötelenmesi ve çökme vibrasyonu ile sıkılaştırılması.
- Sıkışabilir zemin tabakalarına oturan yüzeysel temellerde oturmaların kontrol edilmesi.
- Makine temelleri altında yer alan zeminin sağlamlaştırılmasıyla titreşim genliği ve sistemin doğal frekansının kontrol edilmesi.
- Köprü ayaklarında olası oyulma sorununa karşı ek bir güvenlik faktörü olarak.
- Deniz yapılarına etkiyen düşey ve yatay yüklerin su seviyesi altındaki zemin tabakalarına intikal ettirilmesi

Fore kazık yapım yöntemi (TS 3168–EN 1536 Özel Geoteknik Uygulamalar–Delme (Fore) Kazıklar (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar) standardı). Kazıklar için numune alma ve deney işlemi TS 3168 ve EN 1536’ da belirtildiği gibi EN 206’ ya uygun olarak yapılmalıdır.

4.3.3.1 Kazık Tipleri

Kazık tipleri malzemeye, zemine yerleştirilme tekniğine, zeminde yaptığı yer değiştirmeye ve yük taşıma mekanizmasına göre değişmektedir.

İmal edildiği malzemeye göre kazıklar

Kazık tipleri taşıyacakları yüke, inşaat uygulamasının yapılacağı zemin koşullarına ve yer altı suyu seviyesinin durumuna bağlı olarak değişmektedir. İmal edildikleri malzemeye göre ahşapbeton/ betonarmeçelik ve kompozit kazıklar olarak dört gruba ayrılabilirler.

1) Ahşap kazık: Geçici veya sürekli olarak kullanılacak kazıkların imalatında tercih edilen, taşıma gücüne oranla hafif olduğu için kolay taşınan olan boyu kolaylıkla ayarlanabilen kazık türüdür. Sürekli olarak su seviyesi altında kalan ahşap kazıklar uzun ömürlüdür. Ahşapların cinsine bağlı olarak 4–6 N/mm² değerleri arasında basınç gerilmesi taşıdığı kabul edilmektedir (Toğrol ve Tan 2009). Su içerisinde çakılmış kazıklarda çürüme. Özel bir önlem alınmamış ise su seviyesi değişiminin olduğu kısımda meydana gelir. Ahşap kazığı su seviyesi altında bırakıp, su seviyesinin üzerinde beton kazık veya kazık başlığı yapımı genelde uygulanan bir yöntemdir (Tomlinson 2008, Yurtsever 2016).

2) Betonarme Kazıklar: Prekast ve yerinde dökme kazıklar olarak iki gruba ayrılabiliriz. Prekast kazıklar genelde kare veya sekizgen kesitli olarak istenilen uzunlukta ve mukavemette fabrikada imal edilip zemine çakılarak yerleştirilirler. Kazık donatısı kazığın istiflenme ve taşınması sırasında oluşan momentleri, düşey yüklerin ve yatay yüklerin oluşturduğu momentlerin karşılanmasını sağlar.

a) Prekast betonarme kazıklar; Büyük yükleri zayıf zemin tabakaları altındaki sağlam tabakalara taşıyan ve zemine çakılarak yerleştirilen kazıklardır. Prekast kazıkların boyları değiştirilemez. Ebatları genelde 25-45cm arasında olup daha büyük ebatlar kullanılamamakta ve taşıyıcı tabaka derinliğinin farklılık gösterdiği durumlarda kazık boyunun ayarlanması zorluk yaratabilmektedir. Kazık çakımı esnasında çakım alanında zemin kabarması olabilir. Kazık hasar görebilir. Korozyona karşı dayanıklı olup betonarme üstyapı ile bağlantısı kolaylıkla yapılabilir.

b) Yerinde dökme betonarme kazıklar; Yerinde dökme kazıkların imalatı için geliştirilmiş birçok teknik vardır. Genelde zeminde dairesel kesitli sondaj deliği oluşturulup kaplama borusu mekanik veya hidrolik makinelerle zemine sürülür daha sonra zemin çıkarılır. Oluşturulan boşluğa donatı yerleştirilir ve betonlanarak yerinde dökme kazık imalatı tamamlanır. Delgi sırasında zemin profilinin takip edilmesi mümkündür. Özel

ekipmanlarlakazık ucu genişletilebilir. Böylelikle kazık kapasitesi artırılabilir. Büyük çaplarda kazıklar oluşturulabilir. Kazık boyu değişen zemin koşullarına göre ayarlanabilir.

3) Çelik kazıklar: Taşınması kolay. genellikle boru kesitli ya da haddelenmiş kapalı veya açık uçlu olarak zemine çakılabilen H ve I profil kazıklardır. İstenilen uzunlukta kesilebilir ancak korozyona maruz kalabilirler bu nedenle çeşitli yöntemler kullanılarak korozyona karşı önlem alınması gereklidir. Yük taşıma kapasiteleri yüksektir.

4) Kompozit kazıklar: Farklı saha ve zemin koşullarında değişik tipte kazıkların birarada kullanılmasıyla oluşturulur. Su seviyesinin zemin yüzeyinden düşük seviyelerde olduğu durumlarda ahşap kazıkların su seviyesi altında bırakılarak betonarme kazıklarla birlikte kullanılması kompozit kazıklara örnek gösterilebilir. Deniz yapılarında kompozit kazıklar deniz suyunun korozyon etkisi nedeniyle üst kısımda prekast beton kazık ve zemin kısmında çelik kazık kombinasyonu ile yapılabilmektedir. Diğer kazık tiplerine oranla yaygın ve ekonomik değillerdir (Tomlinson 2008, Yurtsever 2016).

Kullanım amaçlarına göre kazıklar

Kullanım amaçlarına göre kazıklar beş gruba ayrılabilirler (Toğrol ve Tan 2009, Yurtsever 2016).

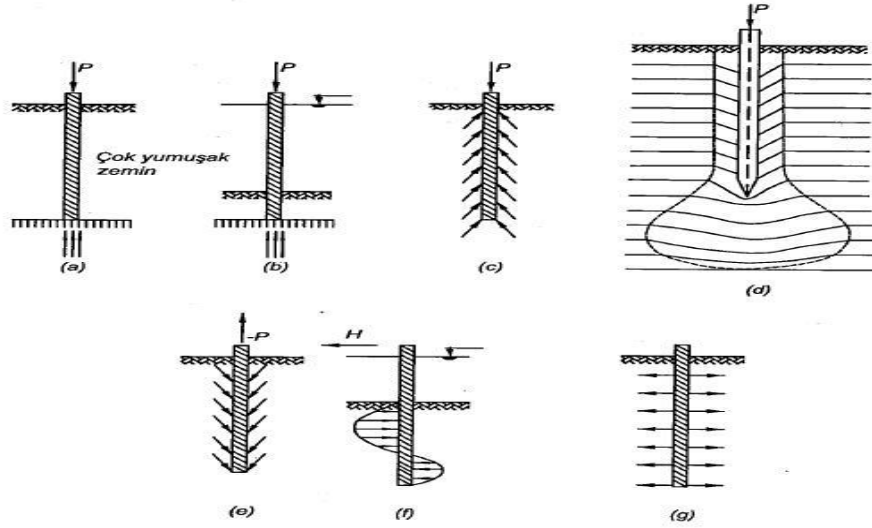
Uç kazıkları: Yapı temeli altındaki zeminin zayıf ve sıkışabilirliği yüksek tabakalardan meydana geldiği durumlarda yapı temelinden zemine aktarılacak yüklerin kazıklar vasıtasıyla daha derindeki sağlam zemin tabakası veya kayaya aktarılması sağlanır (Şekil 4.7a.b).

Sürtünme kazıkları: Yapı yükleri kazık çevresinde bulunan zemin sürtünmesi ile kısmen veya tamamen taşınmaktadır (Şekil 4.7c.d).

Çekme kazıkları: Suyun kaldırma kuvvetine maruz kalan yapıları veya üstyapıya gelen yanal kuvvetler nedeniyle moment etkisi altındaki temellerin güvenilir bir şekilde zemine tesbit etmek için kullanılan kazıklardır (Şekil 4.7e).

Ankraj kazığı: yatay kuvvetlere karşı koyan kazıklardır. Palplanş perdelerin yanal hareketinin önlenmesinde gemi bağlama ve dolfen kazıkları yanal kuvvetlere karşı kullanılmaktadır (Şekil 4.7f).

Kompaksiyon kazıkları: İri daneli zeminlerin sıkıştırılması amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 4.7 Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri (Toğrol ve Tan 2009, Yurtsever 2016).

Kazık Tipi ve Uygulama Yönteminin Seçimi

Uygulanacak kazık tipi ve imalat yönteminin seçimi ekonomik şartların dışında zemin ve yer altı suyu koşulları, yapısal yükler, imalat için gerekli alan, mevcut yapılara olan mesafe ve yapının oturmalara karşı hassasiyetine göre belirlenmektedir. Sondaj ve deplasman kazıklarının avantaj ve dezavantajları çizelge 4.4 ve çizelge 4.5.'te belirtilmiştir.

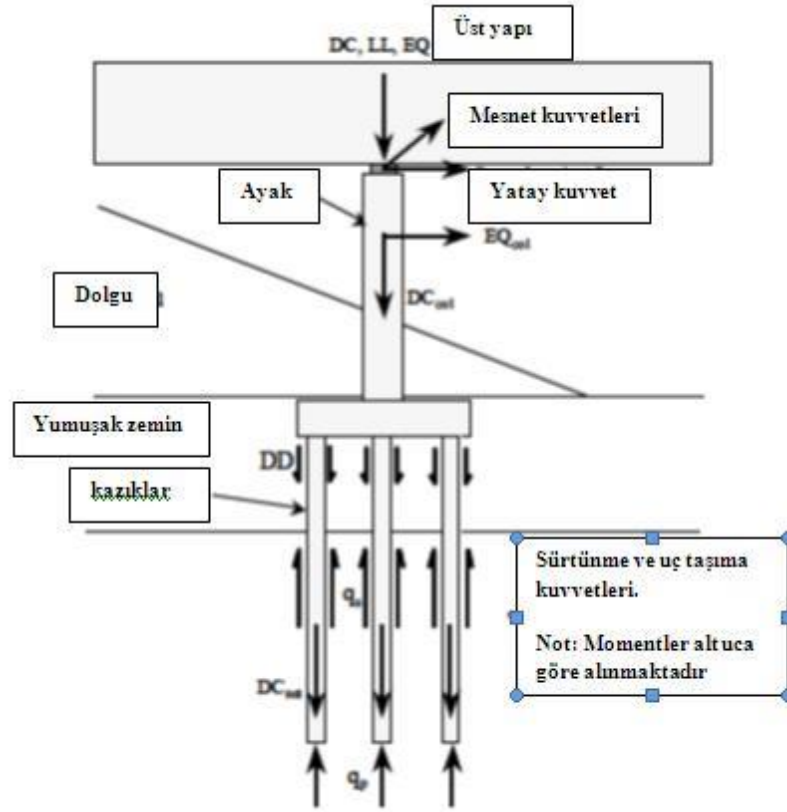
Çizelge 4.4 Sondaj kazıklarının avantaj ve dezavantajları (Smolltczyk 2003, Yurtsever 2016).

Sondaj Kazıkları	Avantaj	Dezavantaj
Fore Kazıklar	Büyük oranda titreşimsiz ve gürültüsüz, delgi sırasında zemin koşullarının kontrol edilmesi bu sebeple kazık uzunluklarının uygun hale getirilme ihtimali.esnek çalışma yüksekliği (köprü veya çatı altında). büyük çap ve uzunluk imkanı genişletilmiş kazık ucu mümkün	Zeminin delgi yapılarak gevşetilmesi.kalite imalat süreci ve ekibine bağlı.su seviyesi altındaki küçük çaplı kazıkların betonlanmasında zorluklar. muhafaza borusunun çekilmesi sırasında titreşim yaratması veya donatının da çıkarılabilme riski, yüksek yer altı suyu seviyesinde hidrolik göçme tehlikesi, kaplamasız yapılan delgilerde kuyunun göçme riski, eğim 4:1 oranında sınırlı

Çizelge 4.5 Deplasman kazıklarının avantaj ve dezavantajları (Smolltzyk 2003, Yurtsever 2016).

Deplasman kazığı	Avantaj	Dezavantaj
Ahşap Kazık	Kolay çakılabilirlik, taşıma ve kesme kolaylığı, su altında uzun servis ömrü, nispeten ekonomik	Sınırlı taşıma kapasitesi ve uzunluk, sıkı zeminde çakılamama, havayla temas halinde hızla çürüme
Çelik Kazık	Yüksek malzeme dayanımı, yüksek elastisite, geniş aralıkta profil seçebilme, nakliye sırasında asgari hasar, kolaylıkla uzatılabilme, iyi sürülebilirlik, çakım esansında sınırlı vibrasyon, birleştirme kolaylığı, 1:1 eğime kadar çakılabilirlik	Nispeten yüksek malzeme maliyeti, korozyon, kumun aşındırma tehlikesi, H kesitli kazıkların çakım sırasında sapabilmesi ve bükülebilmesi
Betonarme Kazık	İstenilen uzunluk ve mukavemette üretilmesi, deniz suyuna dayanımı, çakım sırasında zemini sıkıştırması, bina ile birleşimi kolay, yüksek taşıma kapasitesi, 1'e 1 eğime kadar çakılabilirlik	Ağır ve nakliyesi zordur. nakliye ve çakım aşamalarında eğilmeye karşı hassastır, çatlak tehlikesi, ağır çakım makinası gerekli, çakım sırasında yüksek vibrasyon ve gürültü
Öngermeli Betonarme Kazık Yerinde yapılan yerdeğiştirme kazığı	Betonarme kazıklarla aynı burkulma ve eğilme dayanımı Yerinde yapılan yerdeğiştirme kazığı Kazık etrafındaki zeminin sıkıştırır böylelikle taşıma kapasitesi yüksek, düşük oturma, genişletilmiş uç yapılabilir, ihtiyaca göre uzunluk ayarlanabilir.	Çakım sırasında gürültü ve vibrasyon daha önce çakılan kazıklara zarar verme riski, sınırlı eğim kesme kuvvetlerine hassasiyet kalitenin imalatı yapan ekibin tecrübesine bağlı olması azami boy 25 m. eğim 4'e 1

Şekil 4.8'de ise yumuşak zeminde inşa edilen derin bir köprü temeli için kazık sürtünme ve uç kuvvetleri ve yük durumu görülmektedir.



Şekil 4.8 Kazık ile inşa edilen Köprü Ayak ile Temel Yükleri (WSDOT 2013).

Burada.

q_p = Maksimum kazık uç taşıma drenci

q_s = Maksimum kazık sürtünme drenci

DC_{col} = Ayak yükü (ağırlığı)

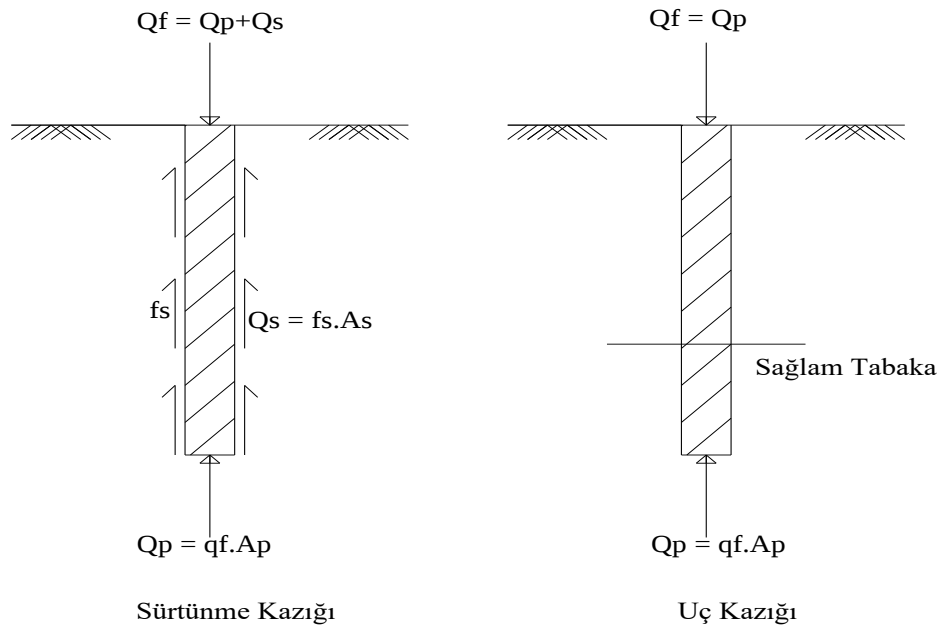
EQ_{col} = Deprem yatay itkisi

DD = Yumuşak zeminin düşey oturmadan dolayı kazıkta oluşturacağı aşağı çekme kuvveti

DC_{net} = Kazığın beton birim hacim ağırlığı ile zeminin birim hacim ağırlığı farkı

Zemin yüzeyine yakın tabakaların yumuşak ve taşıma kapasitesinin düşük olması, şişen killerin yapıya olan etkilerinin ortadan kaldırılması, köprü yüklerinin taşınması ve çok katlı yapı ve kulelerin dönmeye karşı korunması amacıyla kazık temeller kullanılmaktadır (Toğrol 2009). Kazık taşıma gücü statik ve dinamik kazık formülleri, Standart Penetrasyon (SPT) ve sondalama deney sonuçları (CPT) kullanılarak veya yükleme deneyi yapılarak bulunabilmektedir (Coduto 2001).

Kazık Taşıma Gücü



Şekil 4.9 Sürtünme Kazığı ve Uç Kazık

- Q_p : Kazığın uç taşıma kapasitesi
- Q_f : Kazığın nihai taşıma gücü
- Q_s : Kazığın sürtünme direnci
- A_p : Kazık ucu enkesit alanı
- A_s : Kazık sürtünme alanı
- f_s : Sürtünme direnci
- q_f : Kazık ucundaki zeminin birim nihai taşıma kapasitesi

Sürtünme kazığı ve uç kazık şekil 4.9’da gösterilmiş olup, kazığın taşıma gücü kazığı çevreleyen zeminin taşıma gücü ile kazığın yapıldığı malzemenin dayanımını oluşturan mekanik özelliğine bağlıdır.

Statik Kazık Formülleri

Bir kazığın çevre zemini açısından toplam taşıma gücü uç direnci ve çevre sürtünmesi bileşenlerinden oluşur. Kazık uç direnci kazığın ucundaki zeminin birim taşıma kapasitesi (q_f) ve kazık en kesit alanı (A_p) çarpılarak 4.1’deki formül ile hesaplanabilir.

$$Q_p = q_f \cdot A_p \quad (4.1)$$

Kazığın sürtünme direnci, kazık boyunca yer alan tabakanın birim sürtünme dirençleri(f_s) ve kazığın çevre alanları (A_s) çarpımı ile 4.2'teki formül gibi hesaplanabilir.

$$Q_s = f_s \cdot A_s \quad (4.2)$$

Yukarıdaki formüllerden yararlanılarak kazığın toplam taşıma kapasitesi ise;

$$Q_f = Q_p + Q_s \quad (4.3)$$

$$Q_f = (q_f \cdot A_p) + (f_s \cdot A_s) \quad (4.4)$$

4.3 ve 4.4'teki gibi kazık uç direnci ve kazık sürtünme direnci toplamından elde edilir.

Q_f : Tek kazığın nihai taşıma gücü

Q_p : Kazığın uç taşıma kapasitesi

A_p : Kazık ucundaki en kesit alanı

A_s : Kazık sürtünme alanı

q_f : Kazık uç çevresindeki zeminin birim taşıma kapasitesi

f_s : Birim sürtünme direnci

Q_s : Kazığın sürtünme direnci

Kazık taşıma kapasitesini belirleyen iki unsurdan biri olan kazık uç direncinin hesaplanması için kullanılan yöntemlerden bir kaçı aşağıdaki gibidir.

Sürtünme Kazıklarında Uç Direnci

Sürtünme kazıklarında uç direnci hesabı yapılırken ilk olarak kazık ucunu bir yüzeysel temelin zeminle dokunma yüzeyi olarak kabul eden yaklaşımlardan başlanmış aynı ilkeye dayanan çeşitlendirmeler günümüze kadar devam ettirilmiştir. Terzaghi (1967) taşıma gücü teorisi kullanılarak kazık uç direnci için formül 4.5 yazılabilir:

$$q_f = 1.3 \cdot c \cdot N_c + \sigma_o' \cdot N_q + \eta \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \quad (4.5)$$

- η : Dairesel kesitlerde 0.3 karesel kesitlerde 0.4 olan bir kat sayı;
 N_c, N_q, N_γ : Zeminde ait içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları.
 γ' : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
 B : Kazık çapı veya kenar uzunluğu
 c : Zeminin kohezyonu
 σ_o' : Kazığın ucundaki düşey efektif geostatik gerilme

Çizelge 4.6'da Terzaghi taşıma gücü katsayıları verilmiştir.

Çizelge 4.6 Terzaghi Taşıma Gücü Katsayıları.

Zeminin içsel sürtünme açısı ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	0.0	1.0
5	7.3	0.5	1.6
10	9.6	1.2	2.7
15	12.9	2.5	4.4
20	17.7	5.0	7.4
25	25.1	9.7	12.7
30	37.2	19.7	22.5
34	52.6	35.0	36.5
35	57.8	42.4	41.4
40	95.7	100.4	81.3
45	172.3	297.5	173.3
48	258.3	780.1	287.9
50	347.5	1153.2	415.1

a) Kohezyonsuz Zeminlerde

Kohezyonsuz zeminlerde kohezyon değeri sıfır alınarak uç direnci 4.6'daki formül ile hesaplanabilir;

$$q_f = \sigma_o' \cdot N_q + \eta \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \quad (4.6)$$

Formülde ikinciterim ihmal edilebilir. Bu durumda;

$$q_f = \sigma_o' . N_q \quad (4.7)$$

Kısa kazıklarda kazık ucunun oturduğu derinlikteki efektif yük, kazık boyunun yaklaşık 15-20 B derinliğini (kritik derinlik) aştığı hallerde σ_o' değeri en çok 15-20 B derinliğe karşılık gelen değer olarak alınmalıdır

b) Kohezyonlu Zeminde

İnşaat sonrasında taşıma gücü yönünden Kohezyonlu zeminler için durum daha kritik olduğundan drenajsız durumda $\phi = 0$ olup, uç direnci 4.8'de belirtildiği gibidir;

$$q_f = c_u . N_c \quad (4.8)$$

N_c değeri dairesel kesitli ve zemin içerisinde yeterli uzunlukta olan kazıklar için formül 4.9'daki gibi 9 olarak alınır.

$$Q_f = 9 . c_u \quad (4.9)$$

Kilin kayma direncine göre birim alana gelen çevre sürtünmesi küçük olabilir; fakat asla büyük olamaz.

Birim Sürtünme Direnci

Çevre sürtünme direncine killi zeminlerde adezyon hareketlenmesi, granüller zeminlerde ise zemin ile kazık arasında fiziksel sürtünme sebep olur.

Zemin ve kazık çeperi arasındaki çevre sürtünmesi ile oluşan taşıma gücü bileşeni; kazığın içinde bulunduğu tabakaların çevre sürtünme dirençleri ayrı ayrı hesaplanıp toplanması ile bulunur. Bu anlatım aşağıdaki 4.10 formülü ile tanımlanabilir:

$$Q_\phi = \sum p . \Delta L_i . f_i \quad (4.10)$$

Burada

ΔL_i : Kazığın Zemin Katmanları İçindeki Uzunluğu

f_i : Kazığın Zemin Tabakalarında Birim Çevre Sürtünmesi Değeridir.

p : Kazık Enkesidinin Çevresi

Kazığın çevre sürtüne direncini hesaplamak için (4.10) denkleminde anlaşılağı üzere zeminin birim çevre sürtünmesi değerin (f_i) bilinmesi gerekmektedir.

A. Kohezyonsuz Zeminlerde

Bu zemin tipinde hesaplama öncesi aşğıdaki özelliklerin göz önünde tutulması gerekmektedir.

1. Çakma kazıklar yapılırken zemin sıkışacağından içsel sürtünme açısının değeri artar.
2. Çevre Sürtünmesi Değeri(f_i) kritik L' derinliğine kadar doğrusal şekilde artar. L' derinliğine ulaştıktan sonra sabit kalır. Bu L' değeri d kazık çapı olmak üzere çizelge 4.7 'deki değeri gibi alınabilir:

Çizelge 4.7 L_i Değeri.

L'	Gevşek kumlar	Ortasıklıktaki kumlar	Sıkı kumlar
	10 d	15 d	20 d

3. Aynı derinlikte gevşek kumların bünyesinde az yer değiştirmeye neden olan bir kazığın çevresinde oluşana az yer değiştirbirim sürtünme kuvveti aşırı yer değiştirmeye neden olan bir kazığın çevresinde oluşa değerlerden azdır.

4. Aynı derinliklerde fore kazıkların çevresinde diğer kazık çeşitlerine göre daha düşük sürtünme değeri oluşur.

Birim çevre sürtünmesi için derinlik (z) boyunca yukarıdaki özellikler dikkate alınarak aşğıdaki hesap kriterleri verilebilir:

$$L' > z f_i = \sigma'_{vi} \cdot \tan \delta_i \cdot K_i \quad (4.11)$$

$$L > z > L f_i = z \cdot (f_i) \quad (4.12)$$

Burada;

σ_{vi}' : Zemin tabakasında (i) efektif düşey gerilme.

K_i : Zemin tabakasının (i) efektif yanal toprak basıncı katsayısı.

δ_i : Zemin tabakasında(i) kazık – zemin arası sürtünme açısıdır.

Kazığın özelliğine göre zemin tabakasının efektif yanal toprak basınç katsayısı (K) değerleri değişkenlik göstermekte olup çizelge 4.8’de verilmektedir:

Çizelge 4.8 Kazık Tipine Göre K Değerleri

KAZIK TİPİ	K
Fore kazıklar	$\approx K_o = 1 - \sin \phi$
Az deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_o$ ila $1.4 K_o$
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_o$ ila $1.8 K_o$

Dr, Rölatif sıkılık derecesi olup K değeri K_o ila $1.8 K_o$ arasında değişkenlik gösteren yüksek deplasman yapan kazıklar için ayrıca aşağıdaki formüller önerilmektedir:

$$K \cdot \tan \delta = 0.18 + 0.0065 D_r \quad (4.13)$$

$$K = 0.5 + 0.008 D_r \quad (4.14)$$

Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’da Kulhawy (1984) tarafından önerilen K ve δ değerleri yer almıştır.

Çizelge 4.9 Geostatik Katsayıya Oranla K Değerleri

KAZIK TİPİ	K / K_o
Yüksek Deplasmanlı Çakma Kazıklar	1 - 2
Alçak Deplasmanlı Çakma Kazıklar	0.75 - 1.75
Fore Kazık	0.71 - 1
Su Jeti ile Çakılan Kazık	0.5 - 0.7

Geostatik toprak basıncı, basınç katsayısı K_{oi} göz önüne alınarak (4.10) bağıntısının (4.11) bağıntısına yerleştirilmesi halinde (4.15) deki bağlantı elde edilir:

$$Q_c = \sum \pi d \cdot \Delta L_i \cdot K_{oi} \cdot \sigma_{vi}' \cdot \tan \delta_i \quad (4.15)$$

Çizelge 4.10 Kazık – Zemin Sürtünmesi Değerleri

Kazık - Zemin Temas Durumu	Kazık - Zemin Sürtünme Açısı δ
Pürüzsüz ve Kaplanmış Çelik-Kum	$0.5\phi' - 0.7\phi'$
Kaba (Ondüleli) Çelik-Kum	$0.7\phi' - 0.9\phi'$
Önceden Dökülmüş Beton-Kum	$0.8\phi' - 1.0 \phi'$
Yerinde Dökülmüş Beton- Kum	$1.0\phi'$
Ahşap- Kum	$0.8\phi' - 0.9\phi'$
Zemin İçinde Boru Bırakılan Kazıklar	$0.7\phi' - 0.85\phi'$

(4.15) bağıntısında aşağıdaki semboller yer almaktadır:

d : Kazık çapı

ΔL_i : Kazık boyunca kazığın içinden geçtiği her bir zemin tabakasının kalınlığı.

K_{oi} : i. zemin tabakasının sükûnetteki yatay toprak basıncı katsayısı (Geostatik katsayı).

i : Kazığıçevreleyen değişik özellikteki zemin tabakaları.

σ_{vi}' : i. zemin tabakasındaki ortalama düşey efektif gerilme.

δ_i : i. zemin tabakasının kazık – zemin arasındaki sürtünme açısı.

Yatay toprak basıncı katsayısı K_{oi} geostatik durumda kumlarda içsel sürtünme açısının (ϕ') bir fonksiyonu olup (4.16)'da hesap değeri verilmiştir:

$$K_{oi} = (1 - \sin \phi') \quad (4.16)$$

alınabilir (Jaky1948).

(4.16) bağıntısı ile hesaplanan katsayı bazı araştırmalara göre (4.17) ile hesaplanır.

$$K_{oi} = (1 - \sin \phi') (OCR)_i^{0.5} \quad (4.17)$$

Bu bağıntıda OCR kil tabakasının aşırı konsolidasyon oranı olu toplam çevre sürtünme direnci; (4.15) bağıntısı kullanılarak ΔL_i kalınlığındaki her (i) tabakası için ayrı ayrı hesaplanır ve toplamı alınır.

B. Kohezyonlu Zeminlerde

Bu direnç genelde kilin drenajsız durumdaki direnci, kazık kesitinin şekli, kazık uzunluğu, efektif düşey gerilme, kazık malzemesi gibi etkenlerin bir araya gelmesi ile oluşur. Killi zeminlerde adhezyon kuvveti tarafından yüzeysel sürtünmenin rolü karşılanmaktadır. Kohezyonlu zeminler için (4.11) ve (4.16) denklemlerinin benzeri aşağıda (4.18) bağıntısındaki gibidir:

$$Q_c = \sum \pi d_i \Delta L_i \alpha_i c_i \quad (4.18)$$

Bu ifadede diğer katsayılar (4.16) bağıntısındakilere eşdeğer şekilde tarif edilmekle beraber;

α_i : i. zemin tabakasının adhezyon katsayısını.

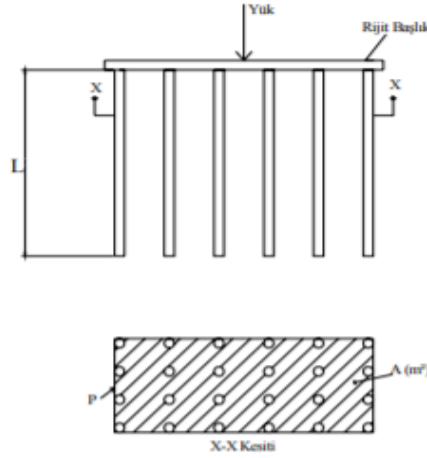
c_i : i. zemin tabakasının drenajsız kayma dirençlerinin göstermektedir.

Bu zeminde de yukarıdaki (4.18) bağıntısı kullanılarak toplam çevre sürtünmesi direnci hesabının yapılabilmesi için ΔL_i kalınlığındaki (i) tabakası için ayrı ayrı hesaplanır ve kazık boyunca toplamı alınır.

Terzaghi Blok Yaklaşımı

Terzaghi ve Peck (1967) kazıklı bir temelin aynen bir “ Blok Derin Temel” olarak davranacağı varsayımından hareket ederek ve zemin özelliklerini de hesaba katarak yeni bir yöntem geliştirmişlerdir. Kazıklı bir temelin blok halinde davranması önemli ölçüde kazık aralığına bağlıdır. Temelin ne zaman blok temel davranışından tek kazık davranışına geçeceği sorusuna cevap vermek oldukça zordur. Tek kazığın göçmesi ile blok temelin

göçmesi durumları Terzaghi ve Peck tarafından incelenerek bir yaklaşım önermişlerdir. Şekil 4.10' da görüleceği gibi bu yaklaşım içinde iki adımlı bir çözüm takip edilir.



Şekil 4.10 Kazık Grup Etkisi (Terzaghi ve Peck 1967).

Bu kabuller ile şöylece açıklanabilir:

- Kazık başlığı rijittir.
- Kazık grubu içindeki zemin kazıklarla beraber bir blok olarak davranır.

Terzaghi ve Peck metodunda kazık grubu derin bir temel gibi düşünülerek toplam taşıma gücü bulunur ayrıca blok çevresi ve tabanındaki kuvvetlerin dengesi ile formül 4.19 elde edilir:

$$Q_s = P.L.s + A.q_f - AL\gamma \quad (4.19)$$

Burada:

- γ : Zeminin birim hacim ağırlığı.
 L : Kazığın zeminin içinde kalan boyu.
 S : Kazık bloğunun çevresindeki zeminin ortalama kayma mukavemeti.
 P : Plana göre kazık grubunun toplam çevre uzunluğu.
 A : Plana göre kazık grubunun alanı.

Killi zeminler için Kazığın oturduğu derinlikteki taşıma gücü (q_f) aşağıdaki formül (4.20) ile hesaplanır:

$$q_f = 1.3c.N_c + \gamma L \quad (4.20)$$

4.4 SONLU ELEMENLAR METODU

Matematiksel ifadelerle sürekli problemlerin çözüm yöntemi olarak tanımlanan sonlu elemanlar yöntemi ilk kez 1977 yılında Zienkiewicz tarafından kullanılmıştır. Bu yöntem, çeşitli mühendislik problemlerine kabul edilebilir bir yaklaşımla çözüm arayan bir sayısal çözüm yöntemi olup literatürde mühendislik problemlerine ve geoteknik problemlerine uygulanmasına dair birçok çalışma mevcuttur (Potts ve Zdravkovic 1999).

Plaxis 2D geoteknik mühendisliği stabilite analizlerinde ve iki boyutlu deformasyon analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi ile çözüm üreten bir programdır. Program, nonlinear simülasyonla oluşturulmuş modellere ait zamana dayalı ve anizotrop davranışları zemin ve kayalar birleştirir. Yapı ve zemin arasında kesişim modeli oluşturulmasına imkân sağlar. Plaxis üzerinde yer alan Dinamik modül ile zemin analizi yapılarak deprem gibi dinamik yükleme etkisinde kalmış yapıların analiz edilebilir (Brinkgreve 2012).

Zemin Modelleri

Plaxis’ de zemin ve diğer ortamların davranışlarını modellemek için 6 farklı model kullanılmaktadır. Bu modeller ve modellerde kullanılan parametreler kısaca özetlenmiştir.

1) Lineer Elastik Model: Zemin davranışının Hook yasasına uyduğu ve izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilen program modellemesi; zemin içindeki rijit yapıları modellemek için kullanılır. Elastisite modülü (E), ve Poisson oranı (v) değerleri girilir.

2) Mohr –Coulomb Model: zemin davranışı elasto-tam plastik kabul edilmektedir. Bu model için 5 parametreye ihtiyaç vardır. Bunlar; tüm zemin tabakaları için sabit olan Elastisite modülü (E), Poisson oranı (v), kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ)’dır.

3) Jointed-Rock Model: Plastik kaymanın sınırlı sayıda kayma doğrultularından meydana geldiği tabakalı veya birleşik kayaların davranışını modellemede kullanılan anizotropik

elasto-plastik modeldir. Modelde giriş parametreleri olarak kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) ile Elastisite modülü (E), Poisson oranı (ν) değerleri girilmektedir.

4) Soft Soil Model: Geoteknikte yüksek mertebede sıkışabilirlik özelliğe sahip turba zeminler, killi siltler, normal konsolide killer yumuşak zemin olarak kabul edilen zeminleri modellemede kullanılır. Giriş parametreleri olarak kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ), modifiye sıkışma ve şişme indekslerine de ihtiyaç duyulur.

5) Soft Soil Creep Model: Yumuşak zeminlerin zamana bağlı davranışının modellenmesinde kullanılır. SSM deki parametrelere ek olarak modifiye süzme indeksine ihtiyaç duyulur.

6) Hardening Soil Model: Farklı tipteki zemin davranışını (orta-sıkı, sıkı kumlar ile aşırı konsolide sert killer) modellemekte ve Mohr Coulomb modeline göre çok daha gelişmiş kullanılan hiperbolik ve elastoplastik zemin modelidir. Mohr Coulomb modelinde olduğu gibi gerilme seviyesi kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) ile sınırlandırılmıştır.

4.5 KÖPRÜ TEMELLERİNİN TASARIMINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN BAŞLICA ESASLAR

Köprü temel tasarımında öncelikle;

- i) Üst yapıdan zemine gelen ve temel vasıtasıyla aktarılacak yük şiddetine ve yatay ve düşey yüklerin büyüklüklerine ve zemin cinsine bağlı olarak temel tipi belirlenmesi
- ii) Köprü temelinin boyutlandırılması, donatı çaplarının ve miktarlarının belirlenmesi.

Zemin veya temel kayasının mukavemet değerleri üst yapıdan gelen yükleri emniyetle taşımalıdır. Eğer üst yapıdan gelen yükler zeminin emniyetli taşıma gücü değerlerini aşıyorsa; öncelikle köprü temelinin boyutları büyütülerek yükün zemine aktarıldığı gerilme şiddetinin düşürülmesi suretiyle temel zemininin emniyetle taşıyabileceği sınırlara çekilmesi veya derin temel tipi seçilerek örneğin kazıklı temel vasıtasıyla üst yapı yükünün zemindeki daha sağlam ve taşıma gücü değerleri fazla olan zemin veya kayaya aktararak taşıtırılması denenir.

Kazıklı temellerde kazık uç dreni ve kazık çeperleri boyunca oluşan sürtünme kuvvetleri olmak üzere başlıca iki tür kazık dreni vardır. Kazıklı temel tasarımı yapılırken köprü yanıl yüklerinden dolayı oluşan yatay itkilere de analizlerde dikkat edilmelidir.

Bazı zeminler problemli zeminler olup bu zeminler başlıca, gevşek suya doymuş kum alüvyonel zeminler yumuşak kil zeminler yumuşak organik siltli killeri gibi zeminlerdir. Eğer köprü temelleri problemli zeminler üzerine oturuyorsa özel önlemler almak gereklidir. Bu açıdan temel zemini etütleri çok önemli olup arazi ve laboratuvar testleri zemin cinslerinin mukavemet ve taşıma gücü değerlerinin ayrıca yük-oturma davranışlarının doğru olarak ortaya konulması hem köprü emniyeti hem de tasarımın ekonomik olarak boyutlandırılması ve doğru temel tipine karar verilebilmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

Ülkemizde gevşek suya doymuş kum ve silt zeminler ile bazı yörelerde yumuşak kil zeminler ile sıklıkla karşılaşmakta olup kum depositleri suya doymuş olduklarında yer altı su seviyesi yüzeye yakın ise deprem titreşimleri etkisi ile sıvılaşma riski de içerirler. Ayrıca ülkemiz deprem kuşağında yer almakta olup pek çok bölgesi 1. veya 2. derece deprem bölgesinde ve aktif fayların etkisindedir. Dolayısıyla köprü temellerinin altında bu tür zeminler zemin etütleri neticesinde tespit edilmişse bir takım tedbirlerin alınması şarttır.

BÖLÜM 5

MODEL VE ANALİZ

Çalışma alanında daha önceden yapılmış olan detaylı sondaj raporları incelenmiş ve arazi topoğrafik ölçümlerine ve bazı parametrelere ulaşılmıştır. Çalışma alanında daha önceden yapılmış olan detaylı sondaj raporları incelenmiş yeraltı su seviyesi yeryüzünden 3 m aşağıda olduğu sırasıyla kumlu kil, siltli-kil 1, siltli-kil 2 ve çakıllı kil olmak üzere 4 farklı zemin sınıfı bulunduğu tespit edilmiştir. Zeminde üç farklı elastisite modülü tanımlayıp, zeminin elastoplastik özelliğini daha iyi yansıttığı için Pekleşen Zemin (hardening soil) modeli tercih edilmiştir (Sert 2003). Analizlerde kullanılan geoteknik parametreler çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Malzeme Parametreleri

	Kumlu Kil	Siltli Kil-1	Siltli Kil-2	Çakıllı Kil
Malzeme Modeli	Pekleşen Zemin	Pekleşen Zemin	Pekleşen Zemin	Pekleşen Zemin
Drenaj Durumu	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
ρ (kN/m ³)	19	20	20	21
ρ_{sat} (kN/m ³)	19	20	20	21
E_{50} (kPa)	7360	8320	7680	12600
E_{oed} (kPa)	7360	8320	7680	12600
E_{ur} (kPa)	22080	24960	23040	37800
c' (kPa)	20	22	25	35
ϕ' (°)	24	26	25	33

Modelde üst yapı parametreleri için beton köprü malzemesi olarak beton ve köprü tablası üzerine 6cm kalınlığında asfalt malzeme tanımlanmıştır. Çizelge 5.2.'de analize kullanılan üst yapı parametreleri ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 5.2 Üst Yapı Parametreleri.

Malzeme	Malzeme Modeli	Drenaj Durumu	$\rho(\text{kN/m}^3)$	E (GPa)	ν
Yayıllı Temel	Lineer Elastik	Geçirimsiz	24	30	0.2
Asfalt	Lineer Elastik	Geçirimsiz	23.54	3.5	0.2

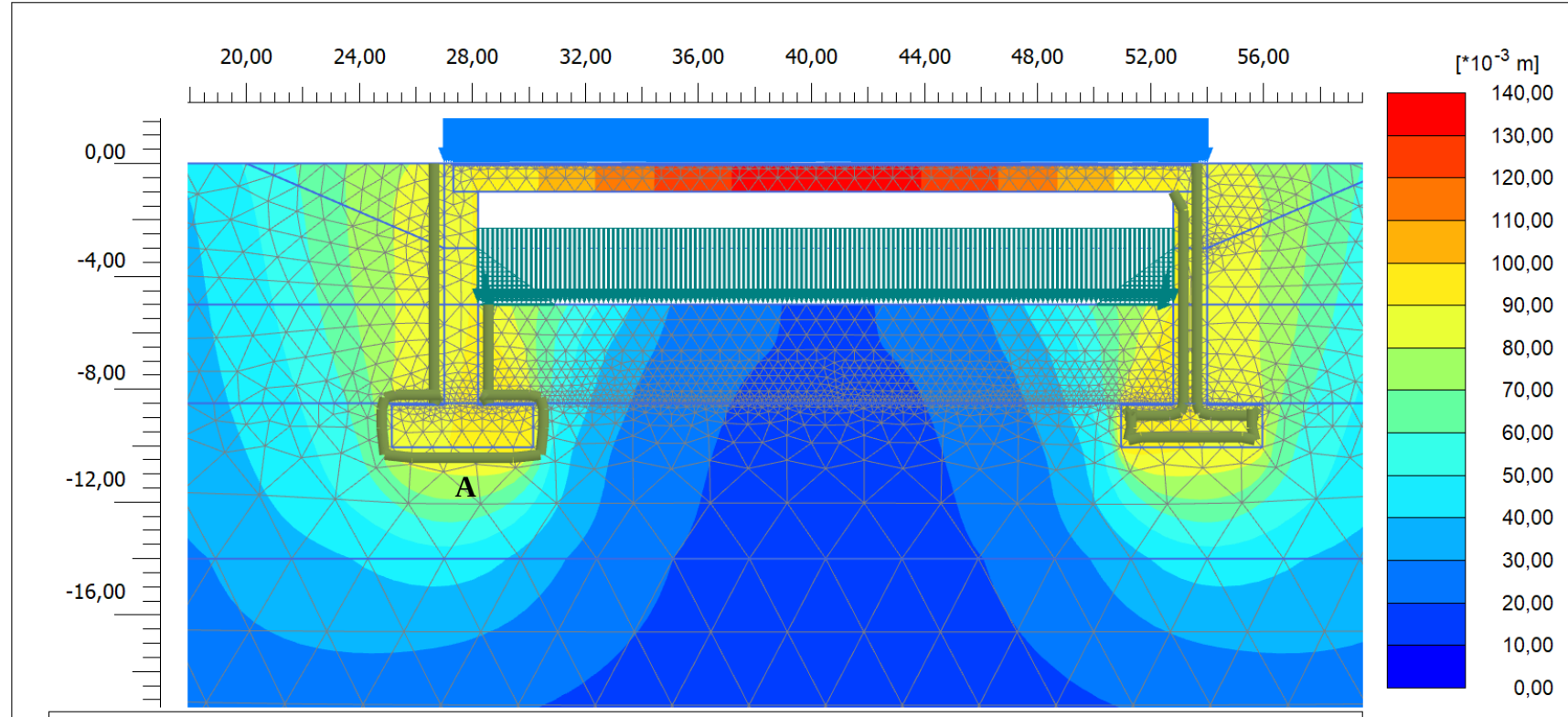
Zemin yüzeyinde mevcut yapı yükleri modele yapı yükünü temsilen köprü tablasının üzerine 50 kPa eşdeğer yük tanımlanmıştır. Oturmaları uzun yıllar devam eden bir zeminin, rijit köprü üst yapısına, mesnet ve kirişlerine her zaman zarar verme olasılığı olduğundan killi zeminlerde oturma analizlerin yapılarak köprü temelinin oturma miktarlarının kabul edilebilir mertebeleri aşıp aşmadığı tahkik edilmelidir. Köprü temellerindeki ve kenar ayakları arasındaki izin verilebilir oturma ve diferansiyel oturma değerleri çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Köprü tasarımında izin verilebilir diferansiyel oturma değerleri (WSDOT 2013).

Köprü ayağı veya temelindeki toplam oturma (cm)	30 m nin üzerindeki açıklıktaki köprü ayakları arasındaki diferansiyel oturma (cm)	Faaliyet
$\Delta H \leq 2.5$	$\Delta H_{30} < 1.9$	Tasarla ve İnşa et
$2.5 < \Delta H \leq 10$	$1.9 < \Delta H_{30} \leq 7.6$	Köprünün bu oturmayı tolere edip etmeyeceğini analiz et
$\Delta H > 10$	$\Delta H_{30} > 7.6$	Tasarıya ve inşaata devam edip etmemek için izin al

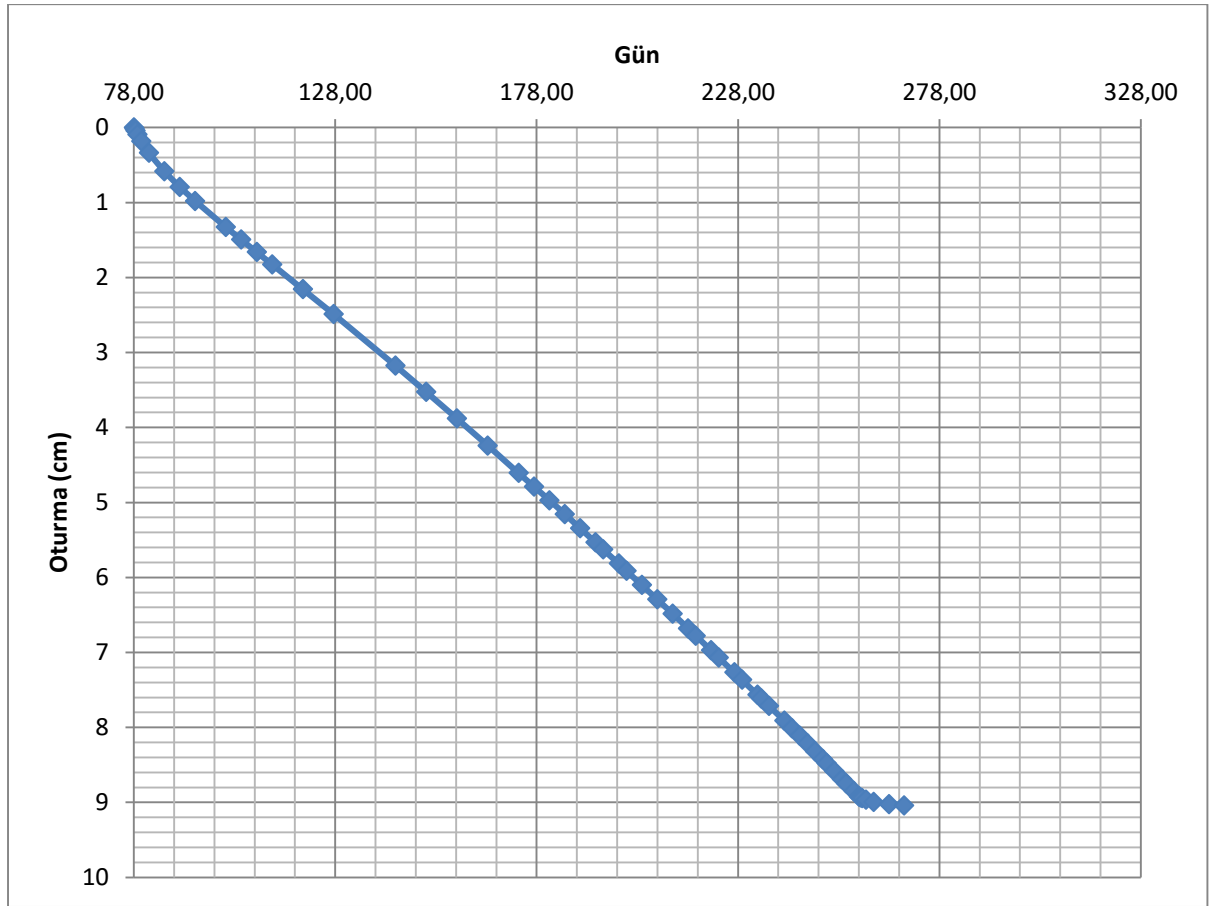
Proje verileri ışığında sonlu elemanlar metodu ile şekil 5.1.'deki gibi modellenmiştir.

Şekil 5.1 Sonlu Elemanlar Metodu İle Temsili Köprü Modeli.



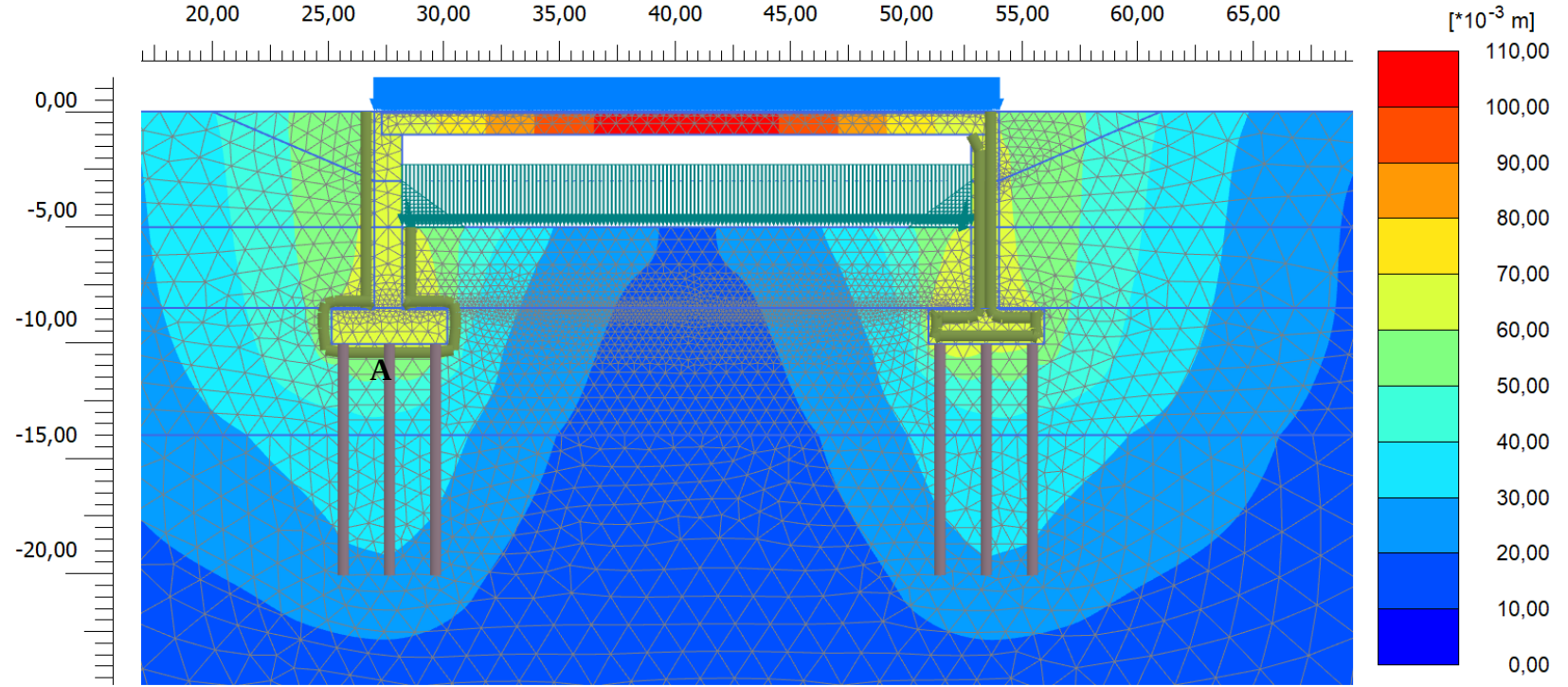
Şekil 5.2 Toplam Yerdeğistirme İuI Maksimum Değer 0.1347m. 434 Nolu Eleman 40529 Noktası.

İyileştirmesiz durum için şekil 5.2’de görülmek üzere uzun dönem analizinde en fazla oturma 13.47 cm köprü tablasının üzerinde görülmektedir. Temelin orta noktasından alınan bir A noktasında toplam oturma değeri 9 cm olarak analiz edilmiştir.



Şekil 5.3 İyileştirme Yapılmadan Önceki Zamana Bağlı Oturmalar.

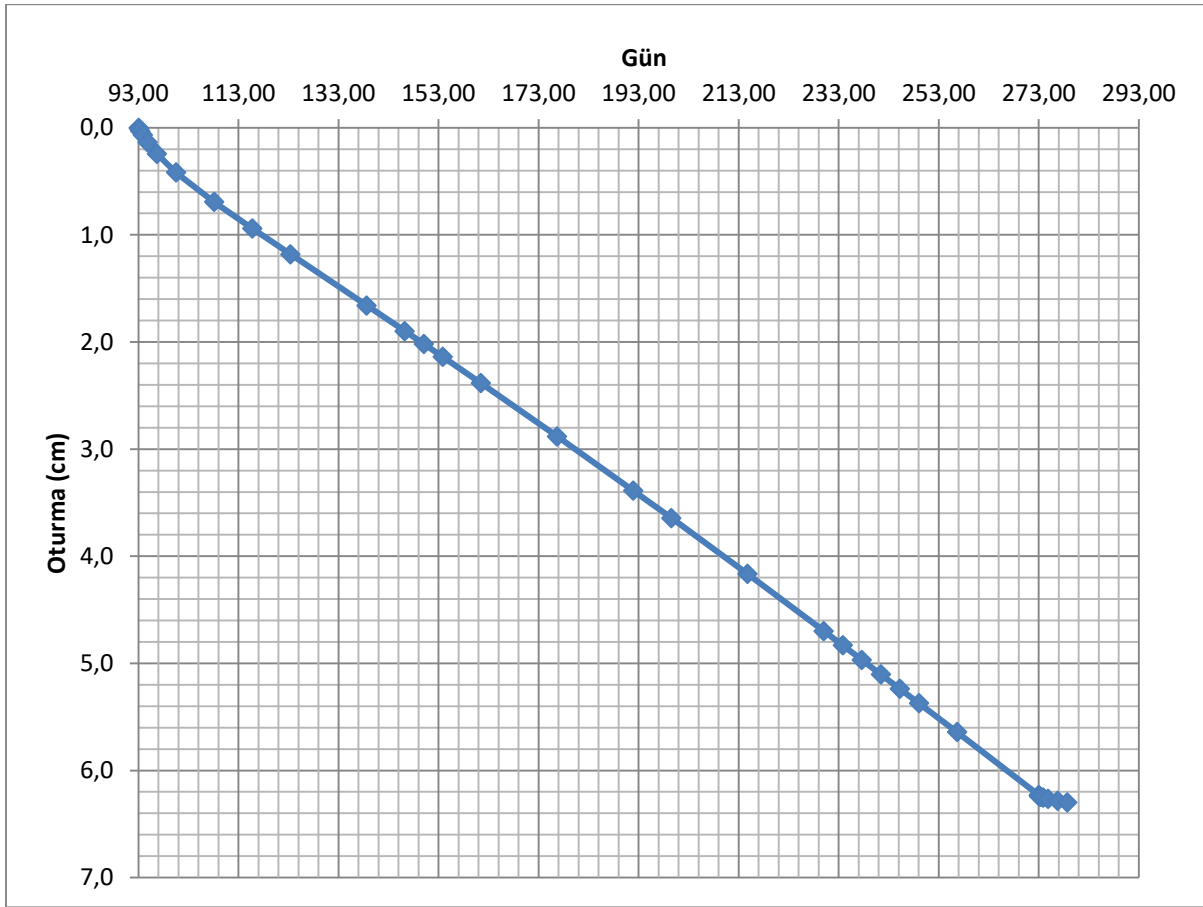
İyileştirme yapılmadan önceki zamana bağlı uzun oturması hesabında ise şekil 5.3'teki gibi boşluk suyubasıncı 1 Pa olana kadar analiz ettirilmiştir.



Şekil 5.4 Toplam Yerdeğiştirme İni Maksimum Değer 0.1065m. 434 Nolu Eleman 51789 Noktası.

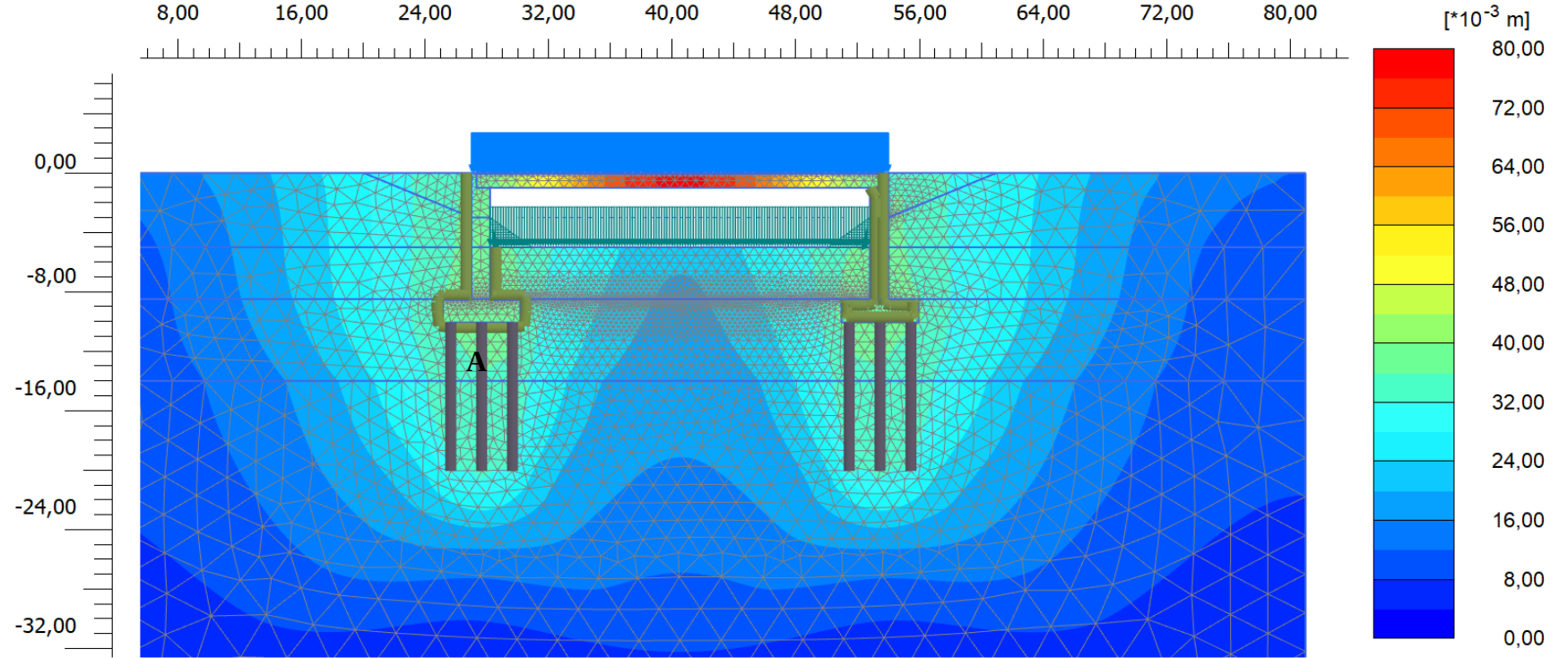
Çizelge 5.4 Rijit Kolon Parametreleri.

Malzeme	E (MPa)	ρ (kN/m ³)	Çap (m)	Sürtünme Direnci f_s (kN/m)	Uç Direnci Q_g (kN)
Jet Grout	300	24	0.8	744.2	5857
Delme Kazık	300 000	24	1	784.3	229



Şekil 5.5 Jet Grout Yapıldıktan Sonra Zamana Bağlı Oturmalar.

Köprü temel ayağının altına kare yerleşim planına göre 2 m aralıklarla ve 10 m şaft uzunluğunda şekil 5.4'te Jet Grout kolonları modellenerek uzun dönem analizinde en fazla oturma 10. 65 cm köprü tablasının üzerinde görülmektedir. Çizelge 5.4' te köprü temelaltına modellenen Jet Grout kolonlarının parametreleri görülmektedir. Şekil 5.4'te temelin orta noktasından alınan bir A noktasında toplam oturma 6.3 cm olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.5'te Jet Grout Yapıldıktan Sonra Zamana Bağlı Oturmaya ait grafik verilmektedir.



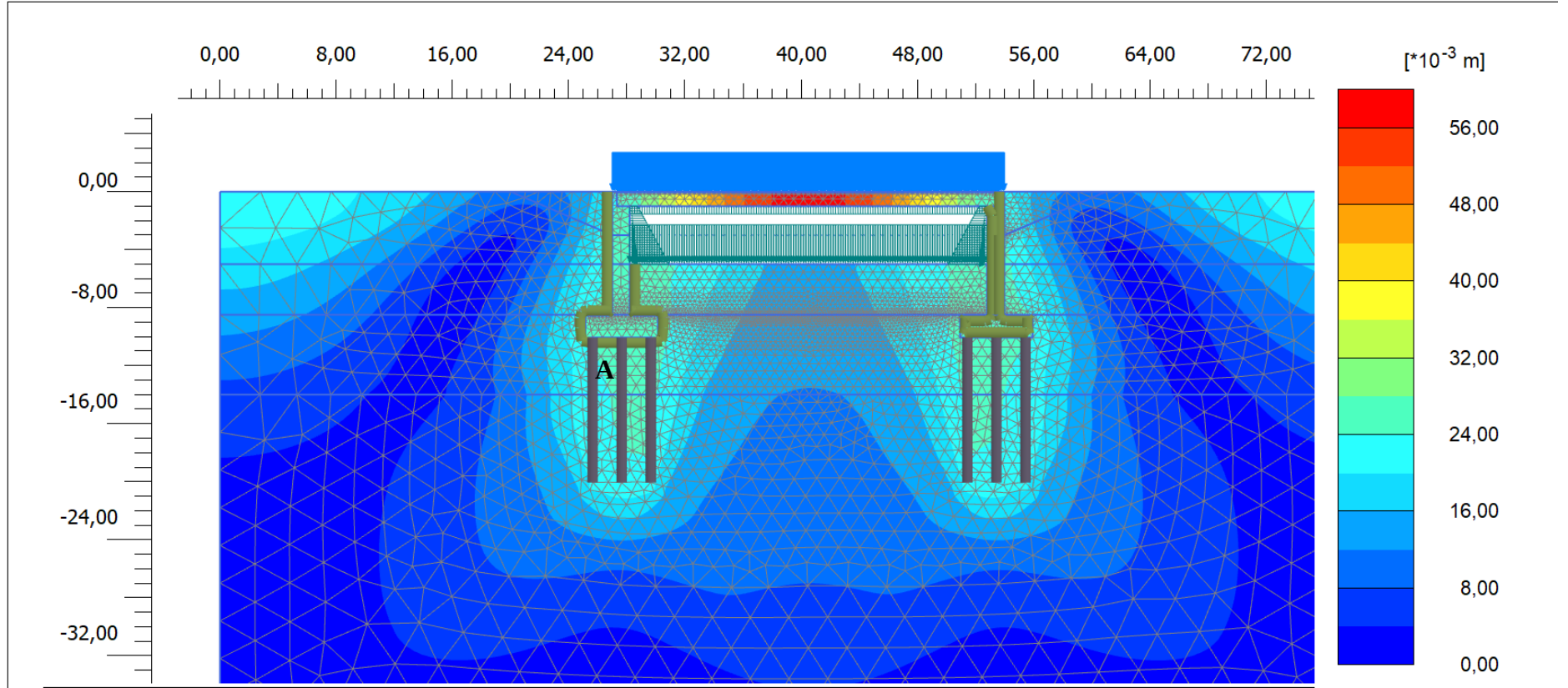
Şekil 5.6 Toplam Yerdeğiştirme Iıı Maksimum Değer 0.07697m. 434 Nolu Eleman 51789 Noktası.



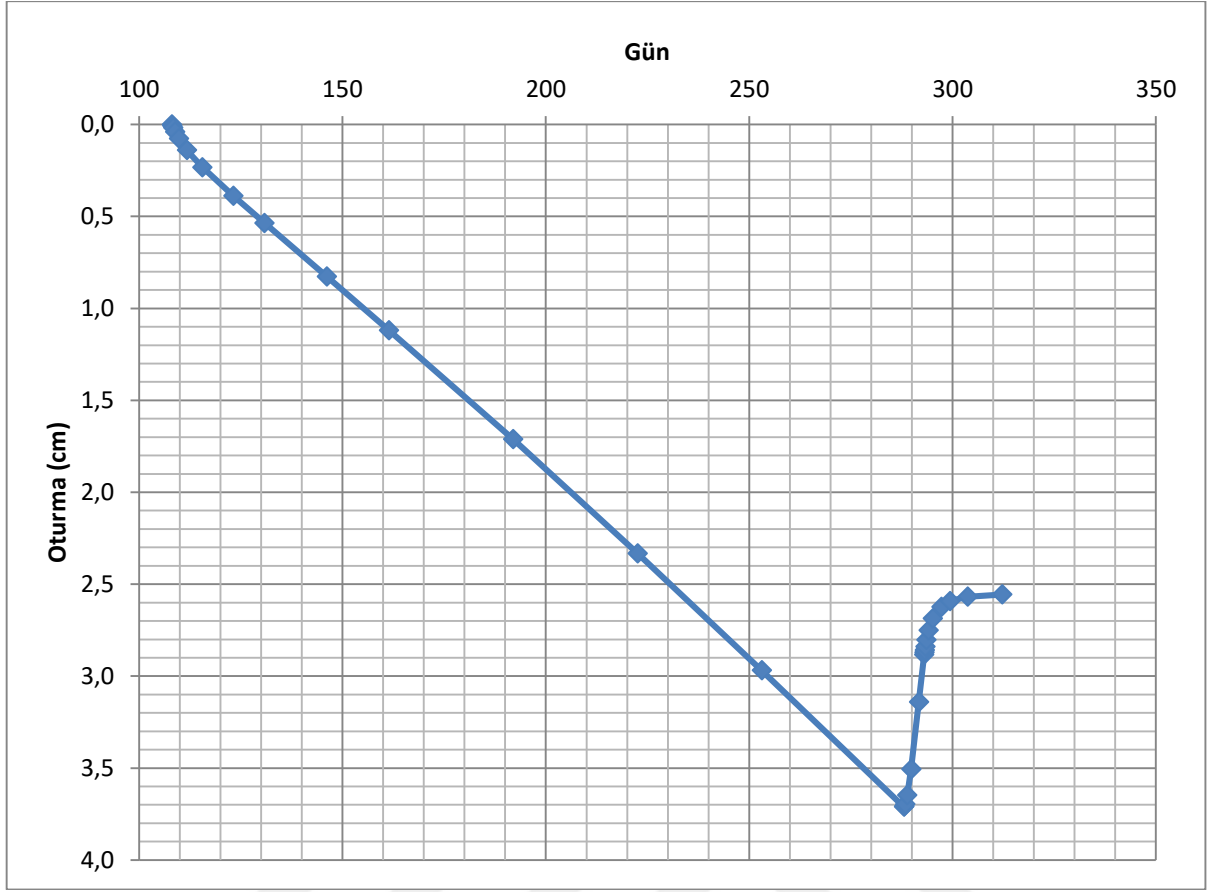
Şekil 5.7 Delme Kazık Yapıldıktan Sonra Zamana Bağlı Oturmalar.

Köprü temel ayağının altına kare yerleşim planına göre 2m aralıklarla ve 10m şaft uzunluğunda şekil 5.6'daki gibi Delme Kazık kolonları modellenerek uzun dönem analizinde en fazla oturma 7.6cm köprü tablasının üzerinde görülmektedir. Çizelge 5.3'te köprü temel altına modellenen Delme Kazık kolonlarının parametreleri görülmektedir. Şekil 5.6' da temelin orta noktasından alınan bir A noktasında toplam oturma 4cm olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.7'de ise delme kazık yapıldıktan sonra zamana bağlı oturma grafiği görülmektedir.

İzin verilen oturma değerleri delme kazıklı sistemde elde edildiği için delme kazık yapımına karar verilmiş olup, bölgedeki yağış formasyonu gözönüne alınarak sel durumunda köprüde meydana gelecek durumlar programda analiz edilerek irdelenmiştir. Şekil 5.8 incelendiğinde suyun kaldırma etkisinden ötürü köprü tablasında 5.5cm oturma görülmüş olup şekil 5.8'de temelin orta kısmından alınan bir A noktasında oturma değeri 2.6cm olarak analiz edilmiştir. Şekil 5.9'da sel durumunda zamana bağlı oturma grafiği görülmektedir.



Şekil 5.8 Toplam Yerdeğiştirme İuı Maksimum Değer 0.05807m. 434 Nolu Eleman 51789 Noktası.



Şekil 5.9 Sel Durumunda Zamana Bağlı Oturmalar.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Zonguldak İli Merkez İlçesinden yapılması düşünülen betonarme köprü modeli 2 boyutlu sonlu elemanlar programında modellenerek olası durumlardaki davranışları ele alınmıştır. Söz konusu yapı 4 farklı zemin tabakası üzerine oturmuş olupsade durumda temel ayaklarında izin verilen oturmaların üstünde bir oturma analiz edilmiştir. Buna göre ilk durumda Jet Grout iyileştirme yöntemi önerilmiş olup temelaltında oturmalar %30 oranında azalmıştır. Bu oturmalarda izin verilen durumda olmayıp sonolarak delme kazık önerilmiştir. Delme kazıklar temelaltına yapılınc ortamdaki oturmalar sade duruma göre %55 oranında azalmıştır. Delme kazıklı temel sisteminde izin verilen oturma değerleri elde edilmiştir.

İnceleme alanı ılıman Karadeniz ikliminin altındadır. Her mevsimi yağışlı ve ılık olan bölgede kurak mevsime rastlanılmamaktadır. Bu sebepten dolayı sel felaketide ele alınaraksel durumunda yapı köprü tablasına kadar su seviyesi yükseltilerek oturmalar suyun kaldırma etkisinden dolayı sade duruma göre %64 oranında azalmıştır. Yapıda oluşabilecek farklı durumlar modellenerek olası durumların sonuçları analiz edilmiştir. Analizdeki sonuçlar ile gerçek arazideki veriler karşılaştırılmalı ayrıca bölgenin 1. Derece deprem bölgesi olmasından dolayı deprem etkisinde göz önüne alınması önerilmektedir.

- i) Ekonomik ise yumuşak zemin kazılarak temel altından uzaklaştırılması ve yerine daha sağlam.oturma problemi oluşturmayacak zemin veya kaya getirilmesi ve serilerek sıkıştırılması.
- ii) Yumuşak zemin kazılarak atılması ve kazı taban kotuna kadar köprü temelinin indirilmesi.
- iii) Problemlili zemin ön yükleme ile birlikte kum drenler veya geomembran düşey drenler ile oturmasının hızlandırılması ve kabul edilir mertebelere kadar oturmaların tamamlanmasının sağlanması.

Kazıklı derin temellerin maliyetleri yüzeysel temelere göre her zaman daha fazla olup aynı zamanda kazık çakma ve yükleme deneyleri gibi işlemler inşaat süresinde gecikmelere sebebiyet verir.

Bu sebeple köprü üst yapısından zemine, zemin taşıma gücünden daha fazla yük gelmesi durumlarında, problemlili olmayan zemin koşullarında olmak kaydıyla, öncelikle temelden zemine aktarılan yüklerin (temelin adım adım büyütülmesi ile tahkik edilerek) azaltılması ve böylece yüzeysel temel inşasının tercih edilmesi ekonomik olması açısından tavsiye edilir. Ancak problemlili zeminler ile sınılaşma riski olan zeminlerde yukarıda bahsedilen türden iyileştirmelerin yapılması şarttır.



KAYNAKLAR

- Akan R** (2013) Jet Grout Yönteminin Zemin İyileştirmesine Katkısının ve Bu Yöntemde Kullanılan Parametrelerin Etkilerinin İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Ana Bilim Dalı, Isparta, 101 s.
- Anonim** (1987) Genelleştirilmiş Jeomorfoloji ve Genel Eğitim Haritaları, Kaleoğlu Köprüsü Sondaja Dayalı Zemin Etüdü Raporu, Karadeniz Mühendislik İnşaat Ltd. Şti. Kdz Ereğli, Eylül 2014, 41 s.
- Bell Kenneth R, Clemente Jose LM, Gularte Francis B and Lopez Roberto A** (2003) Superjet Grouting Reduces Foundation Settlement for La Rosita Power Plant in Mexicalli Mexico, *Third International Conference on Grouting and Ground Treatment*, 10 February 2003, New Orleans, United States of America, American Society of Civil Engineers, ISBN: 0784406634 9780784406632, e-book, 120-127.
- Bowles J E** (1966) *Foundation Analysis And Design*. 5st. Edition, ISBN-13: 978-0071188449, McGraw-Hill International Book Company, Newyork, 786 pp.
- Coduto D P** (2001) *Foundation Design Principles And Practices*. 2nd. Edition, ISBN-13: 978-0135897065, Prentice Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, 816 pp.
- Çavuş U Ş** (2015) Köprülerin Ekonomik Tasarımında Temel Zemini Geoteknik Özelliklerinin Önemi ve Bir Vaka Örneği. *3.Köprüler Viyadükler Sempozyumu*, 08-10 Mayıs 2015, Bursa, Türkiye, 57-66.
- Das Braja M** (1999) *Principles of Foundation Engineering*. 4th Edition, ISBN13: 9780534954031, PSW Kent publishing, Boston,750 pp.
- Durgunoğlu H T, Chinchelli M, İkiz S, Emrem C, Hurley T and Catalbas F** (2004) Improvement with Jet-Grout Columns, A Case Study From the 1999 Kocaeli Earthquake. *Fifth International Conference on Case histories in Geotechnical Engineering*, 13 April 2004, Newyork, United States of America, University of Missouri-Rolla, ISBN:1887009086,e-book, 13-17.
- Durgunoğlu H T** (2004) Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*,16 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 39-52.
- Ichihashi Y, Shibazaki M, Kubo H, Lji M and Mori A** (1992) Jet Grouting at Airport Construction. *Proc. ASCE Conference. Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics*, 25-28 February 1992, New Orleans, Louisiana, United States ,182 - 193.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Jacky J** (1944) The Coefficient of Earth Pressure at Rest. *Journal for Society of Hungarian Architects and Engineers*, Budapest, Hungary, 355-358.
- Kökten Ö, Akbaş O ve Oğuzhan S** (2014) Yumuşak Zemin Üzerinde Yer Alan Köprü Yaklaşım Dolguları Oturmalarının Kazıklar İle Azaltılması. *Zemin Mekaniği Ve Temel Mühendisliği 15. Ulusal Kongresi*, 16-17 Ekim 2014, Ankara, Türkiye, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Derneği, Ankara, 345-355.
- Kulhawy F H** (1984) Limiting Tip and Side Resistance: Fact or Fallacy. *Proceed of the Symposium On The Analysis and Design of Pile Foundations*, American Society of Civil Engineers, San Francisco, California, 80-98.
- Kurtoğlu M R** (2014) Killi Kum Zeminlerde Taş Kolonların Davranışının Model Deneylerle İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul, 114 s.
- Küsin C C** (2009) Jet Grout Yöntemi ile İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Adana, 157 s.
- ODOT** (2014) Introduction to Bridge Structures, Oregon Department of Transportation.
- Önalp A** (1983) *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi Cilt 2*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınevi, No: 3, Trabzon, 1225 s.
- Önalp A ve Sert S** (2010) *Geoteknik Bilgisi-III, Bina Temelleri*, Genişletilmiş Baskı, ISBN: 9755114653, Birsen Yayınevi, İstanbul, 445 s.
- PLAXIS 2D Version V9.0 Dinamik Modül** (2012) *Brinkgreve, R.B.J, Reference manual*, Netherlands. Adres: <http://www.plaxis.com/?plaxis...PLAXIS...Manual.pdf>
- Potts D M and Zdravkovic L T** (1999) *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering Theory*. 1st. Edition, ISBN: 0-7277-2753-2, Transport Research Laboratory, London, 440 pp.
- Sert S** (2003) Alüvyial Ortamda Kazıklı Yayılı Temellerin Üç Boyutlu Analizi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Adapazarı, 137 s.
- Sert S, Önalp A ve Özocak A** (2007) Derin Yumuşak Kil Üzerinde Köprü Ayağı Temeli. 1 *Köprü ve Viyadükler Sempozyumu*, 29-30 Kasım 2007, Antalya, Türkiye, 165-174.
- Smoltczyk U** (2003) *Geotechnical Engineering Handbook*. 1 st Edition, Vol. 3, ISBN:34330 14515, Ernst & Sohn series on Geotechnical Engineering Press, Berlin, 666 pp.
- Stark T D, Axtell PJ, Lewis JR, Dillon JC, Empson WB, Topi J E and Walberg F C** (2009) Soil Inclusions in Jet Grout Columns, *DFI Journal*, 33-44.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Terzaghi K and Peck R** (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition, John Wiley, New York, 729 pp.
- Toğrol E ve Tan O** (2009) *Kazıklı Temeller*. Baskı No:1, ISBN: 978-975-511-327-4, Birsen Yayıncılık, İstanbul, 142 s.
- Toğrol E ve Sivrikaya O** (2009) *Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları*. Baskı No:1, ISBN:9789755115276, Birsen Yayınevi, İstanbul, 350 s.
- Tomlinson M J and Woodward J** (2008) *Pile Design and Construction Practice*. 5th Edition, Taylor & Francis Group, London and Newyork, 566 pp.
- Toprak B** (2005) Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yer altı Su Seviyesinin Düşürülmesinde WELL-POINT Metodunun Kırıkkale İlinde Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Kırıkkale, 101 s.
- TS EN-12716** (2002) Özel Jeoteknik Uygulamaları, Jet Enjeksiyon, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 3168–EN 1536** (1996) Özel Geoteknik Uygulamalar–Delme (Fore) Kazıklar (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar) Standardı, *Türk Standardı Enstitüsü*, Ankara.
- Tunçdemir F** (2004) Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberler*, Sayı:430 İMO, Ankara, 59-64
- URL -1** <www.altaybirand.com/wp-content/uploads/2015/12/kazikli-temeller.pdf>, Ziyaret tarihi: 20.01.2019
- URL -2** <www.plaxis.com/?plaxis_download=PLAXIS_MoDeTo_Manual.pdf>, Ziyaret tarihi: 20.01.2019
- Uzuner B A** (2006) *Temel Mühendisliğine Giriş*. Baskı No:3, ISBN: 9789758053865, Derya Kitabevi, Trabzon, 396 s.
- WSDOT** (2013) Bridge Foundation Design. *Wiscons in Geotechnical Design Manual*, Washington State Department of Transportation, USA
- Yıldırım S** (2004) *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. Baskı No:3, ISBN: 9755112936 Birsan Yayınevi, İstanbul, 471 s.
- Zienkiewicz O C** (1977) *The Finite Element Method*. 3th Edition, ISBN: 0-471-12590-3, McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, London, 787 pp.



BİBLİYOGRAFYA

Yurtsever E (2016) Kazık Taşıma Gücünün Eurocode 7 ve Rus Kazıklı Temeller Yönetmeliğine Göre Belirlenmesi Hakkında Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 3: 6-8.





EK AÇIKLAMALAR A

SONDAJ LOGLARI VE LABORATUVAR SONUÇLARI

Arazi çalışmaları sonucu elde edilen Sondaj logları ve laboratuvar sonuçları sunulmuştur.

KARADENİZ MÜHENDİSLİK Muh. Mah. Meydanı, Çarş. Bülent Ecevit Sk. No:25/2 KOZLUKÖY/İZMİR Tel : 0 312 322 46 95 Faks : 0 312 315 97 36										SONDAJ LOGU/BORING LOG										SAYFA/Page : 1/2 SONDAJ NO/Boring no: SK-3 SONDÖR/Driller : RECEP DEMİRAY																													
PROJE ADI/Project Name : ZONGULDAK İLİ, MERKEZ İLÇESİ, KALEOĞLU KÖPRÜSÜ																																																	
SONDAJ YERİ/Boring Location :																																																	
KİLOMETRE/Kilometer :										MUH. BORU DER./Casing Depth :																																							
SONDAJ DER./Boring Depth : 20.00 m										BAŞ. VE BİTİŞ TARİHİ/Start&Finish Date :																																							
SONDAJ KOTU/Elevation :										KOORDİNAT/Coordinate (N-S) y :																																							
YERALTI SUYU/Groundwater :										KOORDİNAT/Coordinate (E-W) x :																																							
SONDAJ DERİN (m) Boring Depth (m)		NUMUNE CİNSİ Sample Type		MANEVRA BOYU Run		DARBE SAYISI Blow		Num N		STANDART PENETRASYON DENEYİ GRAFIK/Graphy										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description		PROFİL Profile		DAYANIMLILIK		AYRIŞMA		KIRIK 30 cm		KATOT - %		RQD - %																	
										GRAFIK/Graphy																																							
16.50		SPT				6		8		8		16												14.00-17.00 m: İnce-orta çakıllı kil																									
17.00																								17.00-18.00 m: Sert kil																									
17.50																								18.00-20.00 m: Marn																									
18.00																																																	
18.50																																																	
19.00																																																	
19.50																																																	
20.00																																																	
20.50																																																	
21.00																																																	
21.50																																																	
22.00																																																	
22.50																																																	
23.00																																																	
23.50																																																	
24.00																																																	
24.50																																																	
25.00																																																	
25.50																																																	
26.00																																																	
26.50																																																	
27.00																																																	
27.50																																																	
28.00																																																	
28.50																																																	
29.00																																																	
29.50																																																	
30.00																																																	
30.50																																																	
31.00																																																	
31.50																																																	
DAYANIMLILIK - Strong										AYRIŞMA - Weathering										İNCE TANELİ - Fine Grained										İRİ TANELİ - Coarse Grained																			
I . DAYANIMLI Strong II . ORTA DAYANIMLI M. Strong III . ORTA ZAYIF M. Weak IV . ZAYIF Weak V . ÇOK ZAYIF V. Weak										I . TAZE Fresh II . AZ AYRIŞMIŞ Slightly W. III . ORTA DER. AYRIŞMIŞ Mod. Weath IV . ÇOK AYRIŞMIŞ Highly W. V . TAM AYRIŞMIŞ Comp. W.										N= 0-2 ÇOK YUM. V. Soft N= 3-4 YUMUŞAK Soft N= 5-8 ORTA KATI M. Stiff N= 9-15 KATI Stiff N= 16-30 ÇOK KATI V. Stiff N> 30 SERT Hard										N= 0-4 ÇOK GEVŞEK. V. Loose N= 5-10 GEVŞEK Loose N= 11-30 ORTA SIKI M. Dense N= 31-50 SIKI Dense N> 50 ÇOK SIKI V. Dense																			
KAYA KALİTESİ - RQD (%)										KIRIKLAR - 30 cm - Fractures										ORANLAR - Proportions																													
0-25 ÇOK ZAYIF V. Poor 25-50 ZAYIF Poor 50-75 ORTA Fair 75-90 İYİ Good 90-100 ÇOK İYİ Excellent										< 1 SEYREK Wide (W) 1-2 ORTA Moderate (M) 2-10 SIK Close (CI) 10-20 ÇOK SIK Intense (I) > 20 PARÇALI Crushed (Cr)										% 5 < PEK AZ Slightly % 5-15 AZ Little % 13-35 ÇOK Very % 35 > VE And										% 5 < PEK AZ Slightly % 5-20 AZ Little % 20-50 ÇOK Very																			
SPT : STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standard Penetration Test)										K : KAROT NUMUNESİ (Core Sample)										SONDAJ MÜHENDİSİ (Drilling Engineer)										İMZA (Sign)										TARİH (Date)									
D : ÖRSELENMİŞ NUMUNE (Disturbed Sample)										P : PRESSİYOMETRE DENEYİ (Pressuremeter Test)										GÖKHAN TÜRKÖĞLU Jeoloji Mühendisi																													
UD : ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE (Undisturbed Sample)										VST: VANE DENEYİ (Vane Shear Test)																																							

KARADENİZ MÜHENDİSLİK Muhi Mah. Meydanbaşı Cad. Sütlüce Erişim Sk. No:25/52 KOZEREĞLİ ZONGULDAK Tel : 0 (372) 322 46 80 Gsm : 0 (552) 616 97 28		SONDAJ LOGU/BORING LOG		SAYFA/Page : 1/1 SONDAJ NO/Boring no: SK-3 SONDÖR/Driller : RECEP DEMİRAY									
PROJE ADI/Project Name : ZONGULDAK İLİ, MERKEZ İLÇESİ, KALEOĞLU KÖPRÜSÜ													
SONDAJ YERİ/Boring Location:													
KİLOMETRE/Kilometer :			MUH. BORU DER./Casing Depth :										
SONDAJ DER./Boring Depth : 20.00 m			BAŞ. VE BİTİŞ TARİHİ/Start&Finish Date :										
SONDAJ KOTU/Elevation :			KOORDİNAT/Coordinate (N-S) y :										
YERALTI SUYU/Groundwater :			KOORDİNAT/Coordinate (E-W) x :										
SONDAJ DERİN (m) Boring Depth (m)	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRİ BOYU Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ		JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK	AYRIŞMA	KIRIK/30 cm	KAROT - %	RQD - %		
			DARBE SAYISI 0-15 cm 15-30 cm 30-45 cm	Num. N								GRAFİK/Graphy	
0.50													
1.00													
1.50													
2.00	SPT		3	3	3	6							
2.50													
3.00													
3.50	SPT		3	5	3	8							
4.00													
4.50													
5.00	SPT		3	5	6	11							
5.50													
6.00													
6.50	SPT		3	5	5	10							
7.00													
7.50													
8.00	SPT		3	5	3	8							
8.50													
9.00	UD												
9.50													
10.00													
10.50	SPT		3	4	3	7							
11.00													
11.50													
12.00	SPT		4	5	5	10							
12.50													
13.00													
13.50	SPT		5	4	4	8							
14.00													
14.50													
15.00	SPT		5	5	6	11							
15.50													
DAYANIMLILIK - Strongh			AYRIŞMA - Weathering			İNCE TANELİ - Fine Grained			İRİ TANELİ - Coarse Grained				
I . DAYANIMLI Strong II . ORTA DAYANIMLI M. Strong III . ORTA ZAYIF M. Weak IV . ZAYIF Weak V . ÇOK ZAYIF V. Weak			I . TAZE Fresh II . AZ AYRIŞMIŞ Slightly W. III . ORTA DER. AYRIŞMIŞ Mod. Weath IV . ÇOK AYRIŞMIŞ Highly W. V . TAM AYRIŞMIŞ Comp. W.			N= 0-2 ÇOK YUM. V. Soft N= 3-4 YUMUŞAK Soft N= 5-8 ORTA KATI M. Stiff N= 9-15 KATI Stiff N= 16-30 ÇOK KATI V. Stiff N> 30 SERT Hard			N= 0-4 ÇOK GEVŞEK. V. Loose N= 5-10 GEVŞEK Loose N= 11-30 ORTA SIKI M. Dense N= 31-50 SIKI Dense N> 50 ÇOK SIKI V. Dense				
KAYA KALİTESİ - RQD (%)			KIRIKLAR - 30 cm - Fractures			ORANLAR - Proportions							
0-25 ÇOK ZAYIF V. Poor 25-50 ZAYIF Poor 50-75 ORTA Fair 75-90 İYİ Good 90-100 ÇOK İYİ Excellent			< 1 SEYREK Wide (W) 1-2 ORTA Modarete (M) 2-10 SIK Close (Cl) 10-20 ÇOK SIK Intense (I) > 20 PARÇALI Crushed (Cr)			% 5 < PEK AZ Slightly % 5-15 AZ Little % 13-35 ÇOK Very % 35 > VE And							
SPT : STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standart Penetration Test)			K : KAROT NUMUNESİ (Core Sample)			SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer			İMZA Sign			TARİH Date	
D : ÖRSELENMİŞ NUMUNE (Disturbed Sample)			P : PRESSİYOMETRE DENEYİ (Pressuremeter Test)			GÖKHAN TÜRKÖĞLU Jeoloji Mühendisi							
UD : ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE (Undisturbed Sample)			VST: VANE DENEYİ (Vane Shear Test)										

KARADENİZ MÜHENDİSLİK

MURİT Mah. Meydanbaşı Cad. Süheyla Erel Sk. No:25/2

KÖZEREGLİZONGULDAK

14 Ocak 2025

0 (312) 322 46 90

0 (332) 615 57 26

SONDAJ LOGU/BORING LOG

SAYFA/Page

: 1/1

SONDAJ NO/Boring no:

SK-2

SONDÖR/Driller

:RECEP DEMİRAY

PROJE ADI/Project Name

: ZONGULDAK İLİ, MERKEZ İLÇESİ, KALEOĞLU KÖPRÜSÜ

SONDAJ YERİ/Boring Location:

KİLOMETRE/Kilometer

:

SONDAJ DER./Boring Depth

:

20.00 m

SONDAJ KOTU/Elevation

:

YERALTI SUYU/Graundwater

:

SONDAJ DERİN (m)

Boring Depth. (m)

NUMUNE CİNSİ

Sample Type

MANEVRA BOYU

Run

DARBE SAYISI

0-15 cm

15-30 cm

30-45 cm

Num.

N

GRAFİK/Graphy

10

20

30

40

50

60

70

80

90

STANDART PENETRASYON DENEYİ

JEOTEKNİK TANIMLAMA

Geotechnical Description

PROFİL

Profile

DAYANIMLILIK

AYRIŞMA

KIRIK/30 cm

KAROT - %

RQD - %

0.50

1.00

1.50

2.00

2.50

3.00

3.50

4.00

4.50

5.00

5.50

6.00

6.50

7.00

7.50

8.00

8.50

9.00

9.50

10.00

10.50

11.00

11.50

12.00

12.50

13.00

13.50

14.00

14.50

15.00

15.50

0.00-5.00 m: Kumlu kil

5.00-8.50 m: Az çakıllı kum-kil

8.50-14.00 m: Siltli kil

14.00-17.00 m: İnce-orta çakıllı kil

DAYANIMLILIK - Strongh

AYRIŞMA - Weathering

İNCE TANELİ - Fine Grained

İRİ TANELİ - Coarse Grained

I . DAYANIMLI

II . ORTA DAYANIMLI

III. ORTA ZAYIF

IV . ZAYIF

V . ÇOK ZAYIF

I . AZAYRIŞMIŞ

II . AZAYRIŞMIŞ

III . ORTA DER. AYRIŞMIŞ

IV . ÇOK AYRIŞMIŞ

V . TAM AYRIŞMIŞ

I . TAZE

II . AZAYRIŞMIŞ

III . ORTA DER. AYRIŞMIŞ

IV . ÇOK AYRIŞMIŞ

V . TAM AYRIŞMIŞ

I . Strong

II . Strong

III . Weak

IV . Weak

V . Weak

I . Fresh

II . Slightly W.

III . Mod. Weath

IV . Highly W.

V . Comp. W.

N= 0-2

N= 3-4

N= 5-8

N= 9-15

N= 16-30

N> 30

ÇOK YUM.

YUMUŞAK

ORTA KATI

KATI

ÇOK KATI

SERT

V. Soft

Soft

M. Stiff

V. Stiff

Hard

N= 0-4

N= 5-10

N= 11-30

N= 31-50

N> 50

ÇOK GEVŞEK.

GEVŞEK

ORTA SIKI

SIKI

ÇOK SIKI

V. Loose

Loose

M. Dense

Dense

V. Dense

KAYA KALİTESİ - RQD (%)

KIRIKLAR - 30 cm - Fractures

ORANLAR - Proportions

0-25

25-50

50-75

75-90

90-100

ÇOK ZAYIF

ZAYIF

ORTA

İYİ

ÇOK İYİ

V. Poor

Poor

Fair

Good

Excellent

< 1

1-2

2-10

10-20

> 20

SEYREK

ORTA

SIK

ÇOK SIK

PARÇALI

Wide (W)

Modarete (M)

Close (Cl)

Intense (I)

Crushed (Cr)

% 5

% 5-15

% 13-35

% 35

> 35

PEK AZ

AZ

ÇOK

VE

Slightly

Little

Very

And

% 5

% 5-20

% 20-50

PEK AZ

AZ

ÇOK

Slightly

Little

Very

SPT : STANDART PENETRASYON DENEYİ

(Standart Penetration Test)

D

: ÖRSELENMİŞ NUMUNE

(Disturbed Sample)

UD

: ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE

(Undisturbed Sample)

K

: KAROT NUMUNESİ

(Core Sample)

P

: PRESSİYOMETRE DENEYİ

(Pressurometer Test)

VST: VANE DENEYİ

(Vane Shear Test)

SONDAJ MÜHENDİSİ

Drilling Engineer

GÖKHAN TÜRKÖĞLU

Jeoloji Mühendisi

İMZA

Sign

TARİH

Date

KARADENİZ MÜHENDİSLİK Muhi Mah. Meydanbaşı Cad. Süheyla Erel Sk. No:25/2 KOZEREĞLİ/ZONGULDAK Tm : 0 (372) 322 46 80 Gsm : 0 (532) 815 57 26										SONDAJ LOGU/BORING LOG										SAYFA/Page : 1/2 SONDAJ NO/Boring no : SK-1 SONDÖR/Driller : RECEP DEMİRAY							
PROJE ADI/Project Name : ZONGULDAK İLİ, MERKEZ İLÇESİ, KALEOĞLU KÖPRÜSÜ																											
SONDAJ YERİ/Boring Location:																											
KİLOMETRE/Kilometer :											MUH. BORU DER./Casing Depth :																
SONDAJ DER./Boring Depth : 21.00 m											BAŞ. VE BİTİŞ TARİHİ/Start&Finish Date :																
SONDAJ KOTU/Elevation :											KOORDİNAT/Coordinate (N-S) y :																
YERALTI SUYU/Groundwater :											KOORDİNAT/Coordinate (E-W) x :																
SONDAJ DERİN (m) Boring Depth (m)	NUMUNE CİNSİ Sample Type	MANEVRA BOYU Run	STANDART PENETRASYON DENEYİ										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	PROFİL Profile	DAYANIMLILIK	AYRIŞMA	KIRIK/30 cm	KAROT - %	RQD - %								
			DARBE SAYISI			Num.	GRAFİK/Graphy																				
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm		N	10	20	30	40	50								60	70	80	90				
16.50	SPT		5	6	9	15													14.00-17.00 m: İnce-orta çakıllı kil								
17.00																			17.00-18.00 m: Sert kil								
17.50																			18.00-21.00 m: Marn								
18.00																											
18.50																											
19.00																											
19.50																											
20.00																											
20.50																											
21.00																			KUYU SONU: 21.00 m.								
21.50																											
22.00																											
22.50																											
23.00																											
23.50																											
24.00																											
24.50																											
25.00																											
25.50																											
26.00																											
26.50																											
27.00																											
27.50																											
28.00																											
28.50																											
29.00																											
29.50																											
30.00																											
30.50																											
31.00																											
31.50																											
DAYANIMLILIK - Strongh						AYRIŞMA - Weathering						İNCE TANELİ - Fine Grained						İRİ TANELİ - Coarse Grained									
I . DAYANIMLI Strong						I . TAZE Fresh						N= 0-2 ÇOK YUM. V. Soft						N= 0-4 ÇOK GEVŞEK. V. Loose									
II . ORTA DAYANIMLI M. Strong						II . AZ AYRIŞMIŞ Slightly W.						N= 3-4 YUMUŞAK Soft						N= 5-10 GEVŞEK Loose									
III . ORTA ZAYIF M. Weak						III . ORTA DER. AYRIŞMIŞ Mod. Weath						N= 5-8 ORTA KATI M. Stiff						N= 11-30 ORTA SIKI M. Dense									
IV . ZAYIF Weak						IV . ÇOK AYRIŞMIŞ Highly W.						N= 9-15 KATI Stiff						N= 31-50 SIKI Dense									
V . ÇOK ZAYIF V. Weak						V . TAM AYRIŞMIŞ Comp. W.						N= 16-30 ÇOK KATI V. Stiff						N> 50 ÇOK SIKI V. Dense									
N> 30 SERT Hard																											
KAYA KALİTESİ - RQD (%)						KIRIKLAR - 30 cm - Fractures						ORANLAR - Proportions															
0-25 ÇOK ZAYIF V. Poor						< 1 SEYREK Wide (W)						% 5 < PEK AZ Slightly				% 5 < PEK AZ Slightly											
25-50 ZAYIF Poor						1-2 ORTA Modarete (M)						% 5-15 AZ Little				% 5-20 AZ Little											
50-75 ORTA Fair						2-10 SIK Close (CI)						% 13-35 ÇOK Very				% 20-50 ÇOK Very											
75-90 İYİ Good						10-20 ÇOK SIK Intense (I)																					
90-100 ÇOK İYİ Excellent						> 20 PARÇALI Crushed (Cr)						% 35 > VE And															
SPT : STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standart Penetration Test)											K : KAROT NUMUNESİ (Core Sample)											SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer		İMZA Sign		TARİH Date	
D : ÖRSELENMİŞ NUMUNE (Disturbed Sample)											P : PRESSİYOMETRE DENEYİ (Pressuremeter Test)											GÖKHAN TÜRKÖĞLU Jeoloji Mühendisi					
UD : ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE (Undisturbed Sample)											VST: VANE DENEYİ (Vane Shear Test)																

KARADENİZ MÜHENDİSLİK Metin Mah. Meydanbaşı Cad. Süheyla Erol Sk. No:25/2 KÖZEREĞLİ/ZONGULDAK Tel : 0 (372) 322 46 90 Faks : 0 (372) 615 97 26										SONDAJ LOGU/BORING LOG										SAYFA/Page : 1/1 SONDAJ NO/Boring no: SK-1 SONDÖR/Driller : RECEP DEMİRAY									
PROJE ADI/Project Name : ZONGULDAK İLİ, MERKEZ İLÇESİ, KALEOĞLU KÖPRÜSÜ																													
SONDAJ YERİ/Boring Location:																													
KİLOMETRE/Kilometer :										MUH. BORU DER./Casing Depth :																			
SONDAJ DER./Boring Depth : 21.00 m										BAŞ. VE BİTİŞ TARİHİ/Start&Finish Date :																			
SONDAJ KOTU/Elevation :										KOORDİNAT/Coordinate (N-S) y :																			
YERALTI SUYU/Graundwater :										KOORDİNAT/Coordinate (E-W) x :																			
SONDAJ DERİN (m)		NUMUNE CİNSİ		MANEVR A BOYU		STANDART PENETRASYON DENEYİ				JEOTEKNİK TANIMLAMA				PROFİL		DAYANIMLILIK		AYRIŞMA		KIRIK/30 cm		KAROT - %		RQD - %					
Boring Depth (m)		Sample Type		Run		DARBE SAYISI		Num.		GRAFİK/Graphy				Geotechnical Description		Profile													
						0-15 cm		15-30 cm		30-45 cm		N		10 20 30 40 50 60 70 80 90															
0.50																		0.00-5.00 m: Kumlu kil											
1.00																													
1.50		SPT				2		3		3		6																	
2.00																													
2.50																													
3.00		UD																											
3.50																													
4.00																													
4.50		SPT				3		3		4		7																	
5.00																													
5.50																		5.00-5.50 m: Az Çakıllı Kum-kil											
6.00		SPT				3		5		5		10																	
6.50																													
7.00																													
7.50		SPT				3		5		5		10																	
8.00																													
8.50																													
9.00		SPT				3		4		3		7																	
9.50																													
10.00																													
10.50		SPT				3		3		3		6																	
11.00																													
11.50																													
12.00		SPT				4		4		5		9																	
12.50																													
13.00																													
13.50		SPT				4		4		7		11																	
14.00																													
14.50																													
15.00		SPT				5		5		8		13																	
15.50																													
DAYANIMLILIK - Strongh										AYRIŞMA - Weathering										İNCE TANELİ - Fine Grained					İRİ TANELİ - Coarse Grained				
I . DAYANIMLI Strong										I . TAZE Fresh										N= 0-2 ÇOK YUM. V. Soft					N= 0-4 ÇOK GEVŞEK. V. Loose				
II . ORTA DAYANIMLI M. Strong										II . AZ AYRIŞMIŞ Slightly W.										N= 3-4 YUMUŞAK Soft					N= 5-10 GEVŞEK Loose				
III . ORTA ZAYIF M. Weak										III . ORTA DER. AYRIŞMIŞ Mod. Weath										N= 5-8 ORTA KATI M. Stiff					N= 11-30 ORTA SIKI M. Dense				
IV . ZAYIF Weak										IV . ÇOK AYRIŞMIŞ Highly W.										N= 9-15 KATI Stiff					N= 31-50 SIKI Dense				
V . ÇOK ZAYIF V. Weak										V . TAM AYRIŞMIŞ Comp. W.										N= 16-30 ÇOK KATI V. Stiff					N= 50 ÇOK SIKI V. Dense				
N> 30 SERT Hard																													
KAYA KALİTESİ - RQD (%)										KIRIKLAR - 30 cm - Fractures										ORANLAR - Proportions									
0-25 ÇOK ZAYIF V. Poor										< 1 SEYREK Wide (W)										% 5 < PEK AZ Slightly					% 5 < PEK AZ Slightly				
25-50 ZAYIF Poor										1-2 ORTA Modarete (M)										% 5-15 AZ Little					% 5-20 AZ Little				
50-75 ORTA Fair										2-10 SIK Close (Cl)										% 13-35 ÇOK Very					% 20-50 ÇOK Very				
75-90 İYİ Good										10-20 ÇOK SIK Intense (I)										% 35 > VE And									
90-100 ÇOK İYİ Excellent										> 20 PARÇALI Crushed (Cr)																			
SPT : STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standart Penetration Test)										K : KAROT NUMUNESİ (Core Sample)										SONDAJ MÜHENDİSİ (Drilling Engineer)					İMZA (Sign)				
D : ÖRSELENMİŞ NUMUNE (Disturbed Sample)										P : PRESSİYOMETRE DENEYİ (Pressurimeter Test)										GÖKHAN TÜRKÖĞLU Jeoloji Mühendisi									
UD : ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE (Undisturbed Sample)										VST: VANE DENEYİ (Vane Shear Test)																			

Müşteri Adı
Customer's Name
Num.Alındığı Yer
Project/Location

Rev. no.100 Form No: KFR-1100

Rapor No /Bak rap.no
Report no
4532

Rapor Tarihi
Date of Report
24.09.2016

KARADENİZ MÜHENDİSLİK

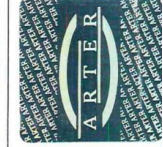
(KALEOĞLU KÖPRÜSÜ İNŞAATINA AİT ZEMİN ETÜD İŞİ) - Merkez/ZONGULDAK

Sonda No Boring No	Numune No Sample No	Derinlik (m) Depth	ÇAKIL / Gravel	KUM / Sand	SİLT / Silt	KİL / Clay	Atterberg limitleri Atterberg Limits			W _n	Y _n	Y _k	SINIFLAMA Classification	Konsolidasyon	Zeminde Üç Eks.Sıkışma Triaxial Comp.			Zeminde Tek Eks.Sıkışma Unconfin. Stren.			Zeminde Direkt Kesme Direct Shears			Kayada Tek Eks.Sıkışma Unconfin.Stren.for Rock	Kayada Üç Eks.Sıkışma Triaxial Comp. for Rock	Şişme Basıncı Swelling Pressure	Şişme Yüzdesi Swelling Ratio	I ₅₀ (Ort.)	
							LL	PL	PI						C	Φ	q _u	C	Φ	F	q _u	C	Φ						
1	SK-1	UD	0,00	20,02	79,98	39,6	18,2	21,4	22,5	1,913	1,561	CI	+		65,12	8,09													
2	SK-1	SPT	4,50-4,95	0,00	15,80	84,20	41,1	24,0	17,1	28,3		CI																	
3	SK-1	SPT	7,50-7,95	0,00	18,31	81,69	38,6	19,0	19,6	23,6		CI																	
4	SK-1	SPT	10,50-10,95	0,00	7,55	92,45	48,4	20,1	28,3	25,9		CI																	
5	SK-1	karot	18,50								2,480																		1,91
6	SK-1	karot	21,00								2,435																		
7	SK-2	SPT	3,00-3,45	0,00	29,73	70,27	43,7	22,0	21,7	26,9		CI																	
8	SK-2	UD	6,00-6,50	0,00	23,56	76,44	43,3	21,2	22,1	25,8	1,920	1,527	CI	+	71,08	7,60		35,21	12,05										
9	SK-2	SPT	8,00-8,45	0,00	30,68	69,32	42,2	23,9	18,3	28,2		CI																	
10	SK-2	SPT	12,00-12,45	0,00	11,93	88,07	40,3	22,9	17,4	27,1		CI																	
11	SK-2	karot	18,00								2,437																		1,45
12	SK-2	karot	20,00								2,500																		
13	SK-3	SPT	6,00-6,45	0,00	15,42	84,58	45,9	21,0	24,9	26,8		CI																	
14	SK-3	UD	9,00-9,50	0,00	25,86	74,14	40,9	20,0	20,9	24,6	1,930	1,550	CI	+	74,58	9,08		44,78	15,32										
15	SK-3	SPT	15,00-15,45	0,00	25,09	74,91	45,8	21,0	24,8	25,3		CI																	
16	SK-3	SPT	16,50-16,95	0,00	24,13	75,87	38,5	19,0	19,5	24,4		CI																	
17	SK-3	karot	19,00								2,428																		1,18
18	SK-3	karot	20,00								2,479																		
19																													

Liklit Limit Liquid Limit	Pl=Plastik Limit Pl=Plastic Limit	Pl=Plastisite İndisi Pl=Plasticity Index	W _n opt.=Optimum Su Muhtevası W _n opt.=Optimum Water Content	G _s =Özgül Ağırlık G _s =Specific Gravity	W _n =Su Muhtevası W _n =Water Content	Y _n =Doğal Birim Hacim Ağırlık Y _n =Natural Unit Weight	Y _k =Kuru Birim Hacim Ağırlık Y _k =Dry Unit Weight	Ø=İçel Sürtünme Açısı Ø=Internal angle of friction	c=Kolezyon c= Cohesion	q _u =Serbest Basıncı Dayanımı q _u =Unconfined compressive strength
Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight
Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight	Y _{max} =Maks.Kuru Brm.Hor.Agrlık Y _{max} =Max.dry unit weight

T.C.Çevre ve Şehircilik Bakanlığı logosu 12.02.2009 tarih ve 187 numaralı Laboratuvar İzin Belgesi kapsamında kullanılmaktadır.
The logo of T.C.Ministry of Environment and Urbanisation is used by the right of 187 numbered Laboratory Authorization confirmed on 12.02.2009.

Onaylayan / Approved By
Erdem ERPARLAR
Jeolojik Mühendisi
D.Belge No: 20191



Jeolojik Mühendislik
Oda Sicil No:6198



ÖZGEÇMİŞ

Duygu BİNGÖL (ZENGİNEKEN) 1986 yılında Mersin’de doğdu. İlkorta ve lise öğrenimini Hatay’da tamamladı. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü’ne girdi ve 2009 yılında mezun oldu. 2009 yılında Şanlıurfa Merkez İlçe Sağlık İlköğretim Okulu’nda ve 2010 yılında Bitlis Nurullah Eren Anadolu Öğretmen Lisesi’nde Matematik Öğretmenliği yaptı. 2009 yılında Hüseyin BİNGÖL ile evlendi ve 2010 yılında kızı Eylül İpek BİNGÖL ve ve 2011 yılında Oğlu Yiğit Eren BİNGÖL dünyaya geldi. 2010 yılında Anadolu Üniversitesi İktisat Bölümünü kazanarak 2014 yılında mezun oldu. 2010 yılında yapılan KPSS sınavının kazanarak 2011 yılında Zonguldak İl Özel İdaresi’nde Memur olarak göreve başladı. 2013 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi İnşaat Mühendisliği 2. Öğretim programını kazanarak 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği ABD (Geoteknik) yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılında Zonguldak İl Özel İdaresince yapılan görevde yükselme ve ünvan değişikliği sınavını kazanarak 01.11.2018 tarihinden itibaren İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya devam etti.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Fatih Mahallesi Vatan Cad. Atasoy Apt. 35 nolu A Blok 11 Kat.32. Zonguldak
Tel: (+90) 372 253 92 47 /1142
E-posta: duygubingol.2410@gmail.com