

**T.C.**  
**BAYBURT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**JET GROUT YÖNTEMİ UYGULANILARAK YAPILAN BİR ZEMİN  
İYİLEŞTİRME VAKA ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Mustafa ERCAN**

**OCAK- 2017**  
**BAYBURT**



**JET GROUT YÖNTEMİ UYGULANILARAK YAPILAN BİR ZEMİN  
İYİLEŞTİRME VAKA ANALİZİ**

**İnş. Müh. Mustafa ERCAN**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatih YILMAZ**

**T.C.  
BAYBURT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**JET GROUT YÖNTEMİ UYGULANILARAK YAPILAN BİR ZEMİN  
İYİLEŞTİRME VAKA ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. Mustafa ERCAN**

**2017**

**BAYBURT**

**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ ONAY SAYFASI

### Jet Grout Yöntemi Uygulanılarak Yapılan Bir Zemin İyileştirme Vaka Analizi

Yrd. Doç. Dr. Fatih YILMAZ danışmanlığında, Mustafa ERCAN tarafından hazırlanan bu tez çalışması 27/01/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fahri Uluç ÖZBAYOĞLU :

Üye : Doç. Dr. Erol ŞADOĞLU :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih YILMAZ :

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Doç. Dr. Metin UÇURUM

**Enstitü Müdür V.**

**Not:** Bu tezde kullanılan ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bu çalışmada şahsıma ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Mustafa ERCAN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### JET GROUT YÖNTEMİ UYGULANILARAK YAPILAN BİR ZEMİN İYİLEŞTİRME VAKA ANALİZİ

Mustafa ERCAN

Bayburt Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Fatih YILMAZ

Jet grout metodu, taşıma gücü ve oturma problemleri görülen zeminlerde sıklıkla uygulanan bir zemin iyileştirme tekniğidir. Ülkemizde en yaygın kullanılan yöntemlerin başında gelen bu zemin iyileştirme yöntemi, hemen hemen tüm zemin türlerine uygulanabilir niteliktedir. Bu çalışmada, jet grout metodu ile zemin ıslahı üzerine bir vaka analizi incelenmiştir. Erzurum Büyükşehir Belediyesi Atık Su Arıtma Tesisi projesi zemininin incelendiği bu çalışma kapsamında altı ünite binası zemininde oturma ve taşıma gücü problemleri tespit edilmiştir. Jet grout metodu ile zemin iyileştirmesinin yapıldığı bu çalışma sonucunda, mühendislik özelliklerinin zayıf olduğu tespit edilen zemin bölgeleri taşıma gücü ve oturma kriterlerine uygun duruma getirilmiştir.

**2017, 172 sayfa**

**Anahtar kelimeler:** Zemin iyileştirme, standart penetrasyon deneyi, jet grout yöntemi

## **ABSTRACT**

MSc. Thesis

### **A CASE STUDY OF SOIL IMPROVEMENT BY USING JET GROUT METHOD**

Mustafa ERCAN

Bayburt University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fatih YILMAZ

Jet grouting is a soil improvement technique which is frequently used to solve the bearing capacity and settlement problems of ground. This soil improvement technique, which is one of the most widely used methods in our country, is applicable to almost all types of grounds. In this study, a case study on soil improvement by jet grouting method is investigated. In this study where the ground of Erzurum Metropolitan Municipality Wastewater Treatment Plant project is investigated, bearing capacity and settlement problems were determined for six unit structures. As a result of the soil improvement with the jet grouting method, the ground areas that have insufficient engineering properties is determined and have been made to comply with the bearing capacity and settlement criteria.

**2017, 172 pages**

**Keywords :** Soil improvement, standard penetration test, jet grouting method

## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince tezimi yűneten ve çalıőmalarımnda ilgi ve teőviklerini esirgemeyen, danıőman hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih YILMAZ'a ve çalıőmam sűresince desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Bayburt Ŭniversitesi İnaaat MűhendisliĐi Bűlűmű akademik personeline en içten dileklerle űkranlarımı sunarım. Erzurum Atık Su Arıtma Tesisi'nin Erzurum'a kazandırılmasını saĐlayan Erzurum Bűyűkőehir Belediyesi'ne, Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel MűdűrlűĐű'ne ve tesisin ihale aőamasından tamamlanmasına kadar geçen sűrede gűrev alan bűtűn birim ve firmalara teőekkűr ederim. Tez çalıőmam sűrecinde benden yardımlarını ve bilgilerini esirgemeyen çok sevdiĐim ve saydıĐım deĐerli amirlerim, meslektaőlarım ve iő arkadaőlarımna çok teőekkűr ederim. Ayrıca tez çalıőmam sűrecinde her an yanımda hissettiĐim, hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen çok sevdiĐim canım aileme, abilerime, kızım Ahsen ERCAN'a çok teőekkűr ederim.

Mustafa ERCAN

Ocak 2017

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 İyileştirme Gerektiren Zeminler .....	3
1.2 Zemin İyileştirmenin Amaçları.....	4
1.3 Zemin İyileştirme Yöntemleri .....	5
1.3.1 Mekanik stabilizasyon .....	7
1.3.2 Suyun ortamdan uzaklaştırılması .....	14
1.3.3 Zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması .....	19
1.3.4 Enjeksiyon teknikleri.....	23
1.3.5 Geosentetikler .....	26
1.3.6 Katkı maddeleri ile stabilizasyon .....	30
1.3.7 Isıl işlemler (ısıtma - dondurma).....	31
1.4 Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi.....	36
1.4.1 Teknolojik ilerleme .....	36
1.4.2 Çalışma sahasının hazırlanması .....	37
1.4.3 Zemin ve çevre bilgileri.....	38
1.4.4 Jet grout yönteminin uygulama amacı.....	38

1.4.5	Jet grout uygulama alanları.....	38
1.4.6	Jet grout yönteminin avantajları ve dezavantajları .....	41
1.4.7	Jet grout yönteminin tasarım esasları .....	42
1.4.8	Jet grout yönteminin makine ve ekipmanları.....	43
1.4.9	Jet grout yönteminin çalışma parametreleri.....	44
1.4.10	Jet grout teknikleri.....	49
1.4.11	Jet grout metodunun uygulanması .....	53
1.4.12	Jet grout yönteminde kullanılacak malzemeler.....	55
1.4.13	Jet grout kolonların yerleştirilmesi ve imalat toleransları .....	56
1.4.14	Jet grout uygulamasında kontroller ve testler .....	56
1.4.15	Kayıtların tutulması ve raporlanması .....	61
1.4.16	Farklı zeminlerde jet grout yöntemi uygulama parametreleri .....	61
1.4.17	Taşıma gücüne göre jet grout tasarımı .....	62
<b>2.</b>	<b>KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>67</b>
<b>3</b>	<b>MATERYAL ve YÖNTEM .....</b>	<b>73</b>
3.1	Materyal.....	73
3.2	Proje Tanıtımı .....	75
3.3	Proje Alanının Coğrafi Konumu, Morfolojisi, Çevre ve İklim Özellikleri .....	76
3.4	Jeoloji .....	78
3.4.1	Genel jeoloji.....	78
3.4.2	İnceleme alanının mühendislik jeolojisi.....	81
3.5	Yöntem .....	81
<b>4</b>	<b>ARAŞTIRMA BULGULARI .....</b>	<b>83</b>
4.1.	Arazi Çalışmaları ve Arazi Deneyleri .....	83
4.1.1	Arazi çalışmalarının tanıtılması ve kullanılan ekipmanlar .....	83

4.1.2 Sondaj kuyuları .....	84
4.1.3 Yeraltı ve yerüstü suları.....	84
4.1.4 Standart penetrasyon deneyleri (SPT).....	86
4.1.5 Jeofizik çalışmalar .....	90
4.2. Laboratuvar Deneyleri ve Analizleri.....	98
4.2.1. Zemin indeks parametrelerinin belirlenmesi .....	98
4.2.2 Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi.....	101
4.2.3 Kayaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi.....	103
4.3 Mühendislik Analizleri ve Değerlendirme .....	103
4.3.1 Bina – zemin ilişkilerinin irdelenmesi.....	103
4.3.2 Zemin ve kaya türlerinin değerlendirilmesi.....	105
4.3.3 Sıvılaşma ve yanal yayılma analizlerinin değerlendirilmesi .....	107
4.3.4 Oturma – şişme ve göçme potansiyelinin değerlendirilmesi.....	108
4.3.5 Doğal afet risklerinin değerlendirilmesi.....	110
4.4 Jet Grout Uygulaması.....	112
4.4.1 Zemin profili .....	113
4.4.2 Standart penetrasyon testleri.....	113
4.4.3 Laboratuvar testleri .....	114
4.4.4 Yapılan çalışmalar ve uygulamada alınacak zemin değerleri.....	115
4.5 Jet Grout Hesaplamaları .....	117
4.5.1 Jetgrout uygulaması sonucu yapılan kazık süreklilik deneyi .....	124
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>125</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>127</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>138</b>
EK 1 Sondaj yerleri.....	139

EK 2 Sondaj logları.....	140
EK 3 Laboratuvar sonuçları .....	151
EK 4 Jet grout kolon yerleşim planı .....	153
EK 5 Jet grout kolon karot numunelerin basınç ve elastik modül deneyleri.....	154
EK 6 Jet grout kolon tasarım hesaplamaları.....	156
EK 7 Kolon süreklilik deneyleri .....	164

## **ÖZGEÇMİŞ**





## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

A	Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaj alanı
$A_{jg}$	Jet grout kolon alanı
$A_{jgç}$	Jet grout kolon çevre birim alanı
$A_s$	Kolonun zemin içerisinde kalan yüzey alanı
$A_{uç}$	Kazık ucundaki alanı
$A_{yan}$	Kazık yan yüzeyindeki alanı
$A_y$	Yapı alanı
B	Yapı temel genişliği
c	Kohezyon
C	Adezyon
$C_c$	Sıkışma indisi
C	Dalganın yayılma hızı
$C_u$	Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti
cm	Santimetre
$C_N, C_E, C_B, C_R, C_S$	Spt düzeltme katsayıları
$C_u$	Jet kolon boyunca ortalama drenajsız kohezyonu
d	Yoğunluk
De	Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap
$D_f$	Temel derinliği
djg	Jet grout kolon çapı
dk	Daikika
dvr	Devir
E	Elastisite modülü

$E_{jg}/f_{jg}$	Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı
$E_{jg}$	Jet grout kolonu deformasyon modülü
$E_r$	Enerji oranı
$f_{jg}$	Seçilen tek eksenli mukavemet
$f_{jg,e}$	Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti
$f_s$	Kolonun birim alanına etkiyen ortalama sürtünme gerilmesi
$g$	Yer çekimi ivmesi
$G$	Kayma (shear modülü)
$GS$	Güvenlik sayısı
$G_s$	Güvenlik katsayısı
$h$	Hidrostatik düşü
$H$	Tokmak düşüş yüksekliği
$I_s$	Kaya nokta yük dayanımı
$K$	Bulk (sıkışmazlık) modülü
$K_s$	Yataklama katsayısı
$kg$	Kilogram
$kN$	Kilonewton
$kPa$	Kilopascal
$k_1, k_2$	Şekil katsayıları
$L$	Yapı temel uzunluğu
$l$	Jet grout kolon derinliği
$lt$	Litre
$l_{wp}, l_{ws}$	Etki faktörü
$m$	Metre
$mm$	Milimetre
$mv$	Hacimsel sıkışma katsayısı
$n$	Jet grout kolon sayısı
$N_c, N_q, N_\gamma$	İçsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü faktörleri
$(N1)_{60}$	Düzeltilmiş SPT değerleri

$N_{30}$	Düzeltilmemiş SPT değerleri
$N_{60}$	Ekipman düzeltmesi
$P$	Püskürtülen harcın basıncı
$P_H$	Df boyunca ortalama yatay basınç
$PI$	Plastisite indisi
$P_{jg}$	Seçilen karelaajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük
$p_{jg}$	Jet grout kolona aktarılan gerilme
$P_t$	Toplam yük
$S_n$	Saniye
$P_z$	Seçilen karelaajla zeminin taşıyacağı toplam yük
$p_z$	Zemine aktarılan gerilme
$Q$	Harç debisi
$Q_a$	Zemin taşıma gücü
$Q_d$	Jet Kolon taşıma gücü
$Q_e$	Emniyetli zemin taşıma gücü
$Q_u$	Jet kolon ucunun maksimum taşıyabileceği yük
$Q_s$	Jet kolon çevresinin taşıyabileceği yük
$Q_{p_{jg,z}}$	Jet grout kolon uç kapasitesi
$Q_{jg,z}$	Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)
$Q_{jg}$	Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi
$q_d$	Kolon ucundaki zeminin taşıma gücü
$q_{net}$	Net zemin gerilmesi
$q_{ult}$	Zemin maksimum taşıma gücü
$s$	Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı
$S_c$ (oed)- $S_t$	Zemim oturma miktarı
$S_c$	Düzeltilmiş zemin oturma miktarı
$S_1$	Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması
$S_2$	Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma

$S_3$	Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma
$s_{jg}$	Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )
$s_{ze}$	Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması
$T_A, T_B$	Spektrum karakteristik periyodu
$\tan\delta$	Sürtünme katsayısı
$V$	Zemin hacmi
$V_{\text{çekme}}$	Yukarıya çekilme hızı (m/sn)
$V_p$	Sıkışma dalga hızı
$V_s$	Kayma dalga hızı
$t$	Darbeden yansıma anına kadar geçen süre
$W$	Enerji seviyesi
$w$	Su muhtevası
$W_k$	Kolon ağırlığı
$X$	Yansıma derinliği
$z$	Derinlik
$\alpha$	Zemin ortalama adhezyon katsayısı
$\gamma_n$	Zeminin birim hacim ağırlığı
$\sigma_v$	Düşey toprak basıncı
$\sigma_v'$	Düşey efektif toprak basıncı
$\phi$	İçsel sürtünme açısı
$\mu$	Poisson oranı
$\gamma$	Birim hacim ağırlık
$\gamma_n$	Tabii birim hacim ağırlık
$\gamma_s$	Dane birim hacim ağırlık
$\Delta H$	Toplam oturma

### **Kısaltmalar**

ASTM	American Society for Testing and Materials
CPT	Konik Penetrasyon Deneyi

DAF	Doğu Anadolu Fayı
ESKİ	Erzurum Su ve Kanalizasyon İdaresi
GB	Güney Batı
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
JET1	Tekli Jet Grout Sistemi
JET2	İkili Jet Grout Sistemi
JET3	Üçlü Jet Grout Sistemi
JG	Jet Grout
KAF	Kuzey Anadolu Fayı
KD	Kuzey Doğu
LL	Likit Limit
MTA	Maden Teknik Arama
Mpa	Megapascal
PÇ	Portland Çimentosu
PL	Plastik Limit
S/Ç	Su Çimento Oranı
SPT	Standart Penetrasyon Testi
SK	Sondaj Kuyusu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UCS	Serbest Basınç Dayanımı
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Gevşek ve sıkı zemin birimi .....	7
Şekil 1.2	Kompaksiyon ve konsolidasyon zemin faz diyagramı .....	8
Şekil 1.3	Zemin cinslerine göre kullanılan silindir tipleri .....	9
Şekil 1.4	Farklı tip silindirler .....	10
Şekil 1.5	Dinamik kompaksiyon uygulama yöntemi ve sırası.....	11
Şekil 1.6	Ağır yüklerin belirli yükseklikten düşürülmesi ile yapılan dinamik kompaksiyon örnekleri.....	11
Şekil 1.7	Zemin iyileştirmesi için farklı noktalara yerleştirilen patlayıcılar ve patlatma öncesi sonrası zemin tanelerinin durumu.....	12
Şekil 1.8	Patlatma ile zemin iyileştirme yöntemine ait bir örnek .....	12
Şekil 1.9	Vibrokompaksiyon ve zemin tane boyu dağılımına göre uygulaması .....	13
Şekil 1.10	Vibrokompaksiyon uygulaması ve zemin taneleri değişimi .....	14
Şekil 1.11	Kafa ve çevre hendeği .....	15
Şekil 1.12	Şev düzenlemeleri.....	16
Şekil 1.13	Düşey drenler.....	17
Şekil 1.14	Yatay ve düşey drenler.....	17
Şekil 1.15	Ön yükleme ve düşey drenler .....	18
Şekil 1.16	Elektro osmoz yöntemi.....	19
Şekil 1.17	Taş kolon imalatı genel görünüm .....	21
Şekil 1.18	Taş kolon imalatında üstten ve alttan besleme yöntemi.....	21
Şekil 1.19	Taş kolon yükleme deneyi.....	21
Şekil 1.20	Fore kazık imatları .....	22
Şekil 1.21	Enjeksiyon teknikleri gösterimi .....	23
Şekil 1.22	Kademeli enjeksiyon işlemi.....	25
Şekil 1.23	Kompaksiyon enjeksiyonu .....	25
Şekil 1.24	Çatlatma enjeksiyonu .....	26

Şekil 1.25 Geosentetik uygulama amaçları.....	27
Şekil 1.26 Geotekstil örnekleri.....	27
Şekil 1.27 Geogridler ve uygulama örnekleri .....	28
Şekil 1.28 Geomembranlar .....	29
Şekil 1.29 Geokompozit örnekleri.....	29
Şekil 1.30 Katkı maddeleri ile stabilizasyon imalat aşamaları .....	31
Şekil 1.31 Tünel shaftı ve zorlu bir şev in kontrolünde zeminin dondurulması .....	32
Şekil 1.32 Zeminlerin iyileştirilmesi .....	39
Şekil 1.33 Yapı yüklerinin taşınması .....	40
Şekil 1.34 Su ile ilgili problemlerde .....	40
Şekil 1.35 Yatay uygulamalar .....	41
Şekil 1.36 Zemin türüne göre uygulanabilecek iyileştirme yöntemleri.....	42
Şekil 1.37 Jet grout makine ve ekipmanları.....	44
Şekil 1.38 Basınç kademeli bekleme süresi hedeflenen kolon çapı ilişkileri .....	45
Şekil 1.39 Jet grout kolonu ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki.....	45
Şekil 1.40 Tahmini kolon çapı ile tijin çekim hızı arasındaki ilişki.....	46
Şekil 1.41 Püskürtme gövdesinin çekilme hızının ıslah edilen hacme etkisi.....	47
Şekil 1.42 Nozul.....	47
Şekil 1.43 Jet grout kolon dayanımları .....	49
Şekil 1.44 Jet 1 uygulaması.....	50
Şekil 1.45 Jet 2 uygulaması.....	51
Şekil 1.46 Jet 3 uygulaması.....	51
Şekil 1.47 Süper jet tekniği .....	52
Şekil 1.48 Süper jet yöntemiyle ve standart yöntemle oluşturulan kolonlar .....	53
Şekil 1.49 Jet grout yöntemi uygulama aşamaları.....	54
Şekil 1.50 Kademeli/kademesiz delgi matkapları .....	55
Şekil 1.51 Kazık yükleme deney sistemi .....	58
Şekil 1.52 Kazık yükleme deneyi.....	59
Şekil 1.53 Kazık süreklilik deneyi.....	60

<b>Şekil 1.54</b> Süreklilik deneyi bilgisayar yazılımı grafik verisi.....	60
<b>Şekil 1.55</b> Jet Grout kolon örneklerinin çap kontrolü .....	61
<b>Şekil 1.56</b> Jet grout kolon örneklerinin çap kontrolü .....	65
<b>Şekil 3.1</b> Çalışma sahasının harita üzerindeki konumu .....	74
<b>Şekil 3.2</b> İnceleme alanına ait uydu görüntüsü .....	77
<b>Şekil 3.3</b> Erzurum ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası.....	79
<b>Şekil 3.4</b> İnceleme alanının jeoloji haritası .....	80
<b>Şekil 3.5</b> Erzurum ve çevresinin diri fay haritası .....	80
<b>Şekil 4.1</b> Sondaj çalışmalarından görüntüler .....	89
<b>Şekil 4.2</b> Türkiye depremsellik haritası .....	110
<b>Şekil 4.3</b> Erzurum deprem haritası .....	111
<b>Şekil 4.4</b> İnceleme alanı ve çevresinde 01.01.2000 – 25.03.2016 tarihleri arasında büyüklüğü $4 < M < 10$ arasında meydana gelen depremler .....	111
<b>Şekil 4.5</b> Özet SPT değerleri.....	113
<b>Şekil 4.6</b> Özet laboratuvar testleri .....	114



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b>Tablo 1.1</b> Yüzeysel kompaksiyon makineleri ve uygulama alanları .....	9
<b>Tablo 1.2</b> Geosentetik tipleri ve uygulama amaçları .....	30
<b>Tablo 1.3</b> Amacına göre stabilizasyon metodları .....	34
<b>Tablo 1.4</b> Zemin cinsine göre stabilizasyon metodları .....	34
<b>Tablo 1.5</b> Uygulanabilir stabilizasyon teknikleri.....	35
<b>Tablo 1.6</b> Amaçlarına göre zemin iyileştirme yöntemleri.....	35
<b>Tablo 1.7</b> Bazı zemin iyileştirme yöntemleri için pratik maliyet hesaplama tablosu	36
<b>Tablo 1.8</b> Jet grout yöntemi imalat parametreleri .....	44
<b>Tablo 1.9</b> Enjeksiyon debisi ve nozul ilişkisi .....	48
<b>Tablo 1.10</b> Jet grout sistemleri karşılaştırma tablosu.....	53
<b>Tablo 1.11</b> Farklı nozul çapı ve basınçta nozuldan geçen grout debisi.....	62
<b>Tablo 1.12</b> Zemin cinsine göre çimento karışımı serbest basınç mukavemeti ve modülü .....	65
<b>Tablo 3.1</b> Atık su arıtma tesisi yapıları .....	75
<b>Tablo 3.2</b> İnceleme alanındaki aylara göre yağış miktarları .....	77
<b>Tablo 3.3</b> İnceleme alanı aylara göre sıcaklıklar .....	77
<b>Tablo 4.1</b> Sondajlara ait bilgiler.....	84
<b>Tablo 4.2</b> Beton karışım sularının zararlı etkinlik derecesi.....	85
<b>Tablo 4.3</b> Kullanılan karışım sularının analiz standartları .....	85
<b>Tablo 4.4</b> SPT değerleri ile düzeltilmiş SPT değerleri.....	86
<b>Tablo 4.5</b> Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde darbe sayısı-kıvam sıklık ilişkisi .....	89
<b>Tablo 4.6</b> P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaların sökülebilirlikleri ve arazi verileri.....	91
<b>Tablo 4.7</b> S dalgası hızı ile zeminlerin sınıflandırılması ve proje verileri .....	92
<b>Tablo 4.8</b> Elastisite modülü değerlerine göre zeminlerin dayanımı ve proje verileri	93

<b>Tablo 4.9</b>	Kayma modülü değerlerine göre zeminlerin dayanımı ve proje verileri ...	93
<b>Tablo 4.10</b>	Sıkışmazlık modülü değerlerine göre zeminlerin sıkışması ve proje verileri .....	94
<b>Tablo 4.11</b>	Poisson oranı değerlerine göre zeminlerin sıklığı ve proje verileri .....	95
<b>Tablo 4.12</b>	Yoğunluk değerlerine göre zeminlerin tanımlanması ve proje verileri ...	95
<b>Tablo 4.13</b>	Çalışmaya ait $T_0$ , $T_A$ , $T_B$ değerleri .....	96
<b>Tablo 4.14</b>	Çalışmaya ait yer taşıma gücü değerleri .....	96
<b>Tablo 4.15</b>	Çalışmaya ait oturma değerleri .....	97
<b>Tablo 4.16</b>	Sismik verilerle elde edilen değerler .....	97
<b>Tablo 4.17</b>	Su oranı tayini ve değerleri .....	98
<b>Tablo 4.18</b>	Doğal birim hacim ağırlığı tayini ve değerleri .....	99
<b>Tablo 4.19</b>	Elek analizleri ve değerleri .....	99
<b>Tablo 4.20</b>	Kıvam testleri ve değerleri .....	100
<b>Tablo 4.21</b>	Üç eksenli basınç deneyi ve sonuçları .....	101
<b>Tablo 4.22</b>	Direk kesme deneyi ve sonuçları .....	102
<b>Tablo 4.23</b>	Konsolidasyon deneyi ve sonuçları .....	102
<b>Tablo 4.24</b>	Nokta yükleme deneyi ve sonuçları .....	103
<b>Tablo 4.25</b>	Ünite binaları, taşıma gücü değerleri ve yataklama katsayısı .....	104
<b>Tablo 4.26</b>	Kiltaşlarına ait nokta yükleme deney sonuçları .....	105
<b>Tablo 4.27</b>	İnceleme alanı litolojisi .....	106
<b>Tablo 4.28</b>	Ünite binalarına ait hesaplanan oturma değerleri .....	108
<b>Tablo 4.29</b>	İzin verilen oturma miktarları .....	109
<b>Tablo 4.30</b>	Oturma ve düzeltilmiş oturma değerleri .....	115
<b>Tablo 4.31</b>	Deneme kolonları test sonuçları .....	116
<b>Tablo 4.32</b>	Ön çökeltim tankı hesap/tasarım detayları .....	118
<b>Tablo 4.33</b>	Ara pompa istasyonu hesap/tasarım detayları .....	119
<b>Tablo 4.34</b>	Havalandırma tankı hesap/tasarım detayları .....	120
<b>Tablo 4.35</b>	Son çökeltim tankı hesap/tasarım detayları .....	121
<b>Tablo 4.36</b>	Birincil çamur yoğunlaştırma ünitesi hesap/tasarım detayları .....	122

**Tablo 4.37** Oksijensiz çamur öğütme ünitesi hesap/tasarım detayları .....123

**Tablo 4.38** Ünite binaları jetgrout uygulaması özet değerler .....124



## 1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği çerçevesinde uygulanan projeler farklı kriterlere göre gruplandırılmaktadır. Temel olarak inşaat projelerin aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- Üst yapı projeleri
  - ✓ Oteller
  - ✓ Hastahaneler
  - ✓ Gökdelenler
- Alt yapı projeleri
  - ✓ İçme suyu, kanalizasyon, sulama kanalları
  - ✓ Atıksu arıtma, Katı atık depolama tesisleri
  - ✓ Petrol, doğal gaz boru hatları
- Yol projeleri
  - ✓ Otoban, bölünmüş yol, demiryolu
  - ✓ Tüneller, köprüler, viyadükler
- Endüstriyel projeler
  - ✓ Barajlar, enerji santralleri
  - ✓ Fabrikalar, havalimanları

İnşaat mühendisliğinin görevi yukarıda gruplandırılan inşaat projelerini güvenli, fonksiyonel ve ekonomik olarak meydana getirmektir. İnşaat mühendisliği projelerinde proje sahası zemin koşulları yapının tasarım ve uygulaması açısından son derece önemlidir. Bütün mühendislik yapılarının inşa edilmesinde, bu yapılar zemin veya kaya tabakaları üzerine oturtulmakta ya da kendileri zemin veya kaya tabakaları içerisinde yer almaktadır. Yapıların kendi ağırlıklarından ve hareketli yüklerden (deprem, kar, rüzgar, çeşitli ekipmanlar vb.) kaynaklanan yüklerin zemin veya kaya tabakalarına aktarılmasını sağlayan sistemlere genel olarak temel adı

verilir. İnşa edilecek mühendislik yapısının taşıyıcı elemanlarından temele, temelden ise zemine aktarılan yüklerin zemin tarafından, tasarım kriterleri içerisinde güvenle taşınmalıdır. Aktarılan yükler gerilmeler sonucunda oluşabilecek deformasyonların istenilen sınırlar içinde kalmasını sağlayacak bir zemin yapısının olması veya oluşturulması gerekmektedir.

Mühendislik yapılarına ait temel zeminleri, temelden zemine aktarılan yükler zemin iyileştirmesi olmaksızın taşıyamayabilirler. Bu durum projenin yapılabirliğini etkiler ve önemli sorunlara yol açar. Proje sahasında elverişsiz zemin koşullarıyla karşılaşıldığı zaman, inşaat mühendisinin yapması gereken, farklı yöntemler kullanarak tasarım kriterlerine ulaşmaya çalışmaktır. Ancak bu yapılırken güvenlik, fonksiyonellik ve ekonomiklik faktörlerinin göz önüne alınması gerekmektedir. Elverişsiz zemin koşulları ile karşılaşıldığı zaman aşağıdaki önlemler alınabilir:

- Hali hazır zemine göre yapı eleman temellerini tasarlamak,
- Zayıf zeminleri kaldırarak taşıma gücü daha yüksek zeminler yerleştirmek,
- Taşıma gücü zayıf olan zemin seviyesini uygun bir zemin iyileştirme yöntemiyle geçerek yapı temellerini sağlam zemine inşa etmek,
- Zeminin özelliklerini arazide yapılan iyileştirme yöntemleriyle istenilen değerlere getirmek. (Özdemir, A. ve Özdemir, M., 2006).

Günümüzde hızla ve sürekli gelişen zemin teknolojileri, inşaat projelerini kaliteli, güvenli, fonksiyonel ve ekonomik çözümlerle gerçekleştirme imkanları sunmaktadır. Bu noktada önemli olan elverişsiz proje sahası koşullarında doğru teknoloji ile uygun çözümü kullanmaktır.

Mevcut zeminin değiştirilmesi veya mevcut zemine uygun tasarım kriterlerinin seçilmesi uygulanabilir değildir. Diğer taraftan geleneksel yöntemler ile zayıf zeminin uygun yöntemle geçilip, temelin sağlam tabakaya inşa edilmesi ise her zaman ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle proje ve zemin durumuna göre sahada uygun iyileştirmenin yapılması önem arz etmektedir.

Bu bölümde; kısaca elverişsiz/iyileştirme gereken zeminler tanıtılmış, zemin iyileştirmenin amaçları ve yöntemleri açıklanmıştır.

## 1.1 İyileştirme Gerektiren Zeminler

Günümüzde hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme, Türkiye'de yapı alanlarının hızla tükenmesine neden olmuştur. Bu nedenle her geçen gün yeni imar yerlerinin açılması zorunlu hale gelmiştir (Özdemir, A. ve Özdemir, M., 2006). Nüfus artışı ile birlikte çevreye duyarlılığın artması karşısında imara açılacak yeni yerler, sanayi bölgeleri ve çevre yapıları için uygun alanların bulunması devamlı azalmaktadır. Bunun sonucunda, mühendislik özellikleri zayıf zeminlerin bulunduğu alanlar kullanıma açılmıştır. Böyle zeminler üzerindeki yapılaşma, taşıma gücü, oturma, yer altı su seviyesi ve zemin özelliklerine göre sınılaşma gibi mühendislik problemlerini gündeme getirmektedir. Bu durumda zayıf zeminlerin kullanılabilir hale getirilmesi uygun iyileştirme yöntemleri ile sağlanmalıdır (Çınar, 2014). İyileştirme gerektiren zeminler aşağıda sıralanmıştır;

- Turbalık zeminler
- Bataklık zeminler
- Yumuşak killer
- Gevşek kumlar
- Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyonlar
- Rastgele yerleştirilmiş dolgular (Özdemir, A. ve Özdemir, M., 2006).

Turbalık ve bataklık zeminler içerisindeki bitkisel maddelerin çürümesinden dolayı zeminde büyük şekil değişimine neden olacaktır. Bu tip zeminlerin taşıma güçleri çok azdır. Yumuşak killi zeminlerin taşıma gücü çok düşüktür. Küçük yükler altında dahi büyük deformasyonlar oluşur.

Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyonlu ve gevşek kumlu zeminlerde orta büyüklükte yükler taşıyabilir ve bu yük altındaki deformasyon değerleri de sınırlı kalabilir. Bu tip zeminlerin tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışı problem oluşturabilir.

Özellikle yeraltı su seviyesi altındaki gevşek kumlarda tekrarlı yükler altında sınılaşma davranışı gözlenebilir. Bu davranış biçiminde şekil değiştirmeler aşırı derecede artarak toptan göçmelere neden olabilir.

Taşıma gücü düşük, sıvılaşma özelliğine sahip zeminler, oturma ve formasyon değerlerinin yüksek olduğu zeminler, yapıdan zemine aktarılan gerilme değerlerine ve oturma kriterlerine bağlı olarak uygun zemin iyileştirme yöntemleriyle iyileştirilmelidir.

## 1.2 Zemin İyileştirmenin Amaçları

Zemin ıslahı, zeminlerin indekslerinin, amaçlanan bir mühendislik uygulamasına yönelik olarak, farklı biyolojik, kimyasal veya fiziksel yöntemler kullanılarak ıslahı olarak tarif edilebilir. Zeminlerin iyileştirilmesi yerine zemin modifikasyonu, zemin ıslahı, zemin stabilizasyonu gibi terimler de kullanılmaktadır.

Zemin ıslahında temel amaç, zemin boşluklarını çeşitli bileşimdeki karışımlar kullanılarak zemin boşluklarının doldurularak zemin boşluk oranının azaltılması işlemidir. Zemin iyileştirme amaçları;

- Zayıf zeminlerin taşıma kapasitesini istenilen oranda arttırmak,
- Toplam oturmayı istenilen değere indirmek,
- Su geçirgenliğini düşürmek,
- Konsolidasyonu hızlandırmak,
- Zemin sıvılaşma riskini minimize etmek
- İstinat duvarlarına destek amaçlı dayanım sağlamak,
- Dolgu ve şevlerin değişkenliğini azaltmak şeklinde sıralanabilir.

Yukarıda sıralanan amaçlar doğrultusunda uygulanan ıslah yöntemi sonucunda

- Zeminin kayma mukavemetinde artış gözlenir,
- Killi zeminlerin kıvam iyileşmesi sağlanır,
- Kumlu zeminlerin sıkılığı artar,
- Sıkışabilirlik değeri azalır,
- Şişme ve büzülme potansiyeli düşer,
- Permeabilitesi azalır,
- Borulanmaya karşı mukavemeti artar,
- Sıvılaşma potansiyeli azalır (Sağlamer, 2011).

### 1.3 Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin iyileştirme yöntemleri seçilirken birçok iyileştirme metodu kullanılmaktadır. Bu metodlar seçilirken, önlem alınması gereken sorunların yanı sıra aşağıdaki hususların da göz önüne alınması gerekir:

- Projenin tasarımı, iyileştirme maliyet analizi,
- Amaçlanan iyileştirmenin türü ve derecesi,
- Civar yapılara ve çevreye etkileri,
- İyileştirme süre zarfının değişmezliği,
- Gerekli malzeme, ekipman ve iş gücünün temini,
- Zemin cinsi, yer altı suyu durumu,
- Zemin atıklarının değerlendirme durumu,
- İnşaat takvimi ve iyileştirme süresi,
- Uzun süreli performans, durabilite kriterleri,
- Yapım kalite kontrolü ve performans ölçümleri.

Zemin iyileştirme metodlarının literatürde farklı kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Özetle sınıflandırma metodları bir kaçını burada belirtilmiştir.

Zemin tiplerine göre sınıflandırma,

- Dolgu zeminleri için
- Killi zeminler için
- Kumlu zeminler için

Amaçlarına göre sınıflandırma

- İnşaat süresince kalıcı amaçlar için
- İnşaat süresince geçici amaçlar için

Uygulama derinliğe göre iyileştirme

- Yüzeysel iyileştirme
- Derin iyileştirme



Uygulama yöntemine göre iyileştirme

- Mekanik yöntemle: Kompaksiyon teknikler;
- Hidrolik yöntemle: Zemin suyunun çıkarılması
- Kimyasal ve fiziksel yöntemle: Isıtma veya soğutma, katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirme

Zeminin farklı kriterlere göre zemin iyileştirme metodları aşağıda verilmiştir.

1. Kompaksiyon (mekanik) metodlar

- Patlayıcılar kullanılarak
- Vibrokompaksiyon
- Yüzey kompaksiyonu
- Dinamik kompaksiyonu

2. Drenaj (Suyun ortamdan uzaklaştırılması)

- Yüzeysel suların drenajı
- Yeraltı sularının drenajı
  1. Ön yükleme
  2. Yerçekimi
  3. Drenler
  4. Elektro osmoz

3. Zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması

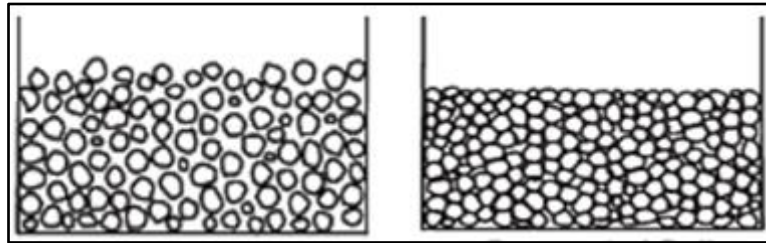
- Kompaksiyon
- Enjeksiyon yöntemleri
- Permeasyon
- Jet grout kolon
- Çatlatma
- Taş kolon
- Fore kazık ve mini kazık

5. Donatılı stabilizasyon-Geosentetikler

- Geokompozitler
  - Geomembran
  - Geotekstiller
  - Geogridler
6. Katkı maddeleri ile stabilizasyon
- Uçucu kül ile stabilizasyon
  - Diğer maddeler ile stabilizasyon
  - Kireç ile stabilizasyon
  - Çimento ile stabilizasyon
  - Bitüm ile stabilizasyon
7. Isıl işlemler
- Dondurma yöntemleri
  - Isıtma yöntemleri

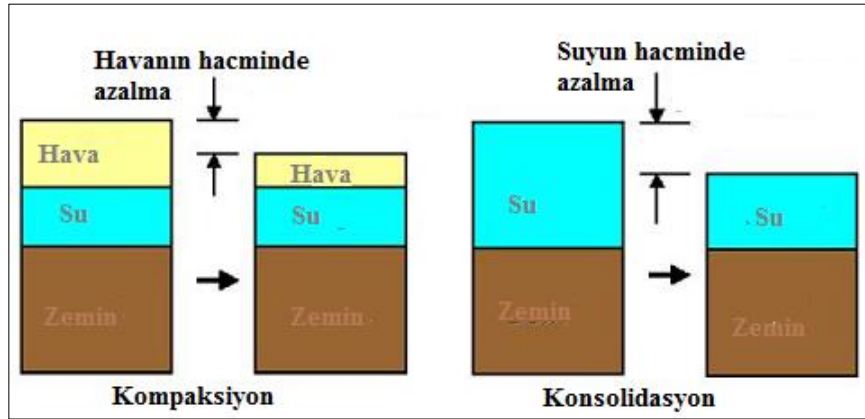
### 1.3.1 Mekanik stabilizasyon

Kompaksiyon (sıkıştırma); zemin daneleri arasındaki hava boşluklarının mekanik araçlar yardımıyla (statik, vibrasyonlu ve darbeli aletlerle) azaltılarak zeminin sıkıştırılıp mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi işlemidir. Kompaksiyon işleminde zemin içerisinde bulunan su ve tane hacmi sabit iken, hava dışarı atılarak hacmi azaltılır. Şekil 1.1’de gevşek ve sıkı zemin birimi gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Gevşek ve sıkı zemin birimi

Kompaksiyon ile konsolidasyon sıklıkla karıştırılabilen iki terimdir. Kompaksiyon ve konsolidasyon arasındaki fark Şekil 1.2’de zemin faz diyagramları ile gösterilmektedir.



**Şekil 1.2** Kompaksiyon ve konsolidasyon zemin faz diyagramı

Kompaksiyon avantajları:

- Zemin mukavemetini artırır.
- Taşıma gücünü artırır.
- Oturma potansiyelini azaltır.
- İstenmeyen hacim değişikliklerini kontrol eder.
- Hidrolik geçirgenliği azaltır.
- Aşırı şişme ve büzölmeler gözlenmez.
- Dona karşı olan dayanıklılık artırılır.

Kompaksiyon ile iyi sıkıştırılmış temelerde; yüksek mukavemet ve deformasyonlara karşı direnç elde edilir.

Kompaksiyonun uygulama alanları

- Toprak dolgular
- Karayolu ve havaalanı kaplama altı dolguları
- Toprak barajlar
- Su bentleri
- Akarsu seddeleri
- Temel altı dolgusu

### 1.3.1.1 Yüzey kompaksiyonu

Yüzey kompaksiyonu (silindirleme); dolguların, yol temellerinin, her türlü döşeme ve kaplamaların, büyük park alanlarının altındaki gevşek kaba daneli zeminlerin iyileştirilmesinde çok etkili ve ekonomik olarak kullanılabilir. Bu koşullarda zemin iyileştirme maliyeti genellikle diğer zemin iyileştirme tekniklerinden daha düşüktür (Çınar, 2014). Yüzey kompaksiyon makineleri genel olarak silindirler, tokmaklar ve vibratörler olmak üzere üç grupta toplanır. Tablo 1.1’de bu makineler ve uygulama alanları özet olarak verilmiştir. Şekil 1.3 ve Şekil 1.4’de farklı zeminlerde kullanılan makine tipleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.1** Yüzeysel kompaksiyon makineleri ve uygulama alanları (URL1)

Araç	Uygun Zemin	Uygun olmayan Zemin
Düz silindir	GW,SW,ML,CL	SP-SM,CH
Keçi ayaklı silindir	SC,GC,CL,CH	GP,GW,SP,SW
Lastik tekerlekli sıkıştırıcılar	GW, SW, SM, ML, CL	CH,OH
Titreşimli silindir	GW, SW(Kil içemeyen)	CL,CH,ML,MH,OH



**Şekil 1.3** Zemin cinslerine göre kullanılan silindir tipleri

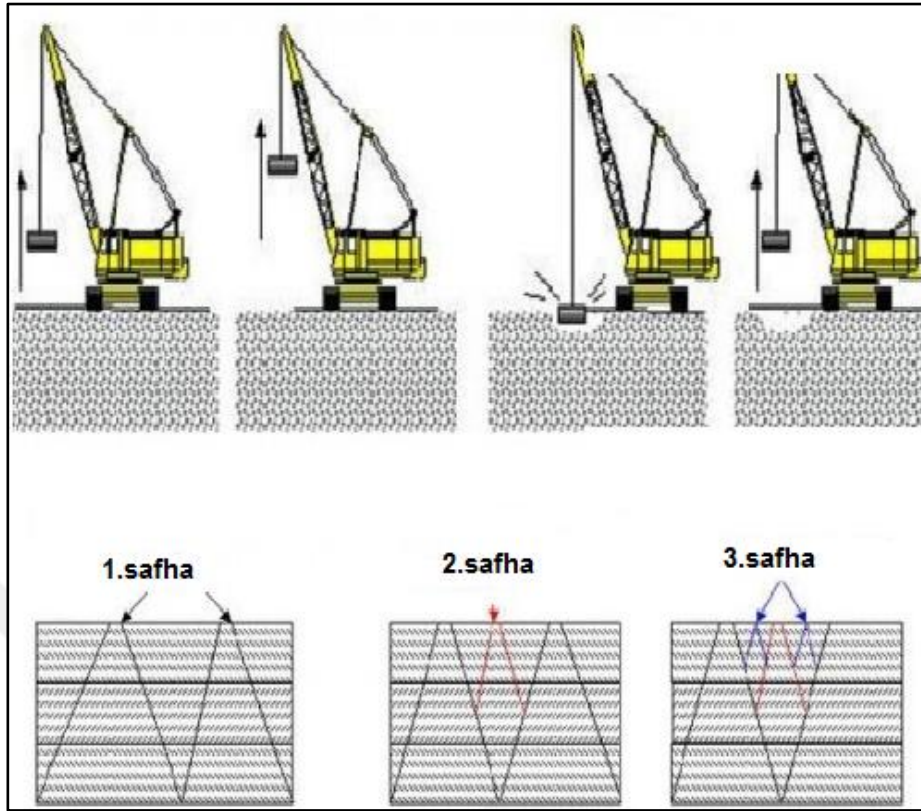


**Şekil 1.4** Farklı tip silindirler

### 1.3.1.2 Dinamik kompaksiyon

Dinamik kompaksiyon yöntemi, uygun olmayan dolgu zeminlerin ve suya doymun olmayan zeminlerin mühendislik özelliklerinin yüksek derinliklerde iyileştirmek, bu iyileştirme sonucunda farklı oturmaları istenilen limitlere indirgemek için kullanılmaktadır. Dinamik kompaksiyon yönteminde farklı ağırlıkların kullanılabilceği mobil vinçler ekipman olarak kullanılmaktadır.

Proje kriterlerine göre bu kompaksiyon yönteminde enerji payandaları, ağır dinamik kompaksiyon ve yüzey ütölemesi yöntemleri ayrı ayrı veya birlikte proje kriterlerine göre kullanılmaktadır. Şekil 1.5’de dinamik kompaksiyon uygulama yöntemi ve aşamaları, Şekil 1.6’da dinamik kompaksiyon yöntemi uygulanmış örnek proje görölmektedir (URL3).



Şekil 1.5 Dinamik kompaksiyon uygulama yöntemi ve sırası



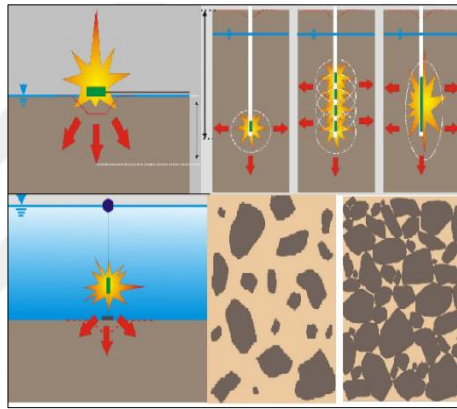
Şekil 1.6 Ağır yüklerin belirli yükseklikten düşürülmesi ile yapılan dinamik kompaksiyon örnekleri (Kral Abdullah Üniversitesi, Arabistan)



### 1.3.1.3 Patlayıcılarla stabilizasyon

Patlayıcı kullanılarak zemin iyileştirilmesi özellikle suya doymun kohezyonsuz gevşek zeminlerde uygulanmaktadır. Yöntemde patlayıcıların kullanılması ile zemin içerisinde boyuna kayma dalgaları oluşturulur. Yöntem 20 m'ye kadar olan zemin tabakası için yaklaşık %70-80 relatif sıkılık derecesinde zeminin sıkıştırılmasında etkin olmaktadır (Öztoprak, 2011).

Şekil 1.7'de farklı koşullarda (yüzey ve su seviyesinin altı) iyileştirme için yerleştirilen patlayıcılar ve patlatma sonrası zemin tanelerinin durumu, Şekil 1.8'de patlatma yönteminin kullanıldığı bir uygulama örneği gösterilmiştir.



Şekil 1.7 Zemin iyileştirme için farklı noktalara yerleştirilen patlayıcılar ve patlatma öncesi sonrası zemin tanelerinin durumu (URL4)

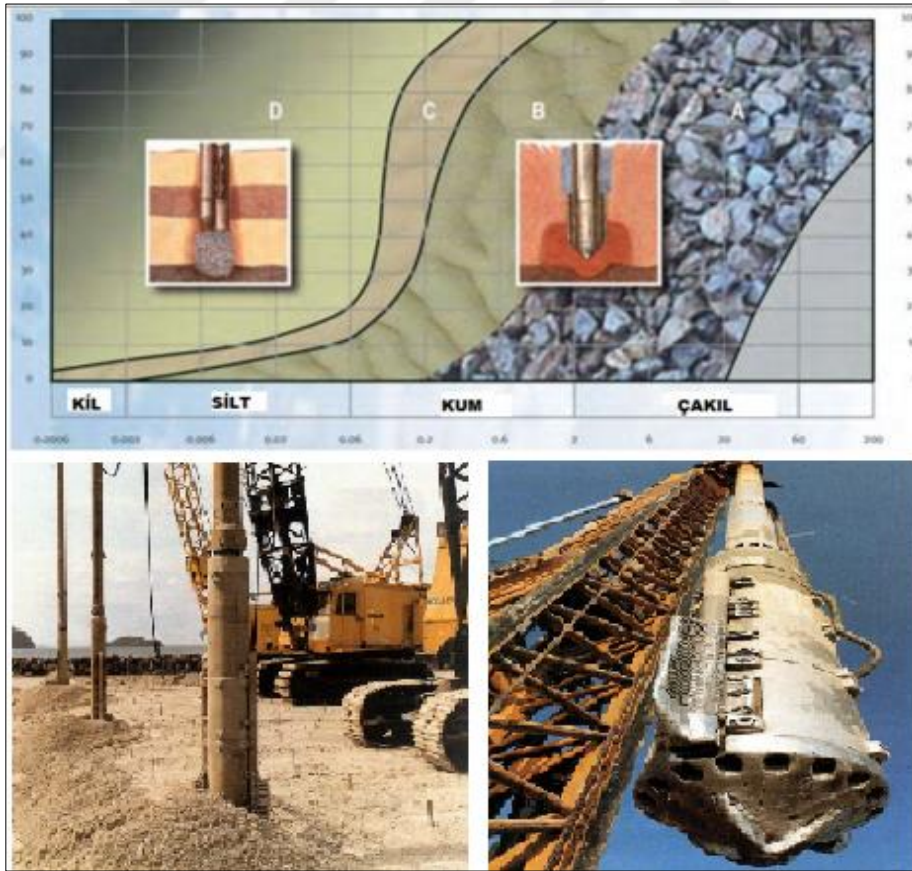


Şekil 1.8 Patlatma ile zemin iyileştirme yöntemine ait bir örnek (URL5)

### 1.3.1.4 Vibrokompaksiyon/vibrasyon

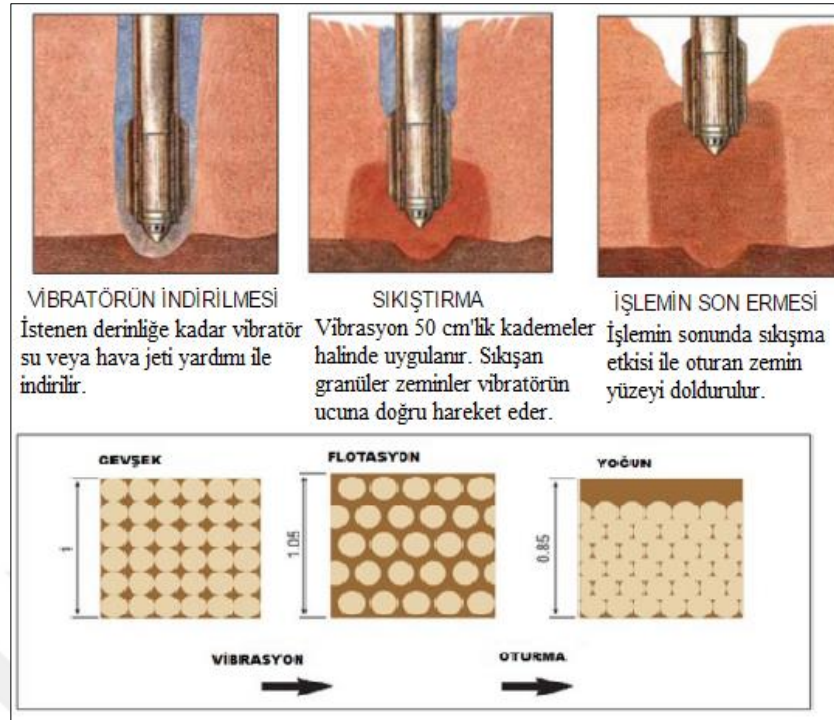
Vibrokompaksiyon yöntemi granüler zeminler vibrasyon ile istenilen derinlikte zeminin yerinde sıkıştırılarak ıslah edilmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntem ile zemin ıslahında zeminin dane çapı dağılımı önem arz etmektedir. Yöntem özellikle iri daneli granüler zeminlerde kullanılmaktadır. Şekil 1.9'da yöntemin zemin dane çapına göre kullanılması gösterilmektedir. Şekil 1.9'da gösterildiği gibi dane çapı grafikte yer alan A noktasında belirtilen çaptan büyük olan daneli zeminler için bu yöntem kullanılmamaktadır.

Yöntemin uygulanmasında, vibratör önceden tespit edilen uygulama aralıkları ile zemine düşey yerleştirilir. Vibrator vibrasyon zemin tabakalarını geçer ve bu vibrasyon etkisi ile zemin taneleri sıkışarak daha homojen bir şekilde yerleşir. Şekil 1.9'da bu yöntemin zemin dane dağılımına göre uygulama kriterleri, Şekil 1.10'da bu yöntemin uygulaması akabinde zemin tanelerindeki değişim gösterilmiştir (URL6).



Şekil 1.9 Vibrokompaksiyon ve zemin tane boyu dağılımına göre uygulaması





Şekil 1.10 Vibrokompaksiyon uygulaması ve zemin taneleri değişimi

### 1.3.2 Suyun ortamdan uzaklaştırılması

Drenaj; yerüstü ve yeraltı sularını toplayıp uzaklaştırma, dolgu ve yarma şevlerinde erozyonu önleme veya azaltma, çevreden gelen suyun yolunu kesip uzaklaştırma ve gerekiyorsa yer altı suyu seviyesini düşürme işlemidir (Kara, 2012).

Drenajın amacı; sızıntı ve boşluk suyu basınçlarını azaltmak veya ortadan kaldırmak, zeminin kayma direncini arttırmak, zemin içindeki suyun hareketini kolaylaştırmak, konsolidasyon oturmalarını hızlandırmak ve don olayının zararlı etkisini azaltmaktır (Çınar, 2014).

Yüzeysel ve yeraltı suyun uzaklaştırılması için kullanılan metodlar aşağıda verilmiştir.

Yüzeysel suların uzaklaştırma metodları

- Şevin kaplanması
- Açık hendekler
- Çatlakların tıkanması

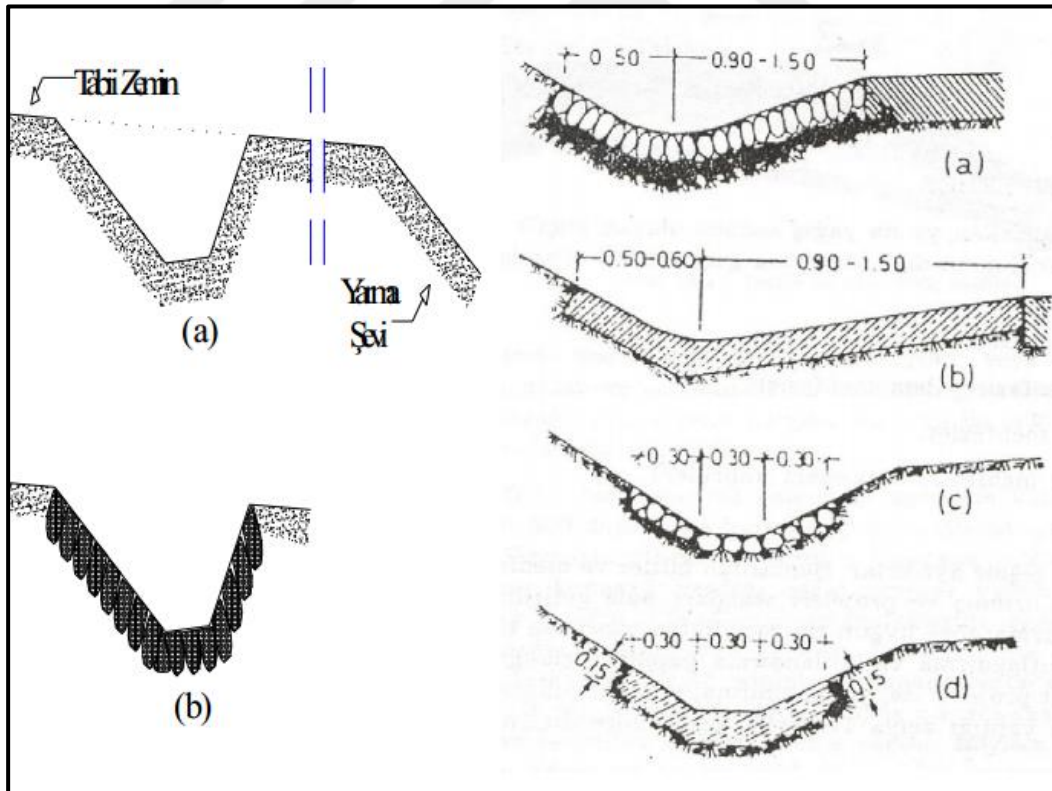
- Şev yüzeyinin düzeltilmesi

### 1.3.2.1 Yüzeysel suların drenajı

Çevresel su kaynakları ve yağışların oluşturduğu yüzeysel suların zemin içerisine girmesine fırsat bulmadan, tehlikeli bölgeden uzaklaştırılması veya kontrol edilmesi amacı ile yerüstü sularına drenaj yöntemleri uygulanır. Yüzeysel sularının drenajı için kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

- Açık hendekler
- Çatlakların tıkanması
- Şev yüzeyinin düzeltilmesi
- Şevin kaplanması (Kaya, 2001).

Şekil 1.11’de kafa ve çevre hendeğine ait Şekil 1.12’de ise şev düzenlemelerine ait örnekler gösterilmiştir. (Kaya, 2001).



Şekil 1.11 Kafa ve çevre hendeği (Kaya, 2001).



**Şekil 1.12** Şev düzenlemeleri (Kaya, 2001).

### 1.3.2.2 Yeraltı sularının drenajı

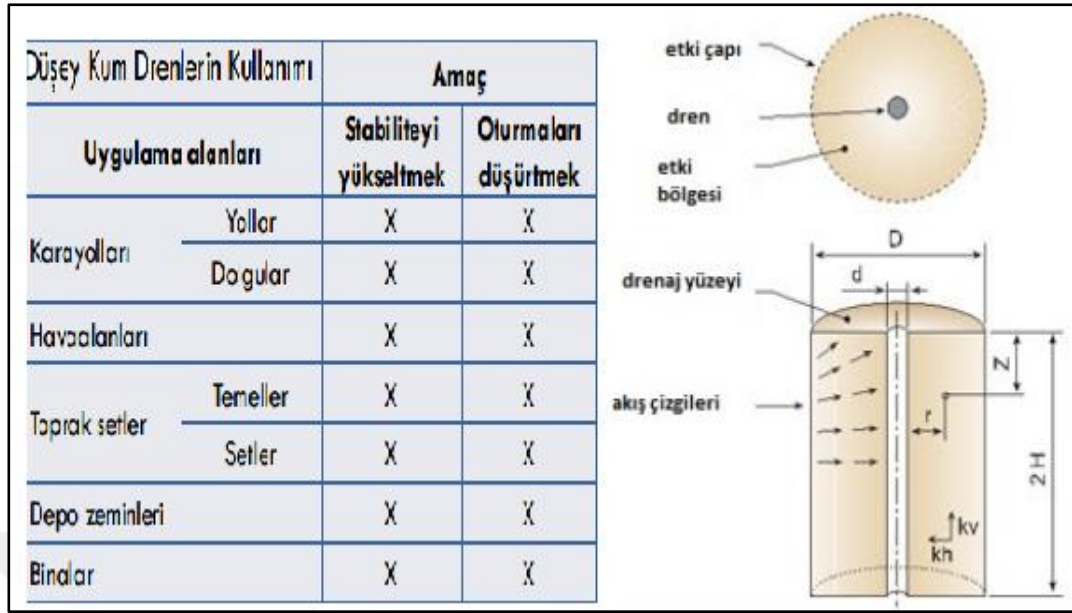
Yeraltı suları; şevlerde duraysızlığın, temellerde taşıma gücünün azalmasının ve deformasyonların artmasının başlıca nedenlerinden biridir. Zeminlerdeki boşluklara giren suların, zemin kütleindeki su içeriğinin problem oluşturacak dereceye ulaşmasını önlemek ya da bu dereceye ulaşmış ise düşürmek işlemine yer altı suyu drenajı denir (Kaya, 2001).

#### 1.3.2.2.1 Drenler

Drenleri genel olarak düşey ve yatay dren olmak üzere iki gruba ayırabiliriz.

- Düşey Kum Drenleri

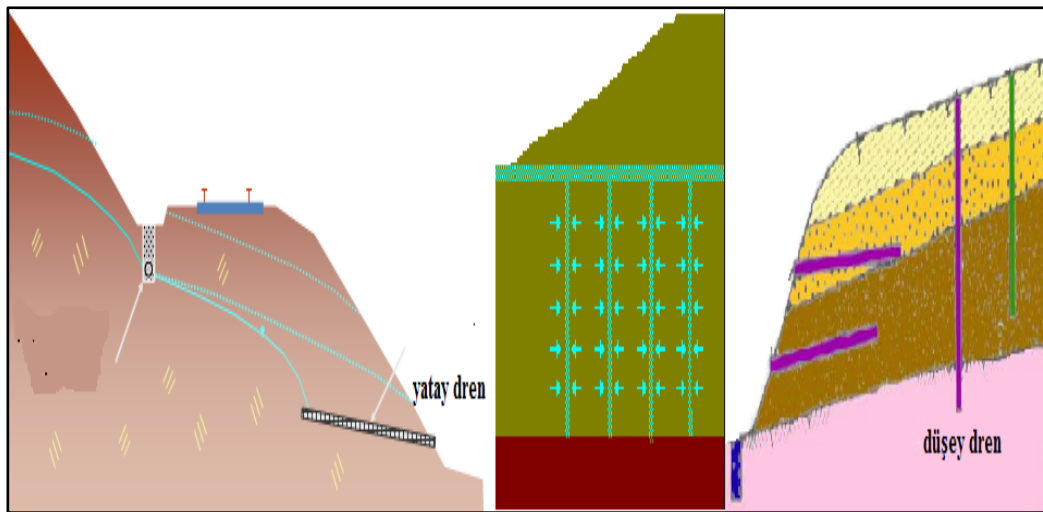
Bir temel yapısının yeraltı su seviyesinin altında inşası, ön yükleme ile zemin konsolidasyonunun uzun zaman alması ve yapacağımız dolgunun maliyetinin ekonomik olmadığı durumlarda düşey kum drenleri yöntemi kullanılarak zemin içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması sağlanır (Şekil 1.13).



Şekil 1.13 Düsey drenler

- Yatay Drenler

Yeraltı su seviyesinin indirilmesinde etkili olacak ve bol miktarda su verecek bir tabakada 7,5-10,0 cm çapında sondaj delikleri açılır. Bu deliklerin içerisine yaklaşık 5 cm çapında yatay dren amaçlı dikişli borular yerleştirilir. Bu dikişler üzerine aynı sırada drenaj için delikler açılmıştır. Şekil 1.14’de yatay ve düşey drenler gösterilmiştir.

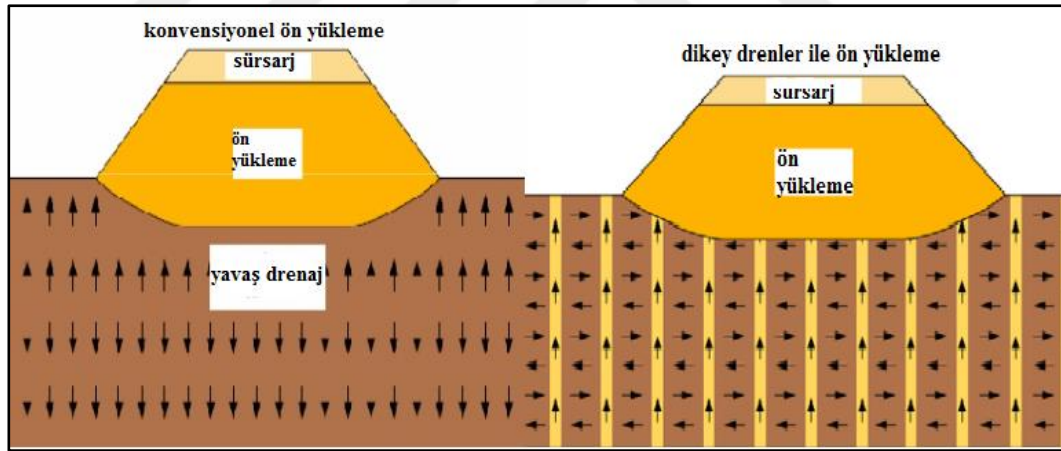


Şekil 1.14 Yatay ve düşey drenler

### 1.3.2.2.2 Ön yükleme

Üst yapı yüklerinin zemine aktarılması sonucunda zeminde zamana bağlı oturmalar meydana gelmektedir. Bu oturmaların daha hızlı ve projenin yapılmasından önce tamamlanması için ön yükleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemin amacı proje tasarımında kabul edilen muhtemel yüklerin ön yükleme yöntemi ile zemine uygulanması ve oturmaların önceden gerçekleştirilmesini sağlamaktır. Yöntem genellikle normal-az konsolide killer için uygulanmaktadır. Yöntemde zemine proje yükleri veya beklenen yüke eş değer bir yük uygulanır. Ardından bu yük altında zemin oturması beklenilir ve uygulanan yük kaldırılır. Yük sayesinde zeminde konsolidasyon oturmaları gerçekleşir ve zeminin bu yöntemle drenajsız kayma mukavemeti iyileştirilmiş olur.

Şekil 1.15’de sadece ön yükleme, ön yükleme ile birlikte düşey drenlerin kullanılması ile yapılan iyileştirme ve düşey dren olarak kullanılan malzemelere örnek gösterilmiştir.

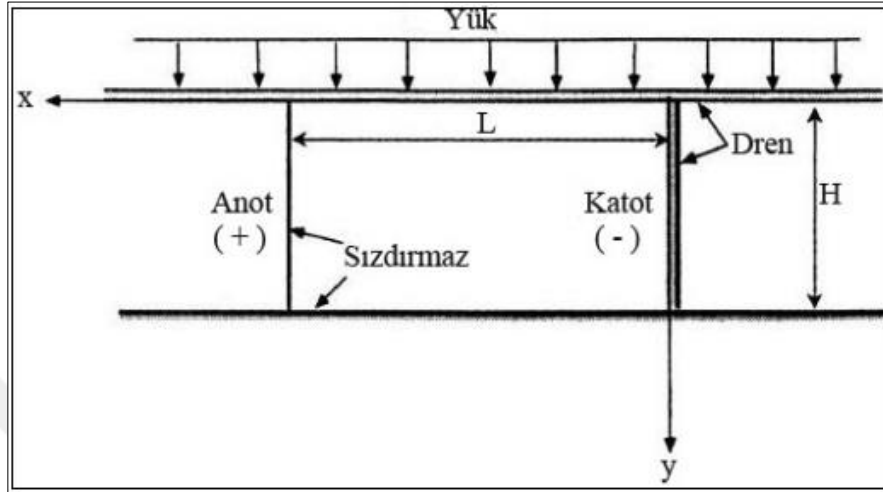


Şekil 1.15 Ön yükleme ve düşey drenler

### 1.3.2.2.3 Elektro osmoz

Yöntem ince daneli zeminlerde kullanılır. Bu yöntemde öncelikle zeminde bir elektriksel alan meydana getirilir. Elektriksel alan için katot ve anot kullanılır. Elektro-osmoz yöntemi ile oluşturulan elektriksel alan sayesinde zemin içerisinde suyun hareket etmesi sağlanmaktadır. Örneğin suya doymuş bir killi zeminde bu

yöntem ile doğru akım (DC) uygulanır ise katyon tanecikleri katotda anyon tanecikleri anotta toplanır ve pis su akışı meydana gelir. Yöntem sonucunda suya doygun zeminin su içeriği azaltılır bunun sonucunda zemin dayanımı artırılmış olur. Şekil 1.16'da yöntemin uygulama detayı gösterilmiştir.



Şekil 1.16 Elektro osmoz yöntemi

#### 1.3.2.2.4 Yerçekimi etkisi

Yerçekimi etkisi ile yapılan drenaj uygulaması sonucu zemin içerisine su girişi önlenerek su muhtevasının artışı engellenir veya yeraltı su seviyesi, suyun bir kısmı toplayıcı ve akıtıcı yeraltı hendeklerine aktarılarak düşürülür.

#### 1.3.3 Zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması

Zemin içerisinde rijit kolon oluşturma yönteminde temel amaç; öncelikle proje yüklerinin rijit kolonlar tarafından taşınmasını sağlamak bununla beraber zemin mekanik özelliklerinin artırılmasıdır.

Zemin içerisinde oluşturulan rijit kolonlar ile zeminin taşınması gereken proje yükünü paylaşma oranları, kolonların ve zeminin görece rijitliklerine bağlıdır. Bununla beraber yük paylaşımı toplam kolon alanı ve yer değiştirilen zemin alanına da bağlıdır. Rijit kolon oluşturulurken kolon çevresinde kalan zeminin sıkıştırılması da önemli bir avantaj olmaktadır.



Farklı tip rijit kolon oluşturma yöntemleri bulunmaktadır. Kullanılacak yöntemin seçiminde; öncelikle zemin durumu, kolon zemin arasındaki yük paylaşımı, istenilen çap, boy ve geometride kolon imal edilmenin uygunlukları gibi faktörlerin göz önüne alınması gerekmektedir (Özaydın, 2012).

Kullanılan metodlar;

- Fore kazık
- Jet grout
- Taş kolonlar
- Mini kazık

Jet Grout yöntemi Bölüm 1.4’de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

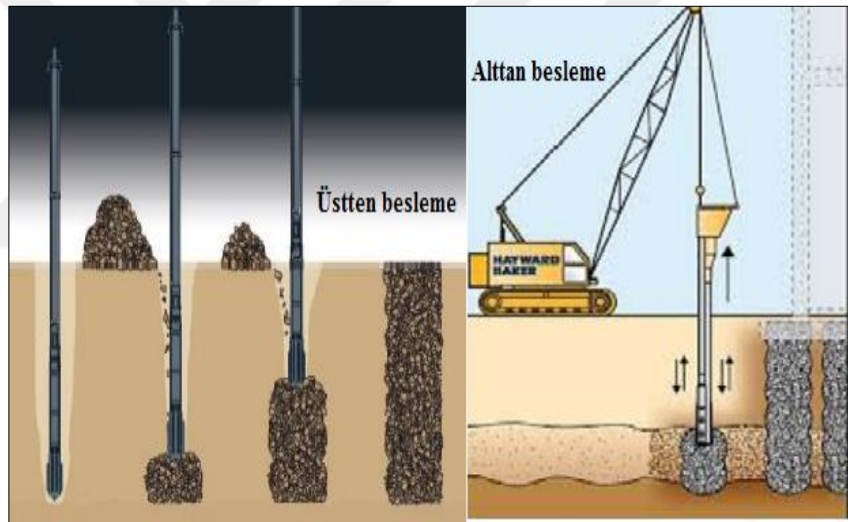
### **1.3.3.1 Taş kolonlar**

Taş kolon ile zemin ıslahında öncelikle zemine aktarılan proje yüklerinin bir kısmı kolonlar tarafından taşınmakta, bununla beraber sıkıştırılan zeminin mekanik özellikleri artırılmakta, taş kolonlar vasıtasıyla zeminde bir nevi drenaj kanalı oluşturulmakta ve konsolidasyon süresi azaltılmaktadır. Özellikle deprem yükleri altında meydana gelen sıvılaşma nedeniyle mukavemetini yitiren zeminler iyileştirilmektedir. Yöntem genellikle zemin kalınlığı 10 metreden az olan yumuşak-orta katı killerde kullanılmaktadır. Taş kolon yöntemi ile zemin taşıma gücü artırılmakta olup, oturmalar yaklaşık %50-%60 seviyelerinde azaltılmaktadır (Nalçakan, 2004).

Şekil 1.17’de farklı zemin koşullarındaki taş kolon imalatı ve imalat sonrası taş kolon görünümü, Şekil 1.18’de alttan ve üstten besleme yöntemi, Şekil 1.19’da taş kolon yükleme deneyi gösterilmiştir.



Şekil 1.17 Taş kolon imalatı genel görünüm(URL8)



Şekil 1.18 Taş kolon imalatında üstten ve alttan besleme yöntemi(URL8)



Şekil 1.19 Taş kolon yükleme deneyi (URL8)



### 1.3.3.2 Fore kazık

Fore kazık veya mini kazık yönteminde ucu açık olan bir boru zemine sokulmakta, ardından zemine sokulan borunun içerisi temizlenmekte ve uygulama alanında hazırlanmış olan kazıkların imalatları yapılmaktadır (Cengiz, 2010).

Fore kazık imalatında kullanılacak ekipmanlar, karşılaşılan zemin durumuna, iyileştirilecek zemin kalınlığına, yer altı su seviyesi durumuna, elde edilmesi planlanan kazık boyuna ve çapına bağlı olarak değişmektedir. Delme sırasında zemin ve yer altı su seviyesi durumuna bağlı olarak muhafaza borusu veya bentonit kullanılmaktadır.

Fore kazıklar;

- Delgi,
- Donatının yerleştirilmesi,
- Beton dökülmesi sıralaması ile inşa edilir.

Mini kazıklar küçük çaplı (15-35 cm) burgu ile açılıp gerektiğinde çelik boru yardımı ile delinen, donatılı zemin içinde betonlanmış kazıklardır. Bu tip kazıklar genellikle mevcut yapıların temel takviyesinde, eski yapılarda, köprüler ve yeni inşaat yapılarında kullanılmaktadırlar (URL10). Şekil 1.20’de fore kazık imalatı ve imalat sonrası durumu gösterilmiştir.



Şekil 1.20 Fore kazık imalatları

### 1.3.4 Enjeksiyon teknikleri

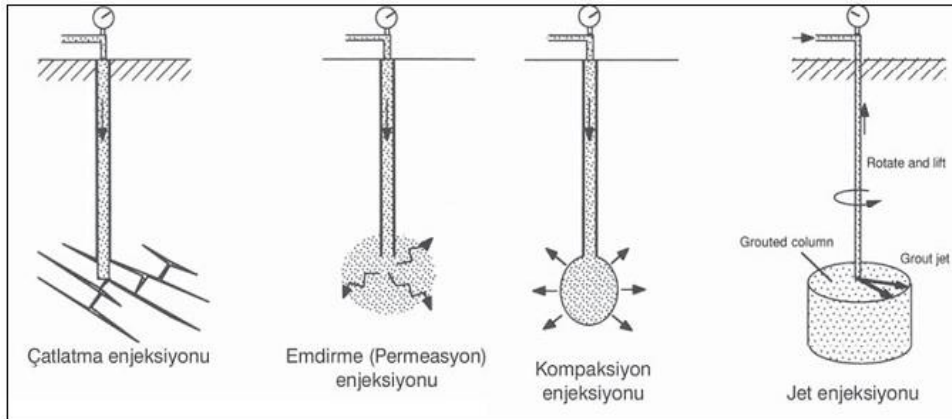
Akışkan malzemenin basınç altında iyileştirilmesi planlanan zemin içerisine aktarılması ve zemin içerisinde olan boşlukların enjeksiyon malzemesi ile doldurulması işlemine zemin enjeksiyonu denilmektedir. Yöntem ile beraber zeminin dayanım, geçirimsizlik vb. mekanik özelliklerini iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

Bu yöntemde dikkate alınması gereken önemli hususlardan biri kullanılacak olan enjeksiyon malzemesinin karşılaşılan zemin cinsine göre belirlenmesidir. Bununla beraber, farklı tip zeminler için farklı enjeksiyon parametrelerinde belirlenmesi gerekir. Örneğin zemin tipine göre enjeksiyon hızı, basıncı vb. parametrelerin uygulama öncesinde detaylı bir çalışma sonrasında belirlenmesi gerekmektedir.

Enjeksiyon yöntemleri;

- Permeasyon enjeksiyonu
- Kompaksiyon enjeksiyonu
- Çatlatma enjeksiyonu
- Jet enjeksiyonu

olarak gruplandırılır. Şekil 1.21’de enjeksiyon teknikleri gösterilmiştir.

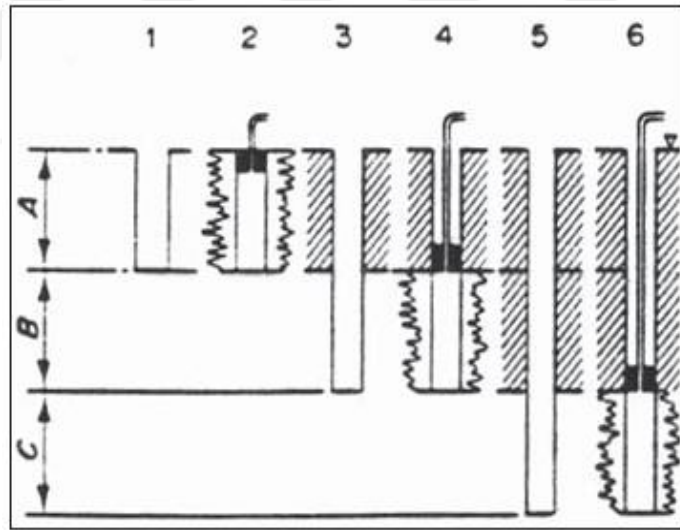


Şekil 1.21 Enjeksiyon teknikleri gösterimi

### 1.3.4.1 Permeasyon enjeksiyonu

Permeasyon enjeksiyonu ile zemin içerisinde yer alan boşluklar akışkanlık değeri düşük olan enjeksiyon malzemesi ile doldurulmaktadır. Bu yöntem düşük basınç altında yapılmakta olup, zeminde hacimsel ve yapısal bir değişiklik meydana getirmemektedir. Yöntemin amacı zemine ekjekte edilen malzemenin zaman içerisinde zeminde katılaşması ve zeminin mekanik-hidrolik parametrelerinin iyileştirilmesidir (Xanthakos, 1994).

Yüzeysel derinliklerde enjeksiyon işlemi tek aşamada yapılabilir. Bu durumda enjeksiyon kuyusu tasarım derinliğine kadar açılır ve enjeksiyon borusu yardımıyla yukarıya doğru enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Kademeli enjeksiyon işleminde ise enjeksiyon kuyusu belli bir derinliğe kadar açılır ve enjeksiyon yapılır. Enjeksiyon malzemesi sertleştikten sonra kuyu biraz daha derinleştirilir ve tekrar enjeksiyon yapılır. Şekil 1.22’de kademeli enjeksiyon işlemi gösterilmiştir.



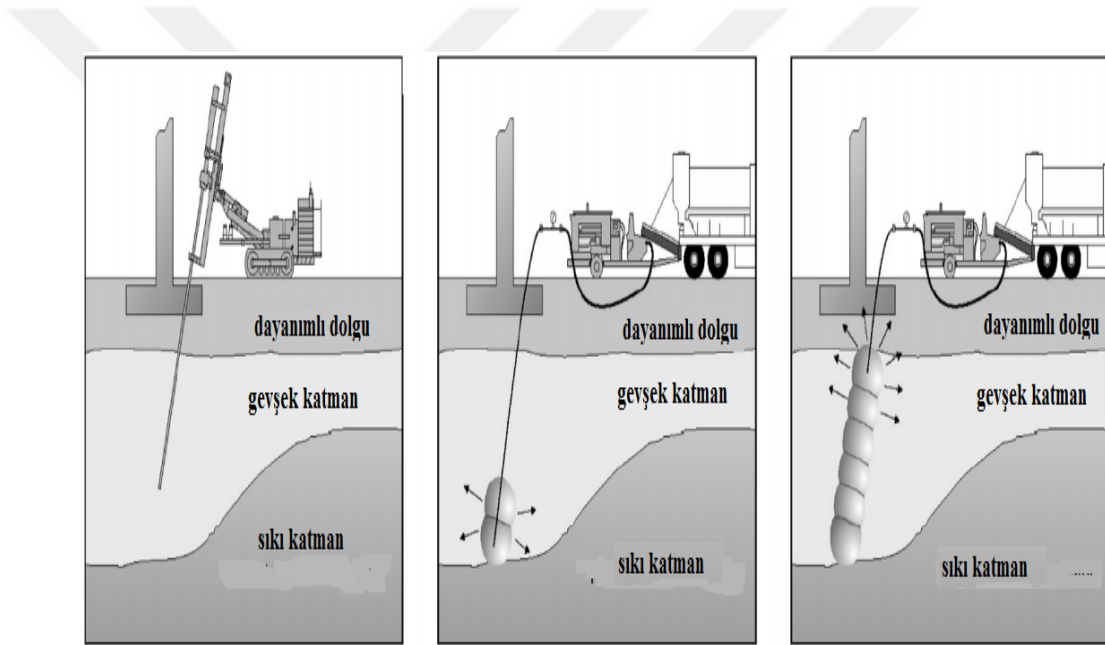
Şekil 1.22 Kademeli enjeksiyon işlemi (Bell, 1993)

### 1.3.4.2 Kompaksiyon enjeksiyonu

Bu yöntemde enjeksiyon malzemesi olarak kullanılacak malzemenin spesifik özelliklerde olması gerekmektedir. Kullanılacak malzemenin çökme değerinin 25 mm'den az olması, istenilen plastisiteyi sağlaması açısından teminen silt içermesi, bununla beraber içsel sürtünme açısını istenilen değere taşıması için de yeterli

miktarda kum içermesi gerekmektedir. Enjeksiyon malzemesi olarak silt-kum-çimento karışımı kullanılmaktadır. Bu yöntemde enjeksiyon malzemesi zemin boşluklarını doldurmak yerine enjeksiyon yapılan alan/noktada giderek büyüyen bir kütle oluşturmakta ve bu sayede uygulama noktası etrafında yer alan zemin sıkışarak mekanik özellikleri artırılmaktadır (Byle ve Borden, 1995).

Kompaksiyon enjeksiyonu yöntemi genellikle yumuşak zeminlerin sıkıştırılması, oturmaların kontrolü, farklı oturmaların meydana geldiği projelerin iyileştirilmesi/rehabilitate edilmesi ve mevcut temellerin alttan iyileştirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 1.23’de kompaksiyon enjeksiyonu uygulama aşamaları gösterilmiştir.

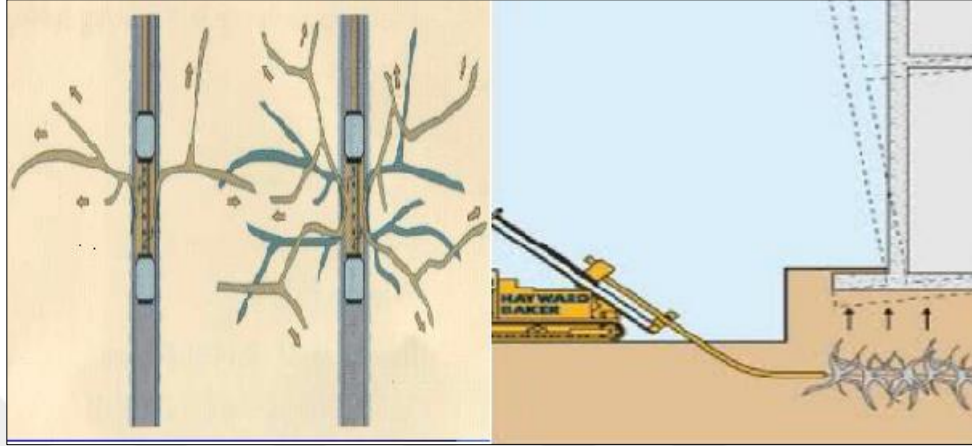


Şekil 1.23 Kompaksiyon enjeksiyonu

#### 1.3.4.3 Çatlatma enjeksiyonu

Yöntem genellikle permeasyon enjeksiyonunun uygulanamadığı geçirimsizliği düşük ince daneli zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu yöntemde zemin viskozitesi düşük olan özel karışım çimento malzemesi ile kontrollü bir biçimde yüksek basınç ile çatlatılmaktadır. Bu yöntem özellikle kazı ve tünel yapım çalışmaları sırasında oluşan zemin oturmalarını önlemek için kullanılmamış ve bu sayede gelişim göstermiştir (Gallevesi, 1992).

Yöntem ile zemin içinde Şekil 1.24’de gösterildiği gibi kılcal damar şeklinde sertleşmiş çimento kanalları meydana getirilmekte ve zemin kontrollü bir şekilde bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır. Şekil 1.24’de çatlatma enjeksiyonu gösterilmiştir.



**Şekil 1.24** Çatlatma enjeksiyonu

### 1.3.5 Geosentetikler

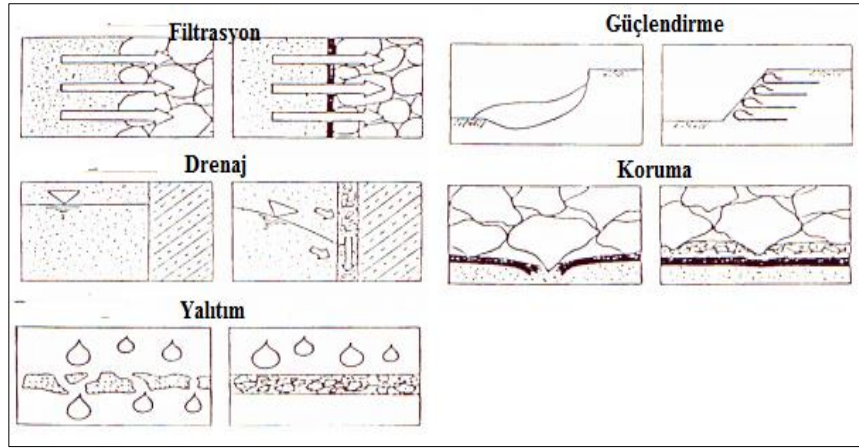
Plastik ve camyününden imal edilen geosentetikler zeminlerin stabilizasyonunda, zeminlerin taşıma gücünün artırılmasında, dolgu duvarlarda, şevlerde, ayırmada, erozyonun kontrol edilmesinde, yol temellerinde, izolasyon yapımında, eğimli arazilerde drenaj kontrolünde, köprülerin ayaklarında vb. bir çok alanda son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Uzuner, 2000a, 2000b; Liu, C., Evet and J.B., 2004).

Geotekstiller bir dizi fonksiyon yerine getirirler. Bunlar;

- Ayırma
- Filtrasyon
- Drenaj
- Güçlendirme
- Koruma
- Yalıtım (Yılmaz, H.R., ve Eskişar, T. 2007).

Bazı uygulamalarda tek bir fonksiyon hakim olabilir. Ancak, çoğu geotekstil uygulamasında amaç birden fazla fonksiyonun bir kombinasyonu şeklindedir.





Şekil 1.25 Geosentetik uygulama amaçları

### 1.3.5.1 Geotekstiller

Geotekstiller, tekstil veya dokuma kumaşlara benzemektedir. Örgülü (geçirimli dokuma) ve örgüsüz (geçirimsiz dokuma) tipleri vardır. Şekil 1.26'da örgülü ve örgüsüz olmak üzere geotekstil örnekleri gösterilmiştir. Örgülü tipi yüksek mukavemetlidir. Geotekstiller; ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıtım amaçları ile karayolları, demiryolları, drenler, spor sahaları, istinat duvarları ve bina drenajı, agrega depoları gölet ve barajlarda kullanılabilirler.

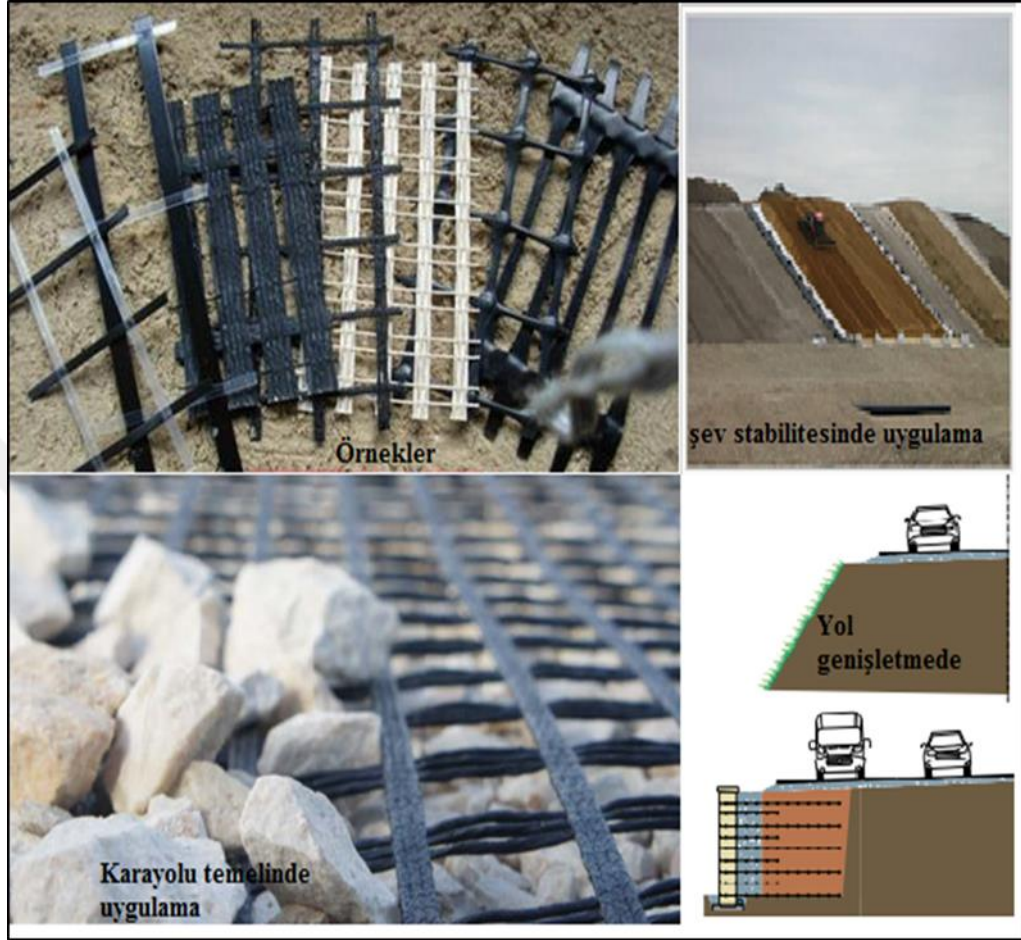


Şekil 1.26 Geotekstil örnekleri

### 1.3.5.2 Geogridler

Geogridler Şekil 1.27'de gösterildiği gibi kare şeklinde açıklıklı veya demet şeklindedir. Bu malzemeler yüksek mukavemetli polyester üzeri polimer kaplamalıdır. Geogrid malzemeler genellikle zemin güçlendirmesi ve istinat

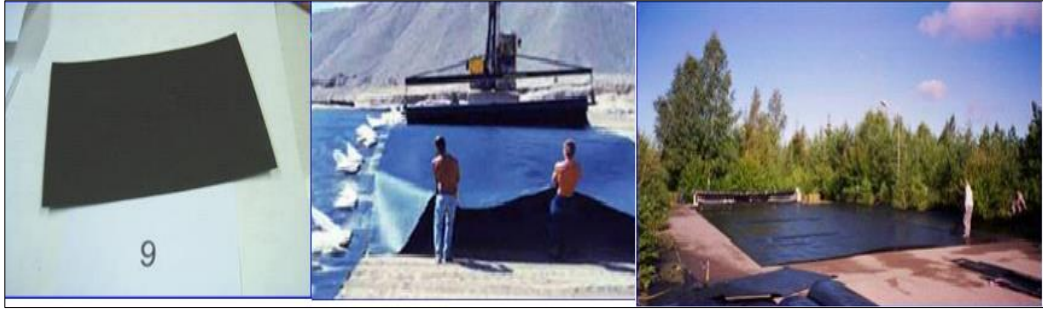
yapılarında kullanılmaktadır (URL12). Şekil 1.27’de geogrid örnekleri ve uygulamaya ait örnekler gösterilmiştir.



Şekil 1.27 Geogridler ve uygulama örnekleri

### 1.3.5.3 Geomembranlar

Geomembranlar sentetik olarak üretilen, sistem veya strüktürlerde sıvı hareketlerini kontrol edici olarak ilgili geoteknik materyallerle birlikte kullanılan çok düşük geçirgenlikte sentetik membran astar veya bariyerlerdir (Dalgın, 2006).



**Şekil 1.28** Geomembranlar

#### 1.3.5.4 Geokompozitler

Geokompozitler adından da anlaşılacağı üzere kompozit bir malzemedir. Bu malzeme, geotekstil ile geomembranların veya geogridler ile farklı drenaj levhalarının birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Şekil 1.29’da değişik geokompozit malzemeler gösterilmektedir. Bu malzemeler, ayırma, güçlendirme, filtreleme, drenaj vb. amaçlar için kullanılmaktadır. Proje özelinde ise atık toplama alanları, tüneller, liman dolguları, şev iyileştirmeleri, barajlar, ulaşım yapıları vb. alanlarda sıkça kullanılmaktadır (URL13).



**Şekil 1.29** Geokompozit örnekleri



**Tablo 1.2** Geosentetik tipleri ve uygulama amaçları (Yıldız, 2013)

Geosentetik Tipi	Ayırma	Filtrasyon	Drenaj	Güçlendirme	Yalıtım
Geotekstil	√	√	√	√	
Geogrid				√	
Geonet			√		
Geomembran					√
Geoboru			√		
Geokompozit	√	√	√	√	√

### 1.3.6 Katkı maddeleri ile stabilizasyon

Zeminin bazı fiziksel özelliklerini ıslah etmek amacıyla, farklı katkı bileşenlerini içeren karışımlar oluşturularak zemin içerisine enjekte edip zemin iyileştirilmesi yapılmaktadır. Oluşturulan bu karışımlar, istenilen zemin derinliğine kadar zemine enjekte edilirler ve bunlar kolonlar veya iyileştirilmiş malzeme panelleri oluşturacak şekilde büyük çaplı, tek veya çok eksenli burgular yardımıyla iyice karıştırılır (U.S. Army Corps of Engineers, 1999).

Katkı maddeleri ile stabilizasyonda hedef zeminin dayanımı arttırıp, sıkışabilirliğini ve geçirimsizliğini düşürerek zeminin mühendislik özelliklerini iyileştirmektedir. Çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kireç, çeşitli katkıları veya bunların birleşimleri bağlayıcı madde olarak kullanılmaktadır (U.S. Army Corps of Engineers, 1999).

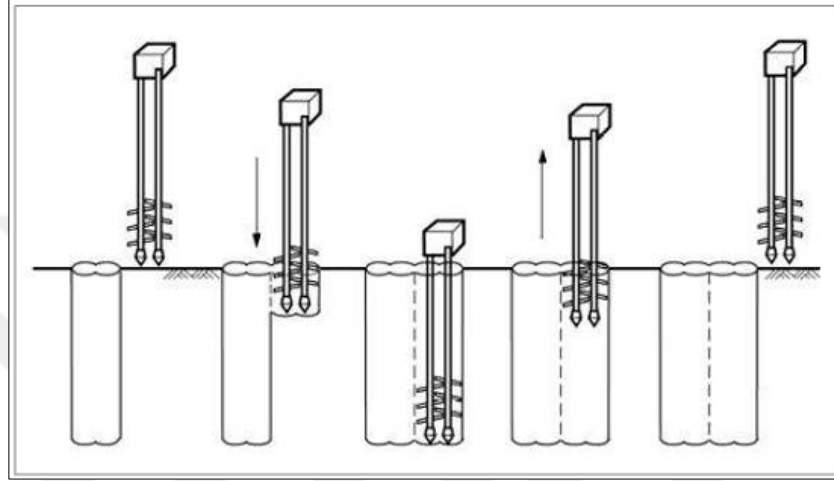
Katkı maddeleri ile stabilizasyon yöntemleri aşağıda verilmiştir.

- Kireç ile stabilizasyon
- Çimento ile stabilizasyon
- Bitüm ile stabilizasyon
- Uçucu kül ile stabilizasyon
- Diğer maddelerle stabilizasyon (Cüruf, atık çamur, granüler kauçuk)

Zemin ıslahında stabilizör seçimi yapılırken, karşılaşılan zeminin tipi, ıslahın amacı, zeminin hangi parametrelerin ıslah edilmesinin istendiği, ıslah yönteminin uygulama kolaylığı ve maliyeti gibi konuların göz önünde bulundurulması başarılı bir zemin ıslahı elde etmek için gereklidir.

Katkı maddeleri ile stabilizasyon imalat süreci üç safhaya ayrılabilir (Larsson, 2003). Şekil 1.30'da imalat aşamaları gösterilmiştir.

- Karıştırıcının gerekli derinliğe kadar girmesi
- Bağlayıcının dağılımı,
- Moleküler difüzyon.



Şekil 1.30 Katkı maddeleri ile stabilizasyon imalat aşamaları

### 1.3.7 Isıl işlemler (ısıtma - dondurma)

Zeminlerin ısı alış verişi ile özelliklerinin iyileştirilmesi eskiden beri kullanılan günümüzde de uygulama alanı bulan yöntemler arasında yer almaktadır. İnce daneli zeminlerde ısıtma ile yeraltı su seviyesinin altındaki zemin ve kayalarda ise dondurma yöntemleri ile zeminlerin mekanik ve mukavemet özelliklerinde önemli artışlar sağlanabilir. Bu tip uygulamaların ekonomik bedeli çok yüksek olup ancak özel uygulama koşulları gerektiren problemlerde kullanım alanları bulabilmektedir (Kaya, 2001).

Isıl işlemler ile iyileştirme yöntemleri;

- Isıtma ile stabilizasyon
- Dondurma ile stabilizasyon olmak üzere ikiye ayrılır.

Zeminin yüksek sıcaklıkta ısıtılması ile zeminin içerisinde bulunan su miktarı azaltılarak özellikle killi zeminlerde zeminin kayma dayanımı ile deformasyon modülü iyileştirilmektedir. Burada zemin, ısıtma yöntemi ile iyileştirilmektedir. Killer 900 C° ye kadar ısıtıldığında faz değiştirip klinkere dönüşürler. Bunun yanında daha düşük sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında ise yaklaşık 400-600 C° lerde ise silikatlaşır.

Dondurma ile stabilizasyon yönteminde amaç, zemin içindeki suyun dondurulması suretiyle geçici olarak zeminin kayma mukavemetini ve deformasyon modülünü arttırmaktır. Böylece daha büyük dayanıma sahip geçirimsiz bir zemin elde edilir. Kısa süreli zemin iyileştirmesi gereken yerler için bu yöntem ideal bir yöntemdir. Dondurma yöntemi hemen hemen tüm zeminler için uygulanabilir. Zeminin dondurulması için iç içe geçen iki borudan oluşan bir dondurma borusu kullanılır. Soğuk taşıyıcı akışkan iç borudan gönderilerek dış borudan geri alınır. İç boru ile dış boru arasındaki dolaşım sonucu dondurma borusu etrafındaki zemin dondurulur.

Başarılı bir dondurma işlemi ile kazının güvenlik altına alınması kısa süre için yeterli sayılabilir. Şekil 1.31’de dondurma işlemi ile zemin ıslahı yapılmış tünel shaftı ve bir şevin kontrol edilmesi gösterilmiştir.



**Şekil 1.31** Tünel shaftı ve zorlu bir şevin kontrolünde zeminin dondurulması

Zeminler inşaat malzemesi olarak veya inşaat projelerinin üst yapı yüklerini taşıyan yapılar olarak inşaat projelerinde karşımıza çıkmaktadır. İnşaat projeleri gerçekleştirilirken karşılaşılan zeminler her zaman istenilen özelliklerde olmamaktadır. Bununla beraber sorun teşkil eden zeminlerin tamamen ortadan kaldırılması veya projenin uygulama yerinin değiştirilmesi çoğu zaman uygulanabilir

ve ekonomik olmamaktadır. Bu sebeple mevcut teknoloji ve imkanlar dairesi içerisinde uygun bir iyileştirme yöntemi ile sorun teşkil eden zeminler ıslah edilmektedir.

Zemin iyileştirilmesi öncesinde arazi şartları ile zeminin mühendislik özelliklerinin incelenmesi ve bunların göz önüne alınması gerekmektedir. Bu parametreler iyileştirme yönteminin seçiminde önem arz etmektedir. Problemlili zemin özelliklerinin ıslah edilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlar ana gruplar halinde fiziksel ve kimyasal yöntemler ile mekanik ve hidrolik yöntemlerdir. Bu yöntemler ile zeminin mühendislik özellikleri iyileştirilerek kayma dayanımı, taşıma gücü artırılmakta, zemin oturmaları, geçirgenlik vb. özellikler ise azaltılmaktadır (Yıldırım, 2002). Bu bölümde detaylı olarak bahsedildiği gibi zemin cinsine ve problemin çeşidine göre farklı zemin ıslah yöntemleri bulunmaktadır. Her ıslah yönteminin uygulanabildiği zemin çeşitleri ve bu ıslah yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Islah yöntemleri uygulanabilirlik, maliyet, zaman vb. faktörler açısından, ıslah işleminden önce göz önüne alınarak, zemin iyileştirme yönteminin seçilmesi gerekmektedir (Ertürk, 2012).

Zemin iyileştirme yöntemi seçimi için literatürde bazı çizelgeler ve tablolar geliştirilmiştir. Burada kısaca bazı tablolar ve çizelgelere değinilerek, yöntem seçiminde bu parametrelerin göz önüne alınması ve kullanılacak ıslah metodunun seçimi için bir öngörü oluşturması amaçlanmıştır.

**Tablo 1.3** Amacına göre stabilizasyon metodları (Tunç, A. 2001, Tunç, A. 2002)

Amaç	Zemin Cinsi	Stabilizasyon Metodu
Yük taşıma ve de formasyon direncini arttırmak	İnce granüler	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Kaba granüler	Asfalt, çimento, mekanik karıştırma, kompaksiyon
	Düşük PI killer	Kompaksiyon, çimento, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Don duyarlılığını azaltmak	İnce granüler	Çimento, asfalt, uçucu kül
	Düşük PI killer	Çimento, kireç
Su geçirimsizliği	Düşük PI killer	Çimento, asfalt, kireç
Kabarma-büzülme kontrolü (hacim stabilitesi)	Düşük PI killer	Çimento, kompaksiyon, kireç
	Yüksek PI killer	Kireç
Esnekliği azaltmak	Yüksek PI killer	Kireç
	Elastik kil veya şiltler	Çimento

**Tablo 1.4** Zemin cinsine göre stabilizasyon metodları (Tunç, 2001, 2002)

Zemin bileşiği	Tavsiye edilen stabilizasyon	Amaç
Organik madde	Mekanik stabilizasyon	Diğer metodlar etkisizdir.
Kum	Mekanik stabilizasyon çimento asfalt	İnce plastik olmayan malzeme karıştırılarak stabiliteyi arttırmak Mukavemeti arttırmak Kohezyon sağlamak
Silt	Mekanik veya kimyasal stabilizasyon	Zemin özelliklerini iyileştirmek
Killer; Alofenler Kaolin İllit Montmorillenit	Kireç veya kireç-uçucu kül karışımı Kum ile mekanik stab. Çimento Kireç Çimento Kireç Kireç	Mukavemeti aranmak Stabiliteyi arttırmak Kısa süreli mukavemeti arttırmak İzlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak Kısa süreli mukavemet artışı İşlenebilirlik ve uzun süreli mukavemeti arttırmak

Zeminlerin ıslahında farklı amaçlar için farklı stabilizasyon teknikleri kullanılmaktadır. Tablo 1.5’de zemin ıslah metodlarının farklı amaçlar için kullanımı özetlenmiştir.

**Tablo 1.5** Uygulanabilir stabilizasyon teknikleri (Tunç, 2002)

<b>Amaç</b>	<b>Stabilizasyon teknikleri</b>
Taşma gücü	Vibrokompaksiyon, taş kolon, dinamik kompaksiyon, patlatma, kireç/çimento kolonlar, enjeksiyon, kum/çakıl kompaksiyon kazığı, drenaj, kireç/çimento/bitüm stabilizasyonu
Ani otuma	Vibrokompaksiyon, dinamik kompaksiyon, patlatma, enjeksiyon, kireç/çimento kolon, kum/çakıl kolon, taş kolon
Konsolidasyon	Önyükeme, kum dren, enjeksiyon, taş kolon, kireç/çimento kolon
Konsolidasyon oturmasının hızlanması	Kum dren, önyükeme, kum/çakıl kompaksiyon kazığı
Şev stabilitesi	Payanda dolgusu, drenaj, enjeksiyon, zemin çivisi, taş kolon, kum/çakıl kolon

**Tablo 1.6** Amaçlarına göre zemin iyileştirme yöntemleri (Koçbay, 2013)

<b>Amaç</b>	<b>Uygulanabilecek Yöntem</b>
Sıvılaşmaya karşı direnci artırmak, zemin hareketlerini azaltmak.	Titreşimli sondalama, taş kolon, derin dinamik kompaksiyon, kum drenler, penetrasyon ve kompaksiyon enjeksiyonu, jet grouting
Farklı oturmaya maruz kalacak binayı stabil hale getirmek.	Penetrasyon ve kompaksiyon enjeksiyonu, jet grouting, mini kazık
Ani oturmayı azaltmak.	Jet grouting, dinamik kompaksiyon, titreşimli sondalama, kompaksiyon enjeksiyonu, derin karıştırma
Konsolidasyon oturmasını azaltmak.	Ön konsolidasyon, jet grouting, taş kolon, kompaksiyon enjeksiyonu, derin karıştırma
Yamaç stabilitesi	Kum drenler, jet grouting, penetrasyon ve kompaksiyon enjeksiyonu
Şişen zeminlerin iyileştirilmesi.	Kireç ve çimento ile stabilizasyon, şişen zeminin kaldırılması
Çöken zeminlerin iyileştirilmesi.	Derin dinamik kompaksiyon, vibro-kompaksiyon, enjeksiyon.

**Tablo 1.7** Bazı zemin iyileştirme yöntemleri için pratik maliyet hesaplama tablosu (Ertürk, 2012)

Pratik Maliyet Hesaplama Tablosu/ Saatlik Makine Giderleri							
Şantiyeler/Gider Kalemleri	Amortisman Gideri	Faiz,Sigorta, Vergi. Depolama Gideri	Yakıt Gideri	Tamir+Yedek Parça Gideri	Bakım Gideri	Operatör Gideri	Toplam gider
Sondaj Şantiyeleri	4.7 €/sa	2.6 €/sa	5.1€/sa	1.7 €/sa	1.8 €/sa	7.1 €/sa	23 €/sa
Fore Kazık Şantiyeleri	33.0 €/sa	15,4 €/sa	37.7 €/sa	11,1 €/sa	9.4 €/sa	10.5 €/sa	117 €/sa
Jet Grout Şantiyeleri	11.6 €/sa	6.7 €/sa	44.2 €/sa	5.1€/sa	4.2 €/sa	13.1 €/sa	85 €/sa
Mini Kazık Şantiyeleri	7.8 €/sa	4.0 €/sa	38,4 €/sa	3.0 €/sa	3.2 €/sa	7.6 €/sa	64€/sa
Enjeksiyon Şantiyeleri	8.2 €/ta	3.4 €/sa	6.0 €/sa	0.8 €/sa	2.2 €/sa	6.8 €/sa	27 €/sa
Taş Kolon Şantiyeleri	24.6 €/sa	16.8 €/sa	43,2 €/sa	5.5€/sa	7.4 €/sa	10,9 €/sa	108 €/sa

## 1.4 Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi

### 1.4.1 Teknolojik ilerleme

Teknolojik ilerleme zemin iyileştirme ve ıslah çalışmalarında yeni yöntemler kullanılmaya başlanmıştır. Zemin iyileştirme yöntemlerinden zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması ile ilgili en yaygın kullanım alanı bulan yöntemlerin başında jet grout yöntemi gelmektedir.

Su gücünün aşındırma etkisinden faydalanılarak zemin kazılarının yapılması orta çağda başlamış olup daha çok madencilik sektöründe uygulama alanı bulmuştur. Jet grout tekniğinin patenti kabul edilebilecek uygulamalar ise 1950’lerde İngiltere’de yapılmıştır. Bu yöntem pratikte 1965’den itibaren Japonya’da “Yamakado Kardeşler” tarafından geliştirilmiştir (Doğanışık, 2010).

Bu teknolojinin ilk uygulamalarında, kimyasal enjeksiyon yapılarak, iyileştirilmemiş veya kısmen iyileştirilmiş zeminlerin su jeti etkisiyle parçalanması amaçlanmıştır. Daha sonra parçalanan zemin bölgelerine çimento bazlı kimyasal karışımlar gönderilerek geçirimsiz bölgeler oluşturulmuştur. Bunların yanı sıra jet grout yöntemi ince sızdırmazlık perdelerinin oluşturulmasında da kullanılmıştır (Moseley ve Kirsch, 2004).

1970'li yılların başlarına kadar yapılan panelli jet grout sisteminin yeterli kalınlıklarda olmaması ve kırılma dayanımların oldukça düşük çıkması sonucu Japonya'da rotasyonlu jet grout sistemi ortaya çıkarılmıştır (Moseley ve Kirsch, 2004).

Nakanishi tarafından geliştirilen jet grout tekniğinde, kimyasal ve çimento karışımları kullanılmış olup bir delgi tijinin en altında bulunan 1,2-2,0 mm çaplı enjeksiyon uçlarından çok yüksek basınçla enjekte edilmektedirler. Karışım enjeksiyonu sırasında, tijin kendi etrafında döndürülmesi ve yukarı çekilmesi ile kazık benzeri zemin – çimento karışımı kolonlar oluşturulmuştur.

Jet grout tekniklerinden bir diğeri ise 1970 yılında Japonya'da diyafram duvar oluşturulmak amacı ile geliştirilmiştir. Bu yöntemin en belirgin özelliği zemini kesme, koparma ve sıkıştırma işlemleri için üç farklı akışkanın (su, hava, çimento şerbeti) kullanıldığı üçlü jet sisteminin uygulanmasıdır (Doğanışık, 2010).

Ülkemizde jet grout yönteminin ilk olarak 1986 yılında Ayvansaray Tünel aynasının zemin ıslahında kullanılmış, ardından 1988 yılında İSKİ Atıksu Derin Tünelleri projesinde kullanılmış ve daha sonraları da yüksek kapasiteli ekipmanların devreye girmesiyle kullanımı hızla yaygınlaşmıştır (Çınar ve Akkaya, 1994).

Günümüzde ise gelişen teknoloji ile enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızı arttırılmış, insan gücü ihtiyacı azalmış, hazırlık çalışmaları ve yapım aşaması süreler minimize edilmiş çok daha güvenilir ekipmanlarla jet grout yöntemi uygulamaları dünyanın birçok ülkesinde ve yurdumuzda yaygın olarak kullanılmaktadır (Küçükali, 2008).

#### **1.4.2 Çalışma sahasının hazırlanması**

İnşaat sahası ve yolları personelin verimli çalışması ve günlük planlanan imalatın yapılabilmesi ve imalat kalitesine ulaşılabilmesi için devamlı olarak bakımlı, kuru ve temiz tutulmalıdır. Delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve benzeri ağır iş makineleri zemine batmadan çalışmalarına imkan sağlayacak biçimde düzeltilmelidir. Jet grout yapılacak alanın dolgusu delme işlemini zorlaştırmayacak uygun malzeme ile yapılmalıdır. Çalışma sahasında uygun düzey drenaj sistemi yapılarak alanın kuru kalması sağlanmalıdır. Forajdan çıkan malzeme ve yeraltı suyu



sürekli olarak sahadan uzaklaştırılarak çalışma sahasının bozulmamasına ve temiz kalmasına özen gösterilmelidir (URL14).

### **1.4.3 Zemin ve çevre bilgileri**

Uygulama projeleri ve jet enjeksiyonu iyileştirme yöntemi elde edilen zemin raporlarına göre belirtilmelidir. Gerekirse yerinde deneme kolonları yapılarak zemin hakkında edinilecek bilgiye göre projelendirme yapılmalıdır. Jet enjeksiyonu yapılacak çalışma sahasında, yer altında veya yer üstünde zorlaştırılacak veya engel olacak (beton, çelik, alt yapı kanalları v.b) durumlar var ise önceden tespit edilmeli ve kaldırılmalıdır (Tachir, 2015).

### **1.4.4 Jet grout yönteminin uygulama amacı**

Jet grout yönteminin uygulama amaçları

- Aşırı oturmaları önlemek için boşlukları doldurma,
- Yapıların büyütülmesi halinde zeminin emniyet gerilmesini arttırmak,
- Yer altı suyu akımını kontrol altına almak,
- Zemin oturmasını önlemek,
- Tünel kazıları sırasında yer değiştirmelerini kontrol etmek,
- İksa ile ilgili problemlerini çözmek amacı için zemin güçlendirmesi,
- Sıvılaşmaya karşı gevşek zeminleri güçlendirme,
- Temellerin alttan desteklenmesi,
- Şevlerin stabilizasyonu,
- Şişen zeminlerin stabilizasyonu şeklinde sıralanabilir (Bakım, 2007).

### **1.4.5 Jet grout uygulama alanları**

Jet grout uygulamaları farklı mühendislik problemlerinin çözümünde farklı amaçlar için kullanılmaktadır.

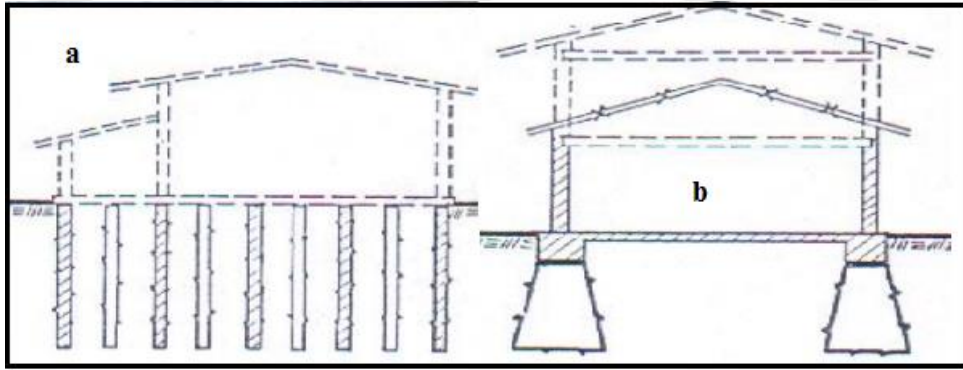
Altun (2010), jet grout uygulamalarını aşağıdaki gibi kategorize etmiştir.

- Temel takviyesi,
- Kazı yüzeylerin desteklenmesi,

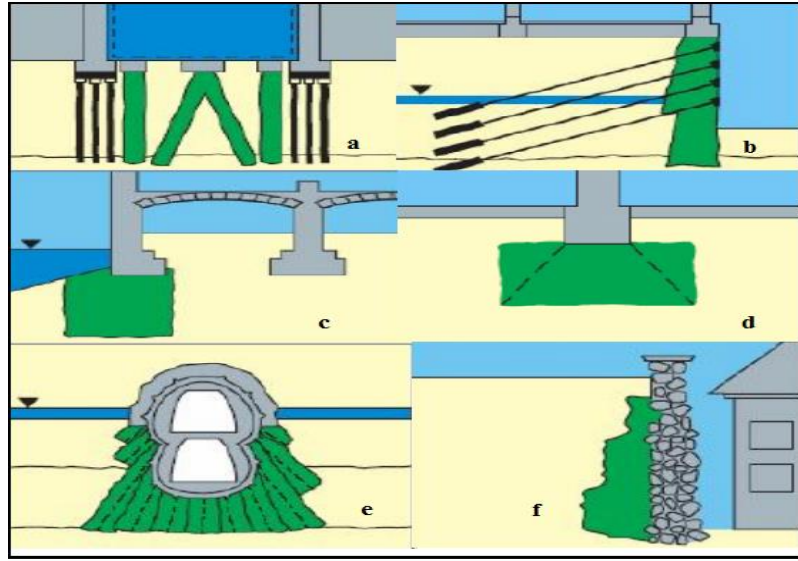
- Zemin iyileştirmesi,
- Tünel inşaatlarında tünel aynasının ve tünel tavanının desteklenmesi,
- Kazı çukurlarına gelen yer altı sularının azaltılması,
- Şev ve heyelan stabilizasyonu,
- Geçirimsizlik perdeleri,
- Atık sahalarda geçirimsizliğin sağlanması,
- Hacim değişimi gösteren zeminlerde şişme ve büzülmenin azaltılması

Farklı mühendislik problemlerinin çözümünde kullanılan jet grout uygulama alanları ve uygulama amaçları aşağıda sıralanmıştır (Çınar, 2014).

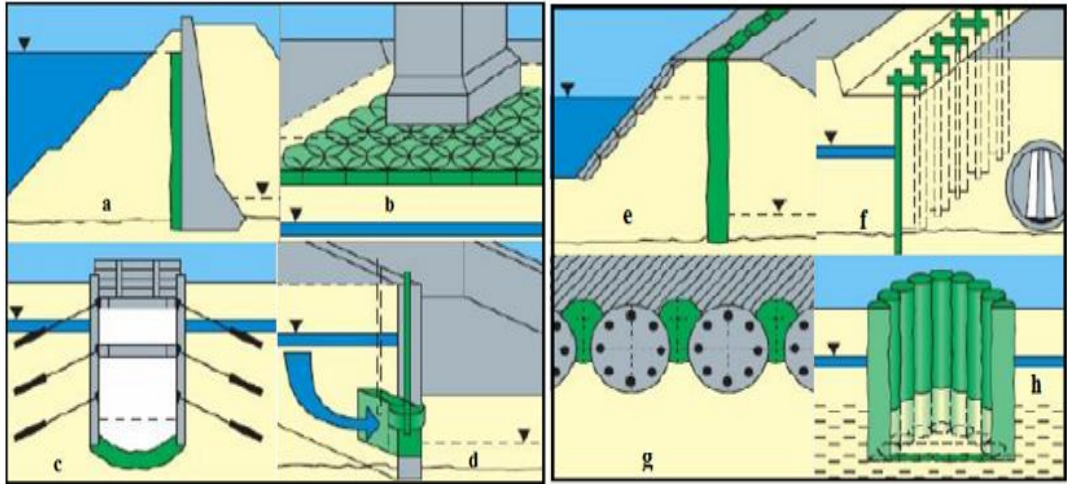
Zeminlerin İyileştirilmesi; Şekil 1.32; taşıma gücü (a), oturma (b), sıvılaşma, Yapı Yüklerinin Taşıtılması; Şekil 1.33; derin temeller (a), mevcut temellerin iyileştirilmesi (b),(c),(d), yapıların güçlendirilmesi (e),(f), Su ile ilgili Problemlerde; Şekil 1.34; geçirimsizlik perdesi (a),(b),(c),(d), diyafram duvar (e), kazıklar ve perde arası(f),(g), batardo (h), Yatay Uygulamalar; Şekil 1.35; tünel üst cidarlarının desteklenmesi (a),(b), şev stabilizasyonu (c).



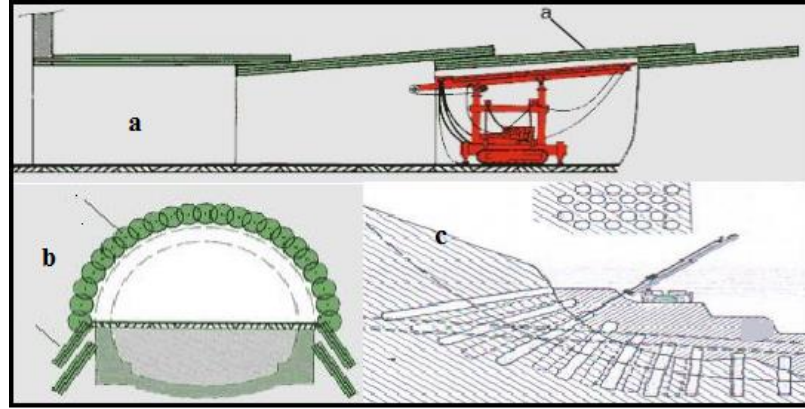
**Şekil 1.32** Zeminlerin iyileştirilmesi



Şekil 1.33 Yapı yüklerinin taşınması (URL15)



Şekil 1.34 Su ile ilgili problemlerde (URL15)



Şekil 1.35 Yatay uygulamalar (URL15)

#### 1.4.6 Jet grout yönteminin avantajları ve dezavantajları

Jet grout yönteminin avantaj ve dezavantajları şöyle sıranabilir: (Altun, 2010; Toprak, 2005).

##### Avantajlar:

- Klasik enjeksiyon yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomiktir.
- Genellikle tüm zemin tiplerinde uygulanabilir.
- Basınçlı püskürtme sadece kendi yarıçapına etki ettiğinden yandaki yapılara zarar vermez.
- Makinenin esnekliğinden dolayı farklı geometride enjeksiyonlar yapılabilir.
- Yatay eğilimli ve düşey yönde uygulaması uygundur.
- Ekipman boyutları sayesinde dar ve sıkışık ortamlarda rahatlıkla çalışabilmektedir.
- Enjeksiyon istenilen derinlikten başlanabilir ve istenilen derinlikte son verilebilir
- Titreşim meydana getirmediğinden mevcut yapıların yakınlarında uygulanabilir.
- Arazi şartlarına bağlı olmakla birlikte inşaat süresi %30 ila %60 civarında kısalmaktadır.
- Jet grout yöntemi ile ıslah edilen hacim, bitişindeki işlem görmemiş zeminin özelliklerini de iyileştirmektedir. Jet grout yönteminin bu etkisi

sayesinde, ıslah edilmemiş zeminin SPT değerleri doğal zemininkine göre %20-25 civarında yükselmektedir (Melegary ve Garassino, 1997).

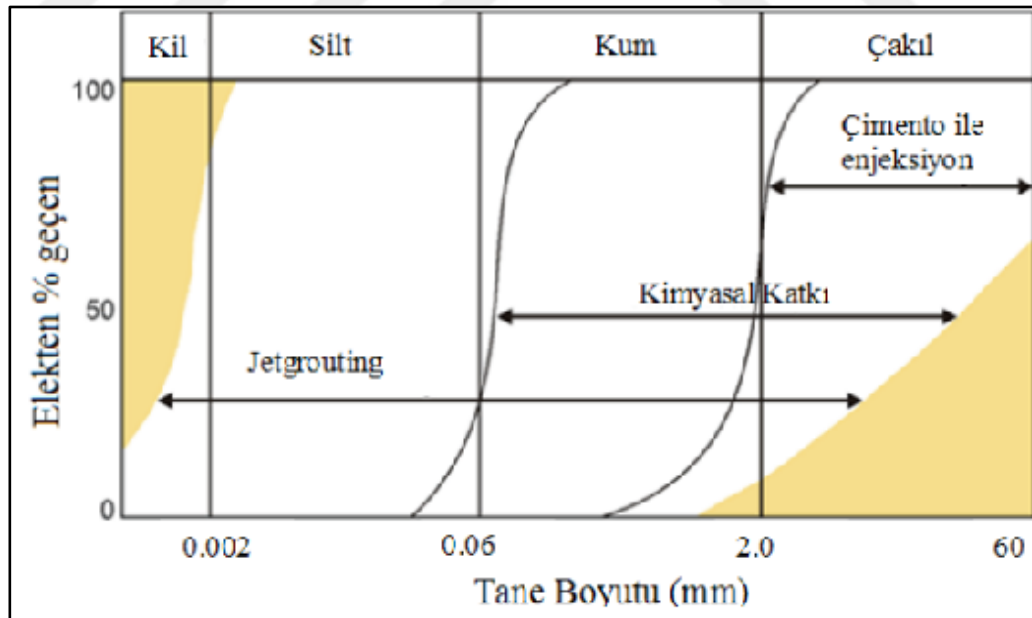
- Uygulanacak yöntemin geometrisi ve boyutları daha önceden belli olduğundan malzeme miktarları ve maliyet önceden yaklaşık olarak belirlenebilir.

#### Dezavantajlar:

- Yöntem hala gelişme aşamasındadır.
- Yöntemin yeni olması nedeniyle tasarımda yararlanılacak kurallar henüz kesinleşmemiştir.
- Zemin içerisinde oluşacak kolonu belirlemek zordur. Bundan dolayı dikkatli bir şekilde yapılması gerekir ve bazı kontrol testleri yapılması gerekir.

#### **1.4.7 Jet grout yönteminin tasarım esasları**

Jet grout yöntemi yumuşak, ince daneli, gevşek, kaba daneli, organik ve turba zemin uygulamalarında çok iyi sonuç vermektedir. Jet grout yöntemlerinin uygulanabildiği zemin aralıkları Şekil 1.36'da verilmiştir.



**Şekil 1.36** Zemin türüne göre uygulanabilecek iyileştirme yöntemleri

Zemin iyileştirme projesine başlamadan önce;

- Zemin hakkında ulaşılabilecek tüm bilgiler elde edilmelidir.

- Üst yapının ne amaçla yapılacağı ve zemine aktarılacak yükler bilinmelidir.
- Taşıtılacak yüke ve zemin özelliklerine göre jet grout kolonlara gelen yükler hesaplanmalıdır.
- Uygulamada kullanılacak jet grout kolon boyu, çapı ve sayısı belirlenmelidir.

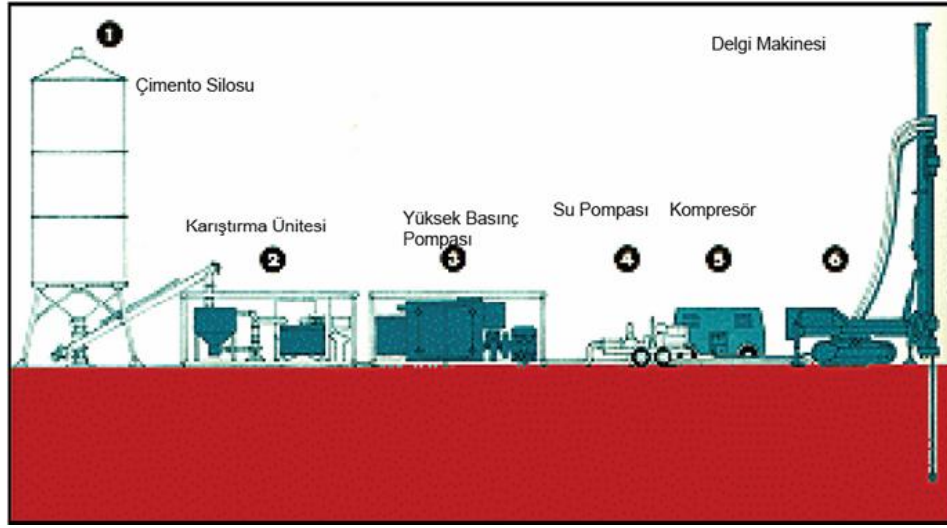
Jet grout yöntemi yük taşıyıcı eleman veya zemin iyileştirilmesi olarak tasarlanmasında aşağıdaki özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir;

- Enjeksiyon özellikleri
- Kolon ölçüleri
- Uygulanacak jet sistemi
- Zemin cinsi ve parametreleri
- Üst yapının temel sistemine göre jet kolonlarının yerleşimi

Jet grout yönteminde jet kolonları yük taşıyıcı eleman olarak projelendirilmişse üzerine gelen tüm yükü rijit kolonlar güvenli şekilde geçirimsiz tabakalara aktarır. Bu yöntemde jet kolonlar sağlam zemine saplanarak üst yapıdan gelen yükleri aktarırlar. Fakat rijit kolonlar sağlam zemine ulaşamayan yani geçirimsiz tabakaya saplanamıyorsa, üzerine gelen yükün bir kısmını kendi taşır kalan kısmını ise sağlam olmayan zemine aktarır, zemin taşır. Oturmalar için ise bu iki durum farklılık gösterir.

#### **1.4.8 Jet grout yönteminin makine ve ekipmanları**

Çalışma sahasının jet grout makine ekipmanların çalışmasına uygun olması gerekmektedir. Çalışma alanı uygun değil ise yaklaşık 10 cm lik tesviye betonu atılması çalışmanın daha rahat ve güvenli olması için gerekebilir. Jet grout uygulaması için proje şartlarını karşılayacak delgi makinesi, yüksek basınçlı pompa ünitesi, karıştırma ünitesi, çimento silosu, su deposu ve pompası, kompresörden oluşan ekipmanlardan oluşan düzen kurulur ve çalıştırılır (Şekil 1.37).



**Şekil 1.37** Jet grout makine ve ekipmanları (Sağlamer, 2006)

Jet kolon imalatlarını yapabilmek için kullanılacak ekipmanların yeterli güçte, kapasitede ve özellikle olması gerekmektedir.

#### 1.4.9 Jet grout yönteminin çalışma parametreleri

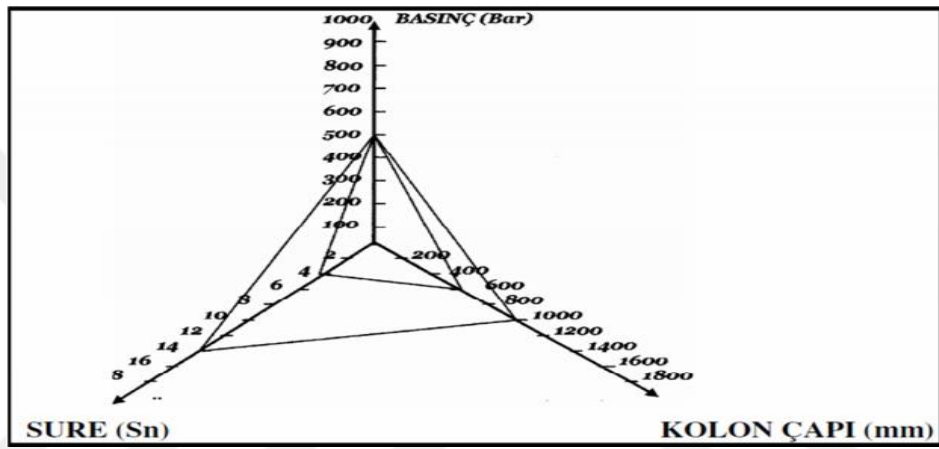
Jet grout yönteminin çalışma parametrelerini, zeminin cinsi, kolon çapı, kolon taşıma kapasitesi, uygulanan jet grout tekniği v.b faktörler etkileyebilir (Toprak, 2005). Jet grout kolonlarının yapımına geçmeden önce çeşitli imalat parametreleri kullanılarak test kolonları yapılmalıdır. Test kolon çaplarını, sürekliliğini ve hangi parametrelerinin ekonomik yönden daha iyi olduğuna karar verilip öyle seçilmelidir.

**Tablo 1.8** Jet grout yöntemi imalat parametreleri (Lunardi, 1977)

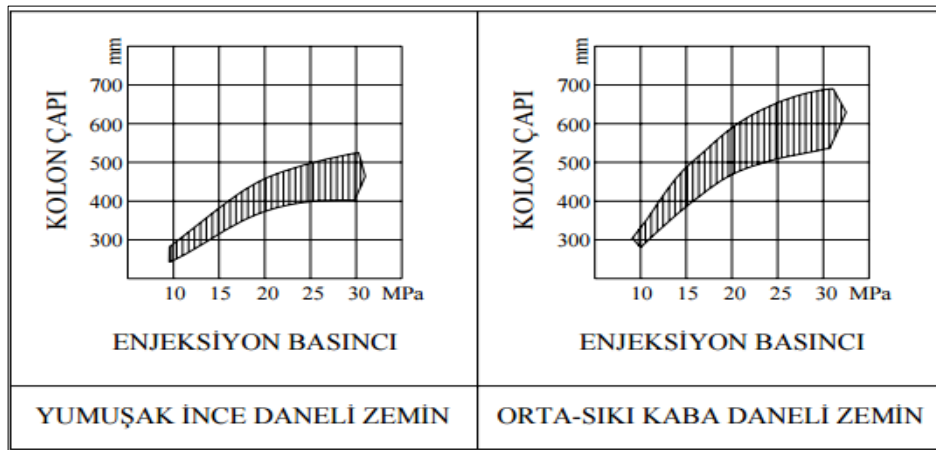
SİSTEM	ENJEKSİYON TİPİ	BASINÇ	NOZUL ADEDİ VE ÇAPI	ÇEKME HIZI	DÖNME HIZI	SU/ÇİMENTO ORANI	POMPA KAPASİTESİ
JET 1	ÇİMENTO	400 - 550	1-2 X 2-5	15 - 100	5 - 15	1.0 - 1.5	70 - 600
JET 2	ÇİMENTO	400 - 550	1-2 X 2-5	10 - 30	4 - 8	1.0 - 1.5	70 - 600
	HAVA	10 - 12	-	10 - 30	-	-	4000 - 10 000
JET 3	ÇİMENTO	50 - 100	1-2 X 4-5	6 - 15	4 - 8	1.2 - 1.5	80 - 200
	HAVA	10 - 12	-	6 - 15	-	-	4000 - 10 000
	SU			6 - 15	-	-	40 - 100

### 1.4.9.1 Enjeksiyon basıncı

Enjeksiyon basıncı, istenilen kolon çapının elde edilmesinde uygulanacak en temel faktör olup, basınç ile kolon çapı genellikle doğru orantılıdır. Basınç, bekleme süresi ve kolon çapı arasındaki ilişki Şekil 1.38’de ve Şekil 1.39’da verilmiştir. Şekil 1.39’da görüldüğü gibi basınç ile jet grout kolonu çapı arasında direk bir bağlantı vardır. Basınç arttırıldığı zaman jet grout kolon çapı da büyür. Elde etmek istediğimiz kolonun çapı aynı zamanda zaman faktörüne de bağlıdır, zaman geçtikçe daha homojen bir şekil alır. (Çınar ve Akkaya, 1994).



Şekil 1.38 Basınç kademeli bekleme süresi hedeflenen kolon çapı ilişkileri (Melegari ve Garassino, 1997)



Şekil 1.39 Jet grout kolonu ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki (Xanthakos vd, 1994)



### 1.4.9.2 Dönme ve çekme hızı

Dönme ve çekme, jet grout işlemi esnasında delgi ve enjeksiyonda kullanılan tijlerin kendi eksenini etrafında dönmelerini ve belli bir hızla dönme ile eş zamanlı olarak yukarı çekilmelerini ifade etmektedir. Bu hızların zemin ile bağlayıcı madde olan jet grout kolonu homojen bir karışım oluşturması için belli hızdan yüksek hızla dönmemesi ve kolonun sürekliliğinin sağlanabilmesi için belli hız aralığının dışında yukarı çekilmemesi gerekmektedir (Akan, 2013).

Dönüş hızı genellikle 10-20 dvr/dk değerleri arasında değişmekte, bazı özel durumlarda ise 30 dvr/dk ya kadar çıkabilmektedir. Tijin çekim hızı ile kolon çapı arasındaki bağlantı Şekil 1.40'de gösterilmiştir.

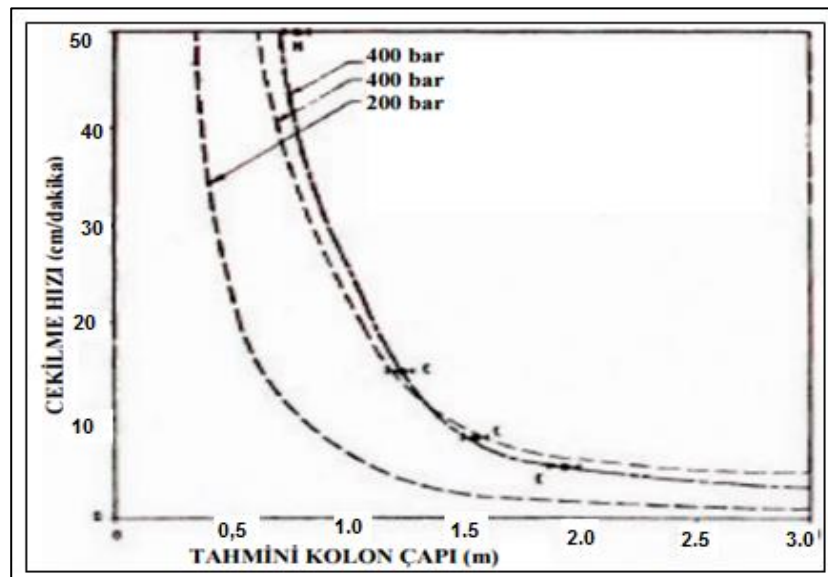
Çekme hızı hesaplanırken, birim hacime gelen grout miktarı ve zeminin özellikleri göz önünde bulundurulur.

Kolon çapındaki artış tijin çekilme hızı ve basıncın artırılması ile sağlanır. Şekil 1.42'de iyileştirilen hacim ile çekilme hızı arasındaki ilişki gösterilmektedir.

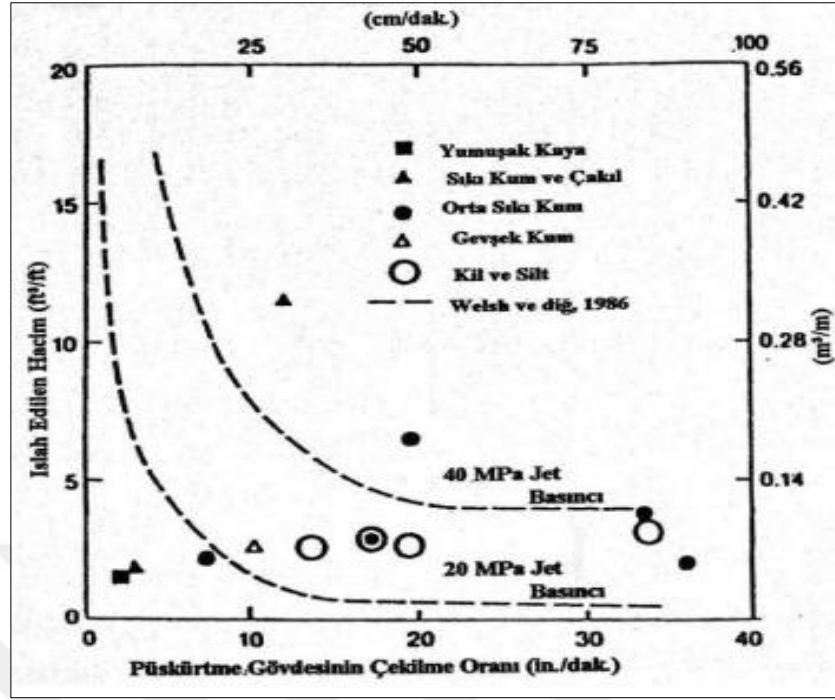
Zemin özellikleri ile çekme hızı ilişkisi aşağıdaki gibidir.

- Gevşek kum, çakıl içeren zeminlerde :5 sn/4 cm
- Orta sıklıkta çakıl içeren zeminlerde :12-17 sn/4 cm
- Siltli zeminlerde :18-120 sn/ 4 cm

Dönme ve çekme hızı optimizasyonu ıslah edilecek zeminin özellikleri ve iyileştirmede kullanılan jet grouting metodundan oldukça etkilenmektedir.



Şekil 1.40 Tahmini kolon çapı ile tijin çekim hızı arasındaki ilişki



Şekil 1.41 Püskürtme gövdesinin çekilme hızının ıslah edilen hacme etkisi (Xanthakos vd., 1994)

### 1.4.9.3 Nozullar

Uygulamada yapılacak nozul sayıları seçilen jet tekniğine göre değişir. Bu nedenle nozullar jet enjeksiyon yönteminin verimliliğini etkiler. Şekil 1.42’de görüldüğü gibi jet tekniğine göre nozul sayısı değişmektedir.



Şekil 1.42 Nozul

Nozullar enjeksiyon basıncı, enjeksiyon harcının debisi, enjeksiyon enerjisi arasındaki bağlantıyı sağlar. Enjeksiyon debisinin yayılma süresi nozul çapı küçüldükçe artmaktadır. Bu ilişki Tablo 1.9'da gösterilmiştir.

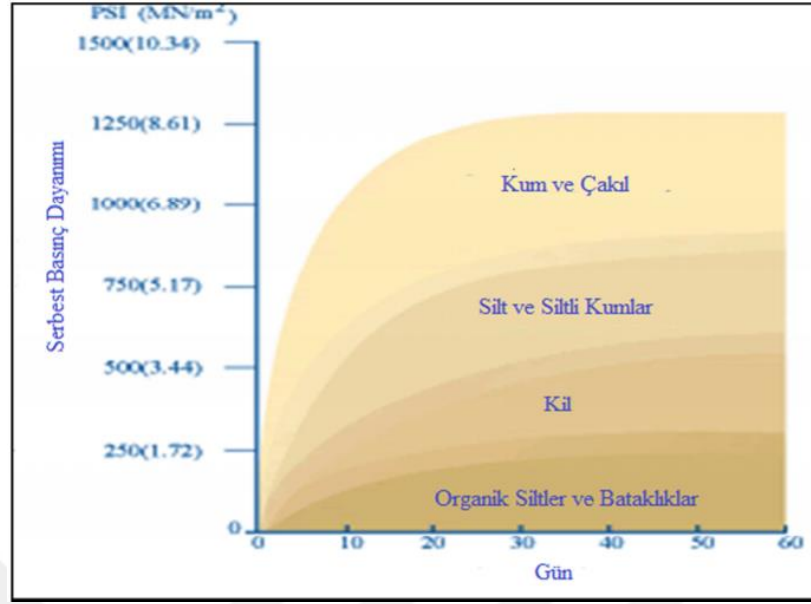
**Tablo 1.9** Enjeksiyon debisi ve nozul ilişkisi

Su/Çimento =1						Enjeksiyon özgül ağırlığı=1,52					
Nozul çapları (mm)											
	1.4	16	18	2	2.4	2.8	3	3.2	3.5	4	4.5
Nozullardan enjeksiyon çıkışı											
Basınç	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak	lt/dak
300	18	24	30	37	53	73	83	95	114	148	188
350	20	26	32	40	58	79	90	103	123	160	203
400	21	27	35	43	62	84	96	110	131	171	217
450	22	29	37	45	65	89	102	116	139	182	230
500	23	31	39	48	69	94	108	123	147	192	242
550	25	32	41	50	72	98	113	129	154	201	254
600	26	34	42	52	76	103	118	134	161	210	266

#### 1.4.9.4 Dozaj

Jet grout karışımları iyileştirme yöntemi ve kolonlar için istenilen nihai dayanımlara göre değişir. Karışımın standart oranları S/Ç = 1, özgül ağırlığı ise 1410–1570 Ng/m<sup>3</sup> tür. Gerekli durumlarda karışıma katkı maddeleri eklenebilir. Jet grout kolonlarından alınan karot numunelerinin üzerinde yapılan deneylerle kolonun birim hacim ağırlığı belirlenir. Şekil 1.43'te çeşitli zemin türlerine ait serbest basınç dayanımları gösterilmektedir. Zemin/çimento karışımının mukavemetinin belirlenmesi için imalattan 28 gün sonra numuneler alınır ve laboratuarda basınç deneyleri yapılır. Çeşitli zeminlerin mukavemetleri aşağıdaki gibidir.

- Alüvyon zeminlerde 60-70 MPa
- Kumlu zeminlerde 30 MPa
- Az siltli kum zeminlerde 10 MPadır. (Toprak, 2005).



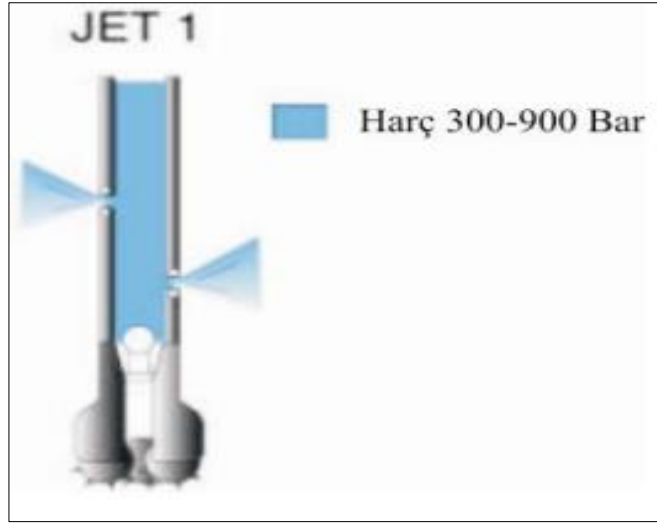
Şekil 1.43 Jet grout kolon dayanımları (Sağlamer, 2006)

#### 1.4.10 Jet grout teknikleri

Jet grout metodları ıslah edilecek zeminin şartlarına ve elde edilmesi beklenen jet grout kolon özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Kullanım şekli ve amaçlarına göre dört çeşit jet grout metodu bulunmaktadır. Bunlara Jet 1, Jet 2, Jet 3 ve Süper Jet yöntemleridir (Akan, 2013).

##### 1.4.10.1 Jet 1

Zemini parçalama ve çimentolama işleminin genellikle çimento şerbeti ile sağlandığı ve tek bir akışkanın yüksek enerji jetine dönüştürülerek uygulandığı jet enjeksiyon işlemidir. Bu metotta delmeenjeksiyon takımı tek çeperli bir borudan ibaret olup, grout bu borudan yaklaşık 200 m/sn hızla, 300–600 Ng/m<sup>3</sup> (Pa) basınçla püskürtülür. Bu yöntemin kohezyonlu zeminlerdeki etkinliği çakıllı zeminlerdeki kadar değildir. Şekil 1.44’de Jet 1 yöntemi şeması gösterilmiştir.

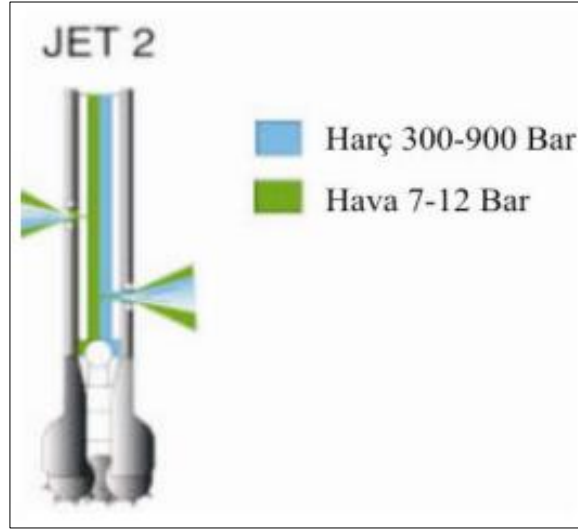


Şekil 1.44 Jet 1 uygulaması

#### 1.4.10.2 Jet 2

Zeminin parçalanması ve çimentolanması için yüksek enerjili bir sıvıyla beraber başka ikinci bir akışkan olarak hava jetinin kullanılmasıyla yapılan jet enjeksiyon sistemidir. Grout orta borudan geçerken basınçlı hava 8-12 Pa basınç ile dış borudan geçer. Basınçlı havanın meydana gelen kinetik enerji sürtünme kayıplarını kısmen azaltmasıyla birlikte bu metotta oluşan kolon çapları jet1 'e oranla %60–80 daha büyük olmaktadır.

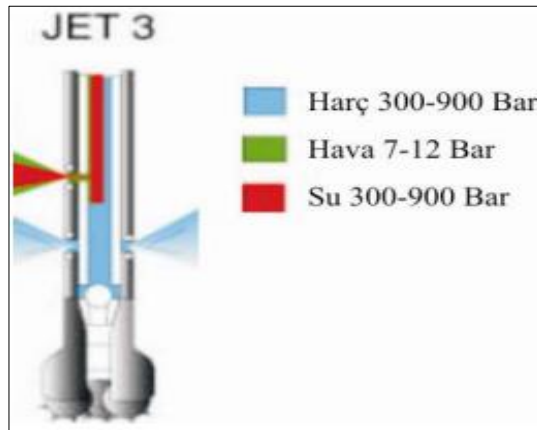
Bu yöntem kullanılarak elde edilen kolon çapları orta sıkı zeminlerde 1,0m'den, gevşek zeminlerde ise 1,8m'den büyük değerlere ulaşabilmektedir. Jet2 yönteminin kohezyonlu zeminlerde Jet1 yöntemine göre daha etkili sonuçlar verdiği söylenebilir. Jet2 yöntemine ait şematik gösterim Şekil 1.45'da sunulmuştur.



Şekil 1.45 Jet 2 uygulaması

### 1.4.10.3 Jet 3

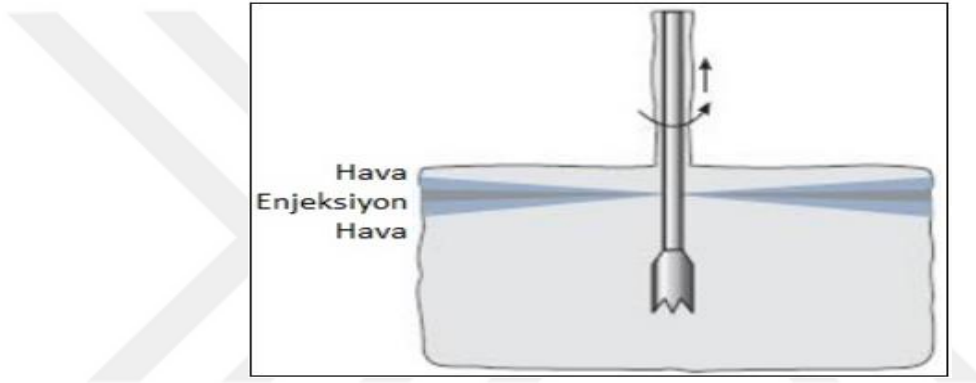
Zeminin parçalanmasının yüksek enerjili su jeti ile sağlandığı, aynı esnada çimentolanmasının da ayrı bir enjeksiyon karışımı jeti ile sağlandığı jet enjeksiyon işlemidir. Bu metotta iç içe üç borulu takım kullanılmakla birlikte 400–600 kPa basınçlı su ortadaki borudan, 8–12 bar basınçlı hava ara borudan tıpkı Jet 2’de olduğu gibi nozullardan püskürtülmektedir. 30–80 bar basınçlı grout ise su–hava karışımı içine en dış borudan ayrı bir nozul ile enjekte edilmektedir. Bu metotla elde edilen jet grout kolonları 2m’den büyük çaplara ulaşabilmektedir. Kohezyonlu zeminlerde en etkili yöntem Jet 3 yöntemidir. Şekil 1.46’da yöntem gösterilmiştir (Akan, 2013).



Şekil 1.46 Jet 3 uygulaması

#### 1.4.10.4 Super jet

Süper jet yöntemi son dönemlerde büyük kolon çaplarını daha kısa sürede ve daha düşük maliyetlerle elde edebilmek için geliştirilen yöntemlerden biridir. Kolon yapım aşaması 15 cm çapa sahip tijin istenilen noktaya indirilmesi ile başlamakta ve tijlerin ucundaki yüksek çaplı nozullardan çimentolu harç ile hava karışımının yüksek basınçla püskürtülmesiyle devam eder. Özel durumlarda, su yerine diğer uygun sıvılar veya süspansiyonlar kullanılabilir. Zeminin parçalanmasıyla zemin-çimento karışımı kolonlar oluşur. Bu metot ile elde edilen kolon çapları 3 – 5 m'ye kadar ulaşabilir. Sisteme ait şematik gösterim Şekil 1.47'de verilmiştir.



Şekil 1.47 Süper jet tekniği (Kusin, 2009)

Bu yöntemle oluşturulan kolonların kesitlerinin büyüdüğü görülmektedir. Bu yöntem yatay zemin suyu kontrolünde, sıvılaşabilir tabaka stabilizasyonunda, geçirimsiz perde duvar imalatında, kazı yan yüzlerinin desteklenmesinde kullanılmaktadır. Süper jet tekniği ile oluşturulan kolon ve standart metotla oluşturulan kolon örnekleri Şekil 1. 48'de gösterilmiştir.

Jet1, Jet2, Jet3 sistemlerinin karşılaştırma tablosu Tablo 1.10'da verilmiştir.





Şekil 1.48 Süper jet yöntemiyle ve standart yöntemle oluşturulan kolonlar

Tablo 1.10 Jet grout sistemleri karşılaştırma tablosu (Sağlamer, 2006)

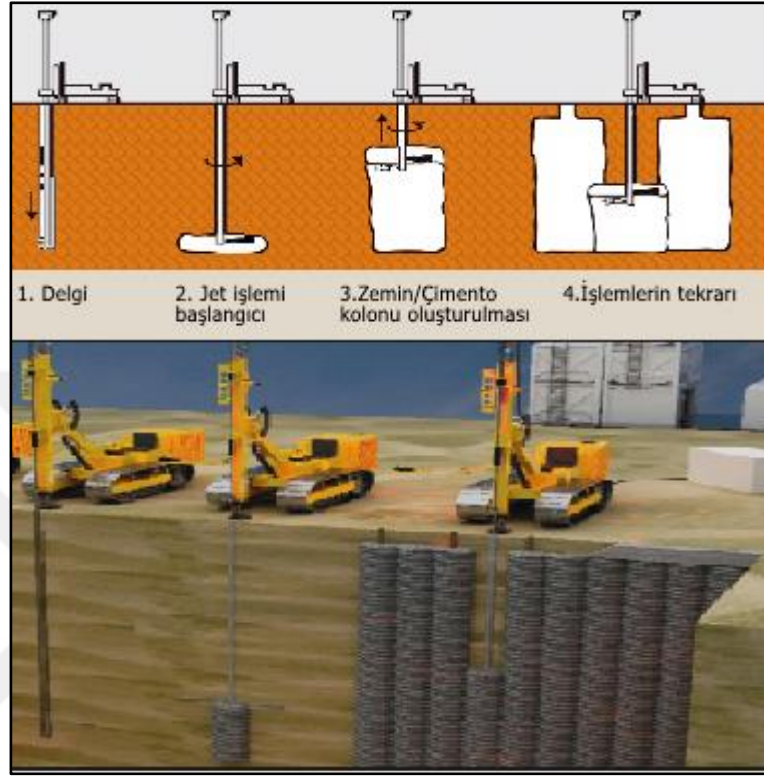
Zemin Cinsi	Kolon Çapı	Kolon Dayanımı
<b>Jet 1</b>		
Kum ve Çakıl	60 - 90 cm	7.0-25 MPa
Kil	60 - 90 cm	2- 10 Mpa
<b>Jet 2</b>		
Kum ve Çakıl	90-180 cm	3.5-14 Mpa
Kil	90- 150 cm	1.0-7.0 Mpa
<b>Jet 3</b>		
Kum ve Çakıl	150-240 cm	3.5-10.5 Mpa
Kil	90-180 cm	1.0-5.0 Mpa

#### 1.4.11 Jet grout metodunun uygulanması

Killi zeminlerde konsolidasyon, siltli-kumlu-çakıllı zeminlerde iyileştirme sağlayan yüksek basınçlı çimento enjeksiyonunun zemine tatbiki ile jet grout kolonu oluşturulabilir. Jet grout yöntemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama zeminin küçük çapta sondaj tiji ile delinmesidir. Nozullar imal edilecek jet kolonunun en alt seviyesine ulaştığı zaman delme işlemi bitmiş olur. İkinci aşamada tijler kendi



etrafında döndürülerek kademeler şeklinde yukarıya çekilir ve kolon üst kotuna geldiğinde de enjeksiyon işlemi sona erdirilir. Şekil 1.49'da bu yapım aşamaları detaylı şekilde gösterilmektedir (Kusin, 2009).



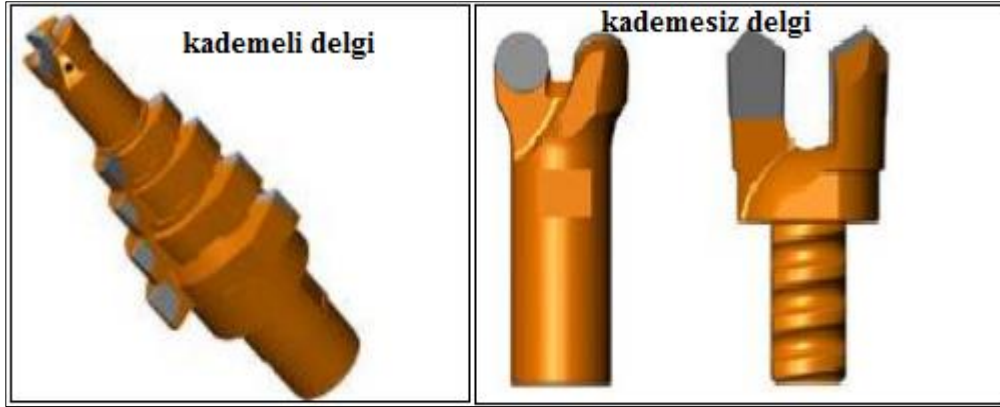
Şekil 1.49 Jet grout yöntemi uygulama aşamaları

#### 1.4.11.1 Delme

Delme işleminin çeşidi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak seçilir. Bunlar rotary ve darbeli–rotary metotlarıdır. Darbeli–rotary metodunun en yaygını da harici çekiçli sistemlerdir.

Delme işleminin kolaylaştırılması, uç takımının soğutulması ve zeminin enjeksiyona ön hazırlanması amacıyla delme sırasında çok çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır.

Delme borusu (tij) olarak da jetgrout tijleri kullanılmakta, bunlar yüksek basınca dayanaklı malzeme ve imalat tekniği ile imal edilmektedir. Delme işleminde kullanılan kademeli kademesiz delgi matkapları Şekil 1.50'de gösterilmiştir.



Şekil 1.50 Kademeli/kademesiz delgi matkapları (Kusin, 2009)

#### 1.4.11.2 Enjeksiyon

Projede belirlenen derinliğe ulaşıldığında delme ve su basma işlemi durdurulur. Çelik bir bilye delme borusuna yollanacak enjeksiyonun yönü monitor diye adlandırılan ve jet enjeksiyon nozulları taşıyan takıma çevrilmiş olur. Yüksek basınçlı çimento şerbeti pompalanmaya başlanır ve enjeksiyon fazı başlamış olur. Yüksek basınç, çimento şerbetine nozullardan geçerken yüksek hız kazandırır. Yüksek hızlı çimento şerbeti, zeminin doğal yapısını yırtarak zeminle karışır. Delici takımın dönel hareketi sayesinde bu karışım daire kesitli bir kolon formunda oluşur ve bu yolla tabii zeminden çok farklı mekanik değerlere sahip bir karışım elde edilmiş olur. Delici takımın dönme hareketi, önceden belirlenmiş ve sabit bir hızla çekme hareketi ile birleşince düşey kolonlardan oluşan bir yapı oluşturulur.

Oluşacak kesitlerin ebatları, zeminin özelliklerine bağlı olduğu gibi, dönüş hızı, çekme hızı, çimento şerbeti basıncı, çimento şerbeti debisi ve nozul çap ve adedi, gibi jet grout parametrelerine bağlıdır.

#### 1.4.12 Jet grout yönteminde kullanılacak malzemeler

Jet grout kolonun oluşması için çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler çimento, su ve gerekli hallerde bentonit, kum ve bazı katkı maddeleridir (Tachir, 2015).

Çimento: Uygulama projesinde gösterilen kolonların yapımı için gerekli olan çimento miktarı kullanılır. Bu miktar istenilen kolon dayanımı ile orantılıdır. Kolon

dayanımı arttıkça kullanılacak çimento miktarı da artar. Bu işlemde PÇ Portland Çimento 32,5 kullanılabilir.

Su: Jet grout uygulamasında kullanılacak su, tortu ve yabancı maddelerden arındırılmış tatlı su olmalı ve yeterli oranda bulundurulmasıdır. Şüpheli durumlarda suya muhakkak kimyasal analiz yaptırılmalıdır.

Bentonit: Bentonit gerekli ve bazı özel durumlarda ilave olarak katılır ve çimento ağırlığına göre daha önceden belirlenen oranda sıvı olarak uygulanır. 12 saat öncesinden su ile karıştırılarak şişmesi sağlanır ve çamur haline gelir. Karışımdaki su miktarı azaltılarak yerine bentonit çamuru kullanılır.

#### **1.4.13 Jet grout kolonların yerleştirilmesi ve imalat toleransları**

Jet grout aplikasyonunda ve imalat toleranslarında dikkat edilecek hususlar aşağıda verilmiştir (Tachir, 2015).

- Jet grout kolonların, projede gösterilen konumlarından  $\pm 75$  mm etrafında kalacak şekilde oluşturulmalıdır.
- Jet grout kolonlarının oluşturulması esnasında, düşeyden sapma 1/50 den fazla olmamalıdır.
- Jet grout kolonlarında, projede istenilen anma çapını elde etmek için gerekli parametreler uygulama öncesinden yapılan test kolonları oluşturularak belirlenir.
- Jet grout kolonu bitiminden en az bir gün geçmeden 3 m çevresinde delgi yapılmayacak imalat atlamalı olarak yapılmalıdır.
- Su/çimento oranı 0,5-1,5 arasında olmalıdır.

#### **1.4.14 Jet grout uygulamasında kontroller ve testler**

Jet grout yönteminde her uygulama öncesi, sahada test kolonları inşası ve bunların hesaplanmış değerleri karşılayıp karşılamadığı gözlemlenmelidir. İslah işleminin başarısı açısından elastisite modülünün hesaplanabilmesi için, basit basınç-şekil değiştirme testi, uygulama öncesi elastisite modülünün tespiti için basınç deneyleri yapılarak deformasyonların hesaplanması, beton çekme mukavemeti tayini ve drenajsız kayma dayanım testi yaptırılması önerilir. İmalat sonrası yapılması gereken deneylerde zemin - çimento karışımı malzemelerin kalitesi ve dayanımı, kolon boyu

ve sürekliliği, zemin - çimento karışım kolonunun geçirimsizliği, jetgrout kolonunun taşıma kapasitesi testlerin yapılması önerilir. Diğer kontroller ise jet grout kolonunun kalitesini denetlemek amacıyla yapımından 28 gün geçtikten sonra kolonlardan temsili olarak karot alınır. Daha sonra bu karotlar üzerinde bazı testlerin yapılması o kolon boy ve kesitindeki olası düzensizlikleri saptayabilmek amacıyla Integrity ve Sonic test yönteminden yararlanılabilir. Jet grout kolonunun yapım tarihinden 1 ay sonra alınacak yükseklik-çap oranı en az 2 olacak numuneler üzerinde serbest basınç (UCS) ve elastisite modülü tayini deneyleri yapılmalıdır.

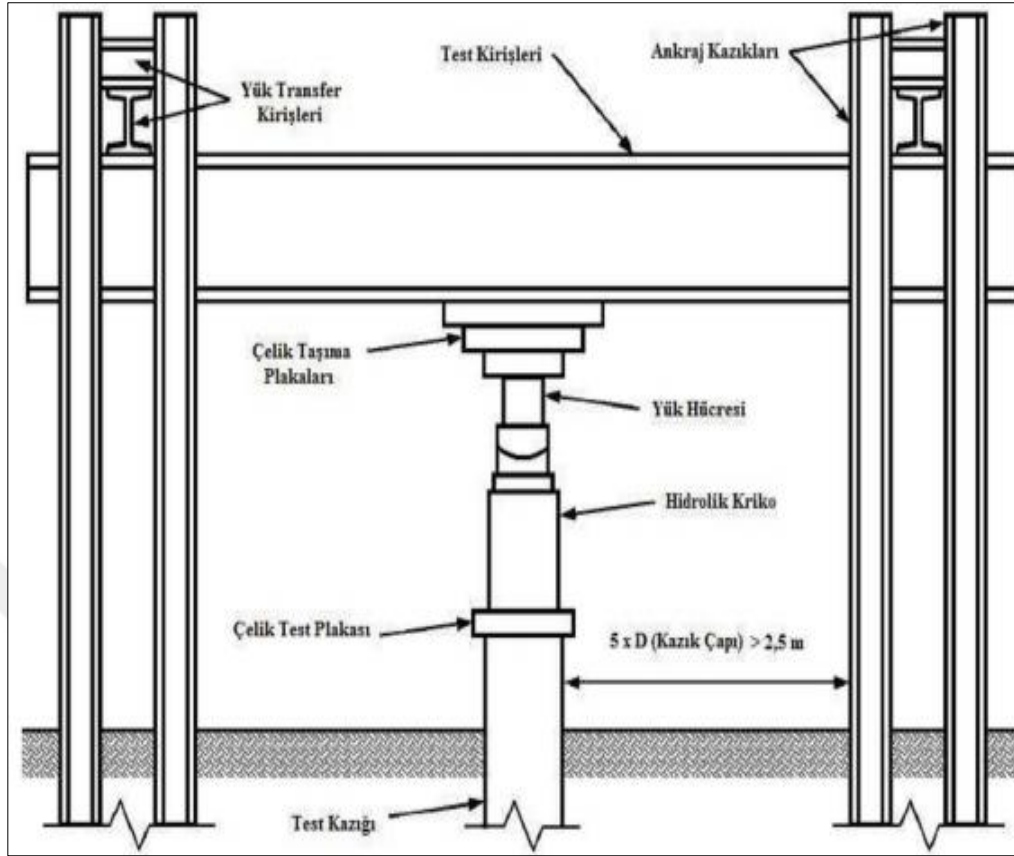
Taşıma amaçlı jetgrout kolonları üzerinde göçertmeli veya kabul edilebilir en fazla oturmaya kadar yükleme yapılır. Kontrol deneylerinde ise proje kazıkları üzerine proje yükünün en az 1.5 katı yüklenmelidir.

#### **1.4.14.1 Karot numunelerinin alınması**

Arazide kolonlardan alınan silindirik numuneler üzerinde laboratuvar yapılan serbest basınç deneyi ile jet grout elemanının basınç dayanımı elde edilir. Numuneler, uygulama esnasında kolon yaş iken piston numune alıcı ile alınır. Prizini almış kolon üzerinde ise karot numune alınır. Serbest basınç deneyinde tercihen deformasyonlarda ölçülerek deformasyon modülü,  $E_{JG}$  tayin edilir (Kusin, 2009).

#### **1.4.14.2 Kazık yükleme deneyi**

Kazık yükleme deneyleri tam ölçekli bir model deney olmasıyla, zeminlerde inşa edilen ya da inşa edilmesi tasarlanan kazıkların yük taşıma kapasiteleri ve yük-oturma davranışını belirlemek için uygulanabilecek en sağlıklı yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Şekil 1.51'de kazık yükleme deney sistemi görülmektedir (Çınar, 2014).



Şekil 1.51 Kazık yükleme deney sistemi (ASTM D1143/D1143M, 2007)

Kazık yükleme deneyinin amaçları;

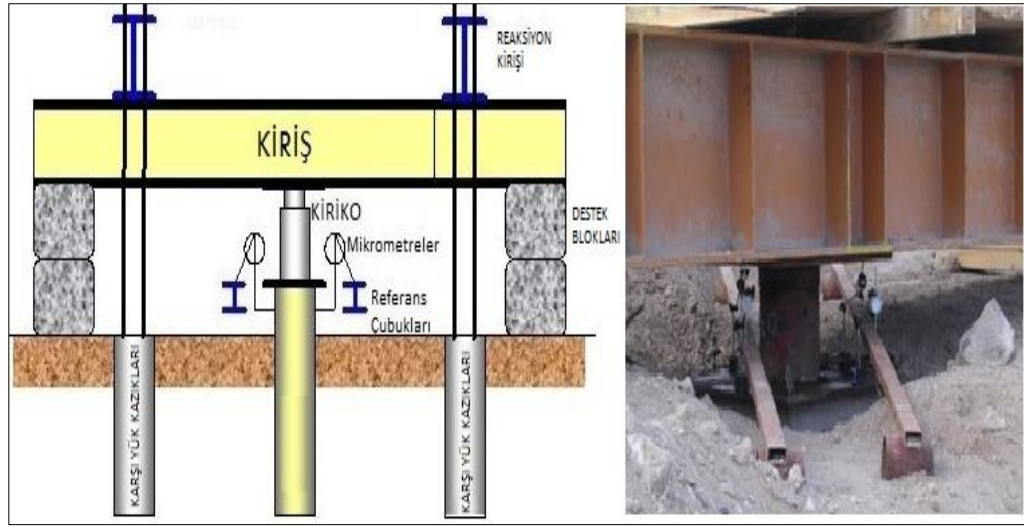
- Kazıkların yük taşıma kapasitesini belirlemek,
- Proje kapsamında öngörülen kazık servis yükünün, kazık imalatından sonra kontrolünü yapmak,
- Kazık temelin yük-oturma ilişkisini saptamaktır.

Deney yükü için jet kolonun toplam kapasitesinin 1,5 katı dikkate alınmalıdır. Jet kolonun toplam kapasitesini ise kolon uç ve çevre taşıma gücü toplamı oluşturur.

Deney ekipmanları ise aşağıdaki dört ana gruptan oluşmaktadır;

- Kazığa iletilecek eksenel yüke maruz kalan reaksiyon kirişleri,
- Hidrolik kriko ve hidrolik basınç pompası,
- Yükü ölçmek için manometre,
- Ölçüm düzenekleri

Kazık yükleme deneyi ile ilgili genel görünüm Şekil 1.52'de gösterilmiştir.



Şekil 1.52 Kazık yükleme deneyi

#### 1.4.14.3 Kazık süreklilik deneyi (integrity test)

Kazık çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için uygulanan kazık süreklilik deneyinde kazıkların üst ucundan küçük bir çekiç darbesi verilmektedir. Bu darbenin ivme sinyali A, kazık üstüne geçici olarak yapıştırılan bir akselometre ile algılanarak sayısallaştırılıp bilgisayarda kaydedilir. Kazıktaki şekil/malzeme değişikliklerinden ve kazık ucundan yansıyan sinyaller de algılanarak hız sinyali olarak kaydedilir. Bu sinyal hıza bağlı bir değişken olup geçen zamanın tam olarak bilinmesinden faydalanılarak, alınan yansımaların yerini tespit için sinyal, derinliğe bağlı bir fonksiyona dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde bilinmesi gereken dalganın yayılma hızı olup beton/jet grout kolon için ortalama  $C=3000-4500$  m/sn'dir. Formüle edilirse, yansıma derinliği X, (1.1) eşitliği ile bulunabilmektedir (Rausche vd., 1988).

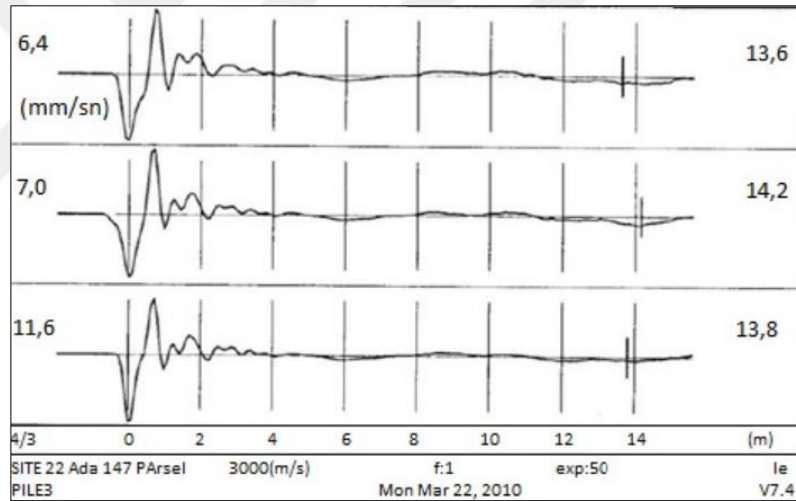
$$X = ( 1/2 \times (C \times t)) \quad (1.1)$$

Bu şekilde derinliğe bağlı sayısallaştırılmış hız sinyali grafiği yorumlanarak kazıkta olası boy ve uç şekli değişiklikleri anlaşılabilir (Kusin, 2009). Şekil 1.53'te kazık süreklilik deneyi gösterilmektedir.



**Şekil 1.53** Kazık süreklilik deneyi

Süreklilik deneyi sonucunda elde edilen tipik bir grafik Şekil 1.54'te gösterilmektedir.

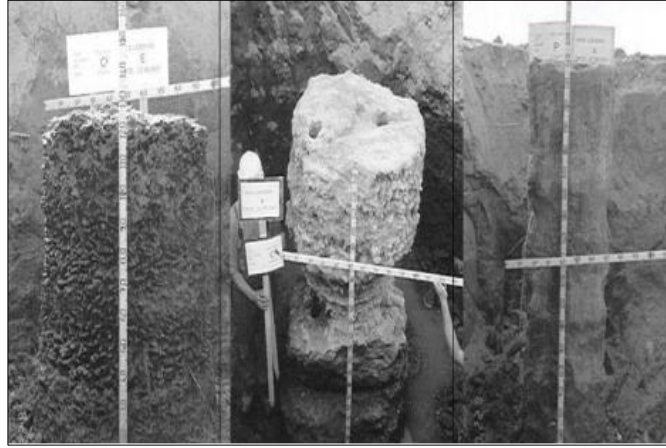


**Şekil 1.54** Süreklilik deneyi bilgisayar yazılımı grafik verisi (Gültekin, 2010)

#### 1.4.14.4 Çap kontrolü

Çalışma platformundan seçilecek imalatı tamamlanan kolonlardan bazıları kazılarak kolon meydana çıkartılır ve kolon boyutları tahkik edilerek istenen çapın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Şekil 1.55'te jet grout kolonlarında imalat sonrası çap kontrolü gösterilmektedir.





**Şekil 1.55** Jet Grout kolon örneklerinin çap kontrolü

#### **1.4.15 Kayıtların tutulması ve raporlanması**

Jet grout kolonlarını oluştururken malzeme ve davranışlarla alakalı her türlü işlemler kayıt altına alınır. Enjeksiyon formu denilen belgede, enjeksiyon başlama-bitiş zamanları, delici makine sondaj bilgileri, packer yerleştirme kotları, karışım oranları ve miktarları, enjeksiyon basınçları, enjeksiyon şekil bilgileri gibi her türlü bilgi bulunmalıdır. TS EN 12716’da jet grout enjeksiyonu imalat raporu örneği yer almaktadır.

#### **1.4.16 Farklı zeminlerde jet grout yöntemi uygulama parametreleri**

Jet grout metodu ile yapılacak zemin ıslahının başarısı, uygulama parametrelerinin çok dikkatli seçimine bağlıdır. Basınç değeri ve enjeksiyon süresi, ıslah edilecek tabii zeminin mukavemet değerine göre belirlenmektedir. Jet grout tekniğinin uygulanabilmesi ve en uygun tekniği seçilebilmesi için bazı araştırmaların yapılması gerekmektedir. Bunlar; arazideki SPT, CPT deneylerinden elde edilen veriler ve relatif sıklığın tayini, kohezyonsuz zemin numunelerinin dane dağılımı, su muhtevası, doygun birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi, kohezyonlu zeminlerinin kıvam limitlerinin tayini olarak sıralanabilir. Bu veriler doğrultusunda en uygun jet grout tekniği ortaya koyulmaktadır.



Jet grout metodunu diğer enjeksiyon metotlarından ayıran en önemli fark, zeminin cinsine ve elde edilmek istenen taşıma kapasitesine göre kullanılacak çimento miktarının önceden hesaplanabilmesidir.

**Tablo 1.11** Farklı nozul çapı ve basınçta nozuldan geçen grout debisi (Melegary ve Garassino, 1997).

	Nozzle Çapı (mm)															
	1.4	1.6	1.8	2	2.4	2.8	3	3.2	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	
Basınç (bar)	Bir Nozzleden Geçen Grout Miktarı (Debi)															
	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	lt/sn	
300	18	24	30	37	63	73	83	96	114	148	188	232	280	334	392	
350	20	26	32	40	58	78	90	103	123	160	203	250	303	380	423	
400	21	27	35	43	62	75	94	110	131	171	217	268	324	385	452	
450	22	29	37	45	65	89	102	116	139	182	230	284	343	409	450	
500	23	31	39	48	69	94	108	123	147	191	242	289	352	430	506	
550	25	32	41	50	72	98	113	129	154	201	254	314	380	452	530	
600	26	34	42	52	75	103	118	134	161	210	255	326	397	472	554	

Tablo 1.11’de farklı nozul çaplarında, 300–600 Bar basınçlarda bir nozuldan geçen grout miktarının lt/sn cinsinden değerleri yer almaktadır. Tablo 1.11’e göre aynı basınçta nozul çapının artmasıyla bir nozuldan geçen grout miktarı artmaktadır. Jet grout uygulanmasında üzerinde en çok durulan özellik, jet kolonlarının çapı olmaktadır. Püskürtme enerjisi (E) eşitlik (1.2) deki gibi ifade edilebilir.

$$E = (P \times Q) / V_{\text{çekme}} \quad (1.2)$$

P : Püskürtülen harcın basıncı (MPa)

Q : Harç debisi (m<sup>3</sup>/sn)

V<sub>çekme</sub> : Yukarıya çekilme hızı (m/sn)

#### 1.4.17 Taşıma gücüne göre jet grout tasarımı

Jet grout uygulamalarının artmasıyla sadece granüler zeminlerde başarılı olacağı öngörülen uygulamaların ince daneli zeminlerde de başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Jet grout yöntemi tasarımı arazide elde edilen deneyimlerden yararlanılarak yapılmaktadır. Tasarımda önemli olan güvenli ve ekonomik bir

çözümüne ulaşmak için uygulanacak metodun iyi seçilmesi, prosedür ve detayların adım adım hesaplanmasıdır.

Taşıyıcı olarak tasarlanacak stabilize edilmiş kolonların kapasite hesaplarında, tekil kazık taşıma gücü hesaplarındaki esaslar geçerli olup toplam güvenli taşıma kapasitesi uç ve çevre sürtünmesi ile belirlenecektir. Zemin - çimento malzemede zemin cinsi, dozaj, işletme parametrelerine ve karot deneylerine dayanarak güvenli olarak saptanacak değerden daha büyük bir gerilme olmaması sağlanmalıdır. Hesaplama yönteminde grup şeklindeki taşıyıcı elemanların toplam taşıma kapasitelerinin tüm tekil kazıkların toplam taşıma kapasitelerine eşit olacağı göz önüne alınmaktadır.

Yapısal yük rijit bir gövde ile taşıyıcı tabaka içine girdiği takdirde, tüm yük güvenli bir şekilde sağlam tabakalara aktarılmış olup, bu şekilde oluşacak oturma da elastik kısalma ile sınırlı kalmış olur.

Yükle temel arasında yeterli kalınlıkta granüler bir tabaka varsa, yükün bir kısmının kolonlarla taşınması gerçekleşirken, önemli bir kısmı da zemin tarafından taşınır. Granüler dolgu malzemesi jet grout kolonların davranışını daha üniform yapar. Kolon boyu arttıkça zemin gerilmesinin önemli kısmını jet grout kazıklar taşımış olur. Yapısal yükün rijit bir gövde ile sağlam tabakalara aktarılması durumunda jet grout kolonunun davranışı, kazık uygulamalarında olduğu gibidir.

Sonuç olarak zemin iyileştirilmesi yüklerin önemli bir bölümü jet grout kolonlarla taşıtırılmış ve oturmalarda azalma meydana gelmiş olur (Yeşil, 2011).

#### **1.4.17.1 Jet grout kolon taşıma kapasitesi**

Zeminde düşey olarak oluşturulan jet grout kolonları, kazık elemanlarına benzer bir şekilde hesaplanmaktadır. Jet grout kolonunun çevre zemini açısından toplam taşıma gücü iki bileşenden oluşur. Bunlar uç direnci ve çevre sürtünmesi bileşenleridir.

Bir jet grout kolonunun göçmeden önce taşıyabileceği maksimum yük (kolon taşıma gücü)  $Q_d$ , kolon ağırlığı  $W_k$  ile gösterilirse, bir jet grout kolonunun kırılma olmadan taşıyabileceği yük  $Q_d + W_k$ 'dir.

Bu yük kolon ucunun maksimum taşıyabileceği yük ( $Q_u$ ) ile kolon çevresinin sürtünmesi ve adhezyon ile taşıyabileceği yükün ( $Q_f$ ) toplamı kabul edilir (Küsin, 2009).

Bu durumda eşitlik 1.3 elde edilir.

$$Q_d = Q_u + Q_f - W_k \quad (1.3)$$

Jet grout kolon uç taşıma gücü eşitliği aşağıda gösterilmektedir.

$$Q_u = A \cdot q_d \quad (1.4)$$

Jet grout kolon sürtünme taşıma gücü formülasyonu Eşitlik 1.5'te gösterilmektedir.

$$Q_f = A_s f_s \quad (1.5)$$

Kolon birim yüzey alanı  $P$  ile ifade edilecek olursa  $A_s = P \times D_f$  olacaktır. Birim alana etkiyen sürtünme kuvveti Eşitlik 1.6 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$f_s = c_u + p_h \tan \delta \quad (1.6)$$

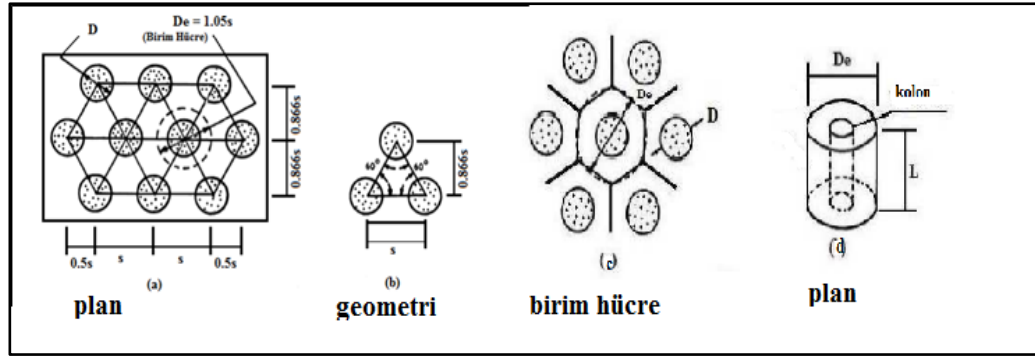
Bu durumda kolon taşıma gücü, Eşitlik 1.7'deki gibi yazılabilir.

$$Q_d = A q_d + A_s f_s - W_k \quad (1.7)$$

#### 1.4.17.2 Jet grout kolon aralıklarının tespiti

Jet grout kolon aralıkları tasarlanırken genellikle eşkenar üçgen dizilimi ya da dikdörtgen dizilimi ile jetgrout kolonlar yerleştirilmektedir. Jet grout kolon aralıkları tasarlanırken bu noktada birim hücre ve eşdeğer çaptan bahsetmek gerekmektedir.

Oturma analizleri için, her bir kolonu çevreleyen zemin kolon ile birlikte düşünülmelidir. Şekil 1.56'da eşkenar hücre dizilimi ve birim hücre yaklaşımı gösterilmektedir (Kurt, 2011). Şekil 1.56'da gösterildiği gibi bu kolonu çevreleyen zeminin alanı düzgün altıgenden oluştuğu için, bu alan aynı alan değerine sahip bir daire kabul edilebilir.



**Şekil 1.56** Jet grout kolon örneklerinin çap kontrolü

Bu eşdeğer dairenin efektif çapı sırası ile eşkenar üçgen ve kare yerleşimine göre;

$$D_e = 1.05 s; D_e = 1.13 s \quad (1.8) \text{ şeklinde bulunur.}$$

Burada; s, kolon merkezleri arası mesafedir. Buna göre, zemin ve jet kolondan oluşan  $D_e$  çapına sahip alan birim hücre olarak adlandırılır.

Ayrıca bu noktada Özsoy ve Durgunoğlu, (2003) tarafından yapılan çalışmada belirtildiği gibi jetgrout uygulaması sonucunda oluşan zemin çimento karışımı mekanik özellikleri, serbest basınç mukavemeti  $R_f$ -Mpa, deformasyon modülü  $E_{jg}$ -Mpa ile birlikte mevcut zeminin cinsi ve su- çimento oranı ile kontrol edilmektedir. Tablo 1.6'da özetlenen çeşitli zeminler için zemin çimento karışımı deformasyon-modülü ortalama  $E_{jg}$  500-12,500 Mpa olarak alınabilir. Bu takdirde zemine göre kolon deformasyon modülü oranı ise  $E_{jg}/E_s$  10-250 olarak verilebilir

**Tablo 1.12** Zemin cinsine göre çimento karışımı serbest basınç mukavemeti ve modülü

<b>Zemin cinsine göre çimento karışımı serbest basınç mukavemeti ve modülü</b>		
Zemin Cinsi	$f_{jg}$ (Mpa)	Modül Oranı ( $E_{jg}/F_{jg}$ )
Killerde	2 - 5	150
Siltlerde	3-7	200
Kumlarda	7-14	600
Çakıllarda	12-18	900

Bu bölümde jet grout yöntemi tanıtılmıştır. Yöntemin tarihsel gelişimi ve günümüzdeki durumu özetlenmiştir. Zemin iyileştirme ve yük taşıma açısından uygulama alanları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Jet grout yönteminin uygulanabildiği zeminler, sistemin tasarım esasları ve arazide jet grout uygulaması ve uygulama aşamaları da bu bölümde açıklanmıştır. Jet grout çalışma parametreleri, uygulama yöntemleri ve uygulama ekipmanları detaylı olarak anlatılmıştır. Uygulama sonrası yapımı tamamlanmış olan jet kolonların proje değerlerine uygun olup olmadığı arazi ve laboratuvar deneyleri ve bu deney sistemlerinin tanıtımı bu bölümde sunulmuştur.



## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatür araştırması yapılıncaya jet grout yöntemi ile yapılmış birçok tez çalışmasının, seminerlerin ve bildiri çalışmalarının yapıldığı görülmektedir. Yapılan bu çalışmalar genellikle;

- Taşıma gücü
- Geçirgenliğin azaltılması
- Dinamik etki ve sıvılaşma
- Oturma problemleri
- Jet kolonların bilgisayar tabanlı tasarım eksenlidir ve bu çalışmaları bu bölümde incelenmiştir.

Melegary ve Garassino (1997) yaptıkları çalışmada jet grout yöntemi ile yapılan iyileştirme sonrasında kolonların taşıma kapasitelerinin zemin tipine göre değerlerini incelemişlerdir. Özellikle granüler zeminlerde iyileştirmenin ardından kolon taşıma kapasitesindeki artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Durgunoğlu vd (1998) tarafından yapılan çalışmada Migros/Ankara GİMAT binası temeli için zemin oturmalarına karşı yapılan iyileştirme çalışması incelenmiştir. Söz konusu proje zemini üstte gri-yeşil renkli orta katı kıvamlı ve ince çakıl içerikli kil ile alt seviyelerde killi kumlu çakıl dizilimli alüvyon bir zemindir. Söz konusu zemin için iyileştirme metodu olarak jet kolon ve kazıklı temel yöntemleri incelenmiş, ardından inşaa süresinin kısa olması ve daha az maliyetli olması sebebiyle, jet grout kolonlar oluşturularak iyileştirme yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan iyileştirme çalışmaları sonucunda, öncelikle yöntemin her tip zeminde uygulanabileceği bununla beraber uygulamanın ve kontrollerin sağlıklı yapılması kaydıyla hem zaman açısından hem de maliyet açısından ciddi tasarruflar getirdiği gösterilmiştir.

Keskin ve Çimen (2002) yaptıkları çalışmada Dinar ilçesinde yer alan altı katlı bir iş merkezinin zeminin taşıma gücünü artırmak ve oturmaları azaltmak için jet grout yöntemini kullanmışlardır. Çalışmanın sonucu olarak, jet grout yönteminin oturma ve

taşıma gücü problemleri için kullanılabilir uygun bir metod olduğu kanaatine varılmıştır.

Gökalp ve Düzceer (2002) tarafından İzmir Aliağa bulunan bir enerji santrali zemini için jet grout yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu zeminde kısmen taşıma gücü problemi olduğu bununla beraber farklı oturmalar olduğu belirtilmiştir. Bu uygulamada üst yapı yükleri jet kolonlar aracılığıyla sağlam zemine aktarılmış, yöntem sonucunda oturmalar istenilen seviyelere indirilmiştir. Asıl Jet jolon imalatına başlamadan, öncelikle sahada test kolonlar inşa edilmiş, ardından bu kolonlar üzerinden süreklilik deneyi, çap ölçümü, karot numune alınması, basınç deneyi vb. kontroller yapılmış, yapılan bu kontroller sonucunda tasarım değerleri revize edilerek optimum parametreler tespit edilerek yöntemin başarısı irdelenmiştir.

1999 yılında Kocaeli'nde ivmesi 0,3 g olarak ölçülen deprem meydana gelmiştir. Bu ivme ile yer sarsıntısına maruz kalan ve deprem öncesinde zemini jet grout ile ıslah edilen Karamürsel İpek Kağıt fabrikası zemini ile söz konusu fabrikanın etrafında bulunan iyileştirilmemiş zemin ve bu zeminler üzerinde yer alan binaların deprem etkisi sonrası durumları incelenmiştir. Durgunoğlu vd. (2004) tarafından yapılmış olan bu çalışmada deprem etkileri ve sıvılaşmanın azaltılması hususunda jet grout yönteminin başarı sonuçları gösterdiği bildirilmiştir.

Choi (2005) tarafından yapılan çalışmada, Jet grout metodunun tarihsel gelişimini anlatılmış ve vaka analizlerine yer verilmiştir.

Bakım (2007) farklı iki inşaat zemininde yapılmış olan jet kolon imalatlarını inceleyen bir çalışma yapmıştır. Çalışma kapsamında yapılan kolon yükleme deneyleri ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen serbest basınç deneyleri sonucunda jet kolonların maruz kalınan üst yapı/proje yükünü 2,5-3 kat emniyetli bir biçimde taşıyabildikleri bununla beraber kolonların oturma limitlerini sağladıkları gösterilmiştir. Çalışma sonucunda söz konusu yöntemin temel altı stabilizasyonu için kullanılabilir ekonomik bir yöntem olacağı belirtilmiştir.

Sarı (2008) tarafından yapılan çalışmada Küçükusu Kasrı ve Fethi Ahmet Paşa Yalısı binaları incelenmiştir. Söz konusu yapılarda oturma ve taşıma gücü problemleri için jet grout metodu uygulanması düşünülmüştür. Bu çalışmada jet grout yöntemi ile

ıslah ve mevcut yapılara temel takviyesi yapılmıştır. Çalışma sonrasında temel takviyesi yapılmış zeminin ıslah sonrasında kontrolleri ve takibi yapılmış olup, söz konusu uygulamanın başarılı olduğu ve jet grout yöntemi ile mevcut yapılardaki zemin problemlerinin çözüleceği sonucuna varılmıştır.

Ayan (2009) tarafından yapılan çalışmada mevcut yapılarda yapılan restorasyon ve kat artırımı gibi uygulamaların doğal olarak yapının ilk başta tasarlanmış yük sistemini değiştireceğinden bahsetmiştir. Tabii olarak bu tür uygulamaların yapının toplam yükünü artıracığı böylelikle üst yapıdan zemine aktarılacak yükleride değiştireceği, temel altında yer alan zeminin zayıf olması veya yeterince sıkışmamış olması nedeniyle yer altı su seviyesinin yükselip alçalabilecektir. Yapının mevcut yük sistemini değiştiren bu gibi imalatların zemin davranışını ciddi anlamda değiştirecektir. Bu gibi durumlarda özellikle deprem etkisine karşın eski yapıların temel takviyelerinin jet grout yöntemi ile ıslah edilerek gerekli tedbirlerin alınması ile beraber servis ömürleri boyunca güvenli olarak kullanılabilceği belirtilmiştir (Akan, 2013).

Yeşil (2011) tarafından yapılan çalışmada jet grout metodu ile yapılan zemin ıslah çalışmalarının projelendirilmesinde, deprem yüklerine karşı sıvılaşma kontrolü ve statik yüklere karşı zemin emniyet gerilmesi hesapları yöntemi incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan Excel programı sayesinde sıvılaşma hesapları incelenmiş tasarım ve kontrol çalışmaları daha kolay bir şekilde analiz edilmiştir.

Alkaya vd. (2011) çalışmalarında vaka analizi olarak Gürcistan Poti'de yer alan demiryolu hattı zeminini incelemiştir. Söz konusu proje alüvyon zemin üzerinde turbalı kil-silt ve ince kum olan bir alanda yer almaktadır. Bu çalışmada, zemin ıslah yöntemlerinden taş kolon yöntemi ile jet grout yöntemi karşılaştırılmıştır. Demiryolu hattının bir kısmı jet grout yöntemi ile ıslah edilmiş, diğer bir kısmı ise taş kolon yöntemi kullanılarak ıslah edilmiştir. Yapılan ıslah çalışmaları sonucunda; çalışma sahasındaki zemin özelliklerindeki değişimlerin sismik kırılma metodu ile ölçümleri yapılarak ıslah metodları arasında kıyaslama yapılmaya çalışılmıştır. Analizler sonucunda taş kolon metodu kullanılarak iyileştirmesi yapılmış zemin karakteristiklerinin, jet grout metodu ile yapılan iyileştirmede elde edilen zemin



karakteristiklerinden daha düşük olduğu ve jet grout yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Şeflek (2012) tarafından yapılan Adana ilinin Ceyhan ilçesindeki zemin özelliklerinin yapılması düşünülen toplu konut projesine uygun olmadığı, bu nedenle jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi yapılması gerekliliği vurgulanmıştır. Çalışma kapsamında ıslahı yapılmış söz konusu zeminden örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmış ve bu örnekler üzerinde bazı zemin mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre ise ıslah yönteminin başarısı incelenmiş olup, mevcut zemin ile ıslahı yapılmış zemin özellikleri karşılaştırılarak zeminlerin sahip oldukları dayanımlar, oturma durumları, muhtemel sıvılaşma potansiyelleri ve yeraltı suyunun etkisi irdelenerek ne gibi bir sonuç olabileceği araştırılmıştır.

Ertürk (2012) tarafından yapılan yüksek lisans tezi kapsamında; ilk olarak inşaat sektörünün önemi, gelişimi, GSYİH içindeki payı hakkında genel bilgiler verilmiştir. Ardından sektörün Türkiye Ekonomisi içerisindeki yeri detaylı bir şekilde ortaya konmuştur. Zemin ıslahı ve etüdü işleriyle ilgilenen firmaların sektördeki konumları, özellikleri, aldıkları işler, karşılaştıkları sorunlar çalışma kapsamında genel hatlarıyla ele alınmıştır. Yaygın olarak kullanılan zemin iyileştirme yöntemleri en yalın haliyle incelenmiş, zemin ıslahı ve etüdü işleriyle ilgili yasal düzenlemelerden olan kanunlar, yönetmelikler ve standartlara da çalışma kapsamında yer verilmiştir. Bununla birlikte Türkiye'nin değişik il ve ilçelerinde farklı zorluklardaki zemin sınıflarında üretimlerin yapıldığı 71 adet zemin etüdü ve ıslahı şantiyesi, makine giderleri açısından incelenmiştir. Şantiyelerden elde edilen veriler ışığında, zemin sınıfı ve makine gücüne göre yakıt sarfiyat faktörü, bakım ve tamir faktörü ortaya konmuş, her üretim türüne göre saatlik toplam giderlerin tutarının ne olduğu ortaya konmuştur. İncelenen 71 şantiyeden elde edilen veriler aracılığıyla pratik maliyet hesaplama tablosu oluşturulmuş, oluşturulan pratik maliyet hesaplama tablosu ile sondaj, fore kazık, jet grout, mini kazık, enjeksiyon ve taş kolon imalatlarında saatlik giderlerin ne mertebelerde olduğu ortaya konmuştur. Çalışmanı sonucunda pratik maliyet tablosu oluşturulmuş, pratik maliyet hesaplama tablosu aracılığıyla yaygın kullanılan zemin etüdü ve ıslahı işlerinde birim maliyetlerin kolayca hesaplanması sağlanmıştır. Ayrıca birim maliyetler farklı ülkeler ile karşılaştırılmış karşılaştırılan

ülkeler içinde elde edilen veriler ışığında ileride yapılacak iyileştirme projeleri için pratik birim maliyet hesaplama tabloları oluşturulmuştur.

Koçak vd (2014) tarafından yapılan çalışmada, vaka analizi olarak Lübnan, Beyrut, Dbayeh Marina bölgesinde yer alan ve bölgenin önemli alışveriş merkezlerinden biri olan Waterfront City Center Shopping Mall inşaatının zemini incelenmiştir. Söz konusu projenin zemini jet grout yöntemi ile ıslah edilmiştir. Islah edilen zemin için farklı kalite kontrol testleri yapılmış, testler sonucunda tasarımlar ve kabul edilen parametreler revize edilmiştir. Ardından geri hesap safhasında üç boyutlu sonlu elemanlar programı kullanılarak program ile gerçekçi bir zemin modeli ve daha gerçek bir inceleme yapılmaya çalışılmıştır. Diğer taraftan çalışma kapsamında sıvılaşma tahkikleri de ayrıca yapılmıştır. Jet grout kolonlar için 14 tane tekil kolon yükleme testi, 9 tane jet kolondan alınan 18 tane köşe karot, 3 tane alan yükleme testi, 38 tane kolondan alınan 155 numune üzerinde elastisite modülü ve kesit kapasitesinin tayinine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu testler ve incelemeler sonucunda jet grout iyileştirme metodunun performansı hem fiziki yollar ile hemde çeşitli analiz ve hesap yöntemleri ile ispat edilmiştir.

Çınar (2014) tarafından yapılan çalışmada, zemin ıslah yöntemleri ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Çalışma kapsamında ayrıca zemin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılan jet grout yöntemi incelenmiş, ardından taşıma gücü ve oturmalar açısından sorunlu olan turbalık ve bataklık zemin sahasına yapılmış Kayseri Anbar bölgesinde yer alan Alibeyoğlu Hırdavat A.Ş. binası vaka analizi olarak incelenmiştir. Söz konusu binanın turbalık ve bataklık olan zemini jet grout ile ıslah edilmiş, mahallinde yapılan jet kolonların kolon merkezinden kolon çapı “D” ve “1.5D” mesafede Standart Penetrasyon Deneyleri içeren sondaj çalışmaları yapılmış. Ayrıca jeofizik çalışmalar yapılmış, bu çalışmalar ile jet grout kolonların etki alanları tespit edilmeye çalışılmış, sonuç olarak çalışma yapılan zemin koşulları için iyileştirilmiş alan olarak yaklaşık 2D’lik bir etki alanı olduğu belirlenmiştir.

Tachir (2015) tarafından yapılan çalışmada vaka analizi olarak Terme Kombine Doğalgaz Çevrim Santrali incelenmiştir. Söz konusu proje sahasından alınan zemin örneklerine zemin laboratuvarında ilgili zemin mekaniği deneyleri yapılmış, zeminin

proje yüklerini taşımayacağı ve bununla beraber zeminde oturma problemlerinin olacağı tespit edilmiştir. İslah çalışmaları kapsamında islah yöntemi olarak jet grout metodu seçilmiştir. Toplam 1200 tane jet grout kolonu imalatı yapılmıştır. İmalatı tamamlanan jet kolonlara kolon yükleme deneyi ile kolon süreklilik deneyi yapılmıştır. Bunun yanı sıra kolonlardan alınan karot numuneler için tek eksenli basınç deneyi yapılmış olup, çalışmalar sonucunda söz konusu projenin zeminin taşıma gücünü arttırıldığı, oturma miktarlarının ise istenilen limitlerde kaldığı ortaya konmuştur.



### 3 MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1 Materyal

Erzurum ili, Aziziye ilçesi sınırlarında yapılması planlanan, Avrupa Birliği Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA) programı kapsamında, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı AB Yatırımları Dairesi Başkanlığı'nın işveren olduğu, Erzurum Büyükşehir Belediyesi Eski Genel Müdürlüğü' nün faydalanıcı olduğu, Erzurum atık su arıtma tesisi ve kanalizasyon-dere rehabilitasyonu İnşaatı işi kapsamında yapılacak olan atık su arıtma tesisi ve kanalizasyon hattı için ihale öncesinde zemin araştırmaları yapılmıştır. Araştırma kapsamında atık su arıtma tesisi sahasında 3 adet sondaj açılmış, zemin için saha ve laboratuvar deneyleri yapılmış ardından zemin etüt raporu düzenlenmiştir. Düzenlenen zemin etüt raporunda arıtma tesisinde yer alacak ünite binalarının planlanan temel ölçüleri ve temel derinlikleri, üst yapı yükleri göz önüne alınarak zemin taşıma gücü ve zemin oturma hesapları yapılmıştır. Taşıma gücü açısından problem görülmemekle birlikte, oturmalar açısından bazı ünite binalarında 2,5 cm'den 21 cm'ye kadar oturmaların olabileceği sonucuna varılmıştır. İller Bankası A.Ş. ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü teknik şartnamelerinde su yapıları için izin verilen oturma miktarının 2,5 cm diğer idari binalar için 5 cm olduğu için atık su arıtma tesisi kapsamında yer alan bazı proses binaları zemini için jet grout yöntemi kullanılarak muhtemel oturmaların şartname limitlerine getirilebileceği kanaatine varılmıştır.

Erzurum atık su arıtma tesisi ve kanalizasyon-dere rehabilitasyonu inşaatı işinin çelik ve betonarme işler başlıklı ihale dokümanlarında tesis kapsamında yapılacak olan su yapıları ve pompa istasyonları ile, sürekli temeli olan binalar için toplam oturma (başlangıç+konsolidasyon) 3 cm ile, radye temeli olan binalar için ise 5 cm ile sınırlandırılmıştır. Eğer oturmalar bu limitlerin üzerinde olursa işin kontrol teşkilatı tarafından verilecek karar doğrultusunda; ön yükleme, jet grout veya kazık temel gibi yöntemlerle zeminin iyileştirilmesinin gerektiği belirtilmiştir.

Atık su arıtma tesisi imalatları ve ihale öncesinde tasarımı yapılan üst yapı projeleri ve zemin etüt çalışmaları, ünite ve idari binalar için zemin oturma limitleri çerçevesinde işin partileri tarafından atık su arıtma tesisi kapsamında yer alan ünite binalarının zeminlerinin jet grout yöntemi ile ıslah edilmesine karar verilmiştir. Bu karar doğrultusunda jeolojik-geoteknik çalışmalar yapılmıştır.

Arıtma tesislerinin statik projelerine esas teşkil etmek amacıyla belirlenen lokasyonlarda 7 adet zemin sondajı ve 4 adet sismik çalışma yapılmış olup, bu çalışmalar müşavir firma ve ilgili idare kontrollüğünde yürütülmüştür. İnceleme alanı içerisinde arıtma tesisine ait yaklaşık 40 farklı yapı yer almaktadır. Şekil 3.1'de çalışma sahasının harita üzerindeki yeri gösterilmektedir.

Geoteknik araştırmalar, arazi deneyleri ve laboratuvar çalışmaları ihale öncesinde Geoteknik Etüd Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş. firması tarafından, ihale sonrasında ise imalat öncesinde Şahiner Mühendislik firması tarafından yapılmıştır. Tesisin yapımına konu imalatlar müşavir firma ve ilgili idareler tarafından kontrol edilmiştir.



**Şekil 3.1** Çalışma sahasının harita üzerindeki konumu (Şahiner mühendislik, 2012)

### 3.2 Proje Tanıtımı

Atık su arıtma tesisi kapsamında yer alan 40 adet ünite binası ve bina yükleri aşağıda Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1** Atık su arıtma tesisi yapıları

Sıra No	Kodu	Ünite Binası	Yapı yükleri
1	40	Giriş Pompa İstasyonu ve Izgara Binası	60kN/m <sup>2</sup>
2	60	Kaba Izgara Ünitesi	60kN/m <sup>2</sup>
3	65	İnce Izgara Ünitesi	60kN/m <sup>2</sup>
4	70	Kum ve Yağ Tutucu Tankı	60kN/m <sup>2</sup>
5	71	Kum ve Yağ Tutucu için Blower	60kN/m <sup>2</sup>
6	120	Ön Çökeltim Tankı	60kN/m <sup>2</sup>
7	125	Ön Çamur Pompa İstasyonu	60kN/m <sup>2</sup>
8	130	Ara Pompa İstasyonu	90kN/m <sup>2</sup>
9	135	Havalandırma Tankı Dağıtma Odası	85kN/m <sup>2</sup>
10	140	Havalandırma Tankı	85kN/m <sup>2</sup>
11	145	Biyolojik Ön Eleme Ünitesi	60kN/m <sup>2</sup>
12	165	Son Çökeltim Tankı Dağıtma Odası	70kN/m <sup>2</sup>
13	170	Son Çökeltim Tankı	60kN/m <sup>2</sup>
14	175	Flok Çamur Odası	70kN/m <sup>2</sup>
15	190	Çıkış Suyu Ölçüm Binası	70kN/m <sup>2</sup>
16	230	Geri Devir Çamur İstasyonu Ünitesi	105kN/m <sup>2</sup>
17	235	Fazla Çamur İstasyonu Ünitesi	105kN/m <sup>2</sup>
18	260	Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	140kN/m <sup>2</sup>
19	270	Öğütme Tankı Ünitesi	25kN/m <sup>2</sup>
20	280	Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	50kN/m <sup>2</sup>
21	281	Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi Polimer İstasyonu	50kN/m <sup>2</sup>
22	290	Çamur Susuzlaştırma Ünitesi	50kN/m <sup>2</sup>
23	291	Çamur Susuzlaştırma Ünitesi Polimer İstasyonu	50kN/m <sup>2</sup>
24	295	Çamur Karışım Pompa İstasyonu	50kN/m <sup>2</sup>
25	310	Oksijensiz Çamur Öğütme Ünitesi	190kN/m <sup>2</sup>
26	310	Anerobik Tank	190kN/m <sup>2</sup>
27	330	Gaz Tutucu Ünitesi	25kN/m <sup>2</sup>

**Tablo 3.1** Atık su arıtma tesisi yapıları (devam)

Sıra No	Kodu	Ünite Binası	Yapı yükleri
28	340	Gaz Yakma Ünitesi	25kN/m <sup>2</sup>
29	350	Biyogaz Arıtma Ünitesi	25kN/m <sup>2</sup>
30	390	Kullanma Suyu İstasyonu	70kN/m <sup>2</sup>
31	410	Blover Binası/ Trafo Binası	35kN/m <sup>2</sup>
32	450	Isıtma Sistemi	190kN/m <sup>2</sup>
33	460	Öğütme Ekipman Binası	190kN/m <sup>2</sup>
34	500	İdari Bina/ Garaj Binası	50kN/m <sup>2</sup>
35	510	Bekçi Kulübesi	50kN/m <sup>2</sup>
36	601	Biofiltre Giriş Pompa İstasyonu	60kN/m <sup>2</sup>
37	602	Biofiltre Çamur Arıtma Ünitesi	60kN/m <sup>2</sup>
38	610	Çamur Keki Deposu	45kN/m <sup>2</sup>
39	950	Kombine Isı&Güç İstasyonu	190kN/m <sup>2</sup>
40	960	Jeneratör Binası	35kN/m <sup>2</sup>

### 3.3 Proje Alanının Coğrafi Konumu, Morfolojisi, Çevre ve İklim Özellikleri

Çalışmaya esas inceleme alanı, Erzurum ili, Aziziye ilçesi sınırlarında olup, ulaşım her mevsim sağlanabilmektedir. İnceleme alanına ait uydu görüntüsü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. İnceleme alanı ve çevresinde karasal iklim hakimdir. Kışları soğuk ve yağışlı, yazları ise kurak ve sıcaktır. Bölgede karasal bitki örtüsü gözlenmektedir.

İnceleme alanı düz bir topografyaya sahiptir. İnceleme alanında şev duraylılık problemi bulunmamaktadır. İnceleme alanı, yapılaşmadan önce tarım arazisi olarak kullanılmamıştır. İller Bankası tarafından imar planı çalışmaları kapsamında bölgede heyelan, çığ, kaya düşmesi ve su baskını tehlikesinin bulunmadığı belirtilerek bölge yapılaşmaya açılmıştır. İnceleme alanında doğal drenaj sistemi bulunmamaktadır. Bölgede aylara göre düşen yağış miktarı Tablo 3.2’de, sıcaklıklar ise Tablo 3.3’de sunulmuştur.



**Şekil 3.2** İnceleme alanına ait uydu görüntüsü

**Tablo 3.2** İnceleme alanındaki aylara göre yağış miktarları

Aylar	Yağış Miktarı ( mm )	Aylar	Yağış Miktarı ( mm )
Ocak	27.4	Temmuz	56.5
Şubat	30	Ağustos	46.2
Mart	29.8	Eylül	31.4
Nisan	44.7	Ekim	39.8
Mayıs	89.8	Kasım	50.7
Haziran	78.9	Aralık	23.9

**Tablo 3.3** İnceleme alanı aylara göre sıcaklıklar

Aylar	Ortalama Sıcaklık	En Yüksek Sıc. °C	En Düşük Sıc. °C	Aylar	Ortalama Sıcaklık	En Yüksek Sıc. °C	En Düşük Sıc. °C
Ocak	-10.8	-4.4	-16.9	Temmuz	19.1	27.2	9.6
Şubat	-10.1	-3.1	-16.7	Ağustos	18.9	27.7	9.1
Mart	-3.7	2.6	-9.8	Eylül	13.6	23.3	3.5
Nisan	5.2	11.8	-0.9	Ekim	7.4	16.3	-0.6
Mayıs	10.3	17.3	2.7	Kasım	-0.5	6.9	-6.8
Haziran	14.6	22.3	5.5	Aralık	-7.2	-1.6	-12.6



### 3.4 Jeoloji

#### 3.4.1 Genel jeoloji

Anadolu ofiyolitli karışığı (Mof): Barka vd. (1983) tarafından adlandırılan birim Miyosen sonlarındaki okyanus kapanmalarına bağlı olarak tektonik dokanakla bir kısmı yüzeylemiştir. Erzurum havzasının kuzey ve güneyinde tektonik naplar ve ekaylanmalarla kendinden daha genç birimlerin üzerine gelmiştir. Ancak yine de temel kaya birimlerini oluşturmaktadır. Birim serpantin, spilitik bazalt, bazalt, dünit, harzburjit ve kromit türü litolojilerden meydana gelmektedir. Kuzey napında birim içerisinde kireçtaşı blokları ve çakılları da bulunur.

Bingöldağı volkanitleri (Tb): Bir bölümü Tekman bazaltı (Erdoğan ve Soytürk, 1974) olarak adlandırılan ve andezit ile andezitik bazalt arasında değişim gösteren, Miyosen yaşlı volkanitlerin ana çıkış yeri Bingöl dağı kalderasıdır. Bu günden söz konusu volkanitler Bingöldağı volkanitleri olarak adlandırılmıştır. Bingöl Dağı yöresi, özellikle doğu yamacı Ortaköy-Başköy kesimi tip yerlerdir. Gri, siyahımsı gri, genellikle orta-ince yer yer kalın katmanlı, bol oranda koşut-düzenli eklemli, bazı yerlerde yeşilimsi likenli ve Tekman güneydoğusundaki geniş yüzeylemelerde konsantrik akma yapılı, yan çıkış merkezleri olan volkanitler, genellikle andezitik bazalt lavları, ignimbrit, tuf, aglomera ardalanması halindedir. İnce kesitte de akma dokusu belirgin olan volkanitler, plajiyoklas mikrolitli bir hamur içinde andezin çubukları ve yaklaşık koyut dizilimli opaklaşmış hornblend kapsamaktadır. Yer yer demir oksit bileşikleri açığa çıkmış ve volkanitler kırmızımtırak bir renk kazanmıştır. Bingöl dağı volkanitleri, Hınıs kuzeybatısında alt Miyosen yaşlı karbonatların üzerine açılı uyumsuzlukla, Alibonca formasyonu üzerine uyumlu ve geçişli olarak gelir. Alt kesimi karasal oluşuklarla ardalanmış Bingöl dağı volkanitleri üzerine de Pliyosen yaşlı gölsel oluşuklar açılı uyumsuzlukla gelmektedir. Buna göre volkanitler daha çok üst Miyosen yaşlı olabilir.

Gelinkaya formasyonu ( Tg ): Başlıca açık gri, gri ince taneli çakıltası, kumtaşı ve marnlardan oluşan gölsel birimler Gelinkaya formasyonu (Arpat, 1965) olarak adlandırılmıştır. Birim en alttan itibaren marn-killi kireçtaşı-kiltaşı ardalanması ile başlayıp üste doğru volkanik aktiviteye bağlı olarak marn-kiltaşı-tuf ardalanmasına geçiş gösterir. Pliyosende playa göllerinin sedimanlarla dolması sonucunda birim

akarsu ve delta çökellerine geçiş gösterir. Bu nedenle birimin en üst seviyeleri çakıltası-kumtaşı-kıltaşı ardışıklı seviyelerle son bulur. Birimin altındaki ve üstündeki birimlerle olan ilişkisi ve killi kireçtaşlarında bulunan fosilleri nedeniyle yaşı üst Miyosen-Pliyosen olarak verilmiştir (Arpat, 1965).

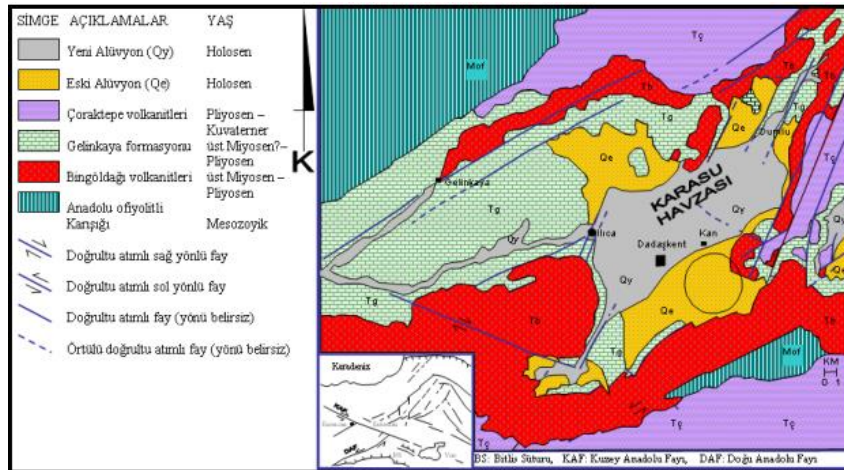
Gelinkaya formasyonu özellikle Ilıca ilçesi ve çevresinde geniş yüzlekler vermektedir. Ayrıca Erzurum il merkezinde doğrultu atımlı fayların yükseltileriyle ortaya çıkan Kiremitlik Tepe mostrası da görülmektedir.

Çoraktepe volkanitleri (Tç): Erzurum il merkezinin kuzeydoğusunda Kargapazarı Dağ silsilesinde, daha kuzeyde Akdağ ile Palandöken Dağlarının güney kısımlarında yüzlek veren birim andezit, ignimbirit ve piroklastiklerden oluşmaktadır. Birimin yaşı üst Miyosen – alt Pliyosen olarak belirlenmiştir.

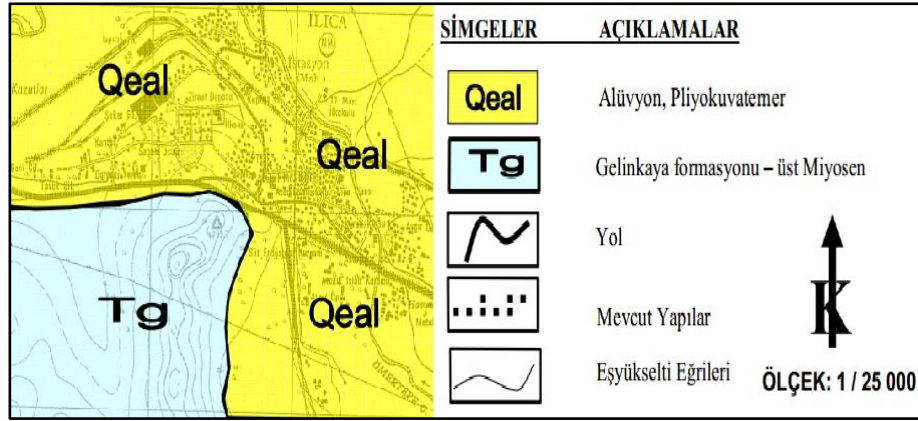
Eski Alüvyon (Qeal): Pliyosen ve sonrası karasallaşmaya bağlı olarak ova kenarlarındaki aşınma-taşınma-çökeltme süreçleriyle oluşan alüvyonlardır.

Güncel Alüvyon (Qeal): Ovaların orta bölümlerinde, akarsu vadilerinde ve düzlüklerde oluşumu sürmekte olan alüvyonlardır.

Şekil 3.3'te Erzurum ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası, Şekil 3.4'te inceleme alanının jeoloji haritası gösterilmiştir.

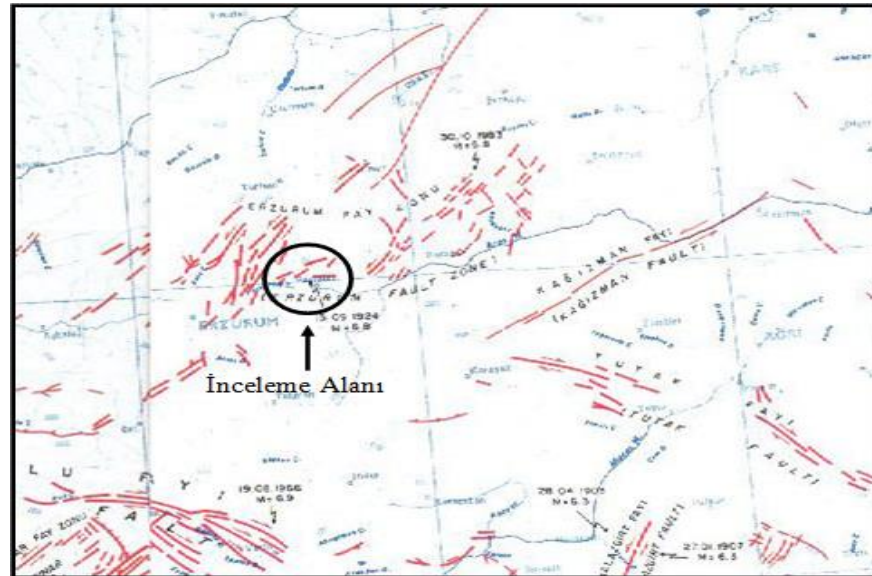


Şekil 3.3 Erzurum ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası (MTA)



Şekil 3.4 İnceleme alanının jeoloji haritası

Tektonik: Bölgede güncel aktif Doğu Anadolu fay zonu geçer. Bu zonu dar açılarla tali faylar keser. Ancak, DAF ve KAF zonlarının kesim noktası olan Karlıova üçlü keşişmenin doğu bölümünde, KAF sistemine bağlı faylar güneye akordeon şeklinde açılarak doğuya doğru uzandıkları görülmektedir. Hamurpet gölü dolayında KD-GB uzanımlı DAF sistemine bağlı faylar keşişmektedir. Bölgede, KAF ve DAF sistemlerine bağlı faylar güncel aktiftirler. MTA tarafından hazırlanan diri fay haritasında, inceleme alanı ve çevresinde kayda değer diri veya ölü fay hatları bulunmaktadır. Tarih boyunca can ve mal kaybına neden olan çok sayıda deprem yaşanmıştır. Şekil 3.5'te Erzurum ve çevresinin diri fay haritası gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Erzurum ve çevresinin diri fay haritası (MTA)

### 3.4.2 İnceleme alanının mühendislik jeolojisi

İnceleme alanında, üst seviyelerde, kalınlığı yaklaşık 3,00 m olan kil, kum ve çakıl karışımı malzeme ile altında grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler ve altta ise Gelinkaya formasyonuna ait grimsi mavi renkli kiltaşları yer almaktadır.

### 3.5 Yöntem

Çalışma genel olarak dört aşama sonucunda tamamlanmıştır. İlk aşama literatür taraması, ikinci aşama arazi çalışmaları, üçüncü aşama laboratuvar analizleri, son aşama ise büro çalışmalarıdır.

Literatür Taraması: Çalışma süresince zemin ıslah yöntemleri ve jet grout yöntemi ile ilgili çalışmalar irdelenmiş, çalışma alanı ve çevresinde yapılmış ve yapılacak olan projeler için hazırlanan zemin etüt raporları, imar planı vb. çalışmalar incelenmiş, çalışma sahası ve çevresinin jeolojik haritaları temin edilmiş ve literatür taraması yapılmıştır.

Arazi Çalışmaları: Arazi çalışmalarında söz konusu arazinin jeolojisi göz önünde bulundurularak arazi deneyleri yapılmıştır. Tesisin ihale öncesinde arıtma tesisi yerleşim alanında yapılan sondaj çalışmalarından yararlanılmış, ayrıca belli lokasyonlarda SPT deneyi yapılarak sondaj logları, oluşan loglar ışığında zemin kesitleri elde edilmiş ve yorumlanmıştır. Özellikle zeminin yapısı, dokusu ve birimlerin devamlılığını görmek açısından sondaj logları önem arz etmektedir. Jeolojik ve geoteknik sorunların saptanmasından sonra zemin ıslah yöntemi belirlenmiş ve uygulamaya geçilmiştir. Arazi çalışmalarında sahadan alınan numuneler zemin mekaniği laboratuvarına getirilmiş ve burada kıvam limit deneyi, özgür ağırlık deneyi, dane boyu analizi, konsolidasyon, nokta yükleme, özgür ağırlık deneyleri yapılmıştır. Araştırma bulguları bölümünde yapılan deneyler ve sonuçları detaylı olarak verilmiştir.

Laboratuvar Çalışmaları: Laboratuvar çalışmalarında, çalışma sahasından zemin mekaniği laboratuvarına getirilen örselenmiş ve örselenmemiş numuneler indeks deneylerine ve mühendislik deneylerine tabi tutulmuştur. İndeks deneyleri olarak Atterberg (kıvam) limit deneyi, özgül ağırlık deneyi, tane boyu analizi (hidrometre

ve elek analizi), mühendislik deneylerinden ise nokta yükleme deneyi, direk kesme deneyi ve konsolidasyon deneyleri ilgili standartlara uygun olarak yapılmıştır. Deney sonuçları araştırma bulguları bölümünde detaylı olarak anlatılmıştır.

Büro alışmaları: Büro çalışmalarında arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen bulgular incelenmiş, derlenmiş, yorumlanmiş ve gerekli grafik ve tablolar hazırlanmıştır.



## 4 ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. Arazi Çalışmaları ve Arazi Deneyleri

#### 4.1.1 Arazi çalışmalarının tanıtılması ve kullanılan ekipmanlar

Söz konusu projenin sondaj çalışmaları, kamyon üzerine monteli Crealius XCH-90 tipinde rotary sistem çalışan bir adet sondaj makinesi, dört kişilik ekipman ve bir jeoloji mühendisinin denetiminde müşavir firma ve faydalanıcı kurum (ESKİ) kontrolünde yürütülmüştür.

Arazi çalışmaları kapsamında 7 noktada derinlikleri 30.00 m olan toplam 210.00 m sondaj çalışması yapılmıştır. Bu çalışmanın her 1.50 m'sinde standart penetrasyon deneyi (SPT) yapılarak zeminlerin sıklık ve kıvam özellikleri belirlenmiş ve örselenmiş örnekler alınmıştır. Yapılan sondaj çalışması sonrasında kuyuya delikli PVC boru indirilerek yeraltı suyu olup olmadığı gözlenmiştir.

Standart penetrasyon deneyi zemin sondajlarında yerinde yapılan bir deneydir. Deney 45 cm uzunluğunda ve 2 inç çaplı bir borunun 75 cm yükseklikten düşen 63,5 kg. ağırlığındaki bir şahmerdanla çakılması esasına dayanır. 45 cm.'lik uzunluğu 15'er cm'lik üç bölüme ayrılmakta ve üç ayrı aşamada darbe sayısı belirlenmektedir.

Genelde 1,5 m aralıklarla yapılan bu deneye göre, zeminin sıklığı ve kıvam özellikleri ilk 15 cm'lik sondaj tablasındaki örselenmeden dolayı değerlendirmelerde dikkate alınmaz. Hesaplarda ikinci ve üçüncü aşama toplamları sonucu elde edilen N değerlerinin formüllere göre düzeltilmiş hali kullanılır. Literatürde SPT sonuçları ile kohezyonsuz zeminlerin göreceli sıklığı, kohezyonlu zeminlerin kıvam durumu, zeminlerin kayma dayanımı ve sıkışabilirlik parametreleri, sıvılaşma potansiyeli arasında çok sayıda korelasyon mevcuttur. SPT, birçok zeminde uygulanabilse de özellikle iri granüler danelerin olmadığı kumlu zeminlerde gerçekçi ve tutarlı sonuçlar vermektedir. Ayrıca özellikle kohezyonsuz zeminlerde, yüzeysel temellerde taşıma gücü ve potansiyel oturmaların tahminine ve kazıklı temellerde taşıma gücü

tainine yönelik ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Tüm bu nedenlerle SPT'nin geoteknik tasarımda önemli bir yeri vardır (Erol, O. ve Çekinmez, Z., 2014).

#### 4.1.2 Sondaj kuyuları

İnceleme alanında, amaca uygun olarak 10 günlük süre zarfında 7 adet toplam derinliği 210,00 metre olan sondaj kuyusu açılmıştır. Temel sondaj kuyusunda Standart penetrasyon deneyi ( SPT ) yapılmıştır. Zemin sondajları binaların oturacağı alana yapılarak ayrıntılı sonuç alınmaya çalışılmıştır. Yapılan sondaj çalışması sonrasında kuyuya delikli PVC boru indirilerek yeraltı suyu olup olmadığı gözlenmiştir. Çalışma sonrasında kuyu ağzı kapatılmıştır. Yapılan sondaj çalışmalarına ait genel bilgiler Tablo 4.1'de verilmiştir.

**Tablo 4.1** Sondajlara ait bilgiler

Sondaj No	X	Y	Derinlik (m)	SPT (adet)	UD (adet)	Karot
SK- 1	4 425 284	422 280	30	15	1	4
SK- 2	4 425 206	422 324	30	16	1	3
SK-3	4 425 265	422 406	30	12	1	7
SK-4	4 425 233	422 498	30	10	1	9
SK-5	4 425 218	422 398	30	10	1	9
SK-6	4 425 168	422 557	30	10	1	9
SK-7	4 425 213	422 620	30	15	1	4

#### 4.1.3 Yeraltı ve yerüstü suları

İnceleme alanında yapılan sondaj kuyusunda sondaj çalışmaları sonrasında 7 günlük süre zarfında yapılan ölçümlerde 0.50 metrede yeraltı suyuna rastlanılmıştır. Bölgede genel olarak don derinliği 1,20 metredir. İnceleme alanında yüzey suyu drenaj sistemi bulunmamaktadır.

Betonda kimyasal hasar etkenleri: Beton bileşenleri maruz kaldıkları çevre koşulları ile özellikle sulu ortamlarda, çeşitli etkileşimlere girerler. Bu etkileşme sonucu, malzemede çoğu zaman istenmeyen değişiklikler ortaya çıkar. Bu değişim sonucunda, beton yapı işlevini yerine getirebilmesi için gerekli olan özelliklerin bir

kısmını kaybedebilir. Kimyasal etkilerin sonucunda beton içyapı bozulur, mukavemet azalır, boşluk oranı büyür, büyük yerel değişimler sonucunda betonda çatlamlar ve kabarmalar görülür.

Çok karşılaşılan hasar tipleri açısından, betona etki ederek tahribatına yol açan zararlı kimyasal etkileri Sülfat Etkisi, Magnezyum ve Amonyum Tuzları Etkisi olarak sınıflamak mümkündür. Tablo 4.2’de Beton karışım sularının zararlı etkinlik derecesi ( TS 3440 ) ve Tablo 4.3’ te Kullanılan karışım sularının analiz standartları ( TS 1247 ) gösterilmiştir.

**Tablo 4.2** Beton karışım sularının zararlı etkinlik derecesi ( TS 3440 )

İncelenen Özellik	Zararlı Etkinlik Derecesi ( TS 3440 )		
	Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli
Ph	6.5 – 5.5	5.5 – 4.5	< 4.5
Amonyum ( mg NH <sub>4</sub> /lt.)	15 - 30	30 - 60	> 600
Magnezyum ( mg Mg/lt.)	100 - 300	300 - 1500	> 1500
Sülfat ( mg SO <sub>4</sub> /lt.)	200 - 600	600 - 3000	> 3000

**Tablo 4.3** Kullanılan karışım sularının analiz standartları ( TS 1247 )

Kimyasal Özellikler	Standart ( TS 1247 )
Ph	> 7
Klorür ( mg NaCl / lt.)	< 15 000
Sülfat ( mg SO <sub>4</sub> /lt.)	< 3000
Askıdaki Katkılar ( mg SS / lt. )	< 2000



İlgili standartlara göre inceleme alanından alınan yeraltı suyu T.C. Sağlık Bakanlığı Erzurum Hıfzısıhha Enstitüsü Müdürlüğünde gerekli testlere tabi tutulmuş ve yapılan tahlil sonuçlarına göre; yer altı suyunun Ph= 8.0, SO<sub>4</sub>= 33.27 mg/lit. değerindedir. Dolayısı ile inceleme alanında yer alan suların PH ve SO<sub>4</sub> değerlerinin ilgili standartlara göre betona etkisi olmayacaktır.

#### 4.1.4 Standart penetrasyon deneyleri (SPT)

Söz konusu arıtma tesisi inşaat alanında yapılan 7 adet toplam 210.00 metre derinliğinde temel sondaj kuyularında zeminin Mühendislik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla her 1.50 metrede bir standart penetrasyon deneyi yapılmıştır.

İnceleme alanında açılan sondajlardan elde edilen SPT değerleri ile Düzeltilmiş SPT değerleri Tablo 4.4'de sunulmuştur.

**Tablo 4.4** SPT değerleri ile düzeltilmiş SPT değerleri

Sondaj No	YASS m	Derinlik (m)	Kot (m)	Arazi SPT	$\sigma_v', \text{tsf}$	$\sigma_v, \text{tsf}$	%#200	LL	wn, %	SPT/N Darbe sayısı düzeltme katsayıları					(N1)60	
										CN (1)	CE (2)	CB (3)	CR	CS		
SK-1	0.5	1.5	-1													
	0.5	3	-2.5	9	0.29	0.54	92	59	45	1.42	0.75	1	0.75	1	7	
	0.5	4.5	-4	12	0.41	0.81	91	68	59	1.3	0.75	1	0.85	1	9	
	0.5	6	-5.5	16	0.53	1.08	93	63	41	1.21	0.75	1	0.85	1	12	
	0.5	7.5	-7	16	0.65	1.35	94	78	68	1.15	0.75	1	0.95	1	13	
	0.5	9	-8.5	14	0.77	1.62	92	65	54	1.09	0.75	1	0.95	1	10	
	0.5	10.5	-10	17	0.89	1.89	93	66	57	1.04	0.75	1	1	1	13	
	0.5	12	-11.5	18	1.01	2.16	95	58	46	1	0.75	1	1	1	13	
	0.5	13.5	-13	17	1.13	2.43	92	54	44	0.96	0.75	1	1	1	12	
	0.5	15	-14.5	19	1.25	2.7	91	73	63	0.93	0.75	1	1	1	13	
	0.5	16.5	-16	19	1.37	2.97	89	66	31	0.9	0.75	1	1	1	12	
	0.5	18	-17.5	21	1.49	3.24	90	74	57	0.87	0.75	1	1	1	13	
	0.5	19.5	-19	22	1.61	3.51	92	68	32	0.84	0.75	1	1	1	13	

**Tablo 4.4** SPT değerleri ile düzeltilmiş SPT değerleri (devam)

Sondaj	YASS	Derinlik	Kot	Arazi SPT	$\sigma'_{tsf}$	$\sigma_{tsf}$	%#200	LL	wn, %	SPT/N Darbe sayısı düzeltme katsayıları					(N1)60
										CN (1)	CE (2)	CB (3)	CR	CS	
No	m	(m)	(m)												
SK-2	0.5	1.5	-1												
	0.5	3	-2.5	12	0.29	0.54	92	59	45	1.42	0.75	1	0.75	1	9
	0.5	4.5	-4	14	0.41	0.81	91	68	59	1.3	0.75	1	0.85	1	11
	0.5	6	-5.5	15	0.53	1.08	93	63	41	1.21	0.75	1	0.85	1	11
	0.5	7.5	-7	17	0.65	1.35	94	78	68	1.15	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	9	-8.5	17	0.77	1.62	92	65	54	1.09	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	10.5	-10	15	0.89	1.89	93	66	57	1.04	0.75	1	1	1	11
	0.5	12	-11.5	19	1.01	2.16	95	58	46	1	0.75	1	1	1	14
	0.5	13.5	-13	23	1.13	2.43	92	54	44	0.96	0.75	1	1	1	16
	0.5	15	-14.5	12	1.25	2.7	91	73	63	0.93	0.75	1	1	1	8
	0.5	16.5	-16	19	1.37	2.97	89	66	31	0.9	0.75	1	1	1	12
	0.5	18	-17.5	20	1.49	3.24	90	74	57	0.87	0.75	1	1	1	13
	0.5	19.5	-19	20	1.61	3.51	92	68	32	0.84	0.75	1	1	1	12
Sondaj	YASS	Derinlik	Kot	Arazi SPT	$\sigma'_{tsf}$	$\sigma_{tsf}$	%#200	LL	wn, %	SPT/N Darbe sayısı düzeltme katsayıları					(N1)60
No	m	(m)	(m)							CN (1)	CE (2)	CB (3)	CR	CS	
SK-3	0.5	1.5	-1												
	0.5	3	-2.5	11	0.29	0.54	92	59	45	1.42	0.75	1	0.75	1	8
	0.5	4.5	-4	13	0.41	0.81	91	68	59	1.3	0.75	1	0.85	1	10
	0.5	6	-5.5	17	0.53	1.08	93	63	41	1.21	0.75	1	0.85	1	13
	0.5	7.5	-7	17	0.65	1.35	94	78	68	1.15	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	9	-8.5	15	0.77	1.62	92	65	54	1.09	0.75	1	0.95	1	11
	0.5	10.5	-10	17	0.89	1.89	93	66	57	1.04	0.75	1	1	1	13
	0.5	12	-11.5	18	1.01	2.16	95	58	46	1	0.75	1	1	1	13
	0.5	13.5	-13	11	1.13	2.43	92	54	44	0.96	0.75	1	1	1	7
	0.5	15	-14.5	17	1.25	2.7	91	73	63	0.93	0.75	1	1	1	11
	0.5	16.5	-16	18	1.37	2.97	89	66	31	0.9	0.75	1	1	1	12
	0.5	18	-17.5	21	1.49	3.24	90	74	57	0.87	0.75	1	1	1	13
Sondaj	YASS	Derinlik	Kot	Arazi SPT	$\sigma'_{tsf}$	$\sigma_{tsf}$	%#200	LL	wn, %	SPT/N Darbe sayısı düzeltme katsayıları					(N1)60
No	m	(m)	(m)							CN (1)	CE (2)	CB (3)	CR	CS	
SK-4	0.5	1.5	-1												
	0.5	3	-2.5	11	0.29	0.54	92	59	45	1.42	0.75	1	0.75	1	8
	0.5	4.5	-4	11	0.41	0.81	91	68	59	1.3	0.75	1	0.85	1	9
	0.5	6	-5.5	16	0.53	1.08	93	63	41	1.21	0.75	1	0.85	1	12
	0.5	7.5	-7	16	0.65	1.35	94	78	68	1.15	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	9	-8.5	19	0.77	1.62	92	65	54	1.09	0.75	1	0.95	1	14
	0.5	10.5	-10	19	0.89	1.89	93	66	57	1.04	0.75	1	1	1	14
	0.5	12	-11.5	17	1.01	2.16	95	58	46	1	0.75	1	1	1	12
	0.5	13.5	-13	17	1.13	2.43	92	54	44	0.96	0.75	1	1	1	12
	0.5	15	-14.5	21	1.25	2.7	91	73	63	0.93	0.75	1	1	1	14

**Tablo 4.4** SPT değerleri ile düzeltilmiş SPT değerleri (devam)

Sondaj	YASS	Derinlik	Kot	Arazi SPT	$\sigma_v', tsf$	$\sigma_v, tsf$	%-#200	LL	wn, %	SPT/N Darbe sayısı düzeltme katsayıları					(N1)60
No	m	(m)	(m)							CN (1)	CE (2)	CB (3)	CR	CS	
SK-5	0.5	1.5	-1												
	0.5	3	-2.5	12	0.29	0.54	92	59	45	1.42	0.75	1	0.75	1	9
	0.5	4.5	-4	11	0.41	0.81	91	68	59	1.3	0.75	1	0.85	1	9
	0.5	6	-5.5	14	0.53	1.08	93	63	41	1.21	0.75	1	0.85	1	10
	0.5	7.5	-7	16	0.65	1.35	94	78	68	1.15	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	9	-8.5	19	0.77	1.62	92	65	54	1.09	0.75	1	0.95	1	14
	0.5	10.5	-10	16	0.89	1.89	93	66	57	1.04	0.75	1	1	1	12
	0.5	12	-11.5	16	1.01	2.16	95	58	46	1	0.75	1	1	1	11
	0.5	13.5	-13	20	1.13	2.43	92	54	44	0.96	0.75	1	1	1	14
	0.5	15	-14.5	20	1.25	2.7	91	73	63	0.93	0.75	1	1	1	13
Sondaj	YASS	Derinlik	Kot	Arazi SPT	$\sigma_v', tsf$	$\sigma_v, tsf$	%-#200	LL	wn, %	SPT/N Darbe sayısı düzeltme katsayıları					(N1)60
No	m	(m)	(m)							CN (1)	CE (2)	CB (3)	CR	CS	
SK-6	0.5	1.5	-1												
	0.5	3	-2.5	14	0.29	0.54	92	59	45	1.42	0.75	1	0.75	1	11
	0.5	4.5	-4	12	0.41	0.81	91	68	59	1.3	0.75	1	0.85	1	9
	0.5	6	-5.5	16	0.53	1.08	93	63	41	1.21	0.75	1	0.85	1	12
	0.5	7.5	-7	17	0.65	1.35	94	78	68	1.15	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	9	-8.5	16	0.77	1.62	92	65	54	1.09	0.75	1	0.95	1	12
	0.5	10.5	-10	17	0.89	1.89	93	66	57	1.04	0.75	1	1	1	13
	0.5	12	-11.5	19	1.01	2.16	95	58	46	1	0.75	1	1	1	14
	0.5	13.5	-13	19	1.13	2.43	92	54	44	0.96	0.75	1	1	1	13
	0.5	15	-14.5	22	1.25	2.7	91	73	63	0.93	0.75	1	1	1	15
Sondaj	YASS	Derinlik	Kot	Arazi SPT	$\sigma_v', tsf$	$\sigma_v, tsf$	%-#200	LL	wn, %	SPT/N Darbe sayısı düzeltme katsayıları					(N1)60
No	m	(m)	(m)							CN (1)	CE (2)	CB (3)	CR	CS	
SK-7	0.5	1.5	-1												
	0.5	3	-2.5	15	0.29	0.54	92	59	45	1.42	0.75	1	0.75	1	11
	0.5	4.5	-4	17	0.41	0.81	91	68	59	1.3	0.75	1	0.85	1	14
	0.5	6	-5.5	17	0.53	1.08	93	63	41	1.21	0.75	1	0.85	1	13
	0.5	7.5	-7	16	0.65	1.35	94	78	68	1.15	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	9	-8.5	18	0.77	1.62	92	65	54	1.09	0.75	1	0.95	1	13
	0.5	10.5	-10	17	0.89	1.89	93	66	57	1.04	0.75	1	1	1	13
	0.5	12	-11.5	20	1.01	2.16	95	58	46	1	0.75	1	1	1	14
	0.5	13.5	-13	20	1.13	2.43	92	54	44	0.96	0.75	1	1	1	14
	0.5	15	-14.5	20	1.25	2.7	91	73	63	0.93	0.75	1	1	1	13
	0.5	16.5	-16	17	1.37	2.97	89	66	31	0.9	0.75	1	1	1	11
	0.5	18	-17.5	17	1.49	3.24	90	74	57	0.87	0.75	1	1	1	11
	0.5	19.5	-19	17	1.61	3.51	92	68	32	0.84	0.75	1	1	1	10

SPT değerleri ile zemin parametreleri arasındaki ilişkiyi inceleyen ve bu ilişkiyi formülize eden literatürde bir çok çalışma ve ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Terzaghi ve Peck (1948) SPT'den elde edilen veriler ışığında birçok tasarım abağı ve korelasyonu önermiştir. Tablo 4.5'te kohezyonlu zeminlerde darbe sayısı ile kıvam arasındaki bağıntı ve kohezyonsuz zeminlerde darbe sayısı ile sıklık arasındaki bağıntı gösterilmiştir.

**Tablo 4.5** Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde darbe sayısı-kıvam sıklık ilişkisi

Kohezyonlu zeminlerde darbe sayısı ile kıvam arasındaki bağıntı		Kohezyonsuz zeminlerde darbe sayısı ile sıklık arasındaki bağıntı	
Darbe Sayısı	Kıvam	Darbe Sayısı	Sıklık
0 – 2	Çok yumuşak	0 – 4	Çok Gevşek
3 – 4	Yumuşak	5 – 10	Gevşek
5 – 8	Orta	11 – 30	Orta Sıkı
9 – 15	Katı	30 – 50	Sıkı
16 – 30	Çok Katı	N > 50	Çok Sıkı
N > 30	Sert		

Sahada yapılan penetrasyon deneyleri sonuçlarına göre ince taneli zeminin (MH-inorganik killi.silt) SPT  $N_{60}$  değerleri Tablo 4.4'te görüleceği üzere 7-15 arasında değişmektedir. Bu değer SPT  $N_{60}$  değerlerinin Terzaghi–Peck (1948) sınıflamasına göre kıvamı orta ve katıdır.



**Şekil 4.1** Sondaj çalışmalarından görüntüler

#### 4.1.5 Jeofizik çalışmalar

Arıtma tesisi alanında, tabaka kalınlıklarının ve bunlara ait dinamik elastik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla mahallinde önceden belirlenen 4 hat üzerinde, karşılıklı atışlı olmak üzere sismik kırılma ve MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) çalışması yapılmıştır. Arazide OYO marka, McSEIS 1125M model sismograf ve RTC marka 4.5 Hz jeofona sahip 24 kanallı sismik kayıtcı kullanılmıştır. Kaynak olarak balyoz kullanılmıştır.

**Sismik Kırılma:** Yüzeyde herhangi bir kaynak yardımıyla oluşturulan dalga ara yüzeye (tabaka sınırı) gelir ve ara yüzey boyunca her bir nokta yeni bir yarı küresel elastik dalga merkezi olur. Bu dalga P dalgası yayılımı için  $V_p$  hızıyla ve S dalgası için  $V_s$  hızıyla ortam içinde hareket eder. Arazi uygulamalarında P ve S dalga hızlarının sismik kırılma yöntemiyle tespit edilerek sahaya ait tabakaların elastik parametreleri hakkında bilgi edinilmesi yoluna gidilir.

**MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave):** S-tipi sismik hız analizi için yüzey dalgası analiz yöntemlerinden MASW tekniği kullanılmıştır. Yüzey dalgası analiz yöntemlerinde, yer altındaki tabakalı yapıların kesme dalgası hızının ( $V_s$ ) derinlikle değişiminin hesaplanması amacıyla Rayleigh dalgasının dispersif özelliğinden faydalanır. MASW tekniği ile  $V_{s30}$  değeri sağlıklı bir şekilde hesaplanabilmektedir. Yöntem P-tipi saha kaydında mevcut Rayleigh tipi yüzey dalgalarının düzlem-dalga bileşenlerine ayrılarak analiz edilmesi ilkesine dayanır. Analiz sonucu elde edilen faz hızı–frekans spektrumundan dispersiyon eğrisi tespit edilir ve bir başlangıç modelini takiben iteratif olarak sonuç S-tipi hız–derinlik modeli oluşturulur.

P ve S dalgası hızlarını tespit etmek için bir hatta karşılıklı atış yapılmış ve elde edilen veriler üzerinde dispersiyon yapılarak tabaka hızları hesaplanmış ve bu hızlardan zemine ait elastik parametreler bulunmuştur.

**Sismik P dalgası (Boyuna dalga hızı- $V_p$ ):** Bu tür dalgalar, sıkışma veya ilk dalgalar olarak adlandırılırlar. Bu dalgaların yayılımı sırasında sıkışmadan dolayı kübik genişleme veya hacim değişikliği olur. Boyuna dalgalarda sıkışma ve genişlemeyi temsil eden titreşim doğrultusu dalga yayılımı doğrultusuyla aynıdır. Dolayısıyla

sıkışabilir (gevşek) zeminlerde P dalgası hızı düşük, sıkışması zor zeminlerde (kaya) P dalgası hızı yüksek çıkacaktır. Tablo 4.6' da P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaçların sökülebilirlikleri (Bilgin 1989) arasındaki bağıntı ile arazide 4 hat için elde edilen P dalgası hızları ve zeminlerin her tabaka için sökülebilirlikleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.6** P dalgası hızı ile zeminlerin ya da kayaçların sökülebilirlikleri ve arazi verileri

P dalgası hızı (m/sn)	Sökülebilirlik	Hat	Tabakalar	P Dalgası Hızı	Sökülebilirlik
300-600	Çok kolay	HAT-1	1. Tabaka	231 m/sn	Çok Kolay
600-900	Kolay		2. Tabaka	1122 m/sn	Orta
900-1500	Orta	HAT-2	1. Tabaka	250 m/sn	Çok Kolay
1500-2100	Zor		2. Tabaka	1003 m/sn	Orta
2100-2400	Çok zor	HAT-3	1. Tabaka	208 m/sn	Çok Kolay
2400-2700	Son derece zor		2. Tabaka	1061 m/sn	Orta
		HAT-4	1. Tabaka	217 m/sn	Çok Kolay
			2. Tabaka	998 m/sn	Orta

Sismik S dalgası (Kayma veya kesme dalgası hızı-Vs): Kayma dalgalarının yayını sırasında elamanlarda şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni de dalga yayınında parçacıkların titreşim doğrultusunun, dalga yayını doğrultusuna dik olmasındandır. Doğal olarak kayma dalgası hızları malzemenin şekil bozunumuna veya burulmaya karşı direnci varsa meydana gelmektedir. Tablo 4.7'de S dalgası hızı ile kaya ve zeminlerin sınıflandırılması arasındaki ilişki ve arazide 4 hat için elde edilen S dalgası hızları ve zemin sınıflandırılması gösterilmiştir.

**Tablo 4.7** S dalgası hızı ile zeminlerin sınıflandırılması ve proje verileri

<b>Kayma Dalgası Hızı (m/sn)</b>	<b>Yerel Birim Türü</b>	<b>Zemin Grubu</b>
<200	Yumuşak kil, siltli kil	D
<200	Gevşek Kum	D
<200	Yeraltısu düzeyinin yüksek olduğu yumuşak-suya doymuş kalın alüvyonlu katmanlar	D
200-300	Katı kil-siltli kil	C
200-400	Orta Sıkı Kum, çakıl	C
400-700	Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	C
<b>Hat</b>	<b>Tabakalar</b>	<b>S Dalgası Hızı</b>
HAT-1, 2, 3, 4	1. Tabaka	63 m/sn
	2. Tabaka	292 m/sn

Elastisite modülü ( $E$ ,  $\text{Kg/Cm}^2$ ): Bir doğrultuda gerilme deformasyon oranı olarak tanımlanır. Başka bir deyişle uygulanan düşey basınç yönünde yerin düşey değişimini tanımlar. Eşitlik 4.1 Elastisite modülü formülünü göstermektedir.

$$E=2\mu(1+\mu) \text{ kN/m}^2 \quad (4.1)$$

Buna göre arazide yapılan 4 hat ve 8 tabaka için Elastisite modülünü eşitlik 4.2' de çözümlen,

$$E=G(3V_p^2-4V_s^2)/(V_p^2-V_s^2) \quad (4.2)$$

çalışılan 4 hat için dalga hızlarına göre elde edilen Elastisite modülleri ve zeminlerin her tabaka için Elastisite modülleri Keçeli (1990) tablosuna göre Tablo 4.8' de gösterilmiştir.

**Tablo 4.8** Elastisite modülü değerlerine göre zeminlerin dayanımı ve proje verileri

Elastisite Modülü (E, kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım	Hat	Tabakalar	Elastisite Modülü	Dayanım
<1000	Çok zayıf	HAT-1	1. Tabaka	140 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
1000-5000	Zayıf		2. Tabaka	4471 kg/cm <sup>2</sup>	Zayıf
5000-10000	Orta	HAT-2	1. Tabaka	143 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
10000-30000	Sağlam		2. Tabaka	4318 kg/cm <sup>2</sup>	Zayıf
>30000	Çok Sağlam	HAT-3	1. Tabaka	135 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
			2. Tabaka	4395 kg/cm <sup>2</sup>	Zayıf
		HAT-4	1. Tabaka	137 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
			2. Tabaka	4311 kg/cm <sup>2</sup>	Zayıf

Kayma modülü (G, kg/cm<sup>2</sup>): Kayma modülü yatay kuvvetlere karşı formasyonun direncini gösterir. Sıvıların makaslamaya karşı direnci olmadığından bu parametre sıfırdır. Kayma modülü ne kadar yüksekse, formasyonun makaslama gerilmelerine yani yatay kuvvetlere (yatay deprem yükü) karşı direnci o kadar fazla demektir. Kayma modülü eşitlik 4.3 ile hesaplanır.

$$G = (dV_s^2)/100 \quad (4.3)$$

Çalışılan 4 hat için dalga hızlarına göre elde edilen kayma modülleri ve zeminlerin her tabaka için kayma modülleri Keçeli (1990) tablosuna göre Tablo 4.9'da gösterilmiştir.

**Tablo 4.9** Kayma modülü değerlerine göre zeminlerin dayanımı ve proje verileri

Kayma (Shear) Modülü (E, kg/cm <sup>2</sup> )	Dayanım	Hat	Tabakalar	Kayma Modülü	Dayanım
<400	Çok zayıf	HAT-1	1. Tabaka	48 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
400-1500	Zayıf		2. Tabaka	1527 kg/cm <sup>2</sup>	Orta
1500-3000	Orta	HAT-2	1. Tabaka	49 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
3000-10000	Sağlam		2. Tabaka	1485 kg/cm <sup>2</sup>	Zayıf
>10000	Çok sağlam	HAT-3	1. Tabaka	47 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
			2. Tabaka	1506 kg/cm <sup>2</sup>	Orta
		HAT-4	1. Tabaka	47 kg/cm <sup>2</sup>	Çok Zayıf
			2. Tabaka	1483 kg/cm <sup>2</sup>	Zayıf



Bulk (Sıkışmazlık) modülü ( $K$ ,  $\text{kg/cm}^2$ ): Bulk Modülü, bir kütleyi çepeçevre saran basınç altında sıkışmasının ölçüsüdür. Dalga teorisinden elde edilen sıkışmazlık modülü Eşitlik 4.4 ve 4.5'ten hesaplanmaktadır.

$$K=(E/3(1-2\sigma)) \text{ kg/cm}^2 \quad (4.4)$$

$$K=((d(V_p^2-4/3V_s^2)/100) \text{ kg/cm}^2 \quad (4.5)$$

Çalışılan 4 hat için elde edilen bulk modülleri ve zeminlerin her tabaka için sıkışma özellikleri Keçeli (1990) tablosuna göre Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

**Tablo 4.10** Sıkışmazlık modülü değerlerine göre zeminlerin sıkışması ve proje verileri

Bulk Modülü ( $E$ , $\text{kg/cm}^2$ )	Sıkışma	Hat	Tabakalar	Bulk Modülü	Sıkışma
<400	Çok Az	HAT-1	1. Tabaka	580 $\text{kg/cm}^2$	Az
400-10000	Az		2. Tabaka	20515 $\text{kg/cm}^2$	Orta
10000-40000	Orta	HAT-2	1. Tabaka	704 $\text{kg/cm}^2$	Az
40000-100000	Yüksek		2. Tabaka	15543 $\text{kg/cm}^2$	Orta
>100000	Çok Yüksek	HAT-3	1. Tabaka	446 $\text{kg/cm}^2$	Az
			2. Tabaka	17878 $\text{kg/cm}^2$	Orta
		HAT-4	1. Tabaka	497 $\text{kg/cm}^2$	Az
			2. Tabaka	15350 $\text{kg/cm}^2$	Orta

Poisson oranı ( $\mu$ ): Formasyonun enine birim değişmesinin boyuna birim değişmesine oranı olarak tanımlanır. Bu oran, gözeneksiz ortamlarda 0-0.25 arası, orta dereceli gözenekli ortamlarda 0.25-0.35 arası ve gözenekli ortamlarda ise 0.35-0.50 arasında değişmektedir. Poisson oranı birimlerin katılığını bir başka ifadeyle gözenekliliğini ifade etmektedir. Eşitlik 4.6 ile hesaplanır.

$$\mu = (V_p^2 - 2V_s^2) / (2V_p^2 - 2V_s^2) \quad (4.6)$$

Çalışılan 4 hat için elde edilen Poisson oranları ve zeminlerin her tabaka için sıklık özellikleri Keçeli (1990) tablosuna göre Tablo 4.11'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.11** Poisson oranı değerlerine göre zeminlerin sıklığı ve proje verileri

Poisson Oranı	Sıklık	Hat	Tabakalar	Poisson Oranı	Sıklık
0.5	Cıvık- sıvı	HAT-1	1. Tabaka	0,46	Çok Gevşek
0.4-0.49	Çok Gevşek		2. Tabaka	0,46	Çok Gevşek
0.3-0.39	Gevşek	HAT-2	1. Tabaka	0,47	Çok Gevşek
0.20-0.29	Sıkı Katı		2. Tabaka	0,45	Çok Gevşek
0.1-0.19	Katı	HAT-3	1. Tabaka	0,45	Çok Gevşek
0-0.09	Sağlam Kaya		2. Tabaka	0,46	Çok Gevşek
		HAT-4	1. Tabaka	0,45	Çok Gevşek
			2. Tabaka	0,45	Çok Gevşek

Yoğunluk  $d$  ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ): Boyuna dalga hızına göre yoğunluk ampirik olarak Telford (1976) tarafından üretilmiş olan Eşitlik 4.7 ile hesaplanır.

$$d=0.31 V_p^{0.25} (\text{Mg}/\text{cm}^3) \quad (4.7)$$

Çalışılan 4 hat için elde edilen yoğunluk ve tanımlama özellikleri Keçeli (1990) tablosuna göre Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.12** Yoğunluk değerlerine göre zeminlerin tanımlanması ve proje verileri

Yoğunluk $d$ ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Tanımlama	Hat	Tabakalar	Yoğunluk $d$ ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	Tanımlama
<1.20	Çok düşük	HAT-1	1. Tabaka	1,21 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Düşük
1.20-1.40	Düşük		2. Tabaka	1,79 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Orta
1.40-1.90	Orta	HAT-2	1. Tabaka	1,23 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Düşük
1.90-2.20	Yüksek		2. Tabaka	1,74 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Orta
>2.20	Çok Yüksek	HAT-3	1. Tabaka	1,18 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Çok Düşük
			2. Tabaka	1,77 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Orta
		HAT-4	1. Tabaka	1,19 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Çok Düşük
			2. Tabaka	1,74 $\text{gr}/\text{cm}^3$	Orta

Zemin hakim titreşim periyodu ( $T_0, s_n$ ): Zeminin doğal olarak titreştiği, periyodudur. Periyot, doğal ya da yapay etkenlerden oluşmuş, periyodu 0.05-2 saniye arasında

olan yer titreşimleridir. Belli bir alanda, belli bir periyodun tekrarlanma sayısı maksimum olmaktadır. Maksimum tekrarlı olan periyot, hakim periyot olarak tanımlanmaktadır. Zemin hakim titreşim periyotuna bağlı olarak; alt titreşim periyot  $T_A=T_0/1,5$  ve üst titreşim periyodu  $T_B=T_0*1,5$  hesaplanır.

$$T_0=4h/V_s \text{ (sn)}; T_a=T_0/1.5 \text{ ve } T_b=T_0*1.5 \quad (4.8)$$

Çalışmaya ait  $T_0$ ,  $T_A$ ,  $T_B$  değerleri Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.13** Çalışmaya ait  $T_0$ ,  $T_A$ ,  $T_B$  değerleri

Hat	$T_0$ (sn)	$T_A$ (sn)	$T_B$ (sn)
HAT-1	0,51	0,77	1,15
HAT-2	0,53	0,79	1,19
HAT-3	0,52	0,77	1,16
HAT-4	0,77	0,51	1,15

Zemin taşıma gücü ( $Q_a$ ,  $\text{kg/cm}^2$ ): Zeminin  $1 \text{ cm}^2$  sinin taşıyabileceği nihai taşıma gücünü gösterir. Eşitlik 4.9 ile hesaplanır.

$$d=0.31*V_p^{0.25} \quad Q_a=dV_s/100 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4.9)$$

Çalışılan 4 hat için elde edilen yer taşıma güçleri Tablo 4.14'te gösterilmiştir.

**Tablo 4.14** Çalışmaya ait yer taşıma gücü değerleri

Hat	Tabakalar	Yer Taşıma Gücü ( $Q_a$ , $\text{kN/m}^2$ )
HAT-1	1. Tabaka	76 $\text{kN/m}^2$
	2. Tabaka	523 $\text{kN/m}^2$
HAT-2	1. Tabaka	78 $\text{kN/m}^2$
	2. Tabaka	509 $\text{kN/m}^2$
HAT-3	1. Tabaka	74 $\text{kN/m}^2$
	2. Tabaka	516 $\text{kN/m}^2$
HAT-4	1. Tabaka	75 $\text{kN/m}^2$
	2. Tabaka	508 $\text{kN/m}^2$

Oturma miktarı (cm): Üst yapı yükünü taşıyamayan zemininin taneler arası boşlukları kapatarak sünmesi ya da üst yapı yükü altında ezilerek yoğrulmasıdır. Eşitlik 4.10 ile hesaplanır.

$$St=Qa/E*1500 \quad (4.10)$$

Çalışılan 4 hat için elde edilen oturma miktarları Tablo 4.15’de gösterilmiştir.

**Tablo 4.15** Çalışmaya ait oturma değerleri

Hat	Tabakalar	Oturma Mihtarları (cm)
HAT-1	1. Tabaka	8,15 cm
	2. Tabaka	1,75 cm
HAT-2	1. Tabaka	8,12 cm
	2. Tabaka	1,77 cm
HAT-3	1. Tabaka	8,21 cm
	2. Tabaka	1,76 cm
HAT-4	1. Tabaka	8,19 cm
	2. Tabaka	1,77 cm

Jeofizik çalışmalar sonucunda elde edilen verilen toplu halde Tablo 4.16’da gösterilmiştir.

**Tablo 4.16** Sismik verilerle elde edilen değerler

		<i>VP</i> (m/sn)	<i>VS</i> (m/sn)	<i>d</i> (g/cm <sup>3</sup> )	<i>Qa</i> (kPa)	<i>Qe</i> (kPa)	<i>G</i> (MPa)	<i>E</i> (MPa)	<i>K</i> (MPa)	<i>μ</i>	<i>St</i> (cm)
<b>HAT-1</b>	1. Tabaka	231	63	1,21	76	21	4.8	14	58	0,46	8,15
	2. Tabaka	1122	292	1,79	523	136	152.7	447.1	2051.5	0,46	1,75
<b>HAT-2</b>	1. Tabaka	250	63	1,23	78	20	4.9	14.3	70.4	0,47	8,12
	2. Tabaka	1003	292	1,74	509	148	148.5	431.8	1554.3	0,45	1,77
<b>HAT-3</b>	1. Tabaka	208	63	1,18	74	22	4.7	13.5	44.6	0,45	8,21
	2. Tabaka	1061	292	1,77	516	142	150.6	439.5	1787.8	0,46	1,76
<b>HAT-4</b>	1. Tabaka	217	63	1,19	75	22	4.7	13.7	49.7	0,45	8,19
	2. Tabaka	998	292	1,74	508	149	148.3	431.1	1535	0,45	1,77

## 4.2. Laboratuvar Deneyleri ve Analizleri

Sondaj çalışmaları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örnekleri laboratuara teslim edilmiş, laboratuvar deneyleri, Ada-Z Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvarında proje partileri denetiminde yaptırılmıştır. Laboratuvar deneyleri kapsamında, elek analizleri, doğal yoğunluk, su muhtevası tayini, direk kesme deneyleri yaptırılmıştır.

### 4.2.1. Zemin indeks parametrelerinin belirlenmesi

Su muhtevası tayini ( $W_n$ ) %: İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sonucunda alınan numunelerin laboratuvar incelemeleri sonucunda su içeriği değerleri Tablo 4.17'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.17** Su oranı tayini ve değerleri

Kuyu No	Derinlik ( m )	Su Muhtevası ( % )	Kuyu No	Derinlik ( m )	Su Muhtevası ( % )
SK - 1	3.00- 3.45	45,0	SK - 3	15.50- 15.95	59,6
SK - 1	4.50- 4.95	59,0	SK - 3	17.00- 17.45	50,9
SK - 1	6.00- 6.45	41,7	SK - 3	18.00- 18.45	51,3
SK - 1	7.00- 7.50	68,2	SK - 4	6.00- 6.50	77,6
SK - 1	9.00- 9.45	54,4	SK - 4	12.50- 12.95	60,1
SK - 1	10.50- 10.95	57,6	SK - 4	15.50- 15.95	55,4
SK - 1	12.00- 12.45	46,4	SK - 5	6.00- 6.50	66,2
SK - 2	7.50- 8.00	56,1	SK - 5	13.50- 13.95	61,3
SK - 2	13.50- 13.95	44,5	SK - 5	15.50- 15.95	54,9
SK - 2	15.50- 15.95	63,9	SK - 6	3.00- 3.45	44,3
SK - 2	16.50- 16.95	31,1	SK - 6	6.00- 6.45	56,8
SK - 2	18.00- 18.45	57,8	SK - 6	7.00- 7.50	63,7
SK - 2	19.50- 19.95	32,0	SK - 6	9.00- 9.45	60,1
SK - 2	21.00- 21.45	52,1	SK - 6	13.50- 13.95	58,6
SK - 3	4.50- 5.00	74,2	SK - 7	4.50- 4.95	47,3
SK - 3	11.00- 11.45	60,9	SK - 7	9.00- 9.45	56,9
SK - 3	12.50- 12.95	59,9	SK - 7	14.00- 14.45	62,7
SK - 3	14.00- 14.45	55,1	SK - 7	16.50- 16.95	56,2
			SK - 7	19.50- 19.95	50,1

Doğal birim hacim ağırlığı (  $g/cm^3$  ): İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sonucunda alınan numunelerin incelemeleri sonucunda doğal birim hacim ağırlığı değerleri Tablo 4.18’te sunulmuştur.

**Tablo 4.18** Doğal birim hacim ağırlığı tayini ve değerleri

Sondaj No	Derinlik ( m )	Doğal birim hacim ağırlığı ( $g/cm^3$ )	Sondaj No	Derinlik ( m )	Doğal birim hacim ağırlığı ( $g/cm^3$ )
SK - 1	7.00- 7.50	1.92	SK - 4	28.50 – 30.00	2.12
SK - 1	25.00 – 27.00	2.09	SK - 5	6.00 – 6.50	1.9
SK - 2	7.50 – 8.00	1.9	SK - 5	25.50 – 27.00	2.05
SK - 2	27.00 – 28.00	2.11	SK - 6	7.00- 7.50	1.88
SK - 3	4.50 – 5.00	1.89	SK - 6	27.00 – 28.50	2.12
SK - 3	28.00 – 29.50	2.07	SK - 7	4.50 – 5.00	1.92
SK - 4	6.00 – 6.50	1.91	SK - 7	28.00 – 29.50	2.08

Elek Analizleri: İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sonucunda alınan numunelerin laboratuvar incelemeleri sonucunda elek analizleri değerleri Tablo 4.19’da gösterilmiştir.

**Tablo 4.19** Elek analizleri ve değerleri

Sondaj No	Derinlik ( m )	+ No:10	- No:200	Sondaj No	Derinlik ( m )	+ No:10	- No:200
SK – 1	3.00- 3.45	0,0	92,7	SK – 3	17.00- 17.45	0,0	91,8
SK – 1	4.50- 4.95	0,0	91,7	SK – 3	18.00- 18.45	0,0	92,9
SK – 1	6.00- 6.45	0,0	93,4	SK – 4	6.00- 6.50	0,0	92,9
SK – 1	7.00- 7.50	0,0	94,3	SK – 4	12.50- 12.95	0,0	82,6
SK – 1	9.00- 9.45	0,0	92,5	SK – 4	15.50- 15.95	0,0	88,3
SK – 1	10.50- 10.95	0,0	93,3	SK – 5	6.00- 6.50	0,0	87,6
SK – 1	12.00- 12.45	0,0	95,4	SK – 5	13.50- 13.95	0,0	81,4
SK – 2	7.50- 8.00	0,0	93,3	SK – 5	15.50- 15.95	0,0	78,6
SK – 2	13.50- 13.95	0,0	92,3	SK – 6	3.00- 3.45	0,0	93,6
SK – 2	15.50- 15.95	0,0	91,4	SK – 6	6.00- 6.45	0,0	96,4
SK – 2	16.50- 16.95	0,0	89,3	SK – 6	7.00- 7.50	0,0	92,7
SK – 2	18.00- 18.45	0,0	90,4	SK – 6	9.00- 9.45	0,0	85,6
SK – 2	19.50- 19.95	0,0	92,6	SK – 6	13.50- 13.95	0,0	88,9
SK – 2	21.00- 21.45	0,0	91,4	SK – 7	4.50- 4.95	0,0	93,7
SK – 3	4.50- 5.00	0,0	90,5	SK – 7	9.00- 9.45	0,0	87,4
SK – 3	11.00- 11.45	0,0	91,4	SK – 7	14.00- 14.45	0,0	83,2
SK – 3	12.50- 12.95	0,0	87,3	SK – 7	16.50- 16.95	0,0	96,4
SK – 3	14.00- 14.45	0,0	95,8	SK – 7	19.50- 19.95	0,0	90,1
SK – 3	15.50- 15.95	0,0	93,6				

Kıvam Limitleri ( Atterberg Limitleri ): İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sonucunda alınan numunelerin laboratuvar incelemeleri sonucunda kıvam limit değerleri aşağıda sunulmuştur. Killi zeminlerde kıvamlılık değeri eşitlik 4.11 ile belirlenmektedir. Çalışma sahasından alınan numunelerin kıvamlılığının irdelenmesi sonucunda sahada yer alan ince taneli zeminler “yumuşak - yarı sert” kıvamlıdır.

$$I_c = LL - W_n / PI \quad (4.11)$$

Killi zeminlerde sıkışabilirlik eşitlik 4.12 ile belirlenmektedir. Çalışma sahasından alınan numunelerin sıkışabilirliğinin irdelenmesi sonucunda elde edilen değerlere göre sahada zeminler genelde yüksek sıkışabilirlik sınıflaması içerisinde kalmaktadır. Kıvam limitleri testleri ve elde edilen değerler Tablo 4.20’de gösterilmiştir.

$$\text{Sıkışma İndisi} = C_c = 0.009 * ( LL - 0.1 ) \quad (4.12)$$

**Tablo 4.20** Kıvam testleri ve değerleri

Kuyu No	Derinlik ( m )	LL ( % )	PL ( % )	PI ( % )	Ic	Tanım	Sıkışma İndisi ( Cc )	Tanım Sıkışabilirlik
SK - 1	3.00- 3.45	59,8	39,7	20,1	0,7	Y.Sert	0.54	Yüksek
SK - 1	4.50- 4.95	68,2	48,6	19,6	0,9	Sert	0.61	Yüksek
SK - 1	6.00- 6.45	63,7	44,9	18,8	0,8	Sert	0.57	Yüksek
SK - 1	7.00- 7.50	78,9	59,5	19,4	0,6	Y.Sert	0.71	Yüksek
SK - 1	9.00- 9.45	65,5	47,6	17,9	0,6	Y.Sert	0.59	Yüksek
SK - 1	10.50- 10.95	66,4	48,2	18,2	0,5	Y.Sert	0.6	Yüksek
SK - 1	12.00- 12.45	58,6	39,6	19,0	0,7	Y.Sert	0.53	Yüksek
SK - 2	7.50- 8.00	68,9	49,5	19,4	0,6	Y.Sert	0.62	Yüksek
SK - 2	13.50- 13.95	54,8	34,1	20,7	0,5	Y.Sert	0.49	Yüksek
SK - 2	15.50- 15.95	73,9	46,7	27,2	0,4	Yumuşak	0.66	Yüksek
SK - 2	16.50- 16.95	66,2	36,4	29,8	1,2	Çok Sert	0.59	Yüksek
SK - 2	18.00- 18.45	74,7	48,7	26,0	0,7	Y.Sert	0.67	Yüksek
SK - 2	19.50- 19.95	68,4	44,6	23,8	0,7	Y.Sert	0.61	Yüksek
SK - 2	21.00- 21.45	64,5	42,1	22,4	0,5	Y.Sert	0.58	Yüksek
SK - 3	4.50- 5.00	86,1	48,4	37,7	0,3	Yumuşak	0.77	Yüksek
SK - 3	11.00- 11.45	74,3	52,6	21,7	0,7	Y.Sert	0.67	Yüksek
SK - 3	12.50- 12.95	72,6	49,9	22,7	0,6	Y.Sert	0.65	Yüksek
SK - 3	14.00- 14.45	64,9	38,7	26,2	0,4	Yumuşak	0.58	Yüksek

**Tablo 4.20** Kıvam testleri ve değerleri (devam)

Kuyu No	Derinlik ( m )	LL ( % )	PL ( % )	PI ( % )	Ic	Tanım	Sıkışma İndisi ( Cc )	Tanım Sıkışabilirlik
SK - 3	15.50- 15.95	72,1	46,8	25,3	0,5	Y.Sert	0.65	Yüksek
SK - 3	17.00- 17.45	68,5	46,2	22,3	0,8	Sert	0.62	Yüksek
SK - 3	18.00- 18.45	66,4	44,9	21,5	0,7	Y.Sert	0.6	Yüksek
SK - 4	6.00- 6.50	84,1	66,7	17,4	0,9	Sert	0.76	Yüksek
SK - 4	12.50- 12.95	72,3	54,1	18,2	0,7	Y.Sert	0.65	Yüksek
SK - 4	15.50- 15.95	68,9	52,6	16,3	0,8	Sert	0.62	Yüksek
SK - 5	6.00- 6.50	73,2	52,3	20,9	0,4	Yumuşak	0.66	Yüksek
SK - 5	13.50- 13.95	76,8	47,3	29,5	0,5	Y.Sert	0.69	Yüksek
SK - 5	15.50- 15.95	64,1	44,9	19,2	0,5	Y.Sert	0.58	Yüksek
SK - 6	3.00- 3.45	64,1	42,9	21,2	0,9	Sert	0.58	Yüksek
SK - 6	6.00- 6.45	69,5	47,7	21,8	0,5	Y.Sert	0.62	Yüksek
SK - 6	7.00- 7.50	78,4	52,1	26,3	0,6	Y.Sert	0.7	Yüksek
SK - 6	9.00- 9.45	72,6	49,5	23,1	0,5	Y.Sert	0.65	Yüksek
SK - 6	13.50- 13.95	65,4	40,9	24,5	0,3	Yumuşak	0.59	Yüksek
SK - 7	4.50- 4.95	62,7	45,3	17,4	0,9	Sert	0.56	Yüksek
SK - 7	9.00- 9.45	68,3	50,1	18,2	0,8	Sert	0.61	Yüksek
SK - 7	14.00- 14.45	79,6	56,4	23,2	0,7	Y.Sert	0.72	Yüksek
SK - 7	16.50- 16.95	72,1	47,7	24,4	0,7	Y.Sert	0.65	Yüksek
SK - 7	19.50- 19.95	63,4	42,1	21,3	0,6	Y.Sert	0.57	Yüksek

#### 4.2.2 Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Üç eksenli basınç deneyi: İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sonucunda alınan numunelerin laboratuvar incelemeleri sonucunda üç eksenli basınç deney değerleri Tablo 4.21’de sunulmuştur.

**Tablo 4.21** Üç eksenli basınç deneyi ve sonuçları

Sondaj No	Derinlik ( m )	C (kPa)	Ø
SK - 1	7.00-7.50	48	5
SK - 2	7.50-8.00	43	6
SK - 4	6.00 - 6.50	46	6
SK - 7	4.50 - 5.00	51	5





### 4.2.3 Kayaların mekanik özelliklerinin belirlenmesi

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında geçilen kaya zeminden alınan numuneler üzerinde nokta yükleme deneyi yapılmış ve sonuçlar Tablo 4.24'de gösterilmiştir.

**Tablo 4.24** Nokta yükleme deney ve sonuçları

Sondaj No	Derinlik	Nokta Yükleme Is (kPa)
SK - 1	25,00 – 27,00	350
SK - 2	27,00 – 28,00	390
SK - 3	28,00 – 29,50	320
SK - 4	28,50 – 30,00	410
SK - 5	25,50 – 27,00	370
SK - 6	27,00 – 28,50	440
SK - 7	28,00 – 29,50	360

## 4.3 Mühendislik Analizleri ve Değerlendirme

### 4.3.1 Bina – zemin ilişkilerinin irdelenmesi

Etüt sahasında farklı temel ölçülerinde 40 adet proses ünite binası veya su yapısı bulunmaktadır. Bölgede don seviyesi 1.20 metredir.

Bina temel ölçüleri, derinliği ve zemin özellikleri verileri ile Terzaghi tarafından geliştirilen emniyetli taşıma gücü formülü kullanılarak ünite binaları için temel taşıma gücü kontrolleri yapılmıştır. Terzaghi zemin taşıma formülü Eşitlik 4.13' te gösterilmiştir.

$$q_{ult} = c.N_c.K_1 + \gamma_n.D_f.N_q + B. \gamma_n.N_\gamma.K_2 \quad (4.13)$$

Ünite binalarının boyutları ve ilgili diğer verileri kullanılarak taşıma gücü değerleri hesaplanmıştır.

İnceleme alanında yapı temelinin oturacağı ortam için yatak katsayısı hesabı Bowles, 1982 bağıntısından hesaplanmıştır.

$$K_S = q_{all} * 40 * GS \quad (4.14)$$

**Tablo 4.25** Ünite binaları, taşıma gücü değerleri ve yataklama katsayısı

Sıra No	Ünite Binası	Yapı Yükleri kN/m <sup>2</sup>	K1	K2	C kPa	&yın 1	&yın 2	Df	B	L	E. T. Gücü kPa	Y. Kat Sayısı (kN/m <sup>3</sup> )
1	Giriş Pompa İstasyonu ve Izgara Binası	60	1.14	0.43	30	1.92	1.92	6.5 m	21.0 m	30.0 m	106.6	12000
2	Kum ve Yağ Tutucu Tankı	61	1.06	0.47	30	1.92	1.92	2.9 m	10.0 m	35.0 m	78.8	10200
3	Ön Çökeltim Tankı	62	1.09	0.45	30	1.92	1.92	.9 m	25.0 m	55.0 m	67.9	11520
4	Ara Pompa İstasyonu	90	1.17	0.42	30	1.92	1.92	1.6 m	12.6 m	15.0 m	76.8	8880
5	Havalandırma Tankı	85	1.16	0.42	30	1.92	1.92	.5 m	75.0 m	95.0 m	69.2	8280
6	Son Çökeltim Tankı Dağıtma Odası	70	1.18	0.41	30	1.92	1.92	2.7 m	8.0 m	9.0 m	84.4	10080
7	Son Çökeltim Tankı	60	1.2	0.4	30	1.92	1.92	1.0 m	55.0 m	55.0 m	74.8	11280
8	Çıkış Suyu Ölçüm Binası	70	1.06	0.47	30	1.92	1.92	3.0 m	6.5 m	23.0 m	79.4	9720
9	Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	140	1.2	0.4	30	1.92	1.92	1.0 m	14.5 m	14.5 m	74.8	9720
10	Öğütme Tankı Ünitesi	25	1.2	0.4	30	1.92	1.92	1.0 m	10.0 m	10.0 m	74.8	9720
11	Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	50	1.16	0.42	30	1.92	1.92	1.5 m	17.0 m	21.0 m	75.8	9120
12	Oksijensiz Çamur Öğütme Ünitesi	190	1.08	0.46	30	1.92	1.92	4.0 m	22.0 m	55.0 m	87.2	10800
13	Gaz Tutucu Ünitesi	25	1.1	0.45	30	1.92	1.92	3.5 m	19.0 m	39.0 m	85	10200
14	Blover Binası/ Trafo Binası	35	1.09	0.46	30	1.92	1.92	.5 m	13.0 m	30.0 m	65.1	7800
15	İdari Bina/ Garaj Binası	50	1.1	0.45	30	1.92	1.92	1.5 m	13.0 m	26.0 m	72.3	8640
16	Bekçi Kulübesi	50	1.2	0.4	30	1.92	1.92	.5 m	4.5 m	4.5 m	71.6	9000
17	Çamur Keki Deposu	45	1.2	0.4	30	1.92	1.92	.5 m	16.0 m	16.0 m	71.6	8640

İnceleme alanında yer alan kilit taşlarına ait nokta yükleme deney sonuçlarına göre taşıma gücü değerleri Tablo 4.26'da sunulmuştur.

**Tablo 4.26** Kilitaşlarına ait nokta yükleme deney sonuçları

SK - 1	$q_u$ ( tek eksenli basınç dayanımı ) = ( $I_s * 10,647$ ) + 2,4736 $I_s$ ( nokta yük dayanımı ) $q_{em}$ ( zemin emniyet gerilmesi ) = ( ( $q_u / 10$ ) / $G_s$ ) $G_s$ ( güvenlik katsayısı ) = 3 $I_s = 350$ kPa 'a göre $q_u = ( 3,5 * 10,647 ) + 2,4736$ $q_u = 39$ $q_{em} = (39 / 10) / 3$ $q_{em} = 130$ kPa	SK - 4	$q_u$ ( tek eksenli basınç dayanımı ) = ( $I_s * 10,647$ ) + 2,4736 $I_s$ ( nokta yük dayanımı ) $q_{em}$ ( zemin emniyet gerilmesi ) = ( ( $q_u / 10$ ) / $G_s$ ) $G_s$ ( güvenlik katsayısı ) = 3 $I_s = 410$ kPa 'a göre $q_u = ( 4,1 * 10,647 ) + 2,4736$ $q_u = 46$ $q_{em} = ((46 / 10) / 3$ $q_{em} = 150$ kPa
SK - 2	$q_u$ ( tek eksenli basınç dayanımı ) = ( $I_s * 10,647$ ) + 2,4736 $I_s$ ( nokta yük dayanımı ) $q_{em}$ ( zemin emniyet gerilmesi ) = ( ( $q_u / 10$ ) / $G_s$ ) $G_s$ ( güvenlik katsayısı ) = 3 $I_s = 390$ kPa 'a göre $q_u = ( 3,9 * 10,647 ) + 2,4736$ $q_u = 43$ $q_{em} = ((43 / 10) / 3$ $q_{em} = 140$ kPa	SK - 5	$q_u$ ( tek eksenli basınç dayanımı ) = ( $I_s * 10,647$ ) + 2,4736 $I_s$ ( nokta yük dayanımı ) $q_{em}$ ( zemin emniyet gerilmesi ) = ( ( $q_u / 10$ ) / $G_s$ ) $G_s$ ( güvenlik katsayısı ) = 3 $I_s = 370$ kPa 'a göre $q_u = ( 3,7 * 10,647 ) + 2,4736$ $q_u = 41$ $q_{em} = ((41 / 10) / 3$ $q_{em} = 140$ kPa
SK - 3	$q_u$ ( tek eksenli basınç dayanımı ) = ( $I_s * 10,647$ ) + 2,4736 $I_s$ ( nokta yk dayanımı ) $q_{em}$ ( zemin emniyet gerilmesi ) = ( ( $q_u / 10$ ) / $G_s$ ) $G_s$ ( güvenlik katsayısı ) = 3 $I_s = 320$ kPa 'a gre $q_u = ( 3,2 * 10,647 ) + 2,4736$ $q_u = 36$ $q_{em} = ((36 / 10) / 3$ $q_{em} = 120$ kPa	SK - 6	$q_u$ ( tek eksenli basınç dayanımı ) = ( $I_s * 10,647$ ) + 2,4736 $I_s$ ( nokta yk dayanımı ) $q_{em}$ ( zemin emniyet gerilmesi ) = ( ( $q_u / 10$ ) / $G_s$ ) $G_s$ ( güvenlik katsayısı ) = 3 $I_s = 440$ kPa 'a göre $q_u = ( 4,4 * 10,647 ) + 2,4736$ $q_u = 49$ $q_{em} = ((49 / 10) / 3$ $q_{em} = 160$ kPa
SK - 7	$q_u$ ( tek eksenli basınç dayanımı ) = ( $I_s * 10,647$ ) + 2,4736 $I_s$ ( nokta yük dayanımı ) $q_{em}$ ( zemin emniyet gerilmesi ) = ( ( $q_u / 10$ ) / $G_s$ ) $G_s$ ( güvenlik katsayısı ) = 3 $I_s = 360$ kPa 'a göre	SK - 7	$q_u = ( 3,6 * 10,647 ) + 2,4736$ $q_u = 40$ $q_{em} = ((40 / 10) / 3$ $q_{em} = 130$ kPa

### 4.3.2 Zemin ve kaya türlerinin değerlendirilmesi

Ayrışmış zemin türlerinin sınıflandırılması: Yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen numunelerin laboratuvar sonuçlarına göre MH (inorganik killi siltler) olarak belirlenmiştir. Alınan numuneler genellikle grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte numuneler görülmüştür. İnceleme alanının zeminin oluşturan birim, Gelinkaya formasyonuna ait kayaçların alterasyonu sonucu oluşmuştur.

Kaya türlerinin sınıflandırılması: İnceleme alanında yapılan sondaj çalışması sırasında alınan numunelerden zeminin Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşlarından oluştuğu belirlenmiştir. Nokta yükleme deneyine göre deneye tabi tutulan kayaçların çok düşük dayanımlı olduğu belirlenmiştir.

Zemin profilinin yorumlanması: İnceleme alanında, üst seviyelerde, kalınlığı yaklaşık 3,00 m olan kil, kum ve çakıl karışımı malzeme ile altında grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler ve altta ise Gelinkaya formasyonuna ait grimsi mavi renkli kilitaşları yer almaktadır. Sondaj kuyularının yüzeyden itibaren litolojisi Tablo 4.27’de sunulmuştur.

**Tablo 4.27** İnceleme alanı litolojisi

<b>Kuyu Numarası</b>	<b>Kuyuda Yer Alan Litoloji Tanımı</b>
SK – 1	0,00 m – 0.50 m arası nebati toprak,
	0,50 m – 3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme
	3,00 m – 23.00 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,
	23,00 m – 30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşları geçilmiştir.
SK – 2	0,00 m – 0.50 m arası nebati toprak,
	0,50 m – 3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme
	3,00 m – 25.10 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,
	25,10 m – 30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşları geçilmiştir.
SK – 3	0,00 m – 0.50 m arası nebati toprak,
	0,50 m – 3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme
	3,00 m – 18.80 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,
	18,80 m – 30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşları geçilmiştir.
SK – 4	0,00 m – 0.50 m arası nebati toprak,
	0,50 m – 3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme
	3,00 m – 16.50 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,
	16,50 m – 30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşları geçilmiştir.
SK – 5	0,00 m – 0.50 m arası nebati toprak,
	0,50 m – 3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme
	3,00 m – 16.50 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,
	16,50 m – 30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşları geçilmiştir.

**Tablo 4.27** İnceleme alanı litolojisi (devam)

Kuyu Numarası	Kuyuda Yer Alan Litoloji Tanımı
SK – 6	0,00 m – 0.50 m arası nebati toprak,
	0,50 m – 3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme
	3,00 m – 16.50 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,
	16,50 m – 30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşları geçilmiştir.
SK – 7	0,00 m – 0.50 m arası nebati toprak,
	0,50 m – 3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme
	3,00 m – 23.50 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,
	23,50 m – 30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kilitaşları geçilmiştir.

### 4.3.3 Sıvılaşma ve yanal yayılma analizlerinin değerlendirilmesi

Bir zeminin sıvılaşabilmesi için bazı faktörlerin bir arada bulunması gerekmektedir.

- 1) Zeminin fasiyesi ve litolojisi: Düşük enerjili akarsu ve delta çökelleri ile gölsel çökeller silt, kum içeriğinin yüksek olması nedeniyle sıvılaşabilen zeminlerdir. Bu tür zeminlerde kohezyon düşüktür ve düşük sismik hızlar da dahi zeminler sıvılaşma aktivitesi gösterirler.

İnceleme alanının zemini düşük ve yüksek enerjili çökellerden oluşmaktadır

- 2) Sismik aktivite ve inceleme alanının deprem odak merkezlerine uzaklığı: 6 ve daha yüksek şiddetindeki depremlerde sıvılaşma riski yüksektir. Hatta 5,5 şiddetindeki depremlerde de sıvılaşma olayları gözlenmiştir. Etüdü yapılan alanın deprem odak noktasına uzaklığının 10 km'den daha az olduğu mesafelerde zeminlerde daha fazla sıvılaşma riski görülmektedir.

İnceleme alanının yaklaşık 5 km civarında 6 büyüklüğünde deprem üretebilecek faylar bulunmaktadır.

- 3) Yer altı suyu seviyesi: Yer altı suyu seviyesinin 10 m derinliğe kadar olduğu durumlarda sıvılaşma riski yüksektir. Son yıllarda 20 m derinliğindeki yeraltı suyu seviyesinin de sıvılaşma olaylarına yol açtığı anlaşılmıştır.

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında 0,50 m'de yeraltı suyuna rastlanılmıştır.

- 4) Likit Limit değerine göre: Andrews ve Martin (2000), %10'dan az killi malzeme

içeren ve 40 nolu elekten geçen malzemenin likit limitinin (LL) % 32'den az olduğu durumlarda sıvılaşma riskinin olası olduğu, kil muhtevası % 10'dan fazla ve 40 nolu elekten geçen malzemenin likit limitinin (LL) % 32' den fazla olduğu durumlarda sıvılaşma olasılığının çok düşük olduğu ve bu iki uç arasında kalan malzemelerden numune alınarak sıvılaşılabilirliğinin test edilmesini önermektedir.

Sıvılaşma hesaplamalarında basitleştirilmiş yöntem ilk olarak Seed & Idriss (1971) tarafından önerilmiştir. Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veriler ile Youd et al (2001)'e göre sıvılaşma Analizi yapılmış ve çalışma alanında sıvılaşma riski olmadığı görülmüştür.

#### 4.3.4 Oturma – şişme ve göçme potansiyelinin değerlendirilmesi

İnceleme alanında yapılan çalışmalar sonucunda killi - siltli geçilen zeminlerin genel olarak oturma miktarları aşağıda verilen Eşitlik 4.15 (Bowles, 1988) bağıntısına göre hesaplanmıştır.

$$\Sigma q = [(Z - D_f) / 2 + D_f] \times \gamma_n + q * ((B * L) / ((B + C) * (L + C))) \quad (4.15)$$

$$\Delta q = ((q - (D_f * \gamma_n)) * (B * L) / ((B + C) * (L + C)))$$

$$E = ((B * L) / ((B + C) * (L + C)))$$

$$\Delta H = m_v \times \Delta q \times H$$

**Tablo 4.28** Ünite binalarına ait hesaplanan oturma değerleri

Sıra No	Ünite Binası	Z	H	Df	q	C=H/2	De.	Toplam	Sıkışma	İlave	Oturma
							Ger. Azalma	Gerilme	Kat.	Ger.	
1	Giriş Pompa İstasyonu ve Izgara Binası	23	17	7	6	8.25	0.56	19.2	0.0297	-3.6	yok
2	Kum ve Yağ Tutucu Tankı	23	20	3	6	10.05	0.39	21.6	0.027	0.2	0.9
3	Ön Çökeltim Tankı	19	18	1	6	8.8	0.64	20.5	0.0282	2.7	13.6
4	Ara Pompa İstasyonu	19	17	2	9	8.45	0.38	19.4	0.0294	2.3	11.4
5	Havalandırma Tankı	18	18	1	9	8.75	0.82	23.5	0.025	6.2	27.1

**Tablo 4.28** Ünite binalarına ait hesaplanan oturma değerleri (devam)

Sıra No	Ünite Binası	Z	H	Df	q	C=H/2	De.	Toplam	Sıkışma	İlave	Oturma
							Ger.	Gerilme	Kat.	Ger.	
							Azal				
							ma				(cm)
6	Son Çökeltim Tankı Dağıtma Odası	19	16	3	7	7.9	0.27	16.8	0.0327	0.5	2.6
7	Son Çökeltim Tankı	24	23	1	6	11.25	0.69	25.7	0.0229	2.8	14.5
8	Çıkış Suyu Ölçüm Binası	24	21	3	7	10.25	0.27	21.6	0.027	0.3	1.8
9	Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	19	18	1	14	8.75	0.39	22	0.0266	4.7	21.9
10	Öğütme Tankı Ünitesi	19	18	1	3	8.75	0.28	17.2	0.0321	0.2	1
11	Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	19	17	2	5	8.5	0.48	18.5	0.0306	1	5.4
12	Oksijensiz Çamur Öğütme Ünitesi	25	21	4	19	10.5	0.57	30.6	0.0188	6.6	26
13	Gaz Tutucu Ünitesi	25	22	4	3	10.75	0.51	21.7	0.0269	-2.1	yok
14	Blover Binası/ Trafo Binası	19	18	1	4	9	0.45	18.7	0.0303	1.2	6.3
15	İdari Bina/ Garaj Binası	18	17	2	5	8.25	0.46	18	0.0312	1	5.1
16	Bekçi Kulübesi	18	18	1	5	8.75	0.12	17.2	0.0322	0.5	2.6
17	Çamur Keki Deposu	18	18	1	5	8.75	0.42	18.5	0.0305	1.5	7.9

**Tablo 4.29** İzin verilen oturma miktarları

İzin verilen oturma miktarları ( Skempton )		Toplam Oturma	Farklı Oturma
Tekil Sömeller	Kil	6 cm	4 cm
	Kum	4 cm	2.5 cm
Radye Temeller	Kil	10 cm	4 cm
	Kum	6 cm	2.5 cm

Skempton izin verilen oturma miktarları göz önüne alındığında yapılan testler sonucunda aşağıdaki ünite binalarında oturmaları için zemin iyileştirmesi yapılması gerekmektedir.

- ❖ Ön çökeltim tankı
- ❖ Ara pompa istasyonu
- ❖ Havalandırma tankı
- ❖ Son çökeltim tankı
- ❖ Birincil çamur yoğunlaştırma ünitesi



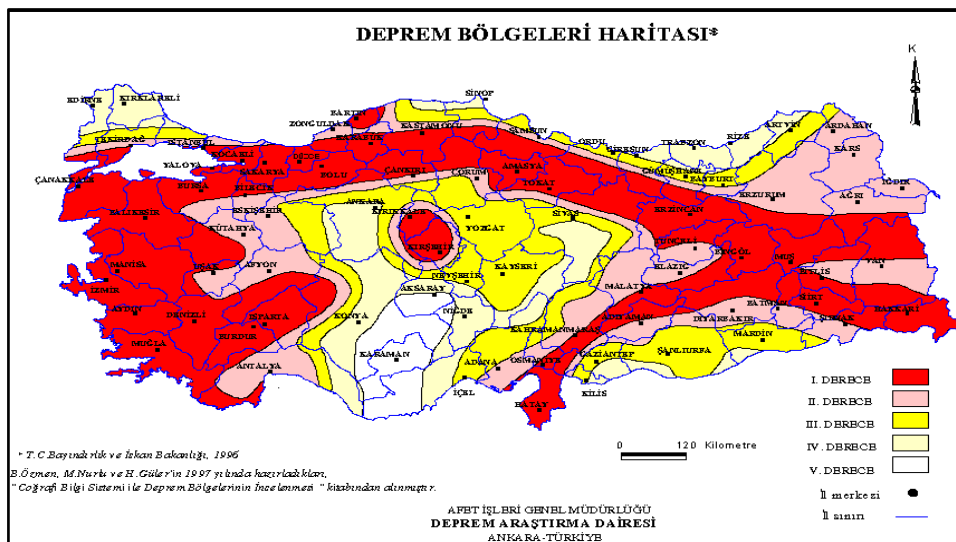
❖ Oksijensiz çamur öğütme ünitesi

İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları sonucunda killi zeminin şişme potansiyeli incelendiğinde plastisite indeksi değerleri ortalama  $PI=16-37$  arasındadır. O'Neill ve Poormoyed (1980) tablolarına göre şişme potansiyeli düşük-orta ve yüksek olarak belirlenmiştir.

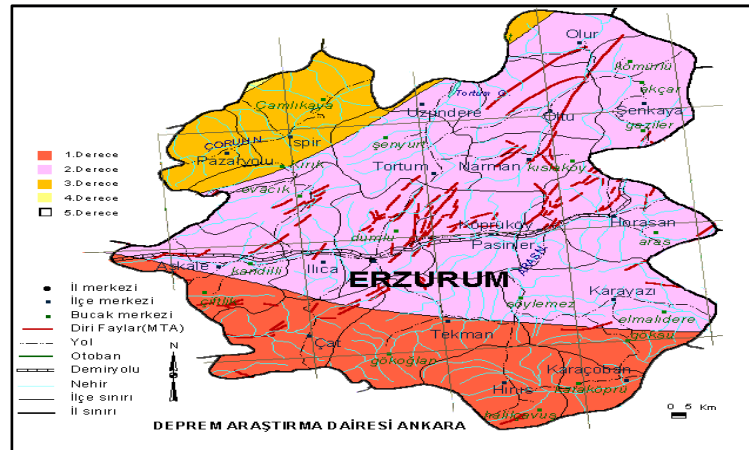
İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları sonucunda killi zeminin sıkışma indisi incelendiğinde likit limit değerleri ortalama  $LL=54-86$  arasındadır. Sovvers, (1979) tablolarına göre sahadaki zeminler genelde "yüksek sıkışabilirlik" sınıflaması içerisinde kalmaktadır.

#### 4.3.5 Doğal afet risklerinin değerlendirilmesi

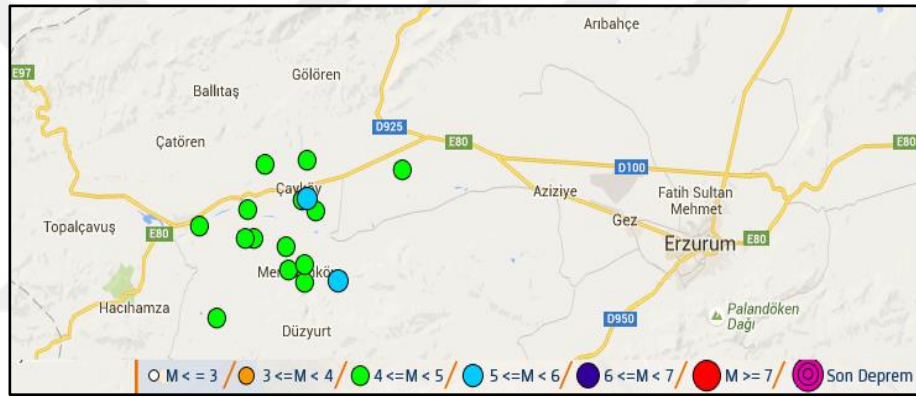
İnceleme alanı ve yakın çevresi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nca yayınlanan ve beş bölgeye ayrılan Türkiye Deprem Haritasındaki konumlarına göre 2. derece deprem bölgesi kuşağında yer almaktadır. Şekil 4.2'de Türkiye Depremsellik Haritası, Şekil 4.3'te Erzurum Deprem Haritası, Şekil 4.4'te ise inceleme alanı ve çevresinde 01.01.2000–24.03.2016 tarihleri arasında büyüklüğü  $4 < M < 10$  arasında meydana gelen depremler gösterilmiştir.



Şekil 4.2 Türkiye depremsellik haritası



Şekil 4.3 Erzurum deprem haritası



Şekil 4.4 İnceleme alanı ve çevresinde 01.01.2000 – 25.03.2016 tarihleri arasında büyüklüğü  $4 < M < 10$  arasında meydana gelen depremler

Bölgede oluşan depremlerin magnitüdü ortalama olarak 5 veya daha yüksek olabileceği düşünülmelidir

İnceleme alanının zemini “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik” esaslarına göre D grubu zeminlere ve aynı yönetmelikteki yerel zemin Sınıflarına göre Z4 yerel zemin sınıfına girmektedir.

Yapılan arazi çalışmaları, arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri ve bu deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında, tesis kapsamında imalatı gerçekleştirilecek olan ünite binaları ve bu binaların oturma alanları, temel tipleri, boyutları ve derinlikleri göz önüne alınmıştır. Söz konusu tesis proses binalarından bazılarında taşıma gücü

problemlerinin olduğu, bazı binalardaki zemin oturmalarının şartnamelerde belirtilen limitlerin üzerinde olduğu görülmüştür. Dolayısı ile ünite binaları için zemin iyileştirmesi yapılmasının gerektiği, ekonomiklik, uygulanabilirlik, zaman vb. yönlerden durum değerlendirildiğinde Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirmesi yapılmasının uygun olduğu kanaatine varılmış ve uygulama yapılmıştır.

#### 4.4 Jet Grout Uygulaması

Taşıma gücü ve oturma problemi olan 6 adet ünite binası için Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi yapılmıştır. Bu başlık altında yapılan zemin iyileştirmesine ait tasarım esasları, jet grout uygulaması ve uygulama sonucunda yapılan testler ile sonuçlara yer verilmiştir.

Jet grout uygulaması öncesinde jet grout taşıma gücüne göre dizayn başlıklı Bölüm 2.17'de bahsedilen tasarım ilkeleri, laboratuvar ve saha doğrultusunda bazı ön kabuller yapılmış, ardından ünite binalarının yük, boyut vb. özellikleri de göz önüne alınarak birincil çamur yoğunlaştırma ünitesi binasının jet kolon dizili dikdörtgen olarak, ön çökeltim tankı, ara pompa istasyonu, havalandırma tankı, son çökeltim tankı, oksijensiz çamur öğütme ünitesi binalarının ise jet kolon dizili eşkenar üçgen olarak tasarlanmıştır.

Tasarım esaslarına göre bazı kabuller yapılmış ardından mahallinde deneme jet kolonlar imal edilmiş, bu kolonlardan alınan numuneler laboratuvara götürülerek testler yaptırılmış, testler sonucunda ön tasarım revize edilerek son tasarım yapılmış ve imalatlar tamamlanmıştır.

Arıtma tesisi bünyesinde bulunan 6 adet ünite binası için oturma veya taşıma gücü problemlerinden dolayı iyileştirme yapılmıştır. Bu ünite binaları;

- ❖ 120-Ön çökeltim tankı
- ❖ 130-Ara pompa istasyonu
- ❖ 140-Havalandırma tankı
- ❖ 170-Son çökeltim tankı
- ❖ 260-Birincil çamur yoğunlaştırma ünitesi
- ❖ 310-Oksijensiz çamur öğütme ünitesi dir.

#### 4.4.1 Zemin profili

Çalışma alanındaki zemin profili;

0,00 m–0.50 m arası nebatî toprak,

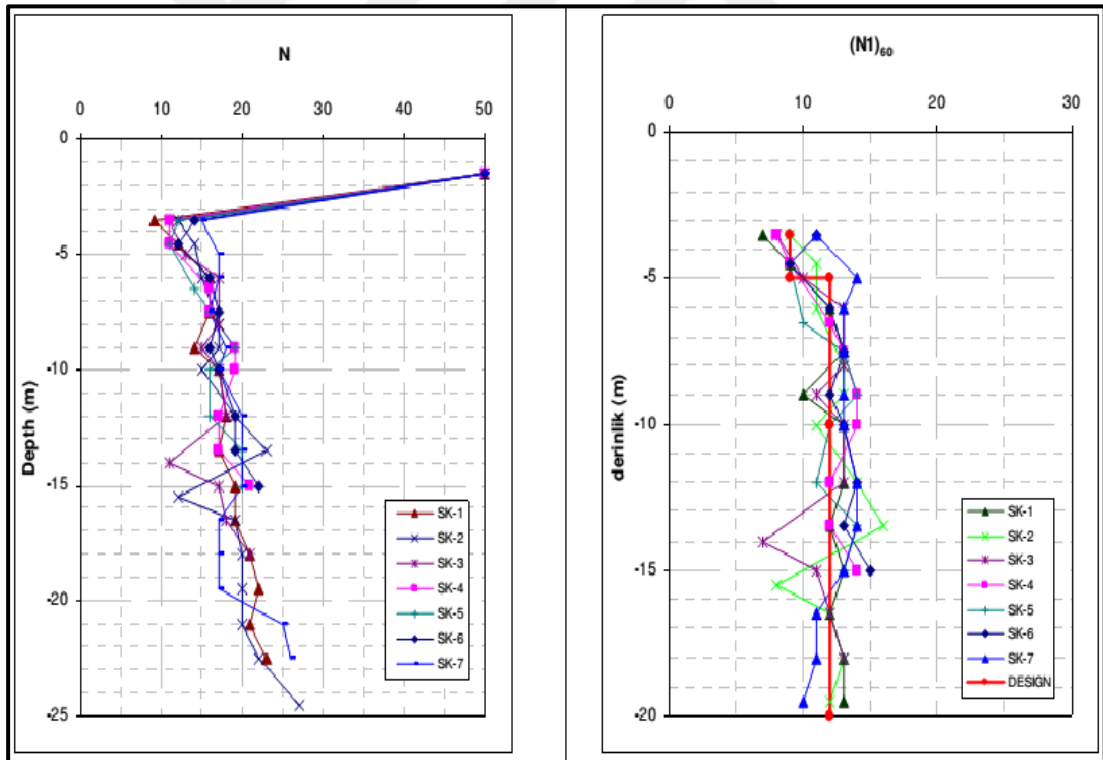
0,50 m–3.00 m arası kahverenkli, kil, kum, çakıl ve bloklardan oluşan malzeme

3,00 m–23.00 m arası grimsi mavi renkli, yer yer siyah renkte inorganik killi siltler,

23,0 m–30.00 m arası grimsi mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait kiltaşlarından oluşmaktadır.

#### 4.4.2 Standart penetrasyon testleri

Çalışma alanındaki yapılan SPT testleri sonucunda bulunan düzeltilmiş darbe sayıları Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 Özet SPT değerleri

### 4.4.3 Laboratuvar testleri

Çalışma alanından alınan numuneler yapılan laboratuvar testleri ve sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir.

Kayaların mekanik özellikleri			Deney Adı	Sondaj No	Derinlik ( m )	C (kPa)	Ø						
Sondaj No	Derinlik	Nokta Yükleme Is (kPa)											
SK - 1	25,00 – 27,00	350	Direk Kesme	SK - 3	4.50 – 5.00	34.7	5						
SK - 2	27,00 – 28,00	390		SK - 5	6.00 – 6.50	27.5	7						
SK - 3	28,00 – 29,50	320		SK - 6	7.00 – 7.50	32.8	6						
SK - 4	28,50 – 30,00	410											
SK - 5	25,50 – 27,00	370	Üç Eksenli Basınç	SK - 1	7.00-7.50	48	5						
				SK - 2	7.50-8.00	43	6						
				SK - 4	6.00 – 6.50	46	6						
				SK - 7	4.50 – 5.00	51	5						
Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Üç Eksenli Basınç Deneyi	Konsolidasyon Deneyi	Konsolidasyon Deneyi Hacimsel Sıkışma Katsayıları (mv) (cm <sup>2</sup> /kgf)								
					c (kPa)	Ø	Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı (kPa)	Uygulanan Basınç (P) (kPa)				
				P 0.00					(mv)	P 50	(mv)	P 100	(mv)
SK - 1	7.00-7.50	48	5	0,85	14.6		0,0520		0,0472		0,0263		0,012
SK - 2	7.50-8.00	43	6										
SK - 4	6.00 – 6.50	46	6	0,80	13.8		0,0480		0,0451		0,0273		0,0135
SK - 7	4.50 – 5.00	51	5										

Şekil 4.6 Özet laboratuvar testleri

#### 4.4.3.1 Konsolidasyon deneyi

İnceleme alanından alınan örselenmemiş numunelere tek boyutlu konsolidasyon deneyi yapılmış ve bu deney sonucunda oturmalar hesaplanmıştır. Tek boyutlu konsolidasyon deneyi sonucunda oturmalar Eşitlik 4.16 ile bulunmuştur.

$$S_{c(oed)} = mv * Aq' * Hc \quad (4.15)$$

Esasen sahadan alınan örselenmemiş numuneler bir bakıma belli bir derece örselenmiş olmakla beraber, diğer taraftan tek boyutlu konsolidasyon testi sahadaki

üç boyutlu gerçek durumu tam yansıtamayacağı düşüncesi ile konsolidasyon deneyi sonucu bulunan oturmaların bir düzeltme faktörü ( $\mu$ ) ile çarpılarak gerçek durum Eşitlik 4.17 ile gösterilmiştir.

$$S_c = \mu * S_{c(oed)} \quad (4.16)$$

İnceleme alanındaki zeminin normal konsolide-hafif aşırı konsolide olduğu düşünüldüğünde; düzeltme faktörü ( $\mu$ )'nun literatürde değeri 0.5 ile 1.0 arasında olduğu görülmüş, ortalama 0.75 olan ( $\mu$ ) değeri güvenli tarafta kalmak için 0.8 olarak alınmış ve oturmalar buna göre düzeltilmiştir. Düzeltilmiş oturma değerleri Tablo 4.12' de verilmiştir.

**Tablo 4.30** Oturma ve düzeltilmiş oturma değerleri

Sıra No	Ünite Binası	$S_{c(oed)}$ (cm)	$S_c = \mu * S_{c(oed)}$ (cm)
1	Giriş Pompa İstasyonu ve Izgara Binası	Yok	0,0
2	Kum ve Yağ Tutucu Tankı	0,9	0,7
3	Ön Çökeltim Tankı	13,6	10,9
4	Ara Pompa İstasyonu	11,4	9,1
5	Havalandırma Tankı	27,1	21,7
6	Son Çökeltim Tankı Dağıtma Odası	2,6	2,0
7	Son Çökeltim Tankı	14,5	11,6
8	Çıkış Suyu Ölçüm Binası	1,8	1,4
9	Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	21,9	17,5
10	Öğütme Tankı Ünitesi	1	0,8
11	Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	5,4	4,3
12	Oksijensiz Çamur Öğütme Ünitesi	26	20,8
13	Gaz Tutucu Ünitesi	Yok	0,0
14	Blover Binası/ Trafo Binası	6,3	5,0
15	İdari Bina/ Garaj Binası	5,1	4,1
16	Bekçi Kulübesi	2,6	2,1
17	Çamur Keki Deposu	7,9	6,3

#### 4.4.4 Yapılan çalışmalar ve uygulamada alınacak zemin değerleri

SPT değerleri, kesme deneyi, üç eksenli basınç deneyi sonuçları göz önüne alındığında ilk 5 metrelik zemin tabakası için drenajsız kayma mukavemetinin 45

kPa, 5 metrenin altında olan zemin için ise 60 kPa alınmasının uygun olduğu kabul edilmiştir. Ünite binalarının boyutları büyük olduğu için temel gerilmesinin kil taşına kadar olan tabakada olacağı için alt katmanda bulunan kil taşının “sıkışmaz ve geçirimsiz” olduğu varsayılmıştır.

Jet kolonların planlanan temel seviyesinden 50 cm aşağıdan başlayıp, temel ile jet kolon başlangıcı arasına jetgrout kolonların davranışını daha uniform yapmak için 50 cm kalınlıkta granüler malzeme serilmesi, granüler malzeme altına ise 40 kN/m dayanımında geotekstil malzeme konulması öngörülmüştür.

Jet kolonlar sürtünme kazı olarak tasarlanmış, kohezyonlu zemindeki yüzey sürtünmesi  $\alpha$  katsayısı kullanılarak Eşitlik (4.17) ile hesaplanmıştır.

$$f_s = \alpha * C_u < 95 \text{ kPa} \quad (4.17)$$

Esas imalata başlamadan önce deneme kolonları oluşturulmuş, bu deneme kolonlarından 6 adet karot numune alınmış, yapılan laboratuvar testleri sonucunda, ortalama birim ağırlığın  $1810 \text{ kN/m}^3$ , ortalama karot basınç dayanımının  $6.62 \text{ MPa}$ , Elastik Modülün ise  $2.64 \text{ GPa}$  olduğu görülmüştür. Tablo 4.31’de deneme kolonlarından alınan karot numunelerin laboratuvar deneyleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.31** Deneme kolonları test sonuçları

Numune #	Özkütle ( $\text{kg/m}^3$ )	Dayanım (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
1	1789,20	5,47	
2	1812,74		3,11
3	1809,86	5,89	2,03
4	1822,82	8,02	3,29
5	1802,01	7,10	
6	1824,27		2,12
Ortalama	1810,15	6,62	2,64

#### 4.5 Jet Grout Hesaplamaları

Jetgrout kolon tasarımları yapılan arazi, laboratuvar çalışmaları ve literatür taraması sonucunda yapılmış olup örnek olarak Ön Çökeltim Tankı hesaplamaları ve detayları Tablo 4.32' de verilmiştir. Ön Çökeltim Tankı zemininde taşıma gücü problemi olmadığı ancak düzeltilmiş konsolidasyon sonuçlarına göre 10,9 cm oturma beklendiği, bu oturma değerinin ise istenilen limitlerin üzerinde olduğu, 182 adet 2,95m \* 2,95m eşkenar üçgen dizilimde jet kolon imal edilmesi sonucunda oturmaların yaklaşık 1 cm civarında olduğu ve bu değer istenilen limitlerin aşağısında olduğu görülmüştür. Diğer ünite binaları için hazırlanan hesap tabloları aşağıda gösterilmiştir.





Tablo 4.32 Ön çökeltim tankı hesap/tasarım detayları

120-Ön Çökeltim Tankı hesaplamaları				
Tanımlama	Simge	Değer	Birim	Formülasyon
Bina gerilmesi	qb=	60	kPa	
Temel derinliği	df=	0,9	m	
Zemin birim ağırlığı	Yz=	18,9	kPa	Bina gerilmesi- Temel derinliği*Zemin birim ağırlığı
Net gerilme	qnet=	42,99	kPa	
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		DD		
Yapı temel genişliği	B=	25	m	
Yapı temel uzunluğu	L=	55	m	
Yapı alanı	Ay=	1375,0	m <sup>2</sup>	
Toplam yük	Pt=	82500,0	kN	Yapı alanı*Bina gerilmesi
Jet grout kolon çapı	djg=	0,6	m	
Jet grout kolon alanı	Ajg=	0,283	m <sup>2</sup>	( $\pi/4$ )*Jet grout kolon çapı
Jet grout kolon çevre birim alanı	A jgç=	1,885	m <sup>2</sup> /m	( $\pi$ )*Jet grout kolon çapı
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	s=	2,95	m	
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	De=	3,10	m	1.05*kolon aralığı (eş kenar dizilim olduğu için)
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaaj alanı	A=	7,54	m <sup>2</sup>	( $\pi/4$ )* Efektif çap
Jet grout kolon sayısı	n=	182,5	adet	Yapı alanı/ Karelaaj alanı
Seçilen tek eksenli mukavemet	fjg=	4000	kPa	Jet karot basınç dayanımı (test sonuçlarına göre ortalama 6620 kPa)
Güvenlik sayısı	GS=	2		
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	fjg,e=	2000	kPa	Tek eksenli mukavemet/GS
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	Ejg/fjg=	345		
Jet grout kolonu deformasyon modülü	Ejg=	1380000	kPa	Deformasyon modülü oranı*Tek eksenli mukavemet
Zemin deformasyon modülü	Es=	20000	kPa	
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha$	0,68		
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	Cu=	55	kPa	
Jet grout kolon derinliği	l=	18	m	
Jet grout kolon uç kapasitesi	Qp <sub>jg,z</sub> =	0	kN	
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	Qjg,z=	423,0	kN	(Adhezyon katsayısı*drenajsız kayma mukavemeti*Jet grout kolon derinliği*kolon çevre birim alanı)/ FS
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	Qjg=	353,3	kN	(Jet grout kolon alanı*Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti)/ FS
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	Njg=	353,3	kN	Minimum (Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü; Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi)
Seçilen karelaaja jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	Pjg=	64457,3	kN	Kolon sayısı*Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi
Seçilen karelaaja zeminin taşıyacağı toplam yük	Pz=	18042,7	kN	Toplam yük- Seçilen karelaaja zeminin taşıyacağı toplam yük
Jet grout kolona aktarılan gerilme	pjg=	1250,0	kPa	Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi/Jet grout kolon alanı
Zemine aktarılan gerilme	pz=	13,6	kPa	Zeminin taşıyacağı yük/ (Yapı alanı-Jet grout kolon alanı* jet kolon sayısı)
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\zeta$	0,50		
Zeminin Poisson oranı	$\nu$	0,50		
Etki faktörü	lwp =	0,88		
Etki faktörü	lws =	3,92		2+0,35*karekök(kolon boyu (L)/kolon çapı)
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	S1 =	0,82	cm	(Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi*Çevre direnci katsayısı)* Kolon boyu/ (Kolon alanı*Kolon deformasyon modülü)
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S2 =	0,00	cm	Uç taşıma kapasitesi 0 alındığı için yok
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S3 =	0,09	cm	(Njg/(A jgç*L))*(djg/Es)*(1- $\nu$ )*lws
Jet grout kolonun elastik oturması (s1+s2+s3)	s <sub>jg</sub> =	0,91	cm	
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	sze=	0,92	cm	((Zemine aktarılan gerilme*kolon boyu*(1-poisson karesi))/ Zemin deformasyon modülü)

**Tablo 4.33** Ara pompa istasyonu hesap/tasarım detayları

<b>130- Ara Pompa İstasyonu hesaplamaları</b>			
<b>Tanımlama</b>	<b>Simge</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Bina gerilmesi	qb=	90	kPa
Temel derinliği	df=	1.6	m
Zemin birim ağırlığı	Yz=	19	kPa
Net gerilme	qnet=	59.6	kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		DD	
Yapı temel genişliği	B=	9	m
Yapı temel uzunluğu	L=	12.5	m
Yapı alanı	Ay=	112.5	m <sup>2</sup>
Toplam yük	Pt=	10125	kN
Jet grout kolon çapı	djg=	0.6	m
Jet grout kolon alanı	Ajg=	0,283	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	A jgç=	2	m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	s=	2.3	m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	De=	2.42	m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaj alanı	A=	4.58	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	n=	24.6	adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	fjg=	4000	kPa
Güvenlik sayısı	GS=	2	
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	fjg,e=	2000	kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	Ejg/fjg=	345	
Jet grout kolonu deformasyon modülü	Ejg=	1380000	kPa
Zemin deformasyon modülü	Es=	20000	kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha$	0,69	
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	Cu=	56	kPa
Jet grout kolon derinliği	l=	17	m
Jet grout kolon uç kapasitesi	Qpjg,z=	0	kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	Qjg,z=	412.7	kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	Qjg=	353.3	kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	Njg=	353.3	kN
Seçilen karelajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	Pjg=	8675.8	kN
Seçilen karelajla zeminin taşıyacağı toplam yük	Pz=	1449.2	kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	pjg=	1250	kPa
Zemine aktarılan gerilme	pz=	13.7	kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	Ç =	0,50	
Zeminin Poisson oranı	v =	0,50	
Etki faktörü	lwp =	0,88	
Etki faktörü	lws =	3,86	
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	S1 =	0,77	cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S2 =	0,00	cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S3 =	0,10	cm
Jet grout kolonun elastik oturması (s1+s2+s3)	sjg=	0,87	cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	sze=	0,88	cm

**Tablo 4.34** Havalandırma tankı hesap/tasarım detayları

<b>140- Havalandırma Tankı hesaplamaları</b>			
<b>Tanımlama</b>	<b>Simge</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Bina gerilmesi	qb=	85	kPa
Temel derinliği	df=	0.5	m
Zemin birim ağırlığı	Yz=	18.9	kPa
Net gerilme	qnet=	75.55	kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		DD	
Yapı temel genişliği	B=	75	m
Yapı temel uzunluğu	L=	95.5	m
Yapı alanı	Ay=	7162.5	m <sup>2</sup>
Toplam yük	Pt=	608812.5	kN
Jet grout kolon çapı	djg=	0.6	m
Jet grout kolon alanı	Ajg=	0,283	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	A jgç=	2	m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	s=	2.4	m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	De=	2.52	m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaj alanı	A=	4.99	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	n=	1436,1 adet	adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	fjg=	4000	kPa
Güvenlik sayısı	GS=	2	
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	fjg,e=	2000	kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	Ejg/fjg=	345	
Jet grout kolonu deformasyon modülü	Ejg=	1380000	kPa
Zemin deformasyon modülü	Es=	20000	kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha$	0,69	
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	Cu=	55	kPa
Jet grout kolon derinliği	l=	16	m
Jet grout kolon uç kapasitesi	Qpjg,z=	0	kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	Qjg,z=	381.5	kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	Qjg=	353.3	kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	Njg=	353.3	kN
Seçilen karelajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	Pjg=	507289.5	kN
Seçilen karelajla zeminin taşıyacağı toplam yük	Pz=	101523	kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	pjg=	1250	kPa
Zemine aktarılan gerilme	pz=	15	kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\zeta$ =	0,50	
Zeminin Poisson oranı	$\nu$ =	0,50	
Etki faktörü	lwp =	0,88	
Etki faktörü	lws =	3,81	
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	S1 =	0.72	cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S2 =	0	cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S3 =	0.1	cm
Jet grout kolonun elastik oturması (s1+s2+s3)	sjg=	0.82	cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	sze=	0.9	cm

**Tablo 4.35** Son çökeltim tankı hesap/tasarım detayları

<b>170- Son Çökeltim Tankı hesaplamaları</b>			
<b>Tanımlama</b>	<b>Simge</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Bina gerilmesi	qb=	60	kPa
Temel derinliği	df=	1	m
Zemin birim ağırlığı	Yz=	19.2	kPa
Net gerilme	qnet=	40.8	kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		D	
Yapı temel genişliği	B=	51.8	m
Yapı temel uzunluğu	L=	51.8	m
Yapı alanı	Ay=	2107.4	m <sup>2</sup>
Toplam yük	Pt=	126444.7	kN
Jet grout kolon çapı	djg=	0.6	m
Jet grout kolon alanı	Ajg=	0,283	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	A jgç=	2	m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	s=	2.95	m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	De=	3.1	m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelej alanı	A=	7.54	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	n=	279.7	adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	fjg=	4000	kPa
Güvenlik sayısı	GS=	2	
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	fjg,e=	2000	kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	Ejg/fjg=	345	
Jet grout kolonu deformasyon modülü	Ejg=	1380000	kPa
Zemin deformasyon modülü	Es=	20000	kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha$	0,63	
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	Cu=	55	kPa
Jet grout kolon derinliği	l=	22	m
Jet grout kolon uç kapasitesi	Qpjg,z=	0	kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	Qjg,z=	481.2	kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	Qjg=	353.3	kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	Njg=	353.3	kN
Seçilen karelejlle jet grout kolonların taşıyabileceği	Pjg=	98791.4	kN
Seçilen karelejlle zeminin taşıyacağı toplam yük	Pz=	27653.3	kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	pjg=	1250	kPa
Zemine aktarılan gerilme	pz=	13.6	kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	Ç =	0,50	
Zeminin Poisson oranı	v =	0,50	
Etki faktörü	lwp =	0,88	
Etki faktörü	lws =	4,12	
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	S1 =	1	cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen	S2 =	0	cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S3 =	0.08	cm
Jet grout kolonun elastik oturması (s1+s2+s3)	sjg=	1.08	cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	sze=	1.12	cm

**Tablo 4.36** Birincil çamur yoğunlaştırma ünitesi hesap/tasarım detayları

<b>260- Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi hesaplamaları</b>			
<b>Tanımlama</b>	<b>Simge</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Bina gerilmesi	qb=	140	kPa
Temel derinliği	df=	1	m
Zemin birim ağırlığı	Yz=	19.2	kPa
Net gerilme	qnet=	120.8	kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		D	
Yapı temel genişliği	B=	14.5	m
Yapı temel uzunluğu	L=	14.5	m
Yapı alanı	Ay=	165.1	m <sup>2</sup>
Toplam yük	Pt=	23118.2	kN
Jet grout kolon çapı	djg=	0.6	m
Jet grout kolon alanı	Ajg=	0,283	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	A jgç=	2	m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	s=	1.9	m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	De=	2.15	m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaaj alanı	A=	3.62	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	n=	45.6	adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	fjg=	5500	kPa
Güvenlik sayısı	GS=	2	
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	fjg,e=	2750	kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	Ejg/fjg=	345	
Jet grout kolonu deformasyon modülü	Ejg=	1897500	kPa
Zemin deformasyon modülü	Es=	20000	kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha$	0,7	
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	Cu=	55	kPa
Jet grout kolon derinliği	l=	19	m
Jet grout kolon uç kapasitesi	Qpjg,z=	0	kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	Qjg,z=	459.6	kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	Qjg=	485.7	kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	Njg=	459.6	kN
Seçilen karelaajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	Pjg=	20963.6	kN
Seçilen karelaajla zeminin taşıyacağı toplam yük	Pz=	2154.6	kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	pjg=	1626.4	kPa
Zemine aktarılan gerilme	pz=	14.2	kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\zeta$ =	0,50	
Zeminin Poisson oranı	$\nu$ =	0,50	
Etki faktörü	lwp =	0,88	
Etki faktörü	lws =	3,97	
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	S1 =	0.81	cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S2 =	0	cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S3 =	0.11	cm
Jet grout kolonun elastik oturması (s1+s2+s3)	sjg=	0.93	cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	sze=	1.01	cm

**Tablo 4.37** Oksijensiz çamur öğütme ünitesi hesap/tasarım detayları

<b>310- Oksijensiz Çamur Öğütme Ünitesi hesaplamaları</b>			
<b>Tanımlama</b>	<b>Simge</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Bina gerilmesi	qb=	190	kPa
Temel derinliği	df=	4	m
Zemin birim ağırlığı	Yz=	19.2	kPa
Net gerilme	qnet=	148.3	kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		D	
Yapı temel genişliği	B=	26.1	m
Yapı temel uzunluğu	L=	26.1	m
Yapı alanı	Ay=	535	m <sup>2</sup>
Toplam yük	Pt=	101654	kN
Jet grout kolon çapı	djg=	0.8	m
Jet grout kolon alanı	Ajg=	0.502	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	A jgç=	3	m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	s=	2.15	m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	De=	2.26	m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaaj alanı	A=	4	m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	n=	141	adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	fjg=	5500	kPa
Güvenlik sayısı	GS=	2	
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	fjg,e=	2750	kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	Ejg/fjg=	345	
Jet grout kolonu deformasyon modülü	Ejg=	1897500	kPa
Zemin deformasyon modülü	Es=	20000	kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha$	0,65	
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	Cu=	60	kPa
Jet grout kolon derinliği	l=	21	m
Jet grout kolon uç kapasitesi	Qpjg,z=	0	kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	Qjg,z=	686.1	kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	Qjg=	863.5	kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	Njg=	686.1	kN
Seçilen karelaajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	Pjg=	96743.5	kN
Seçilen karelaajla zeminin taşıyacağı toplam yük	Pz=	4910.5	kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	pjg=	1365.7	kPa
Zemine aktarılan gerilme	pz=	10.6	kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	Ç =	0,50	
Zeminin Poisson oranı	v =	0,50	
Etki faktörü	lwp =	0,88	
Etki faktörü	lws =	3,79	
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	S1 =	0.76	cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S2 =	0	cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	S3 =	0.15	cm
Jet grout kolonun elastik oturması (s1+s2+s3)	sjg=	0.9	cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	sze=	0.83	cm

Ayrıca Tablo 4.38’de diğer binalar için yapılan jetgrout uygulaması ve sonuçları özet olarak verilmiştir.

**Tablo 4.38** Ünite binaları jetgrout uygulaması özet değerler

Bina adı	Dizilim şekli	Jet kolon sayısı	Jet kolon boyu	Bina gerilmesi	Emniyetli T. Gücü (kPa)	Jet grout kolona aktarılan gerilme (kPa)	Zemine aktarılan gerilme (kPa)	Jet grout kolonun elastik oturması (s1+s2+s3)	Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması
Ara Pompa İstasyonu	Eşkenar üçgen	24	17	90	76.8	1250	13.7	0.87	0.88
Havalandırma Tankı	Eşkenar üçgen	1436	16	85	69.2	1250	15	0.82	0.9
Son Çökeltim Tankı	Eşkenar üçgen	279	22	60	74.8	1250	13.6	1.08	1.12
Birincil Çamur Yoğunlaştırma Ünitesi	Dikdörtgen	45	19	140	74.8	1626	14.2	0.93	1.01
Oksijensiz Çamur Ögütme Ünitesi	Eşkenar üçgen	141	21	190	87.2	1365	10.6	0.9	0.83

#### 4.5.1 Jetgrout uygulaması sonucu yapılan kazık süreklilik deneyi

Sahada tasarım esaslarına göre imal edilen jetgrout kolonlardan imalat sonrasında rastgele 9 adet kolon seçilmiş ve bu kolonlara kazık süreklilik deneyi yapılmıştır. Deney ayrıntıları ve raporları ekler bölümünde verilmiştir. Deney sonuçlarına göre kazıklarda süreklilik problemi ile karşılaşılmamış, taşıma kapasitesine mani bir duruma rastlanılmamıştır.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde inşaat sektörü son yıllarda hızla büyümektedir. Artan nüfus sayısı ve refah seviyesine paralel olarak konut, alt yapı gibi projelere ihtiyaç artmaktadır. Konut ihtiyacı nedeniyle mühendislik özellikleri elverişli olan zeminler imar uygulamalarında genellikle konut alanı olarak ayrılmaktadır. Alt yapı ve çevre tesislerinin ise mühendislik özellikleri zayıf zeminlerin üzerine inşa edilmesi durumu ortaya çıkmaktadır. Sorunlu zeminlerle karşılaşıldığında zeminin durumu, projenin özellikleri, yapım maliyetleri gibi hususlar göz önüne alınarak zemin iyileştirmesi yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında jet grout metodu ile atık su arıtma tesisi zeminin ıslahı üzerine bir vaka analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanabilir:

Projenin yapımı öncesinde gerekli zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda zemin sınıfı yüksek plastisiteli silt olarak bulunmuştur. İnceleme alanının zemini “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik” esaslarına göre D grubu zeminlere ve aynı yönetmelikteki yerel zemin sınıflarına göre Z4 yerel zemin sınıfına girmektedir.

İnceleme alanının jeolojik haritaları çıkarılmış ve genellikle eski alüvyon ve Gelinkaya formasyonları gözlemlenmiştir. Yapılan şişme deneyleri neticesinde zeminde herhangi bir şişme probleminin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yeraltı suyu seviyesi ve suyun betona kimyasal bir etkisinin olup olmadığı TS 1247’ye göre kontrol edilmiş ve yeraltı suyu yönünden herhangi bir probleme rastlanmamıştır. Yapılan sıvılaşma analizleri neticesinde, zeminin sıvılaşabilir bir zemin olmadığı tespit edilmiştir.

Çalışma kapsamında açılan toplam 7 adet sondaj kuyusundan elde edilen SPT verilerine göre 6 adet ünite binasının inşa edilebileceği zeminde oturma ve taşıma gücü problemlerinin varlığı tespit edilmiştir. Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri neticesinde oturma ve taşıma gücü problemlerinin tespit edildiği üniteler; ön



çökeltim tankı, ara pompa istasyonu, havalandırma tankı, son çökeltme tankı, birincil çamur yoğunlaştırma ünitesi ve oksijensiz çamur öğütme ünitesidir.

Mühendislik özellikleri zayıf olarak tespit edilen ilgili ünite binalarının zemininde, ekonomiklik ve uygulanabilirlik gibi parametreler incelendikten sonra jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi çalışmaları yapılmıştır. Çalışma kapsamında toplamda 2107 jet grout kolonu teşkil edilmiştir. Jet grout uygulaması sonucunda başta altı ünite binası için 11 ila 27 cm arasında tespit edilen oturma değerleri, 1 cm'ye kadar indirgenmiş ve izin verilebilir oturma sınırları arasına çekilmiştir.

Jet grout kolonlarından alınan karot numuneler ile yapılan ön tasarım sonuçlarına göre ortalama karot basınç dayanımı 6,62 MPa, elastik modülü ise 2,64 GPa olarak belirlenmiş ve bu ön denemeden elde edilen veriler ışığında uygulamaya esas tasarımlar yapılmıştır.

Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirmesinin tamamlanmasının ardından, 6 ünite binası zeminine ait taşıma gücü ve oturma değerlerinin standartlara uygun değerler arasında olduğu yapılan testler sonucunda tespit edilmiştir. Bu iyileştirmenin yapılmasıyla birlikte zeminin yapılardan gelecek yükleri güvenle taşıyacak özellikleri kazandığı ortaya konmuştur.

Bu vaka analizi neticesinde yapılacak yapılarının tamamının oturacağı zemin; öncelikle arazi ve laboratuvar deneyleri yapılarak ardından mühendislik özellikleri zayıf olduğu tespit edilen bölgelere jet grout yönteminin uygulanmasıyla, projenin tamamlanması için uygun hale getirilmiştir. Elde edilen veriler, jet grout ile zemin iyileştirmesinin yüksek plastisiteli siltler için uygulanabilir bir yöntem olduğunu göstermiştir.

## 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, 15-60.
- Alkaya D., Yeşil B. (2011). *Yüksek Modüllü Kolonların (Jetgrouting) Tablolama Programı Kullanılarak Tasarımı*, **Akademik Bilişim'11 – XIII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri**, 749-756.
- Alkaya D., Cobanoğlu İ., Yeşil B., Yıldız M.Ş. (2011). *The Evaluation of Stone Column and Jet Grouting Soil Improvement with Seismic Refraction Method : Example of Poti ( Georgia ) Railway*, **International Journal of the Physical Sciences**, 6(28), 6565-6571.
- Altun, S. (2010) **Zeminlerin İyileştirmesi: Yöntemleri Derin Temeller ve Uygulama Örnekleri**, İMO İzmir, 2010.
- Anonim (2015), *Zemin İyileştirme Yöntemleri*, **Zemin Mekaniği II**, Adana.
- ASTM D1143 / D1143M :2007**, *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load* ASTM, ABD.
- Ayan E. (2009). *Derin Zemin İyileştirme ve Uygulamadan Örnekler*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 110s.
- Bakım M. A., (2007). *Enjeksiyon Yöntemleriyle Zemin İyileştirilmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 157s.
- Bell, F.G. (1993). **Engineering Treatment of Soils**, London :E&FN SPON.

- Bell, Kenneth R., Clemente, Jose L.M., Gularte, Francis B., Lopez, Roberto A., (2003). *Superjet Grouting Reduces Foundation Settlement for La Rosita Power Plant in Mexicalli Mexico*, New Orleans, 354 - 364, USA.
- Byle, M.J., Borden, R.H. (Eds.). (1995). *Verification of geotechnical grouting, Geotechnical Special Publication*, ASCE, no.57.
- Cengiz, H.D. (2010). *Nehir Geçişlerinde Fore Kazık Uygulaması ve Diğer Kazık Sistemleriyle Karşılaştırılması (Sakarya Nehri Örneği)*, **Yüksek Lisans Tezi**, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 57-63.
- Choi, R.F.Y. (2005). *Review of the Jet Grouting Method*, **Bitirme Tezi**, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying,71-85.
- Chuaqui M., HU F., Gursaud N., Lees D. (2012). *A Case Study: Two-fluid Jet Grouting for Tunneling Application - Soil Stabilization and Permeability Reduction*, **Geotechnical Special Publication**, 228 (1), 868-879.
- Cowı SNS Müşavirlik Ltd. Şti (2009). *Erzurum Atık su Arıtma Tesisi ve Kanalizasyon-Dere Rehabilitasyonu İnşaatı Geoteknik Rapor*, Geoteknik Etüd Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş., Erzurum.
- Çınar, H. (2014). *Zemin İyileştirilmesinde Jet Grout Yöntemi ve Uygulamaya Yönelik Proje Çalışmaları*, **Yüksek Lisans Tezi**, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 20-125.
- Çınar M. ve Akkaya A.B., 1994, Ulaşımında Yeraltı Kazıları 1.Sempozyumu,Geniştirilmiş ikinci baskı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, İstanbul, ss 317-329.
- Court, W.A., Mitchell, J.K. (1994). *Soil improvement by blasting: part II*. **Journal of Explosive Engineering**, 12, (3), 34-41.
- Dalgın, Y. (2006). *Geosentetiklerin Filtrasyon Tasarım İlkeleri*, **İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı**, 16-17 Kasım, İstanbul, 230 s.

- Doğanışık S. K. (2010). *Jet Grout Kolonundaki Gerilme Dağılışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 95s.
- Doğu O., Yıldırım H., Durgunoğlu H. T. (2006). *Zeminin İnce Dane Oranı ve SPT Vuruş Sayısının Jet Grout Kolonların Mukavemetine Etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On Birinci Ulusal Kongresi*, Trabzon.
- Durgunoğlu H. T., Kulaç H. F., Oruç K., Öge C.E., Eker F.ř. (1998). *Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirme Üzerine Bir Uygulama, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, İstanbul.
- Durgunoğlu H.T., Kulaç H.F., Oruç K., Yıldız R., Altugu T., Emrem C.A. (2002). *Sıvılaşmaya Karşı Jet Grout Yöntemi İle Zemin Islahına Ait Bir Vaka Analizi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Eskişehir.
- Durgunoğlu H.T., Kulaç H.F., Yılmaz S., Koçak D. (2002). *Levent Setat 2002 Kuleleri Temel Zemini Islahı Vaka Analizi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Eskişehir.
- Durgunoğlu H. T. (2004). *Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul.
- Durgunoglu H.T., Chinchelli M., İkiz S., Emrem C., Hurley T., Catalbas F. (2004). *Improvement with Jet-Grout Columns : A Case Study From the 1999 Kocaeli Earthquake, International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, New York.
- ELC Group A.ř. (2012). *Erzurum Atık su Arıtma Tesisi Zemin İyileştirme Tasarım Raporu*, HGG İnşaat, Erzurum.
- Erdil, B. (2008) *Jetgrout Kolonu Tasarım Taşıma Gücü Hesabı, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 78s.

- Erol, O. ve Çekinmez, Z. (2014) **Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri**, Ankara, Yüksel Proje Yayınları.
- Ertürk, A. (2012) *Zemin Etüdü ve Islahı İşlerinde Maliyet Planlaması, Analizi ve Tahmini*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 50-150.
- Gallavresi, F. (1992). *Grouting Improvement of Foundation Soils Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics*, **Geotechnical Special Publication**, ASCE, 1992, Cilt 1, s. 1-39.
- Gazzarrini P. (2005). *Case History of Jet-Grouting in British Columbia, Underpinning of CN Rail Tunnel in North Vancouver*, **Geotechnical News**, December, 47-54.
- Geotem Jeoteknik Ltd. Şti. (2012). *Erzurum Atık su Arıtma Tesisi Kolon Süreklilik Deneyleri Raporu*, ELC Group A.Ş., Erzurum.
- Gökalp A., Duzceer R. (2002). *Ground Improvement by Jet Grouting Technique for Foundations of a Natural Gas Combined Cycle Power Plant in Turkey*, **Ninth International Conference & Exhibition on Piling and Deep Foundations**, Nice, France.
- Gültekin, S., (2010). *Yalova 22 Pafta, 22 Ada, 147 Parsel, Jet Grout Integrity Deneyi Nihai Raporu*, ELC Group Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti, İstanbul, 26 Nisan.
- Ichihashi Y., Shibasaki M., Kubo H., Lji M., Mori A., (1992). *Jet Grouting at Airport Construction, Soil Improvement and Geosynthetics Proc. ASCE Conf*, New Orleans, 1, 182 - 193.
- Kaya, Z. (2001). *Temel Zemini İyileştirme Yöntemleri ve Uygulamaya Yönelik İki Proje Çalışması*, **Yüksek Lisans Tezi**, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 194s.

Kara, H.B., 2012, **Drenaj Ders Notu**, Kayseri, Erciyes Üniversitesi.

Kara, H.B., 2012, **Temel Zemin İyileştirme Yöntemleri- Drenaj Ders Notu**, Kayseri, Erciyes Üniversitesi, 47-77 s.

Kauschinger, L. Joseph, Rachid Hankour, E.B. Perry, (1992). *Methods to estimate composition of jet grout bodies, proceedings of the conferenge of grouting, Soil Improvement And Geosynthetics*, New Orleans, Louisiana: 25-28, Vol 1, Pp.182-193, Asce, New York.

Keskin S.N., Çimen Ö. (2002). *Zemin İyileştirilmesinde Jet Grout Yöntemi Kullanılması Üzerine Bir Uygulama, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Eskişehir.

Koçak, B., Durgunoğlu, H.T., Kulaç, F., Velioğlu, N., (2014). *Jet Grout Kolonların Zemin Islahında Kullanımı ve Kalite Kontrol Yöntemleri – Bir Vaka Analizi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*, Ankara.

Koçbay A.( 2013). *Zemin İyileştirme Yöntemleri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yapı İşleri Genel Müdürlüğü Eğitim Semineri*, 12-14 Mart, Antalya.

Kusin, C.C (2009). *Jet Grout Yöntemi ile İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 150s.

Küçükali, N. (2008). *Demiryolu Altyapısının Jet Enjeksiyon Yöntemi ile İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, 140s.

Larsson, S. (2003). *Mixing process for ground improvement by deep mixing, Doktora Tezi*, Division of Soil and Rock Mechanics, Royal Institute of Technology.

- Liu, C., Evet and J.B., (2004). **Soils and Foundations**, Sixth Edition, The University of North Carolina at Charlotte, Pearson Prentice Hall, 486p.
- Lunardi P., (1977). *Ground improvement by means of jet-grouting*, **Ground Improvement**, Thomas Telford, Vol 1 No:2, Pp. 65 - 86.
- Melegary C., Garassino A.L. (1997). **Seminar on Jet Grouting**. Singapore.: CI-Premier Pte. Ltd.
- Moseley, M.P. and Krisch, K., (2004). **Ground improvement** London: Spon press.
- Nalçakan, M. S., (2004). *Problemler Zeminlerde Geoteknik Çözümler*. **Türkiye Mühendislik Haberleri**, 430, 2004/2.
- Nonveiller, E. (1989). **Grouting theory and practice**, Amsterdam: Elsevier.
- ODTÜ Yapı Malzemesi Bilim Dalı (2012). *Erzurum Atık su Arıtma Tesisi Jet Grout Kolonlardan Alınan Karot Numunelerinin Basınç ve Elastik Modül Deneyleri Raporu*, HGG İnşaat, Erzurum.
- Okan, R. (2004). *Fore Kazık – Jet Groutlu Bir İksa Uygulaması*, **Türkiye Mühendislik Haberleri**, 430, 55-58.
- Önalp, A. (1983). **İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi**. Cilt II Trabzon: Karadeniz Üniversitesi Yayın No: 3, 1225s.
- Öntürk K. (2011). *Zemin İyileştirmesinde Polısaj, Kireç ve Uçucu Külün Kullanımı*, **Yüksek Lisans Tezi**, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 178s.
- Özaydın, K. (2000). **Zemin Mekaniği**. İstanbul: Birsen Yayınevi Ltd. Şti., 261s.
- Özaydın, K., (2012), *Zeminlerin İyileştirilmesi*, **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi**, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Özdemir, A. ve Özdemir, M., (2006). *Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi ve son yıllarda yaygın olarak uygulanan bazı zemin iyileştirme yöntemleri*, **Sondaj Dünyası**, 3, 34-38.
- Özsoy B., Durgunoğlu H. T., (2003). *Sıvılaşma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması*, **5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul.
- Öztoprak, S. (2011) **Zeminlerin İyileştirilmesi: Yöntemlere Genel Bir Bakış ve Uygulamadan Örnekler**, İMO İstanbul, 2011.
- Püsküllüoğlu A. (2010). *Ceyhan Hidroelektrik Santrali Projesi (CevdetiyeOsmaniye) Regülatör Yapılarındaki Geçirimsizleştirme Yöntemleri*, **Yüksek Lisans Tezi**, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 194s.
- Rausche F., Goble G., Lıkıns G., (1988). *Recent WEAP Developments, Proceedings of the Third International Seminar on the Application of Stress Wave Theory to Piles*, Ottawa.
- Rittirong, A., Shang, J. (2005). *Electro-osmotic stabilization*, B. Indraratna, J. Chu, (Eds.), **Ground improvement case histories (967-996)**. Oxford: Elsevier.
- Sağlamer, A., (2006). **Zemin iyileştirme yöntemleri-neyi nasıl ne kadar iyileştiriyoruz**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Sağlamer, A., (2011). **Zemin İyileştirme Yöntemleri, ZM11**, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Sarı M.S., (2008). *Temellerin Takviyesi ve Uygulamadan Örnekler*, **Yüksek Lisans Tezi**, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 168s.
- Semiz, E. (2009). *Metro İnşasında Kullanılan Zemin İyileştirme Çalışmalarının Değerlendirilmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 72-80.



- Shroff, A.V., Shah, D.L. (1993). *Grouting technology in tunnelling and dam constructio*, Rotterdam: A.A. Balkema.
- Şahiner Mühendislik (2012). *Erzurum Atık su Arıtma Tesisi ve Kanalizasyon-Dere Rehabilitasyonu İnşaatı Geoteknik Rapor*, HGG İnşaat, Erzurum.
- Şeflek, N. (2012). *Ceyhunkent Toplu Konutları (Ceyhan/Adana) İnşa Sahasının Jet Grout Yöntemi İle Islahı*, **Yüksek Lisans Tezi**, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 20-150.
- Tachir, C. (2015). *Samsun Terme Kombine Doğalgaz Çevrim Santrali Zeminlerinin Fore Kazık Ve Jet Grout Yöntemleri İle İyileştirilmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 20-100.
- Tinoco J., Correia A.G., Cortez P. (2009). *A Data Mining Approach for Jet Grouting Uniaxial Compressive Strength Prediction*, **World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing**, 553-558.
- Toğrol, E., (1998). *Jetgrout kolonların yapımında kalite denetimi*, **Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 7.Ulusal Kongresi**, 22-23 Ekim, İstanbul.
- Toprak B., (2005). *Zemin iyileştirme yöntemleri ve yeraltı su seviyesinin düşürülmesinde Well-Point metodunun Kırıkkale ilinde uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi*, **Yüksek Lisans Tezi**, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 101s.
- TS 1065:2005**, *Beton deney metotları- Yapı ve yapı bileşenlerinde sertleşmiş betondan numune alınması ve basınç mukavemetinin tayini* (tahribatlı metot) TSE, Ankara.
- TS 1247: 2005**, *Beton yapım, döküm ve bakım kuralları (normal hava koşullarında)* TSE, Ankara.
- TS EN 12716: 2002**, *Özel Geoteknik Uygulamalar – Jet Enjeksiyonu* TSE, Ankara.

- Tschuchnigg F., Schweiger H.F. (2008). *Comparison of Different Models for Analysing Foundations on Jet Grout Columns*, **Proceedings of the 12th International Conference on Computer Methods and Advances in Geomechanics**, 3149 - 3157 Goa, India.
- Tumluer, G. (2006). *Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti*, **Yüksek Lisans Tezi**, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 17-90.
- Tunç, A. (2001). **Yol Malzemeleri ve Uygulamaları**, İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım, 840s.
- Tunç, A. (2002). **Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları**. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım, 912s.
- Tunçdemir, F. (2004) *Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi*, **Türkiye Mühendislik Haberleri**, 430, 2004/2.
- U.S. Army Corps of Engineers, 1999. *Construction Quality Assurance (CQA) Plan - Requirements for Hazardous Waste Landfills*, Department of the Army, 1 January, Washington, D. C.
- Uzuner, B. (2000a). **Temel Mühendisliğine Giriş**, Trabzon, Derya Kitabevi, 205s., (2000b). **Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği**, Ankara, Teknik Yayınevi, Mühendislik & Mimarlık Yayınları, 376s.
- Warner, J. (2004). **Practical handbook of grouting, soil, rock and structures**, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Wasti, Y. (1992), **İnşaat Mühendisliğinde Geotekstil ve Geomembran Uygulamaları Eğitim Semineri**, 98 s.
- Welsh, J.P., Rubright, R.M. & Coomber, D.B., (1986). **Jet Grouting for Support of Structures**, Session. ASCE Spring Convention, Seattle.
- Wong K.S., Li J.C., Goh A.T.C., Poh K.B., Oishi E. (1999). *Effect of Jet Grouting on Performance of Deep Excavation in Soft Clay*, **Proceedings of the 5th**

**International Symposium on Field Measurements in Geomechanics**, 279-284, Singapore.

Wong J.G., Poh T.Y. (2000). *Effects of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structure*, **Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering**, 247-256.

Xanthakos, P.P., Abramson L.W. and Bruce D.A., (1994). **Ground control and improvement**, New York: John Wiley.

Yeşil, B. (2011). *Geoteknik Mühendisliğinde Bilgisayar Destekli Tasarım*, **Yüksek Lisans Tezi**, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 55-57.

Yıldırım, S. (2002). **Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı**. İstanbul: Birsen Yayınevi, 466s.

Yıldız, A.A., (2013), *Zemin İyileştirme Yöntemleri*, **İnşaat Mühendisleri Odası Meslek İçi Eğitim Kursu**, Oturum 2, Mersin.

Yılmaz, H.R., Eskişar, T. (2007). *Geosentetik ürünlerin geoteknik mühendisliği sorunlarının çözümünde kullanımı ve sağlanan faydalar*, 2. **Geoteknik Sempozyumu**, s. 433-447, İMO Adana.

URL1: [http://insaat.ege.edu.tr/uploads/304\\_ZeminI\\_4.pdf](http://insaat.ege.edu.tr/uploads/304_ZeminI_4.pdf), 01.02.2016.

URL2: [http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/koc\\_e4ba47004033c5f0cf\\_01f596578ae284.pdf](http://www.yarbis1.yildiz.edu.tr/web/userCourseMaterials/koc_e4ba47004033c5f0cf_01f596578ae284.pdf), 01.02.2016.

URL3: [http://www.zetas.com.tr/docs/services/214000\\_TR.pdf](http://www.zetas.com.tr/docs/services/214000_TR.pdf), 01.02.2016.

URL4: <http://62.129.205.139/en/microblasting/>, 02.02.2016.

URL5: <http://www.pacificblasting.com>, 07.02.2016.

URL6: [http://www.zetas.com.tr/docs/services/214000\\_TR.pdf](http://www.zetas.com.tr/docs/services/214000_TR.pdf), 08.02.2016.

URL7: [http://www.zetas.com.tr/docs/services/222000\\_TR.pdf](http://www.zetas.com.tr/docs/services/222000_TR.pdf), 12.02.2016.

URL8: <http://www.3kopru.com/Haberler> , 19.02.2016.

URL9: [http://www.zetas.com.tr/docs/services/120000\\_TR.pdf](http://www.zetas.com.tr/docs/services/120000_TR.pdf) , 01.03.2016.

URL10: <https://tr.scribd.com/doc/188625982/695638865-Zemin-Iyilestirmesi-Mart-2013> ,10.03.2016.

URL11: [http://www.zetas.com.tr/docs/services/110000\\_TR.pdf](http://www.zetas.com.tr/docs/services/110000_TR.pdf) ,10.03.2016.

URL12:<http://www.teknomaccaferri.com.tr/dokumanlar/teknik-dokumanlar> ,10.03.2016.

URL13: <http://www.aydas.com.tr/urunlerimiz> ,10.03.2016.

URL14:<http://www.dsi.gov.tr/docs/>.

URL15:<http://www.kellerasean>.

## **EKLER**

**Ek 1:** Şahiner Mühendislik (2012). Erzurum Atık su Arıtma Tesisi ve Kanalizasyon-Dere Rehabilitasyonu İnşaatı Geoteknik Rapor, HGG İnşaat, Erzurum.

**Ek 2:** Şahiner Mühendislik (2012). Erzurum Atık su Arıtma Tesisi ve Kanalizasyon-Dere Rehabilitasyonu İnşaatı Geoteknik Rapor, HGG İnşaat, Erzurum.

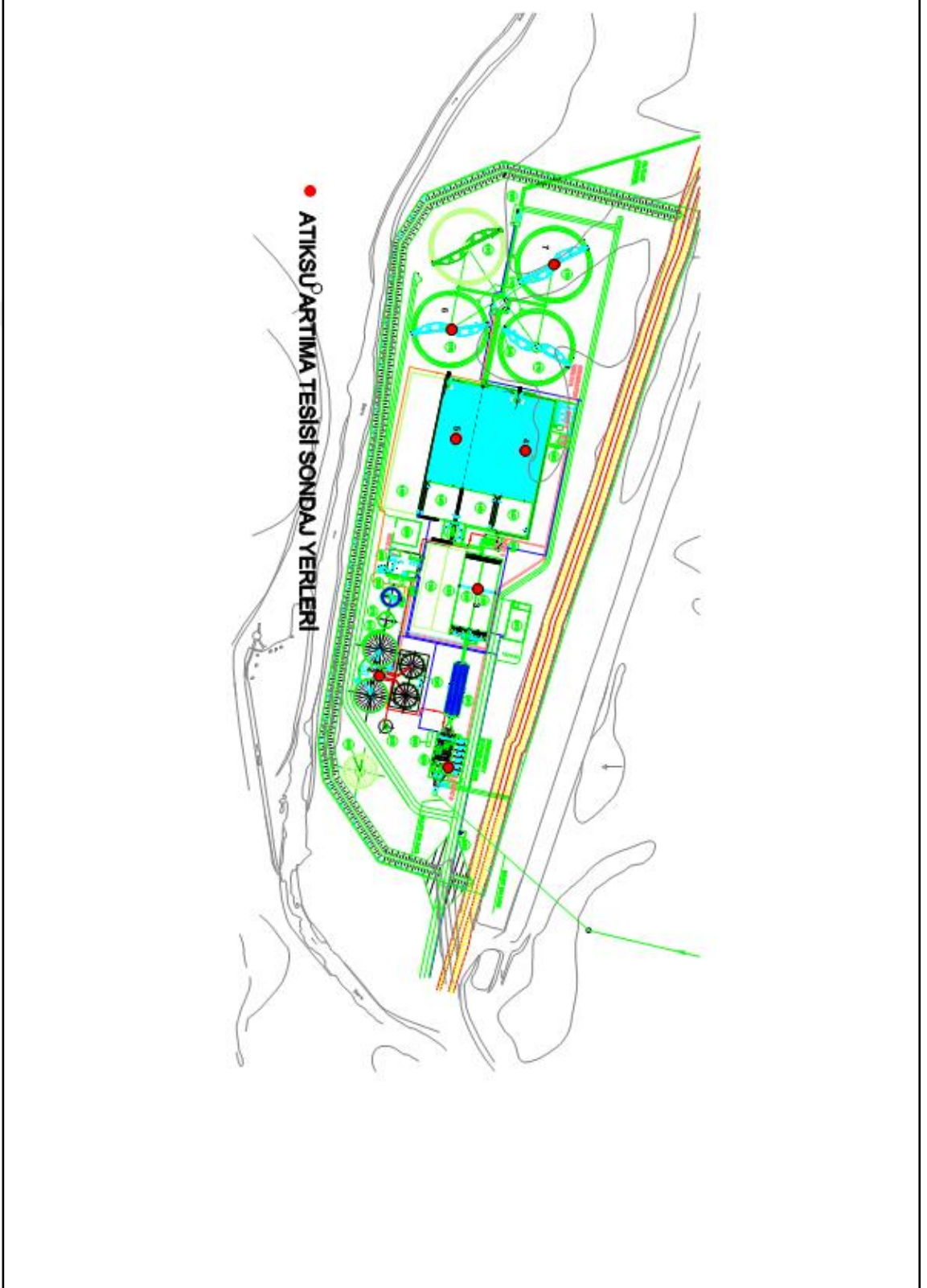
**Ek 3:** Şahiner Mühendislik (2012). Erzurum Atık su Arıtma Tesisi ve Kanalizasyon-Dere Rehabilitasyonu İnşaatı Geoteknik Rapor, HGG İnşaat, Erzurum.

**Ek 4:** ELC Group A.Ş. (2012). Erzurum Atık su Arıtma Tesisi Zemin İyileştirme Tasarım Raporu, HGG İnşaat, Erzurum.

**Ek 5:** ODTÜ Yapı Malzemesi Bilim Dalı (2012). Erzurum Atık su Arıtma Tesisi Jet Grout Kolonlardan Alınan Karot Numunelerinin Basınç ve Elastik Modül Deneyleleri Raporu, HGG İnşaat, Erzurum.

**Ek 6:** ELC Group A.Ş. (2012). Erzurum Atık su Arıtma Tesisi Zemin İyileştirme Tasarım Raporu, HGG İnşaat, Erzurum. Geotem Jeoteknik Ltd. Şti. (2012). Erzurum Atık su Arıtma Tesisi Kolon Süreklilik Deneyleleri Raporu, ELC Group A.Ş., Erzurum.

**EK 1**  
**Sondaj Yerleri**



## EK 2

## Sondaj Logları

ŞAHİNER MÜHENDİSLİK		TEMEL SONDAJ LOGU										Sayfa No : 1/1				
JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA		SOIL BORING LOG														
Proje Adı		ARITMA TESİSLERİ														
İli	Erzurum	Kuyu Derinliği	30.00 m			Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun		Sondaj No	SK -1					
Yeri	Aziziye İlçesi	Yer altı Suyu Durumu	0.50 m			Dış Çap		İç Çap								
Baş. Tarihi						İç Çap		İç Çap								
Bitiş Tarihi						Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.								
Sondaj Metodu	Rotary	Koordinat - X	4 425 284			Düşüş Yük.		Düşüş Yük.								
İl Koordinat		Koordinat - Y	422 280													
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune			SPT Grafığı					Zemin Sınıfı	Çap Perd. q - kg/cm <sup>2</sup>	KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi	
		Öselenmiş	Öselenmiş No	SPT	N30 cm											
				0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	10	20	30	40	50					
1	1.50-1.95	SPT 1	R													Nebati Toprak
2	3.00-3.50	UD	Alınamadı													Kahverenkli Çakıllı - Killi KUMLAR
3	3.50-3.95	SPT 2		4	5	4										Kahverenkli Az Killi - Çakıllı KUMLAR
4	4.50-4.95	SPT 3		8	5	7										
5	6.00-6.45	SPT 4		6	8	8										
6	7.00-7.50	UD														
7	7.50-7.95	SPT 5		8	7	9										
8	9.00-9.45	SPT 6		4	6	8										
9	10.00-10.45	SPT 7		9	10	7										
10	12.00-12.45	SPT 8		7	10	8										
11	13.50-13.95	SPT 9		9	8	9										
12	15.00-15.45	SPT 10		8	9	10										
		İnce taneli (Kohezyonlu)			İn taneli (Kohezyonsuz)			KAYA NİTELİĞİ- ROD(%)		AYRIŞMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)				
		N : 0-2 Çok Yumuşak			N : 0-4 Çok Gevşek			0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif				
		N : 3-4 Yumuşak			N : 5-10 Gevşek			25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıktı				
		N : 5-8 Orta Katı			N : 11-30 Orta Sıkı			50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıktı				
		N : 9-13 Katı			N : 31-50 Sıkı			75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok Çatlaklı - Kırıktı				
		N : 14-30 Çok Katı			N : >50 Çok Sıkı			90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış				
		N : >30 Sert														

**EK 2**  
**Sondaj Logları (devam)**

<b>ŞAHİNER MÜHENDİSLİK</b>										<b>TEMEL SONDAJ LOGU</b>									
<b>JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA</b>										<b>SOIL BORING LOG</b>									
Proje Adı: ARITMA TESİSLERİ										Sayfa No : 1/1									
İli: Erzurum					Kuyu Derinliği: 30.00 m					Numune alıcısının Dış Çapı:					Muhafaza Borusunun Dış Çapı:				
Yeri: Auziye İlçesi					Yer altı Suyu Durumu: 0.50 m					İç Çapı:					İç Çapı:				
Baş. Tarihi:					Bitiş Tarihi:					Tokmak Ağı:					Tokmak Ağı:				
Sondaj Metodu: Rotary					Koordinat - X: 4 425 284					Düşüş Yükü:					Düşüş Yükü:				
Koordinat - Y: 422 280																			
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune		SPT			SPT Grafliği					Zemin Sınıfı	Çap Punt. (g-kajlon)	KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi		
		Özellikler	Ortalama No	0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N/30 cm												
16.50-16.95		SPT	11	8	9	10	●										Griimsi mavi renkli, İnorganik Killi SİLTLER ( Gelinkaya formasyonuna ait kayaçların alterasyonu sonucu oluşmuş malzeme )		
18.00-18.45		SPT	12	9	9	12	●												
19.50-19.95		SPT	13	10	12	10	●												
21.00-21.45		SPT	14	9	10	11	●												
22.50-22.95		SPT	15	12	8	15	●												
23.50-25.00							●					Cr1	55	6			Griimsi, mavi renkli Gelinkaya formasyonuna ait KİLTAŞLARI		
25.00-27.00							●					Cr2	65	12					
27.00-28.50							●					Cr3	62	8					
28.50-30.00							●					Cr4	60	8					
İnce taneli (Kohzyonlu)				İri taneli (Kohzyonsuz)				KAYA NİTELİĞİ-ROD(%)				AYRIŞMA DERECESESİ W				ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)			
N : 0-2 Çok Yumuşak				N : 0-4 Çok Gevşek				0-25 Çok Zayıf				W1 Taze Ayrışmamış				< 1 Masif			
N : 3-4 Yumuşak				N : 5-10 Gevşek				25-50 Zayıf				W2 Az Ayrışmış				1-3 Az çatlaklı - Kırıktı			
N : 5-8 Orta Kabı				N : 11-30 Orta Sıkı				50-75 Orta				W3 Orta derecede Ayr.				3-10 Kırıktı			
N : 9-13 Kabı				N : 31-50 Sıkı				75-90 İyi				W4 Ayrışmış				10-50 Çok Çatlaklı - Kırıktı			
N : 14-30 Çok Kabı				N : >50 Çok Sıkı				90-100 Çok İyi				W5 Tamamen Ayrışmış				> 50 Parçalanmış			
N : >30																			





## EK 2

## Sondaj Logları (devam)

ŞAHİNER MÜHENDİSLİK		TEMEL SONDAJ LOGU		JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA		SOIL BORING LOG		Sayfa No : 1/1								
Proje Adı	ARITMA TESİSLERİ			Numune alıcısının	Muhafaza Borusunun	Sondaj No	SK -2									
İli	Erzurum	Kuyu Derinliği	30.00 m	Diş Çapı	Diş Çapı											
Yeri	Aziziye İlçesi	Yer altı Suyu Durumu	0.50 m	İç Çapı	İç Çapı											
Baş. Tarihi		Koordinat - X	4 425 206	Tokmak Ağ.	Tokmak Ağ.											
Bitiş Tarihi		Koordinat - Y	422 324	Düşük Yük.	Düşük Yük.											
Sondaj Metodu	Rotary															
Koordinat																
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune Ovelemler Ovelemlilik No	SPT			SPT Grafiği					Zemin Sınıflı Çap Parç. (g-kilom) KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi		
			0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N/30 cm										
						10	20	30	40	50						
16.50-16.95		SPT 11	10	10	9										Griimsi mavi renkli, İnorganik Killi SİLTLER	
17																
18.00-18.45		SPT 12	8	11	9											
19.50-19.95		SPT 13	10	12	8											
21.00-21.45		SPT 14	11	9	11											
22.50-22.95		SPT 15	10	10	12											
23																
24.50-24.95		SPT 16	11	15	12											
25																
25.00-27.00												Cr1	60	8	Griimsi, mavi renkli Gellinkaya formasyonuna ait KİLTAŞLARI	
27.00-28.00												Cr2	65	14		
28.00-30.00												Cr3	58	7		
29																
30																
İnce taneli (Kohzyonlu)			İri taneli (Kohzyonsuz)			KAYA NİTELİĞİ-ROD(%)					AYRIŞMA DERECESESİ W			ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)		
N : 0-2 Çok Yumuşak			N : 0-4 Çok Gevşek			0-25 Çok Zayıf					W1 Taze Ayrışmamış			< 1 Masif		
N : 3-4 Yumuşak			N : 5-10 Gevşek			25-50 Zayıf					W2 Az Ayrışmış			1-3 Az çatlaklı - Kırıkk		
N : 5-8 Orta Katı			N : 11-30 Orta Sıkı			50-75 Orta					W3 Orta derecede Ayr.			3-10 Kırıkk		
N : 9-13 Katı			N : 31-50 Sıkı			75-90 İyi					W4 Ayrışmış			10-50 Çok Çatlaklı - Kırıkk		
N : 14-30 Çok Katı			N : >50 Çok Sıkı			90-100 Çok İyi					W5 Tamamen Ayrışmış			> 50 Parçalanmış		
N : >30																

**EK 2**  
**Sondaj Logları (devam)**

<b>ŞAHİNLER MÜHENDİSLİK</b>				<b>TEMEL SONDAJ LOGU</b>													
<b>JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA</b>				<b>SOIL BORING LOG</b>													
Sayfa No : 1/1																	
Proje Adı		ARITMA TESİSLERİ															
İli	Erzurum	Kuyu Derinliği	30.00 m		Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun										
Yeri	Aziziye İlçesi				Dış Çap		Sondaj No SK-3										
Baş. Tarihi		Yer altı Suyu Durumu	0.50 m		İç Çap												
Bitiş Tarihi					Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.										
Sondaj Metodu	Rotary	Koordinat - X	4 425 265		Düşüş Yük.		Düşüş Yük.										
Koordinat		Koordinat - Y	422 406														
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune			SPT Grafığı					Zemin Sınıfı	Cap Perit. q - kg/cm <sup>2</sup>	KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi		
		Öselenme	Öselenmiş	No	N/30 cm												
					0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	10	20	30	40	50					
1.50-1.95		SPT 1	R													Nebati Toprak	
2.00-2.45																Kahverenkli Çakıllı - Killi KUMLAR	
3.00-3.50	UD	Alınamadı														Kahverenkli Az Killi - Çakıllı KUMLAR	
3.50-3.95		SPT 2	8	7	4												
4.50-5.00	UD		1														
5.00-5.45		SPT 3	6	6	7												
6.00-6.45		SPT 4	8	10	7												
7.50-8.00	UD		1														
8.00-8.45		SPT 5	6	8	9												
9.00-9.45		SPT 6	9	7	8												
10.00-10.45		SPT 7	7	7	10												
12.00-12.45		SPT 8	8	9	9												
14.00-14.45		SPT 9	8	6	5												
15.00-15.45		SPT 10	9	10	7												
		İnce taneli (Kohezyonlu)		İri taneli (Kohezyonsuz)		KAYA NİTELİĞİ-ROD(%)		AYRIŞMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)							
		N : 0-2 Çok Yumuşak		N : 0-4 Çok Gevşek		0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif							
		N : 3-4 Yumuşak		N : 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıklı							
		N : 5-8 Orta Katı		N : 11-30 Orta Sıkı		50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıklı							
		N : 9-13 Katı		N : 31-50 Sıkı		75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok Çatlaklı - Kırıklı							
		N : 14-30 Çok Katı		N : >50 Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış							
		N : >30 Sert															

## EK 2

## Sondaj Logları (devam)

ŞAHİNER MÜHENDİSLİK		TEMEL SONDAJ LOGU																
JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA		SOIL BORING LOG																
Proje Adı		ARITMA TESİSLERİ																
İli	Erzurum	Kuyu Derinliği	30.00 m		Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun		Sondaj No		SK -3							
Yeri	Aziziye İlçesi	Yer altı Suyu Durumu		0.50 m		Diş Çap		İç Çap										
Baş. Tarihi		Koordinat - X		4 425 265		Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.										
Bitiş Tarihi		Koordinat - Y		422 406		Düşük Yük.		Düşük Yük.										
Sondaj Metodu	Rotary																	
Koordinat																		
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune Ölçülmesi	Numune Ölçülmesi	SPT			SPT Grafiği					Zemin Sınıfı	Çap Fiyat. (m)	KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi	
				No	0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N/30 cm										
16.50-16.95		SPT	11	9	11	7												Griimsi mavi renkli, İnorganik Killi SİLTLER
18.00-18.45		SPT	12	10	9	12												
19.00-20.50														Cr1	64	8		Griimsi, mavi renkli Gellinkaya formasyonuna ait KİLTAŞLARI
20.50-22.00														Cr2	60	7		
22.00-23.50														Cr3	56	8		
23.50-25.00														Cr4	68	8		
25.00-27.00														Cr5	60	8		
27.00-28.00														Cr6	62	8		
28.00-30.00														Cr7	66	12		
							KAYA NİTELİĞİ-ROD(%)		AYRIŞMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)							
İnce taneli (Kohzyonlu)		İri taneli (Kohzyonsuz)		0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif										
N : 0-2 Çok Yumuşak		N : 0-4 Çok Gevsek		25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıkk										
N : 3-4 Yumuşak		N : 5-10 Gevsek		50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıkk										
N : 5-8 Orta Katı		N : 11-30 Orta Sıkı		75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok çatlaklı - Kırıkk										
N : 9-13 Katı		N : 31-50 Sıkı		90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış										
N : 14-30 Çok Katı		N : >50 Çok Sıkı																
N : >30 Sert																		

## EK 2

## Sondaj Logları (devam)

ŞAHİNER MÜHENDİSLİK		TEMEL SONDAJ LOGU										Sayfa No : 1/1	
JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA		SOIL BORING LOG											
Proje Adı	ARITMA TESİSLERİ											Sondaj No	SK -4
İli	Erzurum	Kuyu Derinliği	30.00 m		Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun						
Yeri	Aziziye İlçesi				Dış Çap		Dış Çap						
Baş. Tarihi		Yer altı Suyu Durumu	0.50 m		İç Çap		İç Çap						
Bitiş Tarihi					Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.						
Sondaj Metodu	Rotary	Koordinat - X	4 425 233		Düşüş Yük.		Düşüş Yük.						
Koordinat		Koordinat - Y	422 498										
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune Ölçüleri	SPT No	SPT			SPT Grafliği					Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi
				0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N/30 cm						
							10	20	30	40	50		
1													Nebati Toprak
1.50-1.95			SPT 1	R									Kahverenkli Çakıllı - Killi KUMLAR
2													Kahverenkli Az Killi - Çakıllı KUMLAR
3		UD	Alınmadı										
3.50-3.95			SPT 2	5	5	6							
4			SPT 3	8	6	5							
4.50-4.95													
5													
6		UD											
6.00-6.50			SPT 4	9	8	8							
6.50-6.95			SPT 5	8	7	9							
7													
7.50-7.95			SPT 6	8	10	9							
8													
9			SPT 7	8	8	11							
9.00-9.45													
10			SPT 8	9	8	9							
10.00-10.45													
11			SPT 9	10	8	9							
12													
12.00-12.45			SPT 10	11	9	12							
13													
13.50-13.95													
14													
15													
15.00-15.45													
		KAYA NİTELİĞİ-ROD(%)		AYRIŞMA DERECESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)							
İnce taneli (Kohzyonsuz)		İri taneli (Kohzyonsuz)		0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif					
N : 0-2 Çok Yumuşak		N : 0-4 Çok Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıkk					
N : 3-4 Yumuşak		N : 5-10 Gevşek		50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıkk					
N : 5-8 Orta Katı		N : 11-30 Orta Sıkı		75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok Çatlaklı - Kırıkk					
N : 9-13 Katı		N : 31-50 Sıkı		90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış					
N : 14-30 Çok Katı		N : >50 Çok Sıkı											
N : >30 Sert													

Griimsi mavi renkli, yer yer siyahımsı, İnorganik Killi SİTLER ( Gelinkaya formasyonuna ait kayaların alterasyonu sonucu oluşmuş malzeme )

**EK 2**  
**Sondaj Logları (devam)**

<b>ŞAHİNER MÜHENDİSLİK</b>		<b>TEMEL SONDAJ LOGU</b>																
<b>JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA</b>		<b>SOIL BORING LOG</b>																
Sayfa No : 1/1																		
Proje Adı		ARITMA TESİSLERİ																
İli	Erzurum	Kuyu Derinliği	30.00 m			Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun		Sondaj No		SK-5						
Yeri	Aziziye İlçesi	Yer altı Suyu Durumu		0.50 m		Dış Çap		İç Çap										
Baş. Tarihi		Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.		Düşüş Yük.		Düşüş Yük.										
Bitiş Tarihi		Kordinat - X		4 425 218		Kordinat - Y		422 398										
Sondaj Metodu	Rotary	Kordinat - X		4 425 218		Kordinat - Y		422 398										
İKordinat		Kordinat - X		4 425 218		Kordinat - Y		422 398										
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune		SPT			SPT Grafığı					Zemin Sınıfı	Çap Perit. q - kg/cm <sup>2</sup>	KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi	
		Öselenmiş	Örselenmiş	No	0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N/30 cm										
							10	20	30	40	50							
1	1.50-1.95		SPT 1	R														Nebati Toprak
2																		Kahverenkli Çakıllı - Killi KUMLAR
3	3.00-3.50		UD	Alınamadı														Kahverenkli Az Killi - Çakıllı KUMLAR
4	3.50-3.95		SPT 2		7	5	7											
5	4.50-4.95		SPT 3		8	5	6											
6	6.00-6.50		UD															
7	6.50-6.95		SPT 4		8	7	7											
8	7.50-7.95		SPT 5		9	10	6											
9	9.00-9.45		SPT 6		9	11	8											Grimsi mavi renkli, yer yer siyahımsı, İnorganik Killi SİLTLER ( Gelinkaya formasyonuna ait kayaların alterasyonu sonucu oluşmuş malzeme )
10	10.00-10.45		SPT 7		10	7	9											
11																		
12	12.00-12.45		SPT 8		10	9	7											
13																		
14	13.50-13.95		SPT 9		7	9	11											
15	15.00-15.45		SPT 10		10	11	9											
İnce taneli (Kohezyonlu)		İn taneli (Kohezyonsuz)		KAYA NİTELİĞİ- ROD(%)			AYRIŞMA DERECESESİ W			ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)								
N : 0-2 Çok Yumuşak		N : 0-4 Çok Gevsek		0-25 Çok Zayıf			W1 Taze Ayrışmamış			< 1 Masif								
N : 3-4 Yumuşak		N : 5-10 Gevsek		25-50 Zayıf			W2 Az Ayrışmış			1-3 Az çatlaklı - Kırıklı								
N : 5-8 Orta Katı		N : 11-30 Orta Sıkı		50-75 Orta			W3 Orta derecede Ayr.			3-10 Kırıklı								
N : 9-13 Katı		N : 31-50 Sıkı		75-90 İyi			W4 Ayrışmış			10-50 Çok Çatlaklı - Kırıklı								
N : 14-30 Çok Katı		N : >50 Çok Sıkı		90-100 Çok İyi			W5 Tamamen Ayrışmış			> 50 Parçalanmış								





**EK 2**  
**Sondaj Logları (devam)**

<b>ŞAHİNER MÜHENDİSLİK</b>		<b>TEMEL SONDAJ LOGU</b>															
<b>JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA</b>		<b>SOIL BORING LOG</b>															
Sayfa No : 1/1																	
Proje Adı		ARITMA TESİSLERİ															
İli	Erzurum	Kuyu Derinliği	30.00 m			Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun		Sondaj No	SK -7						
Yeri	Aziziye İlçesi				Dış Çap			Dış Çap									
Baş. Tarihi		Yer altı Suyu Durumu			İç Çap		İç Çap										
Bitiş Tarihi					Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.										
Sondaj Metodu	Rotary	Koordinat - X	4 425 213			Düşüş Yük.		Düşüş Yük.									
Koordinat		Koordinat - Y	422 620														
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune			SPT Grafığı					Zemin Sınıfı	Cap Perit. q - kg/cm <sup>2</sup>	KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi		
		Öselenme	Örselenmiş	No	N/30 cm												
					0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	10	20	30	40	50					
1	1.50-1.95		SPT 1	R													Nebati Toprak
2																	Kahverenkli Çakıllı - Killi KUMLAR
3	3.00-3.50	UD	Alınamadı														Kahverenkli Az Killi - Çakıllı KUMLAR
4	3.50-3.95		SPT 2		6	7	8										
5	4.50-5.00	UD			1												
6	5.00-5.45		SPT 3		6	8	9										
7	6.00-6.45		SPT 4		8	9	8										
8	7.50-7.95		SPT 5		6	9	7										
9	9.00-9.45		SPT 6		7	10	8										
10	10.00-10.45		SPT 7		9	9	8										
11																	
12	12.00-12.45		SPT 8		8	9	11										
13																	
14	13.50-13.95		SPT 9		8	10	10										
15	15.00-15.45		SPT 10		9	9	11										
		İnce taneli (Kohezyonlu)		İri taneli (Kohezyonsuz)		KAYA NİTELİĞİ-ROD(%)		AYRIŞMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)							
		N : 0-2 Çok Yumuşak		N : 0-4 Çok Gevşek		0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif							
		N : 3-4 Yumuşak		N : 5-10 Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıklı							
		N : 5-8 Orta Katı		N : 11-30 Orta Sıkı		50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıklı							
		N : 9-13 Katı		N : 31-50 Sıkı		75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok Çatlaklı - Kırıklı							
		N : 14-30 Çok Katı		N : >50 Çok Sıkı		90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış							
		N : >30 Sert															

Griimsi mavi renkli,  
yer yer siyah renkli  
İnorganik Killi SİLTLER  
( Gelinkaya formasyonuna ait  
kayaçların alterasyonu sonucu  
oluşmuş malzeme )



**EK 2**  
**Sondaj Logları (devam)**

<b>ŞAHİNER MÜHENDİSLİK</b>				<b>TEMEL SONDAJ LOGU</b>				Sayfa No : 1/1										
<b>JEOLOJİK - JEOTEKNİK ARAŞTIRMA</b>				<b>SOIL BORING LOG</b>														
Proje Adı		ARITMA TESİSLERİ		Kuyu Derinliği		30.00 m		Numune alıcısının		Muhafaza Bonusunun		Sondaj No		SK -7				
İli		Erzurum		Yer altı Suyu Durumu		0.50 m		Dış Çap		İç Çap								
Yeri		Aziziye İlçesi		Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.		Düşüş Yük.		Düşüş Yük.								
Baş. Tarihi				Koordinat - X		4 425 620												
Bitiş Tarihi				Koordinat - Y		422 213												
Sondaj Metodu		Rotary																
İKoordinat																		
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune		SPT			SPT Grafığı					Zemin Sınıfı	Cap Perit. q - kg/cm <sup>2</sup>	KAROT	TCR %	ROD %	Zemin Cinsi	
		Öselenme	Örselenmiş	No	0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N/30 cm										
							10	20	30	40	50							
16	16.50-16.95		SPT 11	11	9	9	8											Griimsi mavi renkli, İnorganik Killi SİLTLER
17	18.00-18.45		SPT 12	12	9	10	7											
18	19.50-19.95		SPT 13	13	10	8	9											
19	21.00-21.45		SPT 14	14	12	12	13											
20	22.50-22.95		SPT 15	15	14	15	11											
21	23.50-25.00													Cr1	64	8		Griimsi, mavi renkli Gelinlikaya formasyonuna ait KİLTAŞLARI
22	25.00-27.00													Cr2	56	8		
23	27.00-28.00													Cr3	60	8		
24	28.00-30.00													Cr4	62	12		
25																		
26																		
27																		
28																		
29																		
30																		
								KAYA NİTELİĞİ- ROD(%)		AYRIŞMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)						
İnce taneli (Kohezyonlu)		İri taneli (Kohezyonsuz)		0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif										
N : 0-2 Çok Yumuşak		N : 0-4 Çok Gevşek		25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıktı										
N : 3-4 Yumuşak		N : 5-10 Gevşek		50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıktı										
N : 5-8 Orta Katı		N : 11-30 Orta Sıkı		75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok Çatlaklı - Kırıktı										
N : 9-13 Katı		N : 31-50 Sıkı		90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış										
N : 14-30 Çok Katı		N : >50 Çok Sıkı																
N : >30 Sert																		

## EK 3

## Laboratuvar Sonuçları

ADA - Z ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI											
<b>KONSOLIDASYON DENEYİ</b>											
FİRMA	ŞAHİNER MÜHENDİSLİK					Ring Açıklığı (gr) :	73,88	Doğal Yoğunluk :	1,921		
PROJE	Erzurum İlica Arıtma					Ring+Yaq Num. Ağ :	149,12	Kuru Yoğunluk :	1,140		
LAB. KAYIT NO	B - 5 7 1 6					NUMUNENİN ÇAPİ (cm) :	5,886	Ring+Kuru Num. Ağ :	118,44	Boşluk Oranı :	1,343
RAPOR TARİHİ						NUMUNENİN BOYU (cm) :	2,886	Özgül Ağırlık :	2,87		
NUMUNE NO	SK-1 / UD-1					NUMUNENİN ALANI (cm <sup>2</sup> ) :	19,63	Numune Kuru Ağ :	44,75		
DENEY STANDARTI	TS 1900 -2					NUMUNENİN HACMİ (cm <sup>3</sup> ) :	39,27	2Ho :	0,85	Su İçeriği :	68,56

Uygulanan Basınç	Tasman	Tasman Farkı	Numune Yüksekliği	Epsilon	Boşluk Yüksekliği	Boşluk Oranı	Boşluk Oranı Değiğimi	Basınç Artığı	Sıkığma Katsayısı	Hacimsel Sıkığma Katsayısı	E <sub>s</sub> 1M <sub>v</sub>
kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm	h = ho-de (cm)	h/ho	hb = h-hk (cm)	e <sub>s</sub> = hb/hk	De	kg/cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> /kgf	m <sub>v</sub> =dv/(1+e <sub>0</sub> ) (cm <sup>3</sup> /kg)	kg/cm <sup>2</sup>
0,0000	0,0000	0,0520	2,0000	0,0000	1,1464	1,3430					
0,5000	<b>0,0520</b>	0,0460	1,9480	0,0260	1,0944	1,2821	0,0609	0,5000	0,1218	0,0520	19,2308
1,0000	<b>0,0980</b>	0,0460	1,9020	0,0490	1,0484	1,2282	0,0539	0,5000	0,1078	0,0472	21,1739
2,0000	<b>0,1480</b>	0,0500	1,8520	0,0740	0,9984	1,1696	0,0586	1,0000	0,0586	0,0263	38,0400
4,0000	<b>0,1920</b>	0,0440	1,8080	0,0960	0,9544	1,1181	0,0515	2,0000	0,0258	0,0119	84,1818
2,0000	<b>0,1870</b>	0,0050	1,8130	0,0935	0,9594	1,1240					
1,0000	<b>0,1760</b>	0,0110	1,8140	0,0940	0,9704	1,1308					
0,5000	<b>0,1540</b>	0,0220	1,8460	0,0770	0,9924	1,1626					

Tatbik edilen yük (kg) : 0,287  
Şişme Miktarı (1/100 mm) : 17,0  
Şişme Basıncı (kg/cm<sup>2</sup>) : 0,146  
Şişme Yüzdesi (%) : 0,85

Deney Sorumlusu:  
Jeoloği Müh. Ali KARAKLI

Lab. Denetçi Mühendis:  
Jeoloği Müh. Sinem ÖZCANCI

Ada-Z Jeoteknik Proje Danışmanlık Madencilik Turizm İnşaat Medikal İç ve Dış Ticaret Ltd. Şti.  
Demetgöl Mah. Vatan Cad. No:130 Demetevler - Yenimahalle / ANKARA  
Tel: 0 312 336 88 84 Fax: 0 312 336 88 84  
www.ada-z.com.tr

FORM 50

ADA - Z ZEMİN VE KAYA MEKANİĞİ LABORATUVARI											
<b>KONSOLIDASYON DENEYİ</b>											
FİRMA	ŞAHİNER MÜHENDİSLİK					Ring Açıklığı (gr) :	74,89	Doğal Yoğunluk :	1,912		
PROJE	Erzurum İlica Arıtma					Ring+Yaq Num. Ağ :	149,78	Kuru Yoğunluk :	1,074		
LAB. KAYIT NO	B - 5 7 1 6					NUMUNENİN ÇAPİ (cm) :	5,886	Ring+Kuru Num. Ağ :	116,88	Boşluk Oranı :	1,495
RAPOR TARİHİ						NUMUNENİN BOYU (cm) :	2,886	Özgül Ağırlık :	2,88		
NUMUNE NO	SK-4 / UD-1					NUMUNENİN ALANI (cm <sup>2</sup> ) :	19,63	Numune Kuru Ağ :	42,19		
DENEY STANDARTI	TS 1900 -2					NUMUNENİN HACMİ (cm <sup>3</sup> ) :	39,27	2Ho :	0,80	Su İçeriği :	77,98

Uygulanan Basınç	Tasman	Tasman Farkı	Numune Yüksekliği	Epsilon	Boşluk Yüksekliği	Boşluk Oranı	Boşluk Oranı Değiğimi	Basınç Artığı	Sıkığma Katsayısı	Hacimsel Sıkığma Katsayısı	E <sub>s</sub> 1M <sub>v</sub>
kg/cm <sup>2</sup>	cm	cm	h = ho-de (cm)	h/ho	hb = h-hk (cm)	e <sub>s</sub> = hb/hk	De	kg/cm <sup>2</sup>	cm <sup>3</sup> /kgf	m <sub>v</sub> =dv/(1+e <sub>0</sub> ) (cm <sup>3</sup> /kg)	kg/cm <sup>2</sup>
0,0000	0,0000	0,0480	2,0000	0,0000	1,1962	1,4945					
0,5000	<b>0,0480</b>	0,0440	1,9520	0,0240	1,1502	1,4346	0,0599	0,5000	0,1197	0,0480	20,8333
1,0000	<b>0,0920</b>	0,0520	1,9080	0,0460	1,1062	1,3798	0,0549	0,5000	0,1098	0,0451	22,1818
2,0000	<b>0,1440</b>	0,0300	1,8560	0,0720	1,0542	1,3149	0,0649	1,0000	0,0649	0,0273	36,6923
4,0000	<b>0,1940</b>	0,0050	1,8060	0,0970	1,0042	1,2525	0,0624	2,0000	0,0312	0,0133	74,2400
2,0000	<b>0,1890</b>	0,0100	1,8110	0,0945	1,0092	1,2588					
1,0000	<b>0,1790</b>	0,0200	1,8210	0,0895	1,0192	1,2712					
0,5000	<b>0,1590</b>	0,0200	1,8410	0,0795	1,0392	1,2962					

Tatbik edilen yük (kg) : 0,271  
Şişme Miktarı (1/100 mm) : 16,0  
Şişme Basıncı (kg/cm<sup>2</sup>) : 0,138  
Şişme Yüzdesi (%) : 0,80

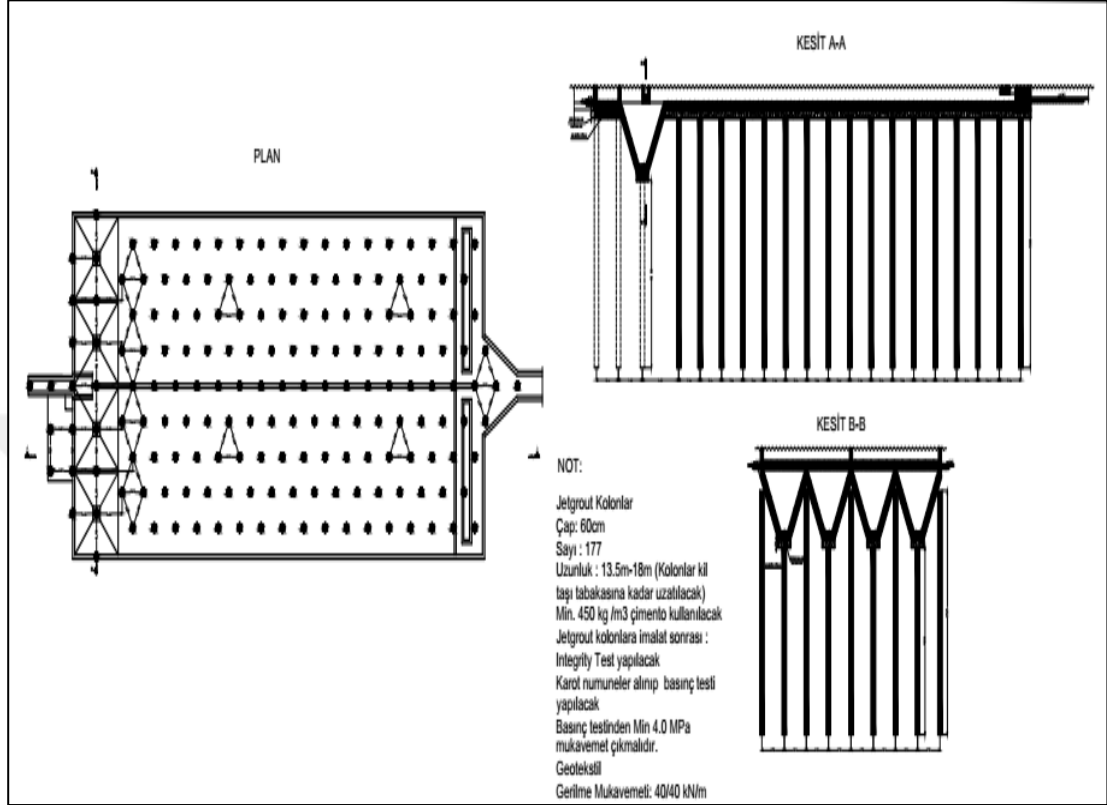
Deney Sorumlusu:  
Jeoloği Müh. Ali KARAKLI

Lab. Denetçi Mühendis:  
Jeoloği Müh. Sinem ÖZCANCI

Ada-Z Jeoteknik Proje Danışmanlık Madencilik Turizm İnşaat Medikal İç ve Dış Ticaret Ltd. Şti.  
Demetgöl Mah. Vatan Cad. No:130 Demetevler - Yenimahalle / ANKARA  
Tel: 0 312 336 88 84 Fax: 0 312 336 88 84  
www.ada-z.com.tr

FORM 50



**EK 4****Jet Grout Kolon Yerleşim Planı**

## EK 5

### Jet Grout Kolon Karot Numunelerin Basınç ve Elastik Modül Deneyleri

#### 1. GİRİŞ

Bu rapor Orta Doğu Teknik Üniversitesi Uygulamalı Araştırmalar 2012-03-03-1-00.111 kod numaralı proje kapsamında hazırlanmıştır. Bu çalışmanın kapsamı HGG İNŞAAT SAN. Ve Tic.Ltd.Şti.'nin yapmakta olduğu Erzurum atıksu arıtma projesi için "jet grout" kolonundan alınan karot numunelerinin basınç ve elastik modül deneylerinin yapılması kapsamaktadır.

Bu raporda, basınç dayanımları ve elastik modül değerleri verilmiştir.

#### 2. BASINÇ VE ELASTİK MODÜL DENEYLERİ

Elastisite Modülü için deneyler ASTM C469 göre yapılmış ve elastisite değerleri hesaplanmıştır. Tablo 1'de Birim Ağırlık, Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Değerleri verilmektedir. Şekil 1, 2, 3 ve 4'de Gerilme-Birim Deformasyon eğrileri verilmektedir.

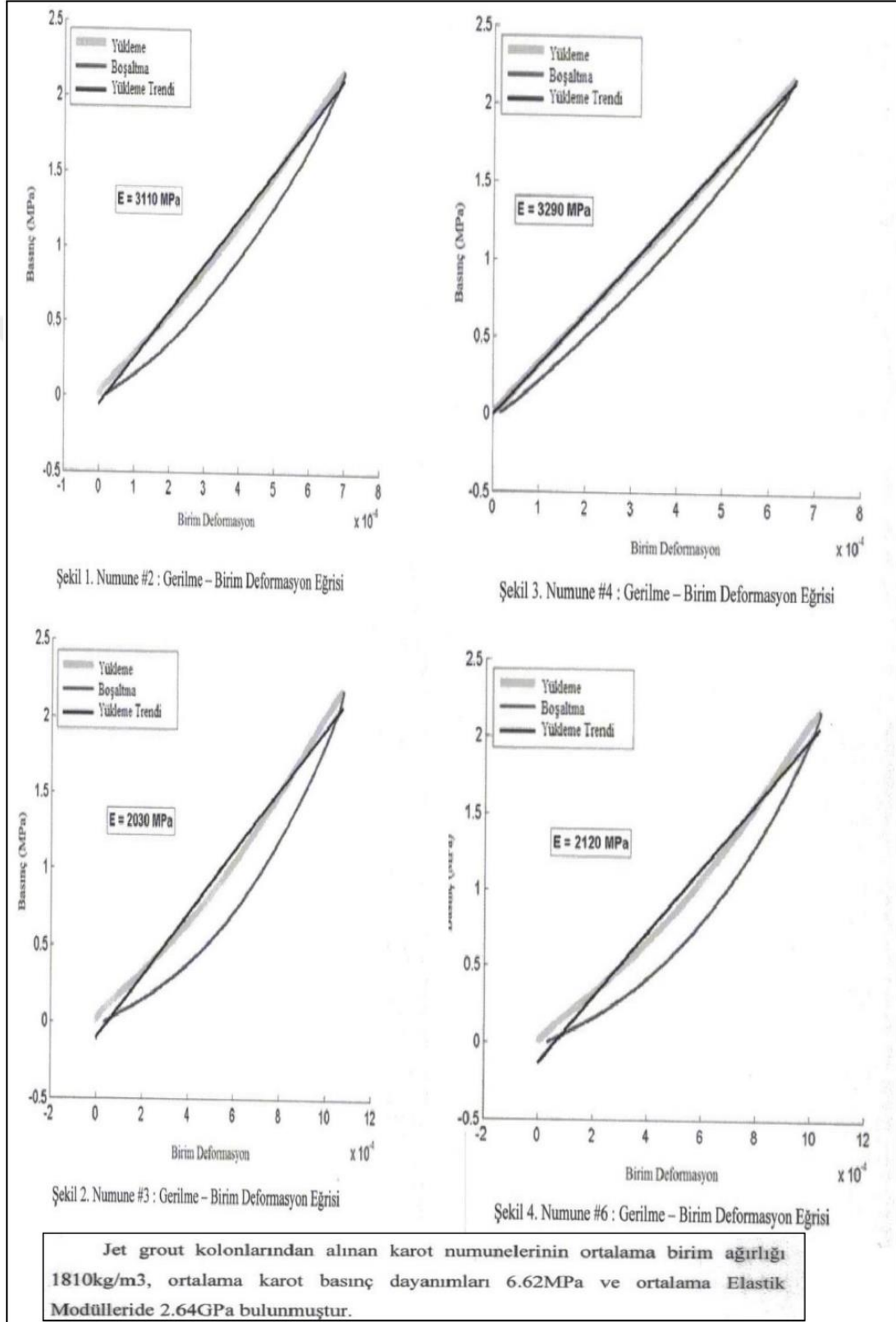
Tablo1. Birim Ağırlık, Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Değerleri

Numune #	Özkütle(kg/m <sup>3</sup> )	Dayanım (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)
1	1789,20	5,47	-
2	1812,74	-	3,11
3	1809,86	5,89	2,03
4	1822,82	8,02	3,29
5	1802,01	7,10	-
6	1824,27	-	2,12
Ortalama	1810,15	6,62	2,64



## EK 5

### Jet Grout Kolon Karot Numunelerinin Basınç ve Elastik Modül Deneyleri (devam)



## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları

**ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ**  
**120 - PRIMARY SEDIMENTATION TANK**  
**JET GROUT KOLON HESAPLARI**

Bina gerilmesi	$q_b=$	60 kPa
Temel derinliği	$d_f=$	0,9 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z=$	18,9 kPa
Net gerilme	$q_{net}=$	42,99 kPa

Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		DD
Yapı temel genişliği	$B=$	25 m
Yapı temel uzunluğu	$L=$	55 m
Yapı alanı	$A_y=$	1375,0 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_t=$	82500,0 kN
Jet grout kolon çapı	$d_{jg}=$	0,6 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg}=$	0,283 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,\varphi}=$	1,885 m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	$s=$	2,95 m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	$D_e=$	3,10 m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaaj alanı	$A=$	7,54 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	$n=$	182,5 adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg}=$	4000 kPa
Güvenlik sayısı	$GS=$	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e}=$	2000 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg}=$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg}=$	1380000 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s=$	20000 kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha=$	0,68
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u=$	55 kPa
Jet grout kolon derinliği	$l=$	18 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z}=$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z}=$	423,0 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg}=$	353,3 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg}=$	353,3 kN
Seçilen karelaajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg}=$	64457,3 kN
Seçilen karelaajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z=$	18042,7 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg}=$	1250,0 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z=$	13,6 kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wp} =$	0,88
Etki faktörü	$I_{ws} =$	3,92
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	0,82 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,09 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg}=$	0,91 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze}=$	0,92 cm

## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları (devam)

**ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ**  
**130 - INTERMEDIATE PUMPING STATION**  
**JET GROUT KOLON HESAPLARI**

Bina gerilmesi	$Q_b=$	90 kPa
Temel derinliği	$d_f=$	1,6 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z=$	19 kPa
Net gerilme	$Q_{net}=$	59,6 kPa

Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		DD
Yapı temel genişliği	$B=$	9 m
Yapı temel uzunluğu	$L=$	12,5 m
Yapı alanı	$A_y=$	112,5 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_t=$	10125,0 kN

Jet grout kolon çapı	$d_{jg}=$	0,6 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg}=$	0,283 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,c}=$	1,885 m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	$s=$	2,30 m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	$D_e=$	2,42 m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaaj alanı	$A=$	4,58 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	$n=$	24,6 adet

Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg}=$	4000 kPa
Güvenlik sayısı	$GS=$	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e}=$	2000 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg}=$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg}=$	1380000 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s=$	20000 kPa

Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha=$	0,69
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u=$	56 kPa
Jet grout kolon derinliği	$l=$	17 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z}=$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z}=$	412,7 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg}=$	353,3 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg}=$	353,3 kN

Seçilen karelaajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg}=$	8675,8 kN
Seçilen karelaajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z=$	1449,2 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg}=$	1250,0 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z=$	13,7 kPa

Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wp} =$	0,88
Etki faktörü	$I_{ws} =$	3,86
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	0,77 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,10 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg}=$	0,87 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze}=$	0,88 cm



## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları (devam)

ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ		
140-AERATION TANKS		
JET GROUT KOLON HESAPLARI		
Bina gerilmesi	$q_b =$	85 kPa
Temel derinliği	$d_f =$	0,5 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z =$	18,9 kPa
Net gerilme	$q_{net} =$	75,55 kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		DD
Yapı temel genişliği	$B =$	75 m
Yapı temel uzunluğu	$L =$	95,5 m
Yapı alanı	$A_y =$	7162,5 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_t =$	608812,5 kN
Jet grout kolon çapı	$d_{jg} =$	0,6 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg} =$	0,283 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,\varphi} =$	1,885 m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	$s =$	2,40 m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	$D_e =$	2,52 m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaaj alanı	$A =$	4,99 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	$n =$	1436,1 adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg} =$	4000 kPa
Güvenlik sayısı	$GS =$	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e} =$	2000 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg} =$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg} =$	1380000 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s =$	20000 kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha =$	0,69
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u =$	55 kPa
Jet grout kolon derinliği	$l =$	16 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z} =$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z} =$	381,5 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg} =$	353,3 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg} =$	353,3 kN
Seçilen karelaajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg} =$	507289,5 kN
Seçilen karelaajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z =$	101523,0 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg} =$	1250,0 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z =$	15,0 kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wD} =$	0,88
Etki faktörü	$I_{wS} =$	3,81
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	0,72 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,10 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg} =$	0,82 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze} =$	0,90 cm

## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları (devam)

**ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ**  
**170-SECONDARY CLARIFIER No:1**  
**JET GROUT HESAPLARI**

Bina gerilmesi	$q_b =$	60 kPa
Temel derinliği	$d_f =$	1 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z =$	19,2 kN/m <sup>3</sup>
Net gerilme	$q_{net} =$	40,8 kPa

Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		<b>D</b>
Yapı temel genişliği	$B =$	51,8 m
Yapı temel uzunluğu	$L =$	51,8 m
Yapı alanı	$A_y =$	2107,4 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_T =$	126444,7 kN
Jet grout kolon çapı	$d_{jg} =$	0,6 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg} =$	0,283 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,\varphi} =$	1,885 m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	$s =$	2,95 m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	$D_e =$	3,10 m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaaj alanı	$A =$	7,54 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	$n =$	279,7 adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg} =$	4000 kPa
Güvenlik sayısı	$GS =$	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e} =$	2000 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg} =$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg} =$	1380000 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s =$	20000 kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha =$	0,63
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u =$	55 kPa
Jet grout kolon derinliği	$l =$	22 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z} =$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z} =$	481,2 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg} =$	353,3 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg} =$	353,3 kN
Seçilen karelaajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg} =$	98791,4 kN
Seçilen karelaajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z =$	27653,3 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg} =$	1250,0 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z =$	13,6 kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wD} =$	0,88
Etki faktörü	$I_{wS} =$	4,12
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	1,00 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,08 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg} =$	1,08 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze} =$	1,12 cm

## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları (devam)

**ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ**  
**170-SECONDARY CLARIFIER No:2**  
**JET GROUT HESAPLARI**

Bina gerilmesi	$q_b=$	60 kPa
Temel derinliği	$d_f=$	1 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z=$	19,2 kN/m <sup>3</sup>
Net gerilme	$q_{net}=$	40,8 kPa

Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		<b>D</b>
Yapı temel genişliği	$B=$	51,8 m
Yapı temel uzunluğu	$L=$	51,8 m
Yapı alanı	$A_y=$	2107,4 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_T=$	126444,7 kN
Jet grout kolon çapı	$d_{jg}=$	0,6 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg}=$	0,283 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,\phi}=$	1,885 m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	$s=$	2,95 m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	$D_e=$	3,10 m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaj alanı	$A=$	7,54 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	$n=$	279,7 adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg}=$	4000 kPa
Güvenlik sayısı	$GS=$	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e}=$	2000 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg}=$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg}=$	1380000 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s=$	20000 kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha=$	0,67
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u=$	55 kPa
Jet grout kolon derinliği	$l=$	19 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z}=$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z}=$	439,9 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg}=$	353,3 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg}=$	353,3 kN
Seçilen karelajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg}=$	98791,4 kN
Seçilen karelajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z=$	27653,3 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg}=$	1250,0 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z=$	13,6 kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wp}=$	0,88
Etki faktörü	$I_{ws}=$	3,97
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	0,86 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,09 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg}=$	0,95 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze}=$	0,97 cm

## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları (devam)

<b>ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ</b>		
<b>170-SECONDARY CLARIFIER No:3</b>		
<b>JET GROUT HESAPLARI</b>		
Bina gerilmesi	$Q_b=$	60 kPa
Temel derinliği	$d_f=$	1 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z=$	19,2 kN/m <sup>3</sup>
Net gerilme	$Q_{net}=$	40,8 kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		<b>D</b>
Yapı temel genişliği	$B=$	51,8 m
Yapı temel uzunluğu	$L=$	51,8 m
Yapı alanı	$A_y=$	2107,4 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_t=$	126444,7 kN
Jet grout kolon çapı	$d_{jg}=$	0,6 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg}=$	0,283 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,\varphi}=$	1,885 m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	$s=$	2,95 m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	$D_e=$	3,10 m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaj alanı	$A=$	7,54 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	$n=$	279,7 adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg}=$	4000 kPa
Güvenlik sayısı	$GS=$	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e}=$	2000 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg}=$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg}=$	1380000 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s=$	20000 kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha=$	0,7
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u=$	56 kPa
Jet grout kolon derinliği	$l=$	15 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z}=$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z}=$	369,5 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg}=$	353,3 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg}=$	353,3 kN
Seçilen karelajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg}=$	98791,4 kN
Seçilen karelajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z=$	27653,3 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg}=$	1250,0 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z=$	13,6 kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wp}=$	0,88
Etki faktörü	$I_{ws}=$	3,75
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	0,68 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,11 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg}=$	0,78 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze}=$	0,77 cm

## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları (devam)

ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ 260 - PRIMARY SLUDGE THICKENER JET GROUT HESAPLARI		
Bina gerilmesi	$Q_b=$	140 kPa
Temel derinliği	$d_f=$	1 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z=$	19,2 kN/m <sup>3</sup>
Net gerilme	$Q_{net}=$	120,8 kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		D
Yapı temel genişliği	B=	14,5 m
Yapı temel uzunluğu	L=	14,5 m
Yapı alanı	$A_y=$	165,1 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_t=$	23118,2 kN
Jet grout kolon çapı	$d_{jg}=$	0,6 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg}=$	0,283 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,c}=$	1,885 m <sup>2</sup> /m
Dikdörtgen dizilim için jet grout kolon aralığı	s=	1,90 m
Dikdörtgen dizilim için efektif çap	$D_e=$	2,15 m
Dikdörtgen dizilim ile karelaj alanı	A=	3,62 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	n=	45,6 adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg}=$	5500 kPa
Güvenlik sayısı	GS=	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e}=$	2750 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg}=$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg}=$	1897500 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s=$	20000 kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha=$	0,7
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u=$	55 kPa
Jet grout kolon derinliği	l=	19 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z}=$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z}=$	459,6 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg}=$	485,7 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg}=$	459,6 kN
Seçilen karelajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg}=$	20963,6 kN
Seçilen karelajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z=$	2154,6 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg}=$	1626,4 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z=$	14,2 kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wD} =$	0,88
Etki faktörü	$I_{wS} =$	3,97
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	0,81 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,11 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg}=$	0,93 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze}=$	1,01 cm

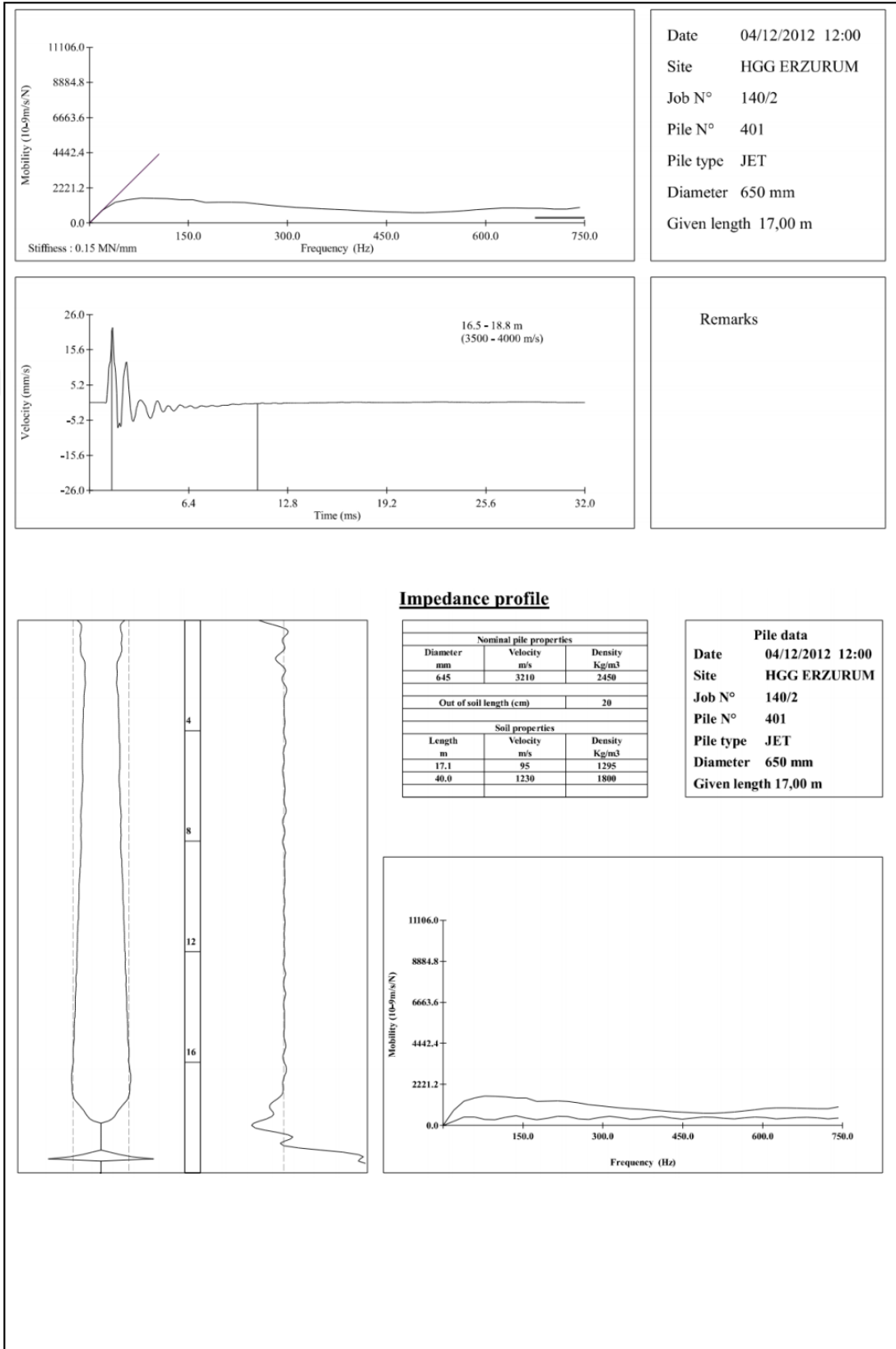
## EK 6

## Jet Grout Kolon Tasarım Hesaplamaları ve Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)

ERZURUM ATIKSU ARITMA TESİSİ 310-ANAEROBIC SLUDGE DIGESTER JET GROUT HESAPLARI		
Bina gerilmesi	$q_b =$	190 kPa
Temel derinliği	$d_f =$	4 m
Zemin birim ağırlığı	$\gamma_z =$	19,2 kN/m <sup>3</sup>
Net gerilme	$q_{net} =$	148,3 kPa
Temel şekli (D=Dairesel , DD = dikDörtgen)		D
Yapı temel genişliği	$B =$	26,1 m
Yapı temel uzunluğu	$L =$	26,1 m
Yapı alanı	$A_y =$	535,0 m <sup>2</sup>
Toplam yük	$P_T =$	101654,0 kN
Jet grout kolon çapı	$d_{jg} =$	0,8 m
Jet grout kolon alanı	$A_{jg} =$	0,502 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon çevre birim alanı	$A_{jg,\varphi} =$	2,513 m <sup>2</sup> /m
Eşkenar üçgen dizilimi için jet grout kolon aralığı	$s =$	2,15 m
Eşkenar üçgen dizilimi için efektif çap	$D_e =$	2,26 m
Eşkenar üçgen dizilimi ile karelaj alanı	$A =$	4,00 m <sup>2</sup>
Jet grout kolon sayısı	$n =$	141,0 adet
Seçilen tek eksenli mukavemet	$f_{jg} =$	5500 kPa
Güvenlik sayısı	$GS =$	2
Jet grout kolonu emniyetli serbest basınç mukavemeti	$f_{jg,e} =$	2750 kPa
Jet grout kolonu deformasyon modülü oranı	$E_{jg}/f_{jg} =$	345
Jet grout kolonu deformasyon modülü	$E_{jg} =$	1897500 kPa
Zemin deformasyon modülü	$E_s =$	20000 kPa
Zemin ortalama adhezyon katsayısı	$\alpha =$	0,65
Zemin ortalama drenajsız kayma mukavemeti	$C_u =$	60 kPa
Jet grout kolon derinliği	$l =$	21 m
Jet grout kolon uç kapasitesi	$Q_{pjg,z} =$	0 kN
Jet grout kolon zemin emniyetli taşıma gücü (FS=3)	$Q_{jg,z} =$	686,1 kN
Jet grout kolon emniyetli yapısal taşıma kapasitesi	$Q_{jg} =$	863,5 kN
Dikkate alınacak jet grout kolon taşıma kapasitesi	$N_{jg} =$	686,1 kN
Seçilen karelajla jet grout kolonların taşıyabileceği toplam yük	$P_{jg} =$	96743,5 kN
Seçilen karelajla zeminin taşıyacağı toplam yük	$P_z =$	4910,5 kN
Jet grout kolona aktarılan gerilme	$p_{jg} =$	1365,7 kPa
Zemine aktarılan gerilme	$p_z =$	10,6 kPa
Çevre direncinin kolon boyunca dağılımına bağlı katsayı	$\xi =$	0,50
Zeminin Poisson oranı	$\nu =$	0,50
Etki faktörü	$I_{wp} =$	0,88
Etki faktörü	$I_{ws} =$	3,79
Jet grout kolon malzemesinin elastik kısalması	$s_1 =$	0,76 cm
Jet grout ucuna aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_2 =$	0,00 cm
Çevreye aktarılan yük nedeniyle meydana gelen oturma	$s_3 =$	0,15 cm
Jet grout kolonun elastik oturması ( $s_1+s_2+s_3$ )	$s_{jg} =$	0,90 cm
Jet grout kolonları arasındaki zeminin elastik oturması	$s_{ze} =$	0,83 cm

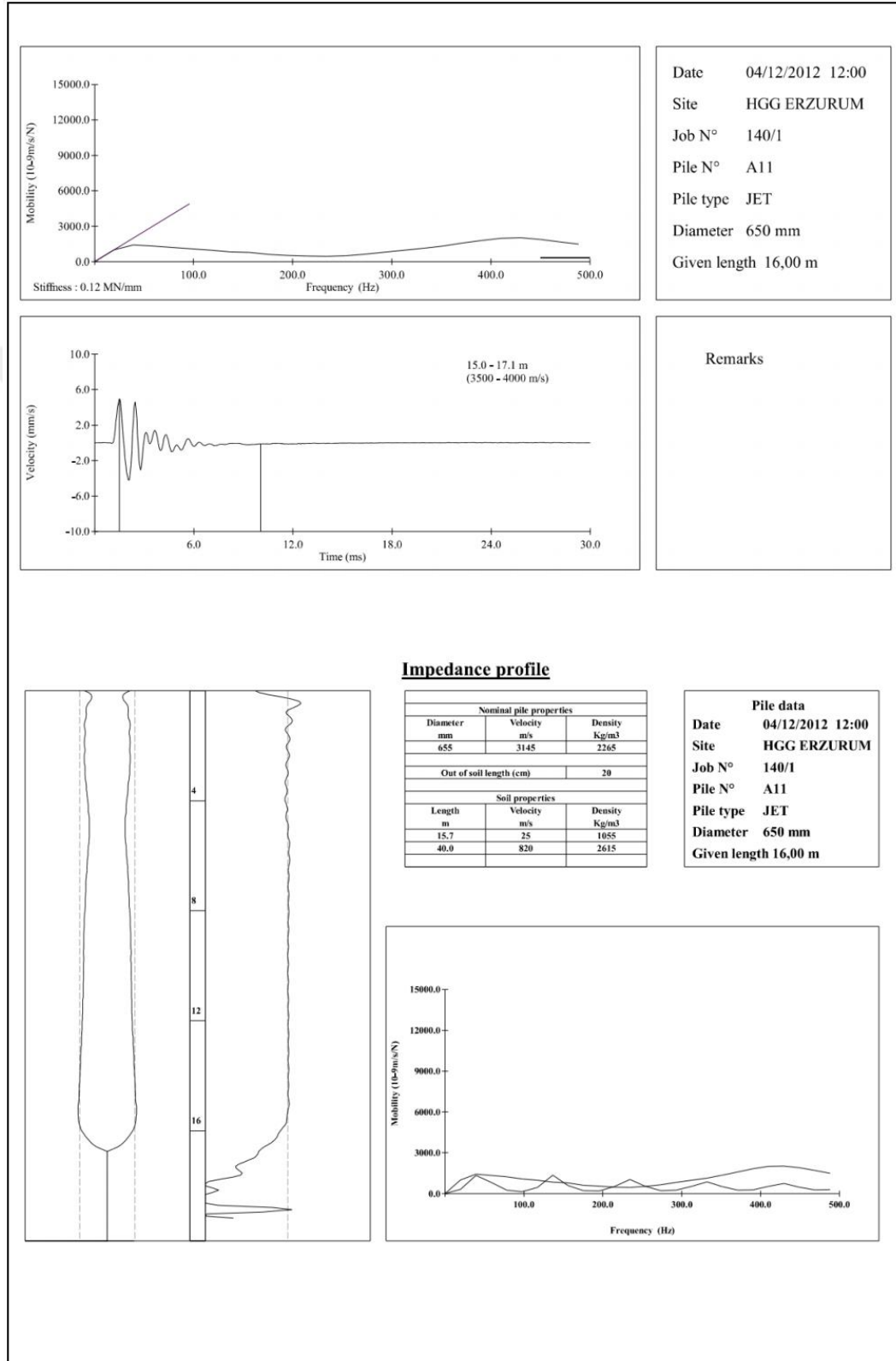
**EK 7**

**Kolon Süreklilik Deneyleri**



## EK 7

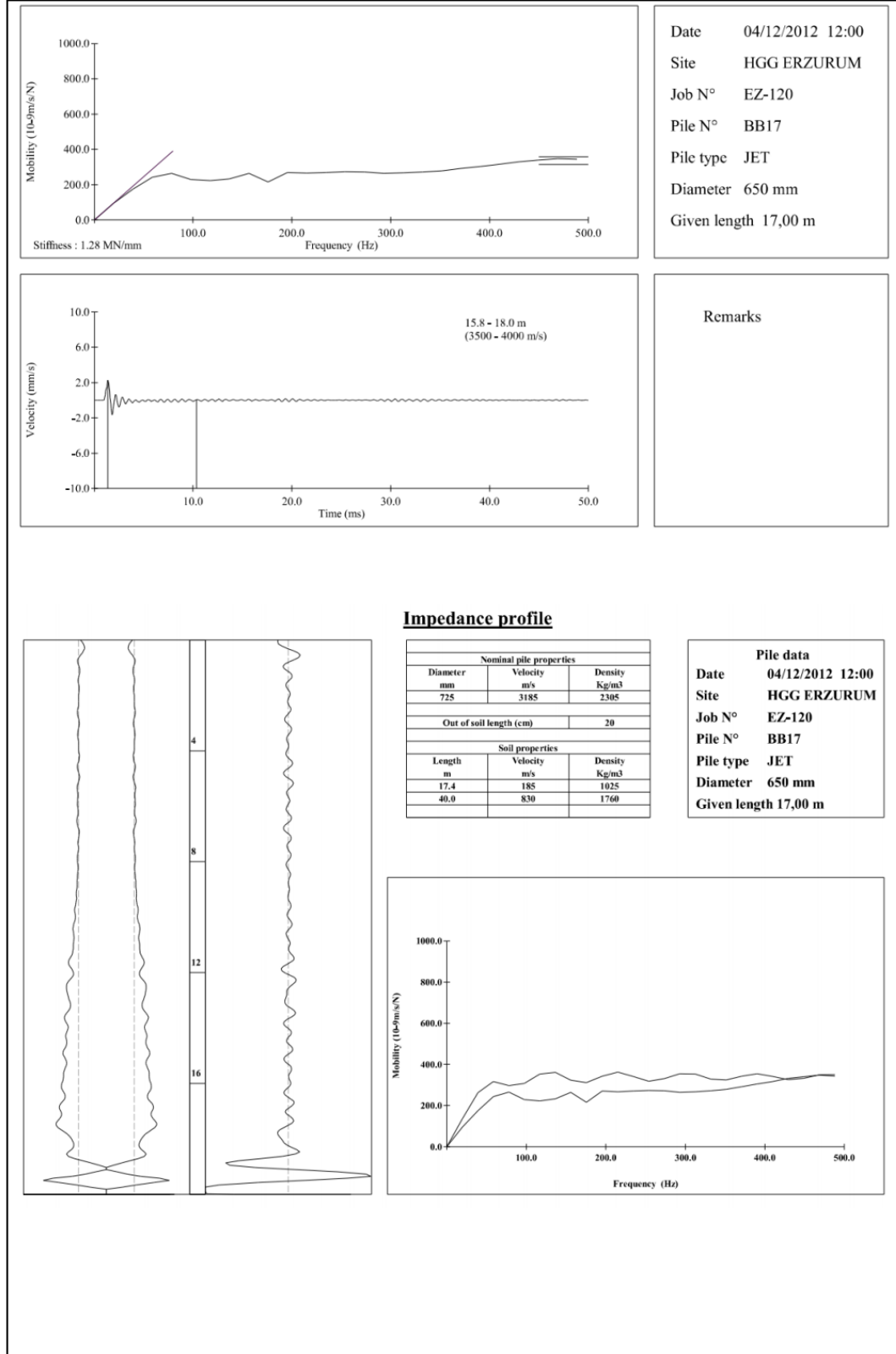
## Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)





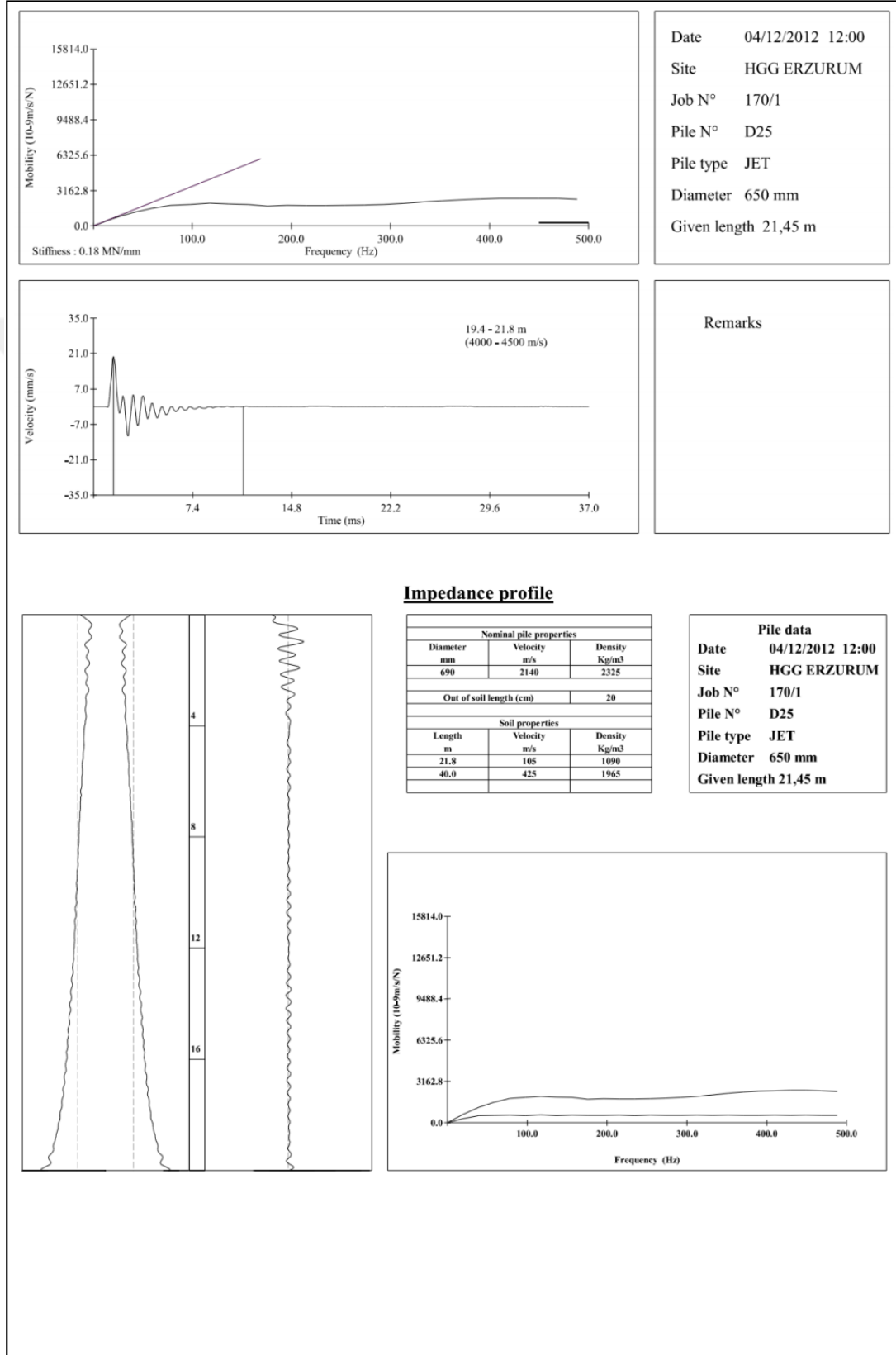
## EK 7

## Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)



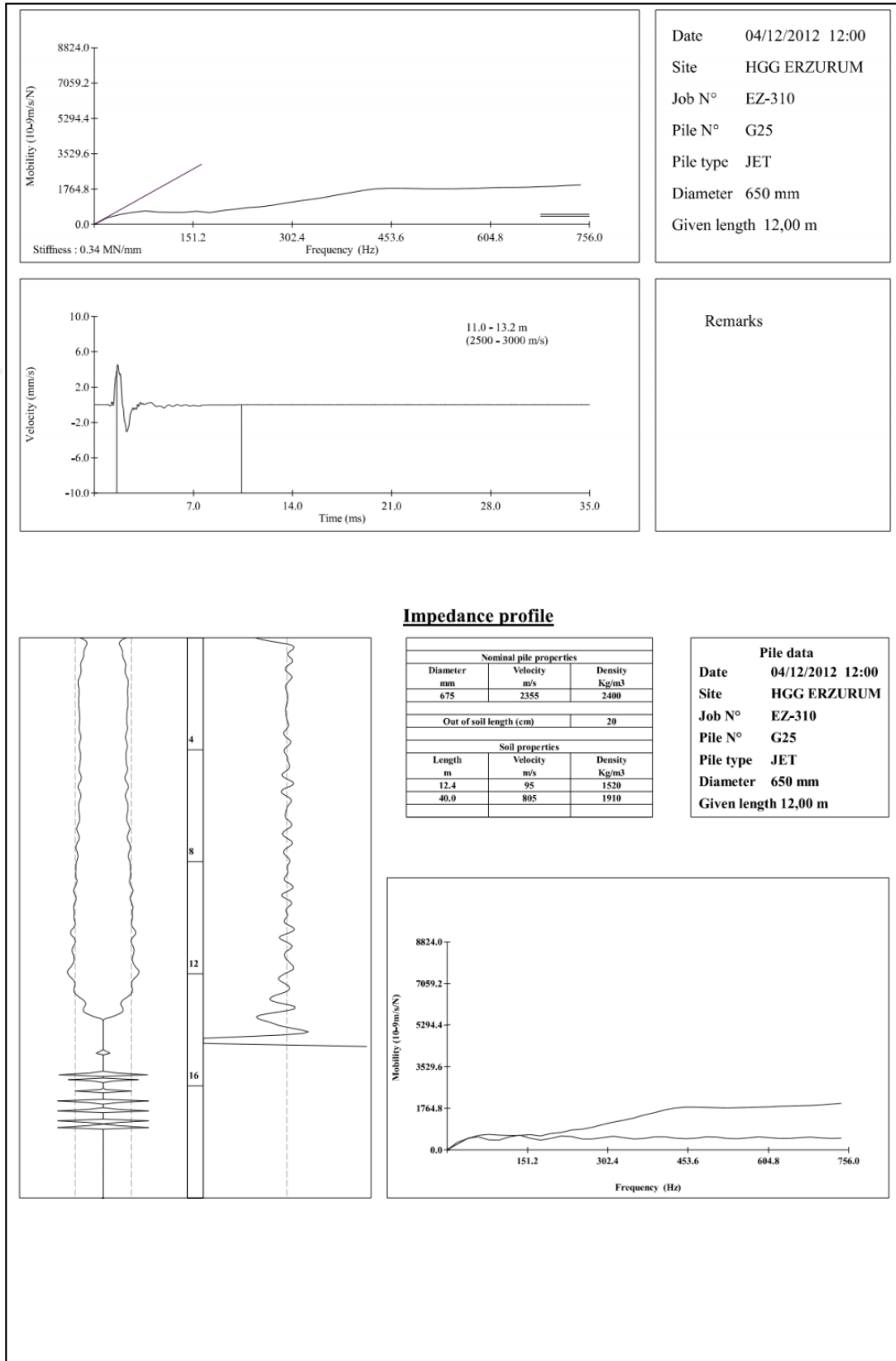
## EK 7

## Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)



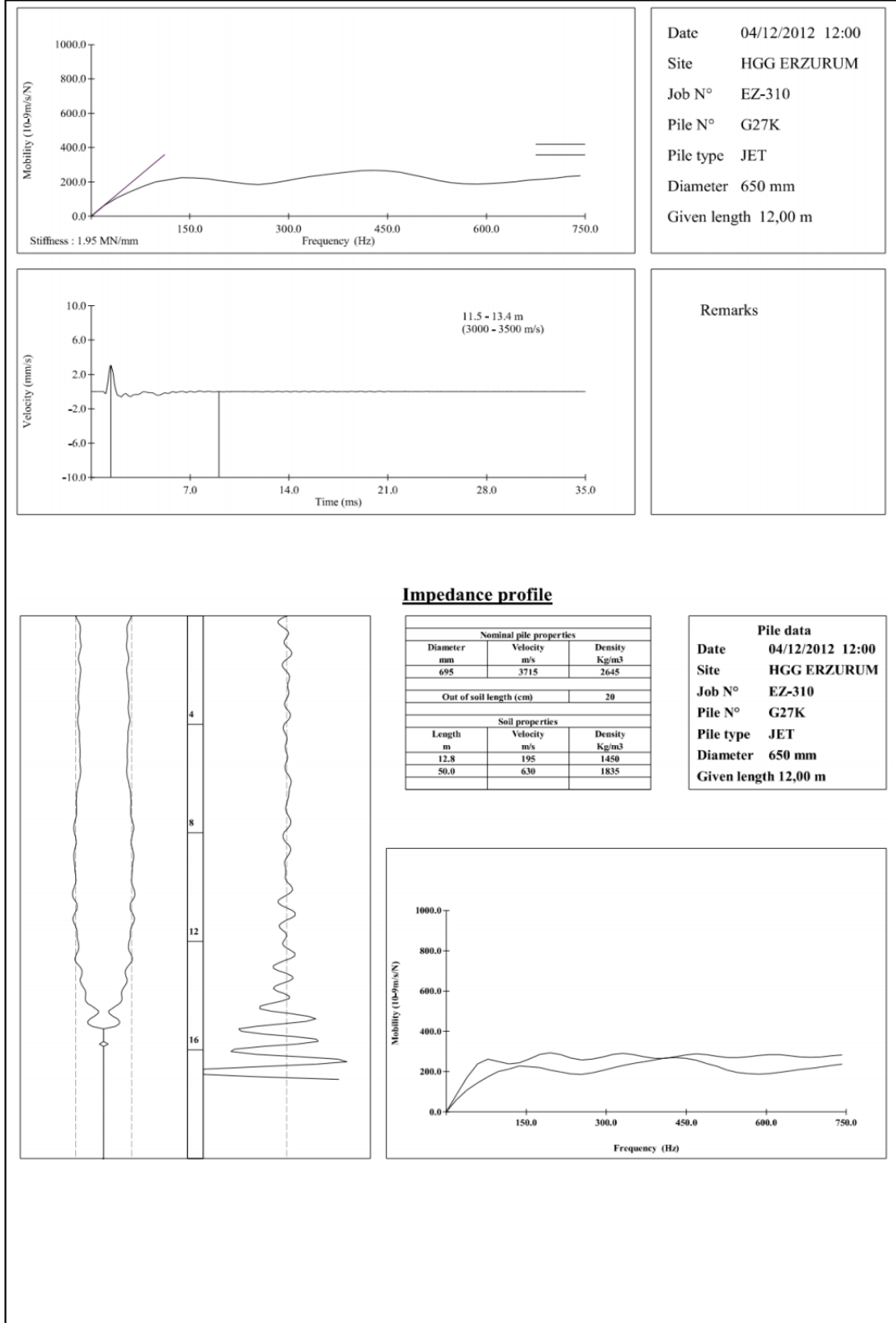
**EK 7**

**Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)**



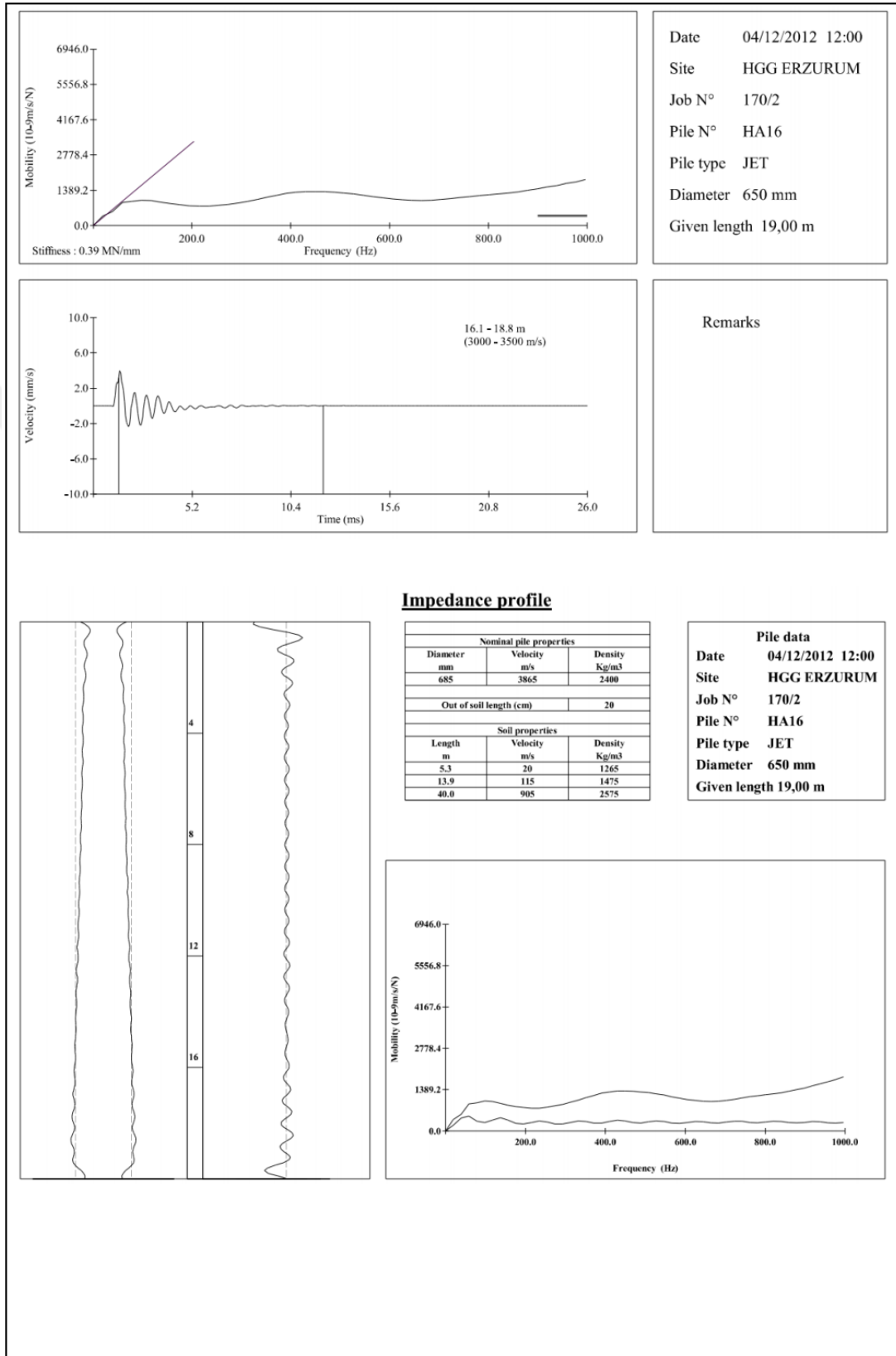
**EK 7**

**Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)**



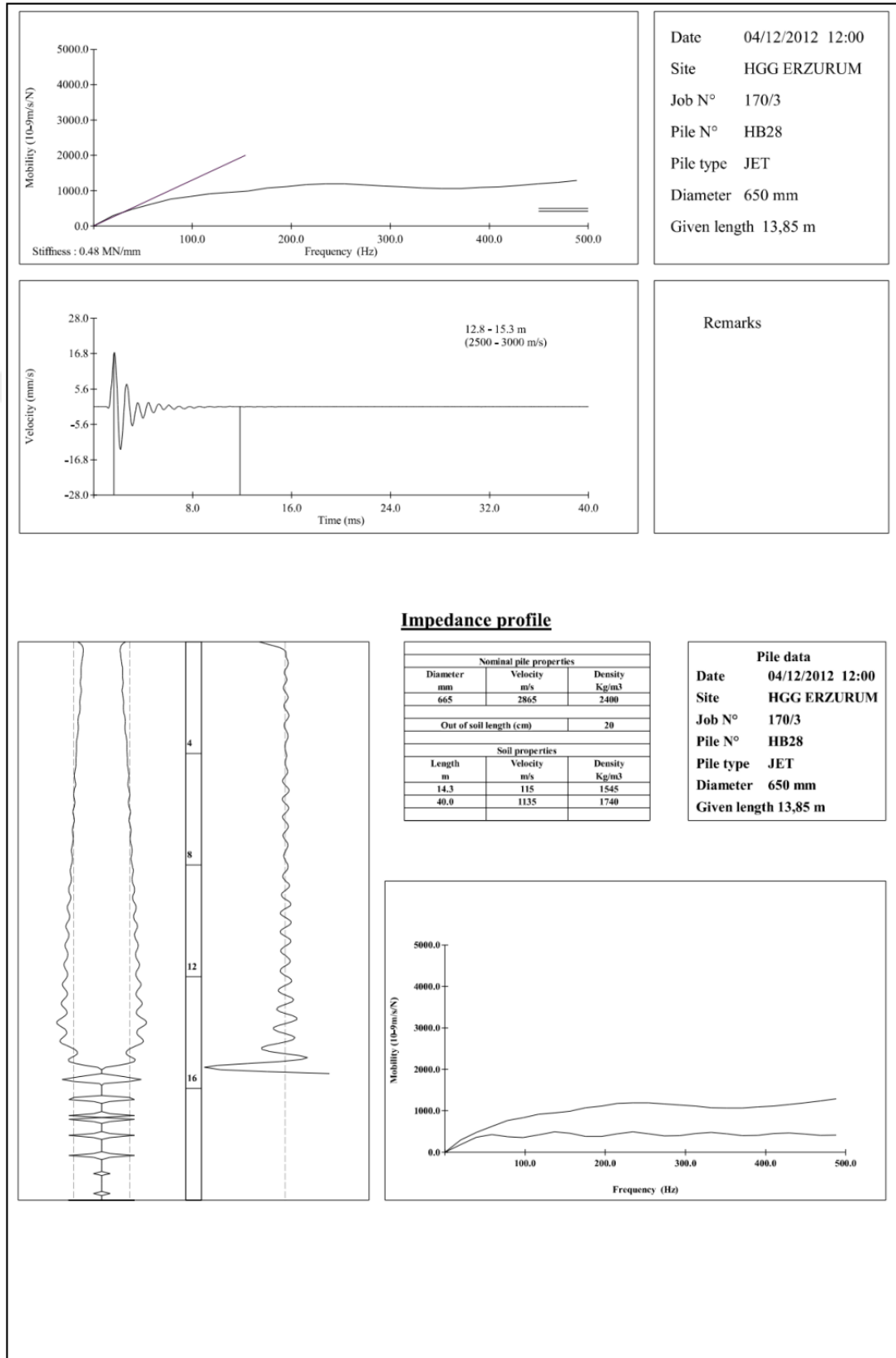
## EK 7

## Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)



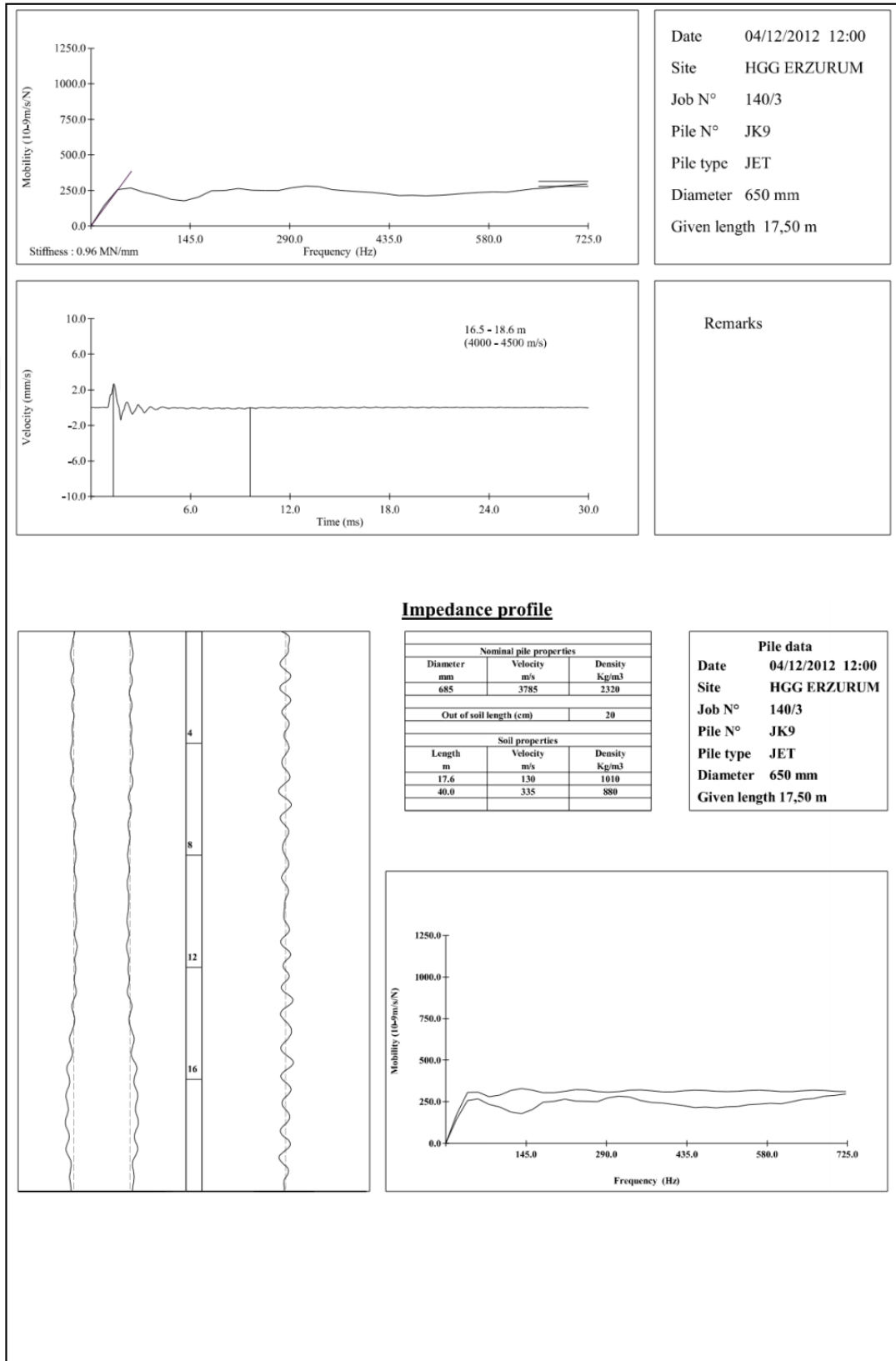
## EK 7

## Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)



## EK 7

## Kolon Süreklilik Deneyleri (devam)



## ÖZGEÇMİŞ



**Mustafa ERCAN**

1988 yılında Erzurum' un Tortum ilçesinde doğmuştur. İlköğretimini Tortum ilçesinde ortaöğretimini Gazi Ahmet Muhtar Paşa ortaokulunda, Lise eğitimini ise Erzurum Lisesinde tamamladı. Ardından 2006 yılında girdiği Erzurum Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2010 yılında başarıyla mezun olmuştur. Üniversite eğitimi sürecinde çeşitli firmalarda şantiye ve ofis stajları yapmıştır.

İş hayatına özel bir inşaat firmasında Mühendis olarak başlamış, ardından Erzurum İl Özel İdaresi Su ve Kanal Hizmetler Müdürlüğünde Hımıs, Karayazı, Karaçoban İlçelerinde yapılan alt yapı kamu yatırımlarında Teknik Koordinatör, ardından yine Aziziye, Pazaryolu, İspir İlçelerinde yapılan alt yapı kamu yatırımlarında Teknik Koordinatörlük yapmıştır. Daha sonra Erzurum Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon Genel Müdürlüğünde çalışmaya başlamış olup, halen aynı Genel Müdürlükte İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

İş hayatı boyunca Teknik Bilirkişilik, Kamu İhale Mevzuatı, Yaklaşık Maliyet ve Şartname Hazırlama, Yaklaşık Maliyet ve İhale Süreçleri, Ak Parti Siyaset Akademisi gibi eğitimleri başarıyla tamamlamıştır.

Öğrencilik yıllarından bu yana çeşitli sivil toplum ve yardım kuruluşlarında aktif faaliyetler yürütmektedir.

Evli ve bir çocuk babasıdır.