

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



**ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE JET GROUT YÖNTEMİ VE
UYGULAMAYA YÖNELİK PROJE ÇALIŞMALARI**
Proje No: FBY-2013-4549

Yüksek Lisans

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA
Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği

Araştırmacı:
Hatice ÇINAR
Mühendislik Fakültesi/İnşaat Mühendisliği

Ocak 2015
KAYSERİ

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

**ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE
JET GROUT YÖNTEMİ VE
UYGULAMAYA YÖNELİK PROJE ÇALIŞMALARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Hatice ÇINAR**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından FBY–2013–4549kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Aralık 2014
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Hatice ÇINAR

İmza : 

YÖNERGEYE UYGUNLUK

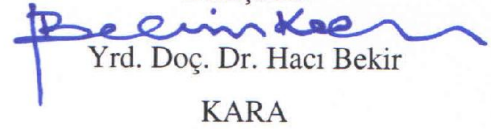
“Zemin İyileştirilmesinde Jet Grout Yöntemi Ve Uygulamaya Yönelik Proje Çalışmaları” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Hatice ÇINAR



Danışman



Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir
KARA



İnşaat Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA danışmanlığında **Hatice ÇINAR** tarafından hazırlanan “Zemin İyileştirilmesinde Jet Grout Yöntemi Ve Uygulamaya Yönelik Proje Çalışmaları” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

...29 / 01 / 2015...

JÜRİ:

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA

Üye : Prof. Dr. Fatih ALTUN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Zülküf KAYA

[Handwritten signatures of the jury members]

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun **27/01/2015** tarih ve **2015/04...16** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...27 / 01 / 2015...

[Handwritten signature of Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU]

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ / TEŞEKKÜR

Gerek eğitim, gerekse özel hayatımda bilgi, tecrübe ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, gelecekte de bilgi ve tecrübesine ihtiyaç duyacağım çok değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA'ya tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım sırasında bilgilerini esirgemeyen saygı değer hocalarım Yrd. Doç. Dr. Zülküf KAYA ve Yrd. Doç. Dr. Erdal UNCÜOĞLU' na teşekkür ederim.

Deneylerim sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım Arş. Gör. Şebnem YALTIR'a ve Arş. Gör. Erion LUGA'ya teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarımı maddi olarak destekleyen Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No: FBY-2013-4549) teşekkür ederim.

Tez dönemi boyunca manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyerek, desteklerini her zaman hissettiğim değerli arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Hatice ÇITAKOĞLU' na ve Çevre Müh. Tünay TERKEŞLİ' ye teşekkür ederim.

Hayatımın her evresinde sevgi ve ilgilerini esirgemeyerek, her hedefimde bana inanan ve yanımda olan, başarılarımın ve gayretimın temel sebepleri; iyi yürekli annem Neriman ÇINAR'a, güzel gözlü babam Erol ÇINAR'a, üçü bir arada kardeşlerim Aziz Emre, Uğur, Mehmet Enes'e ve biricik eşim Ozan ŞENLİK'e teşekkür eder sonsuz sevgilerimi sunarım.

Hatice ÇINAR
Kayseri, Aralık 2014

ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE JET GROUT YÖNTEMİ VE UYGULAMAYA YÖNELİK PROJE ÇALIŞMALARI

Hatice ÇINAR

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2014

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hacı Bekir KARA

ÖZET

Yapı yükleri ve/veya zemin koşullarına bağlı olarak temel zemininde, taşıma gücünde yetersizlikler, yüksek oturma değerleri ve sıvılaşma problemleri yaşanabilmektedir. Bu tip problemlere sahip zeminlerde iyileştirme yöntemleri ile soruna yerinde çözüm üretilebilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, zemin iyileştirme yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. Son yıllarda taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma problemlerinin çözümünde etkin olarak kullanılan jet grout yöntemi tez kapsamında detaylı olarak anlatılmıştır. Özel olarak taşıma gücü ve oturmalar açısından problemli olan turbalık ve bataklık zeminler üzerinde inşa edilmiş olan Kayseri ili, Anbar bölgesindeki Alibeyoğlu Hırdavat A.Ş. Binası zeminini iyileştirme yöntemi olarak Jet Grout seçilmiştir.

Tezin ana hedefi jet grout kolonlarla sağlanan iyileştirmenin kolon merkezinden itibaren etkili olduğu bölgenin belirlenmesidir. Çalışmada kolon merkezinden ‘D ve 1,5D’ mesafede SPT deneyleri içeren sondaj çalışmaları ile jeofizik çalışmalar yapılarak etki bölgesi belirlenmeye çalışılmıştır. Jet uygulanmayan bölgedeki çalışmalar ile uygulanan bölgedeki deneysel çalışmalar karşılaştırılmış.

Çalışmalardaki sonuca göre çalışma yapılan zemin koşulları için iyileştirilmiş alan olarak yaklaşık 2D’lik bir etki alanı olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: zemin iyileştirme, jet grout, jet grout kolonu etki alanı

**THE JET GROUTING METHOD IN SOIL IMPROVEMENT AND
APPLICATION – ORIENTED PROJECT WORK**

Hatice ÇINAR

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, December 2014

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Hacı Bekir KARA

ABSTRACT

Building loads and / or the foundation, depending on the ground conditions, the inability to transport power, values and liquefaction problems may occur due to high living. Solution to the problem with the site in ground improvement methods have such problems can be produced.

In this thesis, information about soil improvement methods are given. Carrying capacity in recent years to solve the problems of living and liquefaction are described in detail the scope of the actively used jet grouting method thesis. Specifically in terms of carrying capacity and settlement, which was built on the peat bogs and swamps floors problematic province of Kayseri, in Anbar Alibeyoğlu Tools Inc. Building was chosen as a method of improving the ground Jet Grouting.

The main objective of the thesis of the improvements provided by the jet grout columns from column center to determine the area to be effective. Working from the center column "D and 1,5D 'in effect made by drilling geophysical studies including from the SPT has been determined. Jet experimental studies in the region have been compared in studies performed with untreated areas.

According to the results of the work area for improved working conditions were determined to be a floor made about 2D domain.

Keywords: soil improvement, jet grouting, jet grouting domain.

İÇİNDEKİLER

ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNDE JET GROUT YÖNTEMİ VE UYGULAMAYA YÖNELİK PROJE ÇALIŞMALARI

	<u>Sayfa</u>
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
KISALTMA VE SİMGELER.....	xiii
TABLolar LİSTESİ.....	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvii
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

1.1. Giriş.....	5
1.2. İyileştirme Gerektiren Zeminler.....	6
1.3. Zemin İyileştirmenin Amaçları.....	7
1.4. Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	8
1.4.1. Mekanik (Kompaksiyon) Yöntemler.....	10
1.4.1.1. Yüzey Kompaksiyonu.....	11
1.4.1.2. Dinamik Kompaksiyon.....	13

1.4.1.3. Patlayıcılar Kullanılarak.....	14
1.4.1.4. Vibrokompaksiyon.....	16
1.4.2. Suyun Ortamdan Uzaklaştırılması – Drenaj.....	18
1.4.2.1. Yüzeysel Suların Drenajı.....	18
1.4.2.2. Yeraltı Sularının Drenajı.....	21
1.4.2.2.1. Drenler.....	21
1.4.2.2.2. Ön Yükleme.....	23
1.4.2.2.3. Elektro-Osmoz.....	24
1.4.2.2.4. Yerçekimi Etkisi.....	25
1.4.3. Zemin İçinde Rijit Kolonlar Oluşturulması.....	25
1.4.3.1. Jet Grout Kolon.....	25
1.4.3.2. Taş Kolon.....	26
1.4.3.3. Fore Kazık ve Mini Kazık.....	27
1.4.4. Enjeksiyon Teknikleri.....	29
1.4.4.1. Permeasyon Enjeksiyonu.....	30
1.4.4.2. Çatlatma Enjeksiyonu.....	31
1.4.4.3. Kompaksiyon Enjeksiyonu.....	31
1.4.5. Donatılı Stabilizasyon.....	32
1.4.5.1. Geotekstiller.....	33
1.4.5.2. Geogridler.....	35
1.4.5.3. Geomembran.....	35
1.4.5.4. Geokompozitler.....	36
2.4.5.5. Geosentetiklerin Uygulama Alanları.....	37
1.4.6. Katkı Maddeleri İle Stabilizasyon.....	38
1.4.6.1. Kireç ile Stabilizasyon.....	39
1.4.6.2. Çimento ile Stabilizasyon.....	41
1.4.6.3. Bitüm ile Stabilizasyon.....	42
1.4.6.4. Uçucu Kül ile Stabilizasyon.....	43
1.4.6.5. Diğer Maddeler ile Stabilizasyon.....	43
1.4.7. Isıl İşlemler.....	44
1.4.7.1. Isıtma Yöntemleri.....	44
1.4.7.2. Soğutma Yöntemleri.....	45
1.4.8. Sonuç.....	48

2. BÖLÜM

JET GROUT YÖNTEMİ

2.1. Giriş.....	49
2.2. Jet Grout Yönteminin Uygulama Alanları.....	50
2.3. Jet Grout Yönteminin Tasarım Esasları.....	54
2.4. Jet Grout Yönteminin Uygulanması.....	55
2.5. Jet Grout Yönteminin Çalışma Parametreleri.....	60
2.5.1. Enjeksiyon Basıncı.....	60
2.5.2. Dönme ve Çekme Hızı.....	61
2.5.3. Nozullar.....	63
2.5.4. Dozaj	64
2.6. Jet Grout Teknikleri.....	65
2.6.1. Tekli Jet Sistemi (JET1).....	65
2.6.2. İkili Jet Sistemi (JET2).....	66
2.6.3. Üçlü Jet Sistemi (JET3).....	68
2.6.4. Süper Jet.....	69
2.7. Jet Grout Uygulama Ekipmanları.....	71
2.7.1. Delgi Makinası.....	71
2.7.2. Pompa Ünitesi.....	73
2.7.3. Mikser Ünitesi.....	74
2.7.4. Çimento Silosu.....	75
2.8. Kontroller ve Testler.....	75
2.8.1. Deneme Kazıkları ve Çap Kontrolü.....	75
2.8.2. Karot Numunelerinin Alınması.....	77
2.8.3. Kazık Yükleme Deneyi.....	78
2.8.4. Kazık Süreklilik Deneyi.....	80
2.8.5. Sismik Deney.....	82
2.8.6. Rezistivite Deneyi.....	83
2.8.6.1. Özdirenç (Rezistivite) Yöntemi Uygulama Biçimleri.....	84
2.8.6.1.1. Düşey Elektrik Sondajı (DES).....	84

2.8.6.1.2.Elektrik Haritalama veya Profil.....	84
2.9. Sonuç.....	85

3. BÖLÜM

JET GROUT UYGULAMA ÖRNEĞİ (ALİBEYOĞLU HIRDAVAT A.Ş. BİNASI)

3.1. Giriş.....	86
3.2. Uygulama Projesi ve Yapılan Çalışmaların Tanıtılması.....	86
3.3. Proje Aşamasında Yapılan Zemin Araştırması ile İlgili Çalışmalar.....	88
3.3.1. Arazi Durumu ve Zemin Profili.....	88
3.3.2. Deneysel Çalışmalar.....	89
3.3.3. İnşa Edilecek Yapılar.....	89
3.3.4. Temel Zemininin Geoteknik Değerlendirilmesi.....	89
3.3.5. Bölgenin Jeolojisi.....	90
3.3.6. Bölgenin Depremselliği.....	90
3.4. Proje Hesapları.....	92
3.4.1. Jet Grout Taşıma Yüğü Hesabı.....	92
3.4.2. Oturma Hesapları.....	96
3.4.2.1. Konsolidasyon Deney Sonuçlarına göre Oturma Hesapları.....	96
3.4.2.2. Sıkışma İndisi (C_c) Katsayısına Bağlı Oturma Hesabı.....	97
3.4.3. Sıvılaşma Analizi.....	97
3.5. Jet Grout Sonrası Deneysel Çalışmalar.....	98
3.5.1. Yapılan Çalışmalar ve Zemin Profili.....	98
3.5.2. Arazi Çalışmaları.....	100
3.5.2.1. Sondaj Çalışmaları.....	100
3.5.2.2. Jet Grout Kolon Çaplarının, Uygulama Aralıklarının ve Boylarının Belirlenmesi.....	101
3.5.2.3. Jeofizik Çalışmalar.....	102
3.5.2.3.1. Sismik Kırılma.....	102
3.5.2.3.2. Sismik Kırılma Uygulamasının Değerlendirilmesi.....	103

3.5.2.3.3. Rezistivite (Özdirenç) Yöntemi ve Değerlendirilmesi..	112
3.5.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	117
3.5.3.1. Endeks Özellikleri.....	117
3.5.3.1.1. Dane Birim Hacim Ağırlığı.....	117
3.5.3.1.2. Su Muhtevası.....	117
3.5.3.1.3. Dane Dağılımı Deneyleri.....	119
3.5.3.1.4. Organik Madde Tayini.....	120
3.5.3.1.5. Kıvam Limitleri.....	120
3.5.3.1.6. Kayma Mukavemeti Özellikleri.....	122
3.5.3.1.7. Konsolidasyon Deneyleri.....	123
3.5.3.1.8. Jet Grout Kolon Güvenli Taşıma Gücünün Belirlenmesi.....	124
3.6. Sonuçlar.....	125

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Giriş.....	127
4.2. Sonuç ve Öneriler.....	127

KAYNAKLAR.....	130
EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ.....	134

KISALTMALAR VE SİMGELER

Simgeler ve Kısaltmalar

Acıklama

Auç	Kolon uç alanı
A_s	Sürtünen yüzey alanı
c	Kohezyon
C_c	Sıkışma indisi
$CaCl_2$	Kalsiyum klorür
CCP	Cheminal Churning Pile
CO_2	Karbondiyoksit
DES	Düşey elektrik sondajı
D	Kolon çapı
D_{15}	Dane çapı
G_s	Güvenlik sayısı
H	Yükseklik
JEF1	JG kolon merkezinden ‘D=80 cm’ uzaklıkta sismik profil hattı
JEF2	JG kolon merkezinden ‘1,5*D=120 cm’ uzaklıkta sismik profil hattı
JEF3	İyileştirme yapılmamış alanda sismik profil hattı
JET1	Tekli jet grout sistemi
JET2	İkili jet grout sistemi
JET3	Üçlü jet grout sistemi
JG	Jet grout
L	Kolon boyu
$MgCl_2$	Magnezyum klorür
m_v	Hacimsel sıkışma katsayısı
N_c, N_q, N_γ	Taşıma gücü faktörleri
SPT	Standart penetrasyon testi
SK	Sondaj kuyusu
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Deneyi

v_b	ve benzeri
V_p	P dalgası hızı
V_s	S dalgası hızı μ
Q	Kolon toplam gerilme (uç + sürtünme)
Q_u	Kolon ucu toplam gerilme
Q_f	Kolon sürtünme toplam gerilme
q_u	Kolon uç gerilmesi
q_o	Kolon sürtünme gerilmesi
γ	Birim hacim ağırlık
γ_n	Tabii birim hacim ağırlık
γ_s	Dane birim hacim ağırlık
ϕ	İçsel sürtünme açısı
η	Zemin oturmaları için düzeltme katsayısı
μ, k	Elastik parametreler
ΔH	Toplam oturma

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Yüzeysel Kompaksiyon Makineleri ve Uygulama Alanları.....	11
Tablo 1.2. Geotekstillerin Uygulama Alanları ve İşlevleri.....	34
Tablo 1.3. Geosentetiklerin Uygulama Alanları.....	37
Tablo 1.4. Geosentetik Tipleri Ve Uygulama Amaçları.....	37
Tablo 1.5. Katkı Maddeleri ile Stabilizasyonda Amaç–Zemin Cinsi–Uygulanan Yöntem İlişkisi	39
Tablo 1.6. Zemin Cinslerine Göre Yaklaşık Kireç Miktarı.....	40
Tablo 1.7. Değişik Zemin Sınıflarına Göre Çimento İhtiyacı.....	41
Tablo 1.8. Farklı Uygulamalar İçin Isı İşlem Sıcaklıkları.....	44
Tablo 2.1. Jet Grout Yöntemi İmalat Parametreleri.....	60
Tablo 2.2. Enjeksiyon Debisi / Nozzle İlişkisi.....	63
Tablo 3.1. Olasılık Ağırlıklı Momentler Yöntemine Göre Deprem Büyüklükleri.....	91
Tablo 3.2. η Değerleri.....	96
Tablo 3.3. SK1 Ve SK2 Sondaj Kuyularına Ait Karşılaştırılmalı SPT N_{30} Değerleri...	101
Tablo 3.4. İnceleme Alanında Ölçülen P Dalgası Hızları	104
Tablo 3.5. P Dalgası Hızı ile Zeminlerin ya da Kayaçların Sökülebilirlikleri ve Kazınabilirlikleri	105
Tablo 3.6. İnceleme Alanında Ölçülen S Dalgası Hızları.....	106
Tablo 3.7. Vs Hızları Baz Alınarak Zemin Sınıflandırılması.....	106
Tablo 3.8. Poisson Oranı – Gözeneklilik Arasındaki İlişki.....	107
Tablo 3.9. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Poisson Oranları.....	107
Tablo 3.10. Elastisite Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı..	108
Tablo 3.11. Arazideki Ölçümlerden Elde Edilen Elastisite Modülü.....	108
Tablo 3.12. Kayma Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı....	109
Tablo 3.13. Arazide Ölçümlerinden Elde Edilen Kayma Modülü Değerleri.....	109
Tablo 3.14. Bulk Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı.....	110
Tablo 3.15. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Bulk Modülü Değerleri..	110
Tablo 3.16. Zemin Birimlerinin Yoğunluk Sınıflaması.....	111
Tablo 3.17. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Yoğunluk Değerleri.....	111
Tablo 3.18. Zemin Hakim Titreşim Periyodu(T_0).....	111

Tablo 3.19. Yapı Doğal Periyotlarının Yer Almaması Gereken Amplifikasyon Bölgesi (To1-To2).....	112
Tablo 3.20. TS 5141'e Göre Zeminlerin Elektrik Özgül Dirençlerine Göre Sınıflandırılması.....	116
Tablo 3.21. Piknometre Deney Sonuçları.....	117
Tablo 3.22. Su Muhtevası Deney Sonuçları.....	118
Tablo 3.23. Elek Analizi Deney Sonuçları.....	119
Tablo 3.24. Turba (Organik Zemin) Özellikleri.....	120
Tablo 3.25. Kıvam Limitleri.....	121
Tablo 3.26. Turbalık Zemin Kayma Mukavemeti Özellikleri.....	122
Tablo 3.27. Torveyn Deney Sonuçları.....	123
Tablo 3.28. Cep Penetrometresi Deney Sonuçları.....	123
Tablo 3.29. Yeşil Kil – CL Serbest Basınç Deney Sonuçları.....	124
Tablo 3.30. Yeşil Kil – CL Konsolidasyon Deney Sonuçları.....	125
Tablo 3.31. Jet-Grout Basınç Dayanım Sonuçları.....	125

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Zemin Cinslerine Göre Kullanılan Silindir Tipleri.....	12
Şekil 1.2. Silindir Tiplerine Örnekler.....	12
Şekil 1.3. Tipik Uygulama 15-20 Ton Ağırlık ve 15-20 Metreden Düşü.....	13
Şekil 1.4. Ağır Yüklerin Belirli Bir Yükseklikten Zemin Yüzeyine Düşürülmesi ve Zeminin Sıkıştırılması.....	14
Şekil 1.5. Dolgu Eteğinde Patlatma Yöntemi.....	15
Şekil 1.6. Dolgu Altında Patlatma Yöntemi.....	15
Şekil 1.7. Vibro Problarla Kompaksiyon.....	16
Şekil 1.8. Vibro Kompaksiyon Yöntemi.....	17
Şekil 1.9. Kafa ve Çevre Hendeği.....	19
Şekil 1.10. Şev Düzenlemeleri.....	20
Şekil 1.11. Düşey Drenler.....	21
Şekil 1.12. Yatay ve Düşey Drenler.....	23
Şekil 1.13. Elektro Osmoz Yöntemi.....	24
Şekil 1.14. Taş Kolon İmalatı.....	26
Şekil 1.15. Vibroflotasyon ile Islak, Üstten Besleme Yöntemi.....	27
Şekil 1.16. Vibroflotasyon ile Alttan Besleme Yöntemi.....	27
Şekil 1.17. Fore Kazık İmalat Aşamaları.....	28
Şekil 1.18. Permeasyon Enjeksiyonu.....	30
Şekil 1.19. Çatlatma Enjeksiyonu.....	31
Şekil 1.20. Kompaksiyon Enjeksiyonu.....	32
Şekil 1.21. Örgülü ve Örgüsüz Geotekstil.....	33
Şekil 1.22. Geotekstil Kullanım Alanlarına Örnek.....	34
Şekil 1.23. Tek Yönlü Geogrid ve Çift Yönlü Geogrid.....	35
Şekil 1.24. Geomembranlar.....	35
Şekil 1.25. Geokompozit ve Uygulama Örnekleri.....	36
Şekil 1.26. Kireç Stabilizasyonu Uygulama Alanları.....	40
Şekil 1.27. Bitüm Yüzdesinin Tahmin Abağı.....	42
Şekil 1.28. Derin Termal Stabilizasyon İçin Plan.....	45
Şekil 1.29. Dondurma Sistemleri.....	47
Şekil 2.1. Zeminlerin İyileştirilmesi.....	51

Şekil 2.2. Yapı Yüklerinin Taşıtılması.....	51
Şekil 2.3. Su İle İlgili Problemlerde.....	52
Şekil 2.4. Yatay Uygulamalar.....	53
Şekil 2.5. Jet Grout Yönteminin Uygulanabildiği Zemin Aralığı.....	54
Şekil 2.6. Saha İçerisindeki Jet Grout Ekipmanları Yerleşimi.....	56
Şekil 2.7. Delgi İşlemi ve Delgi Aşamasında Kullanılan Su.....	58
Şekil 2.8. Enjeksiyon İşlemi.....	59
Şekil 2.9. Enjeksiyon İşlemi Sonrası Uygulamadan Bir Görüntü.....	59
Şekil 2.10. Basınç - Bekleme Süresi - Kolon Çapı İlişkisi.....	61
Şekil 2.11. Tahmini Kolon Çapı ile Tijin Çekim Hızı Arasındaki İlişki.....	62
Şekil 2.12. Nozul.....	63
Şekil 2.13. Farklı Tip Zeminlerde Taşıma Kapasitesinin Değişimi.....	64
Şekil 2.14. Tek Akışkanlı Yöntem (JET1).....	65
Şekil 2.15. JET1 Yöntemi Kullanılarak Oluşturulmuş Kolon.....	66
Şekil 2.16. Çift Akışkanlı Yöntem (JET2).....	67
Şekil 2.17. JET2 Yöntemi Kullanılarak Oluşturulmuş Bir Kolon.....	68
Şekil 2.18. Üç Akışkanlı Yöntem (JET3).....	69
Şekil 2.19. JET3 Yöntemi Kullanılarak Oluşturulmuş Bir Kolon.....	69
Şekil 2.20. Süper Jet Enjeksiyon İşlemi.....	70
Şekil 2.21. Süper Jet Kolonlar.....	70
Şekil 2.22. Jet Grout Kolon Oluşumu ve Ekipmanları.....	71
Şekil 2.23. Jet Grout Delgi Makinası.....	72
Şekil 2.24. Jet Grout Delgi Makinası Ekipmanları.....	73
Şekil 2.25. Jet Grout Pompa Ünitesi.....	74
Şekil 2.26. Jet Grout Karışım Ünitesi.....	74
Şekil 2.27. Jet Grout Çimento Silosu.....	75
Şekil 2.28. Farklı Zemin Türlerindeki Deneme Kazıkları.....	76
Şekil 2.29. Çap Kontrolüne Örnekler.....	76
Şekil 2.30. Karot Numunelerinin Alınması.....	77
Şekil 2.31. Karot Numuneler Üzerinde Serbest Basınç Deneyi Yapılışı.....	77
Şekil 2.32. Kazık Yükleme Deney Sistemi.....	78
Şekil 2.33. Kazık Yükleme Deneyi Genel Görünümü.....	79
Şekil 2.34. Kazık Yükleme Deneyi Ekipmanları Genel Görünümü.....	80

Şekil 2.35. Kazık Süreklilik Deneyi	80
Şekil 2.36. Derinliğe Bağlı Sayısallaştırılmış Hız Sinyali Grafiği	81
Şekil 2.37. Sismik Deney Yöntemi ve Deney Ekipmanları.....	82
Şekil 2.38. Rezistivite Deney Ekipmanları.....	83
Şekil 2.39. Rezistivite Deney Yapılışı.....	84
Şekil 3.1. Kayseri ve Çevresinde Büyüklüğü 5 ve 5'ten Büyük Olan Depremler.....	91
Şekil 3.2. Jet Grout Uygulama Projesi.....	95
Şekil 3.3. Sıvılaşma Eğilimindeki Zeminlerin Tipik Dane Boyu Dağılım Aralıkları.....	97
Şekil 3.4. Örselenmiş (a) ve Örselenmemiş (b) Numuneler.....	100
Şekil 3.5. Jet Grout Kolon Çapı Belirleme.....	102
Şekil 3.6. Sismik Yöntem.....	103
Şekil 3.7. P Dalgası Yayılım Modeli.....	104
Şekil 3.8. S Dalgası Yayılım Modeli.....	106
Şekil 3.9. Elastisite Modülü	108
Şekil 3.10. Kayma Modülü	109
Şekil 3.11. Elektrik Özdirenç Yöntemi	114
Şekil 3.12. Düşey Elektrik Sondajı Ölçümleri Sonucunda Elde Edilen Olası Yeraltı Modeli.....	116
Şekil 3.13. Organik Zemin Granülometri Eğrisi.....	119
Şekil 3.14. Kıvam Limitleri Deney Seti.....	121
Şekil 3.15. MÇ1-e-log p Grafiği ve MÇ2-e-log p Grafiği	123
Şekil 3.16. Jet Grout Numunesi (a), küp numunelerin hazırlanması (b), Hazırlanan 10*10 mm küp numuneler (c), Hazırlanan Küp Numunelerin Kırılması (d).....	125

GİRİŞ

Konunun Önemi Ve Tanıtımı

Günümüzde; konut, enerji ve tüketime dayalı olan ihtiyaçlar sürekli olarak artmaktadır. Bu ihtiyaçların giderilmesi amaçlı inşa edilecek mühendislik yapıları için; büyüyen ve gelişen şehirlerde yeni imara açılacak yerler, sanayi bölgeleri ve entegre üretim yapan fabrikalar için ihtiyaca cevap verecek büyük alanların bulunması her geçen gün azalmaktadır. Bunun sonucu olarak, kullanılabilir iyi temel zemini özelliği gösteren yerlerin azalması ile uygun olmayan zayıf temel zemini özelliği gösteren alanlar üzerine mühendislik yapılarının inşasını zorunlu hale gelmiş ve istenmese de bu alanlar kullanıma açılmaktadır.

Uygun olmayan zeminler üzerindeki yapılaşma; taşıma gücü, oturma, yeraltı su seviyesi ve zemin özelliklerine bağlı sınılaşma vb gibi birçok mühendislik problemlerini gündeme getirmiştir. Ortaya çıkan problemlerle birlikte konu ile ilgili yeni yöntem ve teknikler dünyanın çeşitli bölgelerinde geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Ülkemizde de artık bu yöntemler sık ve yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır.

Temel zemini taşıma gücü ve oturmalar açısından zayıf ise ilk akla gelen çözüm temel sistemini bu duruma göre projelendirmektir. Genelde bu tür zeminler üzerine radye temel oluşturularak yapı yüklerinin yumuşak zemin tabakaları üzerine üniform

yayılması sağlanabilir. Bu temel sistemi ile yükler taşıtılamıyor ise kazıklı temel uygulamasına geçilebilir.

Temel zemini için uygun olmayan zayıf tabaka kalınlığının az olması durumunda uygulanabilecek yöntemler kısaca aşağıda özetlenmiştir.

Zayıf tabaka kaldırarak yerine taşıma gücü yüksek olan zeminler kontrollü dolgu yapım tekniklerine uygun olarak yerleştirilir ve yeni temel zemini bu şekilde oluşturulur, temel sistemi bu tabaka üzerine yapılır.

Diğer bir yöntem de; yine bu tabaka kaldırılarak sağlam tabakaya erişilir, temel bu tabaka üzerine inşa edilir.

Diğer bir yaklaşımda ise, taşıma gücü zayıf olan zemin kaldırılmadan beton ayaklarla veya farklı kazık uygulamaları ile geçilerek sağlam tabakaya ulaşılır ve söz konusu temeller bu sağlam zemine inşa edilir veya kazık uçları ile yükler sağlam tabakaya taşıtılır.

Eğer temel zemini taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma gibi problemlerden herhangi birini ya da birkaçını barındırıyorsa zeminlerin yerinde iyileştirilmesi ile ilgili uygun olan bir yöntem tercih edilebilir. Günümüzde bu tarz zeminler üzerinde yapılaşmanın artması ile yerinde zemin iyileştirme yöntemleri çok sık ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çalışmanın Amacı Ve Kapsamı

Günümüzün gelişen ekonomik ve sosyal koşullarında yerleşime ve sanayi tesislerinin yapımına uygun alanlar hızla azalmaktadır. Bunun sonucunda istemeyerek de olsa inşaat yapımına uygun olmayan zayıf temel zemini özelliği gösteren alanların imara açılması gündeme gelmiştir.

Bu tip zeminler üzerine yapılan temelerde düşük taşıma gücü ve yüksek deformasyon sorunları yaşanmaktadır. Bu problemlerin çözümlerinden biri de temel zeminini farklı yöntem ve tekniklerle iyileştirmektir.

Tezin ana amacı; Jet Grout yönteminin tanıtılması, yapılan bir uygulama ile zemin iyileştirilmesine katkısının belirlenmesidir. Bu aşamada; proje uygulaması öncesinde ve sonrasında arazi ve laboratuvar çalışmaları ile zeminin geoteknik parametrelerinin belirlenmesi yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırma ile Jet Grout uygulamasının zemin iyileştirmesindeki rolü saptanacaktır. Bu çalışmanın diğer bir amacı da, günümüzde dünyada ve ülkemizde uygulanan temel zemini iyileştirme yöntemlerinin tanıtılmasıdır.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde zemin iyileştirme yöntemleri ile ilgili bilgiler anlatılmıştır. Bölüm içeriğinde iyileştirme gerektiren zeminler, zemin iyileştirmesinin amaçları ve yöntemler konu edilmiştir. Zemin iyileştirme yöntemleri olan; kompaksiyon, drenaj, zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması, enjeksiyon teknikleri, geosentetikler, katkı maddeleri ile stabilizasyon ve ısıtma işlemi ile ilgili yapılan kaynak araştırması sonucu elde edilen bilgiler detaylı olarak bu bölümde verilmiştir.

Üçüncü bölümde; bu tezin ana konusu olan Jet Grout yöntemi detaylı olarak anlatılmıştır. Bu kapsamda, Jet Grout yönteminin tarihçesine kısaca değinilerek Jet Grout uygulama alanları ve tasarım esasları detaylı olarak sunulmuştur. Bunun yanı sıra Jet Grout sistemlerine ve sistemin uygulanmasında kullanılan ekipmanlara da yer verilmiştir. Bu bölümün sonunda; uygulama sonrasında oluşan jet grout kolonlar üzerinde yapılan kontrol ve testler konu edilmiştir.

Dördüncü bölüm tezin uygulama yönelik kısmını oluşturmaktadır. Bu bölümde Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Ambar Mahallesi'nde yapılması planlanan Alibeyoğlu Hırdavat Anonim Şirketi'ne ait Toptan Ticaret Binası Temel Zemini İyileştirme Projesi ile ilgili yapılan çalışmaları yer almaktadır.

Bu bölümde; söz konusu yapı ile ilgili proje hazırlama safhasında yapılan sondaj çalışmaları, arazi deneyleri ve laboratuvar deneyleri ile ilgili bilgiler yer verilmiştir. Bu çalışmalardan faydalanılarak Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı tarafından yapı temel zemini iyileştirme projesi hazırlanmıştır.

Hazırlanan Jet Grout Projesi ile yapılan çalışmalar ve özellikle uygulama aşamasında arazide yapılan jet grout uygulaması tarafımızdan yerinde sürekli denetlenmiştir. Uygulama sonrası jet kolonlarının uygunluğu ve arazideki iyileşmenin belirlenmesi amacı ile ilgili yapılan arazi ve laboratuvar deneylerine de tezde yer verilmiştir.

Sonuçların yer aldığı beşinci bölümde ise yapılan tüm çalışmalar genel olarak değerlendirilmiştir. İlk üç bölüm çalışmaları, tezin ana konusu olan ve dördüncü bölümü oluşturan jet grout yöntemi ile ilgili çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Jet grout uygulaması ve uygulama sonucu elde edilen bulgular yorumlanmış ve çıkartılan sonuçlar özetlenmiştir.

1. BÖLÜM

ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

1.1. Giriş

Barajlar, karayolları, tüneller, rıhtım yapıları, limanlar, tüm binalar, kanalizasyon ve içme suyu tesisleri, dayanma yapıları, petrol ve gaz boru hatları gibi mühendislik yapılarının temel sistemleri veya kendileri zemin içerisinde yer almaktadır. Burada zeminin görevi; inşa edilecek olan bu yapılardan oluşan ve zemine aktarılan gerilmeleri güvenle taşıması, yapı yükü altında oluşabilecek deformasyonların istenilen sınırlar içinde kalmasını sağlamaktır.

Mühendislik yapılarına ait temel zeminleri her zaman istenilen bu özellikleri sağlamayabilir. Bu gibi durumlarda aşağıdaki önlemler alınarak iyileştirme yapılması gerekebilir:[1]

- Mevcut zemine göre yapı temellerini projelendirmek,
- Zayıf zemini kaldırarak yerine taşıma gücü yüksek olan zeminler yerleştirmek,
- Taşıma gücü zayıf olan zemini uygun bir yöntemle geçerek temelleri sağlam tabakaya inşa etmek,
- Zemin özelliklerini arazide yapılan işlemlerle iyileştirmek.

Sürekli gelişen zemin teknolojileri kaliteli, güvenli ve ekonomik çözümleri alt yapı sektörüne sunmaktadır. Önemli olan doğru teknoloji ile güvenli ve yeterli uygulamayı sağlamaktır.

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

1.2. İyileştirme Gerektiren Zeminler

İmara açılacak yerler ve sanayi bölgeleri için uygun alanların bulunması devamlı azalmaktadır. Bunun sonucunda; zayıf zemin özelliği gösteren alanlar istenmesede kullanıma açılmakta uygun olmayan 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.

İyileştirme gerektiren zeminler aşağıda sıralanmıştır: [1]

- Turbalık ve bataklık zeminler
- Yumuşak killer
- Gevşek kumlar
- Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyonlar

Turbalık ve bataklık zeminler içerdikleri bitkisel maddelerin çürümesi ile büyük şekil değişimi yapabilecek özelliklerdedir. Ayrıca bu tip zeminlerin taşıma güçleri de yok denecek kadar azdır. Bu özellikleriyle karşılaşılması hiç istenmeyen bir zemin grubudur. Zorunluluk halinde temel zemini olarak kullanılacak ise mutlaka uygun bir yöntem ile iyileştirilmesi gerekmektedir.

Yumuşak killer de taşıma gücü çok düşük olan bir zemin grubudur. Küçük yükler altında bile büyük deformasyonlar yapabilecek yapıya sahiptir. Temel zemini olarak karşımıza çıktığında iyileştirme yöntemleri ile kullanılabilir hale getirilmesi zorunludur.

Gevşek kumlar ve yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyon zeminler ise orta büyüklükte yükler taşıyabilir ve bu yük altındaki deformasyon değerleri de sınırlı kalabilir. Bu tip zeminlerin tekrarlı yükler (deprem, titreşimli ağır makinelerin çalışması, trafik yükü, geçici patlamalar, dalgalar vb.) etkisi altındaki davranışı problem

oluşturabilir. Tekrarlı yükler, mukavemet kaybına bağlı olarak taşıma gücünde azalma ve aşırı deformasyona yol açabilir.

Özellikle yeraltı su seviyesi altındaki gevşek kumlarda tekrarlı yükler sonucunda sıvılaşma davranışı gözlenebilir. Bu davranış biçiminde mukavemet değeri sıfıra düşebilir ve şekil değiştirmeler aşırı derecede artarak toptan göçmeler meydana gelir.

Taşıma gücünün düşük, oturma değerlerinin yüksek olduğu ve sıvılaşma özelliğine sahip zeminler, yapıdan zemine aktarılan gerilme değerlerine ve oturma kriterlerine bağlı olarak uygun iyileştirme yöntemleri kullanılarak iyileştirilmelidir.

1.3. Zemin İyileştirmenin Amaçları

Zemin iyileştirme yöntemlerinde temel amaç, mekanik araçlarla zeminin boşluk oranının azaltılması veya zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması işlemidir.

Zemin iyileştirme yöntemleri aşağıdaki amaçlarla yapılır. [2]

- Zayıf zeminin taşıma kapasitesini artırmak,
- Toplam oturmayı azaltıp konsolidasyonu hızlandırmak,
- Dolgu ve şevlerin stabilitesini sağlamak,
- İstinat duvarlarını desteklemek
- Zeminin potansiyel sıvılaşma riskini azaltmak

Yukarıda belirtilen genel iyileştirme amaçları daha detaylı neden – sonuç ilişkisine bağlı olarak aşağıda sıralanmıştır; [3]

Geleneksel (Temel) Amaçlar:

- Mukavemet-taşıma gücü artışı
- Yük altında sıkışmaların (oturmaların) azaltılması
- Gerilmeler altında şekil değiştirmelerin azaltılması
- Şişme-büzülme potansiyelinin azaltılması

- Çevresel etkiler (donma/çözülme, ıslanma/kuruma) sonucu olumsuz fiziksel ve kimyasal değişimlerin önlenmesi, durabilitenin artırılması
- Su geçirgenliği, su basınçları oluşumu ve sızıntı suyu kontrolü
- Erozyon direncinin artırılması
- Depremler ve tekrarlı yükler altında sıvılaşma, mukavemet ve rijitlik kaybı potansiyelinin azaltılması
- Temel zemini ve dolgu malzemelerinde değişkenliğin azaltılması
- Yüzey bozulmalarına karşı direncin artırılması

Diğer amaçlar ve Çevre Geotekniği Uygulamaları

- Atık malzemelerin değerlendirilmesi,
- Yüzeysel su kaynaklarının korunması için yüzey stabilizasyonu,
- Yeraltı sularının akım yönleri ve kalitesinin korunması
- Atıkların depolanması
- Zeminlerden inşaat malzemesi olarak yararlanma

Yukarıda sıralanan amaçlar doğrultusunda zayıf zeminler iyileştirilerek kullanılabilir hale getirilebilir.

1.4. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Günümüzde dünyada ve ülkemizde gelişen teknolojiye bağlı geliştirilen birçok iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler seçilirken, önlem alınması gereken problemlerin yanı sıra aşağıdaki konuların da göz önünde bulundurulması gerekir. Bu konular aşağıda ki gibi sıralanabilir; [3]

- Zemin cinsi, jeolojik ortam, yer altı suyu durumu,
- Hedeflenen iyileştirmenin türü ve derecesi,
- Civar yapılara ve çevreye etkileri,
- Gerekli malzeme, ekipman ve iş gücünün temini,
- Projenin boyutları, iyileştirme maliyeti,
- İnşaat takvimi ve iyileştirme süresi,

- Uzun süreli performans, durabilite kriterleri,
- İyileştirme sürecinin değişmezliği, tersine dönme olasılığı,
- Yapım kalite kontrolü ve performans ölçümleri,
- Atıkların değerlendirilmesi olasılığı

Literatürde iyileştirme yöntemleri farklı kriterlere göre gruplandırılmıştır. Tarafımızdan yapılan zemin iyileştirme yöntemlerinin sıralanması aşağıda verilmiştir.

1. Mekanik (Kompaksiyon) Yöntemler

- Yüzey Kompaksiyonu
- Dinamik Kompaksiyon
- Patlayıcılar Kullanılarak
- Vibrokompaksiyon

2. Suyun Ortamdan Uzaklaştırılması – Drenaj

- Yüzeysel Suların Drenajı
- Yeraltı Sularının Drenajı
 1. Drenler
 2. Ön yükleme
 3. Elektro osmoz
 4. Yerçekimi etkisi

3. Zemin İçinde Rijit Kolonlar Oluşturulması

- Jet Grout Kolon,
- Taş Kolon
- Fore Kazık ve Mini Kazık

4. Enjeksiyon Teknikleri

- Permeasyon
- Çatlatma
- Kompaksiyon

5. Donatılı Stabilizasyon - Geosentetikler

- Geotekstiller
- Geogridler
- Geomembran
- Geokompozitler

6. Katkı Maddeleri İle Stabilizasyon

- Kireç ile Stabilizasyon
- Çimonta ile Stabilizasyon
- Bitüm ile Stabilizasyon
- Uçucu Kül ile Stabilizasyon
- Diğer Maddeler ile Stabilizasyon

7. Isıl İşlemler

- Isıtma Yöntemleri
- Dondurma Yöntemleri

1.4.1. Mekanik (Kompaksiyon) Yöntemler

Kompaksiyon (sıkıştırma); zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması ile daha sıkı bir konuma gelmelerini sağlayan mekanik bir işlemdir. Bu işlemle zemin özelliklerinin iyileştiği çok eski çağlardan beri bilinen bir gerçektir.

Kompaksiyonun sağlayacağı faydalar;

- Dolgu ve dış yükleri taşımada yeterli mukavemet sağlanır.
- Yük altındaki oturma ve şekil değiştirmeler en aza indirilir.
- Aşırı şişme ve büzölmeler gözlenmez.
- Mukavemet özellikleri kullanım ömrü boyunca korunabilir.
- Yapıya uygun permeabilite ve drenaj özellikleri sağlanır.
- Dona karşı olan dayanıklılık artırılır.

Kompaksiyon ile iyi sıkıştırılmış temel ve alt yapılarda; yüksek mukavemet ve deformasyonlara karşı direnç elde edilir.

1.4.1.1. Yüzey Kompaksiyonu

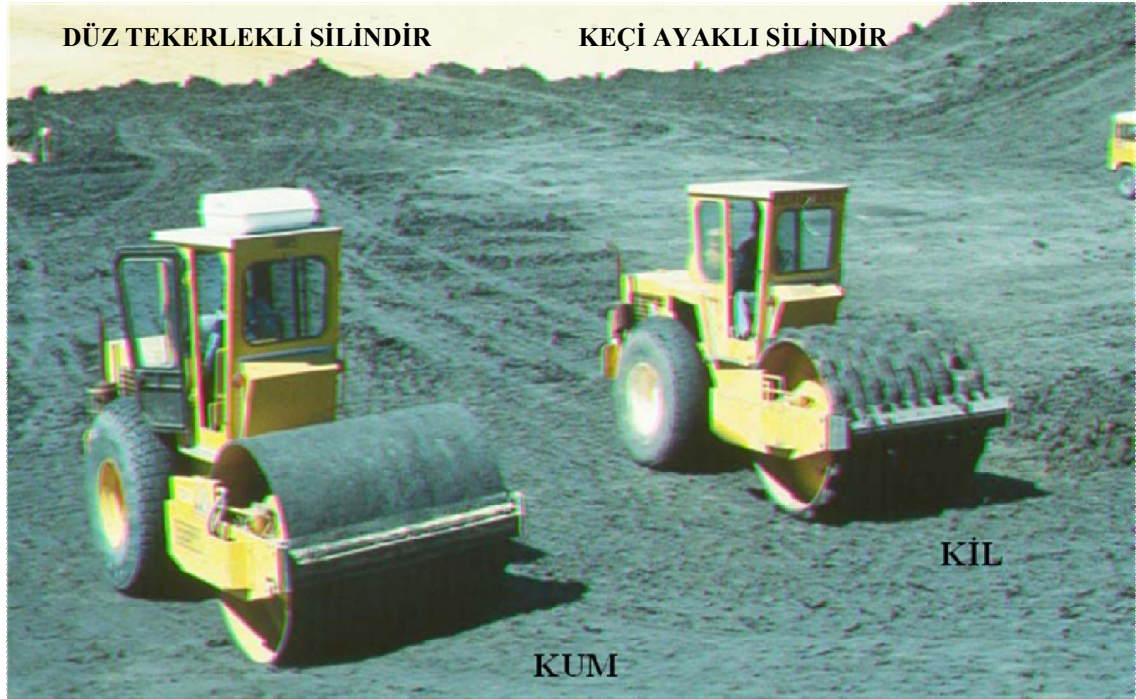
Yüzey kompaksiyonu (silindirleme); dolguların, yol temellerinin, her türlü döşeme ve kaplamaların, büyük park alanlarının altındaki gevşek kaba daneli zeminlerin iyileştirilmesinde çok etkili ve ekonomik olarak kullanılabilir. Bu koşullarda zemin iyileştirme maliyeti genellikle diğer zemin iyileştirme tekniklerinden daha düşüktür.

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 aşağıda verilmiştir.

Tablo 1.1. Yüzeysel Kompaksiyon Makineleri ve Uygulama Alanları

Enerji Tipi	Cinsi	Uygulama Alanı
Silindirleme	Düz tekerlekli	Islak kil dışındaki tüm zeminler ve üniform kumlar
	Lastik tekerlekli	Tüm zeminlerde özellikle ıslak ince daneli zeminlerde
	Keçi ayaklı	Özellikle çok ıslak olmayan ince daneli zeminler
Darbe	Çekiçler, kurbağa çekiç, normal tokmaklar	Küçük işlerde
Vibratör	Vibrasyonlu Silindirler	Daneli zeminler
	Vibrasyonlu plakalar	Genellikle tüm zeminler

Zemin cinslerine göre kullanılan silindir tipleri Şekil 1.1. de ve farklı yüzeysel kompaksiyon aletleri Şekil 1.2. de verilmiştir.



Şekil 1.1. Zemin Cinslerine Göre Kullanılan Silindir Tipleri



Şekil 1.2. Silindir Tiplerine Örnekler

1.4.1.2. Dinamik Kompaksiyon

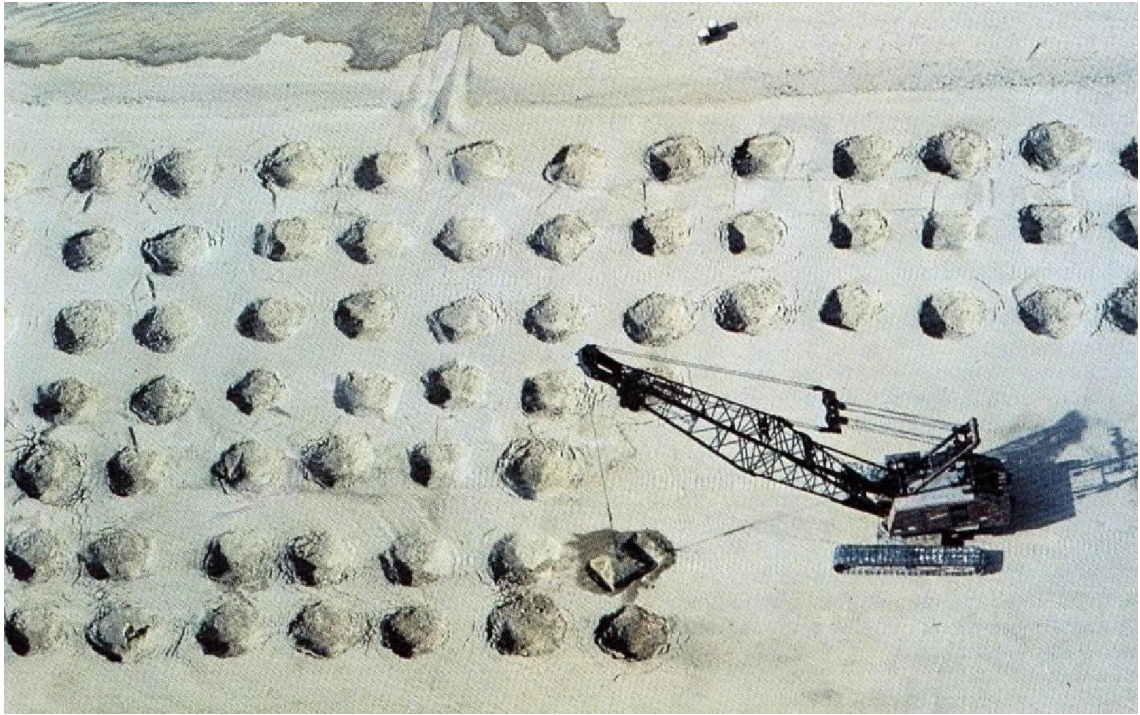
Ağır darbelerle zemin iyileştirme en eski derin kompaksiyon yöntemi olup günümüzde yeniden uygulama alanı bulmuştur. 2–200 ton arasında değişen büyük ağırlıkların 10-40 metre yükseklikten düşürülmesi ile uygulanır. Bu yöntemle, gevşek kum ve çakıl tabakaları ile kayalık moloz dolgular etkin olarak sıkıştırılabilmektedir. Kontrolsüz dolguların ve gevşek granüler zeminlerin ıslahında kullanılır.

Uygulamada, 5-30 ton'luk bir tokmağın bir vinç üzerinden 10-40 metre yükseklikten ıslah edilecek zemin üzerine defalarca düşürülmesi suretiyle kompaksiyon yapılmaktadır.

Ağırlık, genellikle betonarme dikdörtgen bir blok olup, dışı kalın saca kaplıdır. Uygulamada, belirli aralıklarla (1-2 metre) karelaj yapılır. Karelaj alanlarına ortalama 2-3 vuruş/m² tokmaktama yapılarak sıkıştırılır. Her geçiş arasında boşluk suyu basınçlarının sönmülmesine izin verecek kadar zaman bırakılmalıdır. Her pasdan sonra oluşan çukurlar ya dozer ile düzeltilir ya da içleri granüler malzeme ile doldurulur. Daha sonraki pasda tekrar sıkıştırılıp işleme devam edilir. Şekil 1.3. ve Şekil 1.4.' de uygulama ile ilgili örnekler görülmektedir. [4]



Şekil 1.3. Tipik Uygulama 15-20 Ton Ağırlık ve 15-20 Metreden Düşü



Şekil 1.4. Ağır Yüklerin Belirli Bir Yükseklikten Zemin Yüzeyine Düşürülmesi ve Zeminin Sıkıştırılması

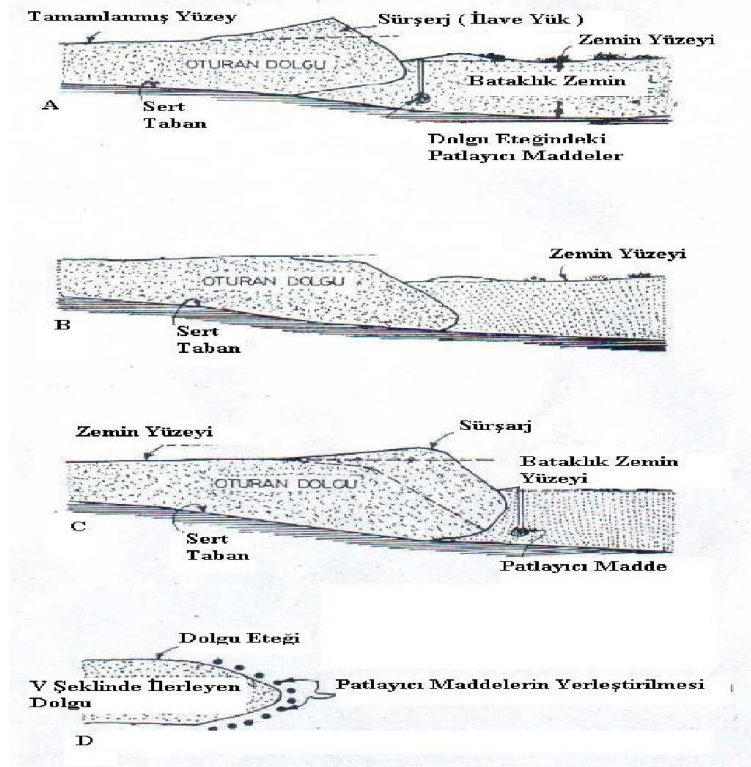
1.4.1.2. Patlayıcılar Kullanarak

Belirli miktarda patlayıcı madde, taşıma gücü düşük ve şekil değiştirme miktarı fazla olan zemin içerisine yerleştirilir. İyileştirilecek olan alanın üzerine kum, çakıl ve kırma taş dolgu malzemeleri serilir. Bu işlemten sonra seçilen sıraya göre ve daha önce kararlaştırılan aralıklarla patlamalar gerçekleştirilir. Patlamalar sonucu, uygun olmayan zemin basınç etkisi ile yanlara doğru itilerek üstteki dolgu malzemesinin boşalan yeri alması sağlanır. [5]

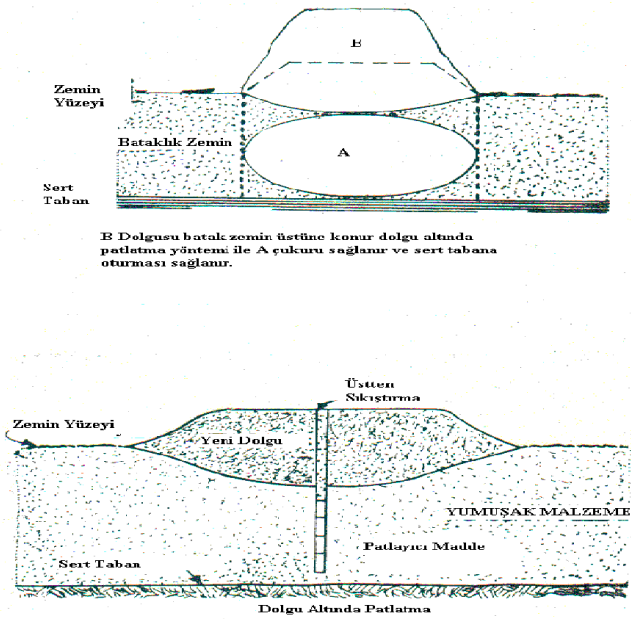
Bataklık bir zemin tabakasının altında sağlam bir zemin veya kaya tabakasının bulunması halinde aşağıdaki yöntemlerden herhangi biri uygulanabilir.

- Dolgu eteği etrafında yapılan patlatmalar,
- Dolgu altında patlatma yöntemi,
- Hendek açma yöntemi

Şekil 1.5.'de dolgu eteğinde patlatma yöntemi ve Şekil 1.6.'da dolgu altında patlatma yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 1.5. Dolgu Eteğinde Patlatma Yöntemi



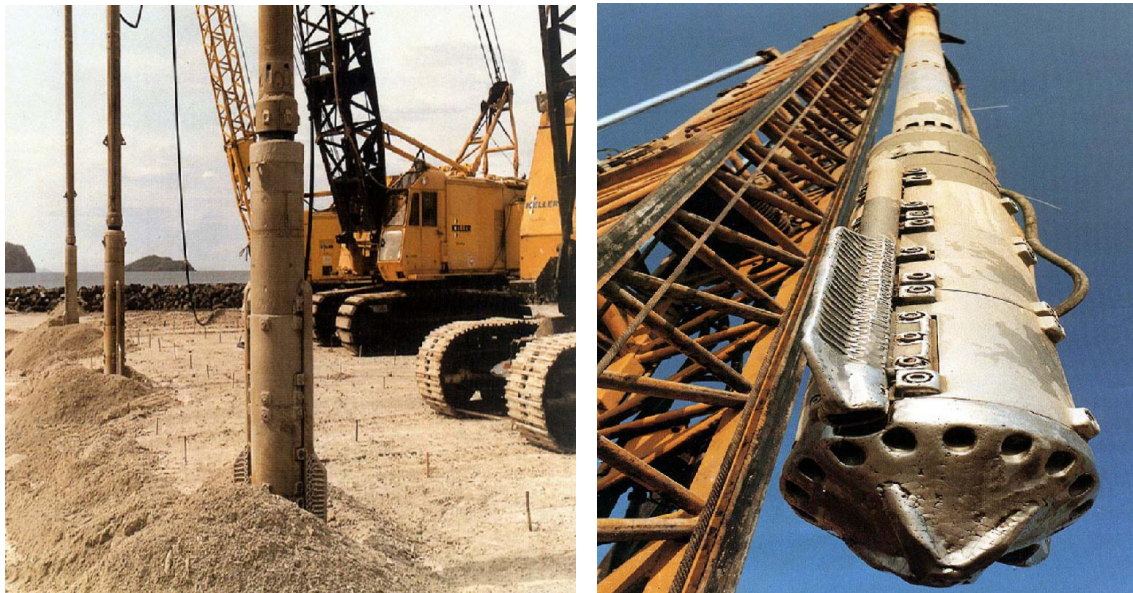
Şekil 1.6. Dolgu Altında Patlatma Yöntemi

1.4.1.3. Vibro kompaksiyon

Taşıma gücü düşük olan gevşek kaba daneli zeminlerin üzerine inşa edilecek olan çok ağır binalara ait temel zeminlerinin iyileştirilmesinde vibratör problemleri kullanılabilir. Vibro kompaksiyon yönteminde gevşek granüler zeminlerde belli bir sıra ve düzende vibrasyonlu sondajlar yapılır. Bu yöntemle mevcut tabakalar çok daha sıkı bir yapıya getirilmesi sağlanır.

Patlatma tekniğinin aksine bu yöntem ile temiz kumlarda çok yüksek sıkılıklara ($D_r > \% 80$) ulaşılabilir. Bu yöntemde çelik bir rod zemin tabakası içinde istenilen derinliğe kadar itme, delme, titreştirme ve gerekirse su püskürtme ile zemin içine batırılmakta ve vibratör zemin üstüne sabitlenmektedir. Bu vibratör ile düşey yada yatay titreşim hareketleri (yatay torsion eksantrikleri ile) meydana getirilmektedir. Düşey vibratör sistemlerinde frekans genellikle ± 20 Hz ile sınırlandırılır, fakat vibratörün kendi ağırlığı 70 kN ve daha fazlasına kadar arttırılabilir. Kompaksiyonun büyük bir bölümü çelik rod yukarı çekilirken oluşmaktadır. Bu yöntemde kompaksiyon derinliği max. 58 metre olup Hong Kong' ta Chek Lap Kok Havaalanında uygulanmıştır. [5]

Vibratörle kompaksiyon yöntemlerinin tamamı temiz gevşek kaba daneli zeminlerle sınırlı kalmıştır. Uygulama ile ilgili örnekler Şekil 1.7.' de görülebilir.



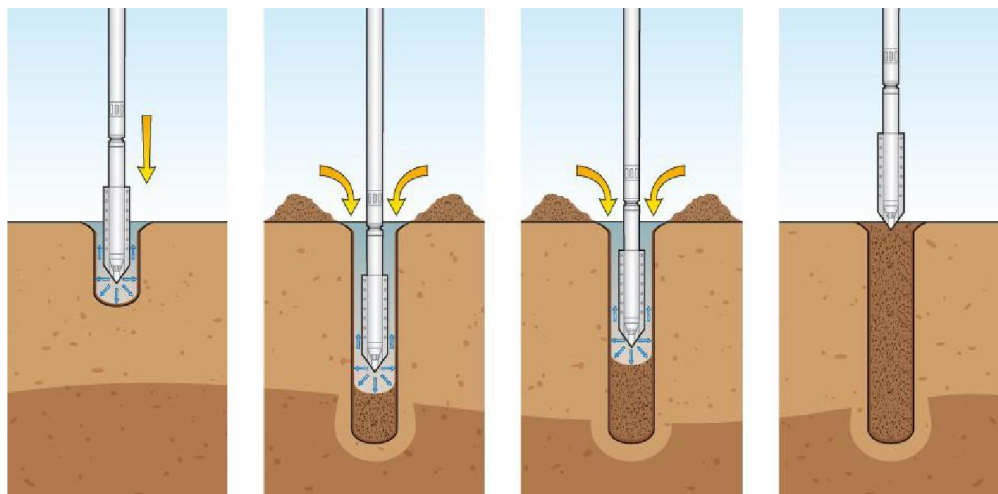
Şekil 1.7. Vibro Problemlerle Kompaksiyon

Vibro Kompaksiyonun Avantajları

- Diğer zemin iyileştirme yöntemlerine kıyasla çok daha ekonomik ve kısa sürede uygulanabilme kolaylığı ile de yapım aşamasında zaman kazanılmasını sağlamaktadır.
- Zemin daha iyi bir malzeme ile yer değiştirmeden veya nakil yolu ile uzaklaştırılmadan sıkıştırılarak iyileştirilmektedir.
- Etrafta mevcut yapılar varken de bu yöntem güvenle uygulanabilir. Vibro kompaksiyon yönteminde dinamik kompaksiyon gibi şok dalgalar ile zemin sıkıştırma yapılmadığı için etraftaki mevcut yapılara zarar vermez.
- Kompaksiyon noktaları eşit aralıklı üçgen gridler şeklinde 2,5 metreden 4,5 metreye kadar mesafelerde olur. Bu mesafeler projelendirmede özel olarak detaylandırılmaktadır.
- Zeminin ne kadar güçlendirildiği testler ile ölçülebilmektedir. [5]

Vibro Kompaksiyonun Dezavantajı

Vibro Kompaksiyon ile zemin en çok % 12-15 oranına kadar sıkıştırılabilir. Vibro Kompaksiyonun etkili olabilmesi için minimum dikey stresin olması gerekmektedir. Yüzeyde bu etki engellenemediği için zemin yüzeyinin silindir ile sıkıştırılması gerekmektedir. Şekil 1.8.'de Vibro Kompaksiyon yöntemi görülmektedir.



Şekil 1.8. Vibro Kompaksiyon Yöntemi

1.4.2. Suyun Ortamdan Uzaklaştırılması

Drenaj; yerüstü ve yeraltı sularını toplayıp uzaklaştırmak, dolgu ve yarma şevlerinde erozyonu önlemek veya azaltmak, çevreden gelen suyun yolunu kesip uzaklaştırmak, gerekiyorsa yer altı suyu seviyesini düşürme işlemidir. [6]

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

Yüzeysel ve yeraltı sularının drenajı için kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir.

Yüzeysel suların drenaj yöntemleri

- Açık Hendekler
- Çatlakların Tıkanması
- Şev Yüzeyinin Düzeltilmesi
- Şevin Kaplanması

Yeraltı sularının drenaj yöntemleri

- Drenler
 - a. Düşey Drenler
 - b. Yatay Drenler
- Ön Yükleme
- Elektro Osmoz
- Yerçekimi Etkisi
- Yer altı Seviyesinin Düşürülmesi

1.4.2.1. Yüzeysel Suların Drenajı

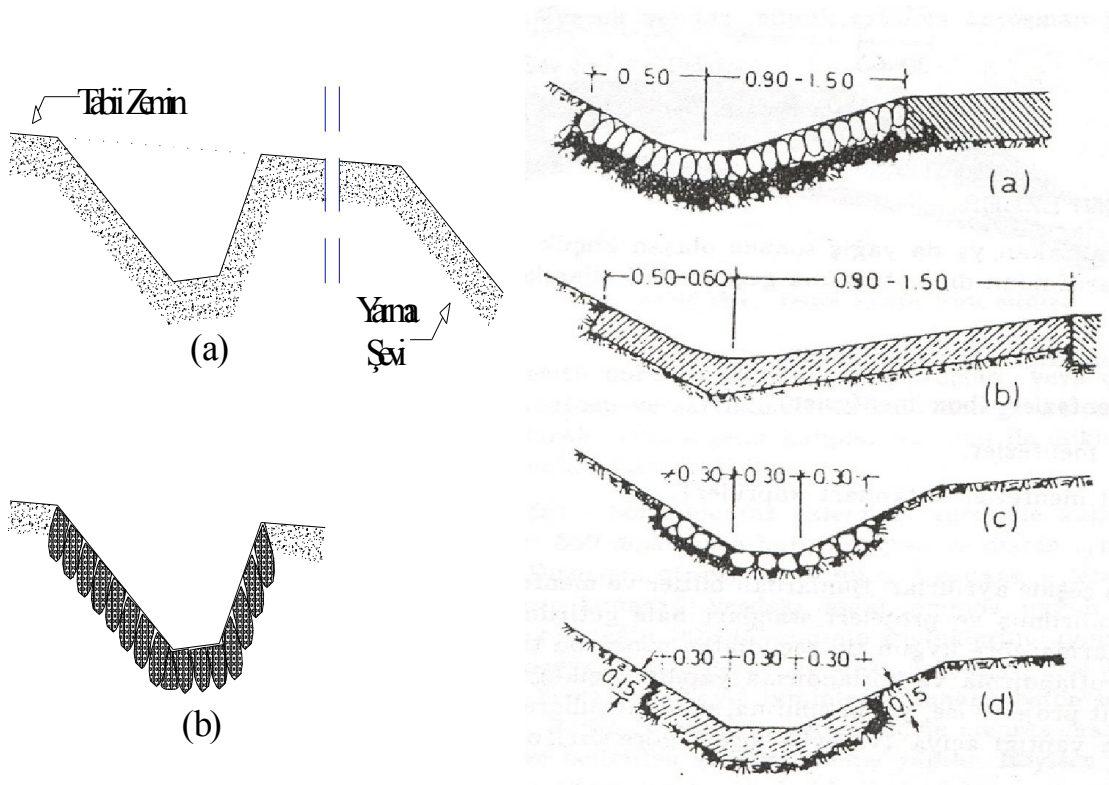
Çevresel su kaynakları ve yağışların oluşturduğu yüzeysel suların zemin içerisine girmesine fırsat bulmadan, tehlikeli bölgeden uzaklaştırılması veya kontrol edilmesi amacı ile yerüstü suları drenaj yöntemleri uygulanır. Yüzeysel sularının drenajı için kullanılan yöntemler aşağıda kısaca açıklanmıştır. [7]

- Açık Hendekler

Eğimli arazilerde, büyük yarma şevlerinde ve heyelanlarda yüzeysel akışa geçen suların tutulması ve uzaklaştırılması amacı ile sıkça kullanılan bir yöntemdir.

Çevreden gelen sular, istenilen bölgenin dışında yapılacak geçirimsiz veya kaplamalı kafa hendekleri ile toplanarak arazinin uygun bir yerinden deşarj edilir veya uygun aralıklarla yeraltına döşenmiş beton borulara verilerek daha düşük kottaki noktalardan araziye verilir.

Kafa hendekleri suyun bölgeye gelmesini engeller, aynı zamanda su dolu sahalardaki veya yeraltı su seviyesinin yüzeye çok yakın olduğu bölgelerde su seviyesi indirilmesini ve böylece temel inşaatlarının kuruda yapılmasını sağlar. Çevre hendekleri hidrolikteki açık kanallar gibi boyutlandırılır. Hendeklerin boyuna eğimi %3 ten küçük olmamalıdır. Şekil 1.9.' da kafa ve çevre hendeğine örnekler verilmiştir. [7]



Kaplanmış Kenar Hendek Tipleri[8]

Şekil 1.9. Kafa ve Çevre Hendeği

- Çatlakların Tıkanması

Yarma veya şev tepelerinde çekme çatlakları oluşur. Bu çatlaklar suyun zemine sızmasında büyük rol oynar. Bu yüzden; mutlaka çatlakların **kil**, **çimento şerbeti**, **asfalt** gibi malzemelerle doldurularak suyun yeraltına sızması engellenmelidir. [9]

- Şev Yüzeyinin Düzeltilmesi

Bu yöntemin amacı, suyun çabuk akışını sağlayarak şev stabilitesinin artırılmasıdır. Bunun için; arazi düzeltilir, çukurlar doldurulur ve tabii drenaj için yeterli bir eğim verilir. Sızıntıları azaltmak ve yüzeysel aşınmaya engel olmak için şev yüzeyinde çimlendirme, taş kaplama, bitüm, reçine veya çimento ile yüzey stabilizasyonu yöntemleri uygulanabilir. [7]

- Şevin Kaplanması

Sızıntı azaltılması ve yüzey erozyonuna engel olunması için araziye suyu seven ağaçlar dikilir, çimle veya taşla kaplanır. Topuk kısmında bir oyulma söz konusu ise topukta taş dolgu yapılmalıdır [9] (Şekil 1.10.).



Şekil 1.10. Şev Düzenlemeleri

1.4.2.2. Yeraltı Sularının Drenajı

Yeraltı suları; şevlerde duraysızlığın, temellerde taşıma gücünün azalmasının ve deformasyonların artmasının başlıca nedenlerinden biridir. Zeminlerdeki boşluklara giren suların, zemin kütlesindeki su içeriğinin problem oluşturacak dereceye ulaşmasını önlemek yada bu dereceye ulaşmış ise düşürmek işlemine yer altı suyu drenajı denir. [7]

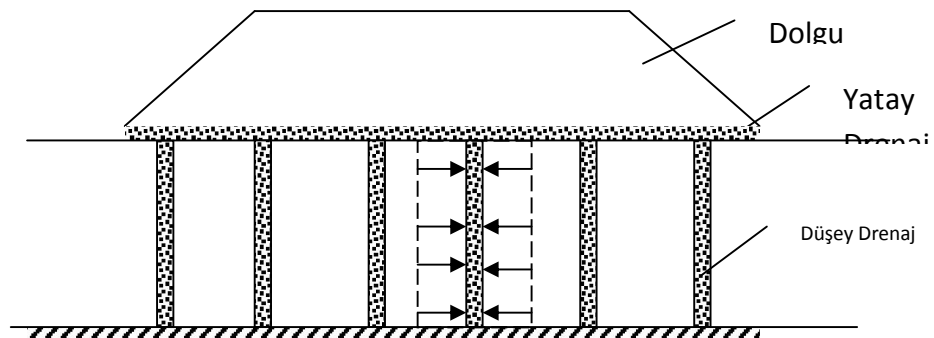
1.4.2.2.1. Drenler

Şevler ve temeller belirli şartlardaki zemin özelliklerine göre hesaplandığından, bu özelliklerde herhangi bir değişiklik meydana gelmesine engel olunmalı veya en aza indirilmelidir. Bu ise suyun uzaklaştırılması ya da istenilen alana su girişinin önlenmesiyle mümkün olacaktır. Drenleri genel olarak düşey ve yatay dren olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. [7]

- Düşey Kum Drenleri

Bir temel yapısının yeraltı su seviyesinin altında inşası, ön yükleme ile zemin konsolidasyonun uzun zaman alması ve yapacağımız dolgunun maliyetinin ekonomik olmadığı durumlarda düşey kum drenleri yöntemi kullanılarak zemin içerisinde bulunan suyun uzaklaştırılması sağlanır (Şekil 1.11.).

Düşey drenajlar daha az ikincil sıkışma gösteren siltler ve inorganik killerde çok etkilidir. Yeraltı suyunda büyük hidrolik yük var ise bu yöntem ile su yukarı çekilerek uzaklaştırılır. Hidrolik yük büyük değil ise yeraltı suyu aşağı indirilir buradan yatay drenlere aktarılarak uzaklaştırılır. [7]



Şekil 1.11. Düşey Drenler

Bu yöntemde arazide 1,5-2,0 metre aralıklarla üçgen veya kare şeklinde karelaj yapılır. Bu karelaj sistemde 20-50 cm. çapında silindirik delikler oluşturmak için ucu kapalı veya açık kaplama borusu kullanılır. Ucu kapalı kaplama borusu zemine çakılır, uç aşağıda kalmak üzere kaplama borusu yukarı doğru çekilirken boşluklar da filtre koşullarına uygun malzeme ile doldurulur. Ucu açık kaplama borusu kullanıldığında ise kaplama borusu alt ucundaki zemin çeşitli yöntemler (basıncılı su jeti, rotary sondaj) kullanılarak uzaklaştırılır. Sonra kaplama borusunun üstünden kum boşaltılarak kum drenleri oluşturulur.

Kum drenlerinde boşluk suyu; düşey doğrultunun yanında, esas olarak radyal doğrultuda hareket eder. Bu şekilde ortamdaki su uzaklaştırılır. Yüksek miktarda sıkışma yapan kil tabakalar üzerinde dolgu yapılması durumunda kile yerleştirilen düşey drenler dolguyu çok kısa zamanda kullanılmaya hazır duruma getirir ve kilin kayma mukavemetini artırır. Yapımın sonunda konsolidasyonun %80 sağlanması istenir. 30 metre derinliğe kadar drenaj yapılabilir. Son yıllarda prefabrik ve PVC dren boruları fazlaca kullanılmaya başlanmıştır. [7]

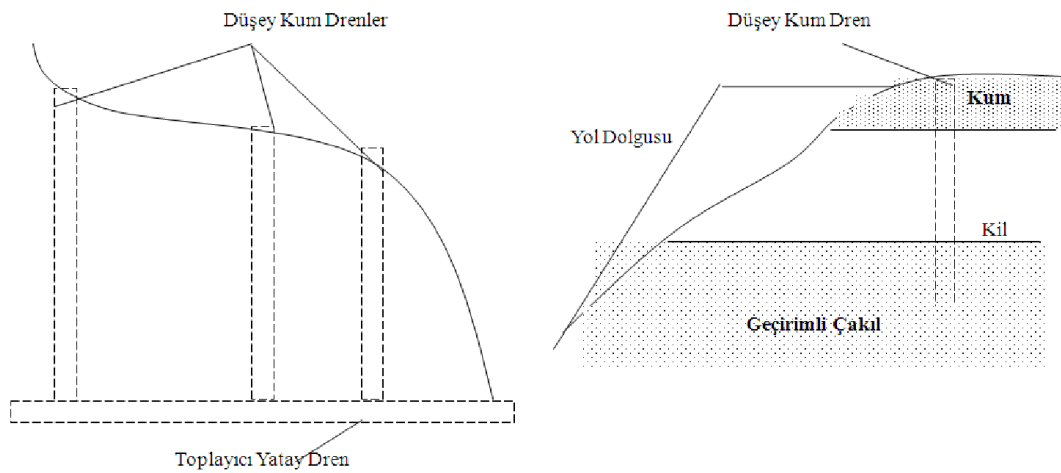
- Yatay Drenler

İlk defa 1939'da Kaliforniya karayollarında uygulanmaya başlanmış olup günümüzde yaygın olarak birçok problemin çözümü için kullanılmaktadır. Yeraltı suyunun çok derinde olması durumunda drenaj hendeklerinin bu seviyelere kadar indirilmesi zor ve ekonomik olmadığından günümüzde yatay dren uygulamasına gidilmektedir. [7]

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. Drenaj delikleri yukarı doğru olmalıdır. Yatay drenlerin yerleştirilmesi sırasındaki en büyük zorluk zemindeki göçmelerdir. Özellikle kırıklı formasyonlar ve siltli ince kum bu bakımdan riskli zeminlerdir.

Yatay drenleri kullanabilmek için boruların suyun akıtılmak istenen yönüne doğru eğimli olması gerekir. Yatay drenaj borularının eğimi % 3-20 arasında olmalıdır. Dren

borularının başlangıcının ilk 5-6 metresi deliksiz galvanizli borudan yapılmalıdır. Bu şekilde bakım işleri azaltılır. Ayrıca dren içerisinde ot ve kök oluşumu ve çıkış kısmında korozyon önlenir. Yatay drenlerin uzunlukları maksimum 100 metredir. Drenaj için 2-4'lik delikli borular kullanılmaktadır. Yatay dren aralıkları 10-30 metre arasında olabilmektedir. Yatay drenler ile zemindeki suyu toplayıp boşaltmak diğer sistemlere göre daha kolay olduğundan düşey kum drenler ve diğer drenaj sistemleri ile birlikte kullanılabilirler. [7] (Şekil 1.12.)



Şekil 1.12. Yatay ve Düşey Drenler

1.4.2.2.2. Ön Yükleme

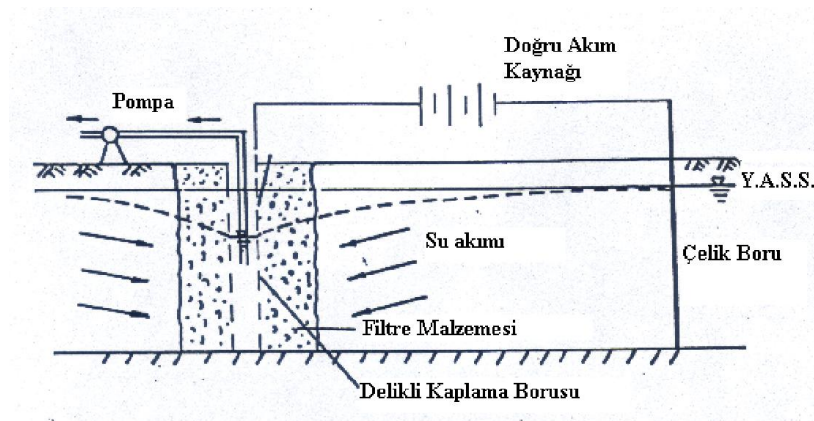
Kullanılacak arazinin üzerine yapı inşa edilmeden önce düşey yükler uygulayarak zeminin oturmasının hızlandırılması, bunun sonucu olarak siltli ve killi zeminlerin taşıma gücünü artırılması için yapılan işleme ön yükleme denir. Ön yükleme ile iyileştirilecek en iyi zemin cinsleri suya doymuş yumuşak killer, sıkışabilir siltler, organik killer, turbalar ve balçıklardır. Ön yükleme yöntemi köprü ayakları, uçak pisti, dolgular ve yapıların temel zeminlerini iyileştirmek için kullanılmışlardır. [9]

Zemin oturmasını tamamladıktan sonra ön yükleme yapılan bu dolgu malzemesi kaldırılabilir veya bu dolgu malzemesi iyi sıkıştırıldıktan sonra üzerine yapı inşa edilebilir. Dolgu için ince daneli zemin kullanılması durumunda ise oturma sonucu boşluklardan çıkan suyun drenajını sağlamak için dolgu altında 0,50-1,00 metre kalınlığında kumlu çakıl tabaka oluşturulabilir. Dolgu yüksekliği 3,0-8,0 metredir.

Ön yükleme sırasında konsolidasyon zamanını azaltmak için zemin içerisinde düşey kum drenaj kolonları yapmak faydalı olacaktır. Bu drenaj kolonları sayesinde zemin içerisindeki suyun uzaklaşması sağlanacak ve bu şekilde hızlı bir su çıkışına bağlı olarak konsolidasyon süresi kısıllacaktır. [9]

1.4.2.2.3. Elektro Osmoz

Silt ve siltli kil gibi ince daneli zeminlerdeki su, kapiler ve sürtünme kuvvetleri ile tutulduğundan dolayı yerçekimi etkisiyle ayrılamaz. Bu tür zeminlerdeki suyu uzaklaştırmak için elektro osmoz yöntemi kullanılır. İkinci Dünya savaşı öncesi Almanya’da geliştirilmiş uygulayıcının ustalığına bağlı bir yöntemdir (Şekil 1.12.).



Şekil 1.12. Elektro Osmoz Yöntemi

Elektro osmoz yönteminde zeminde sondaj yoluyla delikler açılır. Açılan deliğin çapına uygun delikli kaplama borusu yerleştirilir. Kaplama borusundan daha küçük bir çaplı ikinci bir boru kaplama borusunun içine yerleştirilir. Mevcut iki boru arası uygun filtre malzemesi ile doldurulur. Bu işlemden sonra kuyulardan belirli uzaklıklarda elektrotlar (çelik çubuklar) yerleştirilir. Çelik çubuklar ile zemine yerleştirilen borular arasında doğru akım oluşturularak zeminde elektriksel akım meydana getirilir. Oluşan elektrik akımından dolayı zeminde çelik çubuktan (anottan), borulara (katota) doğru bir su akımı oluşur. Sular delikli boruda toplanarak pompalar vasıtası ile boşaltılır. Bu şekilde zemindeki su drene edilerek zeminin taşıma gücü artırılır. [9]

1.4.2.2.4. Yerçekimi Etkisi

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

Bir zeminin su tutma kapasitesine kadar yerçekimi ile drenajı çok uzun zaman alabilir. Ayrıca su tutma kapasitesi içindeki su içeriğinin sakıncalı olup olmaması da önemlidir. Bazen sakıncalı su içeriği zeminin su tutma kapasitesinin altında olabilir. Bu halde zeminin drenajı hiç bir fayda sağlamayacak demektir. Gerek su tutma kapasitesinin sakıncalı su içeriğinin üstünde olması durumunda gerekse drenaj süresinin çok fazla olması durumunda yerçekimi ile drenaj uygun olmayacak demektir. [9]

1.4.3. Zemin İçinde Rijit Kolonlar Oluşturulması

İyileştirilecek zemin tabakası içinde rijit kolonlar oluşturulması durumunda zemine etkiyecek dış yüklerin önemli bir kısmının bu elemanlar tarafından taşınabileceği ve aralarındaki zeminin daha az yükleneceği görüşünü esas alan bu yaklaşımda, zeminde rijit kolonlar oluşturulması için farklı yöntemler kullanılabilmektedir.

Yöntem seçiminde, arazide karşılaşılan zemin koşullarında, kolonların homojen geometride (hedeflenen çap ve boyda) ve amaçlanan rijitlikte yapılabilmesi güvencesi ile kolon/zemin arası yük aktarım mekanizmasının güvenilirliği önemli faktörler olarak dikkate alınmalıdır. [3]

Kullanılan yöntemler;

- Jet Grout
- Taş Kolonlar
- Fore Kazık ve Mini Kazık

1.5.3.1. Jet Grout

Jet Grout yöntemi Bölüm 2' de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

1.5.3.2. Taş Kolonlar

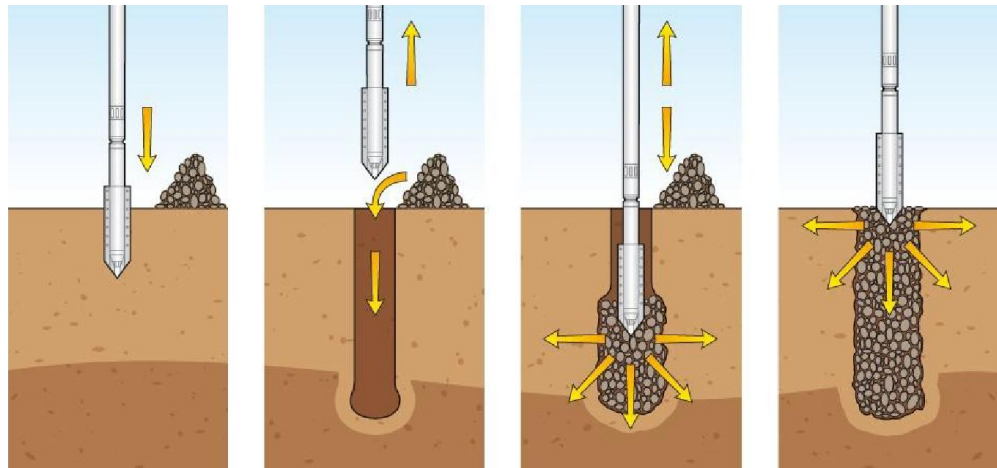
Zemin içinde açılan kuyu şeklinde bir boşluğun içine aşağıdan yukarıya doğru kademeler halinde granüler malzeme yerleştirilerek sıkıştırılması suretiyle taş kolonlar olarak adlandırılan rijit kolonlar oluşturulur. [3] (Şekil 1.14.)



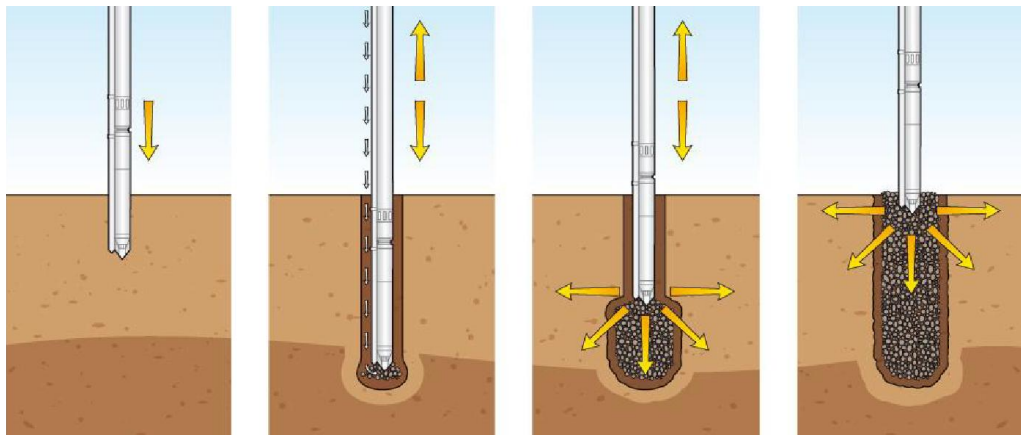
Şekil 1.14. Taş Kolon İmalatı [3]

Taş Kolon İmalatı

- 1. Delme Aşaması:** Zemin içinde vibroflot, burgu vb. delgi aletleri kullanılarak veya ucu kapalı bir borunun çakılması ile istenilen kolon alt ucu derinliğine kadar kuyu şeklinde bir boşluk oluşturulur. Zemin özelliklerine göre bazı durumlarda muhafaza borusu kullanılması gerekebilir. Kuyu açılması sırasında çevre zeminin yer değiştirmeye zorlanması iyileştirme açısından tercih nedenidir. [3]
- 2. Kolon oluşturulması:** Kuyu tabanından itibaren kademeler halinde granüler malzeme yerleştirilir ve sıkıştırılır. Bu aşamada kuyu çevresindeki zeminde gevşeme oluşmaması, sıkıştırma uygulanırken çevre zeminin yanal yer değiştirmeye zorlanması ve her geri dolgu kademesinin sabit ve kontrollü enerji uygulanarak sıkıştırılması önemlidir. Taş kolon uygulaması ile ilgili vibroflotasyon ile ıslak, üstten besleme yöntemi ve alttan besleme yöntemi ile ilgili görseller Şekil 1.15. ve Şekil 1.16. verilmiştir.[3]



Şekil 1.15. Vibroflotasyon ile Islak, Üstten Besleme Yöntemi [10]



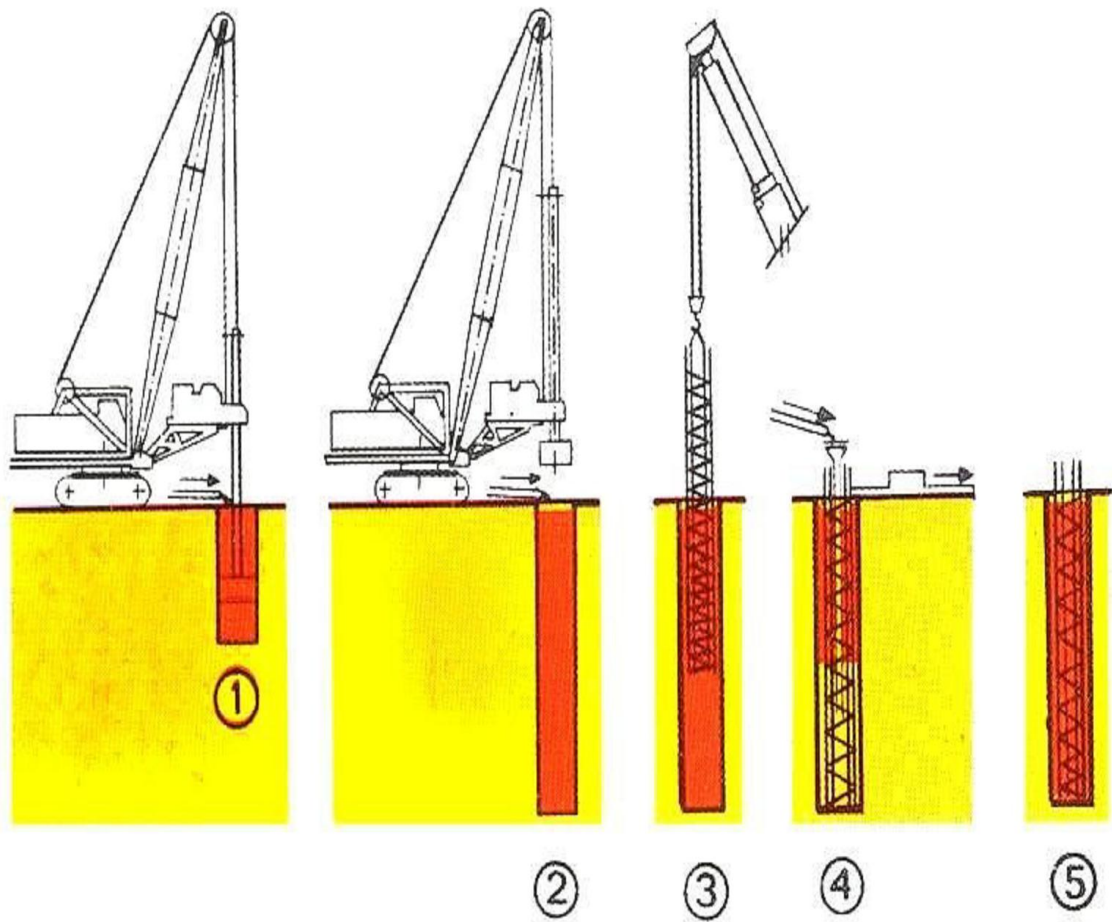
Şekil 1.16. Vibroflotasyon ile Alttan Besleme Yöntemi [10]

1.5.3.3. Fore Kazık Ve Mini Kazık

Fore kazıklar, kendini tutabilen ve tutamayan zeminlerde, temelin sismik hareketlerden etkilenmesini önlemek için imal edilen geniş çaplı yerinde dökme kazıklardır. Deprem sırasında oluşacak temel hareketini azaltmanın en etkin yöntemlerinden biri olan ve derin temel olarak tanımlanan fore kazıklar, kolon şeklindeki donatılı beton elemanından oluşur.

Fore kazıklar; delgi teknikleri kullanılarak zeminde oluşturulan $\varnothing 65 - 150$ cm çap aralığındaki deliğin içerisine donatı yerleştirilerek betonla doldurulması ile imal edilen kazıklardır. Fore kazıklar, zeminde yanal ötelenme ve buna bağlı olarak komşu zeminde sıkışma yaratmayan kazıklardır. [1]

Minik kazıklar, $\varnothing$ 15-35 cm $\varnothing$ aplarındaki küçük $\varnothing$ aplı kazıklardır. Mini kazık imalatında, genellikle fore kazıklar gibi önce delme işlemi yapılır. Daha sonra deliğe donatı indirilir, deliğe kırma taş dökölür ve $\varnothing$ imento enjeksiyonu yapılır. [1] Böylece, kazık yerinde imal edilmiş olur. Şekil 1.17. da fore kazık imalat aşamaları sunulmuştur.



- 1- Bentonit bulamacı koruması altında delgi
- 2- Bentonit bulamacı ile sıvanmış kazık kuyusunun bitirilmesi
- 3- Bentonit bulamaçlı kuyuya donatının indirilmesi
- 4- Bentonit bulamaçlı kuyuya beton dökölmesi, bulamacın kuyu dışarısına atılması
- 5- Bitmiş kazık

Şekil 1.17. Fore Kazık İmalat Aşamaları [1]

1.4.4. Enjeksiyon Teknikleri

Boşluklu, çatlaklı kayalar veya kumlu, çakıllı formasyonlarının boşluklarını doldurmak, birbirine bağlamak sureti ile fiziksel özelliklerini değiştirmek veya sağlamlaştırmak amacı ile yeraltına çeşitli maddelerin basınçla verilmesi işlemine **enjeksiyon** denilmektedir.

Enjeksiyon işlemlerinde çözelti halinde bentonit, çimento, kireç, kil, uçucu kül, bitüm ve bazı kimyasal maddeler kullanılmaktadır.

Enjeksiyon kullanım yerleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Aşırı oturmaların önlenmesi için boşlukların doldurulması
- Bitişik kazı, kazık çakma çalışmaları sonucu oluşabilecek hareketlerin önlenmesi
- Tünel kazısında kazı duvarları ve üstteki tabakaların hareketinin kontrolü
- Yanal toprak basıncını kısıtlama
- Kazıkların yanal yük kapasitesini arttırma
- Gevşek kumlarda titreşimden dolayı sıvılaşmanın önlenmesi
- Şev stabilizasyonu
- Temel takviyesi
- Hacim değişimleri gösteren zeminlerde büzülme ve şişmenin azaltılması

Enjeksiyon yapılan işin önemine, amacına ve zeminin özelliklerine göre zemine değişik enjeksiyon yöntemleri uygulanır.

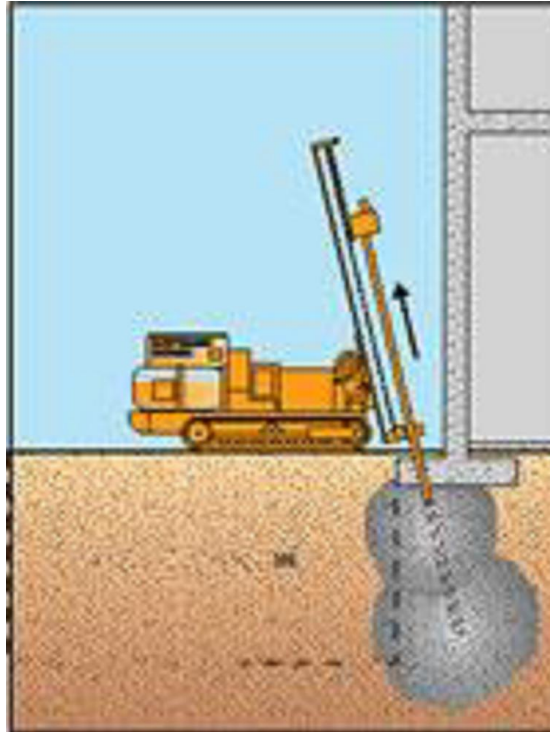
Enjeksiyon yöntemleri;

- Permeasyon Enjeksiyonu
- Çatlatma Enjeksiyonu
- Kompaksiyon Enjeksiyonu

olarak gruplandırılır.

1.4.4.1. Permeasyon Enjeksiyonu

Permeasyon enjeksiyonu; daneli bulamaç veya akışkan ile orta, iri kum boşlukları ve kayaç çatlaklarının doldurulmasıdır. Bu yöntemde, orjinal zeminin yapısı veya hacminde değişiklik olmaz, sadece mevcut boşluklar doldurulur (Şekil 1.18.). Permeasyon enjeksiyonu, bir enjeksiyon perdesi yapmak veya bir bölgenin tabanının su geçirmezliği sağlamak için kullanılır. [10]



Şekil 1.18. Permeasyon Enjeksiyonu

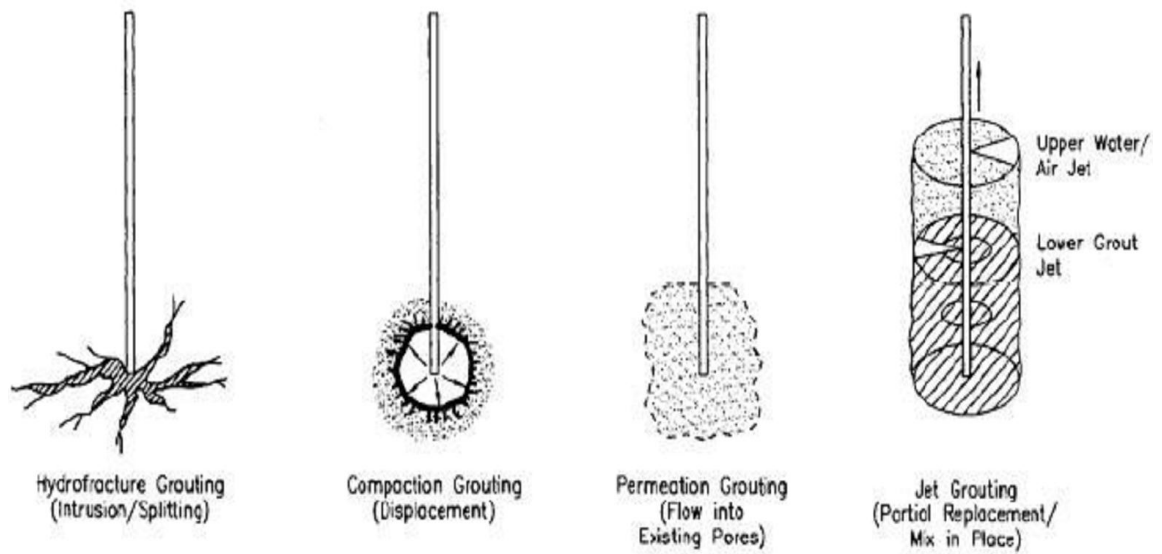
Zemin daneleri arasındaki boşlukları doldurmak için kullanılacak olan enjeksiyon malzemesinin dane çaplarına göre enjekte edilebilirlik oranları ile ilgili yapılan araştırma sonucu aşağıda özetlenmiştir (Mitchell,1981).

$D_{15}(\text{zemin}) / D_{85}(\text{enjeksiyon malz.})$	< 24	enjeksiyon düzgün olarak mümkün
	< 11	enjeksiyon mümkün değil
$D_{10}(\text{zemin}) / D_{95}(\text{enjeksiyon malz.})$	< 11	enjeksiyon düzgün olarak mümkün
	< 6	enjeksiyon mümkün değil

İnce malzeme oranının %20'den fazla olduğu zeminlerde permeasyon enjeksiyonu mümkün değildir.

1.4.4.2. Çatlatma Enjeksiyonu

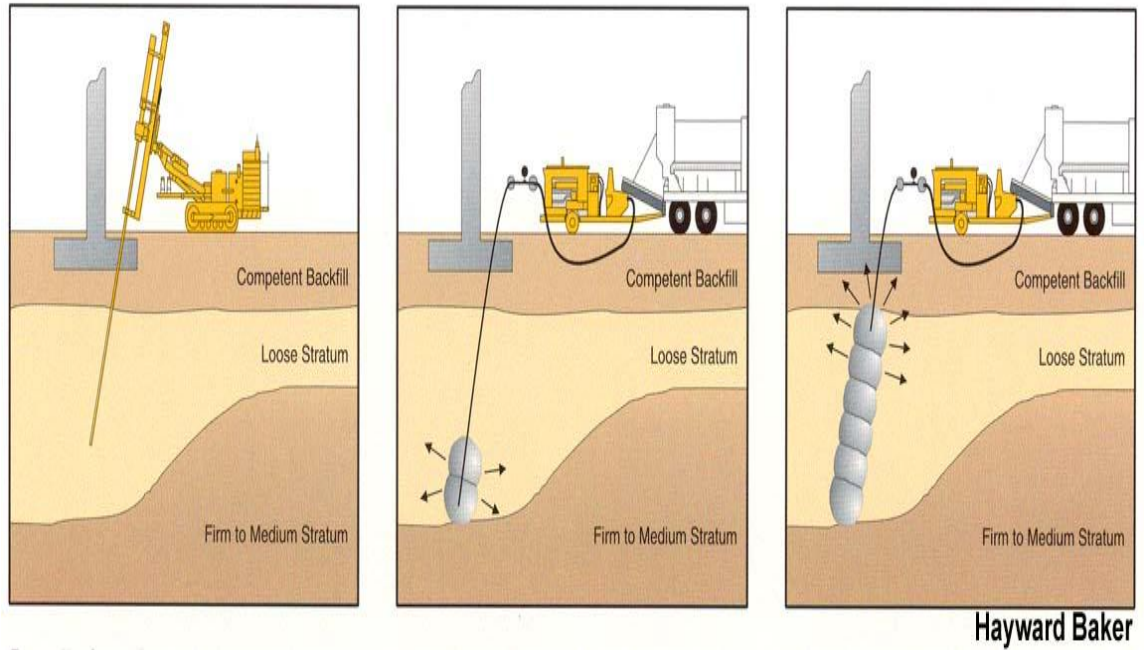
Hidro çatlatma enjeksiyonu; zeminlerde ve özellikle çatlaklı kayalarda çatlakların ve boşlukların basınç altında genişletilmesi ve enjeksiyon maddesi ile doldurulmasıdır. Çatlatma enjeksiyonu Şekil 1.19.'de verilmiştir.



Şekil 1.19. Çatlatma Enjeksiyonu [10]

1.4.4.3. Kompaksiyon Enjeksiyonu

Kompaksiyon enjeksiyonu; püskürtülen maddenin uygulanan basınç ile zemin danelerini yer değiştirmeye zorlayarak zeminin sıkışmasının sağlanmasıdır. Bu yöntem kısmen doymuş zemin kütlelerinde ve boşluklar içeren gevşek malzemelerde kullanılabilir. Ayrıca temel takviyesini sağlamak veya farklı oturmaları düzeltmek ve tünelcilik veya açık kazı çalışmalarında zemini güçlendirmek amacı ile kullanılmaktadır. Kompaksiyon enjeksiyonu uygulama yöntemi Şekil 1.20. de verilmiştir. [10]



Şekil 1.20. Kompaksiyon Enjeksiyonu

1.4.5. Geosentetikler

Geosentetikler; sentetik hammaddelerden üretilen; geçirimli dokuma ve geçirimsiz membran tipli tekstil ürünleri ile bu tanımın dışında kalan ve benzer sentetik ham maddelerden üretilen ağ, ızgara, tabaka, şerit hücre v.s. diğer ürünlere verilen genel isimdir. İnşaat mühendisliği ve daha özel olarak geoteknik mühendisliği uygulamalarında günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmış olan bir malzeme grubudur. [11]

Geosentetikler farklı karakterdeki ham maddelerden üretilirler. Bu ham maddeler:

- polypropylene (PP)
- polyethylene (PE)
- polyester (PET)
- polyvinylchloride (PVC)
- polyamide (PA)

Bu malzemeler için; bütün sentetik ürünleri kapsadığından eş anlamlı olarak **geosentetik** kelimesi kullanılır. Geosentetikleri aşağıdaki gibi 4 grupta toplamamız mümkündür:

- geotekstilller
- geogridler, geoağlar
- geomembranlar
- geokompozitler

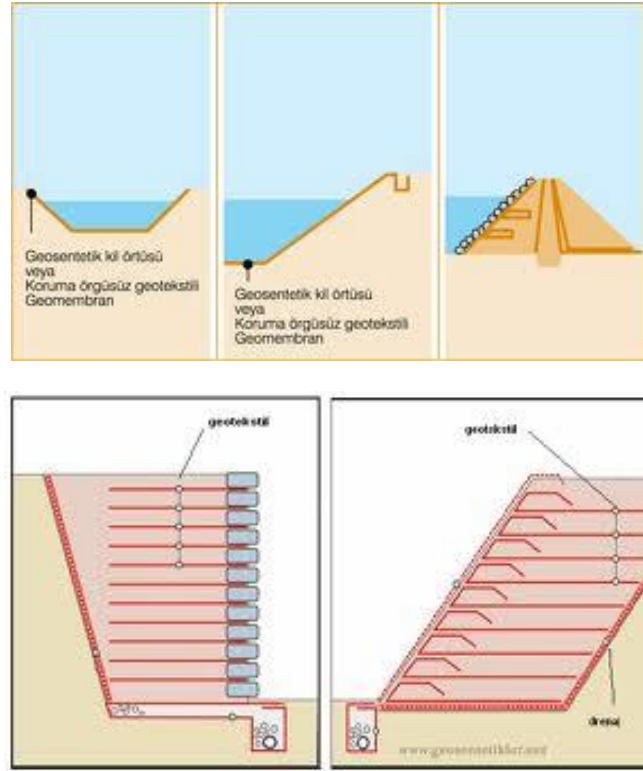
1.4.5.1. Geotekstilller

Geotekstilller; poliyamid, polyester ve polipropilen gibi sentetik polimerlerden üretilen, bir yapı veya sistemin entegre bir parçası olarak toprak, taş veya diğer geoteknik materyallerle birlikte inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan polimerik, düzlemsel, ince, esnek, geçirgen tekstil ürünleridir. (Şekil 1.21.)



Şekil 1.21. Örgülü ve Örgüsüz Geotekstil

Geotekstilller; ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıtım amaçları ile karayolları, demiryolları, drenler, spor sahaları, istinad duvarları ve bina drenajı, agrega depoları gölet ve barajlarda kullanılabilirler. Şekil 1.22.'de geotekstil kullanım alanlarına örnek verilmiştir.



Şekil 1.22. Geotekstil Kullanım Alanlarına Örnek [4]

Tablo 1.2. de geotekstillerin uygulama alanları ve işlevleri verilmiştir.

Tablo 1.2. Geotekstillerin Uygulama Alanları ve İşlevleri, (Wasti, 1992)

İŞLEV	UYGULAMA ALANI									
	Kaplamasız yollar	Kaplamalı yol, uçuş pisti	Spor sahaları	Kaplamalı yollar	Kaplamalı yollar	Asfaltlı beton takviye	Asfaltlı beton takviye	Demiryolları	DRENAJ SİSTEMLERİ VE PROBLEMLERİ	Geotekstil
AYIRMA	●	●	●	●	●	●	●	●	Yüzey drenajı, hendekleri	●
FILTRASYON	○	○	○	○	○	○	○	○	Toprak barajlar, istinat duvarı arkası drenajı, Bina çevre/basınçlı su drenajı	○
DRENAJ	○	○	○	○	○	○	○	○	perfore drenaj borusunun sarılması Prefabrike bant dren kılıfı	○
GUÇLENDİRME	○	○	○	○	○	○	○	○		○
KORUMA						●	○			●

1.4.5.2. Geogridler

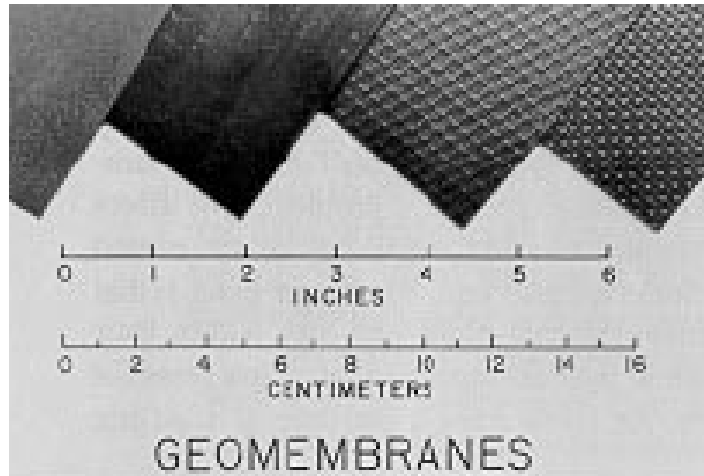
Geogridler, istinat yapısı ve zemin güçlendirme uygulamalarında kullanılan kare gözenek açıklıklı veya demet şeklinde yüksek mukavemetli polyester üzeri polimer kaplamalı malzemelerdir. [12] (Şekil 1.23.)



Şekil 1.23. Tek Yönlü Geogrid ve Çift Yönlü Geogrid

1.4.5.3. Geomembranlar

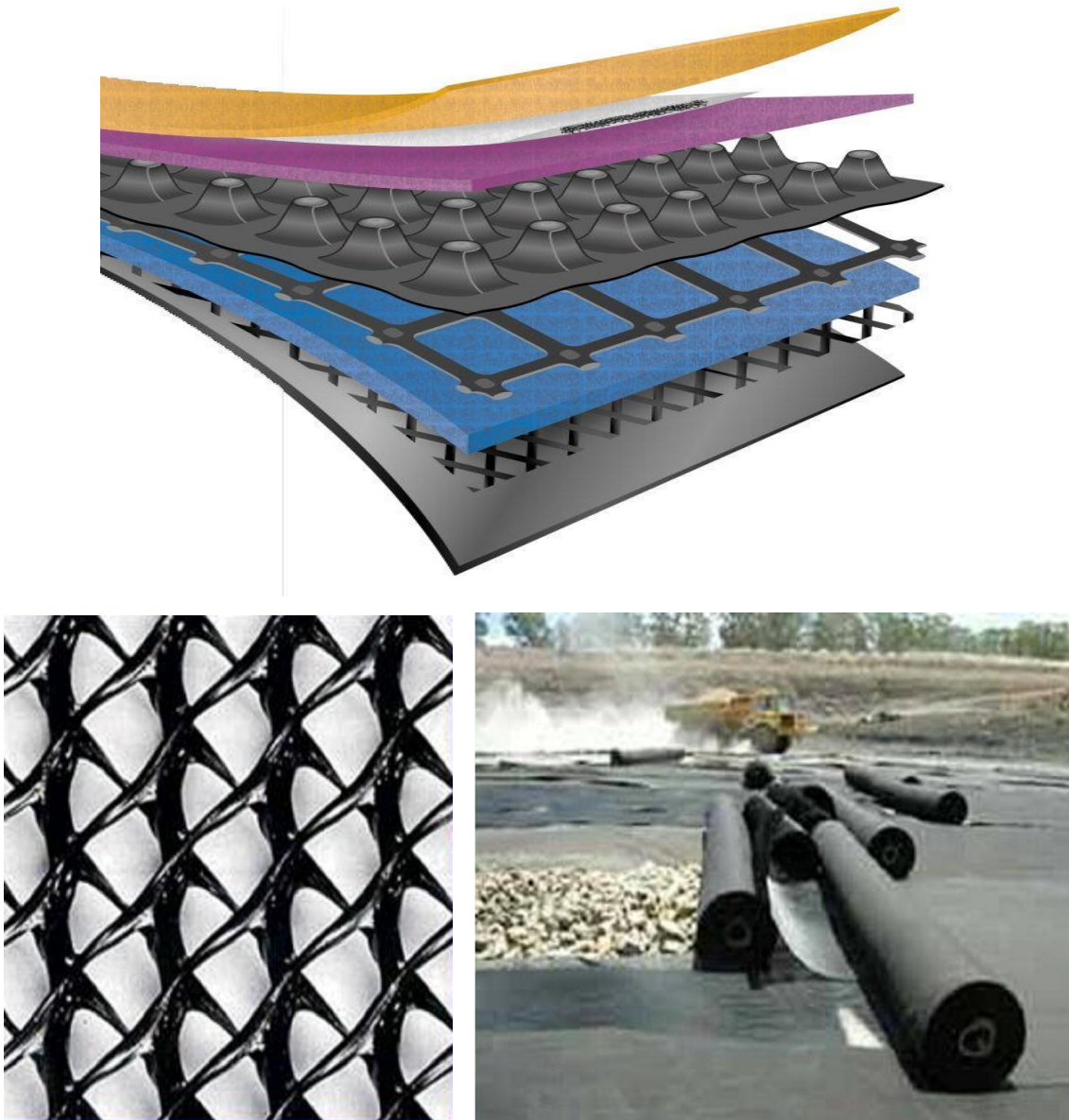
Geomembranlar; sentetik olarak üretilen, sistem veya strüktürlerde sıvı hareketlerini kontrol edici olarak ilgili geoteknik materyallerle birlikte kullanılan çok düşük geçirgenlikte sentetik membran astar veya bariyerlerdir. [13] (Şekil 1.24.)



Şekil 1.24. Geomembranlar

1.4.5.4. Geokompozitler

Örgüsüz geotekstil keçeler ile geomembranların, çeşitli drenaj levhalarının veya geogridlerin birleştirilmesinden oluşan filtreleme, ayırma, drenaj, koruma, bariyer ve güçlendirme amaçlı kullanılan örtülerdir. Geoteknik mühendisliği ile ilgili olarak çöp toplama alanları, ulaşım yapıları, liman dolguları, baraj, gölet, tüneller ve şev stabilizasyonunda kullanılır. [14] (Şekil 1.25)



Şekil 1.25. Geokompozit ve Uygulama Örnekleri

1.4.5.5. Geosentetiklerin Uygulama Alanları

Günümüzde geosentetikler zemin mühendisliği ile ilgili birçok konuda yaygın bir şekilde uygulama alanı bulmaktadır. Bu uygulama alanları Tablo 1.3. verilmiştir.

Tablo 1.3. Geosentetiklerin Uygulama Alanları [4]

UYGULAMA ALANI		UYGULAMA AMACI		Ayrma	Filtrasyon	Drenaj	Güçlendirme	Koruma	Yalıtım
Yol & Pistler				☺	☺	☺	☺		☺
Drenaj Sistemlerinde				☺	☺	☺			
Demiryolları				☺	☺	☺	☺		
İstinat Duvarları				☺	☺	☺	☺		
Sahil Koruma				☺	☺	☺	☺		
Köprü Ayakları				☺	☺	☺			
Erozyon Kontrolü				☺	☺	☺	☺		
Geomembran Altında						☺	☺	☺	

Geosentetiklerin tipleri ve bu tiplerin uygulama amaçları toplu olarak Tablo 1.4. de verilmiştir.

Tablo 1.4. Geosentetik Tipleri Ve Uygulama Amaçları [4]

GEOSENTETİK TİPİ	Ayırma	Filtrasyon	Drenaj	Güçlendirme	Yalıtım
Geotekstil	☺	☺	☺	☺	
Geogrid				☺	
Geonet			☺		
Geomembran					☺
Geoboru			☺		
Geokompozit	☺	☺	☺	☺	☺

1.5.6. Katkı Maddeleri İle Stabilizasyon

Taşıma gücü çok düşük, fazla kil minerali içeren ve hızlı şekil değiştirmeler yapabilen zeminlerin; kayma direncini artırmak, geçirimsizlik ve su miktarını azaltmak, hacim değişimini en aza indirmek için ucuz ve kolay bulunabilen kireç, çimento, bitüm, uçucu kül vb. değişik katkı maddeleri ilave edilerek zemin iyileştirilmesi yapılabilir. [15]

Katkı maddesi kullanılmasının başlıca amaçları şöyledir:

- Zemini iyileştirmek
- Yapımı hızlandırmak
- Zeminin dayanımını arttırmak

Katkı maddeleri ile stabilizasyonda incelenecek yöntemler aşağıda verilmiştir.

- Kireç ile stabilizasyon
- Çimento ile stabilizasyon
- Bitüm ile stabilizasyon
- Uçucu kül ile stabilizasyon
- Diğer maddelerle stabilizasyon

Tablo 1.5.'de görüldüğü gibi değişik amaçlara göre stabilizasyon yöntemleri uygulanmaktadır. Önce zeminin olumsuz yönleri belirlenmeli ve daha sonra uygun stabilizasyon yöntemi seçilmelidir.

Tablo 1.5. Katkı Maddeleri ile Stabilizasyonda
Amaç – Zemin Cinsi – Uygulanan Yöntem İlişkisi [15]

AMAÇ	ZEMİN CİNSİ	STABİLİZASYON METODU
Yük taşıma ve deformasyon direncini artırmak	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
	Yüksek PI killer	Kireç
	Elastik kil veya siltler	Çimento

1.5.6.1. Kireç ile Stabilizasyon

Kireç bilinen en eski stabilizasyon malzemesidir. Çin'deki uygulamaları yanında, Romalılar tarafından da yol yapımında kullanılmıştır. Roma yakınında Puozzuolini'de çıkarılan volkanik külün kireçle karıştırıldığında reaksiyona girerek büyük dayanım kazandığı anlaşılmıştır. [16]

Kireç ile stabilizasyon sayesinde zeminde aşağıdaki değişiklikler görülür:

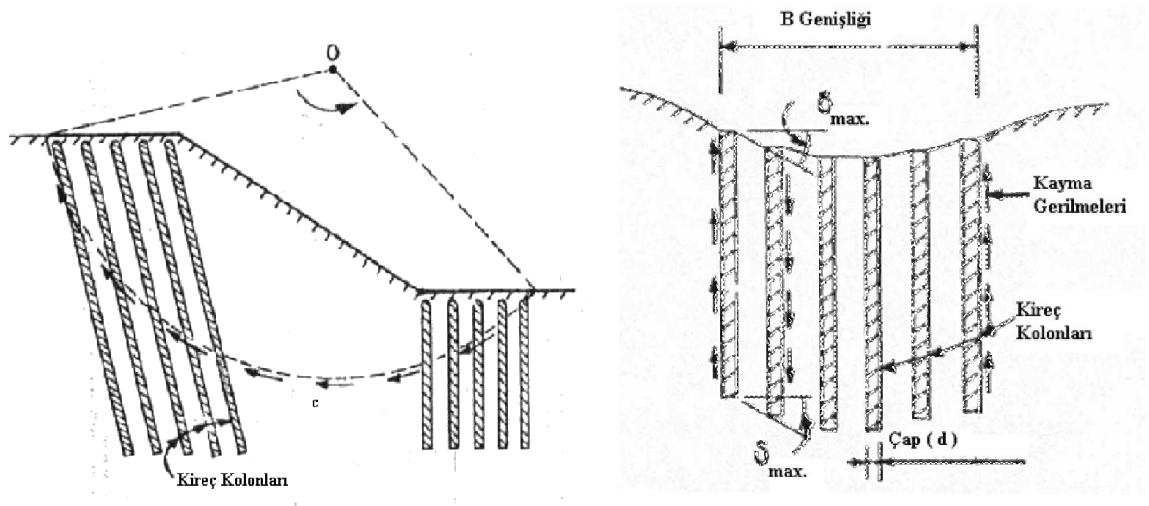
- Likit limit azalır, plastik limit ve rötre limiti artar
- Plastisite indisi azalır
- Zeminin dayanım artar ve deformasyonlar azalır
- İşlenebilirlik artar

Kireç katkısı aynı zamanda malzemenin sıkışma karakteristiklerinde de değişimlere yol açar. Maksimum sıkıştırılmış kuru birim hacim ağırlık azalırken, optimum su muhtevası artar. Zeminin tek eksenli dayanımıysa %6'lık bir kireç ilavesiyle yaklaşık olarak 6 kat artar. [16] Zemin cinslerine göre ilave edilecek kireç miktarları aşağıdaki Tablo 1.6.'da verilmiştir.

Tablo 1.6. Zemin Cinslerine Göre Yaklaşık Kireç Miktarı

Zemin cinsi	Kuru zeminin ağırlıkça yüzdesi olarak
İyi derecelenmiş çakıl	3
Kumlar	Tavsiye edilmez
Kumlu kil	5
Siltli kil	2-4
Plastik kil	3-8
Yüksek plastisiteli kil	3-10
Organik zeminler	Tavsiye edilmez

Şev stabilizasyonunda, farklı oturmaların iyileştirilmesinde kireç kolonları kullanılır. Bununla ilgili uygulama örnekleri Şekil 1.26.'de sunulmuştur.



Şekil 1.26. Kireç Stabilizasyonu Uygulama Alanları

1.5.6.2. Çimento ile Stabilizasyon

Çimento ile zeminlerin iyileştirilmesi Amerika Birleşik Devleti'nde Eyalet Karayollarının 1920'li yıllardaki uygulamaları ile başlamıştır. Günümüzde artan trafik nedeni ile ulaşım yolları ve hava alanlarının temel ve alt temellerinin iyileştirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle Dünya'da fazlaca uygulama alanı bulmuştur. [16]

Killi zeminler için;

- 200 No.lu elekten geçen malzeme miktarı $< \% 40$
- Likit limit $< \% 45\sim 50$
- Plastisite indeksi $< \% 25$

olduğu durumlarda çimento stabilizasyonu etkilidir. Kumlu ve düşük plastisiteli killi zeminler için uygun bir yöntemdir.

Zemine ilave edilecek çimentonun sağlayacağı yararları aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Likit limiti azaltır
- Plastisite indeksini artırır
- Killerde işlenebilirliği artırır
- Zeminin dayanımını artırır (kür süresi arttıkça dayanım artar)

Zemin cinslerine göre ilave edilecek çimento miktarları aşağıdaki Tablo 1.7.'de verilmiştir.

Tablo 1.7. Değişik Zemin Sınıflarına Göre Çimento İhtiyacı (Tunç, 2002)

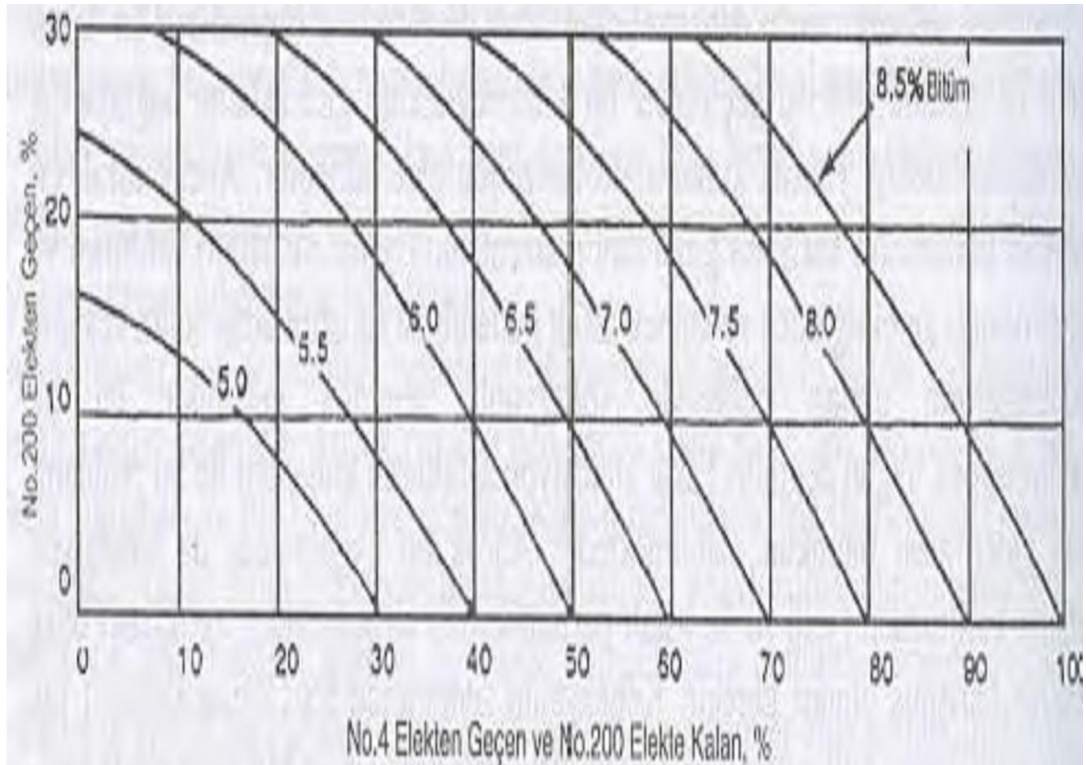
AASHTO (Zemin Sınıfı)	Birleştirilmiş Zemin Sınıfı	Tipik Çimento İçeriği (%Ağırlıkça)	Çimento İhtiyacı Sınırları %Hacimce% %Ağırlıkça	
A-1-a	GW,GP,GM,SW,SP,SM	5	5-7	3-5
A-1-b	GM,GP,SM,SP	6	7-9	5-8
A-2	GM,GC,SM,SC	7	7-10	5-9
A-3	SP	9	8-12	7-12
A-4	CL,ML	10	8-12	7-12
A-5	ML,MH,CH	10	8-12	8-13
A-6	CL,CH	12	10-14	9-15
A-7	MH,CH	13	10-14	10-16

1.5.6.3. Bitüm ile Stabilizasyon

Zeminin, suyun zararlı etkilerinden korunması ve danelerin birleştirilmesi bitümlü stabilizasyonla sağlanır. Bitüm, ince daneli zeminlerin sudan dolayı yumuşamasını engellerken, kaba daneli zeminlerin kohezyon kazanmasını sağlar. Daneler arası aderansı oluşturduğundan dolayı zeminlerin su, rüzgar ve erozyona karşı direncini artırır.

Bitümlü stabilizasyonunun en yaygın kullanım alanı karayollarıdır. Normal koşullarda 76 mikrondan geçeni % 10-50 arasında ve plastisite indisi % 18 den düşük olan zeminler bu yöntem için çok idealdir. [16]

Bitümle iyileştirmede kullanılacak yaklaşık bitüm miktarları Şekil 1.27’da gösterilmiştir.



Şekil 1.27. Bitüm Yüzdesinin Tahmin Abağı

1.5.6.4. Uçucu Kül ile Stabilizasyon

Uçucu kül, toz halinde veya öğütülmüş taş veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması ile oluşan, baca gazlarıyla taşınan mekanik ve elektrostatik filtrelerde tutulan silis ve alumina-silisli toz halinde bir yanma kalıntısıdır. [16]

Dünya’da artan enerji ihtiyacı ile beraber çıkan uçucu kül miktarı giderek büyük miktarlara ulaşmıştır. Termik santrallerde çıkan külün yaklaşık %75-85’i uçucu küldür. Kimyasal özellikleri, kolay ve ucuz temin edilmesi, çevreye verilen zararların azaltılması ve ekonomik çözümler üretilmesi nedeni ile uçucu küllerin mühendislik uygulamalarında kullanımı artmıştır. Bu kadar fazla çıkan atık bir malzeme beraberinde istenmeyen bazı çevre ve ekonomik sorunlar meydana getirmiştir.

Uçucu küller ASTM C618 standardına göre, C ve F sınıfı olmak üzere ikiye ayrılır. F sınıfı uçucu küller antrasit veya bitümlü kömürün yakılması sonucu oluşmakta olup puzolonik etkiye sahiptirler. C sınıfı uçucu küller az bitümlü veya linyit kömürlerinin yakılması sonucu meydana gelmektedir. C sınıfı uçucu küller puzolonik özelliğe ilaveten bağlayıcı yani kendi kendine sertleşme özelliğine de sahiptir.

Kendi kendine sertleşme özelliği uçucu küldeki önemli miktarda kirecin varlığı ile ilgilidir. Bu nedenle C sınıfı uçucu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak tanımlanmakta olup bu özelliğinden dolayı iyileştirme konularında rahatlıkla kullanılabilir. [16]

1.5.6.5. Diğer Maddeler ile Stabilizasyon

Bağlayıcılık özelliğine sahip tüm kimyasallar bu alanda kullanılabilir. Bir veya birden fazla madde belirli oranlarda karıştırılarak ekonomik çözümler üretilebilir. Literatürde bunlarla ilgili çalışmalara rastlanılmaktadır. Güncel konu endüstriyel atık maddelerin ekonomiye kazandırılmasıdır.

1.4.7. Isıl İşlemler (Isıtma - Dondurma)

Zeminlerin ısı alış verişini ile özelliklerini iyileştirmesi 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. [7]

1.4.7.1. Isıtma ile Stabilizasyon

Suya doymun olmayan siltler ve killeri, ortam sıcaklığının olağan değerlerin çok üzerine çıkarılması ile mukavemet özellikleri güçlendirilir. 110 °C civarındaki ısılarda zeminin suyunu kaybetmesi, taşıma gücünü artırırken yük altındaki deformasyon değerleri de düşüreceklerdir. Killer 900°C değerinde pişirildiğinde tuğlaya dönüşerek faz değiştirmektedir. Bu özelliklerinden dolayı aşağıda belirtilen konularda Güney Amerika ve Doğu Bloku ülkelerinde uygulama alanı bulmuştur.

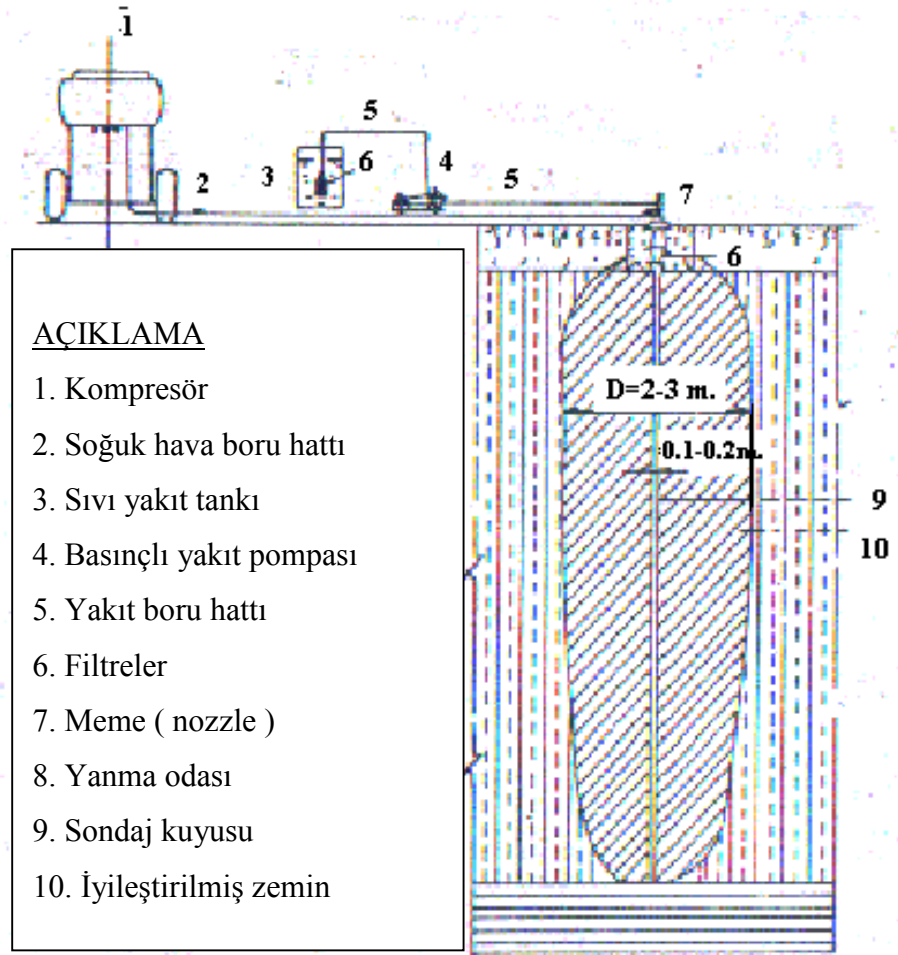
600-1000 °C sıcaklıklarda ısıtma işlemi; şişme, sıkışma ve hassaslık derecesinde azalma, mukavemette artma gibi önemli ve sürekli olarak zemin özelliklerinin iyileşmesini sağlayabilir. Bu konuda yapılan çalışmalarda bu yöntemle sürtünme açısının yaklaşık olarak iki katına çıktığı, sıkışabilirliğinde beş kat azaldığı belirlenmiştir. Bu sonuçlar büyük miktarda başlangıç koşullarına ve yanma sıcaklığına bağlıdır. [5] Farklı uygulamalar için önerilen minimum işlem sıcaklıkları Tablo 1.8.'de verilmiştir.

Tablo 1.8. Farklı Uygulamalar İçin Isı İşlem Sıcaklıkları (Jurdanov, 1978)

Isıtmanın Amacı	Minimum İşlem Sıcaklığı (°C)
Yanal basıncın azalması	300 – 500
Çökme özelliklerinin yok edilmesi	350 – 400
Don tesiri ile kabarmanın kontrolü	500
Don derinliğinin aşağısına tek parça kolon yapımı	600
Yapı malzemelerinin üretimi	900 – 1000

Isıtma ile zemin özelliklerini iyileştirmede; yanma ve elektrik olmak üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Burada; Lithinov tarafından 1960 yılında geliştirilen ve en fazla kullanılan yanma yöntemi kısaca anlatılmıştır.

Bu yöntemde sondaj delikleri açıldıktan sonra bu deliklere elektrotlar veya benzin alevini yanal olarak yayabilecek borular yerleştirilerek yüksek sıcaklık oluşturulur. Isı kaybının önlenmesi için kuyu ağzı kapatılır.[5] Şekil 1.28.'de bir ateşleme düzeni şematik olarak gösterilmiş olup şekil üzerindeki rakamlar aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 1.28. Derin Termal Stabilizasyon İçin Plan

1.4.7.2. Dondurma ile Stabilizasyon

Zeminlerin dondurulması, zemin özelliklerini olumlu yönde etkilediği, yüksek kayma direnci kazandırdığı bilinmektedir. Günümüzde, bu özellikten faydalanarak stabilite

sağlanması maliyetleri çok yüksek olmasına rağmen özel problemlerin çözümlenmesinde uygulanabilecek bir yöntemdir (Şekil 1.29.).

Dondurma yöntemi ilk olarak madencilikte shaftların açılması ve maden galerilerinin yapımında kullanılmıştır. Son yıllarda ise zeminin kendini kısa sürede olsa tutamayarak akma ve göçme eğilimi gösterdiği derin kazılarda, stabilite problemleri olan tünellerde yeterli kalınlıkta bir bölgenin dondurulması ile geçici olarak güvenliğin sağlanabilmesi için kullanılmıştır.

Donmuş zeminleri diğerlerinden ayıran en önemli fark, bünyedeki suyun aynı anda sıvı ve katı (buz) fazda bulunmasıdır. Su-buz oranı sıcaklık değişimlerine bağlı olmakla birlikte, çok düşük sıcaklık derecelerinde de bir miktar donmamış su zemin içinde bulunur. Kumlu zeminlerde 0 ile -0.5°C , killi zeminlerde 0 ile -5°C arasında suyun kolaylıkla faz değiştirmesi, zemin içindeki donmamış su ve buz oranına bağlıdır. Bu yüzden herhangi bir zeminde bu iki fazın sıcaklıkla değişimi, donmuş zeminin kayma mukavemetini etkiler. [7]

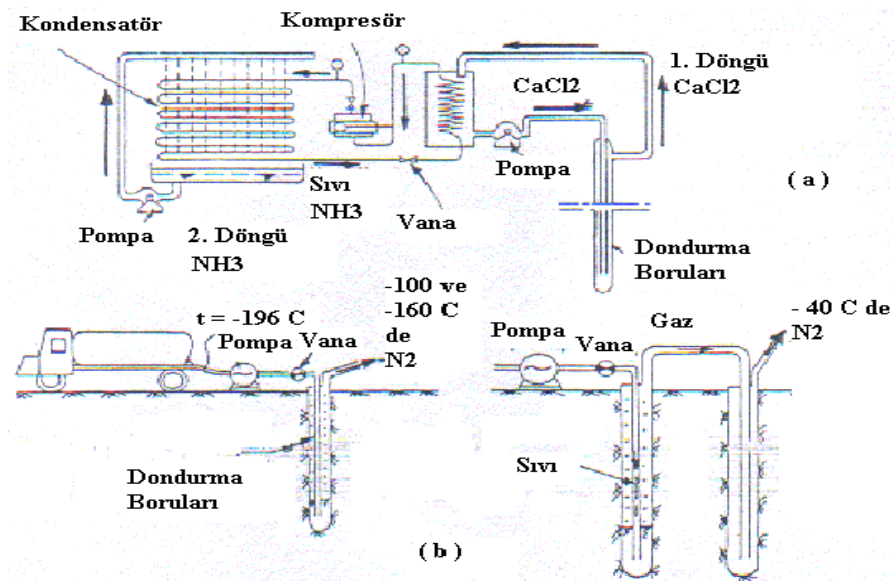
Sonuç olarak, kayma mukavemeti ve buna bağlı olarak deformasyon parametreleri zemin dondurma yöntemi ile iyileştirilebilir.

Genel kural olarak her ortamda dondurma uygulanabilir. Ancak bu işlemin ekonomik bedeli çoğu kez kabul edilemeyecek kadar yüksektir. İdeal uygulama yumuşak zemin koşullarında yer altı su seviyesinin altında ve 7-8 m. derinliklerde yapılır. Hareketli yer altı suyunda bu yöntem kesinlikle uygulanmaz. Yer altı suyu hareketi 2 m/gün'den fazla hareket ettiği ortamlarda oluşturulan buz duvarı tutunamayacağından dondurma çalışmaları başarısız olur.

Kompresörden 1,5 atmosfer basınçla gelen hava petrol tankına basılır. Yakıt filtreden süzülüp yakıt pompası ve giriş borusu ile kuyu içine verilir. Meme kuyu ağzındaki yanma odasına bağlıdır. Alev sondaj deliği içine yollandığı zaman oluşacak sıcaklık, hava - yakıt karışım oranına bağlıdır. 1,5-2,5 m. çapında, 8-10 m. derinliğinde bir bölgeyi stabilize etmek için 8-10 günlük yanma gerekmektedir. [7]

Dondurma yöntemin en önemli bölümü soğutucu sıvı ve sistemin seçilmesidir. Bu konuda yaygın olan üç tane soğuk üretim sistemi ve bu yöntemlerin arazide uygulanması genel olarak aşağıda özetlenmiştir.

- Amonyak, sirke ve tuzlu su (CaCl_2 veya MgCl_2) sirkülasyonu
- Basit CO_2 sirkülasyonu
- Donmaya benzer sıvı nitrojen ile yapılan teknik



Şekil 1.29. Dondurma Sistemleri

Bu sistemlerde sıfır derecenin çok altında soğutulmuş bulunan bir çözelti 0.5 ile 0.7 m/sn arasında bir hızla soğutucu boruların içerisinde geçirilir. Bu sıvı geniş bir boruda daha az bir hızla (3-5 cm/sn) yükselir ve zemini dondurur. Bu yolla oluşturulan buz duvar, su ve yüzücü kumun temel çukuruna girmesini önler. Buz duvarın oluşumu için iki ile üç aylık bir zaman gerekir.

Borulara soğukluğun aktarılmasında donma noktası düşük olan bir sıvı seçilir. Amonyakla -25°C , karbondioksitle -50°C değerine varan soğutma yapılabilir. Bu yöntem ile kazılmış temel çukurlarında beton dökmek, düşük ısı nedeni ile çok zor olup yüksek donma ısısına sahip özel çimentoların kullanılmasını gerektirir. [7]

1.5. Sonuç

Zemin iyileştirilmesi yöntemlerinde hedeflenen amaç taşıma gücünü artırma oturmalari azaltma ve varsa sıvılaşmaya karşı önlem almaktır. İyileştirme yöntemleri farklı şekillerde bu özelliklere olumlu yönde katkıda bulunmaktadır. Zemin koşullarına, teknolojiye ve iyileştirmede ağırlık kazanan özelliklere göre bu yöntemler günümüzde geliştirilerek uygulanmaktadır. Tezin bu bölümünde zemin iyileştirmesi gereken zeminler ve iyileştirme için günümüze kadar geliştirilmiş yöntemler detaylı bir şekilde anlatılmıştır.

2. BÖLÜM

JET GROUT YÖNTEMİ

2.1. Giriş Ve Yöntemin Tarihçesi

Günümüzde zemin içinde rijit kolonlar oluşturulması ile ilgili en yaygın kullanım alanı bulan yöntemlerden biri de jet grout yöntemidir.

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. [17]

Bu teknolojinin ilk uygulamalarında, kimyasal enjeksiyon yapılarak iyileştirilmemiş veya kısmen iyileştirilmiş zeminlerin su jeti etkisiyle parçalanması amaçlanmıştır. Daha sonra parçalanmış zemin bölgelerine çimento bazlı kimyasal karışımlar gönderilerek geçirimsiz bölgeler oluşturulmuştur. Daha sonraları 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 diğ., 2004).

Nakanishi ve şirketi (N.T.I.) 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. Karışımın

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. [17]

Bundan sonra, Yahiro ve arkadaşları hava jetiyle sarılmış bir su jeti sistemini jet grout çalışma sistemine eklemişlerdir. Örselenmiş zemin, hava jetiyle kopar ve oluşan boşluklar enjeksiyonla doldurulup karıştırılır.

Son yıllarda jet grout teknolojisi önemli ölçüde geliştirilmiştir. Çok yüksek basınçlı pompalar üretilmiş ve bunun sonucu yüksek enjeksiyon basıncına ve akış hızına ulaşılmıştır. Su-çimento karışım tesisleri modernleştirilmiştir. Bu gelişmeler sayesinde uygun olmayan bölge ve hava koşulları sorununun üstesinden gelinmiş, makinelerin güvenlik koşulları önemli ölçüde geliştirilmiş olup işlem için gereken iş gücü, hazırlık çalışmaları ve diğer işler için gereken süre azalmıştır.

Geoteknik müteahhit grupları tarafından lisansları alınarak 1970’li yılların sonu itibarıyla jet grout sistemi; Almanya, İtalya, Fransa, Singapur ve Brezilya başta olmak üzere dünya geneline yayılan bir yöntem olmaya başlamıştır (Xanthakos ve diğ., 1994).

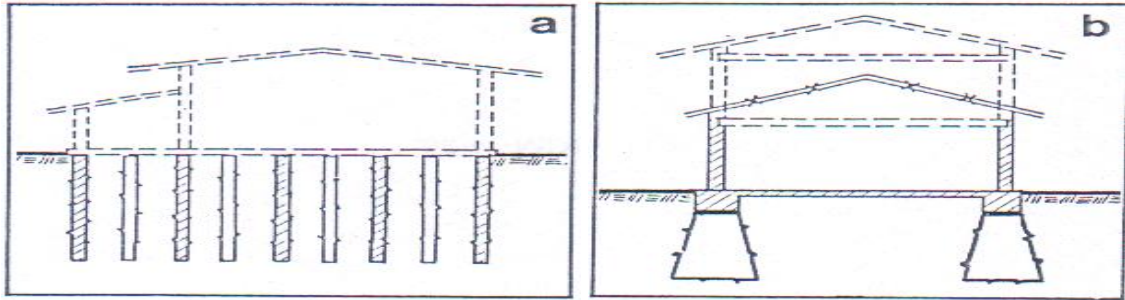
Günümüzde ise gelişen teknoloji ile enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon hızı arttırılmış, insan gücü ihtiyacı azalmış, hazırlık çalışmaları ve yapım aşaması süreler minimize edilmiş çok daha güvenilir ekipmanlarla jet grout yöntemi uygulamaları dünyanın birçok ülkesinde ve yurdumuzda yaygın olarak kullanılmaktadır. [18]

2.2. Jet Grout Yöntemi Uygulama Alanları

Jet grout uygulamaları farklı mühendislik problemlerinin çözümünde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

1. Zeminlerin İyileştirilmesi (Şekil 2.1.)

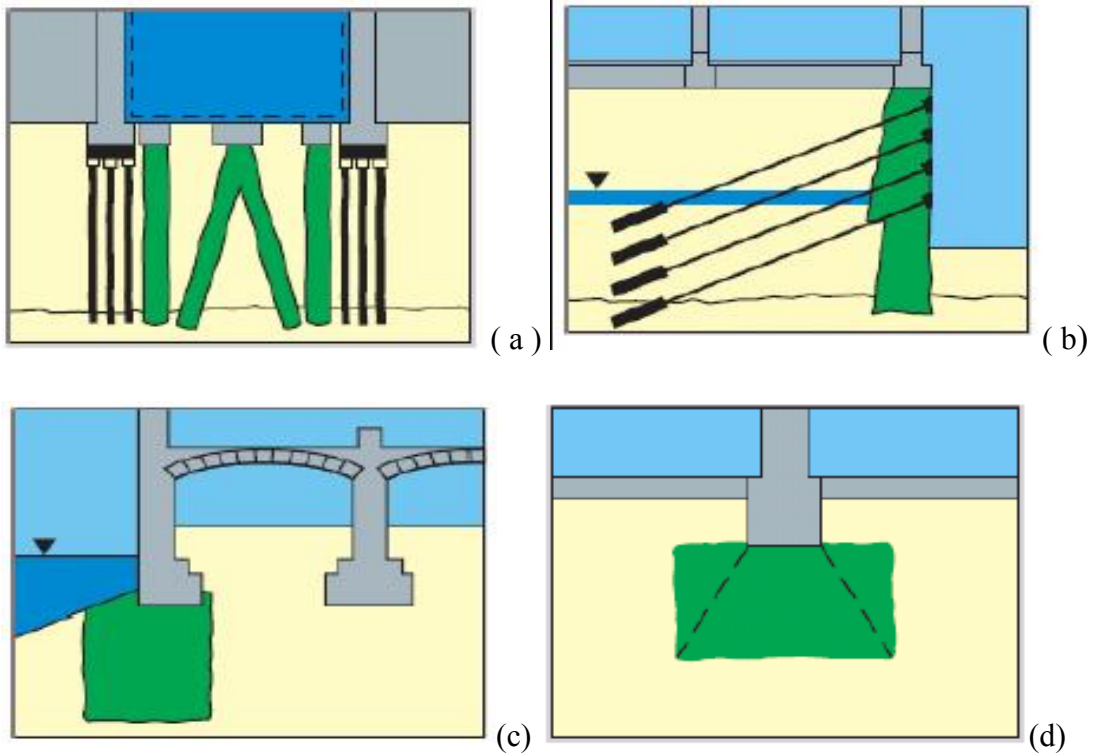
- Taşıma Gücü
- Oturma
- Sıvılaşma

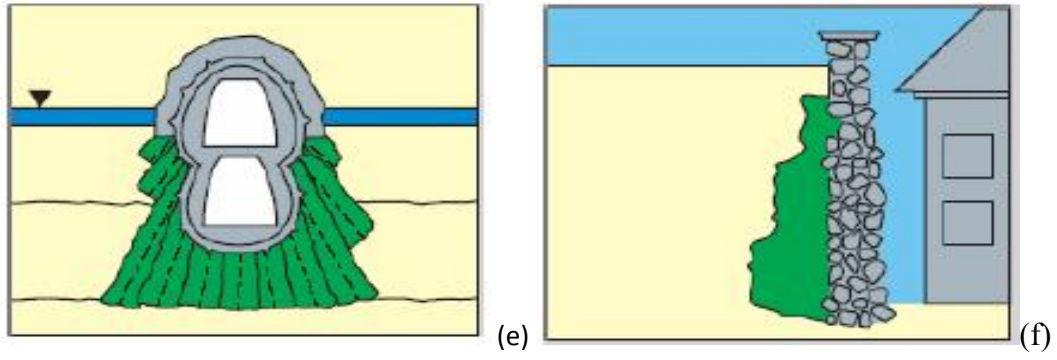


Şekil 2.1. Zeminlerin İyileştirilmesi

2. Yapı Yüklerinin Taşıtılması (Şekil 2.2.)

- Derin Temeller (a)
- Mevcut Temellerin İyileştirilmesi (b),(c),(d)
- Yapıların Güçlendirilmesi (e),(f)

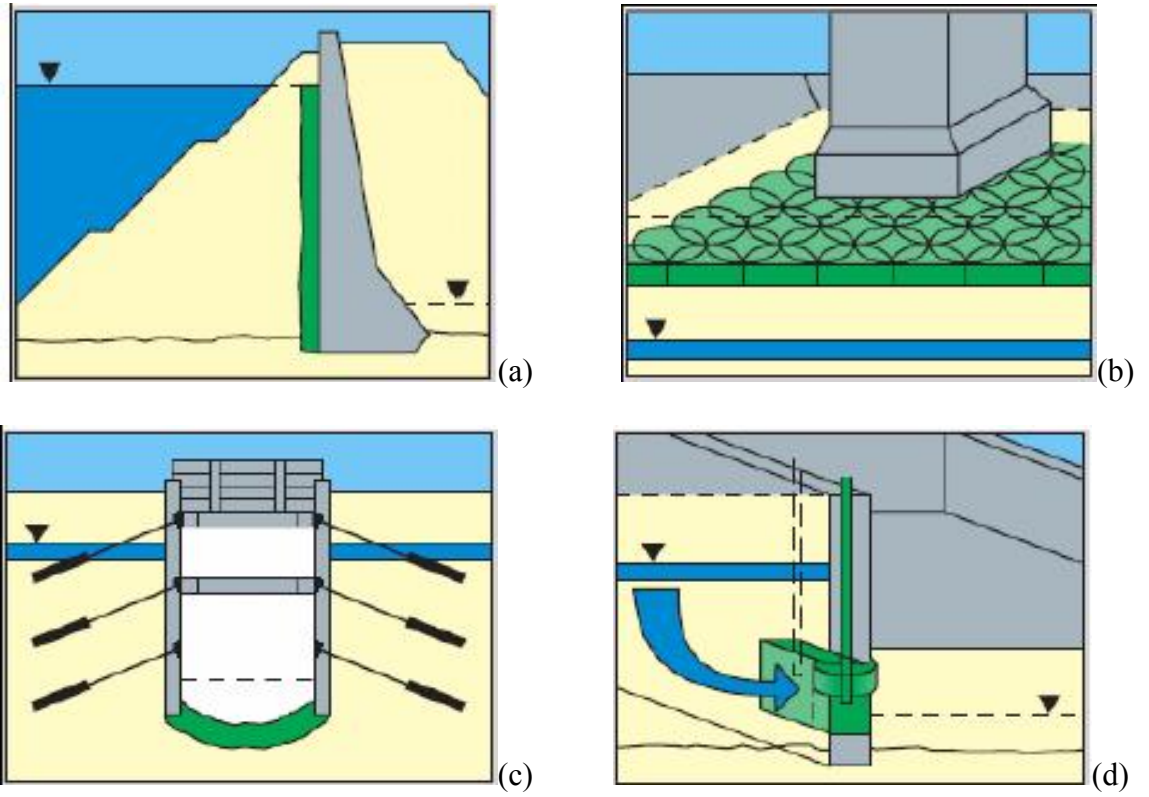


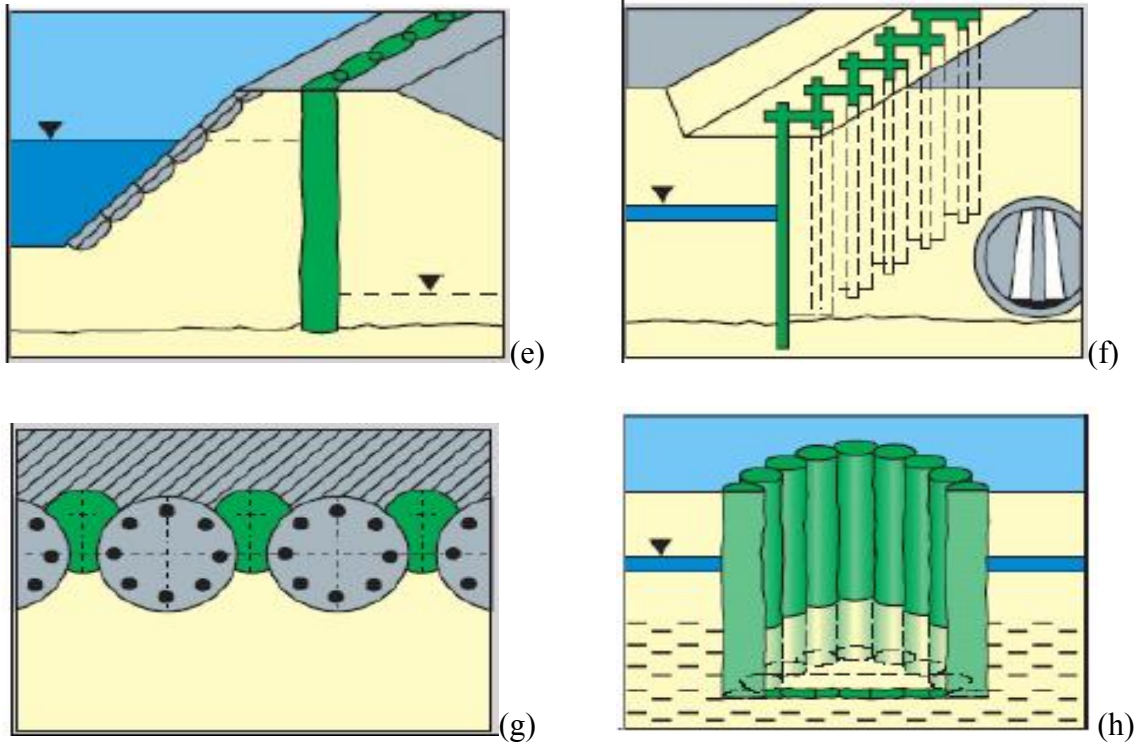


Şekil 2.2. Yapı Yüklerinin Taşınması [19]

3. Su İle İlgili Problemlerde (Şekil 2.3.)

- Geçirimsizlik Perdesi (a),(b),(c),(d)
- Diyafram Duvar (e)
- Kazıklar ve Perde Arası(f),(g)
- Batardo (h)

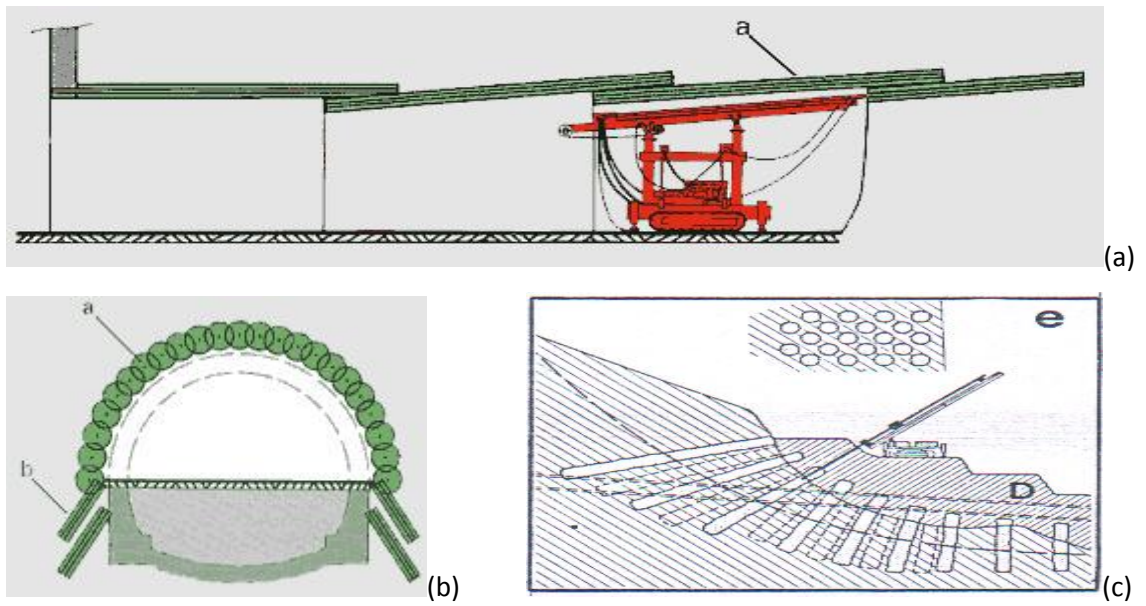




Şekil 2.3. Su İle İlgili Problemlerde [19]

4. Yatay Uygulamalar (Şekil 2.4.)

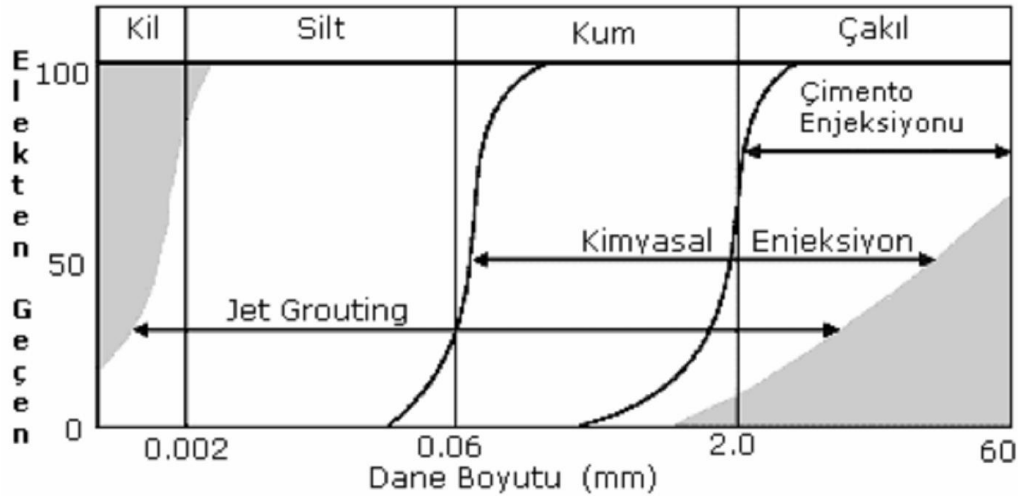
- Tünel Üst Cidarlarının Desteklenmesi (a),(b)
- Şev Stabilizasyonu (c)



Şekil 2.4. Yatay Uygulamalar [19]

2.3. Jet Grout Yönteminin Tasarım Esasları

Jet Grout yönteminin uygulanabildiği zeminler geniş bir yelpaze oluşturmakla birlikte gevşek kaba daneli, yumuşak ince daneli, organik ve turbalık zeminlerde uygulanması durumunda çok iyi sonuçlar vermektedir. Jet Grout yönteminin uygulanabildiği zemin aralığı Şekil 2.5.' de verilmiştir.



Şekil 2.5. Jet Grout Yönteminin Uygulanabildiği Zemin Aralığı

İyileştirilecek zeminde en güvenilir, ekonomik ve doğru iyileştirme yöntemini seçmek için elde edilmesi gereken bilgiler eksiksiz ve güvenilir kaynaklardan sağlanmalıdır. Bu bilgiler ışığında hesaplamalar gerçek verilere dayanarak titizlikle yapılmalıdır. Projeye başlamadan önce;

- Zemin hakkında ulaşılabilecek tüm bilgiler elde edilmeli,
- Üst yapının ne amaçla yapılacağı ve zemine aktarılabilecek yük bilinmeli,
- Taşıtılacak yüke ve zemin özelliklerine göre jet grout kolonlara gelen yük hesaplanır.
- Uygulamada kullanılacak Jet grout kolon boyu, çapı ve sayısı belirlenmelidir.

Bu yöntemin zemin iyileştirilmesi veya yapısal taşıyıcı eleman olarak tasarlanacağı konusundaki kararın ve tasarım için önemli olan aşağıdaki özelliklerin belirlenmesi gerekmektedir;

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

Jet kolonlarının yapısal taşıyıcı eleman olarak kullanılması durumunda rijit kolonlar sağlam zemin içerisine girerek, üst yapıdan gelen tüm yük güvenli bir şekilde sağlam tabakalara aktarılmış olur. Diğer bir yandan kolonlar sağlam olmayan bir zemin içerisinde sonlanıyorsa yani sağlam tabakaya girmiyorsa kolonlar üst yapıdan gelen yükün büyük bir kısmını taşımakla birlikte yükün bir kısmı da sağlam olmayan zemin tarafından taşınır ve bu durumda jet kolonlar zemin iyileştirme amacı ile kullanılmış olur. Oturmalar bu iki duruma göre farklılık gösterebilir. [20]

Jet kolonlarının yük hesabına ilişkin örnek Bölüm 3.4.1.' de yer almaktadır.

2.4. Jet Grout Yönteminin Uygulanması

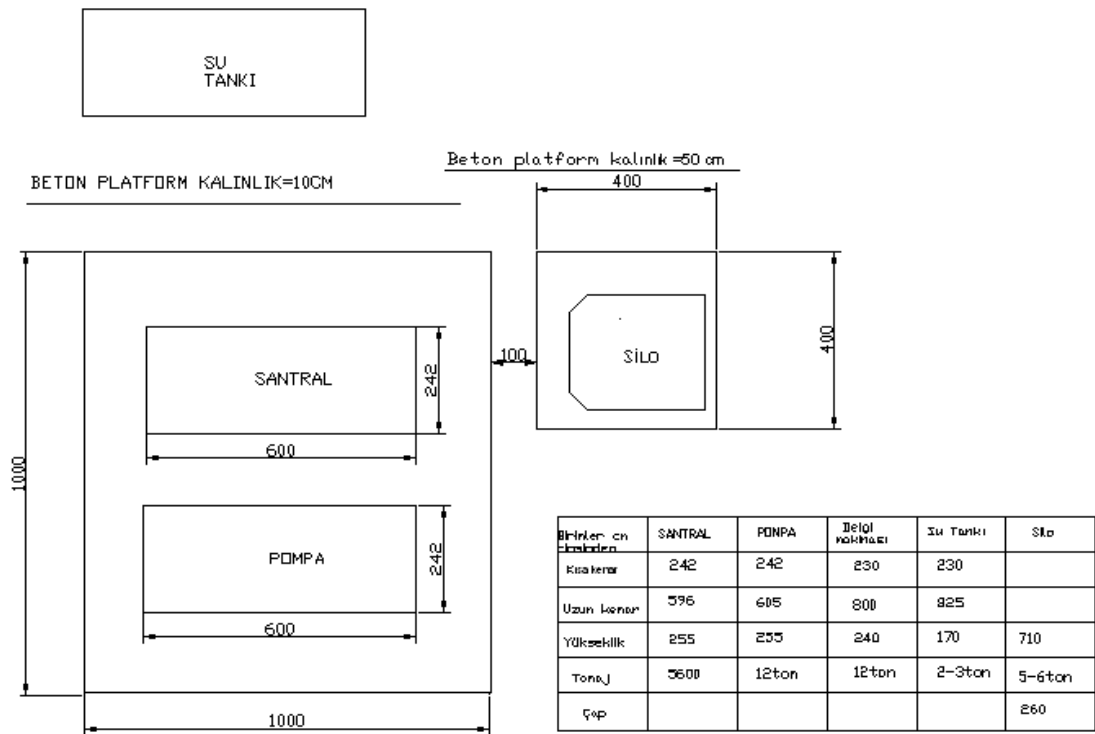
Jet Grout yönteminde zemin içinde 90 mm çaplı bir delik açılarak istenilen derinliğe erişilir. Sonra delgi borusu kendi etrafında dönerek yukarıya doğru çekilirken basınçlı çimento-su karışımı püskürtülerek zemin parçalanıp yanlara itilir. Bu şekilde meydana gelen boşlukta çimento-su ve çok az da zemin içeren bir kolon oluşturulur.

Jet Grout yönteminin uygulanmasında saha hazırlıkları sonrasında ki işlemler delgi ve enjeksiyon olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilir. Uygulama için Türkiye’de ki mevcut yönetmelik “TS EN 12716 Özel Geoteknik Uygulamalar – Jet Enjeksiyon” yönetmeliğidir. [21] Uygulama öncesi saha hazırlıkları ve uygulama safhaları aşağıda verilmiştir;

• Saha Hazırlıkları

1. Uygulamaya başlamadan önce inşaat sahası ve yolları, makine ve personelin verimli çalışmasına engel olmayacak şekilde düzenlenmeli bunun yanında düzgün ve kuru tutulmalıdır. [21]

2. Proje kapsamındaki Jet Grout perdesi eksenli boyunca jet grout makine ve ekipmanlarının yerleştirilebileceği uygun alanlar oluşturulmalıdır. Bununla ilgili örnek bir yerleşim planı Şekil 2.6.'da verilmiştir.
3. Her bir jet grout delgi noktası, projede belirtilen konumuna göre hassas bir şekilde tespit edilmeli ve işaretlenmelidir. [22]
4. Çalışma sahası; delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve iş makinelerinin sağlıklı çalışmalarına imkan verecek şekilde düzeltilmelidir. Gerektiğinde delme işini zorlaştırmayacak uygun malzemelerle dolgu yapıp sıkıştırılabilir. [22]



Şekil 2.6. Saha İçerisindeki Jet Grout Ekipmanları Yerleşimi [23]

- Delgi İşlemi

1. Delme işleminin yöntemi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak belirlenir.

2. Delgi sırasında, sorunsuz bir şekilde çalışılabilme açısından, kuyu ağzının yer altı su seviyesinin üzerinde olması tercih edilir.
3. Delme işleminin kolaylaştırılması ve uç takımının soğutulması amacıyla delme sırasında su, hava, bentonit şerbeti, çimento şerbeti gibi çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır. [21] (Şekil 2.7.)
4. Yumuşak karakterli zeminlerde uç takımı olarak genellikle kil bitleri, sert karakterli zeminlerde ise "tricone" bitler kullanılmaktadır. [21]
5. Delgi noktası aksi belirtilmediği takdirde proje üzerinde belirtilen konumundan 5 cm'den fazla sapmamalıdır.
6. Delgi noktasının teorik eksenden sapması 20 m derinliğe kadar en fazla %2 olmalıdır.
7. Ön jet enjeksiyon hazırlık aşamasında yeraltında tahmin edilemeyen engellere rastlanması durumunda enjeksiyon yapılmadan önce uygun tedbirler alınması için proje müellifi uyarılmalıdır. [22]





Şekil 2.7. Delgi İşlemi ve Delgi Aşamasında Kullanılan Su

- Enjeksiyon İşlemi (Şekil 2.8.)
1. Jet enjeksiyon işlemi, uygun eğitim almış ve bilgili personel vasıtasıyla yapılmalı ve kontrol edilmelidir.
 2. Projede belirtilen derinliğe inildiğinde delme ve enjeksiyon basma işlemi durdurulur.
 3. Yüksek basınçlı enjeksiyon malzemesinin pompalanmaya başlanması ile enjeksiyon fazına geçilir.
 4. Delici takımın dönme hareketi, deneme kazıkları ile önceden belirlenmiş sabit hızla yapılan çekme hareketi ile birleşince düşey jet kolonları meydana gelir.
 5. Projede belirtilen jet grout üst kotuna kadar zemine çimento enjeksiyonu yapılmaya devam edilir.
 6. Enjeksiyon sonlandırılırken, delici takımın etrafından dışarıya belirli bir miktar zemin materyali taşması uygun görülür. [22] (Şekil 2.9.)



Şekil 2.8. Enjeksiyon İşlemi



Şekil 2.9. Enjeksiyon İşlemi Sonrası Uygulamadan Bir Görüntü

2.5. Jet Grout Çalışma Parametreleri

Jet Grout çalışma parametreleri; zemin özelliklerine, kolon çapına, kolonunun taşıma kapasitesine ve uygulanacak jet grout yöntemine göre belirlenir. Jet grout kolonunun imalatına başlanmadan önce farklı çalışma parametreleri denenerek test kolonları imal edilmektedir. Test kolonlarının yapım amacı; zemin yapısına uygun hedeflenen kolon çapının elde edildiği çalışma hızlarına karar vermek, kolonda devamlılığın sağlandığını gözlemlemek ve yapım tekniği ile ilgili ekonomik olan ölçütleri belirlenmektir. [21]

Çalışma parametrelerini etkileyen faktörler;

- Enjeksiyon basıncı
- Dönme ve çekme hızı
- Nozul
- Dozaj

olarak verilebilir. [18]

Tablo 2.1. Jet Grout Yöntemi İmalat Parametreleri (Lunardi, 1977)

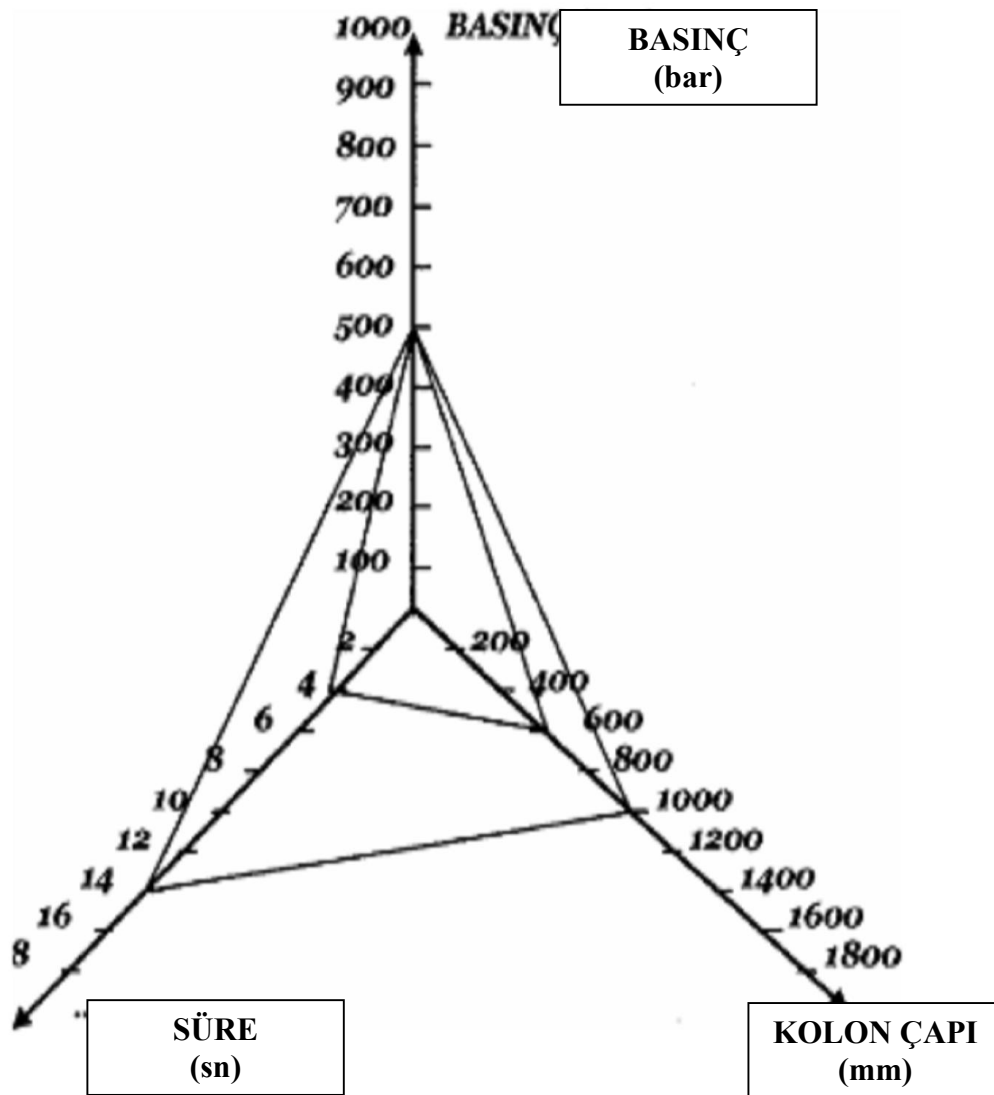
SİSTEM	ENJEKSİYON TİPİ	BASINÇ	NOZZLE ADEDİ ve ÇAPI	ÇEKME HIZI	DÖNME HIZI	SU / ÇİMENTO ORANI	POMPA KAPASİTESİ
		(bar)	(adet, mm)	(cm/dak)	(rpm)	-	(lt / dak)
JET 1	Çimento	400 - 550	1 - 2 x 2 - 5	15 - 100	5 - 15	1,0 - 1,5	70 - 600
JET 2	Çimento	400 - 550	1 - 2 x 2 - 5	10 - 30	4 - 8	1,0 - 1,5	70 - 600
	Hava	10 - 12	-	10 - 30	-	-	4000 - 10000
JET3	Çimento	50 - 100	1 - 2 x 4 - 5	6 - 15	4 - 8	1,2 - 1,5	80 - 200
	Hava	10 - 12	-	6 - 15	-	-	4000 - 10000
	Su	-	-	6 - 15	-	-	40 - 100

2.5.1. Enjeksiyon Basıncı

Enjeksiyon basıncı, istenilen kolon çapının elde edilmesinde uygulanacak en temel faktör olup, basınç ile kolon çapı genellikle doğru orantılıdır. [18] Basınç, bekleme süresi ve kolon çapı arasındaki ilişki Şekil 2.10.'da verilmiştir.

Enjeksiyon basıncını aldığı değerlere göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Düşük basınç : 200 - 250 bar
- Orta basınç : 300 - 400 bar
- Yüksek basınç : 400 - 700 bar



Şekil 2.10. Basınç - Bekleme Süresi - Kolon Çapı İlişkisi
(Melegary ve Garassino, 1997)

2.5.2. Dönme ve Çekme Hızı

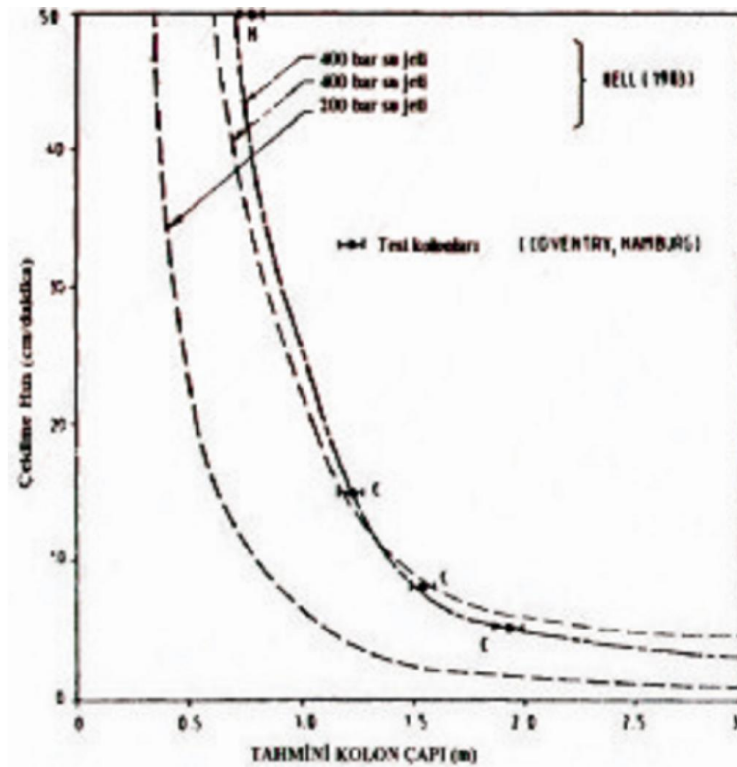
Enjeksiyon yapılacak zeminin, enjeksiyonla istenilen bağlayıcılığı sağlayabilmesi için etkili olan maddeler içerisinde tijin dönme hızı ve çekme hızı da yer almaktadır.

Zeminde homojen bir kolon elde edilebilmesi için, tijin dönüş hızı yavaş ve çekiş hızı ise oluşturulan kolonun sürekliliğini sağlayacak şekilde olmalıdır.

Çekme hızı, zeminin özelliklerine ve birim hacme enjekte edilecek grout miktarına bağlıdır. Bu iki parametre arasında ki ilişki aşağıdaki verilmiştir:

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

Jet enjeksiyon tekniği, dönme ve çekme hızını etkileyen bir diğer faktördür. İyileştirme yapılacak zeminde, Jet1 tekniğinde kolon oluşturma süresi Jet2 ve Jet3 tekniğine göre daha az zaman almakta olup bu da hızları etkilemektedir. Dönme hızı 10-20 devir/dakika arasında bir değer alırken pek rastlanmasa da 30 devir/dakika olabilmektedir. Tahmini kolon çapı ile tijin çekim hızı arasındaki ilişki Şekil 2.11.'de gösterilmiştir. [18]



Şekil 2.11. Tahmini Kolon Çapı ile Tijin Çekim Hızı Arasındaki İlişki

2.5.3. Nozullar

Nozullar, jet enjeksiyon yönteminin verimliliğini etkileyen bir faktör olmakla birlikte, uygulanacak jet tekniğine göre sayıları değişmektedir. Jet1 tekniğinde bir yada iki nozul kullanılabilirken Jet2 tekniğinde bir nozul kullanılmaktadır. (Şekil 2.12.)



Şekil 2.12. Nozul

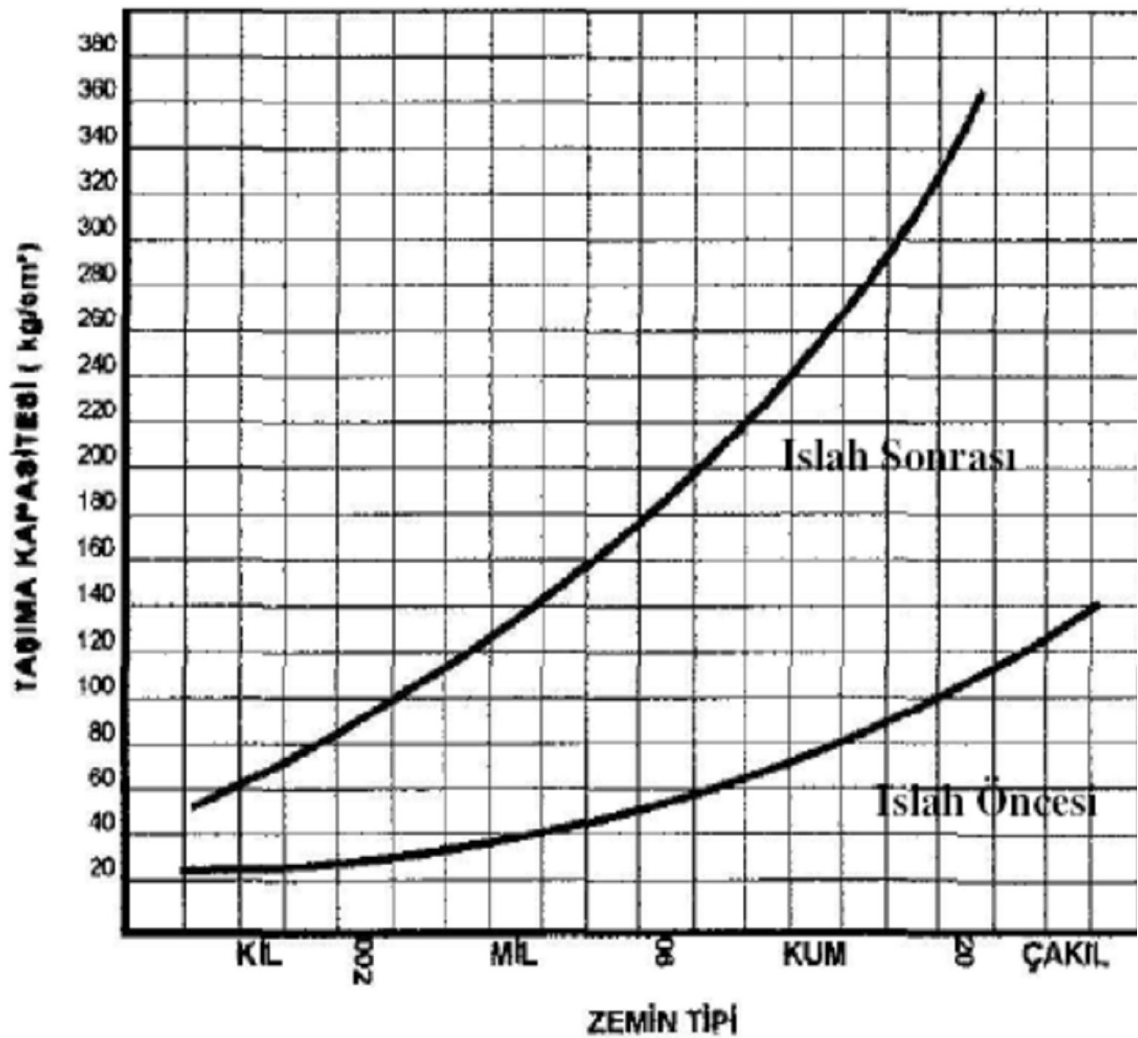
Enjeksiyon harcının debisi ve enerjisi ile enjeksiyon basıncı arasındaki bağı nozullar sağlamaktadır. Enjeksiyon harcının yayılması, nozul çapı küçüldükçe artmaktadır. [18] Bu ilişki Tablo 2.2. de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Enjeksiyon Debisi / Nozul İlişkisi

SU/ÇİMENTO =1							ENJEKSİYON ÖZGÜL AĞIRLIĞI = 1,52				
NOZZLE ÇAPLARI (mm)											
	1.4	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8	3.0	3.2	3.5	4.0	4.5
NOZZLE'LARDAN ENJEKSİYONUN ÇIKIŞI											
BASINÇ	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/dak	lit/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

2.5.4. Dozaj

Jet grout yönteminde enjeksiyonun hazırlanması için gerekli su-çimento oranı genellikle 1,0' dir. Bu oran seçilen jet grout tekniğine ve hedeflenen kolon mukavemetlerine göre değişebilir. Fakat su/çimento oranının 0,7' nin altına düşmesine izin verilmez. [21] Farklı tip zeminlerde jet grouting öncesi ve sonrası taşıma kapasitesinin değişimi ilişkisi Şekil 2.13. de gösterilmiştir.



Şekil 2.13. Farklı Tip Zeminlerde Taşıma Kapasitesinin Değişimi
(Melegary -Garassino, 1997)

2.6. Jet Grout Uygulama Yöntemleri

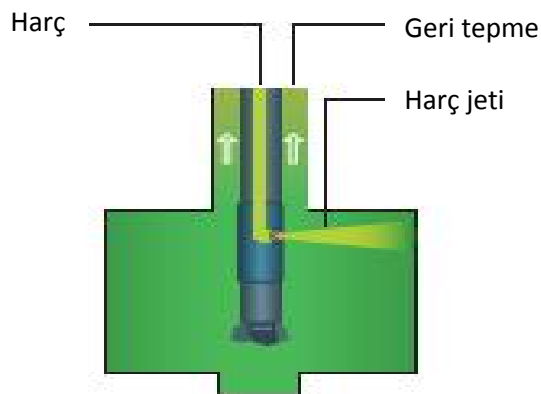
Jet Grout uygulama yöntemleri, yük ve zemin koşullarına, işin hızına bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu amaçla farklı teknikler geliştirilmiş olup bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır;

1. Tek Akışkanlı Yöntem (Jet1)
2. Çift Akışkanlı Yöntem (Jet2)
3. Üç Akışkanlı Yöntem (Jet3)
4. Süper Jet

2.6.1. Tek Akışkanlı Yöntem (JET1)

Tek akışkanlı jet grout yöntemi (JET1), jet sistemleri arasında en basit olanıdır. Zemindeki jet kolonu oluşumunun, genellikle çimento şerbeti ile sağlandığı ve tek bir akışkanın yüksek enerji ile uygulandığı jet enjeksiyon işlemidir. [21] (Şekil 2.14.)

Bu yöntemde; uygulama hızı yaklaşık 200 m/sn olup uygulanan basınç ise 300–600 kg/cm² arasında değişmektedir. Oluşan kolon çapları zemin cinsine ve seçilen parametrelere göre değişiklik gösterir. Killi zeminlerde 600-800 mm, kumlu-çakıllı zeminlerde ise yaklaşık 1000 mm çapında jet kolonları oluşturulabilir. [24] Oluşturulmuş bir jet kolonu Şekil 2.15. de gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Tek Akışkanlı Yöntem (JET1) [19]

JET1 yönteminin uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Geçirimsizlik perdesi uygulamaları
- Zeminde açılan tünellerde tavan blok bölgesinin güçlendirilmesi
- Yumuşak zeminde derin kazıların desteklenmesi
- Ankrajlar



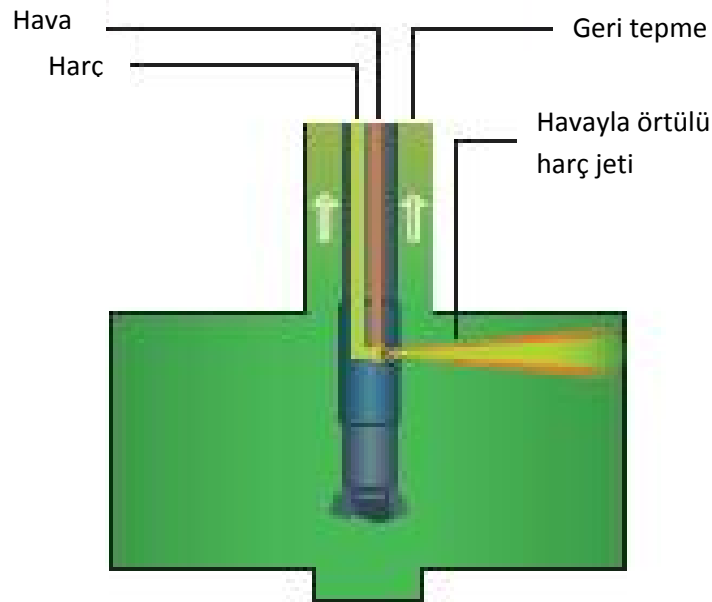
Şekil 2.15. JET1 Yöntemi Kullanılarak Oluşturulmuş Kolon

2.6.2. Çift Akışkanlı Yöntem (JET2)

Çift akışkanlı yöntemde (JET2), delme işlemi çift çeperli bir boru takımı ile gerçekleştirilirken, akışkan olarak hava ve çimento şerbeti kullanılır. (Şekil 2.16.)

Bu yöntemde en içteki cidardan jet enjeksiyonu geçerken, dış cidar ile iç cidar arasındaki boşluktan ise kompresörle üretilen 5-12 bar basınçlı hava sürüklenmektedir.

Hava ve jet enjeksiyonu püskürtme uçlarından aynı anda zemin ile buluşmaktadır. Basınçlı hava, JET1 yöntemindeki sürtünmeden kaynaklanan kinetik enerji kayıplarını kısmen azalttığı için, bu yöntemle oluşan kolon çapları JET1'e kıyasla %60 - %80 oranında daha büyüktür. [17] Elde edilen zemin-çimento karışımının mukavemeti ikili sistemde diğer sistemlerden daha düşük olmaktadır. Bunun nedeni ise Jet2 sisteminin önemli bir dezavantajı olan enjeksiyon uygulandığında zeminin hava içeriğinin artmasıdır. [24] JET2 tekniği ile oluşturulan bir jet kolon örneği Şekil 2.17. de gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Çift Akışkanlı Yöntem (JET2) [19]

JET2 yönteminin uygulama alanları aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Zemin iyileştirmesi
- Temellerin takviyesi
- Panel geçirimsizlik perdeleri
- Yumuşak zeminde derin kazıların desteklenmesi



Şekil 2.17. JET2 Yöntemi Kullanılarak Oluşturulmuş Bir Kolon

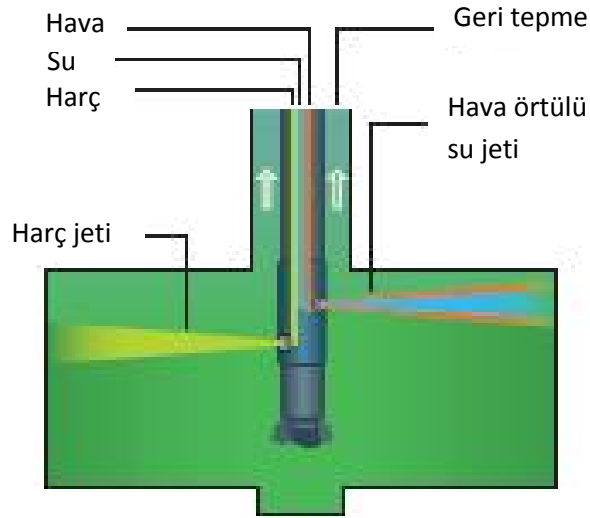
2.6.3. Üç Akışkanlı Yöntem (JET3)

Üç akışkanlı yöntemde (JET3), jet kolonlarının oluşmasında hava, su ve jet enjeksiyonunu birlikte kullanılır. (Şekil 2.18.)

Bu yöntemde iç içe üç borulu takım kullanılır. Ortadaki borudan 400 - 600 bar basınçlı su, ara borudan 8-12 bar basınçlı hava, en dış borudan ise 30-80 bar basınçlı jet enjeksiyonu, su - hava karışımı içine enjekte edilmektedir. Hava ve su aynı püskürtme ağzından, jet enjeksiyonu ise farklı bir püskürtme ağzından zemine gönderilmektedir. JET3 yöntemi kohezyonlu zeminlerde en etkili halini alırken, bu yöntemle oluşan kolonlar 2 metre çapa kadar ulaşmaktadır. [24]

JET3 yönteminin uygulama alanlarını aşağıda ki gibi sıralayabiliriz;

- Temel takviyesi ve kazı desteği
- Döşeme / yeraltı suyu kontrolü
- Panel geçirimsizlik perdeleri
- Geçirimsizlik uygulamaları
- Çoğu ince daneli zeminlerin stabilizasyonu



Şekil 2.18. Üç Akışkanlı Yöntem (JET3) [19]

Jet3 yöntemi ile oluşturulan kolon Şekil 2.19.'da gösterilmiştir.

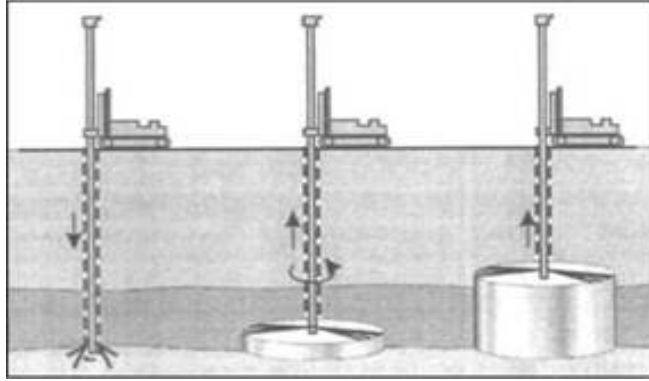


Şekil 2.19. JET3 Yöntemi Kullanılarak Oluşturulmuş Bir Kolon

2.6.4. Süper Jet Yöntemi

Süper jet yöntemi, diğer yöntemlerle elde edilemeyecek büyük çaptaki kolonları oluşturma ihtiyacı ve bu ihtiyacın düşük maliyetlerle sağlanabilmesi amacıyla ortaya çıkmış bir yöntemdir. (Şekil 2.20.)

Bu yöntemde büyük çaplı kolonlar elde edebilmek için tijlerin dönme ve çekme hızları diğer jet yöntemlerine göre çok yavaştır. Uygun rotasyon ve kaldırma parametreleri ile 5 metre çapa kadar jet kolonlarının oluştuğu kanıtlanmıştır [21] (Şekil 2.21.).



Şekil 2.20. Süper Jet Enjeksiyon İşlemi

Süper jet yöntemi;

- Kolonların birbirine bağlanmasıyla yapıların yatay ve düşey desteklenmesi,
- Yer altı suyunun izole edilmesi,
- Sıvılaşmaya uygun zeminlerin stabilizasyonu,
- Tünel inşaatları sırasında karşılaşılan yumuşak zeminlerin stabilizasyonu,
- Yenileme ve modifikasyon için derin altyapı sistemlerinin güvenliği,

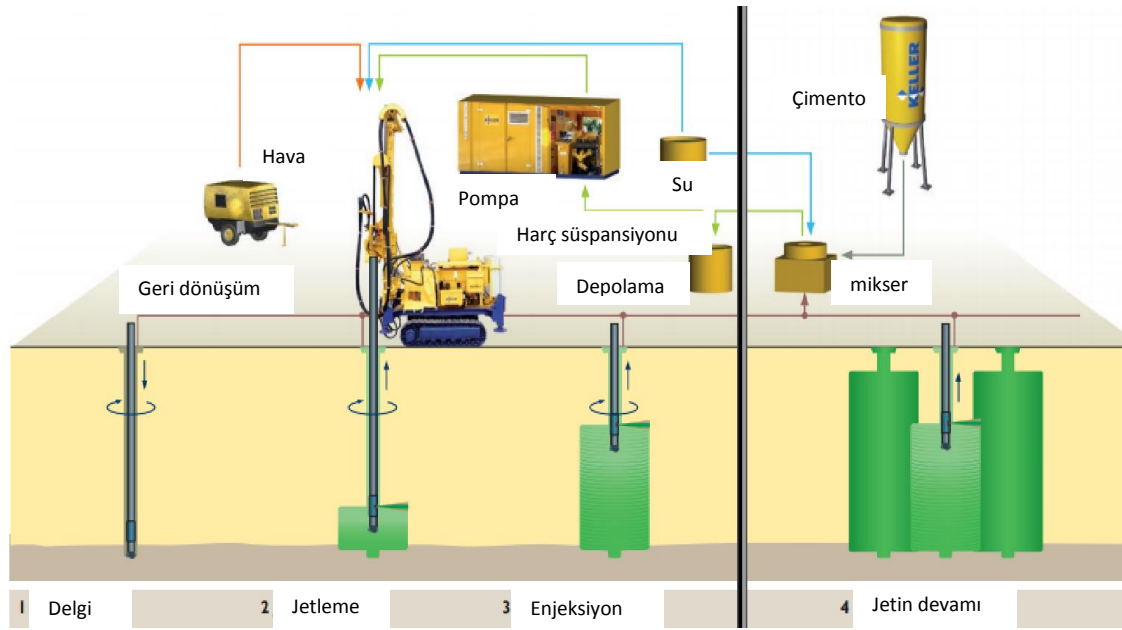
gibi amaçlarla kullanılmaktadır.[22]



Şekil 2.21. Süper Jet Kolonlar

2.7. JET GROUT UYGULAMA EKİPMANLARI

Jet grout kolonu bir dizi makine ve yardımcı ekipmanlarının kullanılmasıyla oluşturulmaktadır. Jet Grout kolon oluşturulması ve ekipmanlarla ilgili gösterim Şekil 2.22.'de verilmiş olup bu ekipmanlarla ilgili genel bilgiler aşağıdaki başlıklar altında kısaca anlatılmıştır.



Şekil 2.22. Jet Grout Kolon Oluşumu ve Ekipmanları [19]

2.7.1. Delgi Makinesi

Delgi makinesi; jet grout kolonu oluşturulması amacıyla yapılacak delgiyi gerçekleştiren makine olup aynı zamanda genellikle sondaj makinesi işlevi de görmektedir. Her türlü arazi koşullarında hareket kolaylığını paletli yürüme takımıyla rahatlıkla sağlamaktadır. Önceden belirlenen dönme ve aktarma hızlarında ilerlemek için; jet enjeksiyon tiji, monitör, su başlığı ve püskürtme ağzı ile donatılmıştır. [17] Şekil 2.23.'de delgi makinesi, Şekil 2.24.'de ise ekipmanlar gösterilmiştir.

Tijler; delgi esnasında içinden su, jet grout kolonu oluşturulması sırasında ise yüksek basınçlı enjeksiyon geçirir. Monitör, adaptör takımını ve delgi ucunu istenen proje kotuna kadar inmesini sağlar. Jet grout kolon oluşturma yöntemlerine göre su başlığı ve tijler tek, çift veya üç cidarlı olabilir.

Monitör adaptör takımı; delgi makinesine bağlı bulunan su başlığı ve tij sisteminin son halkasını oluşturur. Bu ekipmanın en uç noktasına da delgi ucu takılmaktadır. Monitör jet grout kolonu oluşturma yöntemlerine göre tıpkı su başlığı ve tijlerde olduğu gibi tek, çift veya üç cidardan oluşabilmektedir.



Şekil 2.23. Jet Grout Delgi Makinası

Su başlığı; bir ucu enjeksiyon pompasına bağlı yüksek basınçla dayanıklı hortumların delgi makinesindeki tijler ile bağlantısını sağlayan hareketli bir başlığa sahip bir çeşit adaptördür.



Şekil 2.24. Jet Grout Delgi Makinası Ekipmanları

Püskürtme ağzı; milimetre mertebesinde elmas cıdarlı küçük bir deliktir. Monitör üzerinde bulunan yuvalara birbirleriyle 180°'lik açıda ve düşeyde 4'er cm kot farkıyla monte edilirler. Bir monitör üzerinde en az iki adet püskürtme ağzı yuvası bulunmaktadır. Püskürtme ağzı çapları genellikle 1,6 mm ile 3,0 mm arasındaki çaplardan seçilerek kullanılır.[17]

2.7.2. Pompa Ünitesi

Pompa ünitesi, enjeksiyon karışımını istenen çapta jet grout kolonu oluşturabilecek basınçta uygulayan ekipmandır. (Şekil 2.25.) Jet grout kolonlarının yapımında 60 MPa (600 bar) da 150-450 lt/dk. arasında çimento harcı basabilen ve sekiz saate kadar sürekli çalışabilen pompalar kullanılmaktadır. (Kauschinger vd., 1992) Üretilen basıncın sürekliliği piston takımlarının koordineli emme ve basma hareketi yapması ile sağlanır.[21]



Şekil 2.25. Jet Grout Pompa Ünitesi

2.7.3. Karışım Ünitesi

Karışım ünitesi, jet grout kolon uygulamalarında kullanılan enjeksiyon karışımını istenen su/çimento oranında hazırlamayı sağlayan mikser ve dinlendiriciden oluşur.[25] (Şekil 2.26.) Ayarlanan oranlara göre otomatik olarak çimento ve su miksere aktarılırken karıştırma işlemi de başlatılır. Karıştırılan enjeksiyon maddesi dinlendirilmek üzere dinlendirme kazanına aktarılır. Monitörde komut verilerek enjeksiyon pompa ünitesi tarafından emilerek zemine yüksek basınçla gönderilir.



Şekil 2.26. Jet Grout Karışım Ünitesi

2.7.4. Çimento Silosu

Farklı kapasitelere sahip dökme çimento depolayabilen ve mikser ünitesini yeterli düzeyde besleyecek kapasitede çimento silosu ve konveyörü ekipman sisteminde yer alan ilk ünitelerdir. [25] (Şekil 2.27.)



Şekil 2.27. Jet Grout Çimento Silosu

2.8. Kontrol Ve Testler

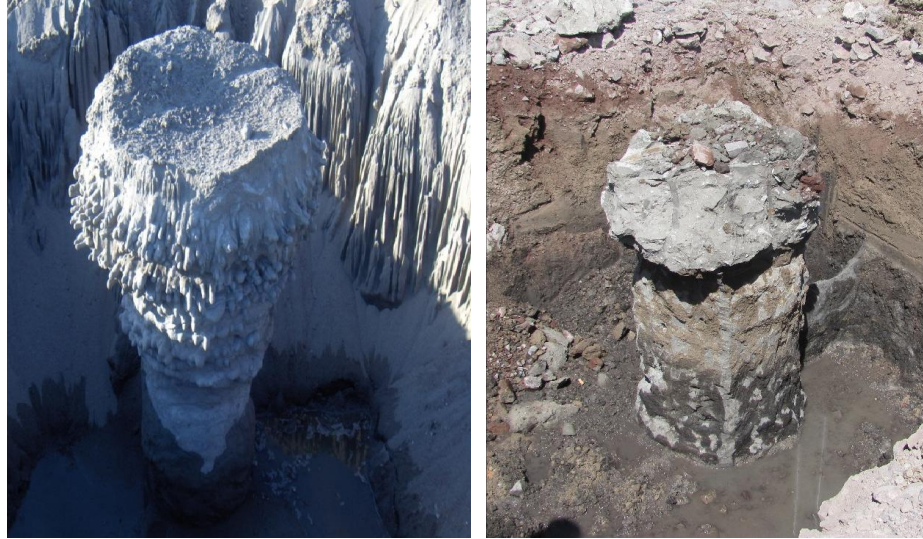
Arazide uygulama öncesi ve sonrasında imalatı tamamlanmış olan jet kolonları proje değerlerine uygun imal edilip edilmediğinin kontrolleri için arazi ve laboratuvarında bir seri testler uygulanır. Uygulanan test sistemleri ile ilgili bilgiler aşağıda özet olarak sunulmuştur.

2.8.1. Deneme Kazıkları ve Çap Kontrolü

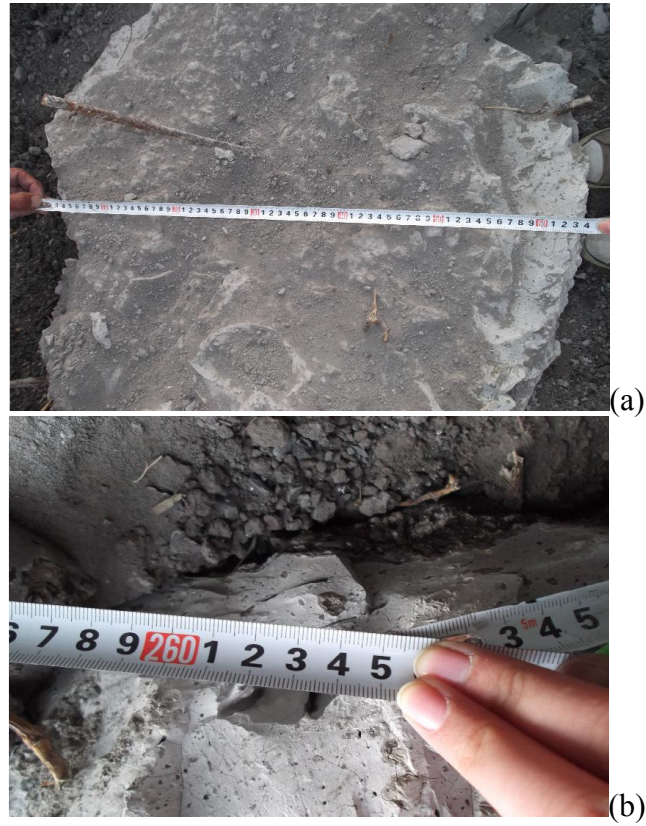
Kontrol ve testler kapsamında ilk aşama deneme kazıklarının yapılması ve çap kontrolüdür. (Şekil 2.28. ve Şekil 2.29.)

Projeyi sahaya uygulamadan önce hesaplanan değerlerde ki kolon çapının iyileştirilecek zeminde hangi parametrelerce meydana getirilebildiğini belirlemek için uygulama sahasının uygun bir yerinde deneme kolonları imal edilir. Bu kolonlar, aynı jet sisteminde enjeksiyon basıncı ve çekme süresi değiştirilerek belirlenir. Deneme kazıklarının etrafı belirli bir priz süresi sonunda açıldıktan sonra kazıkların çevresi

ölçülerek çap kontrolü yapılır. Hedeflenen çapa uygun parametreler bu şekilde belirlenir ve bu değerlere göre imalata geçilir.



Şekil 2.28. Farklı Zemin Türlerindeki Deneme Kazıkları



Şekil 2.29. Çap Kontrolüne Örnekler (a),(b)

2.8.2. Karot Numunelerinin Alınması

Jet sistemi araziye uygulandıktan 28 gün (priz alma süresi) sonra Jet kolonlarından karot numuneleri alınarak (Şekil 2.30.) serbest basınç deneyi yapılır. (Şekil 2.31.) Böylece kolonların basınç dayanımı elde edilerek hedeflenen mukavemet değerlerine ulaşılıp ulaşılmadığı kontrol edilir ve bu değerlerin kolonlara gelen yükleri belli bir emniyet faktörü ile taşıdıkları sonucu ortaya koyulmalıdır. [26]



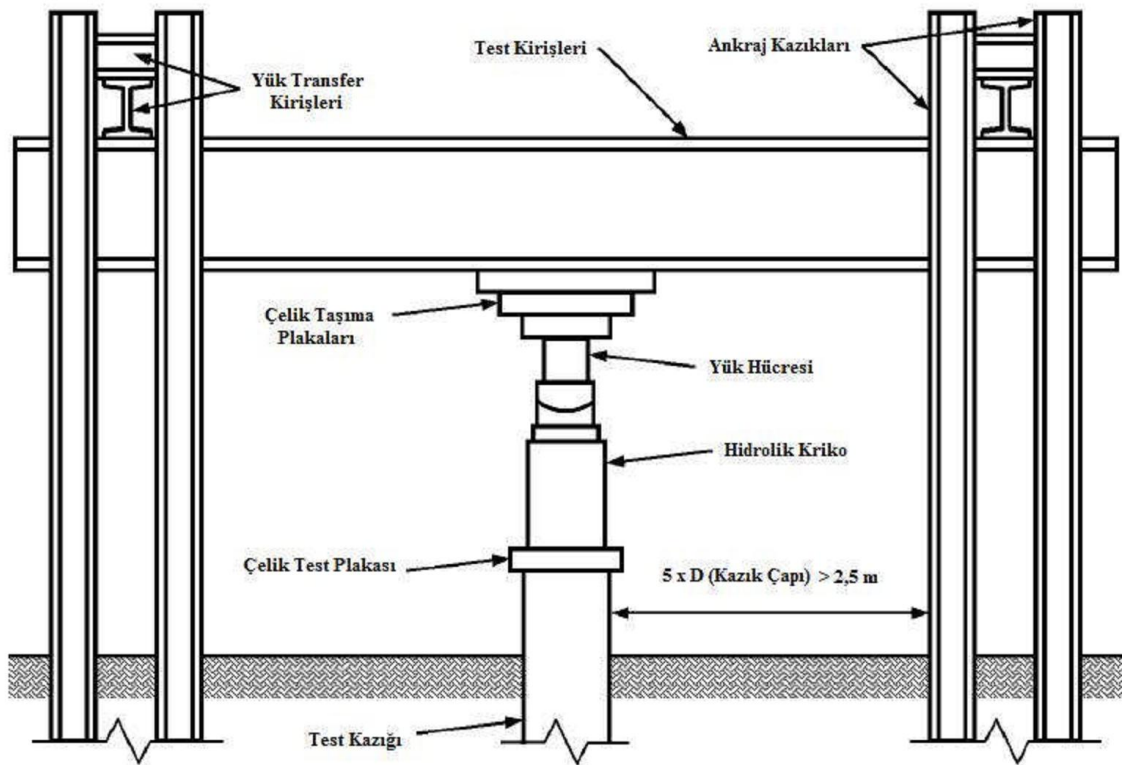
Şekil 2.30. Karot Numunelerinin Alınması



Şekil 2.31. Karot Numuneler Üzerinde Serbest Basınç Deneyi Yapılışı

2.8.3. 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 2.32. de kazık yükleme deney sistemi görülmektedir.



Şekil 2.32. Kazık Yükleme Deney Sistemi (ASTM D1143/D1143M, 2007)

Kazık yükleme deneyinin amaçları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

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

Yükleme deneyi için, bir adet basınç çalışan kolon ile iki adet çekmeye çalışan kolonlar seçilir. Deney doğrultusunda basınç kolonuna statik eksenel basınç yükü yüklenerek yük -oturma, yük - zaman ve oturma - zaman grafikleri hazırlanır.[21]

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. Uç direncinin ihmal edildiği durumlarda kolon içine çekme donatısı yerleştirmek suretiyle çekme deneyi yapılması tercih edilir.

Deney ekipmanları ise aşağıdaki dört ana gruptan oluşmaktadır;

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

Hidrolik pompa vasıtasıyla belli kademelerde statik yük, kolon başlığı ve reaksiyon kirişleri üzerine yerleştirilmiş olan hidrolik krikoya iletilir. Rijit sistemden dolayı yük altında kolon eksenel olarak hareket eder. Deney kolonunda oluşan deformasyonlar, kolondan ve basınç elemanlarından bağımsız bir ölçüm sistemiyle kayıt altına alınmalıdır.[21]



Şekil 2.33. Kazık Yükleme Deneyi Genel Görünümü

Kazık Yükleme Deneyleri için kullanılan standartlar ASTM D-1143/D1143M (2007), ASTM D-3689 (2007), TS 3167 (1978), TS 3168 EN 1536 (2001) ve TS 3169 (1978)'dir. Deneylerin yapılma prensipleri ve dikkat edilecek hususlar bu standartlar içinde ayrıntılı olarak verilmektedir. [27]



Şekil 2.34. Kazık Yükleme Deneyi Ekipmanları Genel Görünümü

2.8.4. Kazık Süreklilik Deneyi

Uygulanan jet grout kolonların boyları ve süreklilikleri, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan integrity deneyi ile belirlenmektedir.

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 algılanmakta olup sayısallaştırılarak bilgisayarda kaydedilir. Şekil 3.35.'de deneyin yapılışı sırasında çekilmiş bir fotoğraf görülmektedir.[24]



Şekil 2.35. Kazık Süreklilik Deneyi

Kazıktaki şekil/malzeme değişikliklerinden ve kazık ucundan yansıyan sinyaller de algılanarak hız sinyali olarak kaydedilir. Bu sinyal hıza bağlı bir değişkendir. Geçen zaman da ölçümle tam olarak belirlenir.

Alınan yansımaların yerini tespit için sinyal derinliğe bağlı bir fonksiyona dönüştürülür. Bu dönüşümde bilinmesi gereken dalga hızı olup beton/jet grout kolon için ortalama $C=3000-4500$ m/sn dir (Rausche, 1988).

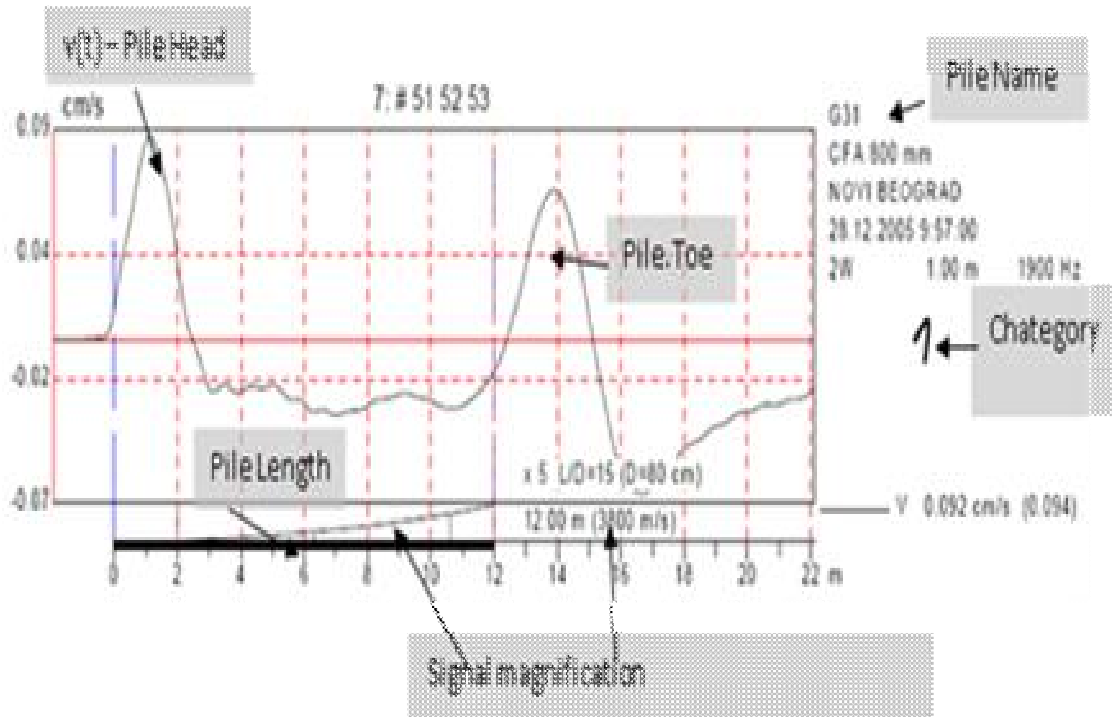
Deney sistemindeki ölçüm formüle edilirse, yansıma derinliği olan X değeri, (3.1) Eşitliği ile bulunur.[24]

$$X = 12 * C * t \dots\dots (3.1.)$$

t : Darbeden yansıma anına kadar geçen süre

C : Dalga hızı yayılma hızı

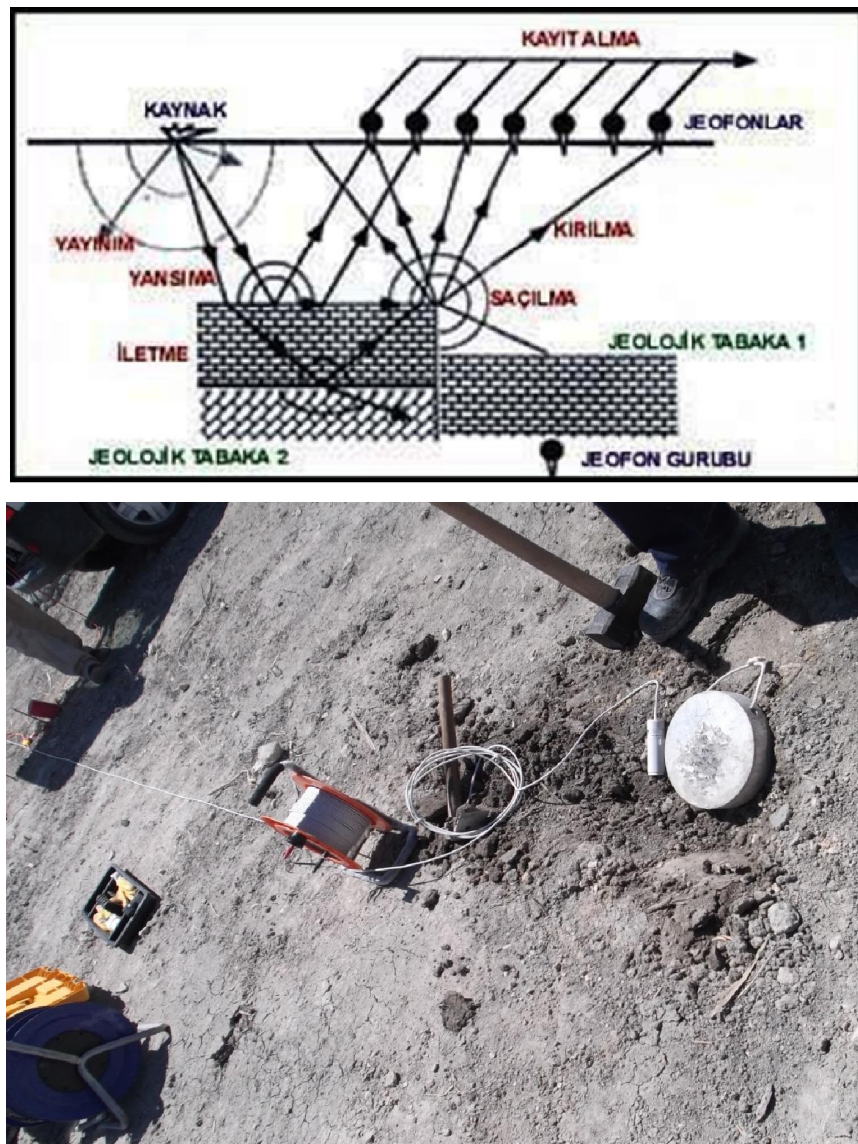
Bu şekilde derinliğe bağlı sayısallaştırılmış hız sinyali grafiği (Şekil 2.36.) yorumlanarak kazıkta olası boy ve uç şekli değişiklikleri anlaşılabilmektedir.



Şekil 2.36. Derinliğe Bağlı Sayısallaştırılmış Hız Sinyali Grafiği

2.8.5. Sismik Deney

Sismik kırılma, zeminde oluşturulan yapay titreşimler ve bunların ölçülmesi esnasına dayanan bir yöntemdir. Yüzeyde oluşturulan yapay sismik titreşimlerinin yeraltındaki farklı yoğunluktaki seviyelerden kırılarak yüzeye geri dönme süresinin ölçülmesiyle yapılır. Tabakaların bulunan P ve S dalgası hızlarına göre dinamik parametreleri hesaplanabilir. Şekil 2.37. de Sismik deney yöntemi ve deney yapımında kullanılan ekipmanlarının genel görünümü verilmiştir. [28]



Şekil 2.37. Sismik Deney Yöntemi ve Deney Ekipmanları

Sismik deney sonucu elde edilen bilgilerin nasıl değerlendirileceği **Bölüm 3.5.2.3.2.** 'de detaylı olarak anlatılmıştır.

2.8.6. Rezistivite Deneyi

Rezistivite (Elektrik Özdirenç) yönteminde, yeryüzündeki belirli bir noktadan yer içerisine büyüklüğü bilinen bir akımı vermek ve kullanılan elektrot dizilimi ile yer içerisinde oluşan gerilim farkı belirlenir. Sonuçta, arazide uzaklığın değişkeni olarak ölçülen özdirenç, ayrılıklarının yarattığı derin görünür özdirenç (ρ_a) eğrilerinden yararlanmak suretiyle yeraltındaki jeolojik yapı tanımlanır. Değerlendirmede amaç; (ρ_a) eğrisini veren yapıyı oluşturan katmanların özdirenç (ρ_a) ve kalınlıklarının (h) bulunmasıdır.

Özdirenç yönteminin arazide uygulanışı iki şekilde olur. Bunlardan biri yerin yanal yöndeki değişimini araştıran "Elektrik Haritalama veya Profil" diğeri ise yer içerisindeki tabakaların düşey yöndeki değişimlerinin incelendiği " Düşey Elektrik Sondajı (DES) " dır. Rezistivite deney ekipmanları Şekil 2.38.'de gösterilmiştir.

DES jeofizikte çok yaygın kullanılan bir yöntemdir. Yöntem, yeryüzündeki iki elektrot yardımıyla yer içerisine doğru akım verilmesi ve diğer bir çift elektrotla gerilim farkının saptanması şeklinde uygulanır. DES' in en önemli özelliği, her ölçü sonunda iki akım elektrotu arasındaki uzaklığının arttırılması ve böylece akımın daha derine erişmesinin sağlanması ve görünür özdirenç derinlik değişiminin grafik olarak elde edilmesidir.[28]



Şekil 2.38. Rezistivite Deney Ekipmanları

2.8.6.1.Özdirenç (Rezistivite) Yöntemi Uygulama Biçimleri

Bu yöntem Düşey Elektrik Sondajı (DES) ve Elektrik Haritalama veya Profil olmak üzere iki biçimde uygulanmaktadır.

2.8.6.1.1.Düşey Elektrik Sondajı (DES)

Yeraltının yataya yakın birçok tabakadan oluştuğu yerlerde özdirencin düşey değişiminin elde edilmesi için yapılan işlemlerdir. DES yer yüzeyi üzerindeki tek bir noktadan aşağıya doğru derinlikle özdirenc değişimini ortaya koyar ve ilgili derinliklerdeki jeolojik bilgiyle korelasyonu sağlar. Temel ilke akım elektrotları aralığını arttırmak suretiyle akımın sürekli bir şekilde daha derine nüfuz etmesini sağlamaktır. [28]



Şekil 2.39. Rezistivite Deney Yapılışı

2.8.6.1.2.Elektrik Haritalama veya Profil

Eğer tabakalar veya ara yüzeyler yatay olmayıp düşey iseler uygulanan özdirenc ölçüm yöntemi Elektrik Haritalama veya Profil (Kesit) adını alır. Bu yöntemin amacı yanal değişimleri bulmaktır ve bilhassa mineral aramasında faydalıdır.

Özdirenç ölçümleriyle yanal arama en iyi şekilde; dik olan meyilli kontaklar ve özdirenç farklılığına sahip dayklar gibi iki boyutlu anomalilerin bulunmasına ve daha az mertebede örneğin kabaca küreye benzetilen üç boyutlu iletkenlerin yerinin saptanmasında elverişlidir. [28]

2.9. Sonuç

Bu bölümde jet grout yöntemi tanıtılmıştır. Yöntemin tarihsel gelişimi ve günümüzdeki durumu özetlenmiştir. Zemin iyileştirme ve yük taşıtma 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 laboratuvarında deneysel çalışmalarla belirlenir. Deney sistemlerinin tanıtımı bu bölümde sunulmuştur.

3. BÖLÜM

JET GROUT UYGULAMA ÖRNEĞİ (ALİBEYOĞLU HIRDAVAT A.Ş. BİNASI)

3.1. Giriş

Tezin 4. Bölümü uygulamaya ayrılmış olup bu bölümde Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesi, 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parselde yapılması planlanan ALİBEYOĞLU Hırdavat Nalburiye Makine Boya San. Tic. Ltd. Şti. Hizmet Binası ve inşaat alanında yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Uygulama projesi ile ilgili bilgiler, bu konuda hazırlatılan raporlar, tez kapsamında yapılan çalışmalar bu bölümde sunulmuştur.

3.2. Uygulama Projesi ve Yapılan Çalışmaların Tanıtılması

Bu tez kapsamında; Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesi, 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parselde yapılması planlanan ALİBEYOĞLU Hırdavat Nalburiye Makine Boya San. Tic. Ltd. Şti. Hizmet Binası ve inşaat alanı ile ilgili bilgiler kullanılmıştır.

Hunat Yapı Denetim Ltd. Şti.' den proje ile ilgili yapılan zemin etüt rapor dosyası tarafımızdan alınmış olup bu kapsamda yapılan çalışmalar kronolojik sıraya göre aşağıda özetlenmiştir.

- Nisan - 2010 Sondaj Çalışmaları

Odak Mühendislik adına

Jeoloji Mühendisi Fatma Dikmen

- Nisan - 2010 Laboratuvar Çalışmaları OPAL Müh. Zemin Araş. Sond. Maden İnş. San. Tic. Ltd. Şti.
- Temmuz - 2011 Sondaj Çalışmaları Odak Mühendislik adına Jeoloji Mühendisi Fatma Dikmen
- Ağustos - 2011 Laboratuvar Çalışmaları FARKIM Müh. Mim. Yapı. Malz. ve Zemin Araştırma Ltd. Şti.
- Ocak - 2013 Jeofizik Çalışmalar JEO-SEM Mühendislik adına Jeofizik Müh. Semih OYBAK
- Mart - 2013 Jet Grout Temel Zemini İyileştirme Raporu ve Projesi
T.C. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı

Ayrıca; tez kapsamında tarafımızdan yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Arazide;

_Jet Grouting uygulama öncesi ve sonrasında;

- SPT içeren sondaj çalışmaları
- Rezistivite deneyi
- Sismik deney
- Jet grout kolon çap kontrolü

Laboratuvarda ise ;

- Su muhtevası deneyi
- Kıvam Limitleri deneyleri
- Piknometre deneyi
- Hidrometre deneyi
- Organik madde tayini
- Konsolidasyon deneyi
- Serbest basınç deneyi
- Cep penetrometre deneyi
- Torvane (cep veyn) deneyi
- Kesme kutusu
- Jet grout kolon karot numuneleri basınç deneyi

3.3. Proje Aşamasında Yapılan Zemin Araştırması ile İlgili Çalışmalar

İnşaat sahası ile ilgili proje aşamasında yapılan çalışmalar yukarıda sıralanmıştır. Bu çalışmaların özet bilgileri aşağıda sunulmuştur.

3.3.1 Arazi Durumu ve Zemin Profili

Kayseri, Büyükşehir Belediyesi İmar Daire Başkanlığı tarafından verilen imar çapında etüt alanı; Kayseri İli, , Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesi, 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parselde olup İmar Planı pafta no. 31- 1- IV-d'dir (EK 3.1). Etüt alanına asma tek katlı bina inşa edilmesi planlanmaktadır. Yapı; hizmet binası, inşaat malzemesi satış ve depolama amaçlı kullanılacaktır.

İnşaat alanının kuzeyinden Osman Kavuncu Bulvarına paralel 20 metrelik yan yol, güneyinde 20 metre genişliğinde yol planlanmıştır. Doğu ve batı cephelerinde ise 4 ve 2 no.lu komşu parseller yer almaktadır (EK 3.2 Vaziyet Planı).

Zemin etüt çalışması kapsamında ODAK MÜHENDİSLİK tarafından inşaat arsasında ortalama 15 metre derinliğe kadar inen ve SPT deneyleri içeren farklı zamanlarda toplam 6 (altı) adet temel sondajı yapılmış olup sondaj logları EK 3.3. de verilmiştir. 27.07.2011 SK-1EK sondajından elde edilen tipik genel zemin profili aşağıda sunulmuştur.

0.00 – 0.20 m.	Bitkisel Toprak	
0.20 – 2.00 m.	Düşük Plastisiteli Silt - Organik Zemin	OL-ML
2.00 – 6.50 m.	Organik Turba Zemin	PT
6.50 – 8.50 m.	Düşük Plastisiteli Silt	ML
8.50 – 10.00 m.	Killi Kum	SC
10.00 – 11.50 m.	Düşük Plastisiteli Silt	ML
11.50 – 13.00 m.	Düşük Plastisiteli Kil	CL
13.00 – 15.00 m.	Düşük Plastisiteli Silt	ML

Yapılan çalışmalarda yeraltı su seviyesine – 2.00 metre kotunda rastlanılmıştır. Su analiz raporunda sülfat değeri 3172,8 mg/litre bulunmuştur. Jet Grout uygulamasında sülfata dayanaklı çimento kullanılmıştır.

3.3.2. Deneysel Çalışmalar

Arazide farklı zamanlarda yapılan sondajlar sırasında alınan zemin örnek üzerinde Nisan - 2010 tarihinde OPAL Müh. Zemin Araş. Sond. Maden İnş. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından, Ağustos – 2011 tarihinde ise FARKIM Mühendislik Mim. Yapı Malz. ve Zem. Araş. Ltd. Şti. laboratuvarlarında gerekli görülen deneysel çalışmalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar toplu olarak EK 3.4.'de verilmiştir.

3.3.3. İnşa Edilecek Yapılar

İnşaa edilecek yapı; Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesinde olup 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parselde yer almaktadır. Etüt alanına asma katlı tek katlı bir bina inşası planlanmaktadır. Yapılacak yapı inşaat malzemesi satış ve depolama amaçlı kullanılacaktır. İnşa edilecek yapı $27 * 114 = 3078$ m² oturum alanıdır. Projelendirmede statik verilere göre $G + Q = 5800$ ton göz önüne alınmıştır.

3.3.4. Temel Zemininin Geoteknik Değerlendirilmesi

Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesinde olup 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parsel temel zemini “Turba Organik Zemin (PT)” tabakasıdır. Yapılan sondaj çalışmalarında 6.00 – 7.00 metre derinliğe kadar devam eden Turba Zemin tabakasını Düşük Plastisiteli Silt (ML), Killi Kum (SC), Düşük Plastisiteli Silt (ML), Düşük Plastisiteli Kil (CL) zemin tabakalarının ardalanması izlemektedir. Temel zemini olan bu tabakalanma yaklaşık 15 metre derinliğe kadar devam etmekte olup taşıma gücü ve oturmalar açısından güvenilir bir yapılanma göstermemektedir. Bu derinlikten sonra zemin iyileşmektedir. Ayrıca, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın oluşu ve bölgede yükselebilecek olması zemin özelliklerini olumsuz yönde etkileyeceği açıktır.

3.3.5. Bölgenin Jeolojisi

Kayseri İli ve civarı Orta Anadolu masifi üzerinde yer almaktadır. Kuzeydoğu - güneybatı doğrultusunda uzanan fay hatlarının çökmesi sonucu Kayseri Ovası olarak bilinen çanak şeklinde tipik depolama havzası oluşmuştur. Bu faylar Neojen devri sonlarında ortaya çıkmış olup, Kuaterner yaşlı formasyonları ile örtülmüştür. Neojen devri yükselme hareketleri ile başlayan volkanik faaliyetler sonucunda Erciyes Volkanı bölgeyi etkisine alarak neojen göllerinin içinde volkanik kökenli çökeltilerin oluşmasına yol açmıştır. Neojen tüfü denilen bu tabakaların üzerine, Kuaterner zamanında çevreden taşın yolu ile gelerek biriken oldukça kalın alüvyonlar yer alır.

3.3.6. Bölgenin Depremselliği

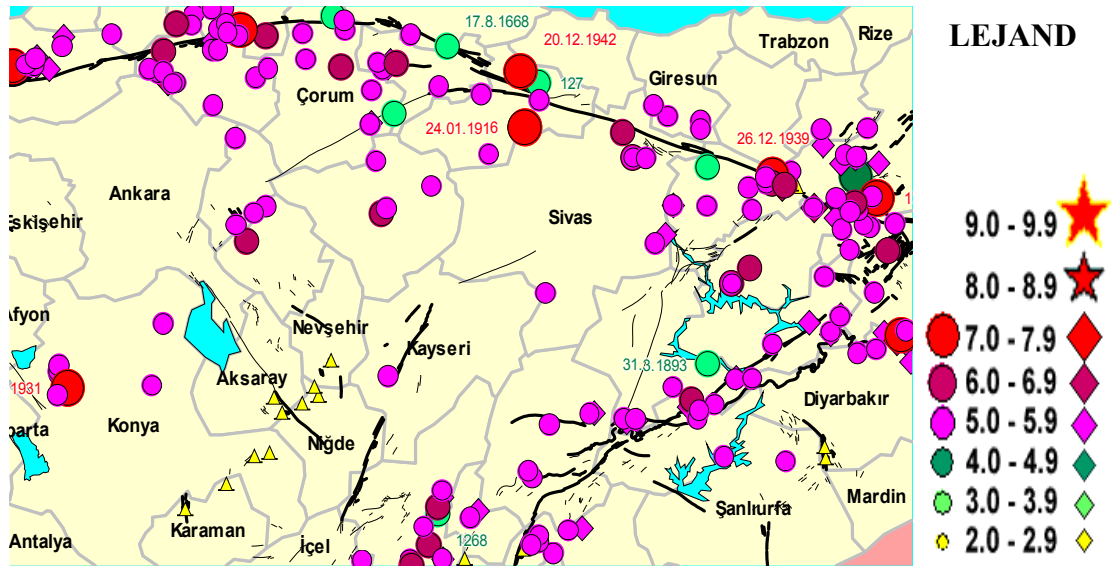
Kayseri İli ve çevresi 18.Nisan.1996 tarih ve 96/8109 sayı ile yürürlüğe giren T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre **ÜÇÜNCÜ DERECE** deprem bölgesinde bulunmaktadır.

Kayseri İli ve çevresini etkilemesi düşünülen deprem; doğrultu atımlı bir fay olan Ecemiş Fayında oluşabilecek hareketlenmedir. İlin 80 km. güneyinde yer alan fay Niğde ile Adana arasındaki Toroslar'ı enine kesen Ecemiş çukurluğundadır. Yahyalı-Çamardı arasından başlar, Çamardı, Kamışlı, Pozantı, Ortaköy üzerinden geçen bir koridorla Akdeniz'e kadar uzanır. Ayrıca İlin güneyinde yer alan Erciyes Dağının etrafında ve kuzeyde Erkilet civarında birçok küçük faylanmalar mevcuttur. Kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanan fayların çökmesi sonucu Sarımsaklı veya Kayseri Ovası olarak adlandırılan depolama havzası oluşmuştur.

Bölge faylarını ve 5,0'dan büyük olan depremleri gösteren harita Sayısal Grafik A.Ş. internet sayfasından alınmıştır (Şekil 3.1.). Bölgede yaşanan önemli depremler ise aşağıda sunulmuştur.

Bölgede yaşanan önemli depremler :

21.02.1940	Develi-Kayseri Depremi	Şiddet VIII	Aletsel Büyüklük	5.2
30.07.1940	Develi-Kayseri Depremi	Şiddet VIII	Aletsel Büyüklük	6.2
13.04.1940	Yozgat-Kayseri Depremi	Şiddet VIII	Aletsel Büyüklük	5.6



Şekil 3.1. Kayseri ve Çevresinde Büyüklüğü 5 ve 5'ten Büyük Olan Depremler

Kayseri Bölgesinde 50 yıllık hizmet ömrü olan bir bina için % 10 risk değerlerine karşılık gelen tekerrür periyodu 475 yıl olarak bulunmuştur. 50 yıllık hizmet ömrü olarak tasarlanan bir yapının %10, %5 ve %1 risk değerleri için dayanması gereken deprem büyüklükleri Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Olasılık Ağırlıklı Momentler (Pwm) Yöntemine Göre Deprem Büyüklükleri

Olasılık Dağılımları	%10 Risk	%5 Risk	%1 Risk
Log-Normal-3	5.2	5.3	5.5
Genel Extreme Values	5.3	5.5	5.6
Log-Pearson-3	5.1	5.2	5.4

Ecemiş fayı ve civarındaki küçük faylanmalardan dolayı Kayseri ili ve yakınlarında **5.0** – **5.5** aletsel büyüklükte bir depremin meydana gelmesi yapının ekonomik ömrü boyunca muhtemel gözükmemektedir.

3.4. Proje Hesapları

Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesi, 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parselde yapılması planlanan ALİBEYOĞLU Hırdavat Nalburiye Makine Boya San. Tic. Ltd. Şti. Hizmet Binası inşa edilecek temel zemininin iyileştirilmesi için **Jet Grout Yöntemi** seçilmiştir. Bu amaçla; ALİBEYOĞLU A.Ş. ait hizmet binası ile ilgili jet grout projesi hazırlanmış olup proje ile ilgili hesap adımları aşağıda açıklanmıştır.

3.4.1. Jet Grout Taşıma Yüğü Hesabı

Jet grout taşıma gücü hesabı için yapılan kazık ucu ve çevre sürtünmesi ile ilgili hesaplar aşağıda verilmiştir.

Jet grout kazık ucu taşıma yüğü hesabı:

Kazık uçlarının Kumlu Silt (ML) tabakasına yüklerini aktarması uygun görülmüştür. Bu tabaka ile ilgili taşıma gücü hesabında kullanılan parametrelerin ve taşıma gücünün hesabı aşağıda sunulmuştur.

Japanese Railway Standard' a göre Shioi ve Fukui (1982) SPT-N değeri ile içsel sürtünme açısı (ϕ) arasında aşağıdaki ilişkinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir (Bowles, 1996).

$$\phi = 0.36 N_{70} + 27 \quad \phi = 0.36 * ((45/70) * 20) + 27 = 31.63 \approx 32^\circ$$

$$\phi = 32^\circ \text{ için} \quad \text{Taşıma Gücü Faktörleri;} \quad N_c = 44.04$$

$$N_q = 28.52$$

$$N_\gamma = 26.87$$

$$\bullet \quad Q_u = q_u * A_{uç}$$

$$A_{uç} = \pi * 0.80^2 / 4 = 0.503 \text{ m}^2 \quad (\text{D} = 80 \text{ cm' lik Jet Grout için})$$

$$q_u = 1.3 c N_c + \gamma L N_q + 0.3 D \gamma N_\gamma$$

$$q_u = 1.3 * 40.0 * 44.04 + (17.0 - 9.81) * 15 * 28.52 + 0.3 * 0.8 * (17.66 - 9.81) * 26.87$$

$$q_u = 5416,58 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_u = 5416,58 * 0,503 = 2724,54 \text{ kN}$$

Jet grout kazık çevresi sürtünme taşıma yükü hesabı:

6.0 m ile 15.0 m arasındaki Düşük Plastisiteli Silt (ML) ve Killi Kum (SC) tabakası için sürtünme direnci aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad Q_f &= A_s \cdot q_0' \cdot K_s \cdot \tan \delta & A_s &= \pi \cdot D \cdot L = 3,1416 \cdot 0,80 \cdot 9,00 = 22,62 \text{ m}^2 \\
 & & K_s &= K_0 = 1 - \sin \theta = 0,913 \\
 & & \phi &= 5^\circ \\
 & & \delta &= 2/3 \phi = 3^\circ \\
 & & q_0' &= (1,7 - 1,0) \cdot 6 + 9,0 (1,8 - 1,0) \cdot 0,5 = 7,80 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

$$Q_f = 22,62 \cdot 7,80 \cdot 0,913 \cdot \tan 3 = 8,441 \text{ ton} = 84,41 \text{ kN}$$

Jet grout taşıma yükü ve servis yükü hesabı:

Kazık uç dayanımı ve kazık çevre sürtünmesi toplamı jet grout kolon taşıma yükünün, bulunan değer in güvenlik sayısına bölümü ise servis yükü değerini verir. Bunlarla ilgili işlemler aşağıda yapılmıştır.

- $Q = Q_u + Q_f = 2724,54 + 84,41 = 2808,95 \text{ kN}$
- $Q_s = Q / G_s = 2808,95 / 4,0 = 702,24 \text{ kN} = 70,22 \text{ ton}$
- **Jet Grout boyu, L=15.0 m olup, kazık taşıma gücü değeri olarak 60 ton alınabilir.**

Jet Grout Kolonlarının Yerleşimi

Hesaplamalarda; proje statik hesaplarını yapan proje müellifi tarafından verilen $G + Q = 5800$ ton toplam yük değeri Jet Grout taşıma yüküne bölünerek kolon sayısı belirlenmiş olup kolon yerleşim detayları aşağıda özetlenmiştir.

Kazık yerleşimlerinde pafta bilgileri esas alınacaktır. Aşağıda verilen kazık yerleşimi ile ilgili bilgiler genel anlamda fikir oluşturması amacıyla sunulmuştur.

• **Sürekli Temel Ve Döşeme Altı Jet Grout Uygulaması**

Toplam Yük (G + Q)	: 5800 ton
Jet Grout Kolon Sayısı	: $5800 / 60 = 97$

Jet Grout Kolon Yerleşimi :

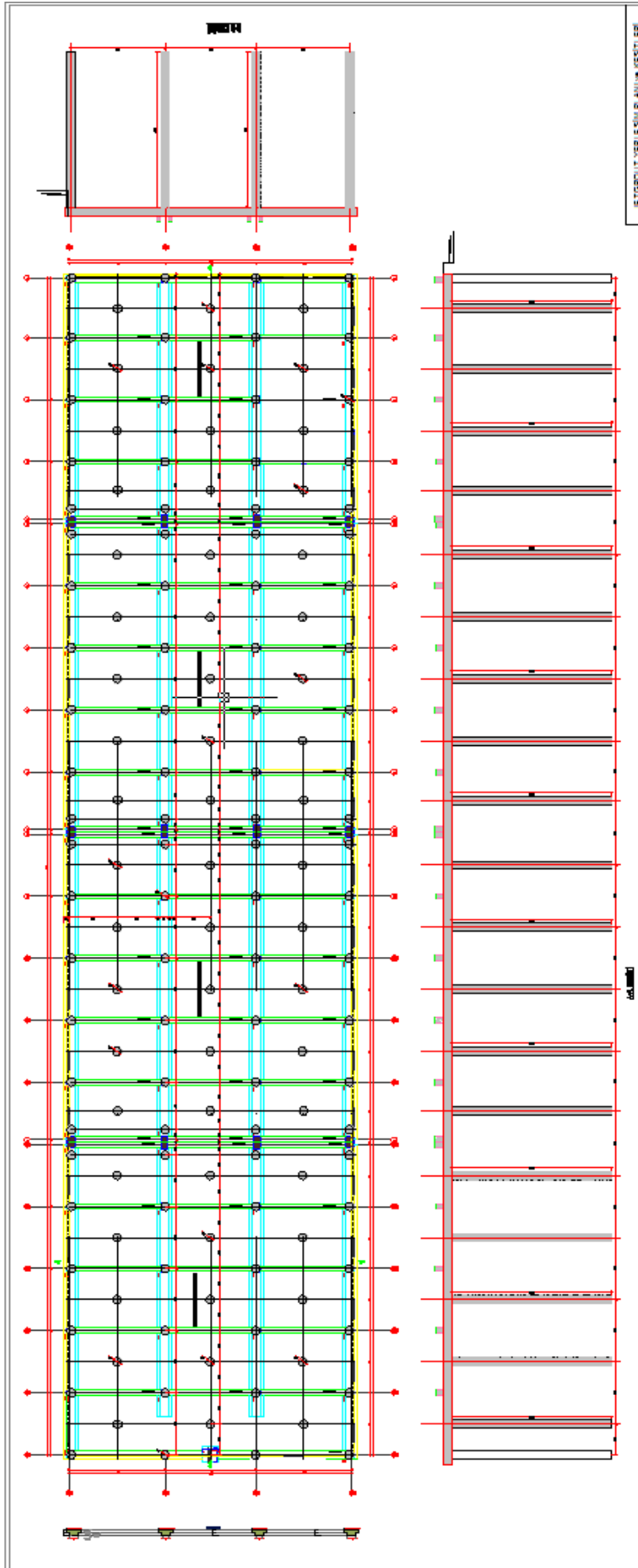
• Kolon Aksları Kesişim Noktalarına	$17 * 4 = 68$ adet
• Dilatasyonlarda Kolon Düşey Akslarından 100 cm öteye	$8 * 3 = 24$ adet
• <u>Döşeme merkezlerine (konstrüktif olarak)</u>	$19 * 3 = 57$ adet
Toplam Jet Grout Kolon Sayısı	= 149 adet

Hazırlanan proje küçültülmüş olup plan Şekil 3.2.' de sunulmuştur. Proje ile ilgili belirlenen uygulama parametreleri ise aşağıda özetlenmiştir.

Jet Grout Kolon;

• Çapları	ϕ 80 cm
• Boyları	L = 15,00 metre
• Enjeksiyon su/çimento oranı	1/1
• Güvenli Taşıma Gücü	5 Mpa
• Taşıma Yüğü	60 ton
• Dizayn Aralığı	Projesinde

Yerinde ve laboratuvarda yapılan inceleme ve deneysel çalışmalarla projenin uygunluğu araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar ‘‘ 3.5. Jet Grout Sonrası Deneysel Çalışmalar ‘‘ bölümünde özetlenmiştir.



Şekil 3.2. Jet Grout
Uygulama Projesi

3.4.2. Oturma Hesapları

Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesiinde 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parselde inşa edilecek yapı'nın oturma hesaplarında arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak ayrı ayrı yapılmıştır. Aşağıda bu yöntemlere göre yapılan hesaplamalar ve bulunan değerler verilmiştir.

3.4.2.1. Konsolidasyon Deney Sonuçlarına göre Oturma Hesapları

Konsolidasyon oturma değerinin hesabında Terzaghi Konsolidasyon Teorisinden elde edilen klasik oturma formülü kullanılmıştır. Zemine aktarılan net gerilme ise yaklaşık yapı ağırlığına ve derinlik boyunca yaklaşık gerilme dağılımına (1: düşey, 2: yatay) göre hesaplanmıştır. Turba organik zemin tabakası ortasındaki gerilme artışı değeri yaklaşık olarak 0.20 kg/cm² elde edilmiştir. Turba organik zemin için hacimsel sıkışma katsayısı m_v değeri Elcuman (2004) tarafından yapılmış olan tez çalışmasından alınmıştır.

- $\Delta H = m_v * \Delta q * H$
- $\Delta H = 0.08 * (0.30 + 0.10) / 2 * 600 = 9.60 \text{ cm}$
- $S_C = \eta * \Delta H = 1.2 * 9.60 = 11.52 \text{ cm} > 10 \text{ cm} \dots\dots\dots$ bulunmuştur.

Yol kotuna erişmek amacı ile bitkisel toprak kaldırıldıktan sonra yapıldığı ifade edilen 70 cm kalınlığında dolgu tabakası da göz önüne alındığında elde edilen oturma değerinin izin verilebilir sınırlar içerisinde kalacağı beklenmektedir.

Tablo 3.2. η Değerleri

Zemin	η
Çok hassas killer	1,0 – 1,2
Normal konsolide killer	0,7 – 1,0
Aşırı konsolide killer	0,5 – 0,7
Fazla aşırı konsolide killer	0,2 – 0,5

3.4.2.2. Sıkışma İndisi (C_c) Katsayısına Bağlı Oturma Hesabı

Yapı temel sistemi sürekli olarak boyutlandırılmıştır. Sürekli temeldeki oturma hesabı; sıkışma indisine (C_c) dayalı formül ile aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

* Turba organik zemin için sıkışma indisi: $C_c = 0,0115 * w_n = 0,0115 * 45 = 0,52$

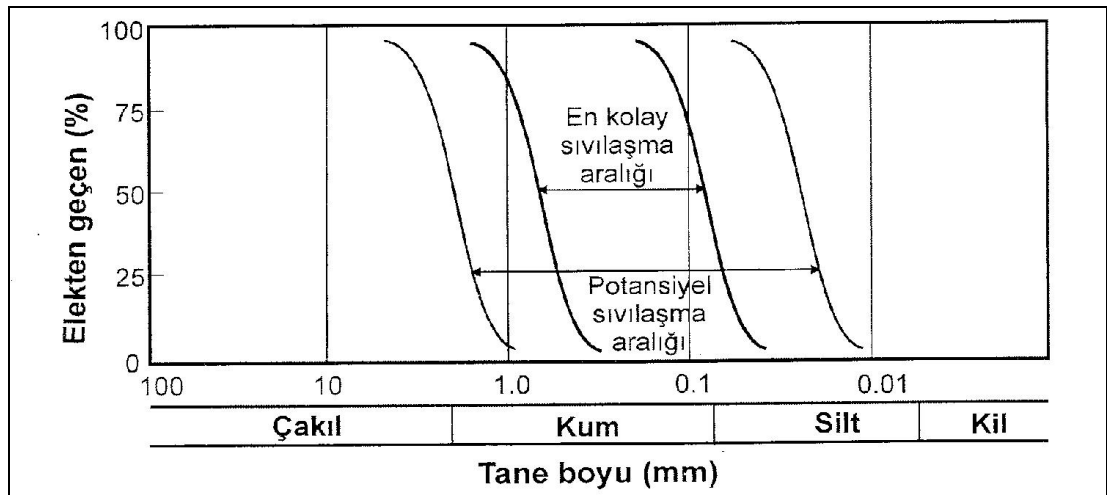
* Oturma hesabı : Formülde yer alan e_0 değeri Elcuman (2004) tarafından yapılan tez çalışmasından alınmıştır.

$$\Delta H = H_0 * \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{P_1 + \Delta P}{P_1} = 600 * \frac{0,52}{1 + 3} \log \frac{0,45 + 0,20}{0,45}$$

$$\Delta H = 12,45 \text{ cm}$$

3.4.3. Sıvılaşma Analizi

Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesinde olup 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parsel temel zemini Turba Organik Zemin (PT) zemin tabakası olup yer altı su seviyesi -2.00 m derinliktedir. Şekil 3.3.'de dane çaplarına göre zeminlerin sıvılaşma riskleri görülmektedir. İnceleme alanındaki zemin yapısı dane boyutu itibari çoğunluğu kil boyutundaki danelerden oluşmaktadır. Şekil 3.3.'den de görüleceği gibi mevcut zemin yapısı dane boyutu itibari en kolay sıvılaşma aralığının dışında yer almaktadır.



Şekil 3.3. Sıvılaşma Eğilimindeki Zeminlerin Tipik Dane Boyu Dağılım Aralıkları

Bütün deprem bölgelerinde yeraltı su seviyesinin zemin yüzeyinden itibaren 10 metre içinde olduğu durumlarda Tablo 6.1 de **D** grubuna giren zeminlerde **Sıvılaşma Potansiyeli**' nin bulunup bulunmadığının, saha ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve sonuçların belgelenmesi zorunludur (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 6.2.2. Sıvılaşma Potansiyelinin İrdelenmesi).

Dip not: 3. Bölümün; 3.3. ve 3.4. maddeleri, T.C. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı tarafından Mart – 2013 tarihinde teze konu olan bölge için hazırlanmış Jet Grout Temel Zemini İyileştirme Raporundan alınmıştır.

3.5. Jet Grout Sonrası Deneysel Çalışmalar

Bu tez kapsamında arazide sondaj çalışmaları ve jeofizik (sismik ve rezistivite) çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar sırasında alınan zemin örnekleri üzerinde T.C. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerekli görülen deneysel çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmalar jet grout uygulama öncesi ve sonrası dönemlerde ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bu konu ile ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

3.5.1. Yapılan Çalışmalar ve Zemin Profili

Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesi olarak tanımlanan ve son yıllarda imara açılan bölge temel zemini olarak uygun olmayan zemin tabakalarından oluşmaktadır. Turba-yumuşak kil ardalımları ve bunların arasında yer alan siltli kum tabakaları bölgedeki karakteristik genel yapılaşmayı özetlemektedir. Bölgede farklı amaçlarla yapılan sondajlarla bu tabakalanma belirlenmiştir.

DSİ XXII. Bölge Müdürlüğü tarafından Karpuzsekisi Kooperatifine yapmış olduğu su sondaj loglarına ait Su Kuyusu Kütüklerinden özetlenen zemin profili aşağıda sunulmuştur. (12.04.1974)

<u>Derinlik (metre)</u>	<u>Zemin Profili</u>
0.0 – 2.0	Moloz Toprak
2.0 – 4.0	Turba
4.0 – 9.0	Kil (Turba Bantlı)
9.0 – 13.0	Siltli Kil
13.0 – 20.0	Siltli Kil (Turba Bantlı)
20.0 – 52.0	Kil (Yoğun Turba Bantlı)
52.0 – 60.0	Turba
60.0 – 75.0	Çakıllı Kil (Yer yer turba bantlı)
75.0 – 84.0	Siltli Kil (Turba Bantlı)
84.0 – 87.0	Kumlu Killi Silt
87.0 – 88.0	Yeşil Kil
88.0 – 90.0	Kumlu Kil (Turba)
90.0 –120.0	Kil (Gri siyah, kum çakıl bantları var, turba yoğun)

Çalışmalar kapsamında tarafımızdan zemin tabakalarının geoteknik özelliklerini ve yapılan çalışmalarla değişen özellikleri belirlemek için arazide 2 adet sondaj çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen tipik zemin profili aşağıda gösterilmiştir.

0.00 – 0.20 m.	Bitkisel Toprak	
0.20 – 2.00 m.	Düşük Plastisiteli Silt - Organik Zemin	OL-ML
2.00 – 6.50 m.	Organik Turba Zemin	PT
6.50 – 8.50 m.	Düşük Plastisiteli Silt	ML
8.50 – 10.00 m.	Killi Kum	SC
10.00 – 11.50 m.	Düşük Plastisiteli Silt	ML
11.50 – 13.00 m.	Düşük Plastisiteli Kil	CL
13.00 – 15.00 m.	Düşük Plastisiteli Silt	ML

Yapılan çalışmalarda yeraltı su seviyesine – **1,50 metre kotunda** rastlanılmıştır.

Yapılan sondajlar sırasında örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Ayrıca, 1 adet muayene çukuru açılarak muayene çukurlarından temsili numuneler alınmıştır. Alınan zemin örnekleri üzerinde gerekli görülen laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

3.5.2. Arazi Çalışmaları

İyileştirme öncesi ve sonrası durumu belirlemek amacı ile SPT deneyleri içeren sondaj çalışmaları ve jeofizik çalışmaları gerçekleştirilmiş olup bunlarla ilgili açıklayıcı bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

3.5.2.1. Sondaj Çalışmaları

ALİBEYOĞLU Hırdavat Nalburiye Makine Boya San. Tic. Ltd. Şti. Hizmet Binası inşaat alanında tez kapsamında 2 adet sondaj çalışması yaptırılmıştır. SK1 sondajı iyileştirme yapılmamış alanda yapılmış, SK2 sondajı ise iyileştirme yapılan alanda belirlenen bir jet grout kolon merkezinden ‘D= 80 cm’ uzaklıkta yapılmıştır. Her iki sondajda SPT deneyleri içermekte ve 15 metre derinliğindedir. Bu çalışmalar sırasında deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır (Şekil 3.4.).



(a)



(b)

Şekil 3.4. Örselenmiş (a) ve Örselenmemiş (b) Numuneler

SK1 ve SK2 sondaj kuyularına ait karşılaştırılmalı SPT N_{30} değerlerini içeren deney sonuçları Tablo 3.3.’ de verilmiştir.

Tablo 3.3. SK1 Ve SK2 Sondaj Kuyularına Ait Karşılaştırılmalı SPT N₃₀ Değerlerini

SPT DENEY SONUÇLARI					
SK1			SK2		
Derinlik (m)	SPT	N ₃₀	Derinlik (m)	SPT	N ₃₀
1,50	N: 1-2-1	3	1,50	N: 1-1-1	2
3,00	N: 1-1-2	3	3,00	N: 1-1-1	2
4,50	N: 2-2-1	3	4,50	N: 1-2-2	4
6,40	N: 2-3-2	5	6,00	N: 1-1-2	3
7,50	N: 3-4-4	8	7,90	N: 3-4-4	8
9,00	N: 2-3-5	8	9,40	N: 6-6-6	12
10,50	N: 3-3-3	6	10,50	N: 4-3-3	6
12,00	N: 4-4-4	8	12,00	N: 2-5-5	10
13,50	N: 4-4-2	6	13,50	N: 4-5-4	9
15,00	N: 5-4-5	9	15,00	N: 5-4-5	9

SPT deney sonuçları incelendiğinde; SPT değerlerinin çok düşük olmasından dolayı turba tabakasında belirli bir iyileşme gözlenmemiştir. Düşük plastisiteli silt ve kil tabakalarında %0-50 arasında değişen artışlar, killi kum tabakasında ise %50 değerinde SPT artışı gözlenmiştir.

3.5.2.2. Jet Grout Kolon Çaplarının, Uygulama Aralıklarının ve Boylarının Belirlenmesi

Jet Grout kolon uygulama öncesi imal edilen test kolonları yerinde incelenmiş ve çapları ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 3.5.). Jet Grout kolon çevresi 270 santimetre olarak ölçülmüştür. Bu ölçüme göre Jet Grout kolon çapı yaklaşık **Φ 85 santimetre** olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; tasarım için belirlenen Φ 80 santimetre kolon çapı uygulamada yerinde fazlası ile oluşturulmuştur. Yerinde yapılan ölçümde uygulamanın projede verilen kazık araları ile eşleştiği belirlenmiştir. Jeofizik veriler incelendiğinde Jet Grout kolon boylarının inceleme derinliği boyunca devam ettiği (13 -15 metre) gözlenmiştir.

Tüm çalışmalar ve veriler değerlendirildiğinde bu derinlik sonrası da proje boyuna kadar devam ettiği söylenebilir.



Şekil 3.5. Jet Grout Kolon Çapı Belirleme

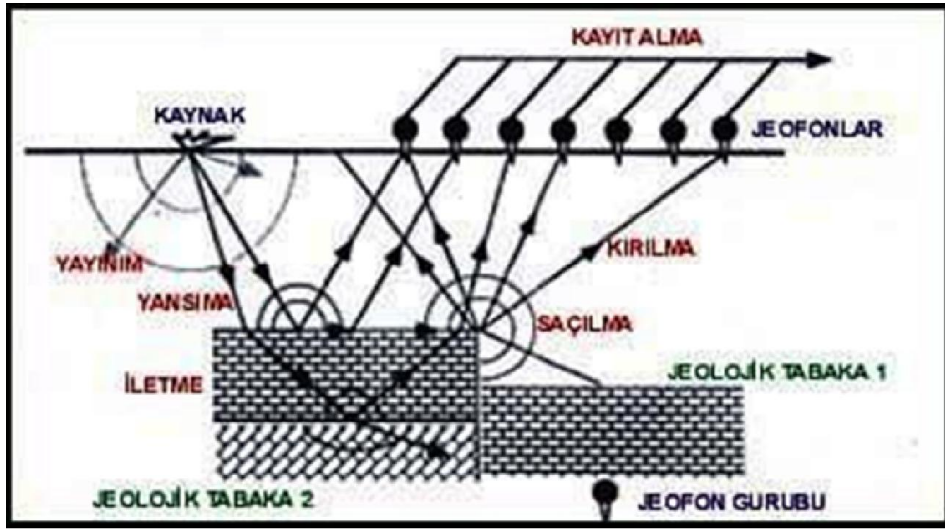
3.5.2.3. Jeofizik Çalışmalar

Bu tez kapsamında jeofizik etüt çalışması Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesi, 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parselde 10.07.2013 tarihinde FARKIM Müh. Mim. Yapı Malzemeleri ve Zemin Araştırma Ltd. Şti.' ne yaptırılmıştır. İnceleme alanında dinamik elastisite parametrelerine yönelik üç adet Sismik Kırılma profili ve iki adet Rezistivite ölçümü yaptırılmıştır.

Proje kapsamında inceleme alanında 'Jet Grout' yöntemi ile yapılan iyileştirme, Jeofizik Yöntemlerle incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda yapılan yöntemler ve değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

3.5.2.3.1. Sismik Kırılma

Sismik kırılma, zeminde oluşturulan yapay titreşimler ve bunların ölçülmesi esnasına dayanan bir yöntemdir. Yüzeide oluşturulan yapay sismik titreşimlerinin yeraltındaki farklı yoğunluktaki seviyelerden kırılarak yüzeye geri dönme süresinin ölçülmesiyle yapılır (Şekil 3.6.). Tabakaların bulunan P ve S dalgası hızlarına göre dinamik parametreleri hesaplanabilir.



Şekil 3.6. Sismik Yöntem

Bu uygulamada; Sara-Doremi marka 12 kanallı, stock özelliğine sahip sismik kırılma cihazı kullanılmıştır. Sismik kırılma profil yerleşimi; ofset (grup dışı alıcı) uzaklığı 5 metre, Jeofon (grup içi alıcı) aralıkları 5 metre olarak alınmıştır. [28]

P ve S dalgası hızlarını tespit etmek için düz ve ters atışlar yapılmış ve varış zamanlarının yol-zaman grafiği ve bunlar sonucunda elde edilen yeraltı kesiti çizilmiştir.

Ölçüm alanında 24.04.2013 tarihinde 3 profil sismik kırılma yöntemi uygulanmıştır. İncele alanında yapılan sismik kırılma profilleri JEF-1, JEF-2 ve JEF-3 profil hattı şeklinde alınmıştır. JEF-1 ve JEF-2 iyileştirme uygulanan alanda, JEF-3 ise iyileştirme uygulanmayan bölgede yapılmıştır. Profil hattı uygulama yerleri aşağıda verilmiştir.

- JEF-1 profil hattı jet grout kolon merkezinden 'D=80 cm' uzaklıkta
- JEF-2 profil hattı jet grout kolon merkezinden '1,5*D=120 cm' uzaklıkta
- JEF-3 profil hattı iyileştirme yapılmamış alanda

3.5.2.3.2. Sismik Kırılma Uygulamasının Değerlendirilmesi

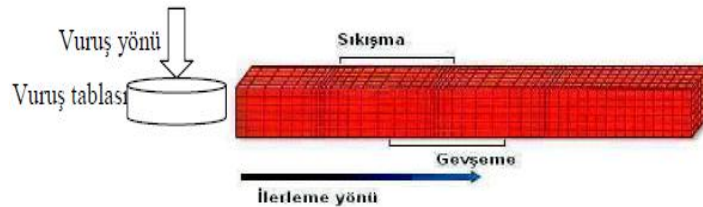
Arazide ölçülen P ve S dalgası hızları ve bunlara bağlı olarak hesaplanan zemin dinamik elastisite parametreleri ilgili ekte sunulmuştur.

P dalgası: Dalganın yayılma doğrultunun dik bir düzlem içindeki hareketi sabit kalıyorsa böyle bir dalgaya düzlem(boyuna) dalga denir (Şekil 3.7.). Dalgaların düzlem dalgası olması halinde dilatasyon dalgası bir boyuna dalgadır, yani titreşim hareketi dalganın yayılma doğrultusundadır. Her türlü ortam da yayılıp bu ortamda en hızlı yol alan dalgalar olduğundan alıcıya ilk gelen dalgalardadır. Düşey kaynak ve düşey bileşenli jeofon da kaydedilir. Malzemenin sıkışma ve genleşme zorlamasına karşı bir direnci varsa bu direncin yüksekliğine göre hızlanırlar. [28]

Şekil 3.7.' de P Dalgası Yayılım Modeli, Tablo 3.4. ise P Dalgası Hızı İle Zeminlerin ya da Kayaçların Sökülebilirlikleri ve Kazınabilirlikleri (Bilgin), Tablo 3.5.' de ise İnceleme Alanında Ölçülen P Dalgası Hızları ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

$$V = \sqrt{\frac{k + 4/3\mu}{g}} = \sqrt{\frac{E}{g} \frac{(1 - \sigma)}{(1 - 2\sigma)(1 + \sigma)}}$$

k, μ = Elastik Parametreler,
 g = Ortamın Yoğunluğu,
 σ = Dalga Boyu = V_p / f



Şekil 3.7. P Dalgası Yayılım Modeli

Tablo 3.4. İnceleme Alanında Ölçülen P Dalgası Hızları

<u>SERİM</u>	<u>V_{p1}</u>	<u>V_{p2}</u>	<u>V_{p3}</u>
JEF-1	348 m/sn	680 m/sn	1066 m/sn
JEF-2	300 m/sn	605 m/sn	955 m/sn
JEF-3	278 m/sn	500 m/sn	785 m/sn

Tablo 3.5. P Dalgası Hızı İle Zeminlerin ya da Kayaçların Sökülebilirlikleri ve Kazınabilirlikleri (Bilgin)

<u>P dalgası hızı</u> <u>(m/sn)</u>	<u>Sökülebilirlik</u>	<u>P dalgas</u> <u>hızı(m/sn)</u>	<u>Kazınabilirlik</u>
300-600	Çok Kolay	>458	Rahatça Kazınabilir
600-900	Kolay	458-1220	Kolay Kazınabilir
900-1500	Orta	1220-1525	Orta-Zor Kazınabilir
1500-2100	Zor	1525-1830	Zor Kazınabilir
2100-2400	Çok zor	1830-2135	Çok Zor Kazınabilir
2400-2700	Son Derece zor	>2135	Patlatıcıyla Kazınabilir

P dalgası hızının sökülebilirliğinin ve kazınabilirliğinin değerleri Tablo 3.4.' de gösterilmiştir. Buna bağlı olarak V_{p2} hızlarına göre sökülebilirliğinin JEF-3 profilinde de çok kolay, JEF-1 ve JEF-2 de ise kolay; V_{p3} hızlarına göre ise sökülebilirliğinin JEF-3 profilinde de kolay, JEF-1 ve JEF-2 de ise orta olduğu görülmüştür. Aynı şekilde V_{p2} hızlarına göre kazınabilirliğinin üç profilde de kolay; V_{p3} hızlarına göre kazınabilirliğinin de üç profilde kolay kazınabilir olduğu görülmüştür (Tablo 3.5.).

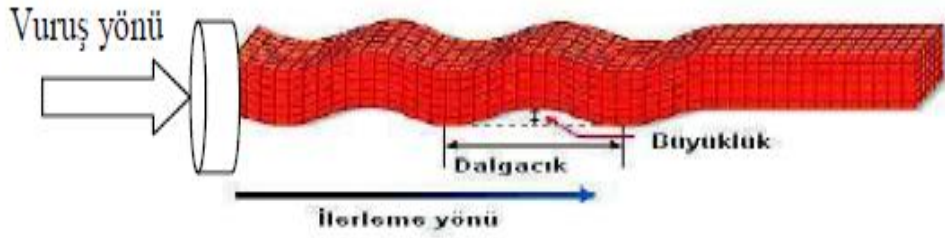
S dalgası: Dalgaların düzlem dalga olması halinde rotasyon dalgası bir enine dalgadır. Yani titreşim doğrultusu yayılma doğrultusuna diktir (Şekil 3.8.) Sismolojide enine dalgaya S (sekonder)dalgası denir. Enine dalga iki bileşende görülür. Yatay düzlemde polarlanmış enine dalgalar (SH),düşey düzlemde polarlanmış enine dalgalar (SV) dalgalarıdır. Malzemenin şekil bozumuna veya burulmaya karşı bir direnci varsa oluşur.

Şekil 3.8.' de S Dalgası Yayılım Modeli, Tablo 3 .6. V_s Hızları Baz Alınarak Zemin Sınıflandırılması, Tablo 3.7.' de ise İnceleme Alanında Ölçülen S Dalgası Hızları sunulmuştur.

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{g}} = \sqrt{\frac{E}{g} \frac{1}{2(1+\sigma)}}$$

k, μ = Elastik Parametreler

g = Ortamın Yoğunluğu



Şekil 3.8. S Dalgası Yayılım Modeli

Tablo 3.6. İnceleme Alanında Ölçülen S Dalgası Hızları

<u>SERİM</u>	<u>V_{s1}</u>	<u>V_{s2}</u>	<u>V_{s3}</u>
<u>JEF-1</u>	128 m/sn	261 m/sn	411 m/sn
<u>JEF-2</u>	112 m/sn	243 m/sn	380 m/sn
<u>JEF-3</u>	103 m/sn	190 m/sn	285 m/sn

- **Sismik hız oranı (V_p /V_s);** zeminin sıkılığıdır. Birimsizdir.
- **Elastisite (young) modülü;** zeminin dayanıklılığını, sertliğini bir başka deyişle katılığını,
- **Kayma (shaer) modülü;** zeminin yatay kuvvetlere karşı direncini, dayanıklılığını gösterir.

Tablo 3.7. Vs Hızları Baz Alınarak Zemin Sınıflandırılması

	<u>Zemin Sınıflaması</u>	<u>V_s</u> (m/sn)	<u>V_p/V_s</u>	<u>G</u> Kg/cm2	<u>Ed</u> Kg/cm2
<u>Z1</u>	Çok sıkı sert	>700	1,5-2,0	>10000	>30000
<u>Z2</u>	Sıkı-sert	400-700	2,0-2,5	3000-10000	10000-30000
<u>Z3</u>	Orta sıkı –Bozuşmuş	200-400	2,5-3,0	600-3000	2000-10000
<u>Z4</u>	Gevşek-yumuşak	< 200	3-10	< 600	<1700

- **Poisson oranı (ρ);** Bir kuvvet sonucunda enine kısılmanın boyuna uzamaya oranıdır. Birimsizdir.

Tablo 3.8. Poisson Oranı – Gözeneklilik Arasındaki İlişkiyi, Tablo 3.9. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Poisson Oranlarını göstermektedir. [28]

Tablo 3.8. Poisson Oranı – Gözeneklilik Arasındaki İlişki

Poisson Oranı	Gözeneklilik Durumu
0 - 0,25	Gözeneksiz
0,25 - 0,350	Orta Derecede Gözenekli
0,350 - 0,500	Gözenekli

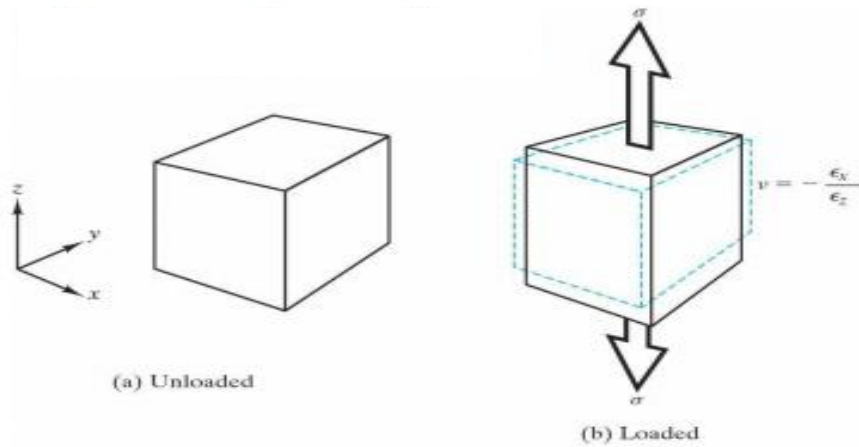
Tablo 3.9. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Poisson Oranları

<u>SERİM</u>	<u>P₁</u>	<u>P₂</u>	<u>P₃</u>
JEF-1	0,422	0,414	0,413
JEF-2	0,419	0,412	0,406
JEF-3	0,420	0,416	0,424

➤ **Elastisite modülü(E):** Boyuna gerilmenin, boyuna deformasyona oranıdır. Birimi kg/cm² dir.

Şekil 3.9. Elastisite Modülünün teorisini, Tablo 3.10. Elastisite Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımını (Keçeli, 1990), Tablo 3.11. Arazideki Ölçümlerden Elde Edilen Elastisite Modülü değerlerini göstermektedir.

$$E = \frac{\text{Boyunageri } lme}{\text{Boyunadefo rmasyon}} = \frac{F / A}{\Delta L / l} \quad A=\text{Birim yüzey, } F=\text{Etki eden kuvvet}$$



Şekil 3.9. Elastisite Modülü [30]

Tablo 3.10. Elastisite Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 1990)

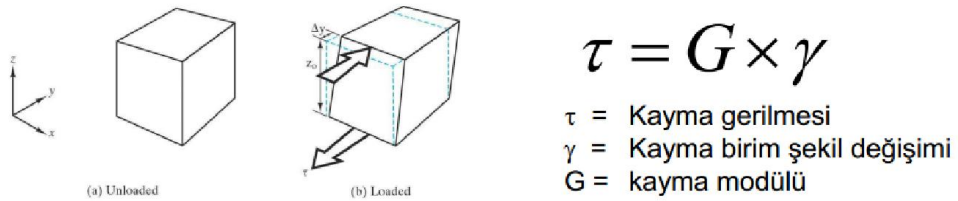
<u>Elastisite Modülü – E- kg/cm²</u>	<u>DAYANIM</u>
<1000	Çok zayıf
1000-3000	Zayıf
3000-10000	Orta
10000-30000	Sağlam
>30000	Çok Sağlam

Tablo 3.11. Arazideki Ölçümlerden Elde Edilen Elastisite Modülü

SERİM	E ₁	E ₂	E ₃
JEF-1	623,79 kg/cm ² (çok zayıf)	3048,81 kg/cm ² (orta)	8454,02 kg/cm ² (orta)
JEF-2	459,30 kg/cm ² (çok zayıf)	2361,53 kg/cm ² (orta)	6997,25 kg/cm ² (orta)
JEF-3	381,51 kg/cm ² (çok zayıf)	1498,26 kg/cm ² (zayıf)	1332,81 kg/cm ² (zayıf)

- **Kayma modülü (G):** Kayma gerilmesinin kayma deformasyonuna oranıdır. Birimi kg/cm² dir.

Şekil 3.10. Kayma Modülünün teorisini, Tablo 3.12. Kayma Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımını (Keçeli, 1990), Tablo 3.13. Arazi Ölçümlerinden Sonucu Elde Edilen Elastisite Modülü değerlerini göstermektedir.



Şekil.3.10. Kayma Modülü [30]

Tablo 3.12. Kayma Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 1990)

<u>Kayma Modülü (G, kg/cm^2)</u>	<u>DAYANIM</u>
<400	Çok zayıf
400-1500	Zayıf
1500-3000	Orta
3000-10000	Sağlam
>10000	Çok sağlam

Tablo 3.13. Arazide Ölçümlerinden Elde Edilen Kayma Modülü Değerleri

SERİM	G_1	G_2	G_3
JEF-1	219,37 kg/cm^2 (çok zayıf)	1078,38 kg/cm^2 (zayıf)	2992,16 kg/cm^2 (orta)
JEF-2	161,84 kg/cm^2 (çok zayıf)	1190,00 kg/cm^2 (zayıf)	2488,45 kg/cm^2 (orta)
JEF-3	134,29 kg/cm^2 (çok zayıf)	529,19 kg/cm^2 (zayıf)	1332,81 kg/cm^2 (zayıf)

- **Bulk Modülü (K):** Blaise Pascal ilkesine dayanır. Hacimsel gerilmenin, hacimsel deformasyona oranıdır. Birimi kg/cm^2 dir. Cisme her yönden kuvvet uygulandığında ortaya çıkmaktadır. Bulk modülü belli bir basınç altında sıkışmaya karşı gösterilen direnci göstermektedir.

Şekil 3.11. Kayma Modülünün teorisini, Tablo 3.12. Kayma Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımını (Keçeli, 1990), Tablo 3.13. Arazi Ölçümlerinden Sonucu Elde Edilen Elastisite Modülü değerlerini göstermektedir.

Tablo 3.14. Bulk Modülü Değerlerine Göre Zemin ya da Kayaçların Dayanımı (Keçeli, 1990)

<u>Bulk Modülü (K, kg/cm^2)</u>	<u>SIKIŞMA</u>
<400	Çok Az
400-10000	Az
10000-40000	Orta
40000-100000	Yüksek
>1000000	Çok Yüksek

Tablo 3.15. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Bulk Modülü Değerleri

SERİM	K₁	K₂	K₃
JEF-1	1329,00 kg/cm^2 (az)	5882,09 kg/cm^2 (az)	16139,14 kg/cm^2 (orta)
JEF-2	945,36 kg/cm^2 (az)	4352,04 kg/cm^2 (az)	12399,05 kg/cm^2 (orta)
JEF-3	799,22 kg/cm^2 (az)	2959,16 kg/cm^2 (az)	8334,48 kg/cm^2 (az)

- **Yoğunluk: ρ (gr/cm^3):** Boyuna dalga hızına göre amprik olarak Telford (1976) tarafından verilen yoğunluk aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\rho = d = 0.31 \cdot (V_p)^{0.25} (\text{gr/cm}^3)$$

Tablo 3.16. Zemin Birimlerinin Yoğunluk Sınıflandırılmasını, 3.17. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Yoğunluk Değerlerini, Tablo 3.18. Zemin Hakim Titreşim Periyotlarını göstermektedir. [28]

Tablo 3.16. Zemin Birimlerinin Yoğunluk Sınıflaması (Keçeli, 1990)

<u>Yoğunluk: ρ (gr/cm³)</u>	<u>TANIMLAMA</u>
<1.20	Çok düşük
1.20-1.40	Düşük
1.40-1.90	Orta
1.90-2.20	Yüksek
>2.20	Çok Yüksek

Tablo 3.17. Arazide Yapılan Ölçümler Sonucu Elde Edilen Yoğunluk Değerleri

<u>SERİM</u>	<u>ρ_1</u>	<u>ρ_2</u>	<u>ρ_3</u>
JEF-1	1,34	1,58	1,77
JEF-2	1,29	1,50	1,72
JEF-3	1,27	1,47	1,64

Tablo 3.18. Zemin Hakim Titreşim Periyodu(T_0)

<u>SERİM</u>	<u>T_0</u>
JEF-1	0,88
JEF-2	0,96
JEF-3	1,12

Yapı projelendirilirken yapının periyodu zeminin periyodundan uzak seçilmelidir. Pratikte 1 kat yüksekliğine 0,1 sn denk düşeceği göz önüne alınacak olursa, buradaki zemin hakim titreşim periyodunun **JEF-1 İÇİN 0,88 sn** olması, burada yapılabilecek olan 9 katlı bir yapının; **JEF-2 İÇİN 0,96 sn** olması, burada yapılabilecek olan 9 katlı

bir yapının; **JEF-3 İÇİN 1,12 sn** olması, burada yapılabilecek olan 11 katlı bir yapının rezonans etkisine maruz kalma riskini oldukça arttıracaktır. Bu rezonans etkisinden uzaklaşmak için, mevcut yapılacak yapının kat adedi **9-11 kat** sınırının altında veya üstünde olması gerekmektedir.

Amplifikasyon Bölgeleri

Zemin hakim titreşim periyotlarına bağlı olarak inceleme alanında yapılacak çok katlı yapıların, yapı periyotlarının yer almaması gerekli aralık aşağıda hesaplanmıştır. Zemin hakim titreşim periyodunun 1/1,5 ve 1,5 katsayıları ile çarparak, yapı doğal periyotlarının yer almaması gereken Amplifikasyon Bölgesi hesaplanır. [28]

$$T_{01} = 0,67 * T_0 \text{ ve } T_{02} = 1,50 * T_0 \text{ aralığında hesaplanmıştır.}$$

Tablo 3.19. Yapı Doğal Periyotlarının Yer Almaması Gereken Amplifikasyon Bölgesi (To1-To2)

<u>SERİM</u>	<u>T₀</u>	<u>T₀₁</u>	<u>T₀₂</u>
JEF-1	0,88	0,59	1,32
JEF-2	0,96	0,68	1,39
JEF-3	1,12	0,75	1,68

Ortalama Zemin Büyütmesi

Genellikle daha genç ve yumuşak olan zeminler, katı zeminlere ve taban kayaya oranla yer hareketini büyötmektedir. Sığ yer yapısının yer hareketi spektrumuna etkisinin belirlenmesi açısından önemli olan bu olgu, zemin büyütmesi olarak tanımlanmaktadır. Zemin hakim titreşim periyodu ise zemin büyütmesinin gözlendiği periyodu ifade etmektedir ve zemin-yapı etkileşimi açısından önemli bir parametredir.

3.5.2.3.3. Rezistivite (Özdirenç) Yöntemi ve Değerlendirilmesi

Çalışmalar kapsamında iyileştirme yapılan alanda ve iyileştirme yapılmayan alanda ayrı ayrı rezistivite ölçümü alınmıştır. İyileştirme yapılan alanda DES-1 ölçümü, iyileştirme

yapılmayan alanda ise DES-2 ölçümü yapılmıştır. Bunlara bağlı olarak yapılan değerlendirmelere ve sonuçlara bağlı yorumlama yapılmıştır.

Yeraltını oluşturan formasyonların fiziksel özellikleri arasında kayaçların elektriksel durumları ile ilgili parametreler, yüzeyden başlayarak uygulanan elektriksel metotlar ile ölçülüp hesaplanabilmektedir. Kayaçların elektriksel özellikleri denilince ilk akla gelen elektrik akımının kayaç içerisinde iletilmesidir. [28]

- **Elektrik İletkenlik :**

Elektrik iletkenliği; elektronların hareketi (yer değiştirmesi) ile meydana gelen elektronik veya metalik ve iyonların hareketi ile meydana gelen iyonik veya elektrolitik, olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Genellikle bizi ilgilendiren problemlerde yerdeki iletkenlik iyonik tiptedir. İletkenlik yerine jeofizikte, iletkenliğin tersi olan öz direnç veya rezistivite ifadesi kullanılmaktadır.

Yüzeyden başlayarak yeraltını oluşturan formasyonların rezistiviteleri ölçülebilmektedir. Bunun için homojen ve izotrop bir tabaka düşünülecek olursa, böyle bir ortamdan iki A ve B akım elektrotu vasıtasıyla yerden bir elektrik akımı geçirilmektedir. Akımın geçtiği zaman zarfında husul gelen potansiyel farkı, içte bulunan iki M, N potansiyel elektrodu yardımıyla tespit edilebilir. Bu takdirde bu ortama ait rezistivite değeri gerçek rezistivite değeridir.

Yeraltı heterojen olduğu ve rezistivite değerleri birbirinden farklı tabakalardan meydana geldiğinde bulunan arazi eğrisinin şekli de değişmektedir. Buna göre farklı farklı tabakalar için farklı rezistivite değerleri bulunmaktadır.

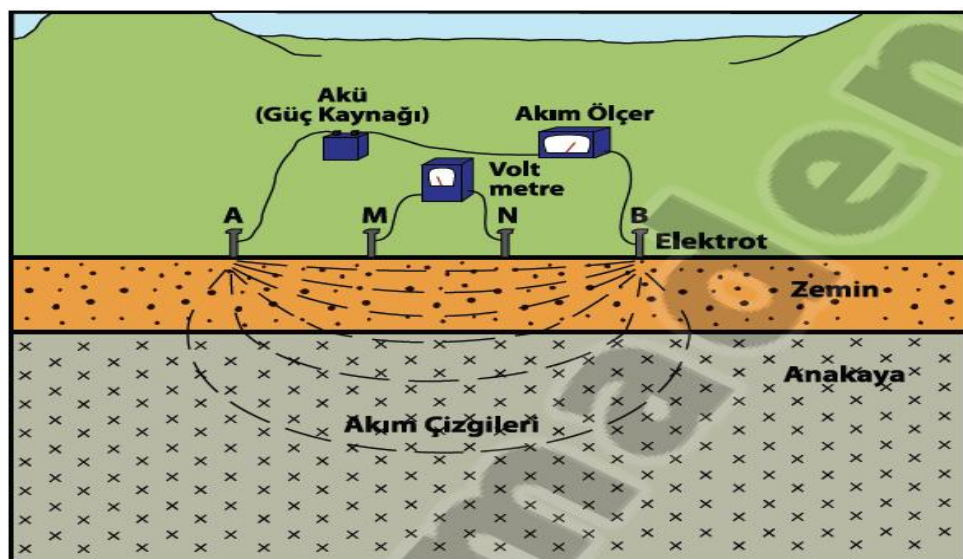
Arazi eğrilerinden hesaplanan spesifik rezistivite ve bu rezistivitelere ait kalınlıkların jeoloji anlamları, etüt edilen yerde bulunan jeolojik formasyonlar üzerinde ve deskripsiyonları, karot ve jeofizik loglardan faydalanılarak yapılan sondaj kuyularının başında alınan rapor jeofizik ölçüler değerlendirildikten sonra verilmektedir. Yani yapılacak bir sentezle jeoelektrik stratifikasyon tespit edilmektedir. (Önce elektriksel stratifikasyon; sonra jeoelektrik stratifikasyon oluşturulmaktadır.) [28]

Sedimanter kayaçların rezistivitesi litolojiye, sedimanter kayacı meydana getiren elemanların efektif dane çapına, taneler arası boşluğa ve boşluğu dolduran suyun kalitesine bağlıdır. Aynı kalitede yani su kalitesinin bir noktadan öbür noktaya değişmediği, yeraltısu tablası altında %100 suya doymun cimentolanmamış ortamlarda rezistivite değerinin artışı, ortamı meydana getiren malzemenin efektif dane çapının büyüklüğü (irileşmesi) ile doğru orantılıdır. Demek oluyor ki bu hipotez kapsamında kalmak şartı ile yüksek rezistiviteli yerler daha permeabl (geçirgen) olmaktadır.

Bu durum çoğu zaman mağmatik ve metamorfik kayaçlarda sedimenter kayaçların tersi özellikler göstermektedir. Yani yüksek rezistivite düşük permabiliteyi işaret etmektedir.

- **Schlumberger Elektrot Dizilimi:**

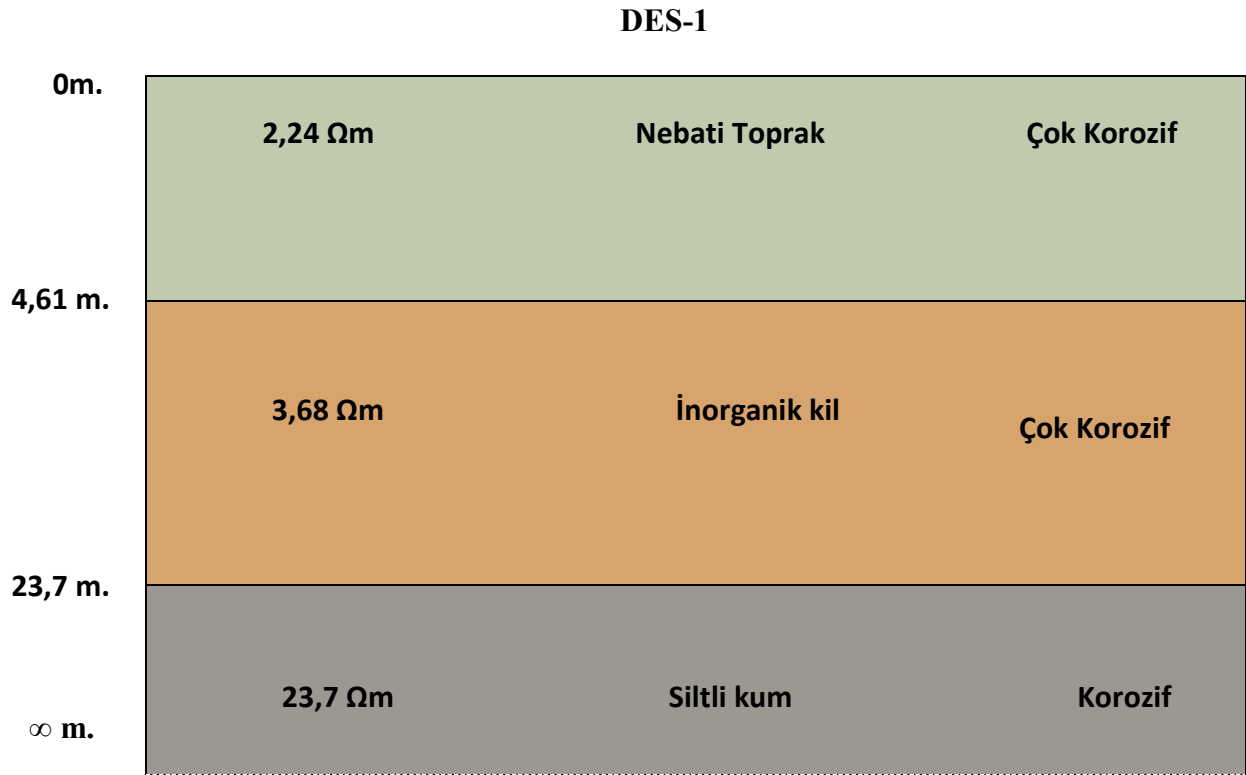
Bu dizilim de elektrotlar düzgün bir çizgi üzerine simetrik olarak akım elektrotları dışarıda potansiyel elektrotları içeride olmak üzere yerleştirilir ve simetri merkezi olan ölçü noktasındaki elektrik alan ölçülür (Şekil 3.11.). Potansiyel elektrotları arasındaki mesafe akım elektrotları arasındakine göre küçüktür. Ölçme esnasında potansiyel elektrotlarının yer değiştirmesine gerek yoktur. Hem sığ hem derin sondajlar için kullanılabilmesi, birçok teorik değerlendirme eğrisinin olması ve daha az kablo ve personel gerektirmesi Schlumberger diziliminin üstünlükleridir. [28]

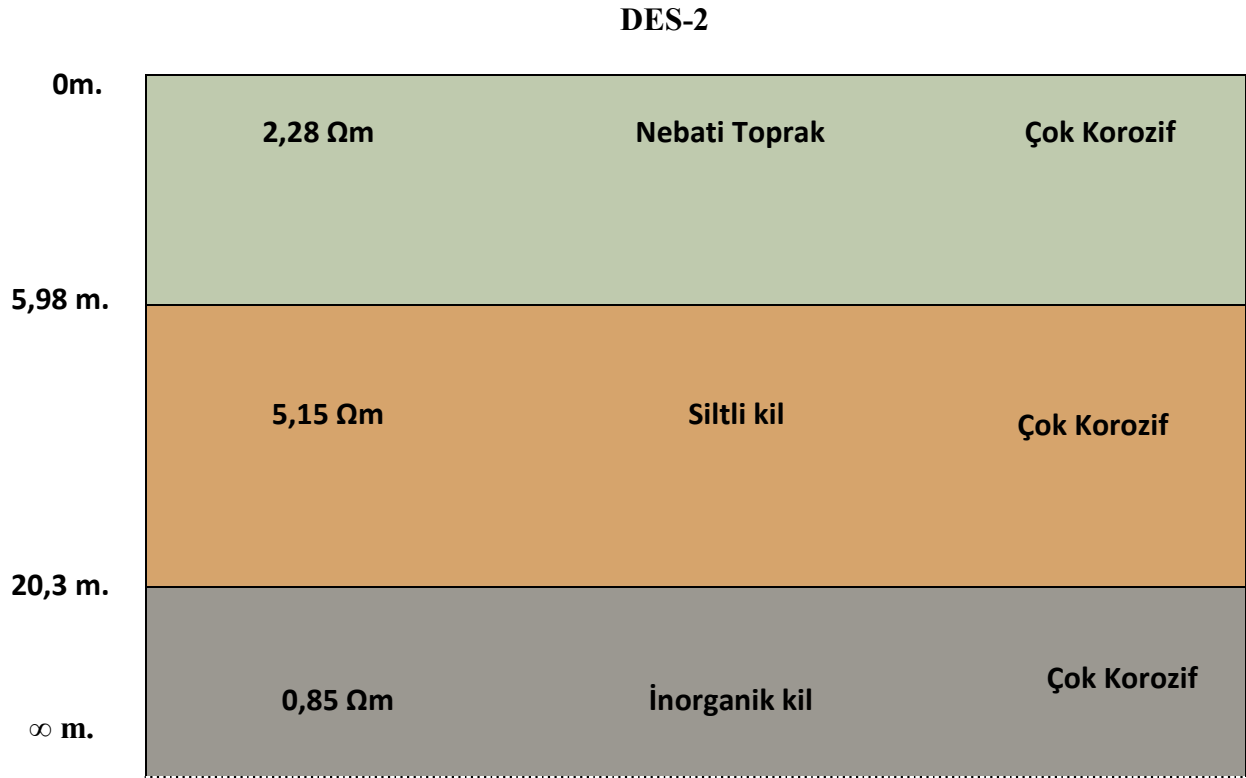


Şekil 3.11. Elektrik Özdirenç Yöntemi

İnceleme alanında MTA yapımı rezistivite cihazı ile Schlumberger elektrot açılım sistemi ile $AB/2=30m$ olan bir adet rezistivite ölçümü alınmıştır. Ölçümlerde ikişer adet akım ve potansiyel elektrotu kullanılmıştır. Güç kaynağı olarak 12 Voltluk akü kullanılmış olup 100 mA sabit akımla ölçümler alınmıştır.

İnceleme alanında **1 adet $AB/2=30m$** olan rezistivite ölçümü alınmıştır. Alınan ölçümün değerlendirilmesi sonucunda genel olarak tabakalı ortamların varlığından söz etmek mümkündür. Ölçümler genel olarak değerlendirildiğinde aşağıda muhtemel derinlikler, öz direnç değerleri ve bunlara bağlı olası jeolojik yapı sunulmuştur. [28] (Şekil 3.12.).





Şekil 3.12. Düşey Elektrik Sondajı Ölçümleri Sonucunda Elde Edilen Olası Yeraltı Modeli

TS 5141'e Göre Zeminlerin Elektrik Özgöl Dirençlerine Göre Sınıflandırılması ile ilgili Tablo 3.20 de verilmiştir.

Tablo 3.20. TS 5141'e Göre Zeminlerin Elektrik Özgöl Dirençlerine Göre Sınıflandırılması

<u>Zeminin Elektrik Özgöl Direnci</u> <u>P(Ohm-m)</u>	<u>Zeminin korozyif özelliği</u>
<10	Çok Korozyif
10-30	Korozyif
30-100	Orta Korozyif
100>	Az Korozyif

Dip not: 3. Bölümün; 3.5.2.3. ve alt maddeleri, Temmuz 2013'de Farkım Mimarlık Mühendislik tarafından bu tez kapsamında yapılan deney sonuçlarını içeren jeofizik raporundan alınmıştır.

3.5.3. Laboratuvar Çalışmaları

T.C. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda, bu teze konu olan arazideki iyileştirme öncesi ve sonrası durumu belirlemek amacı ile sondaj çalışmaları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde gerekli görülen deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş olup bunlarla ilgili açıklayıcı bilgiler aşağıda anlatılmıştır.

3.5.3.1. Endeks Özellikleri

Zeminleri daha iyi tanımlayabilmek için, zeminlerin dane ve kütle özelliklerinin bütünü olan endeks özellikler ve deney sonuçları aşağıda anlatılmıştır.

3.5.3.1.1. Dane Birim Hacim Ağırlığı

Araziden alınan zemin numuneleri üzerinde dane birim hacim ağırlığı değerini belirlemek için piknometre deneyleri yapılmış olup sonuçlar Tablo 3.21.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.21. Piknometre Deney Sonuçları

Sondaj No.	Derinlik (m)	Zemin Cinsi	Dane Birim Hacim Ağırlığı γ_s (gr/cm ³)	Tabii Birim Hacim Ağırlığı γ_n (gr/cm ³)
1	4,50	Organik Turba Zemin- PT	1,90	1,90
1	10,50	Kumlu Yeşil Kil-CL	2,52	2,52
1	15,00	Siltli Kum-SM	2,64	2,64

3.5.3.1.2. Su Muhtevası

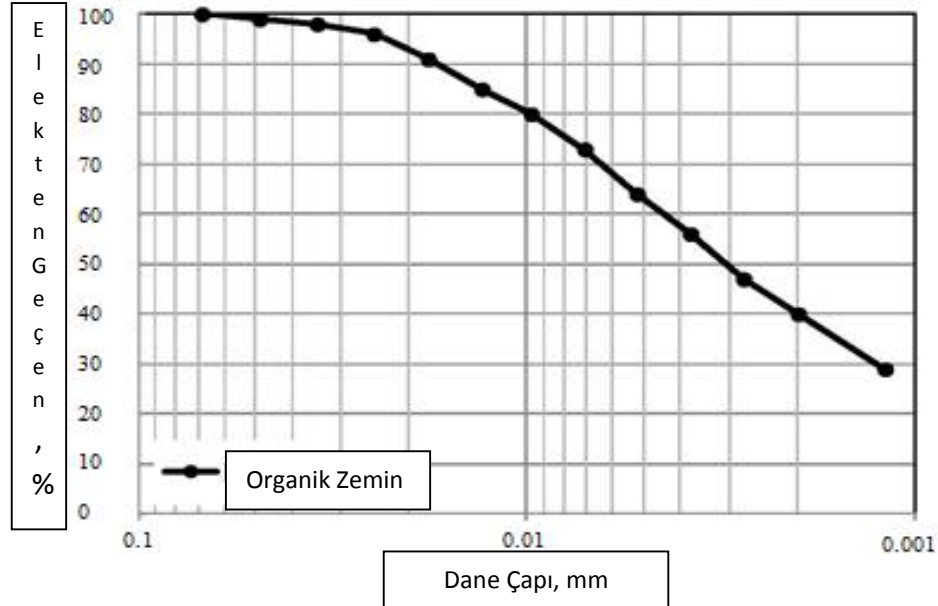
Alınan numuneler üzerinde su muhtevasını belirlemek için yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler Tablo 3.22. de verilmiştir.

Tablo 3.22. Su Muhtevası Deney Sonuçları

SU MUHTEVASI		
SK1		
Derinlik -m-	Zemin Cinsi	w (%)
1,50	Kumlu Organik Zemin PT	41,81
3,00	Organik Turba Zemin PT	205,40
4,50	Organik Turba Zemin PT	225,00
6,40	Organik Turba Zemin PT	320,00
7,50	Kumlu Silt	37,14
9,00	Killi Kum	39,21
10,50	Kumlu Silt	46,06
12,00	Kumlu Yeşil Kil	25,33
13,50	Kumlu Silt	30,46
15,00	Kumlu Silt	38,88
SK2		
Derinlik - m-	Zemin Cinsi	w (%)
1,50	Organik Turba Zemin PT	252,63
3,00	Organik Turba Zemin PT	241,67
4,50	Organik Turba Zemin PT	250,00
6,00	Organik Turba Zemin PT	142,85
7,90	Kumlu Silt	50,00
9,40	Killi Kum	27,63
10,50	Kumlu Silt	57,80
12,00	Kumlu Yeşil Kil	28,57
13,50	Kumlu Silt	29,77
15,00	Kumlu Silt	48,73

3.5.3.1.3. Dane Dağılımı Deneyleri

Araziden alınan zemin numuneleri üzerinde dane dağılımını belirlemek için elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Organik Zemin dane dağılımı ile ilgili çizilen granülometri eğrisi Şekil 3.13. 'da gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Organik Zemin Granülometri Eğrisi

Dane dağılımını belirlemek için yapılan deneylerin sonuçları toplu olarak Tablo 3.23. 'de verilmiştir. İnce daneli zeminlerin sınıflandırılmasında, kıvam limitleri deney sonuçlarından yararlanılarak tabloda yer verilmiştir.

Tablo 3.23. Elek Analizi Deney Sonuçları

Sondaj No.	Derinlik (m)	Çakıl %	Kum %	İnce Dane %	Zemin Cinsi USCS
1 _f	6,50-6,95	0,00	32,80	67,20	Killi Silt - ML
1	11,50-11,95	0,00	30,70	69,30	Siltli Kil - CL
1	14,50-14,95	0,00	55,30	44,70	Killi Kum - SC
2 _o	8,50-8,95	0,00	15,70	84,30	Siltli Kil - CL
2	10,00-10,45	0,00	32,30	67,70	Siltli Kil - CL
2	14,50-14,95	0,00	51,60	48,40	Killi Kum - SC

3.5.3.1.4. Organik Madde Tayini

Yapılan sondaj çalışmalarında zemin yüzeyinden 6,00 – 6,50 metre kotuna kadar Turba (organik zemin) devam etmektedir. Bu zemin ile ilgili Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde farklı yönleri ile ilgili detaylı çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Aşağıda Tablo 3.24.'de Organik zeminlerin özellikleri verilmiştir. [31]

Tablo 3.24. Turba (Organik Zemin) Özellikleri [31]

<u>Organik Zemin</u>	<u>Test Sonuçları</u>
Silt (%)	60.0
Kil (%)	40.0
Toprak Sınıfı	Pt
Doğal Nem İçeriği (%)	90 - 220
Likit Limit (%)	137.0 - 150.0
Plastik Limiti (%)	97.0 - 105.0
Plastisite İndeksi	40.0 - 45.0
Ortalama Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	12.75-13.25
Kuru Yoğunluk (kN/m^3)	4.0-7.0
Maksimum Kuru Birim Ağırlık (kN/m^3)	9.40
Optimum Su İçeriği (%)	55.0

Turbalık zemin üzerinde kül yüzdesi ve organik madde miktarının tayini için çalışmalar yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, turbalık zemin kül yüzdesi % 75,0 -% 81,4 aralığında bulunmuştur. Organik madde içeriği ise % 18,6 -% 25,0 aralığındadır. ASTM D 4427' ye bakıldığında organik madde miktarı en az % 25 olan zeminler turba olarak tanımlanmıştır. Bu zeminde Turba gibi tanımlanabilir. [32]

3.5.3.1.5. Kıvam Limitleri

Araziden alınan zemin örnekleri üzerinde TS 1900' e göre kıvam limit deneyleri yapılmıştır. Aşağıda deney yapım aşamalarını gösteren fotoğraflar Şekil 3.14.'de görülebilir



Şekil 3.14. Kıvam Limitleri Deney Seti

Tablo 3.25.' de araziden alınan zemin örnekleri üzerinde yapılan kıvam limitleri deney sonuçları ve bu sonuçlara göre belirlenen birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre zemin cinsleri toplu halde verilmiştir.

Tablo 3.25. Kıvam Limitleri

Sondaj No	Derinlik (m.)	Tabii Su muhtevası %	Likit Limit %	Plastik Limit %	Plastisite İndisi %	Zemin Cinsi (USCS)
SK 1	5,00 - 5,45	32,45	42,20	24,10	18,10	CL hiç
	8,50 - 8,95	28,57	45,50	26,00	19,50	CL hiç
SK 2	7,00 - 7,45	35,60	45,00	25,00	20,00	CL opal
SK 1	9,50 - 9,95	34,20	34,00	20,00	14,00	CL opal
	11,50 - 11,95	34,60	43,00	22,70	20,30	CL farkım
SK 2	8,50 - 8,95	33,90	40,00	20,00	20,00	CL opal

3.5.3.1.6. Kayma Mukavemeti Özellikleri

Kayseri İli, Melikgazi İlçesi, Anbar Mahallesi, 436 pafta, 6837 ada ve 3 no.lu parsel temel zemini profilinde karşılaşılan zeminlerin kayma mukavemeti ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Turbalık zeminlerin kayma mukavemeti değerlerini ve değişimlerini belirlemek için araştırma çukurlarından jet grout öncesi ve sonrası alınan örnekler üzerinde cep penetrometresi ve laboratuvar veyn aletleri ile ölçümler yapılmıştır.

Her bir örnek üzerinde 12 adet okuma yapılmış olup en büyük ve en küçük değerler atılarak ortalama değer hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.26.' da gösterilmiştir.

Tablo 3.26. Turbalık Zemin Kayma Mukavemeti Özellikleri

Sondaj No	Derinlik (m.)	Numune	Torveyn q_u ortalama kg / cm^2	Cep Penetrometre q_u ortalama kg / cm^2
AÇ 1	1,50	JG Öncesi Örselenmemiş	1,11	0,88
AÇ 2	1,50	JG Sonrası Örselenmemiş	1,19	0,95

Elde edilen değerlere bakıldığında her iki deneyde de turbada % 7-8 mertebesinde hissedilebilir bir mukavemet artışı gözlenmiştir.

Yeşil Düşük Plastisiteli Siltli Kil zeminin kayma mukavemeti değerlerini belirlemek için jet grout öncesi ve sonrası sondaj çalışmaları sırasında alınan örselenmemiş (UD) zemin örnekleri üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.29.' da gösterilmiştir.

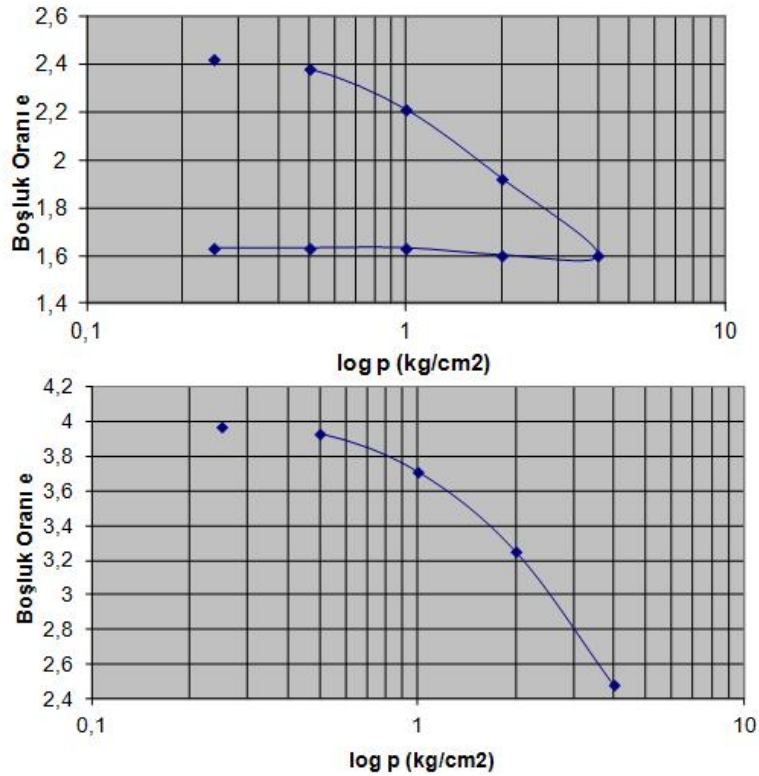
Tablo 3.29. Yeşil Kil – CL Serbest Basınç Deney Sonuçları

Sondaj No.	Derinlik (m)	Tabii Birim Hacim Ağırlık t/m^3	Kohezyon c kg/cm^2	Serbest Basınç Muk. q_u kg/cm^2	SPT N_{30}
SK 1	6,00	1,85	0,395	0,790	5
SK 2	7,50	1,85	0,675	1,150	8

Yeşil Düşük Plastisiteli Siltli Kil zemininin üzerinde jet grout öncesi ve alınan örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde yapılan serbest basınç deney sonuçlarına göre kohezyonda %70, serbest basınç mukavemetinde %45 ve SPT N_{30} değerinde ise %60 mertebelerinde artış gözlenmiştir.

3.5.3.1.7. Konsolidasyon Deneyleri

Kayseri Sanayi Bölgesi yumuşak killerin sıkışma özelliklerini belirlemek amacıyla odömetre deneyleri yapılmış olup elde edilen grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.15. MÇ1-e-log p Grafiği ve MÇ2-e-log p Grafiği

Tablo 3.30. Yeşil Kil – CL Konsolidasyon Deney Sonuçları

Sondaj No. Derinlik (m)	Tabii Birim Hacim Ağırlık t/m^3	Hacimsel Sıkışma Katsayısı $m_v - cm^2/kg$	Konsolidasyon Hızı $c_v - cm^2/sn$	Permeabilite $k - cm/sn$	SPT N_{30}
SK 1 6,00	1,85	0,395	0,790	0,00031	5
SK 2 7,50	1,85	0,675	1,150	0,00078	8

3.5.3.1.8. Jet Grout Kolon Güvenli Taşıma Gücünün Belirlenmesi

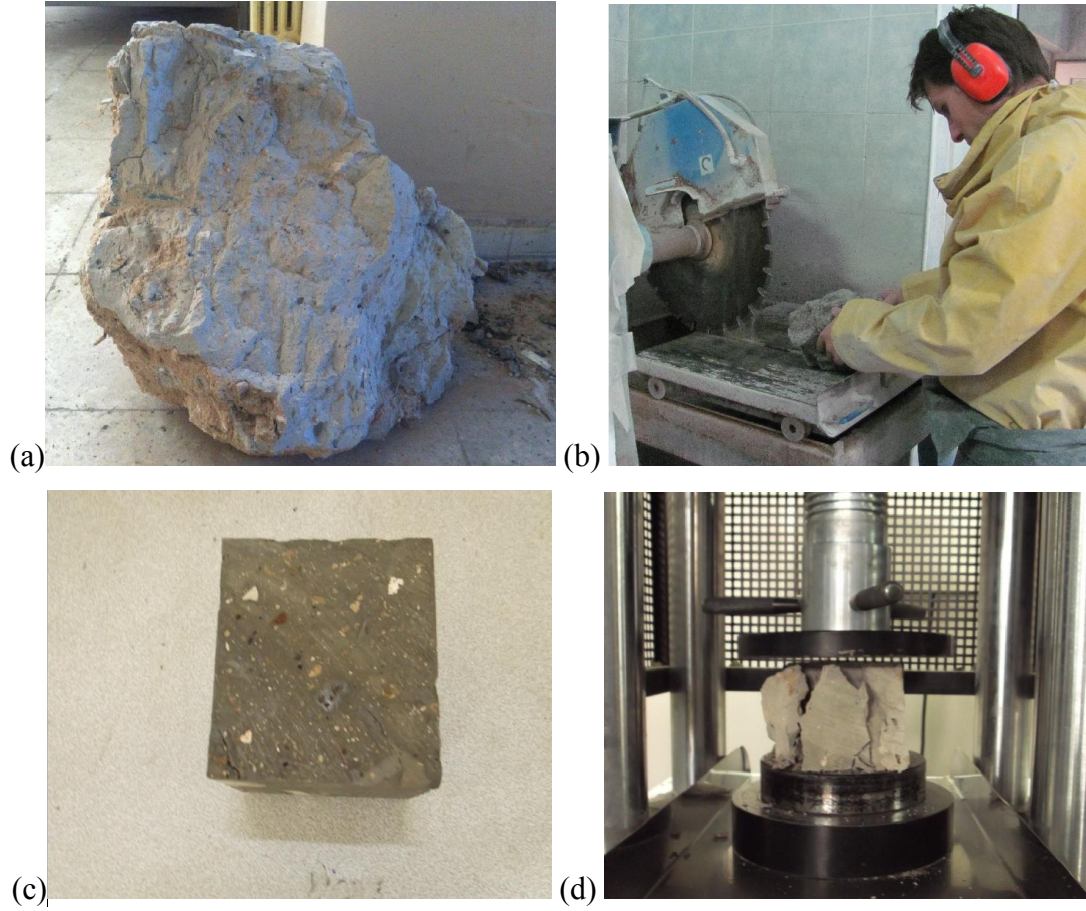
Kayseri İli, Melikgazi ilçesi, Anbar Mahallesi, 436 Pafta, 6837 Ada, 3 Parsel de bulunan ALİBEYOĞLU A.Ş. Hizmet Binası için yapılan jet grout test kolonlarının uygun olan numuneleri laboratuvara getirilmiştir. Getirilen bu jet grout numunelerinden kesilerek 10*10*10 mm’lik küp numuneler hazırlanmış olup Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Çimento Laboratuvarında bulunan TRK-TÜRKKAL Kalibrasyon Ltd. Şti. tarafından AB-0064-K KV0425 2013-04 sayı ile kalibrasyon sertifikasına sahip çimento presinde basınç dayanımı deneyine tabii tutulmuştur.

Hazırlanmış olan 10*10*10 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar Tablo 3.32.’de verilmiştir.

Tablo 3.31. Jet-Grout Basınç Dayanım Sonuçları [33]

Numune No	Numune Boyutları (mm)	Kırılma Yüğü (kN)	Dayanım (MPa)
1	100×100×100	49,40	4,9
2	100×100×100	70,75	7,1
3	100×100×100	71,35	7,1
4	100×100×100	85,75	8,6
5	100×100×100	78,09	7,8
6	100×100×100	36,75	3,7
Ortalama Dayanım			6,5

Jet grout numunesi, hazırlanan küp numuneler ve bunların kırılması ile ilgili fotoğraflar Şekil 3.19. da sunulmuştur.



Şekil 3.16. Jet Grout Numunesi (a), küp numunelerin hazırlanması (b), Hazırlanan 10*10 mm küp numuneler (c), Hazırlanan Küp Numunelerin Kırılması (d)

Sonuç olarak; Uygulama Jet Grout Ortalama Taşıma Gücü 6,50 Mpa olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer Tasarım Jet Grout Kolon Taşıma Gücü olarak önerilen olan 5,00 Mpa' dan büyüktür. [33]

3.6. SONUÇLAR

Tezin 3. Bölümü jet grout yöntemi ile ilgili uygulamaya yönelik çalışmaları içermektedir. Uygulama olarak ALİBEYOĞLU Hırdavat Nalburiye Makine Boya San.

Tic. Ltd. Şti. Hizmet Binası ve inşaat alanı ile ilgili çalışmalar seçilmiş olup bu proje ile ilgili tanıtım ve yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Proje aşamasında yapılan zemin araştırması ile ilgili çalışmalara kapsamlı bir şekilde yer verilmiştir. Bu kapsamda arazi durumu ve zemin profili, deneysel çalışmalar, inşa edilecek yapılar, temel zemininin geoteknik değerlendirilmesi, bölgenin jeolojisi ve depremselliği konuları hakkında bilgi verilmiştir.

Teze konu olan projenin jet grout taşıma yükü,oturma ve sıvılaşma hesapları bu bölümde yapılmıştır.

Zemin iyileştirme yöntemi olarak Jet Grout ile iyileştirme seçilmiştir. Yapılan jet grout uygulama sonrası iyileştirmeyi belirlemek için deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla SPT deneyi içeren sondaj çalışmaları, jeofizik inceleme yöntemleri olarak da sismik ve rezistivite deneyleri yapılmıştır. Arazi çalışmalarından elde edilen zemin örnekleri üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları ile geoteknik parametrelerdeki değişim belirlemeye çalışılmıştır. Jet Grout kolon güvenli taşıma gücünün belirlenmesi amaçlı deneme kazığından alınan numuneler üzerinde basınç dayanım deneyi yapılmıştır.

Yapılan tüm çalışmalardan elde edilen sonuçlar ilgili bölümlerde yorumlanmıştır.

4. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Giriş

Günümüzde sağlam zemin özelliği gösteren bölgelerin giderek azalması, teknoloji ve ihtiyaçlara bağlı olarak yapı yüklerinin artması zorunlu olarak taşıma gücü, deformasyon ve sıvılaşma açısından uygun olmayan zeminlerin iyileştirilmesini gündeme getirmektedir.

Yetersiz taşıma güçleri ve yüksek deformasyon özellikleri ile inşaat mühendisliği konularında en problemlili zeminlerin başında turbalık ve bataklık zeminler ile yumuşak killeri gelmektedir. Bu çalışmada Kayseri Anbar bölgesinde karşılaşılan bu tür özelliğe sahip zeminlerin iyileştirilmesi ile ilgili uygulanan jet grout yöntemi konu edilmiştir.

Uygulamada ALİBEYOĞLU Hırdavat Nalburiye Makine Boya San. Tic. Ltd. Şti. Hizmet Binası ile ilgili yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır. Çalışmada jet grout uygulamadan önceki zemin parametreleri ile uygulama sonrası parametreler karşılaştırılmıştır. Uygulanan yöntem ve uygulama koşullarının iyileştirmeye etkisi araştırılmıştır.

4.2. Sonuç Ve Öneriler

ALİBEYOĞLU Hırdavat Nalburiye Makine Boya San. Tic. Ltd. Şti. Hizmet Binası ve inşaat alanında yapılan jet grout uygulaması ile taşıma gücü ve deformasyon problemleri yüklerin sağlam zemine aktarılmasıyla çözümlenmiştir. Bu uygulamanın

temel zeminindeki iyileştirilmesi bu tez kapsamında araştırılmıştır. Bu konu ile ilgili yapılan tüm çalışmalar değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Araştırma yapılan inşaat alanındaki temel zemini profili incelendiğinde, 6.00 – 7.00 metre kalınlığında Turba Zemin, devamında da yaklaşık birer metre kalınlığında sırasıyla Düşük Plastisiteli Silt (ML), Killi Kum (SC), Düşük Plastisiteli Silt (ML), Düşük Plastisiteli Kil (CL) zemin tabakaları yer almaktadır. Yer altı su seviyesi ise 1,5 metre derinliktedir.

SPT deney sonuçları incelendiğinde; SPT değerlerinin çok düşük olmasından dolayı turba tabakasında belirli bir iyileşme gözlenememişken, düşük plastisiteli silt, kil ve killi kum tabakalarında SPT artışları gözlenmiştir. Sonuç olarak çok yumuşak zemin tabakalarında hissedilir bir artış gözlenmezken kumlu tabakalarda merkezden ‘D’ uzaklıkta %50’ye varan SPT artışları gözlenmiştir.

Yeşil Düşük Plastisiteli Siltli Kil zemininin üzerinde jet grout öncesi ve alınan örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde yapılan serbest basınç deney sonuçlarına göre kohezyon, serbest basınç mukavemeti ve SPT N_{30} değerlerinde artış gözlenmiştir. Bu değer artışları jet grout kolon merkezinden ‘D’ uzaklığındaki bölgeler için geçerlidir. Kolon merkezinden uzaklaştıkça artış değerleri de azalacaktır.

Jet öncesi ve jet sonrası açılan muayene çukurlarında alınan turba zemin örnekleri üzerinde yapılan torveyn ve cep penetrometresi deney sonuçlarından elde edilen değerlere bakıldığında her iki deneyde de turbada mukavemet artışı gözlenmiştir.

Yeşil Düşük Plastisiteli Siltli Kil zemininin üzerinde jet grout öncesi ve alınan örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde yapılan konsolidasyon deney sonuçlarına göre hacimsel sıkışma katsayısı değeri düşmekte, hesaplanan permeabilite değeri ise artmaktadır. Bu bir tipik sıkışma davranışıdır.

Sismik kırılma yönteminde serim açıklığı göz önüne alındığında bulunan değerler yüzeyden 12-13 metre derinliğe kadar olan genel zemin davranışını karakterize

etmektedir. Ölçülen hızlardaki artışlar iyileşmenin kolon merkezinden başlayarak azaldığını açıkça göstermektedir.

P ve S dalga hızlarındaki değişimine bakıldığından iyileşme gözlenmektedir. Yapılan hesaplamalar ve buna bağlı düzenlenen tablolarda Poisson Oranı, Elastisite Modülü, Kayma Modülü, Bulm Modülü ve zemin yoğunluğundaki olumlu değişimler tablolarda görülmektedir.

Rezistivite (Özdirenç) deney sonuçları değerlendirildiğinde temel zeminindeki tabakalı yapılanma ve tabaka sınırları deney sonuçlarındaki elektriksel dirençlere bağlı olarak belirlenmiştir.

Genel olarak elde edilen sonuçların özetlenmesi aşağıda yapılmıştır.

- Jet Grout Yöntemi özellikle gevşek kumlar ve siltlerde, kohezyona bağlı olarak killerde temel zemini iyileştirme yöntemi olarak yaygın olarak ve başarı ile kullanılan bir yöntemdir.
- Temel zemini iyileştirme amaçlı kullanılıyor ise daha küçük çaplar ve daha sık kazık aralıkları olacak şekilde planlama yapılmalıdır. Kazık aralıkları açıldıkça iyileştirme yüzdesi düşmektedir.
- Turbalık ve çok yumuşak killerde zemin özellikleri üzerinde hissedilir bir iyileştirme etkisi gözlenmemektedir.
- Çok gevşek ve gevşek kumlarda sıkılaşma ile sıvılaşmaya karşı güvenle kullanılabilir.
- Oldukça pratik, hızlı ve ekonomik bir iyileştirme yöntemidir.

Sonuç olarak; jet grout yöntemi uygun projelendirme koşullarında kaba daneli gevşek ve yumuşak ince daneli zeminlerde taşıma gücü arttırmak, düşey yükleri taşıtmak, oluşabilecek deformasyonları minimize edebilecek, sıvılaşma durumunda önlem olarak kullanılacak bir yöntemdir.

KAYNAKLAR:

1. Özdemir, A., Özdemir, M., 2006, Zayıf Zeminlerin İyileştirilmesi ve Son Yıllarda Yaygın Olarak Uygulanan Bazı Zemin İyileştirme Yöntemleri, Sondaj Dünyası Dergisi,3, 34-38
2. Sağlamer, A., 2011, Zemin İyileştirme Yöntemleri, ZM11, Trabzon, Karadeniz Teknik Üniversitesi
3. Özaydın, K., 2012, Zeminlerin İyileştirilmesi, 4-5 Ekim, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi, İstanbul, Yıldız Teknik Üniversitesi
4. Yıldız, A.A., 2013, Zemin İyileştirme Yöntemleri, 19 Ocak, İnşaat Mühendisleri Odası Meslek İçi Eğitim Kursu, Oturum 2, Mersin
5. Kara, H.B., 2013, Temel zemin iyileştirme yöntemleri ders notu, Kayseri, Erciyes Üniversitesi
6. Kara, H.B., 2012, Drenaj Ders Notu, Kayseri, Erciyes Üniversitesi
7. Kaya, Z., Temel Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Uygulamaya Yönelik İki Proje Çalışması, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 123-140 s.
8. Öztürk, A., Karayolu Menfezlerinin Hidrolik Yönden İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 10 s.
9. Kara, H.B., 2012, Temel zemin iyileştirme yöntemleri- drenaj ders notu, Kayseri, Erciyes Üniversitesi, 47-77 s.
10. Çevik Özkeskin, A., Zemin iyileştirme yöntemleri sunumu, ODTÜ, sa 16-26, (web sayfası: www.ce.metu.edu.tr), (erişim tarihi: nisan 2014).
11. Kara, H.B., 2009, Temel zemin iyileştirme yöntemleri- donatılı stabilizasyon ders notu, Kayseri, Erciyes Üniversitesi, 55-58 s.
12. Geosentetikler, 2012, Ürün grupları-geogridler. (web sayfası: www.tecnomaccaferri.com), (erişim tarihi: şubat 2014).
13. Dalgın, Y.,2006. Geosentetiklerin filtrasyon tasarım ilkeleri, sa. 177-190, İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, 16-17 Kasım, Boğaziçi Üniversitesi, 230 s.
14. Geokompozitler, (web sayfası: www.aydas.com.tr). (erişim tarihi: şubat 2014).
15. Kara, H.B., 2009, Temel zemin iyileştirme yöntemleri- katkı maddeleri ile stabilizasyon Ders Notu, Kayseri, Erciyes Üniversitesi, 15-69 s.
16. Tumluer, G., Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 45-78 S.

17. Doğanışık, S. K., Jet Grout Kolonundaki Gerilme Dağılışı'nın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 3-13 s.
18. Küçükali, N., Demiryolu Altyapısının Jet Enjeksiyon Yöntemi İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 51-67 s.
19. Keller, The soilcrete- jet grouting process, sa.6-11, (web sayfası: www.kellerasia.com), (erişim tarihi: ocak 2014)
20. Çınar, M., Akaya, A. B., Jetgrouting uygulama tekniği, s.326, (web adresi: www.maden.org.tr), (erişim tarihi: aralık 2013).
21. Kusin, C.C., Jet Grout Yöntemi İle İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 21-53 s.
22. Baş, K., Temel Takviye Yöntemleri Ve Uygulamadan Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 35-69 s.
23. Arslan, A., Saha içerisindeki jet grout ekipmanları yerleşim planı, Soil Teknik A.Ş., (erişim tarihi: mart 2013).
24. Bakım, M. A., Enjeksiyon Yöntemleriyle Zemin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 21-33,51-54 s.
25. Püsküllüoğlu, A., Ceyhan Hidroelektrik Santrali Projesi (Cevdetiye-Osmaniye) Regülatör Yapılarındaki Geçirimsizleştirme Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 11-24 s.
26. Doğanışık, S. K., Jet Grout Kolonundaki Gerilme Dağılışı'nın İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 3-13 s.
27. Sonuvar, M.M., 2007, Kazık yükleme deneyi prosedürü, s.130, 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, İzmir.
28. Ünal, G., Parsele Esas Jeofizik Etüt Raporu, Farkım Mimarlık Mühendislik, Temmuz 2013, 2-14 s.
29. Kara, H.B., Kaya, Z., Uncuoğlu, E., Çayabatmaz, Ş., 2013, Jet Grout Temel Zemin İyileştirme Raporu ve Projesi, T.C. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Geoteknik Anabilim Dalı, Mart 2013.
30. Dikicioğlu, A., 2011-2012, Mekanik özellikler – sertlik ders sunumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, 30 s.
31. Çayabatmaz, Ş., Organik Zeminlerin İyileştirilmesi ve Kayseri Bölgesi Organik Zeminlerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 65 s. (yayınlanmamış)

32. Kaya, Z., Çayabatmaz, Ş., Kara, H.B., Uncuoğlu, E., 2013, Determination of the properties of Kayseri Peat, pp.882-889, 2nd International Balkans Conference On Challenges Of Civil Engineering, BCCCE, 23-25 May 2013, Epoka University, Tirana, Albania.
33. Karahan, O., İlkentapar, S., 2013, Jet Grout Basınç Dayanım Raporu, T.C. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Anabilim Dalı, 29 Temmuz.
34. Bowles, J. E., P.E., S.E , Foundation Analysis And Design , 45,201,296 s.
35. Durgunoğlu, H. T., 2004, Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
36. Alkaya, D., Yeşil, B., Yüksek Modüllü Kolonların Jet Grout Tablolama Programı Kullanılarak Tasarımı, Pamukkale Üniversitesi, Denizli
37. Özden, G., 2010, Depreme Dayanıklı Temel Tasarımı – İMO Seminer, Dokuz Eylül Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Ve Deprem Araştırma Ve Uygulama Merkezi, 18 Mart, İzmir
38. Yıldız, R., 2009, Jet Grout Kolon Uygulama Yöntemleri, Jet Grout Kolon Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi Yapılması - İMO Seminer, 3-4 Aralık, İzmir

EKLER:

Ek 4.1. İmar Planı

Ek 4.2. Vaziyet Planı

Ek 4.3. Odak Mühendislik Sondaj Logları

Ek 4.4. Farkım Mühendislik Deney Sonuçları

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Hatice ÇINAR ŞENLİK
 Uyruğu: Türkiye (TC)
 Doğum Tarihi ve Yeri: 27 Mart 1986, Sivas
 Medeni Durumu: Evli
 Tel: +90 506 429 20 51
 email: h.i.cinar@hotmail.com.tr
 Yazışma Adresi: Konak Mah. Konak Cad. Öztuğcular Apt. B Blok No:14 Daire:2
 Nilüfer/BURSA

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	EÜ Fen Bilimler Enstitüsü	2015
Lisans	EÜ Müh. Fak. İnşaat Müh.	2011
Önlisans	CÜ SMYO İnşaat	2007
Lise	Kongre (YDA) Lisesi, Sivas	2004

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011- 2014	Kateksan Ltd. Şti., Kayseri	İnşaat Mühendisi
2007–2008	ARYA Mimarlık, Sivas	İnşaat Teknikeri

YABANCI DİL

İngilizce