

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN
YÖNTEMLERDEN BİRİ OLAN JET GROUT
YÖNTEMİNE İLİŞKİN BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serkan GÜL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**HAZİRAN 2015
SAMSUN**



**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN
YÖNTEMLERDEN BİRİ OLAN JET GROUT
YÖNTEMİNE İLİŞKİN BİR UYGULAMA**

YÜKSEK LİSANS

**Serkan GÜL
(07210225)**

Tezin Savuma Tarihi : 01 Temmuz 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zeki KARACA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Serkan GÜL Tarafından Hazırlanan

ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN
YÖNTEMLERDEN BİRİ OLAN JET GROUT
YÖNTEMİNE İLİŞKİN BİR UYGULAMA

başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 01/07/2015 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : **Doç. Dr. Zeki KARACA**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Gökhan DEMİR**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Yasemin AKGÜN
Ordu Üniversitesi

..../..../2015

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR
Enstitü Müdürü

Eşime ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Çalışmamın her aşamasında bilgi, birikim ve desteğini esirgemeyen Danışmanım Doç.Dr. Zeki KARACA'ya, çalışmamıza konu olan işin yüklenici firması Tisa İnş.Tic. ve Turz.Ltd.Şti.'ne, jet grout uygulamasını yapan Temeltaş İnş.San. ve Tic. A.Ş. ile proje müellifi Eser Müşavirlik Mühendislik A.Ş.'nin yönetici ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Jüri üyeliği gibi önemli bir görevi üstlenip, tezimi değerlendiren Ondokuz Mayıs Üniversitesi öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Gökhan DEMİR ve Ordu Üniversitesi öğretim üyesi Yrd.Doç.Dr. Yasemin AKGÜN'e ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince beni sabır ve anlayışla destekleyen aileme ve yakınlarıma teşekkür eder, bu çalışmanın ülkemizin akademik birikimine katkı sağlamasını temenni ederim.

Temmuz 2015

Serkan GÜL
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xv
KISALTMALAR.....	xix
ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİNDE KULLANILAN BİR YÖNTEM OLAN JET GROUT YÖNTEMİNE İLİŞKİN BİR UYGULAMA.....	xxi
ÖZET.....	xxi
AN APPLICATION FOR THE JET GROUTING METHOD USED IN GROUND IMPROVEMENT.....	xxiii
ABSTRACT.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın Amacı.....	2
1.2 Litaratür Taraması.....	2
2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	5
2.1 Önceden ıslatma.....	6
2.2 Sıkıştırma (Kompaksiyon).....	6
2.2.1 Vurmalı sıkıştırma.....	7
2.2.2 Hızlı darbeli sıkıştırma.....	8
2.3 Stabilizasyon.....	9
2.3.1 Mekanik stabilizasyon.....	9
2.3.2 Katkı maddeleriyle yapılan stabilizasyon.....	9
2.3.2.1 Kireçle stabilizasyon.....	10
2.3.2.2 Çimento stabilizasyonu.....	10
2.3.2.3 Bitümlle stabilizasyon.....	10
2.3.2.4 Uçucu küllle stabilizasyon.....	10
2.4 Ön Yükleme ve Sürşarj.....	10
2.5 Düşey Drenler.....	11
2.6 Derin Sıkıştırma.....	13
2.6.1 Titreşimli sıkıştırma.....	13
2.6.2 Titreşimle zemine gereç yerleştirme / İttirme.....	15
2.6.3 Derin karıştırma.....	17
2.6.4 Dinamik konsolidasyon.....	18
2.6.5 Patlatma.....	19
2.7 Enjeksiyon.....	20
2.7.1 Emdirme enjeksiyonu.....	21
2.7.2 Kompaksiyon enjeksiyonu.....	22
2.7.3 Çatlatma enjeksiyonu.....	23
2.7.4 Jet grout.....	23

2.8 Zemin Güçlendirilmesi.....	23
2.8.1 Mini veya mikro kazıklar.....	23
2.8.2 Zemin çivileri.....	24
2.8.3 Donatılı zemin (Toprakarme).....	25
2.9 Geotekstillere ve Geosentetikler.....	26
2.10 Su Çekme ve Kontrolü (Dewatering).....	28
2.11 Diğer Yöntemler.....	29
3. JET GROUT YÖNTEMİ.....	31
3.1 Tanımlar.....	32
3.2 Ekipman.....	32
3.2.1 Delgi makinesi.....	34
3.2.2 Jet grout tiji.....	34
3.2.3 Monitör.....	35
3.2.4 Jet grout nozzle' 1.....	36
3.2.5 Santral ünitesi.....	36
3.2.6 Pompa ünitesi.....	37
3.2.7 Çimento silosu.....	38
3.2.8 Su tankı.....	39
3.2.9 Diğer ekipmanlar.....	39
3.3 Uygulama Aşamaları.....	40
4.1.1 Delgi aşaması.....	41
4.1.2 Enjeksiyon aşaması.....	42
3.4 Uygulama Yöntemleri.....	43
3.4.1 Jet 1 yöntemi.....	44
3.4.2 Jet 2 yöntemi.....	44
3.4.3 Jet 3 yöntemi.....	45
3.4.4 Süper jet yöntemi.....	45
3.5 Çalışma Parametreleri.....	46
3.5.1 Enjeksiyon basıncı.....	48
3.5.2 Dönme ve çekme hızı.....	50
3.5.3 Dozaj.....	52
3.6 Farklı Zeminlerdeki Uygulama Parametreleri.....	54
3.7 Soilcrete (Çimento-Su-Zemin Karışımı) Mukavemet Değerleri.....	56
3.8 Kalite Kontrol Deneyleri.....	57
3.8.1 Karot numuneleri alınması.....	58
3.8.2 Kazık yükleme deneyi.....	59
3.8.3 Bütünlük deneyi (Integrity).....	60
3.8.4 Çap kontrolü.....	62
3.9 Uygulama Alanları.....	63
3.10 Jet Grout Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları.....	64
4. BULGULAR.....	67
4.1 Geoteknik Çalışma.....	68
4.1.1 İnceleme alanının jeolojisi.....	68
4.1.2 Yeraltı suyu durumu.....	69
4.1.3 Depremsellik.....	69
4.1.4 Sondaj çalışmaları.....	70
4.1.5 Laboratuvar deneyleri.....	73
4.1.6 Geoteknik değerlendirmeler.....	73
4.1.6.1 Taşıma gücü.....	74

4.1.6.2 Oturma.....	74
4.1.6.3 Yatak katsayısı.....	76
4.1.6.4 Sıvılaşma.....	76
4.1.6.5 Geoteknik veri ve hesapların değerlendirilmesi.....	76
4.2 Jet Grout Uygulamasının Proje Aşaması.....	76
4.2.1 Mevcut geoteknik veriler.....	77
4.2.2 İdealize zemin profili.....	77
4.2.3 Jet grout kolonu taşıma gücü.....	78
4.2.3.1 Kazık uç kapasitesi.....	78
4.2.3.2 Kazık çevre sürtünmesi.....	79
4.2.3.3 Toplam kapasite.....	80
4.2.3.4 Jet Grout kolonu kesit zorlanması ve güvenlik tahkiki.....	81
4.3 Jet Grout Uygulaması.....	84
4.3.1 Jet grout uygulamasında kullanılan ekipmanlar.....	84
4.3.2 Çalışma parametrelerinin tespit edilmesi ve uygulama süreci.....	84
4.3.3 Jet grout kolon dayanımlarının kontrolü.....	86
4.3.4 Jet grout kolonlarının bütünlük deneyi.....	88
4.3.5 Jet grout kolonu yükleme deneyi.....	89
4.3.5.1 Yükleme deney düzeneği.....	90
4.3.5.2 Yükleme deney programı.....	91
4.3.5.3 Yükleme deneyi sonuç ve değerlendirmesi.....	93
4.4 Uygulama Sonrası Zeminin SPT-N Değerleri.....	93
5. İRDELEMELER.....	95
5.1 Uygulama Öncesi ve Sonrasında yapılan SPT Deneyleri.....	95
5.2 Jet 1 ve Jet 2 Yöntemlerinin Kıyaslanması.....	98
5.3 Jet Grout Uygulamasının Zemin Taşıma Kapasitesine Katkısı.....	99
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	103
EKLER.....	109
EK A.....	109
EK B.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	117

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Çeşitli enjeksiyon malzemelerinin zeminlerin dane çaplarına göre penetrasyon yetenekleri	22
Çizelge 3.1. Jet grout tekniğinin çalışma parametreleri	48
Çizelge 3.2. Püskürtme gövdesinin çekme hızı ile ıslah edilen zemin arasındaki ilişki	51
Çizelge 3.3. Zemin Cinsi - fJG - E / fJG İlişkisi	53
Çizelge 3.4. Ortalama serbest basınç mukavemetleri.....	57
Çizelge 4.1. İnceleme alanındaki yeraltı suyu seviyeleri.....	69
Çizelge 4.2. SK-1' den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirmesi.....	71
Çizelge 4.3. SK-2'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirmesi.....	71
Çizelge 4.4. SK-3'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirmesi.....	72
Çizelge 4.5. SK-4'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirmesi.....	72
Çizelge 4.6. SK-5'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirmesi.....	73
Çizelge 4.7. Zemin ve temel tipine göre izin verilebilir maksimum toplam oturmalar	75
Çizelge 4.8. Jet grout hesaplarında kullanılmak üzere kabul edilen mühendislik parametreleri.....	77
Çizelge 4.9. Zemin cinsine göre jet grout kolonu serbest basınç mukavemeti değerleri.....	81
Çizelge 4.10. Jet 1 yöntemi ile imal edilen jet grout kolonlarının standart silindir basınç dayanımları.....	86
Çizelge 4.11. Jet 2 yöntemi ile imal edilen jet grout kolonlarının standart Silindir basınç dayanımları.....	87
Çizelge 4.12. Eksenel statik yükleme deneyi programı.....	92
Çizelge 4.13. Jet grout ile zemin iyileştirmesi yapılan zeminin uygulama sonrası SPT-N değerleri.....	94
Çizelge 5.1. Jet grout uygulaması öncesi ve sonrası yapılan SPT deneylerinden elde edilen (N) darbe sayıları.....	96
Çizelge 5.2. SK-3 ve SK-1' sondaj kuyularından elde edilen SPT-N değerlerinin kıyaslanması.....	97
Çizelge 5.3. SK-4 ve SK-3' sondaj kuyularından elde edilen SPT-N değerlerinin kıyaslanması.....	97
Çizelge 5.4. SK-5 ve SK-2' sondaj kuyularından elde edilen SPT değerlerinin kıyaslanması.....	98

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Silindirle sıkıştırma işlemi.....	7
Şekil 2.2. Beşgen ayaklı vurmali silindir.....	7
Şekil 2.3. Üçgen ayaklı vurmali silindir.....	8
Şekil 2.4. Hızlı darbeli sıkıştırma işlemi.....	8
Şekil 2.5. Mekanik stabilizasyon için en çok kullanılan aletlerin şematik çizimleri.....	9
Şekil 2.6. Sürşarj uygulamasından bir görüntü.....	11
Şekil 2.7. Soilmec SM - 401 ön delgi makinesi.....	12
Şekil 2.8. Stitçer (dikici) dren makinesi.....	12
Şekil 2.9. Fitillerin zemine tatbik edilmiş hali.....	12
Şekil 2.10. Vibro-Compaction yönteminin şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.11. Vibro-Compaction ve Vibro-Replacement yöntemlerinin dane çapı ve oranına göre kullanım alanları.....	14
Şekil 2.12. Vibratörün çevresinde oluşan çözüntü konisi.....	14
Şekil 2.13. Vibro-Replacement yönteminin şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.14. Taş kolon imalatının şematik görünümü.....	16
Şekil 2.15. Taş kolon imalatından görünüm.....	16
Şekil 2.16. Vibro-Composer uygulamasının şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.17. Derin karıştırma yönteminin şematik gösterimi.....	17
Şekil 2.18. Derin karıştırma yöntemiyle imal edilen kolonlardan görünüm.....	18
Şekil 2.19. Altılı şaft konfigürasyonu ile yapılan derin karıştırma yönteminden görünüm.....	18
Şekil 2.20. Dinamik konsolidasyon uygulamasından görünüm.....	19
Şekil 2.21. Patlatma yöntemine dair bir uygulama.....	19
Şekil 2.22. Enjeksiyon yöntemi çeşitlerinin şematik gösterimi.....	21
Şekil 2.23. Çeşitli enjeksiyon malzeme ve yöntemlerinin dane çapına göre uygulanabilirliği.....	21
Şekil 2.24. Mini kazık uygulamasından bir görünüm.....	24
Şekil 2.25. Zemin çivileme uygulamasından bir görünüm.....	25
Şekil 2.26. Tamamlanmış bir zemin çivileme uygulamasından bir görünüm.....	25
Şekil 2.27. Toprakarme uygulamasına ait detay görüntüleri.....	26
Şekil 2.28. Geotekstillerin kullanım alanları.....	27
Şekil 2.29. Su çekme ve kontrolü yöntemi uygulamasından bir görüntü.....	28
Şekil 2.30. Elektro-osmoz uygulamasının şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.31. Dondurma yönteminden bir görünüm.....	30
Şekil 2.32. Isıl iyileştirme yönteminden bir görünüm.....	30
Şekil 3.1. Enjeksiyon Aşaması (Nozzlelerden grout çıkışı).....	31
Şekil 3.2. Jet grout ekipmanlarının şematik görünümü.....	33
Şekil 3.3. Jet grout ekipmanlarından genel bir görünüm.....	33

Şekil 3.4. Delgi makinesi.....	34
Şekil 3.5. Jet grout tiji.....	35
Şekil 3.6. Monitör.....	35
Şekil 3.7. Muhtelif nozzle görünümleri.....	36
Şekil 3.8. Santral ünitesinden görünüm.....	36
Şekil 3.9. Santral ünitesinin kumanda paneli.....	37
Şekil 3.10. Santral ünitesinin şematik gösterimi.....	37
Şekil 3.11. Pompa ünitesinden görünüm.....	38
Şekil 3.12. Çimento silosundan görünüm.....	38
Şekil 3.13. Su tankından görünüm.....	39
Şekil 3.14. Jeneratörden görünüm.....	39
Şekil 3.15. Jet grout yöntemi uygulama aşamaları	40
Şekil 3.16. Delgi Matkaplarından örnekler	41
Şekil 3.17. Uygulama yöntemlerinin şematik gösterimi.....	43
Şekil 3.18. Süper jet yöntemi.....	46
Şekil 3.19. Basınç-kademeli bekleme süresi-hedeflenen kolon çapı ilişkileri.....	49
Şekil 3.20. Jetgrout kolonu ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki.....	50
Şekil 3.21. Püskürtme gövdesi çekilme hızının ıslah edilen hacme etkisi	51
Şekil 3.22. Tahmini çimento şerbeti akış oranı	52
Şekil 3.23. Farklı Tip Zeminlerde Taşıma Kapasitesinin Değişimi	54
Şekil 3.24. Proje hesap parametrelerinin sahada kontrolü-kalibrasyonu -optimizasyonu.....	58
Şekil 3.25. Karot numunesi alımı.....	58
Şekil 3.26. Kazık yükleme deneyinden bir görünüm.....	60
Şekil 3.27. Bütünlük deneyi şeması.....	61
Şekil 3.28. Bütünlük deneyi test cihazı.....	61
Şekil 3.29. Bütünlük deneyine ait örnek bir modelleme.....	62
Şekil 3.30. Jet grout kolonunda imalat sonrası çap kontrolü.....	62
Şekil 3.31. Zemin İyileştirme Yöntemlerinin Zemin Türlerine Göre Uygulanabilirliği.....	64
Şekil 4.1. Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesinin konumu.....	67
Şekil 4.2. Fen-Edebiyat Fakülte binasının inşa edileceği alanın tabii zemini.....	67
Şekil 4.3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nca 1996 yılında yayınlanan ve beş bölgeye ayrılan Türkiye Deprem Haritası.....	69
Şekil 4.4. İnceleme alanındaki sondaj yerleri.....	70
Şekil 4.5. Meyerhof yöntemine göre kumlarda N_q^* değerinin belirlenmesi.....	79
Şekil 4.6. L/D Oranına göre efektif toprak basıncının (K) tespit edilmesi.....	80
Şekil 4.7. Jet grout uygulama projesinin kesit detayı.....	82
Şekil 4.8. Jet grout uygulama projesinin planı.....	83
Şekil 4.9. Jet grout uygulamasında kullanılan ekipmanlar.....	84
Şekil 4.10. Jet 2 yöntemi ile yapılan uygulamanın çalışma parametreleri.....	85
Şekil 4.11. Jet 1 yöntemi ile yapılan uygulamanın çalışma parametreleri.....	85
Şekil 4.12. Uygulama alanında yapılan bütünlük deneyinden bir görünüm.....	88
Şekil 4.13. Bütünlük deney sonucuna dair uygulamamıza ait örnek bir modelleme.....	89
Şekil 4.14. Yükleme deneyine dair genel bir görünüm.....	89
Şekil 4.15. Jet grout kolonunun içindeki çelik halatlar.....	90
Şekil 4.16. Yükleme deney düzeneğine dair bir resim.....	91

Şekil 4.17. Yükleme deneyi sonucu.....	93
Şekil 4.18. Fen-Edebiyat Fakültesinin Cumhuriyet Yerleşkesindeki konumu.....	94
Şekil 5.1. Jet grout uygulaması öncesi yapılan SPT deneylerine ait lokasyonlar.....	96
Şekil 5.2. Jet grout uygulama sonrası yapılan SPT deneylerine ait lokasyonlar.....	96
Şekil A.1. Laboratuvar deney raporu-1.....	107
Şekil A.2. Laboratuvar deney raporu-2.....	108
Şekil B.1. SK-1' den elde edilen geoteknik veriler.....	109
Şekil B.2. SK-2' den elde edilen geoteknik veriler.....	110
Şekil B.3. SK-3' den elde edilen geoteknik veriler.....	111
Şekil B.4. SK-4' den elde edilen geoteknik veriler.....	112
Şekil B.5. SK-5' den elde edilen geoteknik veriler.....	113

KISALTMALAR

A	: Kazık uç alanı
ASTM	: American Society of Testing Materials
cm	: Santimetre
C'	: Kohezyon
C_u	: Zeminin kesme gerilmesi
D	: Çap
Dk	: Dakika
F.S.	: Güvenlik katsayısı
f	: Birim sürtünme direnci
gr	: Gram
K	: Efektif toprak basıncı katsayısı
kN	: Kilo Newton
kPa	: Kilo Paskal
kg	: Kilogram
kJ	: Kilo Joule
km	: Kilometre
L	: Derinlik
m	: Metre
mm	: Milimetre
m²	: Metrekare
mm²	: Milimetrekare
m³	: Metreküp
MPa	: Mega Paskal
M_v	: Hacimsel Sıkışma Katsayısı
N	: Newton
N_c	: Taşıma gücü faktörleri
N_q	: Taşıma gücü faktörleri
N_g	: Taşıma gücü faktörleri
N_q*	: Nihai taşıma gücü katsayısı
P	: Kazık kesitinin çevresi
Pa	: Paskal
PDD	: Prefabrike düşey drenler
Q	: Toplam kapasite
Q_p	: Kazık uç kapasitesi
Q_s	: Çevre sürtünmesi
q_p	: Kazık uç direnci
q'	: Efektif gerilme
Q_{em}	: Emniyetli taşıma kapasitesi
R	: Yarıçap
S	: Oturma
SPT	: Standart Penetrasyon Test

SK	: Sondaj Kuyusu
TS	: Türk Standardı
UD	: Örselenmemiş Örnek
γ	: Zeminin yoğunluğu
σ'	: Düşey efektif gerilme
δ	: Zemin-Kazık sürtünme açısı
Φ'	: İçsel sürtünme açısı

ZEMİN İYİLEŞTİRMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLERDEN BİRİ OLAN JET GROUT YÖNTEMİNE İLİŞKİN BİR UYGULAMA

ÖZET

İnsanları bir arada yaşamaya yönlendiren şartların sanayileşme süreciyle hızlanması, kalabalık yaşam birimlerinin (şehir, ilçe, sanayi bölgeleri v.s.) oluşmasına yol açmıştır. Yaşam birimlerindeki bu yoğunluk ve imar mevzuatına uygun olarak yapıları ihtiyacın olduğu alanda inşa etme zorunluluğu, yapıların uygun zemin koşullarında inşa edilme olasılığını azaltmıştır. Yapının inşa edileceği alanın değiştirilemediği durumlarda, temel-zemin etkileşimindeki problemleri aşabilmek için bir takım yöntemler geliştirilmiştir. Çalışmamıza konu olan jet grout yöntemi de tüm zemin çeşitlerinde uygulanabilen, hızlı, ekonomik ve çevre dostu bir zemin iyileştirme yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda artan bir hızla tercih edilen jet grout yöntemi hakkında mevcut kabullerin tahkik edildiği ya da farklı önerilerin sunulduğu çalışmalar yapılmıştır. Çalışmamız, Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesinde inşa edilen Fen-Edebiyat Fakülte binası inşaatında uygulanan jet grout imalatını konu almaktadır. Söz konusu jet grout uygulaması kapsamında saha ve laboratuvarda yapılan deneylerle; jet 1 ve jet 2 yöntemleri kıyaslanmış, jet grout yönteminin farklı zemin türlerinde proje kriterlerini karşıladığı görülmüş ve uygulama öncesi ile sonrası yapılan SPT deneylerinden elde edilen darbe sayıları (N) kıyaslanarak yöntemin zemindeki performansı değerlendirilmiştir.

Çalışmamız altı bölümden oluşmakta olup, giriş bölümünden sonra zemin iyileştirme yöntemleri genel olarak ele alınmıştır. Daha sonraki üçüncü bölümde ise jet grout yöntemi tüm yönleri ile incelenmiştir. Çalışmamıza konu olan uygulamanın, saha ve laboratuvar deneylerinden elde edilen veriler doğrultusunda tamamlanan projelendirme aşaması ile sahadaki uygulamasının deneysel tahkiklerine dair tüm bulgular dördüncü bölümde yer almaktadır. Elde edilen bulguların beşinci bölümde irdelenmesinin ardından oluşturulan sonuçlar ve öneriler kısmı ise çalışmamızın altıncı bölümünde bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jet Grout; Zemin İyileştirme Yöntemi; Enjeksiyon Yöntemleri; SPT.

AN APPLICATION FOR THE JET GROUTING METHOD USED IN GROUND IMPROVEMENT

ABSTRACT

The conditions leading people to live together gained speed with the industrialization process and this led to the formation of crowded living unit like towns, cities and industrial zones. This intensity in living units and the obligation to build in areas where structures need to occur in accordance with the zoning regulations have reduced the likelihood of structures built in accordance with the ground conditions . When the area in which the structure will be built can't be changed, several methods have been developed to overcome problems in the foundation soil interaction . The jet grouting method is the subject of our work and it can be applied in all ground types and it is fast, economical, environmentally and friendly soil improvement method.

There have been some studies on recently preferred jet grouting method and these studies deal with current assumptions and present different proposals. Our study focuses on manufacture of jet grouting applied in Faculty of Arts and Science construction built in Ordu University campus. By experiments in laboratory and field within the scope of application of jet grouting; jet 1 and jet 2 methods were compared, the jet grouting method has been found to meet the criteria for projects in different types of projects and the system performance was evaluated by comparing the blow counts (N) obtained from the SPT tests before and after the experiments.

Our work consists of six chapters, after introduction, ground improvement methods are discussed in general. In the third part, the jet grouting method was examined from all angles. In the fourth part, we presented the design phase completed thanks to the data obtained from laboratory and field experiments and we also presented all empirical evidence to verify the application of the field. The results and recommendations are in the sixth chapter generated after the findings were discussed in the fifth chapter.

Key Words: Jet Grouting; Soil Improvement Method; Injection Methods; SPT.

1. GİRİŞ

İnsanlığın en temel ihtiyaçlarından biri olan barınma ihtiyacını giderebilmek için başlayan yapılaşma süreci, anılan ihtiyaçların çeşitlilik arz etmesi ile zamanla ibadet, ulaşım, taşıma, üretim, depolama, savunma, haberleşme ve eğlence gibi alanlarda da devam etmiştir. Yapı, söz konusu tarihsel gelişimde ortaya çıkan tecrübe ve deneyimlerin bilimsel verilerle harmanlanmasıyla oluşan inşaat mühendisliği disiplininin konusudur. İnşaat mühendisleri, ilgi alanı yapı olan diğer disiplinlerle koordineli olarak dayanım, dayanıklılık, işlevsellik, ekonomi ve estetik gibi ilkeleri optimize ederek yapının tasarım ve uygulama sürecini yönetirler. Bu ilkeler doğrultusunda bir takım hesap yöntemleri kullanılarak projelendirilen yapının, zemin ile etkileşim halindeki elemanlarına temel adı verilmektedir. Temeller, yapının zati ağırlığı ile birlikte yapıya etkileyen tüm dinamik ve statik, yükleri kendi ağırlıkları ile birlikte güvenle taşıyıp, bu yükleri yapıya zarar vermeyecek ölçüde deformasyonlarla temel zeminine aktarırlar.

İnsanların, sanayileşme süreciyle birlikte ivme kazanan toplu yaşama ihtiyacı, yapıların uygun zemin koşullarının bulunduğu alanlarda inşa edilemeyip, ihtiyacın olduğu alanda hayata geçmesini zorunlu hale getirmiştir. Söz konusu zorunluluktan dolayı, temel zemininin mühendislik parametrelerinin yapı için ön görülen proje kriterlerine uygun duruma getirilebilmesi için bir takım yöntemler geliştirilmiştir. Bu aşamada mevcut temel zemini profilinin parametrelerine göre karşımıza iki ana yöntem çıkmaktadır. Bunlardan birincisi; üst yapı yüklerinin bir bölümü ya da tümünü zemin yüzünden daha derinlerdeki tabakalara derin temellerle aktararak yapıyı projelendirmek (Yıldırım, 2011). İkincisi ise; bina yükünün makul derinliğe inilmesine karşın zemin veya kaya tarafından hedeflenen taşıma gücü veya oturma limitleri içinde kalarak yüzeysel temele taşıttırılması durumunda tercih edilen stabilizasyon (zemin ıslahı, zemin iyileştirilmesi) yöntemidir (Önalp, Sert 2006). Çalışmamıza konu olan jet grout yöntemi de zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olup ülkemizde son yıllarda artan bir oranda tercih edilmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı

Çalışmamızda jet grout yöntemi, Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi binasının zemin iyileştirme çalışmaları kapsamında gözlemsel ve deneysel bir takım tecrübelerle incelenmektedir. Jet grout yönteminin uygulamasından elde edilen verilerin proje hesap değerlerinde ön görülen sınır değerler içinde kalıp kalmadığı araştırılmaktadır. Ayrıca, tanımları 3. kısımda yapılan, jet 1 ve jet 2 yöntemlerinin uygulamamızdaki davranışları incelenip, zemin profilinin uygulama öncesi ve sonrası verilerinin kıyası yapılarak bu yöntemin sahadaki performansı değerlendirilmektedir.

1.2 Literatür Çalışması

Uygulamamız ile ilgili ülkemizde ve dünyada hazırlanmış çalışmaların tespit edilmesine yönelik yapılan araştırma sonucu elde edilen veriler aşağıda sunulmaktadır:

- Jet grout yöntemini konu alan tek doktora tezi, “Jet grout kolonların performansını etkileyen faktörlerin deneysel olarak araştırılması” olarak karşımıza çıkmaktadır (Erkan, 2013). Tez kapsamında; çalışma parametrelerinin jet grout kolonlarının performansı üzerindeki etkileri laboratuvar ortamında deneysel olarak araştırılmıştır.
- Jet grout yöntemini konu alan 21 adet yüksek lisans tez çalışması bulunmaktadır. Hazırlanan ilk yüksek lisans tezlerinin bu yöntemi genel anlamda ele alan tezler olduğunu görmekteyiz. Daha sonra hazırlanan yüksek lisans tezlerinde ise bu yöntemin bilgisayar programları kullanılarak irdelenmesi, yapılan uygulamalardaki jet grout kolonunun performansı, çalışma parametrelerindeki değişimin bu performansa etkisi ve farklı zemin türlerindeki davranışı gibi yönleri vaka analizleri ya da laboratuvar deneyleri ile incelenmiştir. “Jet grouting yöntemi ile temel takviyesi” (Fırat, 2002), “Jet grout yöntemi ile iyileştirilen zeminlerin sonlu elemanlar yöntemiyle sayısal analizi” (Küsin, 2009) ve “Jet grout kolonundaki gerilme dağılışının incelenmesi” (Doğanışık, 2010) anılan yüksek lisans tezlerine örnek olarak verilebilir. Konu hakkında en son

hazırlanan yüksek lisans tezi ise “İnce taneli çimentonun jet grout kolonların performansı üzerindeki etkilerinin deneysel olarak araştırılması.” (Fidan, 2015) olup, bu çalışmada jet grout kolonunu teşkil eden malzemelerden biri olan çimentonun inceliğinin kolonların dayanımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç itibariyle ince taneli çimentonun jet grout kolonların performansına uygun parametrelerin seçilmesiyle katkıda bulunacağı öngörülmüştür.

• Jet grout yöntemini proje ve uygulama aşaması olmak üzere iki ana başlıkta ele inceleyebiliriz. Proje aşamasını; mevcut zeminin mühendislik parametrelerinin belirlenmesi ve güncel yöntemlerle hesapların yapılması olarak kendi içinde ikiye ayırabiliriz. Uygulama aşamasını ise; projedeki kriterlerin sahadaki ve laboratuardaki bir takım tahkiklerle kontrol edilmesi olarak düşünebiliriz. Yurt içi ve yurt dışı akademik çalışmaların her birinde genel olarak uygulamanın tüm aşamaları ele alınmakla birlikte, incelemeye konu olan aşamaya dair derinlik kazanıldığı anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda, jet grout yöntemi hakkında yapılan yurt dışı ve yurt içi akademik çalışmaları aşağıdaki yaklaşımlarla toplulaştırılıp incelemek mümkündür:

- Jet grout yönteminin yurt dışında geliştirilmiş olması nedeniyle bu yöntemle dair ilk akademik çalışmaların yabancı kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır (Lunardi, 1977), (Baumann, 1984).
- Yurt içindeki akademik çalışmaların ise daha çok vaka analizleri üzerine yapıldığı anlaşılmaktadır (Durgunoğlu ve diğ., 1998), (Sert ve Önalp, 2007).
- Çalışmaların bir kısmı uygulama aşamasında yapılan tahkiklerden elde edilen verilerle jet grout kolonunun dayanımına etki eden parametreleri irdelediği gibi, bir kısmı ise farklı yöntem ve karışımlarla yöntemin uygulamadaki performansını araştırmıştır (Omine ve diğ., 1999), (Wong ve Poh, 2000)
- Bazı çalışmalarda jet grout yönteminin proje aşamasındaki sayısal modellemeler ele alınmış, bir kısmında ise bilgisayar destekli yöntemlerle jet grout uygulamasının sahadaki performansı tahkik edilmiştir (Kirsch ve Sondermann, 2001), (Ou ve diğ., 2007).
- Jet grout yönteminin farklı zemin ıslah yöntemleriyle ve derin temellerle birlikte uygulanması, diğer yöntemlerle kıyaslanması ya da farklı uygulama

alanlarının incelendiği vaka analizleri de bu çalışmalara konu olmuştur (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003), (Racansky ve diğ., 2008).

o Zemin koşullarına paralel olarak deprem yükleri altındaki yapıların risk analizinde değerlendirilen sıvılaşma ve oturma gibi durumların jet grout yöntemiyle çözülebildiğini tahkik eden çalışmalar da mevcut bulunmaktadır (Gökalp ve Düzceer, 2002), (Durgunoğlu, 2004).

• İçeriğinde jet grout yönteminin anlatıldığı ülkemizde yayımlanan kitaplara örnek olarak Sönmez (2011) ile Önalp ve Sert (2006) verilebilir.

• İçeriğinde tamamen veya kısmen jet grout yöntemi anlatılan yabancı kitaplara örnek olarak aşağıdaki eserleri verilmektedir:

o Paolo Croce, Alessandro Flora ve Giuseppe Modoni tarafından yazılıp 2014 yılında yayımlanan "Jet Grouting: Technology, Design and Control".

o Burland John B., Chapman Tim, Skinner Hilary ve Brown Michael tarafından kaleme alınıp 2014 yılında yayımlanan "Jet Grouting".

o Jie Han tarafından yazılıp 2015 yılında yayımlanan "Principles and Practice of Ground Improvement".

o Klaus Kirsch ve Alan Bell tarafından kaleme alınıp, 2012 yılında yayımlanan "Ground Improvement, Third Edition".

o Lawrence F. Johnsen, Donald A. Bruce, ve Michael J. Byle tarafından hazırlanıp 2003 yılında yayımlanan "Grouting and Ground Treatment".

• Jet grout yönteminin uygulamasında kullanılan standartlar ise, CSN EN 12716 "Execution of special geotechnical work - Jet grouting" (2001) ve TS EN-12716 "Özel Jeoteknik Uygulamalar-Jet Enjeksiyon" (2002) şeklindedir.

2. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zeminin boşluk oranının mekanik araçlarla azaltılması veya zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması ile yapılan güçlendirme işlemini zemin iyileştirme olarak tanımlayabiliriz. Genellikle yapı temellerinin oturduğu zeminlerde uygulanan zemin iyileştirme yöntemleri; mevcut zeminde sığ temellerle inşa edilmesi mümkün olmayan yapı temellerinin, derin temellerle çözülmesine daha az maliyetli bir alternatif olarak 1970'lerden itibaren uygulanmaya başlanmıştır.

Zemin iyileştirme yöntemleri derin ve yüzeysel iyileştirme olarak iki ana başlık altında inceleneceği gibi, Rixner ve diğ. (1986)'e göre üç madde halinde ele alınmaktadır. Bunlar:

1. Zeminin geçici olarak iyileştirilmesi (Yer altı su seviyesinin düşürülmesi, ısıtma işlemleri ve elektro-osmoz yöntemleri gibi),
2. Herhangi bir madde ekmeden zemini kalıcı olarak iyileştirme (Yüzey kompaksiyonu, patlatma ile sıkıştırma, vibro kompaksiyon ve dinamik konsolidasyon yöntemleri gibi),
3. Çeşitli katkı maddeleri veya yabancı cisimler ekleyerek zemini kalıcı olarak iyileştirme (Kireç, çimento, bitüm gibi katkı maddeleri ile zeminin üniform bir halde karıştırılması, kireç kazıkları, taş kolonlar, ön yükleme, dikey dren veya geotekstiller kullanılması, enjeksiyon ve jet grout yöntemleri gibi).

Aşağıda belirtilen nedenlerden en az bir tanesinin mevcut olduğu zeminlerde iyileştirme yapılabilir (Ergun ve diğ., 2005):

1. Yetersiz taşıma gücü.
2. Yapım sırası veya sonrasında gelişebilecek aşırı toplam oturmalar.
3. Yapının eğilmesine, zarar görmesine veya yıkılmasına yol açabilecek aşırı farklı oturmalar.
4. Deprem sırasında sıvılaşma, taşıma gücü kaybı, aşırı yer değiştirmeler.
5. Temel kazısı veya dolgular ile ilgili sorunlar.
6. Şev duraysızlığı.

7. Kazı sırası ve sonrasında gelişebilecek kabarmalar.
8. Problemlı zeminlerin varlığı (ökebilen, şişebilen, karstik, organik vb. zeminler).

İyileştirme yöntemleri ile zeminin aşağıda belirtilen özellikleri değişmektedir (Priebe, 1991):

1. Kayma mukavemeti artar.
2. Kumlu zeminlerin sıklığı, killi zeminlerin kıvamı iyileşir.
3. Sıkışabilirliği azalır.
4. Şişme ve büzülme potansiyeli düşer.
5. Permeabilitesi azalır.
6. Borulanmaya karşı mukavemeti artar.
7. Sıvılaşma potansiyeli azalır.

2.1 Önceden İslatma

Önceden ıslatma yönteminde, özellikle silt ağırlıklı göçebilen zeminlerde su havuzlandığında hacimde önemli derecede azalmalar olduğu görülebilir. Küçük çaplı patlatmalarla birlikte uygulanırsa daha da önemli sıkışmalar elde edilmektedir. Ancak bu yöntem kil içerikli zeminlerde, killerin şişme özelliğinden dolayı doğru sonuç vermemektedir (Önalp, Sert 2006).

2.2 Sıkıştırma (Kompaksiyon)

Statik, vibrasyonlu ve darbeli aletlerle zeminin mekanik olarak sıkıştırılması, zemin boşluklarındaki havanın atılması ve dolayısıyla zeminin kayma mukavemeti ile borulanmaya karşı direncinin artırılması, permeabilitesi ile sıkışabilirliğinin azaltılması ve sıvılaşma riskinin düşürülmesi işlemidir (Sağlamer, 1996).

Maksimum kuru birim hacim ağırlığa ulaşmak için optimum su muhtevasında zeminin sıkıştırılması gerekir. Su, zemin taneleri arasında yağ görevi görür ve sıkıştırma işlemi sırasında tanelerin birbirinin üstünden kayarak daha sıkı bir şekilde yeniden düzenlenmelerine yardımcı olur. Optimum su muhtevasından daha az veya daha fazla su eklenmesi, zeminin kuru birim hacim ağırlığında azalmaya sebep olur.

Şekil 2.1'de gösterilen bu yöntem bütün zeminler için uygun değildir. Bu yönteme uygun olan zeminler, likit limiti 30-70 arasında olan ve kuru birim hacim ağırlık-su muhtevası grafiği çan şeklinde çıkan zeminlerdir.

Tokmak, düzgün yüzeyli silindir, lastik tekerlekli silindir, keçi ayaklı silindir ve titreşimli silindir gibi araçlar, arazide en yaygın olarak kullanılan sıkıştırma (kompaksiyon) araçları arasında sayılabilirler.



Şekil 2.1.Silindirle sıkıştırma işlemi.

2.2.1 Vurmalı sıkıştırma

Ağırlığı 100 kN, biçimi üçgen (25 kJ) veya beşgen (15 kJ) olan yaklaşık 2 m çaplı ağırlık, temel kotuna yakın bir seviyede düzlenmiş yüzey üzerinde yaklaşık 10 km/saat hızla çekilerek zemine tekrarlı darbelerle yüksek enerji uygulamaktadır. Arkasından çekilen titreşimli silindirler ise tokmağın yüzeyde bıraktığı derin yaraları ütölerek düzleştirmektedir. Bu yöntemin en verimli olduğu zeminler yer altı su seviyesinin düşük olduğu kumlu zeminler ve eski dolgulardır.(Önalp, Sert 2006).

Yaklaşık 4 m derinliğe kadar etkin iyileştirme sağlayan bu yöntem az katlı binalarda ve hava alanlarının dolgularında kullanılabilir. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3 de vurmalı silindirlere örnekler görülmektedir.



Şekil 2.2. Beşgen ayaklı vurmalı silindir.



Şekil 2.3. Üçgen ayaklı vurmali silindir.

2.2.2 Hızlı darbeli sıkıştırma

Yer altı suyunun bulunmadığı atık depoları, eski dolgular, döküm alanları ve kül depolarında çok etkin olduğu bildirilen bu yöntemde Şekil 2.4'deki gibi kazık çakıcı tip bir makineye bağlanmış 1.5 m çapında plaka yüzeye sık aralıklarla vurulmakta ve zemine vuruş başına yaklaşık 85 kNm dolayında enerji uygulanmaktadır (Önalp, Sert 2006).



Şekil 2.4. Hızlı darbeli sıkıştırma işlemi.

2.3 Stabilizasyon

Genellikle ulaşım yapıları, su yapıları ve hafif bina temellerinin sertleşmesinde kullanılan stabilizasyon yöntemiyle özellikle sıkışabilirlik ile kayma direnci parametrelerinin istenen yönde değiştirilmesi ve sıvılaşma riskinin giderilmesi hedeflenmektedir. Uygulamada kireç, çimento, bitüm, uçucu kül, polimerler, reçine, fosforik asit ve kalsiyum bileşikleri gibi maddeler kullanılmaktadır.

2.3.1 Mekanik stabilizasyon

Mekanik stabilizasyon dolgu ya da yol üst yapısının silindir vasıtasıyla ince tabakalar halinde sıkıştırılarak içindeki boşlukların azaltılması, yani havanın vibrasyonlu ya da vibrasyonsuz sıkıştırıcılar kullanılarak dışarı atılmasıdır. Hava dışarı atılırken su muhtevasında bir değişiklik meydana gelmediğinden zeminin doygunluğu artar. Bu tekniğin uygulaması yapılırken aşağıdaki özelliklere göre değişecektir:

- Zemin tipine
- Zemin derecelenmesine
- Su muhtevasına
- Malzeme miktarına
- Sıkıştırılacak tabakanın kalınlığına

Mekanik stabilizasyon için en çok kullanılan aletlerin şematik çizimleri Şekil 2.5' te verilmiştir. (Küçükali, 2008).



Şekil 2.5. Mekanik stabilizasyon için en çok kullanılan aletlerin şematik çizimleri.

2.3.2 Katkı maddeleriyle yapılan stabilizasyon

Bu yöntemde, katkı maddeleri ile mevcut zemin üniform bir şekilde karıştırılıp sıkıştırılarak, yoğrulmuş zeminin mekanik özellikleri ıslah edilmektedir.

2.3.2.1 Kireçle stabilizasyon

Genellikle ince daneli zeminlerde uygulanan bir yöntemdir. Kil zeminlerde, kireç katkısıyla oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucunda, plastisite indisi düşürülerek plastik kıvamdan katı kıvama geçirilir ve kuru birim hacim ağırlığı artırılır (Sağlamer, 1996).

2.3.2.2 Çimento stabilizasyonu

Çimento stabilizasyonu daha çok ağır vasıta yolları ve toprak dolgu barajlarında uygulanır. Kumlu ve düşük plastisiteli killi zeminler için uygun bir yöntemdir.

2.3.2.3 Bitümlerle stabilizasyon

Bu yöntemle ince daneli zeminin su tutması azaltılarak geçirimsizliği sağlanır. Böylece zemin daneleri birbirine bağlanarak zeminin kohezyonu ve stabilitesi artırılıp üstyapı kalınlığı azaltılır.

2.3.2.4 Uçucu külle stabilizasyon

Uçucu kül alüminyum, silisyum, çeşitli oksitler ve alkaliler içeren puzolonik yapıda bir malzeme olup, sönmüş kireçle reaksiyonunda çimentolaşma görülür. Bu yüzden çimentoyla beraber (%10~35 uçucu kül, %2~10 kireç) kullanılarak etkili karışımlar elde etmek mümkündür. Bunun yanında yapısında kireç içeren uçucu küller de vardır. Bunlar normal uçucu küllerle karıştırılarak, kirece ihtiyaç duyulmadan aynı etkiyi gösterecek karışım elde edilebilir. Maliyeti önemli ölçüde azalttığı için tercih edilir.

2.4 Ön Yükleme ve Sürşarj

Ön yükleme, yapının inşasından önce zeminin genellikle yayılı toprak yükü ile yüklenmesidir. Zemine daimi olarak etkiyecek yapı yükünün (proje yükü) üzerinde etkileyen ekstra yük, sürşarj olarak anılır ve oturmaları hızlandırmak için kullanılır (Şekil 2.6). Ön yükleme yöntemi ile beraber genellikle sürşarj yükleri ve düşey drenler kullanılır. Ön yükleme ile sürşarj; primer ve sekonder (ikincil) konsolidasyon oturmalarına, ayrıca killi zeminin drenajsız mukavemet artışına sebep olur. Yumuşak

sıkışabilir zeminler ön yüklemeye uygundur. Amaç inşaat sırasında ve sonrasında oturmaları en aza indirmektir (Johnson, 1970 a, b; Aldrich, 1965; Pilot, 1977).



Şekil 2.6. Sürşaj uygulamasından bir görüntü.

2.5 Düşey Drenler

Yumuşak kil zeminlerin yüksek sıkışabilirliği ve düşük permeabilitesi nedeniyle konsolidasyon oturmalarının tamamlanması uzun yıllar sürebilir. Düşey kum dren sistemlerinde, drenaj boyu kısaltılarak konsolidasyonun hızlandırılması hedeflenirken aynı zamanda kil zeminin stabilitesi de artırılmaktadır. Bu tür uygulamalarda genellikle sürşaj yükü ile birlikte dolgu altına düşey kum drenlerinin inşa edilmesi ilk akla gelen zemin iyileştirme yöntemidir. Son yıllarda kum drenler yerine daha çok prefabrike düşey drenlerin (PDD) tercih edildiği görülmektedir. PDD'lerin daha efektif çalışması, ekonomik olması ve arazide basit ekipman ile daha hızlı inşa edilebilmesi kum drenlere göre önemli üstünlükleridir (Chai ve Miura, 1999). PDD'ler genellikle plastik bir çekirdek ve onu saran geotekstil filtre malzemesi ile kanal şeklinde imal edilir (Şekil 2.7, 2.8 ve 2.9).



Şekil 2.7. Soilmec SM - 401 ön delgi makinesi.



Şekil 2.8. Stitcher (dikici) dren makinesi.



Şekil 2.9. Fitillerin zemine tatbik edilmiş hali.

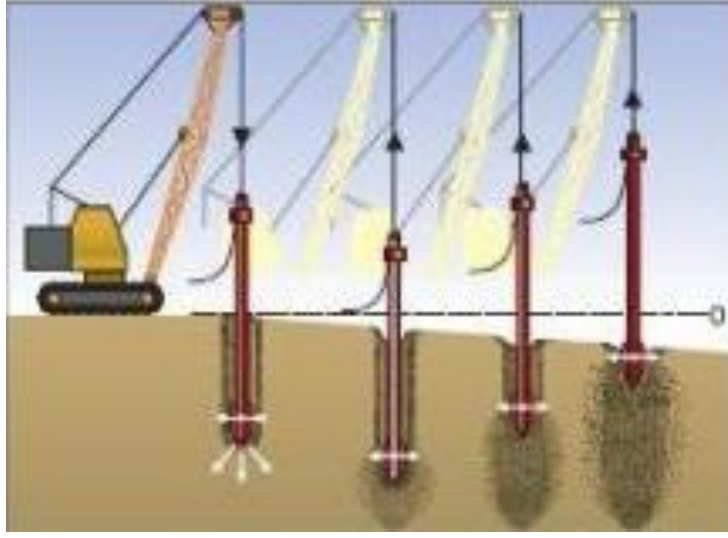
2.6 Derin Sıkıştırma

Zeminleri iyileştirmenin ana amaçlarından bir tanesi aşırı oturmaları önlemektir. Gevşek kohezyonsuz zeminler stabilite ve oturma yönleriyle genellikle önemli problemler çıkarmazlar; ancak sıvılaşma bu tip zeminlerde esas problemdir. Deprem kuşağında olan ülkelerde suya doygun bu tip formasyonlar önemli yapılar altında derin sıkıştırmaya tabi tutulmaktadır. Derin sıkıştırma gevşek kohezyonsuz zeminlerin derinlik boyunca sıkıştırılması esasına dayanmaktadır (Ergun, 2002).

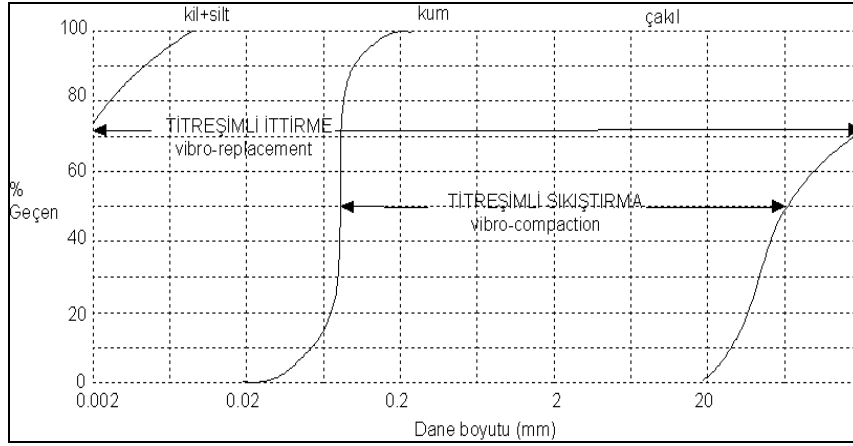
2.6.1 Titreşimli sıkıştırma (Vibro-Compaction)

Vibratör (veya vibroflot) denilen sonda, paletli vinç ve uzatma boruları vasıtası ile kendi ağırlığı ve üzerindeki su jeti yardımı ile titreştirilerek zemine sokulur. Şekil 2.10'de şematik olarak gösterilen Vibro-Compaction yönteminde vibratör çap, boy ve ağırlıkları değişiklikler göstermekle birlikte 40 cm çapında, 3 m boyunda ve 3 ton ağırlığında bir vibratör orta boy bir ekipman olarak kabul edilebilir. Vibrasyon genlikleri ile zemine büyük dinamik yükler verilmektedir. Vibroflot 1-2 m/dk hızla gevşek zeminlere girer. Titreşen zemin oturur ve vibratörün çevresinde Şekil 2.12'de görüldüğü gibi bir çözüntü konisi oluşur. Sahaya getirilen kum-çakıl ile zeminde oluşan bu boşluk yüzeyden devamlı doldurulur. Proje derinliğine inen titreşimli sonda, üstten malzeme eklenirken zemini sıkıştırarak yavaş yavaş yukarı çekilir (0.3m/dk gibi). İyileştirme noktasında sonda çapından daha büyük sıkı bir kolon oluşturulmuş olur. (Brown, 1977; Greenwood ve diğ, 1984; ICE, 1976). Bu yöntem kil-silt içeriği %15' ten düşük ortamlarda 35 m derinliğe kadar başarılı olur.

Şekil 2.11'da Vibro-Compaction ve Vibro-Replacement yöntemlerinin dane çapı ve oranına göre kullanım alanları gösterilmektedir.



Şekil 2.10. Vibro-Compaction yönteminin şematik gösterimi (URL-1).



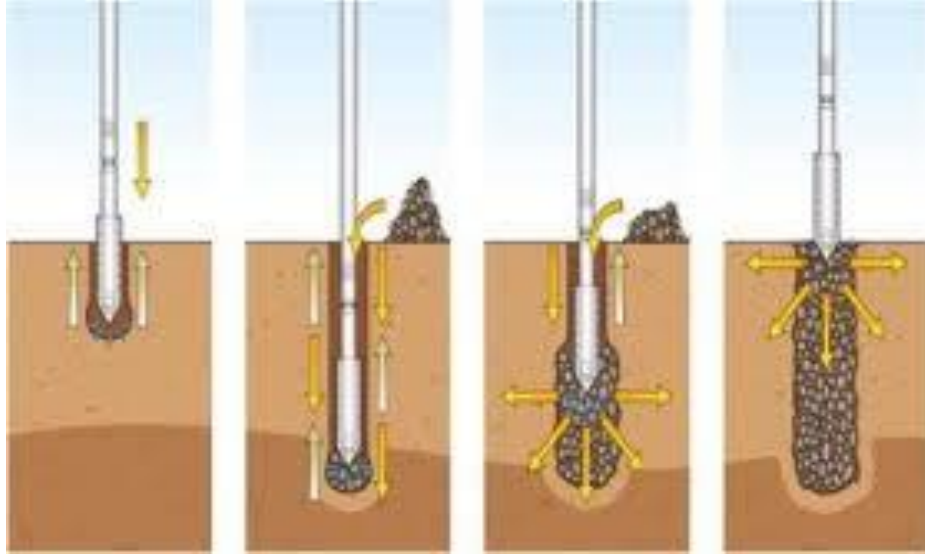
Şekil 2.11. Vibro-Compaction ve Vibro-Replacement yöntemlerinin dane çapı ve oranına göre kullanım alanları (Önalp, Sert 2006) .



Şekil 2.12. Vibratörün çevresinde oluşan çözüntü konisi.

2.6.2 Titreşimle zemine gereç yerleştirme/İttirme (Vibro-Replacement)

Bu yöntemde yaklaşık 2-4.5 m uzunluğunda, 0.3-0.45 m çapında ve 3-8 ton ağırlığında titreşimli sonda kullanılmaktadır. Bu titreşimli sondanın salınımı ile zemin yanlara ittirilirken açılan boşluğa taş, çakıl veya kum doldurulmaktadır (Şekil 2.13). Boyu 30 m, çapı 1.2 m'ye ulaşan bu kolonlara taş ya da çakıl/kum kazığı/kolonu denmektedir (Önalp, Sert 2006).

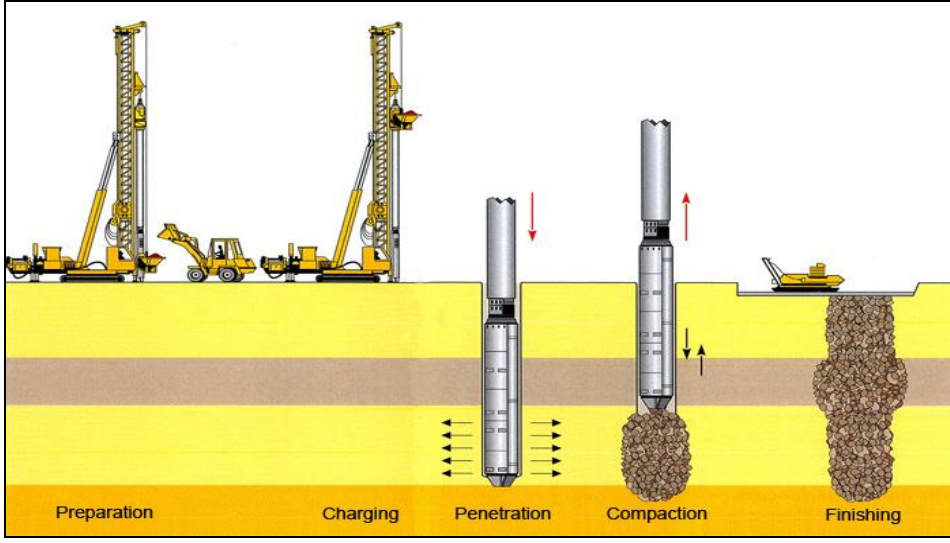


Şekil 2.13. Vibro-Replacement yönteminin şematik gösterimi (URL-2).

Taş kolonlar genellikle yumuşak ve orta yumuşak zeminlerde kullanılırlar. Bunların fonksiyonu zemin üzerine gelen yükleri zeminle ortaklaşa taşımaktır. Hem taşıma gücünün artırılmasında, hem de oturmaların azaltılmasına katkıda bulunurlar ve aynı zamanda düşey dren gibi çalışıp oturmayı hızlandırırlar. Gevşek, ince kum zeminlerde sıvılaşmaya karşı önerilmektedir.

Şekil 2.14'de şematik görünümü yer alan taş kolonlar vibroflotla açılan deliklerin, dane çapı 20-75 mm arası kırma taş veya çakıl agrega ile doldurulup sıkıştırılması ile teşkil edilir (Ayan, 2009).

Taş kolon projelerinde yaklaşık 0.3 m kalınlıkta daneli zeminden bir yastık sahada kolonların üzerine serilir. Üçgen veya kare yerleşim planında merkezden merkeze taş kolon ara mesafeleri 1.5-3.5 m arasında değişmektedir. Kolonların uç kotta sert bir formasyona girmesi istenmektedir (Ergun, 2002) (Şekil 2.15).

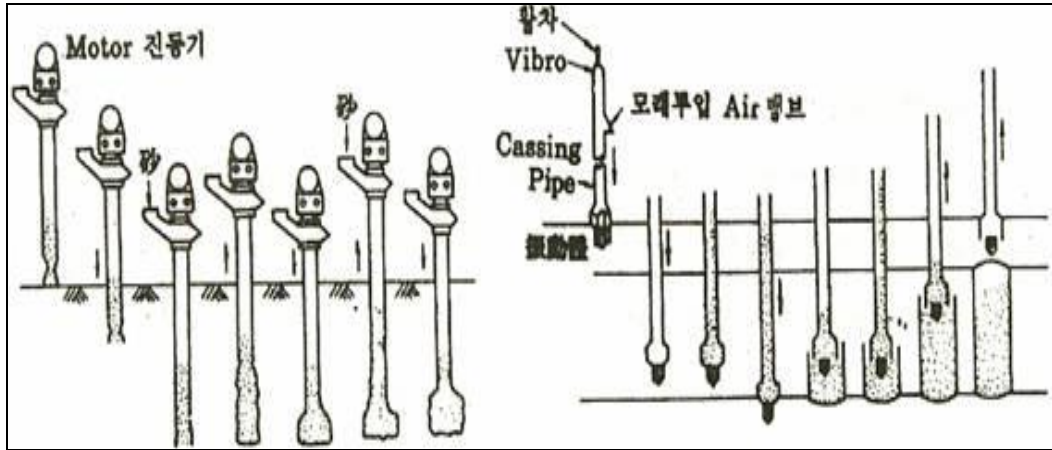


Şekil 2.14. Taş kolon imalatının şematik görünümü (URL-3).



Şekil 2.15. Taş kolon imalatından görünüm.

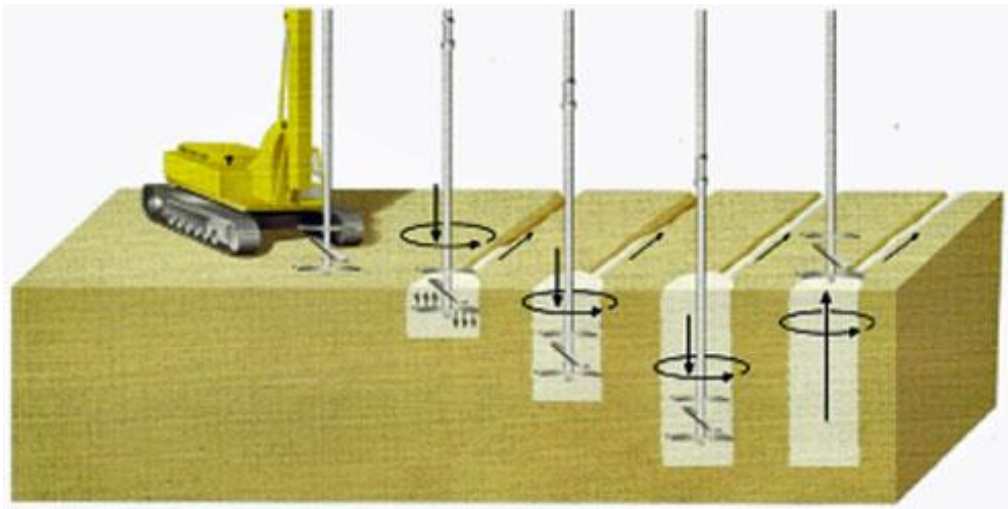
Japon yöntemi olarak da adlandırılan ve Şekil 2.16'da şematik olarak gösterilen Vibro-Composer uygulamasında ise sıvılaşmaya yatkın yumuşak zeminlere titreştirilirken döndürülerek indirilen boru hedeflenen derinliğe varduktan sonra çakılla doldurulmakta; borunun ucundaki kapak (klape) ters dönüş sırasında açıldığından çakıl, ortadaki çubuğun (iğne) titreşimli vuruşları ile zeminin içine sıkıştırılmakta ve boru da bu sırada dışarıya alınmaktadır (Önalp, Sert 2006).



Şekil 2.16. Vibro-Composer uygulamasının şematik gösterimi (URL-4).

2.6.3 Derin karıştırma

Derin karıştırma yöntemi, Şekil 2.17’de görüldüğü gibi yumuşak ve ince daneli zeminlerde kireç veya portland çimentosunun ortası delik burgular veya kanatlı karıştırıcılar aracılığıyla ile zeminle karıştırılıp kolonlar veya duvarlar oluşturulması şeklinde uygulanmaktadır. Bahse konu saha zemin karıştırmasında burgu kesme başlı karıştırma şaftları, sürekli olmayan burgu kanatlar ve kürekli karıştırıcılar kullanılmaktadır. Bu karıştırıcı ekipmanlar; derin karıştırmanın amacına bağlı olarak tek şafttan sekizli şaft konfigürasyonuna kadar değişebilir (Şekil 2.18-2.19). Elde edilen zemin-çimento (kireç, kil veya bentonit) karışımı genelde, orijinal zemine göre, daha fazla mukavemete, daha az sıkışabilirliğe ve daha az permeabiliteye sahiptir (Ergun, 2002).



Şekil 2.17. Derin karıştırma yönteminin şematik gösterimi (URL-5).



Şekil 2.20. Dinamik konsolidasyon uygulamasından bir görünüm.

2.6.5 Patlatma

Kohezyonsuz gevşek zeminlerdeki boşlukların azaltılarak sıkıştırılmasında kullanılan bu yöntemde temel kaide, zemin içinde patlatma yaparak zemini sıkıştırmaktır. Bu yöntem suya doymuş zeminler için uygundur. Şekil 2.21’de görüldüğü gibi patlatma sıvılaşmaya yol açar ve zeminin gevşek yapısı geçerek boşluk suyu basınçlarının düşmesiyle sıkılaşıır; su ve gaz dışarı atılır. Yüzeyde kum kaynamaları görülür (Ergun, 2002).

Bu yöntemde istenilen derinliğe çeşitli yöntemlerle boru yerleştirilerek patlayıcı (dinamit, TNT, amonit v.b.) boru içine yerleştirilir ve boru geri çekilerek delik doldurulur. Patlayıcılar planlandığı şekilde patlatılır. Gevşek zeminlerde daha az patlayıcı kullanılmaktadır (Ergun, 2002). Bazı baraj vadilerinde 70-100 m derinliğe kadar uygulama yapılmıştır.



Şekil 2.21. Patlatma yöntemine dair bir uygulama (URL-6).

2.7 Enjeksiyon

Enjeksiyon yöntemi, akışkanlaştırılmış maddelerin zemine uygun bir basınçla zerk edilerek zeminin iyileştirilmesi işlemidir.

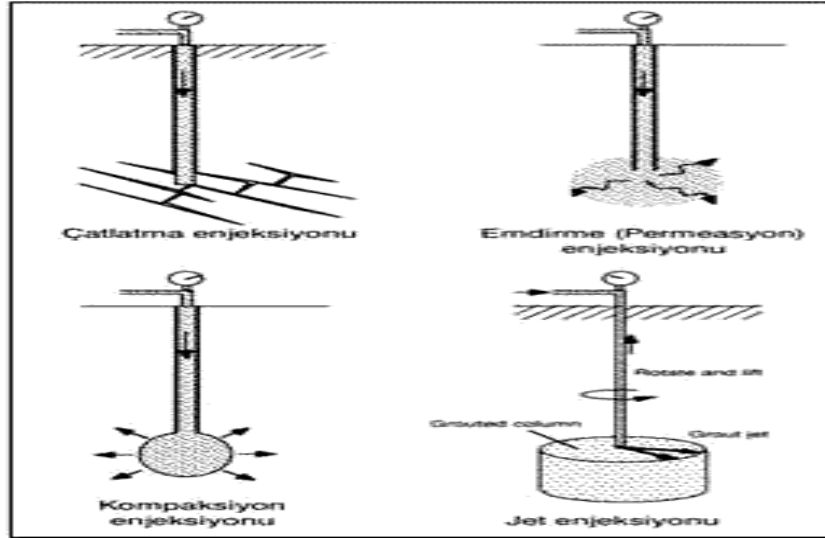
Enjeksiyon çalışmaları birçok amaca yönelik olarak yapılmakta; ancak hacimce en büyük uygulaması baraj temellerinde geçirimsizliğin sağlanması için gerçekleştirilmektedir. Binalara yönelik enjeksiyon çalışmalarında; gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimsizlik gibi hidrolik özellikleri değiştirilerek zeminin güçlendirilmesi, sıvılaşma potansiyelinin düşürülmesi, farklı oturmaların giderilmesi (kaldırma) ve özel durumlarda kazı duvarlarının oluşturulması gibi giderek artan önemli uygulamalar bulunmaktadır.

Zemin enjeksiyonunu gerektiren durumlar aşağıda sıralanmıştır (Glossop, 1960):

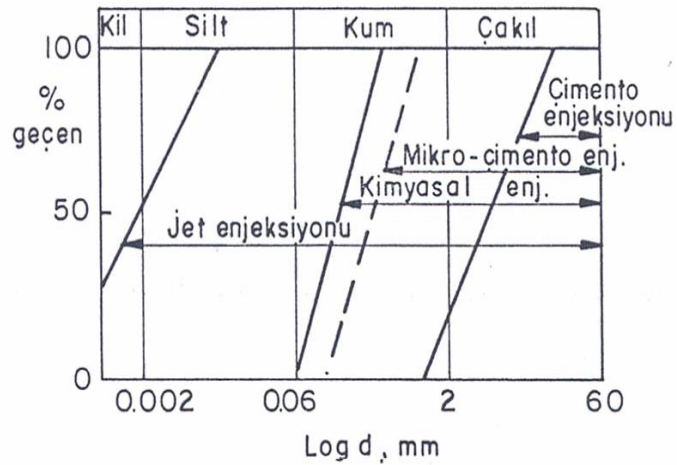
1. Yapı temelleri altındaki zeminin permeabilitesini azaltmak.
2. Geçirimsizlik perdeleri teşkil etmek.
3. Aşırı oturmaların ve su kaçaklarının önlenmesi.
4. Yapı ile ana kaya arasında kalması muhtemel boşlukların doldurulması.
5. Gevşek kumlarda sıvılaşmanın önlenmesi.
6. Hacim değişimi gösteren zeminlerde şişme ve büzülme potansiyelinin azaltılması.
7. Komşu temellerin takviyesi veya oturmuş temellerin zemininin ıslahı.
8. Temel çukuru duvarlarının stabilitesinin sağlanması.
9. Tünel inşaatlarında, tünel aynasının stabilitesinin sağlanması.
10. Yapı temelleri altındaki zeminin mukavemetini artırmak.
11. Yamaç stabilitesini sağlamak.

Bu yöntemi, emdirme (permeasyon), kompaksiyon (telafi), çatlatma (yapraklama) ve jet enjeksiyon (jet grout) olarak dört başlık altında Şekil 2.22'deki gibi inceleyebiliriz.

Çeşitli enjeksiyon malzeme ve yöntemlerinin dane çapına göre uygulanabilirliği Şekil 2.23'de görülmektedir.



Şekil 2.22. Enjeksiyon yöntemi çeşitlerinin şematik gösterimi (Tunçdemir, 2004).



Şekil 2.23. Çeşitli enjeksiyon malzeme ve yöntemlerinin dane çapına göre uygulanabilirliği (Ergun, 2002).

2.7.1 Emdirme enjeksiyonu

Bu yöntem 1802' de Fransa' da geliştirilmiş olup, kum ve çakıl gibi daneli zeminlerin özelliklerini (dokusunu) bozmadan içine düşük viskoziteli pelteci veya daneli karışımları görece düşük basınçlarda yollama tekniğidir. Ortamın özellikleri bu işleme elverişli ise enjeksiyon sıvısı çatlak ve boşluklara kolayca girerek onları tıkar ve daneleri yapıştırır. Böylece sıkışabilirlik ve geçirimsizlik azalır, kayma direnci buna bağlı olarak da taşıma gücü yükselir. Çizelge 2.1'de zemin ve kaya ortamında mevcut boşlukları doldurmada kullanılan maddelerin etkinliği gösterilmektedir (Önalp, Sert 2006).

Çizelge 2.1. Çeşitli enjeksiyon malzemelerinin zeminlerin dane çaplarına göre penetrasyon yetenekleri (Önalp, Sert 2006).

ENJEKSİYON SIVISI		ÇAKIL	KUM			SİLT	KİL
			kaba	orta	ince		
çimentolu sıvılar	ültra ince çimento	→					
	çimento	→					
	bentonit	→					
	sodyum silikat	→					
kıyiasalılar	lignin	→					
	üre bazlı reçine	→					
	akrilamid	→					
dane boyutu (mm)		2	0.5	.25	0.74	0.005	
geçirimsizlik katsayısı(cm/s)		10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}

2.7.2 Kompaksiyon enjeksiyonu

Bu yöntemde orta-yüksek viskoziteli karışımların ortama yüksek basınçlarla (>50 bar) yollanması ve bunların boşluk/çatlaklara girmeden kendisinin ortamda ayrı bir kütle oluşturması gözetilmektedir (Önalp, Sert 2006). Bu doğrultuda kompaksiyon enjeksiyonu, 25 mm'den daha az çökme değeri olan, yeterli plastisiteyi sağlayacak kadar silt ve içsel sürtünmeyi sağlayacak kadar da kum içeren katı enjeksiyon malzemesinin, zemin boşlukları içerisine girmeksizin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen bir kütle oluşturacak ve etrafındaki gevşek zeminleri sıkıştırarak şekilde yüksek basınçlarda enjekte edilmesi olarak tanımlanmıştır (Anonim, 1997). Kompaksiyon enjeksiyonu malzemeleri katı veya düşük kıvamlı çimento, kum veya kil ve su karışımı malzemelerdir. Plastiklik ve enjeksiyonlanabilme özelliklerinin artırılması için katkı malzemeleri kullanılmaktadır. Enjeksiyon malzemesi içindeki agreganın %100'ü 8 nolu elekten geçen kumdur. 200 nolu elekten geçen malzeme %10 ile %30 arası değişmektedir (Warner ve Brown, 1974).

Bu yöntemin uygulanması sonucunda zemine önemli ek hacimler girdiğinden kontrollü veya kontrolsüz sıkıştırma etkisi, ayrıca mevcut yapının istenen yönde ötelenmesi sağlanır. Böylece kompaksiyon enjeksiyonu yapıların farklı oturmalarının giderilmesi, bunların yükseltilmesi/kaldırılması ve ortamın sıkıştırılması sonucu taşıma gücünün yükseltilmesi gibi önemli yararlar sağlar (Önalp, Sert 2006).

2.7.3 Çatlatma enjeksiyonu

Çimento esaslı harçla zemin 1 MPa'lık bir basınçla parçalanır. Böylece, zemin içinde enjeksiyon mercekleri ve tabakaları oluşur. Birbiri ile bağlantılı olmayan boşluklar doldurulur ve zemin bir miktar sıkışır (Gallavresi, 1992).

Bu yöntemde, zemin içerisine yerleştirilen özel çelik borular kullanılarak, görece düşük viskoziteli enjeksiyon malzemesiyle yapılan tekrarlı enjeksiyonlarla oluşturulan çatlaklar doldurulmaktadır. Genellikle barajlar için temellerin hazırlanmasında kullanılır.

2.7.4 Jet Grout

Bu yöntem 3. bölümde detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.8 Zemin Güçlendirilmesi

Bu grup altındaki yöntemlerden belli başlılarını aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz.

1. Mini veya mikro kazıklar
2. Zemin çivileri
3. Donatılı zemin (Toprakarme)

Yukarıda belirtilen yöntemlerden bazıları aynı amaçla kullanılabilmeyle beraber genellikle problemin tipine göre ve yerel şartlara bağlı olarak “en uygun” veya “en iyi” bir yöntem belirlenebilmektedir.

2.8.1 Mini veya makro kazıklar

Mini veya mikro kazıklar çelik veya çelik boru donatılı, çimento veya çimento-kum ve su karışımı ile zemin içine dökülüp hazırlanan 6-7 cm' den 25-30 cm' ye kadar çaplı kazıklardır. Mini kazıklar esas itibarı ile yüksek kapasiteli düşey veya düşeye yakın elemanlardır. Yüksek kapasitelerinin sebebi, yapımlarında kapalı devre yüksek enjeksiyon basıncı kullanılmasıdır. Şekil 2.24'de görülen mini kazıkların uygulama spektrumu geniştir. Mevcut yapıların temel takviyesi en popüler olanıdır (Ergun, 2002).

Mini kazıklar yük taşıma kapasitesini arttırarak ve oturumları azaltarak ve özellikle mevcut yapıları güçlendirerek birçok zemin iyileştirme uygulamalarında etkili olduklarını kanıtlamışlardır (Witt ve Smoltczyk, 2002).



Şekil 2.24. Mini kazık uygulamasından bir görünüm.

2.8.2 Zemin çivileri

Zemin çivileme yöntemi, zeminin kesme mukavemetini arttırmak, çekme mukavemeti kazandırmak amacıyla zemine uzun bulonlar veya çiviler yerleştirilerek yapılan bir donatılama tekniğidir (Şekil 2.25-2.26). Tasarımın esası çivilerde oluşacak çekme kuvvetlerini sürtünme vasıtasıyla zemine aktarmaktır. Bu sistemle inşaat sahasındaki zemin inşaat malzemesi olarak kullanılabilir. Düşey yük taşımaktan ziyade yanal hareketlerin sınırlandırılması amacını taşımaktadır. Daha çok derin kazılarda, geçici veya kalıcı iksa yapımında, şevlerin stabilitesinin sağlanmasında ve dayanma yapılarının desteklenmesinde kullanılırlar. Geriye bağlama yöntemlerinden (ankrajlar) farklı olarak zemin çivileri pasif elemanlardır. Çivilerde meydana gelen maksimum çekme kuvvetleri yüzey elemanına transfer edilenden çok daha fazladır.

Genellikle uygulanan yapım yöntemi, kademe kazısı, hasır çelik, püskürtme betonu ve çivileme şeklindedir. Kendini kazıyı takiben kısa bir müddet tutamayan veya su akımı olan kazı yüzleri yöntem için uygun değildir. Diğer bir husus ise çivilerin sürekli kullanım halinde paslanmaya karşı korunma gereğidir (Ergun, 2002).



Şekil 2.25. Zemin çivileme uygulamasından bir görünüm.



Şekil 2.26. Tamamlanmış bir zemin çivileme uygulamasından bir görünüm.

2.8.3 Donatılı zemin (Toprakarme)

1960' ların ortalarından itibaren uygulanmaya başlanan toprakarme sisteminin esası, zemin ile donatının birlikte kullanımına dayanmaktadır (Şekil 2.27). Zemine değişik malzemeler eklenerek yapı mukavemetinin artırılması amaçlanan bu yöntemde, tahta kirişlerden, metalik ya da polimerik şeritlere kadar değişik pek çok malzeme donatı olarak kullanılmıştır. Aynı zamanda betonarme prensibinde olduğu gibi zemine eklenen donatılardan sağlanan fayda, donatının çekme mukavemetine ve donatı ile zemin arasındaki sürtünmenin kesmeye karşı dayanımına bağlıdır. Zemin kütlelerinin içinde oluşan gerilmeler özel galvanizli çelik şerit donatılar tarafından karşılanır. Bu gerilmeler şeritlere sürtünme vasıtasıyla transfer edilir. Böylece bu iki malzeme, tek ve kompozit bir inşaat malzemesi olmaktadır. Genel olarak, betonarmenin kullanım

amacıyla benzerlik gösteren bu sistem, zeminin mekanik özelliklerini ekonomik bir şekilde geliştirmek için kullanılmaktadır. Dolgunun akmasını engellemek ve estetik bir görüntü sağlamak amacı ile donatılı zemin bloğunun yüzünde prekast cephe panelleri kullanılır. Dolgu malzemesi için şartnameler mevcuttur ve daneli karakterde malzeme istenmektedir. İnce malzemelerin oranı en fazla %10-15 tavsiye edilmektedir (Ergun, 2002).



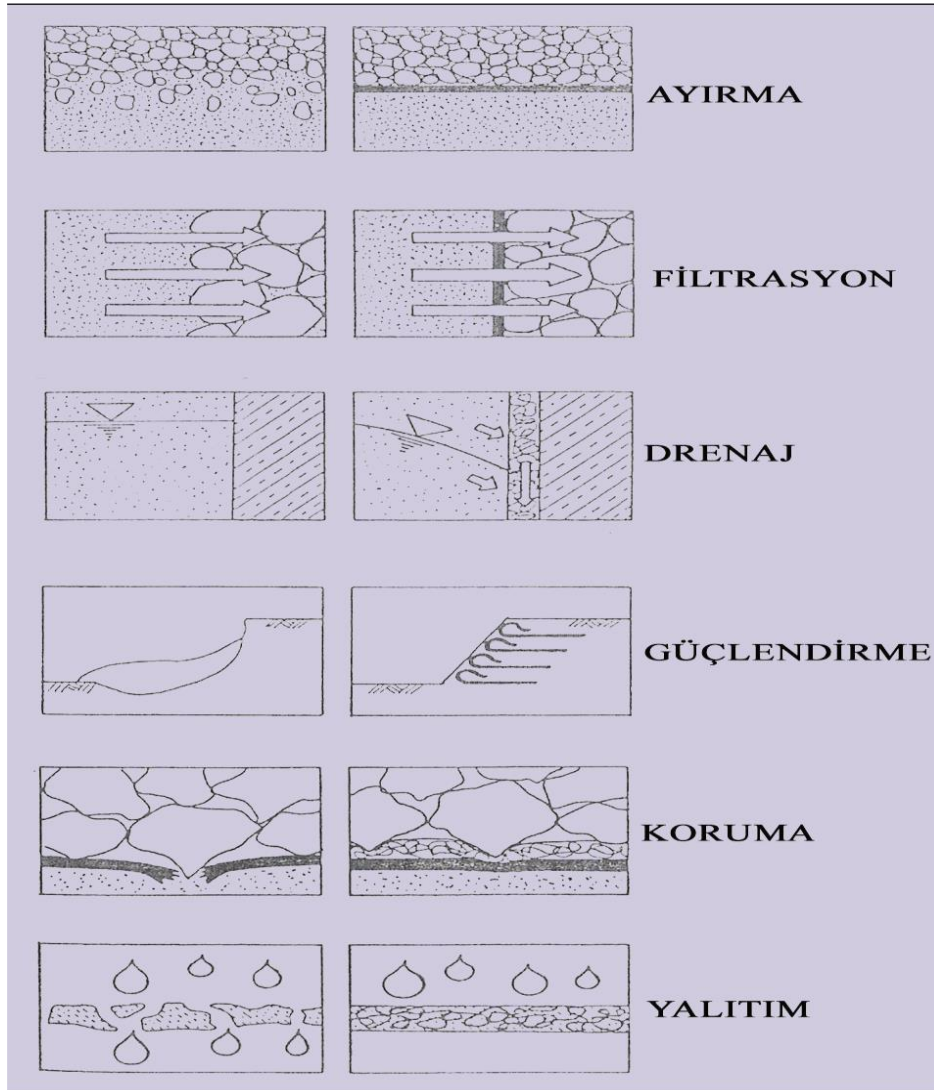
Şekil 2.27. Toprakarme uygulamasına ait detay görüntüleri.

2.9 Geotekstiller ve Geosentetikler

Geotekstil; “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü” olarak tanımlanmaktadır (ASTM). Çeşitleri ise geotekstil, geogrid, geonet, geomembran, geosentetik kil kaplama, geoboru, geokompozit, geofom, geotüp, geohücre, geo diğerleri olarak gruplandırılabilir.

Son yıllarda kullanımı giderek artan, polimerik malzemeden üretilen geotekstillerin üretim tekniği açısından temel olarak iki tip yapısı vardır. Bunlar: örgülü geotekstiller ve örgüsüz geotekstillerdir. Ayrıca elyafların bir araya getirilme yöntemlerine göre mekanik, ısıl ve kimyasal birleştirme gibi özel işlemler görmüş geotekstiller de mevcuttur.

Geotekstillerin 100'den fazla özel uygulama alanı bulunmaktadır; ama genelde geotekstiller aşağıda belirtilen altı fonksiyonu göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır. Bu fonksiyonlar ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma, yalıtım olarak sıralanabilir. Bu uygulama alanlarının bazıları Şekil 2.28'de gösterilmektedir.



Şekil 2.28. Geotekstillerin kullanım alanları.

2.10 Su ekme ve Kontrolü (Dewatering)

Bir inşaat projesinde yer altı suyunu kontrol etmek için dört temel metod vardır. Suyun bir kazıya akmasına izin verir, hendek ve çukurlarda toplayıp dışarı pompalayabiliriz. Bu metod ‘‘açık pompalama’’ olarak adlandırılır. Kazıdan önce, pompalama kuyuları, nokta kuyular, ejektörler veya drenler kullanarak toprağa ‘‘ndrenaj’’ uygulayabiliriz (şekil 2.29). elik palplanş, diyafram duvarlar, zemin dondurma, tremi betonu veya enjeksiyonla suyu kesebiliriz. Ya da sıkıştırılmış hava, çamur bulamacı hendeğini kalkan olarak kullanarak veya toprak basıncı kalkanı ile suyu dışarıda bırakabiliriz (Ergun, 2002).



şekil 2.29. Su ekme ve kontrolü yöntemi uygulamasından bir görüntü.

2.11 Diğer Yöntemler

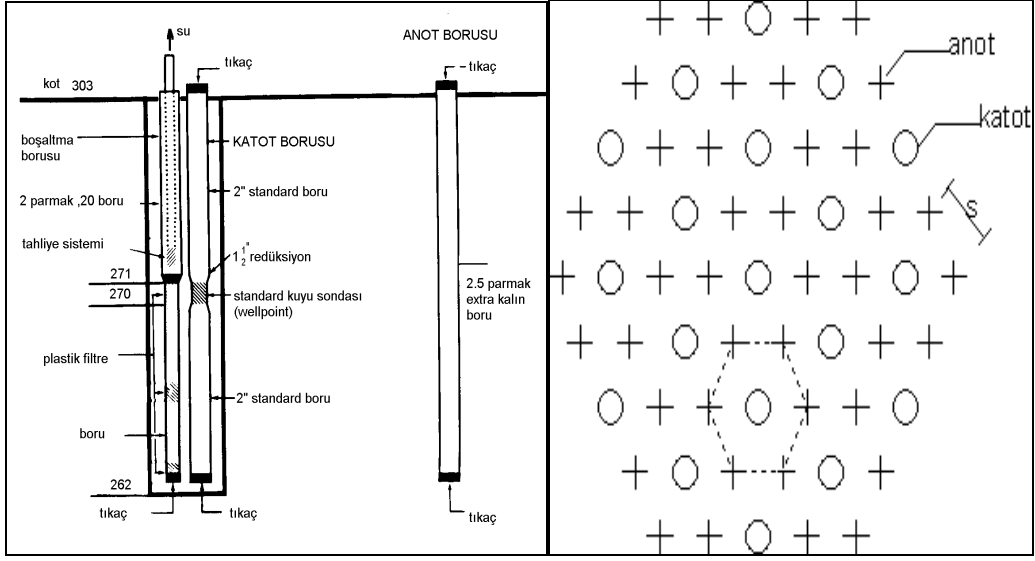
Zemin iyileştirmesi kapsamında düşünülebilecek yöntemler ile Türkiye’ de uygulaması hiç olmayan iyileştirme yöntemlerine kısaca değinilecektir (Ergun, 2002):

1960 senesinden itibaren özellikle Avrupa’ da geliştirilmiş olan öngermeli zemin ankrajları, zemin çivilerinin daha güçlüsü, yüksek kapasitelisi ve daha seyrek kullanılanı olarak düşünülebilir.

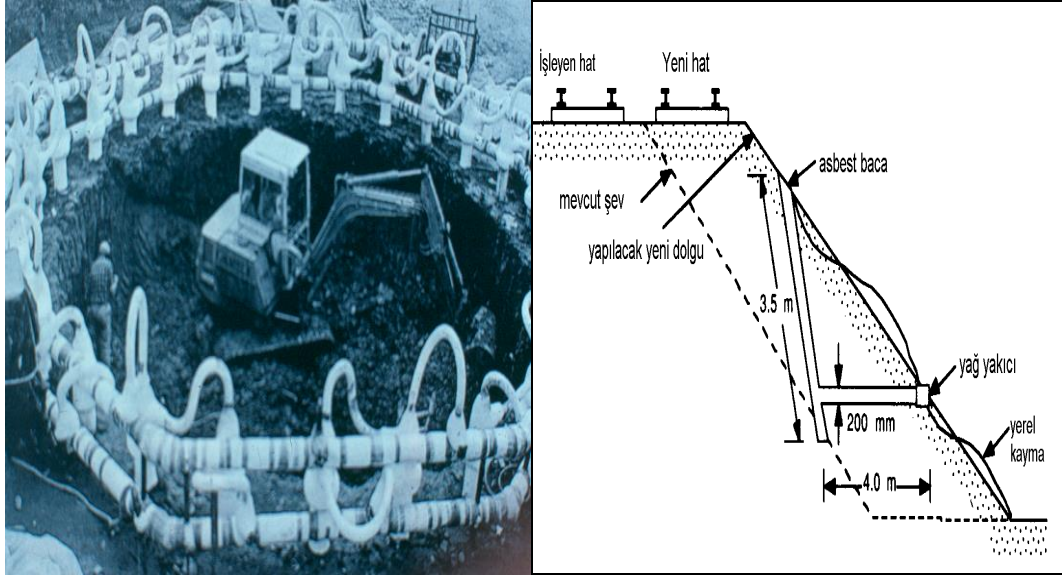
Şekil 2.30’da görüldüğü gibi Elektro-osmoz, ince daneli zeminlerde anod ve katod ile bir doğru akım devresi kurup zeminden suyu drene ederek konsolide etme yöntemidir. Büyük olmayan sahalarda ve uygun zemin şartlarında tesirli ve ekonomik olabilmektedir. Anottan katoda doğru olan akım dolayısıyla anotta devamlı zemini stabilize edecek kimyasal maddeler eklendiğinde yöntem elektro-kinetik enjeksiyon ismini almaktadır. Elektro-osmoz yönteminde nokta kuyular genellikle suyu çekmek için katod olarak, çelik veya alüminyum çubuklar ise anod olarak kullanılır. Normal konsolide olmuş siltler ve siltli killer yöntem için en uygun zemindir.

Dondurma yöntemi geçici iksa işlerinde ve yer altı su tablasının bulunduğu hallerde kullanışlı bir yöntemdir (Şekil 2.31). Zemin, destek ve kazı işlerinin yapılacağı yerde sondaj yöntemiyle delinir ve borular indirilerek dondurma tekniğinin tipine göre sistem kurulur. Planlı bir şekilde açılan delikler etrafında, tekniğe göre belirli bir çapta donmuş zemin oluşur. Likit nitrojen veya karbondioksit kullanan sistemler birkaç saatte etkili olabildiğinden acil durumlarda tercih edilmektedir. Klasik soğutucu devrelerde günlerce veya haftalarca beklemek gerekmektedir. Donmuş zeminin mukavemeti çok yüksek olmaktadır.

Şekil 2.32’de gösterilen Isıl İyileştirme yöntemi özellikle lös zeminlerde uygulanmıştır. Basınçlı hava ve yakıt, sondaj deliğine ağızdan kaçırmayacak şekilde basılır. Deliğin etrafında ısı yükselmiş bir bölge oluşur. Genellikle 300-1000°C arası ısı kullanılmaktadır. Lös zeminlerin ısı sonucu sürtünme açıları ve kohezyonları artmakta, sıkışabilirlikleri azalmaktadır.



Şekil 2.30. Elektro-osmoz uygulamasının şematik gösterimi.



Şekil 2.31. Dondurma yönteminden bir görünüm.

Şekil 2.32. Isıl iyileştirme yönteminden bir görünüm.

3. JET GROUT YÖNTEMİ

Jet grout yöntemi ilk olarak 1960'lı yıllarda Japonya'da geliştirilmiş (Yahiro and Yoshida, 1973), daha sonra 70'li yılların sonunda Avrupa ülkelerinde uygulanmaya başlanmıştır (Bell, 1993). Ülkemizdeki ilk uygulaması ise 1986 yılında Haliç Kollectörleri Projesi kapsamında Ayvansaray tünel aynasının zemin ıslahında yapılmıştır.

Bu yöntemde yüksek basınç altında (700 bar' a kadar) çok küçük deliklerden pompalanan enjeksiyon malzemesi zemini bıçak gibi keserek zemin içinde silindirik kolonlar oluşturmaktadır. Kazığa benzeyen bu kolonlar zeminin taşıma kapasitesini artırmakta ve sıkışabilirliğini azaltmaktadır. (Kauschinger ve diğ., 1992)

Şekil 3.1'de enjeksiyon aşaması görülen bu yöntem, hemen her tür zayıf zemin tipleri ile kum, ince daneli çakıl ve kil gibi çeşitli karakter ve farklı türlerdeki doğal zeminlerin oluşturduğu kombinasyonlarda, diğer iyileştirme yöntemlerinin çoğuna nazaran daha hızlı, güvenilir, kalıcı ve ekonomik bir alternatiftir.



Şekil 3.1. Enjeksiyon aşaması (Nozzle' lardan grout çıkışı).

3.1 Tanımlar

Jet enjeksiyon işlemi; zeminin veya zayıf kayacın parçalanması, çimento şerbeti ile karışması ve kısmî yer değiştirmesini kapsar. Zeminin parçalanması, yüksek enerjili bir akışkan jeti vasıtası ile meydana gelmekte olup, bu akışkan çimento şerbetinin kendisi de olabilir (TS EN 12716).

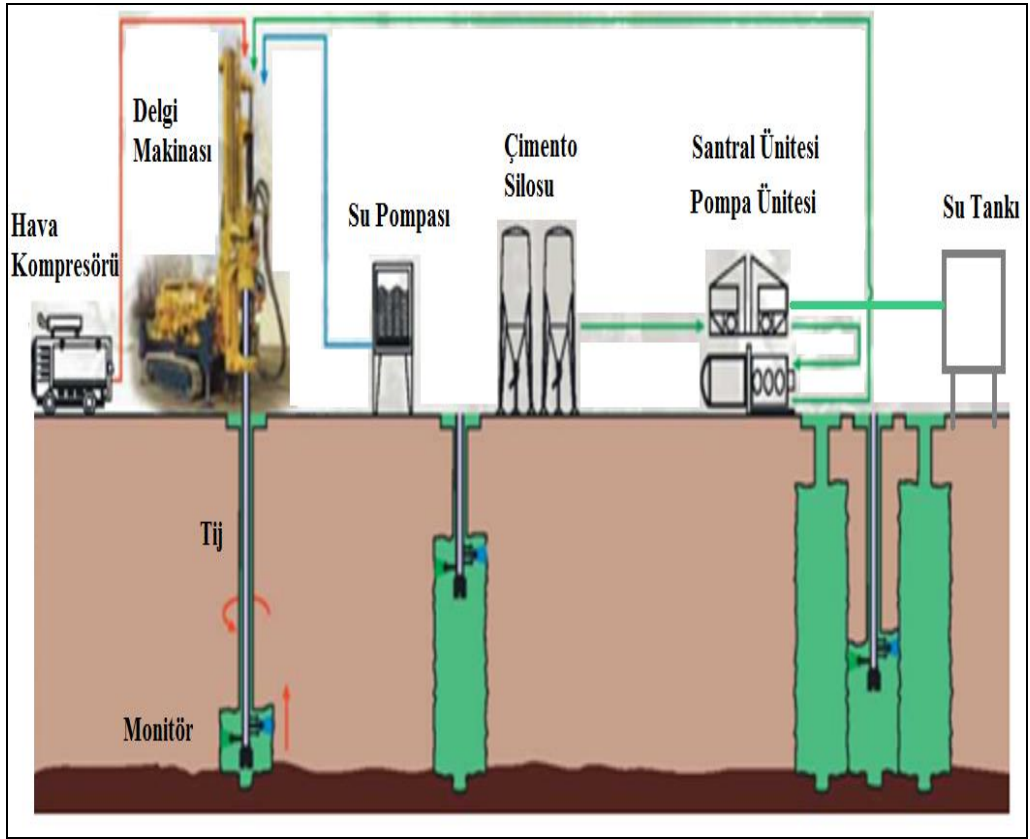
Jet grout yönteminde zeminin en az 300 bar basınçla püskürtülen, genellikle su ve çimento karışımından oluşan bir stabilizerle karıştırılmaktadır. Yüksek basınç, katkının sevk edilen nozzle(lar)dan geçerken yüksek bir kinetik enerji (hız) kazanmasını sağlar. Yüksek hızlı (200 - 250m/sn) grout, zemini adeta yırtarak, zeminle bir karışım (soilcrete) sağlar (Küsin, 2009). Bu derin ve kalıcı iyileştirme yöntemiyle zeminin taşıma gücü ile elastisite modülü artarken permeabilitesi de azalmaktadır.

Bu yöntemi anlatırken kullanılan bazı kavramlar aşağıda açıklanmaktadır:

1. Jet: Küçük bir açıklıktan geçirilen akışkanın, yüksek basınç ve hızla akış halidir.
2. Grout: Harç.
3. Jet Grout Yöntemi (Soilcrete, Jet Grouting) : Zeminin, minimum 300 bar basınçla püskürtülen bir stabilizerle yırtılarak karıştırılmasıdır.
4. Jet Grout Kolonu: Sondaj tijinin kendi eksenini etrafında dönerek yukarı çekilmesi sırasında minimum 300 bar basınçla püskürtülen (jetlenen) stabilizerin, zemini yırtarak oluşturduğu soilcrete halindeki silindirik kolondur.
5. Stabilizer: Zeminde jetlenen enjeksiyon malzemesidir. Genellikle su-çimento karışımından oluşan çimento şerbetidir (grout).
6. Soilcrete: Yüksek hızla (200-250 m/sn) jetlenen su-çimento karışımının (grout) zeminle birleşerek oluşturduğu homojen karışımdır.

3.2 Ekipman

Jet Grout imalatında kullanılan makine ve ekipmanların bütününe Jet Grout Seti denir. Bu set Şekil 3.2 ile Şekil 3.3'de görülen ve aşağıda tarif edilen ekipmanlardan oluşmaktadır.



Şekil 3.2. Jet grout ekipmanlarının şematik görünümü.



Şekil 3.3. Jet grout ekipmanlarından genel bir görünüm.

3.2.1 Delgi makinesi

Jet Grout uygulaması yapılacak zemin koşullarında motorize olabilecek, projede ön görülen kotlar arasında delgi işlemi yapabilecek ve jet grout kolonu teşkil edebilecek donanıma sahip olan bir makinedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Delgi makinesi.

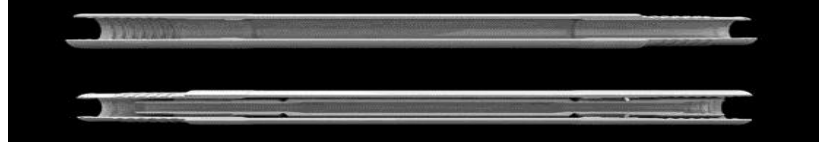
3.2.2 Jet grout tiji

Proje derinliğine kadar zemini delip stabilizeri monitöre taşıyan, yüksek basınca dayanıklı malzeme ve imalat tekniği ile imal edilmiş olan bu delme borusunun özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

1. Tekli sistem: Yüksek basınçlı çimento karışımını monitöre ileten bir kanaldan ibarettir.
2. Çiftli sistem: İki akışkanı (sırası ile hava ve çimento karışımı veya su ve çimento karışımı) monitöre ileten iki ayrı kanaldan oluşur.

3. Üçlü sistem: Yüksek basınçlı suyu, basınçlı havayı ve çimento karışımını monitöre ileten üç kanaldan oluşur.

Şekil 3.5.'de görüldüğü gibi birden çok sayıdaki kanallar aynı tij içinde bulunur.



Şekil 3.5. Jet grout tiji.

3.2.3 Monitör

Stabilizerin zemine jetlenmesini için jet grout tijinin ucuna monte edilen monitör Şekil 3.6'da görüldüğü gibidir ve aşağıda verilen özellikleri kapsar (TS EN 12716);

1. Tekli sistem için, enjeksiyon şerbetini jet haline getiren bir ya da daha fazla dairesel püskürtücü (nozzle). Bu püskürtücüler aynı seviyede ya da değişik seviyelerde, karşılıklı çalışmaya imkân sağlayan açılarda bulunabilir.

2. İkili (hava) sistem için, hava ve enjeksiyon şerbetinin eş zamanlı jet haline getirilme işlemi için bir ya da daha çok çift püskürtücü (aynı seviyede ya da değişik seviyelerde, karşılıklı çalışmaya imkan sağlayan açılarda). Hava püskürtücüsü, dairesel şerbet püskürtücüsünün çevresini bir halka şeklinde sarar.

3. İkili (su) sistem için, suyun jet haline getirilmesi için bir ya da daha fazla püskürtücü ve çimento karışımını yollamak için bir ya da daha fazla daha derine yerleştirilen püskürtücü mevcuttur.

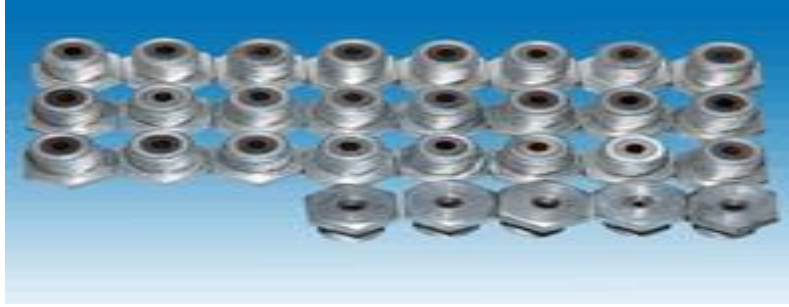
4. Üçlü sistem için, su ve havanın eş zamanlı jetlenmesi işleminde bir ya da daha fazla çift püskürtücü ve enjeksiyon şerbetinin gönderilmesini sağlayan daha derine yerleştirilmiş bir ya da daha fazla normal püskürtücü olur.



Şekil 3.6. Monitör.

3.2.4 Jet grout nozzle' ı

Tijlerdeki stabilizerin yüksek basınç enerjisini zemine yönlendirerek kinetik enerjiye dönüştüren, özel olarak üretilmiş ve monitöre takılmış olan 1,5-5mm çapında delikli elemandır (Şekil 3.7).



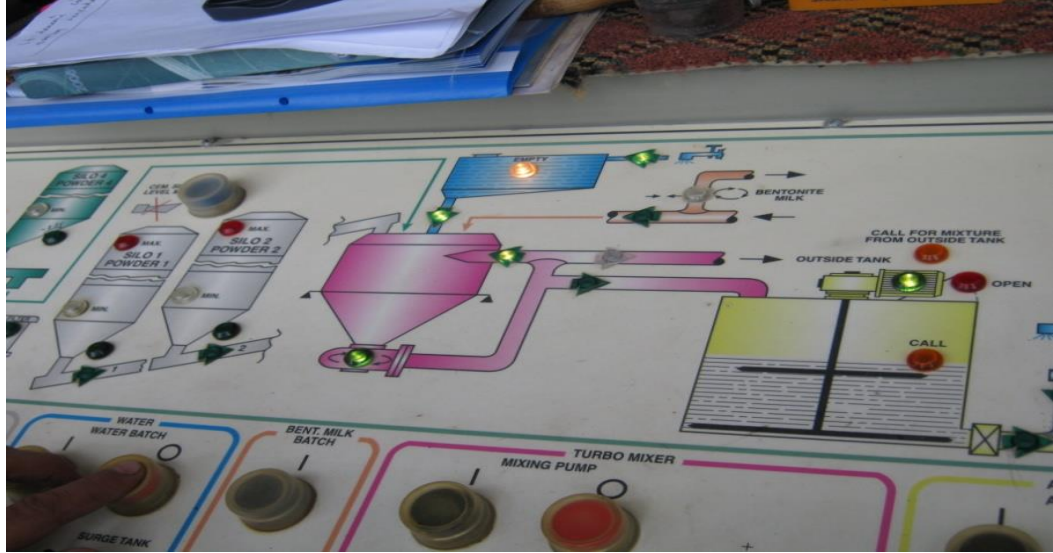
Şekil 3.7. Muhtelif nozzle görünümleri.

3.2.5 Santral ünitesi

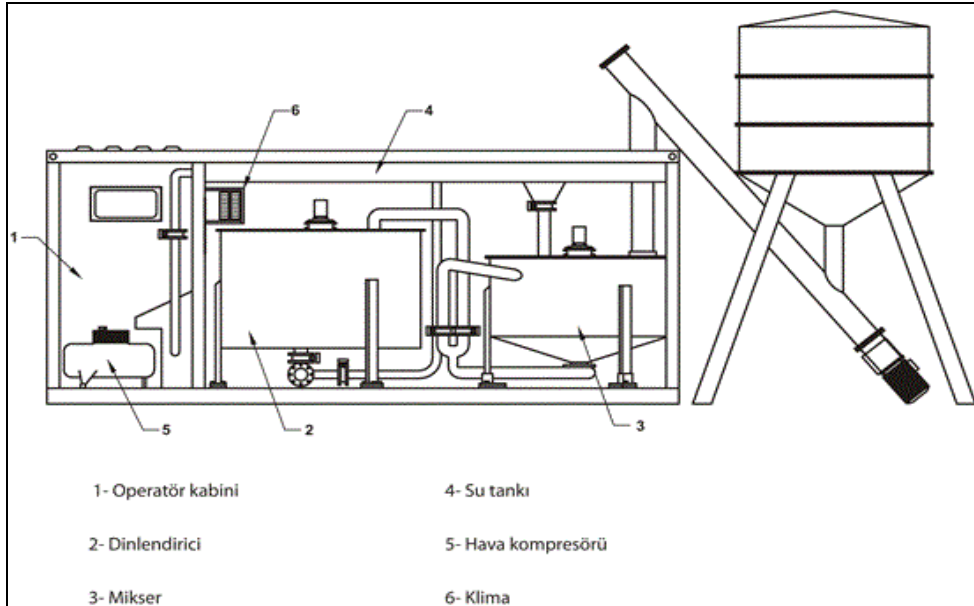
Çimento şerbetinin (enjeksiyon malzemesi) hazırlandığı, istenen karışım oranında çimento ve suyu elektronik olarak tartarak karıştırabilen mikser ile dinlendirici kazandan oluşan, jet grout pompa ünitesini besleyen ünedir (Şekil 3.8-3.9). Şematik gösterimi Şekil 3.10'daki gibidir.



Şekil 3.8. Santral ünitesinden görünüm.



Şekil 3.9. Santral ünitesinin kumanda paneli.



Şekil 3.10. Santral ünitesinin şematik gösterimi.

3.2.6 Pompa ünitesi

Enjeksiyon karışımını istenen çapta jet grout kolonu teşkil edebilecek basınçta basabilecek yüksek basınçlı pompadan oluşan ünedir. Jet grout kolonlarının yapımında 60MPa da 150 – 450 lt/dk arasında çimento harcı basabilen ve 8 saate kadar sürekli çalışabilen pompalar kullanılmaktadır (Kauschinger ve diğ., 1992). Yüksek basınçlı pompalar 300 ~ 500 beygir güce sahip olup klasik enjeksiyonda kullanılan pompalardan oldukça farklıdır. Şekil 3.11’de pompa ünitesinden bir görünüm yer almaktadır.



Şekil 3.11. Pompa ünitesinden görünüm.

3.2.7 Çimento silosu

Dökme çimento depolayabilen ve jet grout santralini yeterli düzeyde besleyecek Şekil 3.12’de görülen çimento silosu ve konveyörüdür.



Şekil 3.12. Çimento silosundan görünüm.

3.2.8 Su tankı

15 – 25 ton kapasitede temiz su depo edebilecek bir su tankıdır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Su tankından görünüm.

3.2.9 Diğer ekipmanlar

8-12 bar basınçlı kompresör, kaynak makinesi ve elektrik kesintilerinin olması halinde 50 KVA' lık bir jeneratör bulundurulmalıdır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Jeneratörden görünüm.

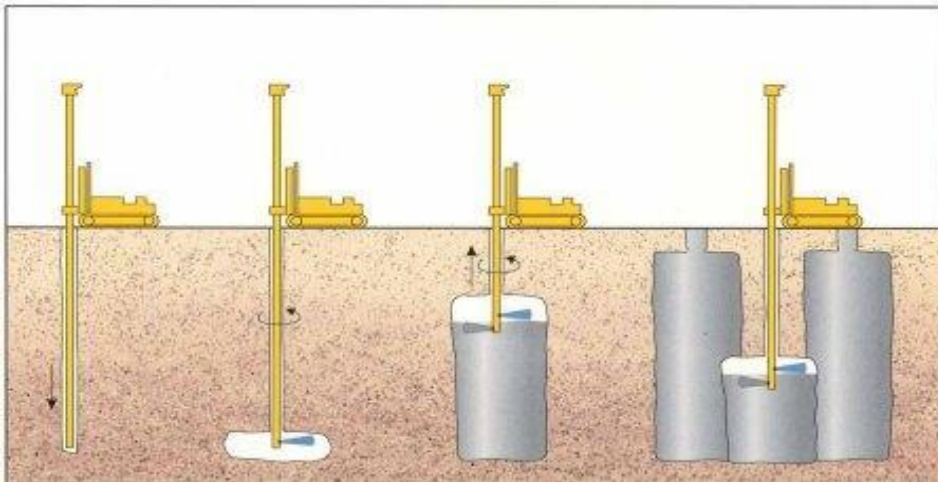
3.3 Uygulama Aşamaları

Uygulamaya başlamadan önce inşaat sahasının zemin koşulları, çalışanların ve iş makinelerinin kaliteli bir imalat yapabilmesi için düzenlenmelidir. Temel kazısı tamamlandıktan sonra, çalışma sahasının drenajı yapılarak gerektiğinde dolgu ve sıkıştırma işlemiyle zemin kararlı hale getirilmelidir. Zemin koşulları bu işlem için uygun değilse, jet grouting uygulaması temel kazısına başlamadan önce yapılabilir. Böylece zamandan, iş gücünden ve maliyetten tasarruf edilmiş olacaktır.

Ara mesafeleri, kot aralıkları ve adetleri projede belirtilen jet grout kolonları, imalata başlamadan önce ayrı bir paftada her bir kolona numara verilerek numaralandırılır. Böylece günlük imalat raporlarında hangi kolonların hangi tarih ve parametrelerle imal edildiği bilinir. Ayrı bir paftada numaralandırılan kolonlar, projede belirtilen koordinat ve kotları belirlenerek tek tek zemine işaretlenir. Böylece imalata başlamadan önce gerekli ön hazırlıklar tamamlanmış olur. Uygulama öncesi hazırlıklar tamamlandıktan sonra tek tek zemine işaretlenen kolonlar, projede belirtilen koordinat ve kotlarda atlamalı olarak imal edilir. Bu doğrultuda her bir jet grout kolonu tamamlandıktan en az 24 saat geçmeden 2 çap çevresinde imalat yapılmamalıdır.

Gerekli ön hazırlıkların tamamlanmasından sonra jet grouting uygulaması sırası ile delme ve enjeksiyon başlıkları altında ele alınabilir.

Jet grouting yöntemi uygulama aşamaları Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Jet grout yöntemi uygulama aşamaları (URL-7).

3.3.1 Delgi aşaması

Jet grout uygulamasında ilk olarak zemin içinde ufak çaplı (40-90mm) delik açılarak istenilen derinliğe erişilmelidir. Kaliteli imalat yapılabilmesi için delgi sırasında kuyu ağzının yer altı su seviyesinin üzerinde olması tercih edilir. Jet grout kolon deliğinin oluşturulması esnasında, delginin teorik ekseninden sapması 20 m derinliğe kadar % 2'den az olmalıdır. Daha büyük derinliklerde ve yatay jet enjeksiyon işleri için farklı toleranslar kullanılabilir. Tasarım şartnamelerinde aksi belirtilmemişse, delgi (sondaj) başlangıç noktası teorik konumundan 50 mm den fazla sapmamalıdır (TS EN 12716). Yeraltında tahmin edilemeyen engellere rastlanırsa, jet enjeksiyon aşamasında istenmeyen etkilerin ortaya çıkmaması için uygun tedbirler alınmalıdır.

Delme işleminin çeşidi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak seçilir. Ortamın zemin veya kaya olmasına göre, uygun bir delici makine, ilgili delici uç, matkap, vidye, tij ve su başlığı gibi ekipmanlar kullanılır. Delme işleminin çeşidi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak seçilir. Buna göre de bilinen tüm rotary ve darbeli – rotary metotları kullanılır. Darbeli - rotary metodunun en yaygını da harici çekiçli sistemlerdir. Delme işleminin kolaylaştırılması, uç takımının soğutulması ve zeminin enjeksiyona hazırlanması maksadı ile delme sırasında çok çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır. Bunlar su, hava, bentonit şerbeti ve çimento şerbeti olabilmektedir. Delgi makinesi tijleri uç takımı olarak, yumuşak karakterli zeminlerde genellikle kil matkapları (kil bitleri), sert karakterlerde ise kaya matkapları (tricone bitler) kullanılmaktadır. Delme borusu (tij) olarak da jet grout tijleri kullanılmaktadır; bunlar da yüksek basınca dayanıklı malzeme ve imalat tekniği ile imal edilmektedirler. Bağlantı (ek) manşonlarında da 500-600 bar'a dayanıklı sızdırmazlık elemanları (tij keçesi) kullanılmaktadır. Şekil 3.16'da delgi matkaplarına dair örnekler görülmektedir (Küsin, 2009).



Şekil 3.16. Delgi matkaplarından örnekler (URL-8).

3.3.2 Enjeksiyon aşaması

Enjeksiyon aşamasında kullanılacak olan enjeksiyon malzemesi (stabilizer), zemin parametreleri doğrultusunda tasarım aşamasında belirlenen orandaki su ve çimentonun mikser ünitesinde karıştırılmasıyla oluşur. İyileştirilmesi planlanan zeminde çok miktarda hacim dolacaksa, pompanın basmasının mümkün olduğu oranda (en fazla %25' e kadar) kum katılır. Geçirimsizlik ve ince çatlakların doldurulması bentonit karışımı ile sağlanır. Mikserde hazırlanan enjeksiyon karışımı, dinlendiriciye alınır ve oradan pompa vasıtasıyla hortumlar ile kuyuya verilir. Projede belirlenen derinliğe ulaşıldığında, delme ve su basma işlemi durdurularak delme borusunun içine çelik bir bilye bırakılır, uç kısmının hemen üstünde yer alan bir valf bu suretle kapatılmış olur. Valf kapanınca delme borusuna yollanacak groutun yönü boru ucunda monitör diye adlandırılan ve jet grout nozzle'larını taşıyan takıma çevrilmiş olur. Yüksek basınçlı grout pompalanmaya başlanır ve enjeksiyon aşaması başlamış olur. Hazırlanan grout, yüksek basınçla nozzle'lardan geçerken yüksek hız kazanır. Yüksek hızlı grout zeminin doğal yapısını parçalayarak zeminle karışır. Delici takımın kendi eksenini etrafında dönüşü sayesinde bu karışım daire kesitli bir kolon formunda oluşur ve zeminden çok farklı mekanik değerlere sahip jet grout kolonu elde edilmiş olur (Melegary ve Garassino, 1997). Oluşacak kesitlerin ebatları, zeminin özellikleri ile jet grout tijninin dönüş hızı, çekme hızı, grout basıncı, grout debisi, nozzle çap ve sayısı gibi jet grout yönteminin temel parametrelerine bağlıdır.

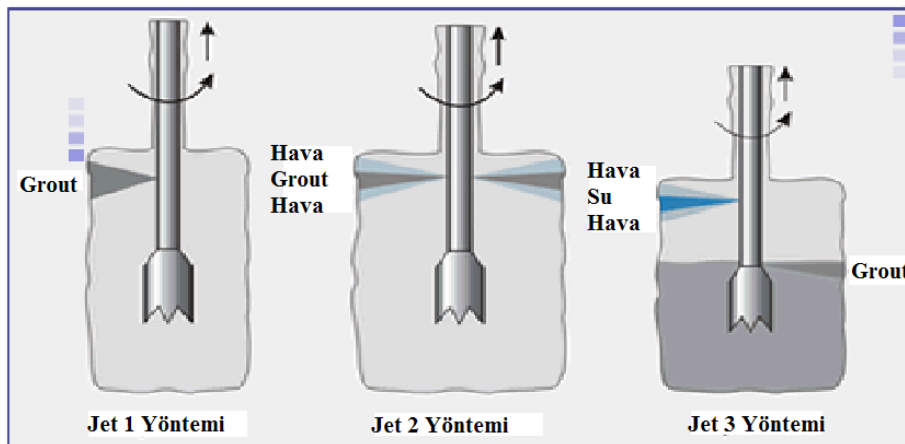
Basınçlı enjeksiyon esnasında, delici takımın etrafından dışarıya belirli bir miktar zemin materyali taşması uygun görülür. Bu durum groutla karıştırılan zemin içinde aşırı basınç oluşmadığına işaret eder, çünkü aşırı basınç oluşması halinde, basıncın fazlası delme borusu çapı ile delinen delik çapı farkından oluşan boşluktan dışarı kaçar. Aşırı basınç oluşmamalıdır. Çünkü aşırı basınç zeminde kırılmalara ve ayrıca zeminin kaldırılmasına sebep olur. Bu durum oluşturulan kolonlarda süreksizliğe, çapta ani değişikliklere ve taşıma gücü problemlerine yol açar. Bu türden sorunlar oluşursa; uygulamada debi miktarının azaltılması, enjeksiyon basıncının düşürülmesi ve özellikle masif kil özellikli zeminlerde ön yıkamalı delme işleminin yapılması gibi tedbirlerin alınması gerekmektedir (Küsin, 2009).

Basınçlı enjeksiyon esnasında taşınan materyal miktarı, zeminin geçirgenliğine ve türüne bağlıdır. Bu miktar, killi zeminlerde daha fazla, kumlu-çakıllı zeminlerde daha az olacaktır, ortalama olarak enjekte edilen miktarın %10'u alınabilir (Melegary ve Garassino, 1997).

Temel kazısı tamamlandıktan sonra yapılan uygulamalarda enjeksiyonun kinetik enerjisinden zarar görmemek için jet grout üst kotu her zaman yüzeyden yaklaşık 30-40 cm aşağıda bırakılmalıdır. Bu doğrultuda projede belirtilen kotlara göre kolon imalatları yapılırken kolon başları diye tabir edilen 30-40 cm' lik bu kısımların daha sonra tıraşlanarak zeminin düzeltileceği unutulmamalıdır. Bu işlemin ardından jet grout kolonlarının yapıldığı alanın üzerine, temelden iletilecek üst yapı yükleri için yastık vazifesi görecek olan en az 40 cm' lik stabilize malzeme sıkıştırılarak serilmelidir.

3.4 Uygulama Yöntemleri

İslah edilecek zemin parametreleri, hacmi, yapılacak imalatın maliyet ve süresi dikkate alınarak uygulamada istenen jet grout kolon çapı ile mukavemet değerleri proje aşamasında tespit edilir. Proje aşamasında tespit edilen jet grout kolon çapı ile mukavemet değerlerini karşılayacak bir yöntem, gerek proje aşamasında gerekse uygulama aşamasında, tercih edilmelidir. Enjekte edilecek akışkanın sayısına göre uygulama yöntemlerini 4 (dört) ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlar Şekil 3.17'de şematik olarak gösterilen Jet 1, Jet 2 ve Jet 3 ile son yıllarda geliştirilen Süper Jet yöntemleridir.



Şekil 3.17. Uygulama yöntemlerinin şematik gösterimi.

3.4.1 Jet 1 yöntemi

Jet 1 yöntemi tek akışkanlı yöntem olup en basit ve yaygın kullanılan yöntemdir. Zeminin parçalanma ve çimentolanmasının, genellikle çimento şerbeti ile sağlandığı ve tek bir akışkanın yüksek enerji jeti şeklinde uygulandığı işlemdir. Delme-enjeksiyon takımı tek çeperli bir borudan ibaret olup, bir veya birden fazla 2.0 ~ 2.4 mm arasında değişen çaplardaki nozzle monitörün üzerine konuşlandırılmıştır. Grout yaklaşık 200 m/sn hızla ve 300-600 bar basınçla monitörün üzerindeki nozzle vasıtasıyla zemine jetlenir. Nozzle sayısının az olması enerji kaybının az olması demektir. Küçük çaplı nozzle'lardaki enerji kaybı, jetin nozzle'ın hemen çıkışında oluşturduğu bulutlanmadan kaynaklanır. Nozzle çapı arttırıldığı zaman bu bulutlanma da azalır. Bu yöntemle oluşan kolonların çapı, uygulama yapılan zemin türüne ve çalışma parametrelerine göre yaklaşık olarak 0.60-1.20 m aralığında oluşabilmektedir.

3.4.2 Jet 2 yöntemi

Jet 2 yöntemi iki akışkanlı yöntem olup, delme-enjeksiyon takımı çift çeperli bir borudan oluşur. Bu yöntemde grout (400-500 bar) orta borudan, basınçlı hava (8-12 bar) dış borudan geçerek çimento harcının bir hava jeti içerisinde püskürtülmesi ile zeminin parçalanması sağlanmaktadır. İç içe geçmiş iki üniteden oluşan monitörde, en içteki ünite harç püskürtme, en dıştaki ünite hava püskürtme işlevini yerine getirmektedir. İç tarafta grout için bir adet ve dış tarafta hava için bir adet olmak üzere, her bir nozzle monitörün üzerine yerleştirilmiştir. İki nozzle' dan biri olan hava jeti nozzle' ı dışta, içteki harcı zarflayacak şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarım neticesinde püskürtülen harç zemin içinde daha uzak mesafelere nüfuz etmekte ve zeminin parçalanması için daha büyük enerji üretebilmektedir (Erdil, 2008). Jet 2 yönteminin önemli bir dezavantajı çimento basılan zeminin hava içeriğini arttırmasıdır. Elde edilen zemin-çimento karışımının mukavemeti bu yöntemde diğer yöntemlerden daha düşüktür. Jet 2 yönteminde genellikle bir nozzle kullanılmaktadır. Bunun sebebi iki hava nozzle'ından birinin tıkanması durumunun operatörün fark etmesindeki zorluktur. Bu da yöntemin amacına ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Jet 2 de kullanılan nozzle'ların çapı Jet 1'e göre daha büyüktür (2.5-4.5 mm).

Basınçlı hava, jet 1 yöntemindeki kinetik enerji sürtünme kayıplarını kısmen azalttığı için, bu yöntemde oluşan kolon çapları jet 1'e kıyasla %60-80 daha büyük olur. Bu yöntemle kolon çapları orta sıkı zeminlerde 1.0 m'den, gevşek zeminlerde ise 1.80 m'den fazla kalınlığa ulaşabilmektedir (Küsin, 2009). Jet 2 metodunda zemin kırılma riski daha azdır. Jet 2 yöntemi kohezyonlu zeminlerde Jet 1 yöntemine göre daha etkili sonuçlar vermektedir. Kolon çapının bu şekilde artmasının nedenleri şöyle özetlenebilir (Erdil, 2008):

1. Basınçlı hava, harç jeti ile yeraltı suyu arasında bir tampon bölge oluşturur. Böylece daha geniş bir zemin hacmini etkilemek mümkün olmaktadır.
2. Kesilen zeminin doğurduğu çalkantıyı yenmek için harcanması gereken enerjiden tasarruf edilir.
3. Kesilen zemin uzaklaştırılması kolaylaşır. Hava jeti hızı kesildikten sonra yüzeye doğru yükselmesi sırasında, zemin döküntüsünün de kolaylıkla zemin yüzüne ulaşması sağlanır.

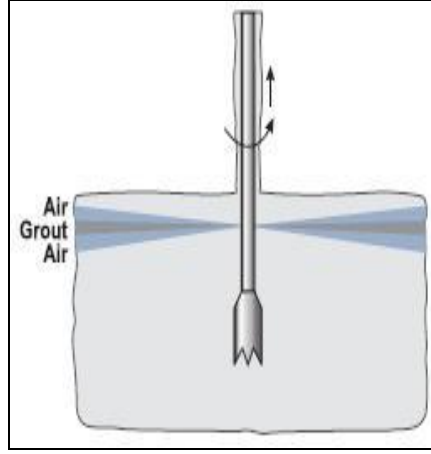
3.4.3 Jet 3 Yöntemi

Jet 3 yöntemi üç akışkanlı bir yöntem olup; su, hava ve groutun püskürtülerek (jetlenerek) kaba daneli zeminlerde karıştırma ve ince daneli zeminlerde parçalanmanın aynı anda yapılması temeline dayanır. Yöntemde zeminin sökülmesi, sıkıştırılmış hava konisi tarafından çevrelenmiş su jeti ile yapılmakta ve bu jetten biraz aşağıya yerleştirilmiş olan nozzle' dan grout tek başına püskürtülmektedir.

İç içe 3 borulu takım kullanılan bu yöntemde, 400-600 bar basınçlı su orta borudan, 8-12 bar basınçlı hava aradaki borudan, tıpkı jet 2'deki gibi, nozzlelerden zemine jetlenir. 30-80 bar basınçlı grout ise en dış borudan, ayrı bir nozzle'dan, su-hava karışımı içine enjekte edilir. Bu yöntemde kohezyonlu zeminlerde 1.5 m, kohezyonsuz zeminlerde 3.0 m çapa kadar jet grout kolonu oluşturulabilmektedir (Küsin, 2009).

3.4.4 Süper jet yöntemi

Son dönemlerde büyük kolon çaplarını yüksek hızda ve düşük maliyetlerle elde edebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi de Şekil 3.18'de şematik görünüşü yer alan süper jet olarak adlandırılan yöntemdir.



Şekil 3.18. Süper jet yöntemi.

Bu yöntem ile 3.0 – 5.0 m çapa kadar zemin – çimento karışımı içeren kolonlar elde edilmektedir. Kolon yapım aşaması ilk olarak 15 cm çapa sahip tijin istenilen noktaya indirilmesi ile başlamaktadır. Bu yöntemde tijlerin ucundaki yüksek çaplı nozzlelerden çimentolu harç ile hava karışımı yüksek basınçta püskürtülür ve zemin ilk önce parçalanarak zemin - çimento karışımı kolonlar oluşur. Özel durumlarda, su yerine diğer uygun sıvılar veya süspansiyonlar kullanılabilir. Tijlerin dönme ve çekme hızları standart jet grouting yöntemindekine göre çok daha azdır (Bell ve diğ., 2003). Süper jet kolonları imalatında çalışma parametreleri olarak 3 – 4 devir/dk dönüş hızı, 7 mm/dk çekme hızı, 40 MPa enjeksiyon basıncı ile 4.0 m çapa kadar ulaşabildiği görülmektedir. Süper jet yöntemi yatay zemin suyu kontrolünde, sıvılaştırılabilir tabaka stabilizasyonunda, geçirimsiz perde duvar imalatında, kazı yan yüzleri desteklenmesinde kullanılmaktadır. (Küsin, 2009).

3.5 Çalışma Parametreleri

Jet grout çalışma parametreleri genellikle benzer zeminlerde daha önceden yapılmış çalışmalar esas alınarak belirlenir. Bu nedenle projede ön görülen jet grout kolon çapı, sürekliliği ve mukavemet değerlerinin kontrolü, imalata başlamadan önce deneme kolonları yapılarak test edilmelidir.

Jet grout yönteminde kullanılan çalışma parametreleri; uygulama yöntemi (Jet 1, Jet 2, Jet 3 ve Süper Jet), enjeksiyon basıncı (bar), nozzle sayısı ve çapı, tij dönme hızı (devir/dk), tij çekme hızı (cm/dk), su / çimento oranı ve pompa kapasitesi (lt/dk) olarak sıralanabilir (Küsin, 2009). İki akışkanlı jetgrout uygulaması için tek akışkanlı jet grout uygulamasındaki parametrelere ilave olarak hava basıncı ve hava akış oranı

parametreleri belirlenmelidir. Üç akışkanlı sistemde ise iki akışkanlı sistemde kullanılan parametrelerin yanı sıra su basıncı ve su jeti püskürtme ağızlığı sayısı ve çapı parametreleri de tasarımcı tarafından belirlenmelidir (Xanthakos ve diğ., 1994).

Jet grout çalışma parametrelerinin belirlenmesinde uygulama yapılacak zemin karakteristiklerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Bu doğrultuda Welsh ve diğ., (1986) zeminde oluşturulacak elemanla zemin çeşidi arasındaki ilişkiyi kısaca şu şekilde özetlemiştir:

1. Jet grout ile iyileştirilen hacim en çok, enjeksiyon veya su basıncı ve çekilme hızından etkilenmektedir.

2. Kil içeriğinin artması ile herhangi bir basınçta enjekte edilen harç ile püskürtme gövdesinin çekilme hızında iyileştirilen zeminin hacmi azalmaktadır.

3. Çok katı ve sert killerde tipik harç basıncı ve su basıncı kullanılarak, 1.5 m çapında kolonlar elde etmek zordur.

4. Jetgrout ile ıslah edilen hacim, eğer zeminin üniformalık sayısı $C_u=(D_{60}/D_{10}) \geq 8$ ise zeminin dane büyüklüğü dağılımından önemli derecede etkilenmektedir.

5. Eğer üniformalık katsayısı $C_u=(D_{60}/D_{10}) < 8$ ise tipik çalışma parametreleri kullanılarak kolon çapları 3 m'e kadar ulaşabilmektedir.

6. Eğer zeminin çakıl boyutundaki içeriği %50'den fazla ise harcın zemine nüfuz etmesi azalmakta ve imal edilecek eleman düzensizleşmektedir.

Jet grout çalışma parametreleri ve iyileştirilmiş zeminin mukavemet değerleri ile ilgili bir özeti Çizelge 3.1'de sunulmuştur (Kauschinder ve Welsh, 1989).

Çizelge 3.1. Jet grout tekniğinin çalışma parametreleri (Xanthakos, 1994).

PARAMETRELER		JETGROUT SİSTEMİ		
		TEK AKIŞKANLI	ÇİFT AKIŞKANLI	ÜÇ AKIŞKANLI
ENJEKSİYON BASINCI				
Su	(Bar)	Ön Yıkama (200 ~ 300)	Ön Yıkama (200 ~ 300)	300 ~ 500
Enjeksiyon Harcı	(Bar)	300 ~ 600	300 ~ 600	40 ~ 60
Sıkıştırılmış Hava	(Bar)	yok	8 ~ 13	8 ~ 13
AKIŞ ORANLARI				
Su	(lt/dk)	Ön Yıkama	Ön Yıkama	70 ~ 100
Enjeksiyon Harcı	(lt/dk)	60 ~ 150	100 ~ 150	150 ~ 250
Sıkıştırılmış Hava	(m ³ /dk)	yok	1 ~ 3	1 ~ 3
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞININ BÜYÜKLÜĞÜ				
Su	(mm)	Ön Yıkama (1.6 ~ 2.4)	Ön Yıkama (1.6 ~ 2.4)	1.8 ~ 2.5
Enjeksiyon Harcı	(mm)	1.6 ~ 3.0	2.0 ~ 4.0	3.5 ~ 6.0
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞININ SAYISI				
Su		Ön Yıkama (1)	Ön Yıkama (1)	1 ~ 2
Enjeksiyon Harcı		2 ~ 6	1 ~ 2	1
TIJİN DÖNME HIZI				
	(Devir/dk)	10 ~ 30	10 ~ 30	3 ~ 8
TIJİN ÇEKİLME HIZI				
	(sn/m)	200 ~ 375	250 ~ 500	375 ~ 625
KOLON ÇAPI				
Kaba daneli zeminler	(m)	0.6 ~ 1.0	1.0 ~ 2.0	1.5 ~ 2.5
İnce daneli zeminler	(m)	0.5 ~ 1.0	1.0 ~ 1.5	1.0 ~ 2.0
SU/ÇİMENTO ORANI				
	W/C	0.8:1 ~ 2:1		
TÜKETİLEN ÇİMENTO MİKTARI				
	(kg/m)	200 ~ 500	300 ~ 1000	500 ~ 2000
	(kg/m ³)	400 ~ 1000	150 ~ 550	150 ~ 650
ZEMİN ELEMANININ MUKAVEMETİ				
Kaba daneli zeminler	(MPa)	10 ~ 30	7.5 ~ 15	10 ~ 20
İnce daneli zeminler	(MPa)	1.5 ~ 10	1.5 ~ 5	1.5 ~ 7.5

3.5.1 Enjeksiyon basıncı

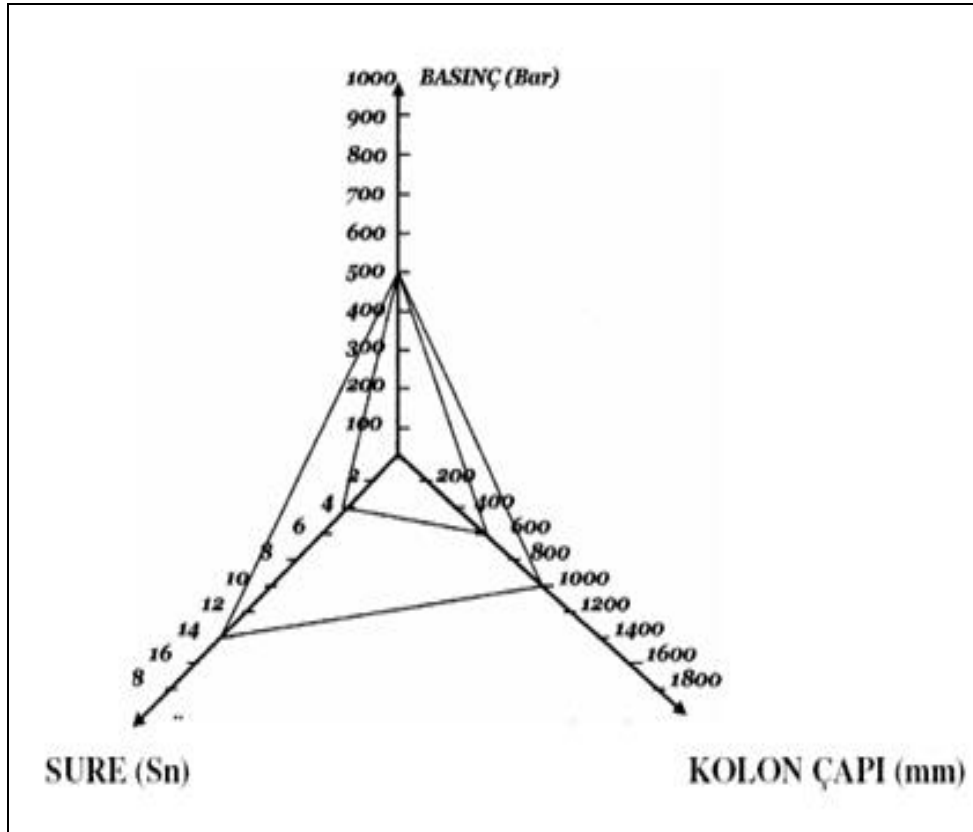
Enjekte edilecek malzemenin basıncına göre, jet grout imalatını aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür;

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

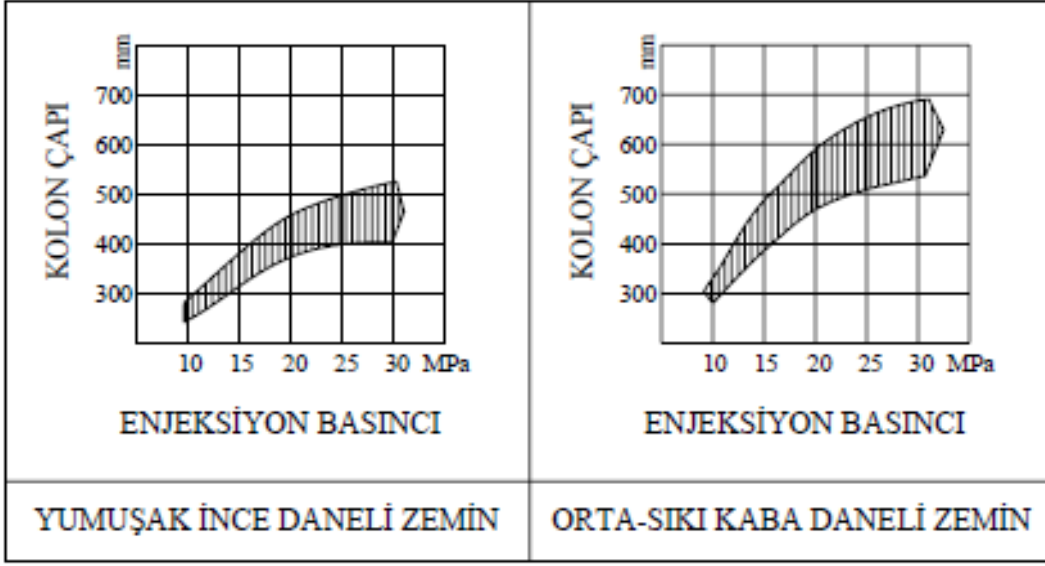
Yapılan uygulamalar enjeksiyon basıncı ile oluşan jet grout kolon çapları arasında bir bağlantı olduğunu göstermiştir. İstenilen kolon çaplarının elde

edilebilmesi için gerekli olan en önemli parametrenin enjeksiyon basıncı olduğu anlaşılmıştır.

Genel olarak yüksek enjeksiyon basınçlarında daha yüksek kolon çapları elde edilmektedir. Fakat her zaman basınç artışı ile istenilen çapa ulaşılmamaktadır. Bunun sebebi kolon çapının zamanın da bir fonksiyonu olmasıdır (Şekil 3.19). Kolonun oluşturulması için geçen zaman kolonun çapının homojen olmasını doğrudan etkilemektedir. Şekil 3.20’de oluşan kolon çapı ile enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki görülmektedir (Langbehn, 1986). Enjeksiyon basıncının seçilmesinde unutulmaması gereken bir diğer nokta ise enjeksiyon basıncının pompadan çıktıktan sonra hortumlarda, sürme borusu ve püskürtme ağzında (nozzle’ da) basıncının %5 ~ %10 ‘unu kaybedeceği (Erdil, 2008).



Şekil 3.19. Basınç-kademeli bekleme süresi-hedeflenen kolon çapı ilişkileri (Melegary ve Garassino, 1997).



Şekil 3.20. Jetgrout kolonu ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki (Xanthakos, 1994).

3.5.2 Dönme ve çekme hızı

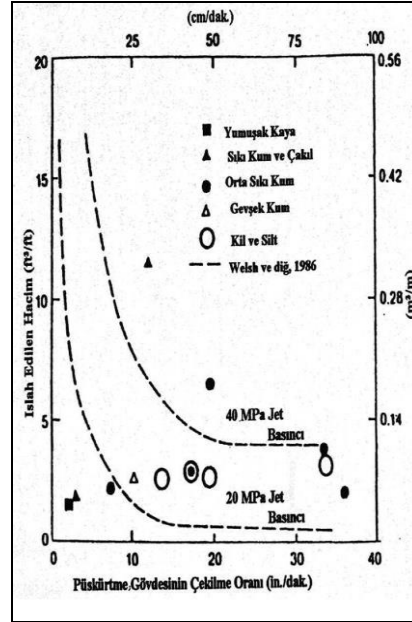
Jet grout kolonu oluşturabilmek için delgi makinesi tijinin kendi eksenine etrafında belirli bir hızla dönerken, aynı anda belirli bir sürede sondaj son noktasından geri çekilmesine dönme ve çekme işlemi denir.

Zemin ile bağlayıcı malzemenin (grout) homojen bir karışım oluşturabilmesi için, takım dönüş hızı belirli bir değerden fazla olmamalı, takım çekme hızı da ıslah edilen bölgenin tamamında sürekliliği sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Dönüş hızı genellikle 10–20 devir/dk değerleri arasında değişir, bazı özel durumlarda 30 devir/dk' ya kadar çıkabilir. Takım çekme işlemi, kademeli çekme ve sürekli çekme olarak iki şekilde olabilir. Bu iki ayrı tip çekme metodu, genellikle delici makinenin imal yöntemine bağlı olarak seçilir. Bazı makinelerde sadece kademeli, bazılarında ise hem kademeli, hem sürekli çekme düzeneği bulunmaktadır. Kademeli çekmede, her kademedede 4 cm ilerleme ve her kademedede 6 – 10 sn bekleme en iyi neticeyi sağlamıştır (Melegary ve Garassino, 1997).

Çekme hızı, zeminin özelliklerine ve birim hacme enjekte edilecek grout miktarına bağlıdır. İnce daneli zeminler, jet hüzmelerinin gerekli yırtma işlemi ve homojen karışım oluşumunu sağlayabilmesi için genellikle daha uzun süreler gerektirirler. Dönme ve çekme hızı adaptasyonu (optimizasyonu) ıslah edilecek zemine ve kullanılan jet grout yöntemine çok sıkı bağlıdır. Jet 2 ve jet 3 yöntemleri, daha büyük çaplar hedeflendiği ve dolayısıyla ıslah edilen zemin hacmi daha büyük olduğu için, daha uzun süreye ihtiyaç duyarlar (Küsin, 2009).

Basıncın artması veya çekilme hızının azaltılması ile kolon çapında artış sağlanmaktadır. Şekil 3.21’de püskürtme gövdesinin çekilme hızı ile ıslah edilen hacim arasındaki ilişki görülmektedir. Çizelge 3.2’de püskürtme gövdesinin çekme hızı ile ıslah edilen zemin arasındaki ilişki farklı kaynakların verilerine göre özetlenmiştir.



Şekil 3.21. Püskürtme gövdesi çekilme hızının ıslah edilen hacme etkisi (Xanthakos, 1994).

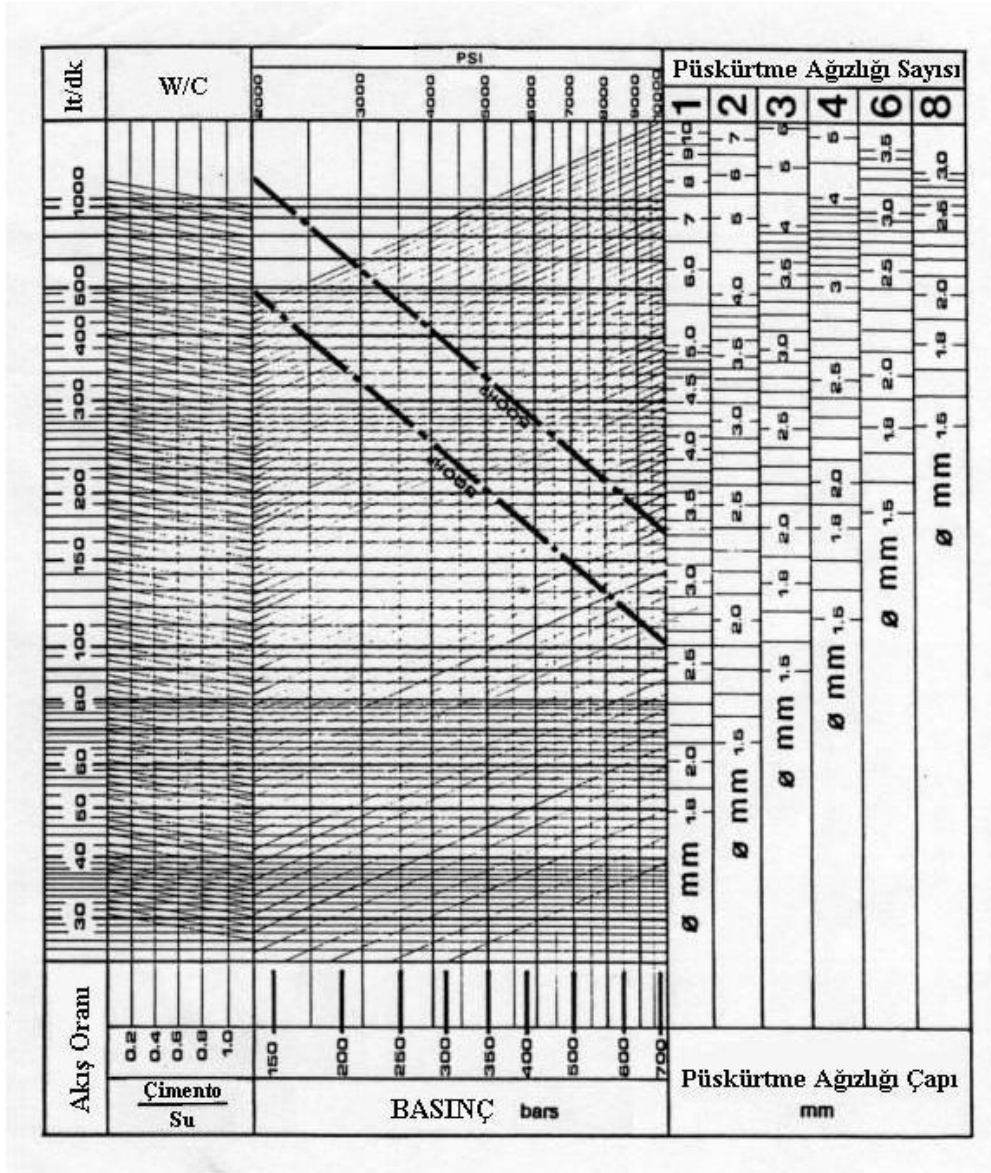
Çizelge 3.2. Püskürtme gövdesinin çekme hızı ile ıslah edilen zemin arasındaki ilişki (Erdil, 2008).

Zemin	Enjeksiyon Basıncı (Mpa)	Çekme Hızı (cm/dk)	Islah edilen hacim (m ³ /m)	Kaynak
Yumuşak Kaya	39.3 ~ 48.9	2.3 ~ 9.4	0.1 ~ 0.2	Yahiro ve diğ. , 1975
Sıkı Kum ve Çakıl	39.3 ~ 48.9	3 ~ 11.7	0.1 ~ 0.2	Yahiro ve diğ. , 1975
	34.5 ~ 41.4	30.5	0.3 ~ 1.8	ENR, 1986
Orta Sıkı Kum	39.3 ~ 48.9	13.2 ~ 23.1	0.2 ~ 0.2	Yahiro ve diğ. , 1975
	20 ~ 40	9.9 ~ 50	0.1 ~ 1.8	Welsh ve diğ. , 1986
	38.6	91.4	0.2	ENR, 1974
	30.3	39.9	0.3	Aschieri ve diğ. , 1973
	39.3 ~ 48.9	50 ~ 119.9	0.1 ~ 0.6	Yahiro ve Yoshida , 1973
	5.5 ~ 6.9	39.9 ~ 59.9	0.2 ~ 1	Broid ve diğ. , 1981
Gevşek Kum	39.3 ~ 48.9	23.1 ~ 28.7	0.2 ~ 0.2	Yahiro ve diğ. , 1975
Kil ve Silt	39.3 ~ 48.9	31 ~ 38.6	0.2 ~ 0.3	Yahiro ve diğ. , 1975
	20 ~ 40	9.9 ~ 42.2	0.1 ~ 1.5	Welsh ve diğ. , 1986
	30.3	39.9	0.3	Aschieri ve diğ. , 1983
	39.3 ~ 48.9	50 ~ 119.9	0.1 ~ 0.5	
	5.5 ~ 6.9	39.9 ~ 59.9	0.1 ~ 0.4	Broid ve diğ. , 1981

3.5.3. Dozaj

Jet grout enjeksiyonu esnasında ne kadar çimento şerbetinin (grout) sarf edileceği, jet grout kolonu proje mukavemet değerlerinin sağlanması ve imalat maliyetlerinin belirlenebilmesi açısından gereklidir.

Enjeksiyon esnasında birim zamanda tüketilecek çimento şerbeti miktarı enjeksiyon basıncına, püskürtme ağzı (nozzle) sayısı ile çaplarına ve su/çimento oranına bağlı olarak değişir. Şekil 3.22’de püskürtme ağzı sayısı ve çapı, enjeksiyon basıncı ve su/çimento oranına bağlı olarak tahmini çimento şerbeti akış oranını gösterir (Erdil, 2008).



Şekil 3.22. Tahmini çimento şerbeti akış oranı (Xanthakos, 1994).

Standart su - çimento oranı 1 (s / ç = 1), özgül ağırlığı ise 1410 - 1570 kg/m³'dür. Bu oran seçilen metot, uygulanan ıslah yöntemi ve kolonların nihai mukavemetlerine göre değişebilir. Su / çimento oranının, su geçirmez plastik grout perde teşkili için karışımında bentonit kullanımı hali hariç 0.7' nin altına inmesi uygun görülmez. 1m³ ıslah edilmiş zemin içindeki çimento miktarı 350 – 700 kg arasında değişir. Farklı zeminlerin taşıma kapasiteleri incelendiğinde, su - çimento oranı 1 ve ıslah edilmiş zemin içindeki çimento dozajı ortalama 450 kg/m³ olarak oluşturulmuş kolonların kapasiteleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Grout karışımı içerisinde bazı katkıları ilave etmek de mümkündür. Örneğin yüksek debili zemin suyu bulunan durumlarda %1-3 oranlarında sodyum silikat ilavesi prizinin hızlandırılması için tavsiye edilebilir.

Çizelge 3.3. Zemin Cinsi - f_{JS} - E / f_{JS} İlişkisi (Durgunoğlu, 2004).

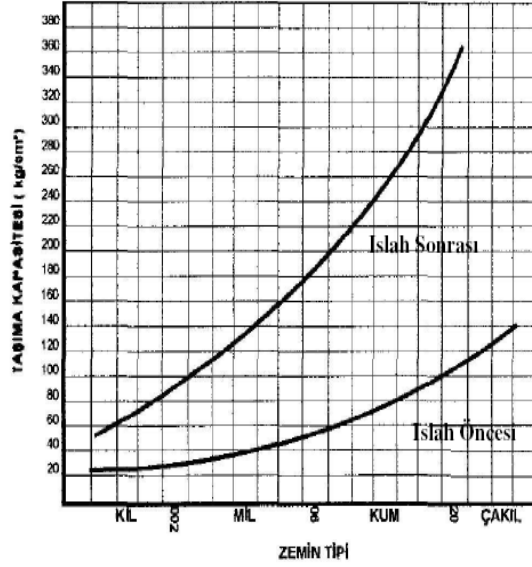
Zemin Cinsi	Serbest Basınç Mukavemeti f _{JS} MPa	Modül Oranı (*) E / f _{JS} -
Kil	2 – 5	150
Silt	3 – 7	200
Kum	7 – 14	600
Çakıl	12 – 18	900

(*) %40 Gerileme Seviyesine Tekabül Eden Modül

Organik içerikli zeminlerde çimento dozajı 450 kg/m³ den 700 kg/m³'e çıkartılabilmektedir. Bunun sebebi kullanılan çimentonun bir kısmının organik ortamda yer alan ve çimentonun bağlayıcılığını ortadan kaldıran asitlerin nötrleştirilmesinde harcanmasıdır. Jet grouting yöntemi sayesinde ıslah edilmiş hacim, bitişindeki işlem görmemiş zeminin özelliklerini de iyileştirmektedir. Jet grouting yönteminin bu ikinci etkisi sayesinde, ıslah edilmiş zeminin SPT değerleri doğal zemininkine (ve diğer ıslah metotlarının neticesinde oluşan sonuca) göre %20 - 25 civarında daha yükselmektedir (Melegary ve Garassino, 1997).

Aynı su / çimento oranı ve çimento dozajlı Jet 2 kolonunun mukavemeti, Jet 1 kolonuna göre %10 - 15 civarında daha düşüktür. Bunun sebebi, Jet 2 kolonunun içindeki hava içeriğidir. Yine aynı su / çimento oranlı ve çimento dozajlı Jet 3 kolonunun mukavemeti Jet 1 ve Jet 2 kolonunun mukavemetinden daha düşüktür. Bu

da Jet 3 metodunun içerdiği çok miktardaki sudan kaynaklanmaktadır. Şekil 3.23’de ıslah edilmiş zemin sınıfına göre kolon taşıma kapasitesinin değişimi gösterilmektedir. Buna göre granüler zeminlerde ıslah sonrası taşıma kapasitesindeki artışın daha fazla olduğu gözlenmektedir (Küsin, 2009).



Şekil 3.23. Farklı Tip Zeminlerde Taşıma Kapasitesinin Değişimi (Melegary - Garassino, 1997).

3.6 Farklı Zeminlerdeki Uygulama Parametreleri

Uygulamalardan elde edilen deneysel ve gözlemsel sonuçlar doğrultusunda farklı zemin karakterleri için jet grout uygulama parametrelerinin değişkenlik arz ettiği tespit edilmiştir. Killi zeminlerde, düzgün bir kolon elde etmek için, küçük çaplı nozzle kullanılmalıdır. Genellikle kullanılan nozzle adedi 2, çapları ise 1,6- 2.0 mm dir. Basınç 500-600 bar değerlerde ve yüksek, grout debisi ise, sıkça rastlanılan zemin kırılmalarını engellemek amacıyla düşük tutulmalıdır (Melegary ve Garassino, 1997). Eğer zemin konsolide kil gibi, karışım oluşturması zor özelliklere sahipse, nozzle adedi bire düşürülmelidir. Bu yolla, yüksek basınçla elde edilen kinetik enerjinin sürtünme kayıpları kontrol altına alınabilir. Bu halde enjekte edilen grout miktarı düşük ve kademedeki bekleme süresi uzun olmalıdır (Küsin, 2009). Bu tür ince daneli zeminlerde kum yoğunluğunu azaltmak amacıyla 250- 300 bar basınçlı su enjeksiyonu (ön yıkama) tavsiye edilmektedir.

Çakıllı ve genellikle granüler karakterli zeminlerde, işletme parametreleri killi zeminlere nazaran farklıdır. Enjeksiyon basıncı genellikle 400-500 bar arasında, nozzle çapları ise 2.5-3.0 mm arasında tutularak, zemine daha fazla miktarda grout

enjeksiyonu sağlanmaktadır (Erdil, 2008). Bu genel kurallar seçilen jet sistemine uyarlanmalıdır.

Jet grout uygulamasında istenen mukavemet ve permeabilite değerlerine ulaşılabilmesi çeşitli ve birbirine bağlı faktörlere dayanmaktadır. Sonucu etkileyen bu faktörler şunlardır (Kutzner, 1996):

1. Zeminin sökülebilmesi için kullanılan jetin enerjisi, sökülecek zeminin mukavemetinin artmasına bağlı olarak artar. Bu enerji, jet hızına ve dolayısıyla uygulanan basınca ve püskürtme ağız çapına bağlıdır.

2. Kullanılan jetin basınçlı hava ile çevrelenerek kılıflaşması, kesme enerjisini ve verimliliğini artırır.

3. Pompaj kapasitesi, gerekli püskürtme enerjisine ve pompalanacak malzemenin miktarına bağlıdır.

4. Belirli zemin mukavemetinde imal edilen elemanların çapı, uygulanan enerjinin ve/veya etkili kesme süresinin artması ile artar. Bu ise dönme ve geri çekme hızları ile kontrol edilir.

5. Sabit boyutlarda elemanların imal edilebilmesi için, derinlik arttıkça enerjinin ve/veya etkili sürenin artırılması gerekir. Zemin mukavemetinin derinlik ile birlikte artması bunun sebebidir.

6. İmal edilen elemanların mukavemeti, çimento karışımının nihai mukavemetine, çimento karışımı ile zemin karışım oranlarına, imalat öncesi doğal zemin özelliklerine ve oluşturulacak elemanın homojenliğine bağlıdır.

7. Genel olarak, imal edilen elemanın mukavemeti ve homojenliği arttıkça permeabilitesi azalır. Mukavemeti düşük kohezyonlu zeminlerde oldukça düşük permeabilite değerlerine ulaşılabilir. Ancak imalatta karışım oranının düşüklüğü ve elemanın homojen olmaması istenmeyen şekilde aşınabilirliğe yol açmaktadır.

Tüm bu faktörler göz önüne alındığında, sonucun başarılı olması için dikkatli bir tasarım ve işçilik gerekmektedir ve başarının kanıtlanmasında en geçerli yol arazi deneylerinin yapılmasıdır (Baş, 2006).

Bunlara ek olarak jet grouting yönteminde çalışma programı da ayrıca önem taşımaktadır. Bu konuda önemli birkaç nokta şu şekilde belirtilebilir (Schaefer,1997):

1. Düşeyle 30°'den daha fazla açı yapan uygulamalarda, zeminde kırılma ve kabarmalara yol açabileceği gibi hava ayrı bir akışkan olarak kullanılmamalıdır.

2. Genel olarak düşük gerilme altındaki bölgelerden, yüksek gerilme altındaki bölgelere doğru ilerlenmelidir. Yani temel takviyesi yapılırken temellerin köşe ve kenarlarından ortasına doğru ilerlenmelidir. Böylece zeminde kemerleme oluşur ve iyileştirilen zemin yük taşıyacak duruma gelinceye kadar yapıdaki deformasyonlar ve oturmalar minimize edilmiş olur.

3.7 Soilcrete (Çimento-Su-Zemin Karışımı) Mukavemet Değerleri

Jet grout kolonlarından alınan karot numuneleri üzerinde serbest basınç deneyi yapılır ve elastisite modülü belirlenir. Soilcrete mukavemetinin belirlenmesi amacı ile jet grout kolonlarından alınan numuneler üzerinde laboratuarda serbest basınç deneyi yapılır. Serbest basınç deneyi ve elastisite modülü deneyleri yükseklik/çap oranı en az iki olan numuneler üzerinde yapılır. Deney sonuçları arasında, deney sırasındaki aksenal birim deformasyon ve serbest basınç mukavemetinin % 40' ına tekabül eden sekant modülü verilmelidir. Serbest basınç deneylerinde, yük sabit hızla (yaklaşık 1 mm/dk) uygulanır. Yükün hidrolik bir düzen ile uygulandığı (gerilme kontrollü) deney aletlerinde yükleme 140 ± 70 kPa/sn hızla yapılmalıdır. Kırılma halinde toplam yük 50 N hassasiyetle saptanabilmelidir (Melegary ve Garassino, 1997).

Zemin-çimento karışımının mukavemeti, içerdiği çimento miktarına, su/çimento oranına ve zemin cinsine bağlı olmaktadır. Jet 1 yöntemi kullanılması halinde daha fazla çimento harcandığı için, karışım mukavemeti yüksek olmaktadır. Buna karşılık, Jet 2 yöntemi ile zemine daha az çimento püskürtüldüğü için karışım mukavemeti daha küçüktür. Ayrıca yüksek mukavemete erişebilmek için su/çimento oranının düşürülmesi gerekmektedir (Bakım, 2007).

Kohezyonsuz zeminler içinde imal edilen jet grout kolonlarının 28 gün sonrasında mukavemetlerinin %75 mertebelerine eriştiği, kohezyonlu zeminler için ise bu mukavemetin %55 mertebesinde bulunduğu gözlemlenmektedir. Jet grout kolonlarının imal edildiği zemine bağlı olarak, zemin-çimento karışımı mukavemeti, alüvyonlu zeminlerde 60-70 Mpa, kumlu zeminlerde 30 Mpa, az siltli zeminlerde 10 Mpa, kil yüzdesi fazla ise 1.5 – 2.5 Mpa olarak değişmektedir. Yüksek plastisiteli killerde çimento miktarını artırmadan 2-3 MPa değerinin üstüne çıkılamamaktadır (Melegary ve Garassino, 1997).

Ballarin ve Forti (1998) zemin-çimento karışımının serbest basınç direncinin killi ve siltler içinde 1.2-4 MPa, siltler ve kumlar içinde 3-12 MPa, kumlar ve çakıllar içinde 12 MPa olabildiğini belirlemişlerdir.

Sıkıştırılmış silt dolgu içinde yapılan jet grout kolonlarının serbest basınç mukavemeti 10 MPa, elastisite modülü 5400 MPa, Poisson Oranı 0.27 bulunmuştur (Lloret ve diğ., 1991).

Jet grout kolonların mukavemetini etkileyen diğer küçük bir etken de yeraltı suyunun sızma hızıdır. Sızma hızının 6 cm/s'nin üzerine çıktığı durumlarda katkı malzemelerinin harç karışımına katılması önerilmekte bu da mukavemeti azaltmaktadır (Bakım, 2007).

Çeşitli zemin tiplerinde uygulanan jet grout kolonlarının mukavemet değerlerinin çalışma parametreleriyle değişim aralığı Çizelge 3.4'de verilmiştir (Stoel, 2001).

Çizelge 3.4. Ortalama serbest basınç mukavemetleri.

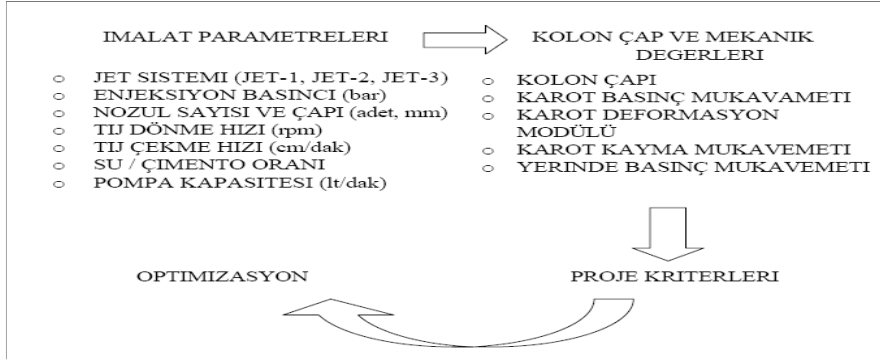
Zemin Tipi	Serbest Basınç Mukavemeti (MPa)	
	Alt Limit	Üst Limit
Organik Zemin	1	6
Kil	3	7
Silt	5	15
Kum	10	40
Çakıl	10	40

3.8 Kalite Kontrol Deneyleri

Jet grout yöntemiyle zemin ıslahına başlamadan önce proje hesap parametrelerine uygun deneme kolonları yapılır. Bu kolonlar üzerinde yapılan gözlemsel ve deneysel testler neticesinde proje hesap parametrelerinin uygulama yapılan zeminde beklenen değerleri verip vermediği tespit edilir. Proje hesap parametreleri beklenen değerleri veriyorsa uygulamaya devam edilir. Beklenen değerlerin dışında sonuçlar elde edilirse gerekli kalibrasyon ve Şekil 3.24'de gösterilen optimizasyon işlemi yapılarak uygulamaya öyle geçilir.

Jet grout uygulamasının proje hesap değerlerini karşılayıp karşılamadığını ve uygulama öncesi yapılan deneme kolonlarından edinilen deneysel ve gözlemsel verilerin doğruluğunu tespit edebilmek amacıyla; jet grout kolonlarından karot ve

piston numunelerin alınması, kazık yükleme deneyi, bütünlük (süreklilik) deneyleri (integrity) ve çap kontrolü yapılması gerekmektedir.



Şekil 3.24. Proje hesap parametrelerinin sahada kontrolü-kalibrasyonu-optimizasyonu (Durgunoğlu, 2004).

3.8.1 Karot numuneleri alınması

Kolonlardan arazide alınan silindirik numuneler üzerinde laboratuarda yapılan serbest basınç deneyi ile jet grout elemanının basınç dayanımı elde edilir. Numuneler, uygulama esnasında kolon yaş iken piston numune alıcı ile alınır. Prizini almış kolon üzerinde ise karot numune alınır (Durgunoğlu ve diğ., 2003). Serbest basınç deneyinde tercihen deformasyonlarda ölçülerek deformasyon modülü, EJG tayin edilir (Sağlamer ve diğ., 2002). Şekil 3.25’de jet grout kolonundan karot numune alımı gösterilmektedir.



Şekil 3.25. Karot numunesi alımı.

Deneylerden ölçülen mukavemet değerlerinin servis yüklerini belli bir emniyet faktörü ile taşıdıkları ispat edilmelidir. Karot numuneleri imal edilen kolondan imal tarihinden 28 gün sonra, TS 10465'e uygun şekilde ve yükseklik/çap oranı en az iki olarak alınmalıdır (Küsin, 2009).

3.8.2 Kazık yükleme deneyi

Projede jet grout kolon yüklerinin ve jet grout kolon imalatı kalitesinin tahkik edilmesi amacıyla tüm proje kapsamında imal edilen kolonlardan seçilecek bir adedi üzerinde kolon yükleme deneyi yapılır. Yükleme deneyi için bir adet basınç kolonu ile iki adet çekme kolonu olarak kullanılacak kolonlar imal edilmelidir. Deney doğrultusunda basınç kolonuna statik eksenel basınç yükü yüklenerek yük - oturma, yük - zaman ve oturma - zaman grafikleri hazırlanır.

Jet grout kolonun toplam taşıma kapasitesi, kolonun çeperi ve ucu tarafından taşınan toplam kapasitesidir. Deney yükü için ise jet grout kolonun toplam kapasitesinin 1,5 katı dikkate alınmalıdır. Deneme kolonları, göçene kadar veya maksimum kabul edilebilir oturma meydana gelene kadar yüklenir. Göçme yükü;

1. Yük daha fazla artmadığı halde oturmanın devam etmesi halindeki yük
2. Kolon çapının %10'u kadar bir toplam oturmaya yol açan yük tanımlamalarından birisine göre seçilir. Yükleme deneylerinde ASTM D 1143 – 81' in standart yükleme için uygun maddeleri kullanılabilir.

Yükleme deneyinde kolonda maksimum yüklemeye meydana gelen deformasyon servis yükünde meydana gelen deformasyonun 1.5 katını geçmemesi, deney yükü kaldırıldıktan sonra meydana gelen kalıcı deformasyonun ise toplam deformasyonun %50'sini geçmemesi gerekmektedir (Düzceer, 2004).

Deney ekipmanları kazığa verilecek eksenel yüke maruz reaksiyon kirişleri, hidrolik krika ve hidrolik basınç pompası, yükü ölçmek için manometre, ölçüm düzenekleri olmak üzere dört ana gruptan oluşmaktadır.

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. Şekil 3.26' da kazık yükleme deneyinden bir görünüm yer almaktadır (Küsin, 2009).



Şekil 3.26. Kazık yükleme deneyinden bir görünüm.

3.8.3 Bütünlük deneyi (İntegrity)

Uygulanan jet grout kolonlarının boyları, kazıklardakine benzer şekilde ülkemizde de yaygın olarak kullanılan integrity deneyi ile tespit edilebilmektedir. Şekil 3.27’de görüldüğü üzere, kazık çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için uygulanan bütünlük (süreklilik) deneyinde kazıkların üst ucundan küçük bir çekiç darbesi verilmektedir. Bu darbenin ivme sinyali, kazık üstüne geçici olarak yapıştırılan bir akselometre ile algılanarak sayısallaştırılıp bilgisayarda kaydedilir. Kazıktaki şekil / malzeme değişikliklerinden ve kazık ucundan yansıyan sinyaller de algılanarak hız sinyali olarak kaydedilir. Bu sinyal hıza bağlı bir değişken olup geçen zamanın tam olarak bilinmesinden faydalanılarak, alınan yansımaların yerini tespit için sinyal, derinliğe bağlı bir fonksiyona dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde bilinmesi gereken dalganın yayılma hızı olup beton / jet grout kolon için ortalama $C = 3000 - 4500\text{m/sn}$ ’dir (Rausche ve diğ., 1988).

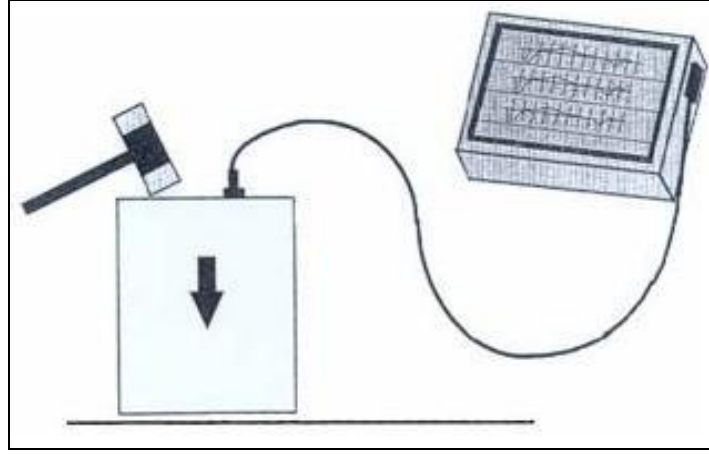
Formüle edilirse, yansıma derinliği X , (3.6) eşitliği ile bulunabilmektedir. ((Rausche ve diğ., 1988)

$$X = (1/2 \times C \times t) \quad (3.6)$$

t : Darbeden yansıma anına kadar geçen süre

C : Dalganın yayılma hızı

Bu şekilde derinliğe bağlı sayısallaştırılmış hız sinyali grafiği yorumlanarak kazıkta olası boy ve uç şekli değişiklikleri anlaşılabilir.



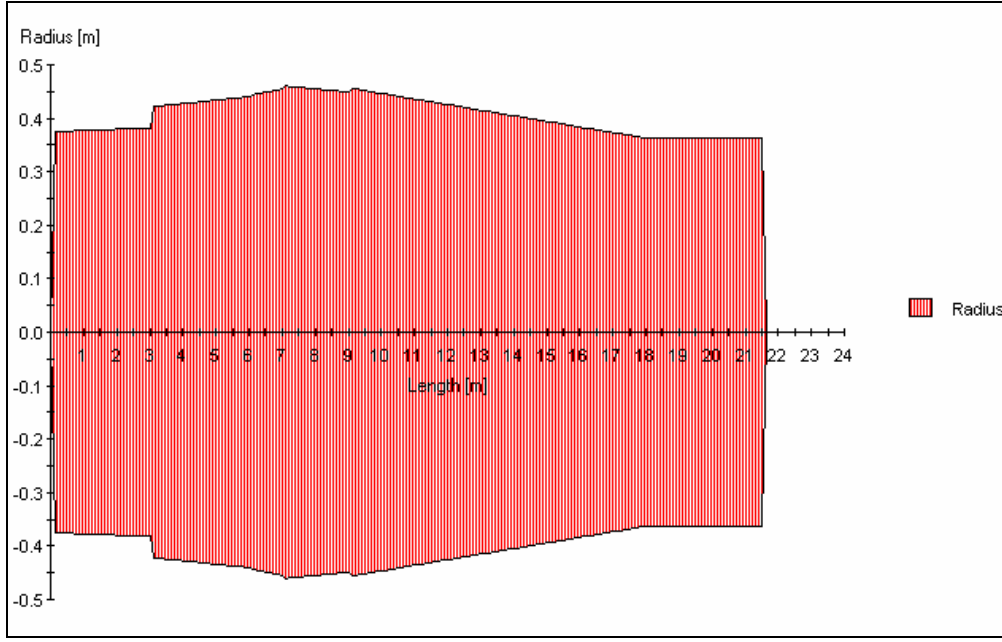
Şekil 3.27. Bütünlük deneyi şeması.

Ancak bu deney taşıma kapasitesini tahmin etmek için kullanılmamalıdır. Bu deney karotlu sondaj, kazı araştırması, yükleme testleri gibi zaman alıcı ve masraflı yöntemlerle karşılaştırıldığında çabuk ve ucuz sonuçlar sunar. Kazığın verdiği tepki hemen ekranda görüntülenebilir ve yazdırılabilir veya detaylı analizler için aletin kendi belleğinde depolanabilir. 1968'den beri tüm dünyada kullanılarak yapılan milyonlarca testte birçok kazıkta bozukluk ortaya çıkmıştır. Kazıkların üst seviyelerinde tespit edilen bozukluklardan dolayı, kazıklar daha detaylı inceleme için kazılır veya karotlu sondaj ile numune alınır (Küsin, 2009).

Şekil 3.28'de bütünlük deneyi test cihazı, Şekil 3.29'da ise test grafik çıktısı gösterilmektedir.



Şekil 3.28. Bütünlük deneyi test cihazı.



Şekil 3.29. Bütünlük deneyine ait örnek bir modelleme.

3.8.4 Çap kontrolü

Sahada imalatı tamamlanan kolonlardan bazılarının üst kısmı kazılarak kolon meydana çıkartılır ve kolon boyutları tahkik edilerek istenen çapın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Şekil 3.30'da jet grout kolonlarında imalat sonrası çap kontrolü gösterilmektedir.



Şekil 3.30. Jet grout kolonunda imalat sonrası çap kontrolü.

3.9 Uygulama Alanları

Jet grout kolonlarının çeşitli maksatlarla kullanımları aşağıda sıralanmaktadır:

1. Temel altında, düşey yükler için basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü.
2. Döşeme altında düşey ve özellikle yüksek yayılı yükler altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü.
3. Dolgu altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deformasyon kontrolü.
4. Köprülerde yaklaşım dolguları altında düşey dolgu yüklerinin taşınması, dolgu altında oturma kontrolü ve kenar ayak kazıklarına negatif çeper sürtünmesi intikalinin önlenmesi.
5. Havuzlarda, yeraltı su depolarında ve su yapılarında, donatı ile teçhiz edilerek çekme elemanı olarak.
6. Titreşim istenilmeyen tesisatlar için oluşturulacak shaftlar yada su taşıyıcı tabakalara kadar girecek olan shaftlar için birbirine bitişik şekilde yapılan kolonlar ile imalat yapılabilir.
7. Kazılarda, ağırlık tipi istinat yapısı teşkili ile yanal zemin itkilerinin alınması.
8. Kazılarda donatı ile teçhiz edilerek düşey eğilmeye maruz iksa elemanı olarak.
9. Kazılarda ve ankrajlı istinat yapılarında özel donatı ile ankraj elemanı olarak.
10. Geçirimli ve yer altı su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerdeki kazılarda taşıyıcı elemanlar arasında batardo kapama elemanı olarak.
11. Yumuşak killerdeki kazılarda kazı öncesi kazı taban seviyesi altında teşkil edilen payanda elemanı olarak.
12. Kazı tabanından kazıya gelecek yeraltı suyunun kontrolü için tıkaç elemanı olarak.
13. Şevlerde stabilitenin sağlanması için zemin takviye elemanı olarak veya ağırlık batardosu teşkili ile.
14. Yumuşak zeminde açılan yüzeye yakın tünellerde tünel üstündeki zeminin iyileştirilmesi amacı ile.

15. Yumuşak zeminde açılan tünellerde tünel içinde ve ayna önünden yapılarak, kazı öncesi tünel kesiti üzerinde taşıyıcı bir semsiye oluşturulması amacı ile.

16. Önemli ve ağır yapılarda sıvılaşma güvenlik sayısı düşük olan yerlerde kazıklı temellere gelecek yatay yüklerin ve oluşacak deformasyonların kontrolü için, kazıklarla birlikte.

17. Barajların geçirimsizlik çekirdeklerinin tamirinde yada geçirimsizlik perdelerinin genişletilmesinde kullanılabilir.

18. Kazıklar ve perde yapıların arasında sızıntıların önlenmesi için kullanılabilir.

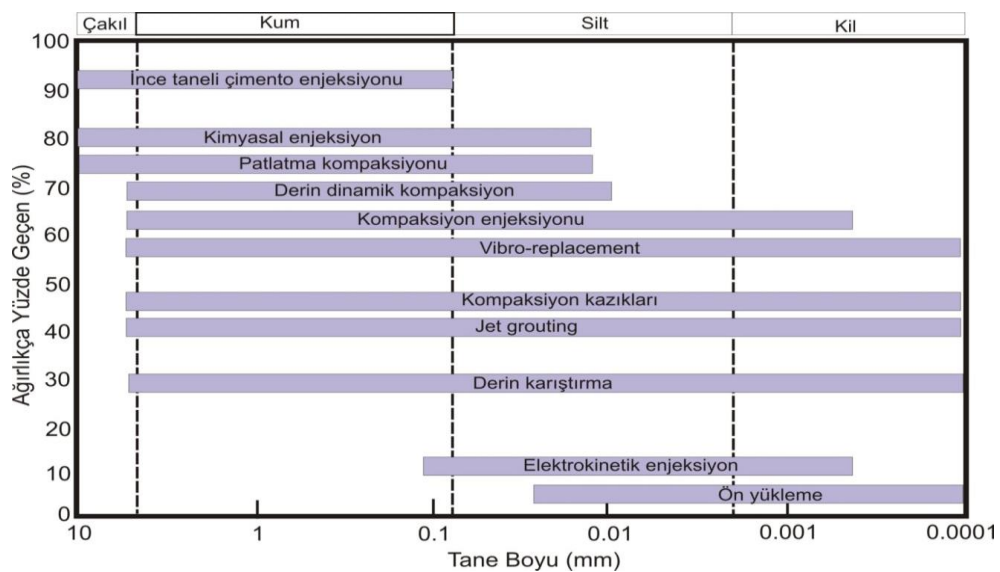
19. Sıvılaşma sonucu oluşacak zemin yanal ve düşey deformasyonlarının sınırlandırılması için yapı etrafında veya altında kapama elemanları olarak.

20. Sıvılaşma riskine karşı güvenlik sayısının artırılması, zeminde oluşan kayma gerilmelerinin bir kısmının taşınarak deprem sonucu oluşabilecek düşey ve yanal deformasyonların sınırlandırılması.

3.10 Jet Grout Yönteminin Avantajları ve Dezavantajları

Jet grout yönteminin avantajları aşağıda sunulan maddelerde belirtildiği gibi özetlenebilir:

1. Klasik enjeksiyon yöntemlerine göre daha hızlı ve ekonomiktir.
2. Klasik enjeksiyona göre kontrolü daha kolaydır.
3. Şekil 3.31'de görüldüğü üzere tüm zemin çeşitlerinde uygulanabilmektedir.



Şekil 3.31. Zemin iyileştirme yöntemlerinin zemin türlerine göre uygulanabilirliği.

4. Kimyasal açıdan zemine hiçbir zararı ve kirlenici etkisi yoktur.

5. Monitör ve püskürtme ağızlarının tasarımındaki esneklik sayesinde farklı geometride elemanlar imal edilebilmektedir. Yatay, eğimli ve düşey duvarlar rahatlıkla yapılabilir.

6. Kullanılan ekipmanın boyutları sayesinde kapalı, dar ve sıkışık ortamlarda dahi çalışabilmektedir.

7. İmalata istenilen derinlikten başlanabilir ve istenilen derinlikte son verilebilir.

8. Vibrasyonsuz bir yöntem olduğundan çevre yapılarında hasara neden olma riski yoktur.

Jet grout yönteminin dezavantajları ise aşağıda sunulan maddelerde belirtildiği gibi özetlenebilir:

1. Yöntem henüz gelişme aşamasında olduğundan tasarım ile ilgili yeni bilgilere ve tecrübeler ihtiyacı duyulmaktadır.

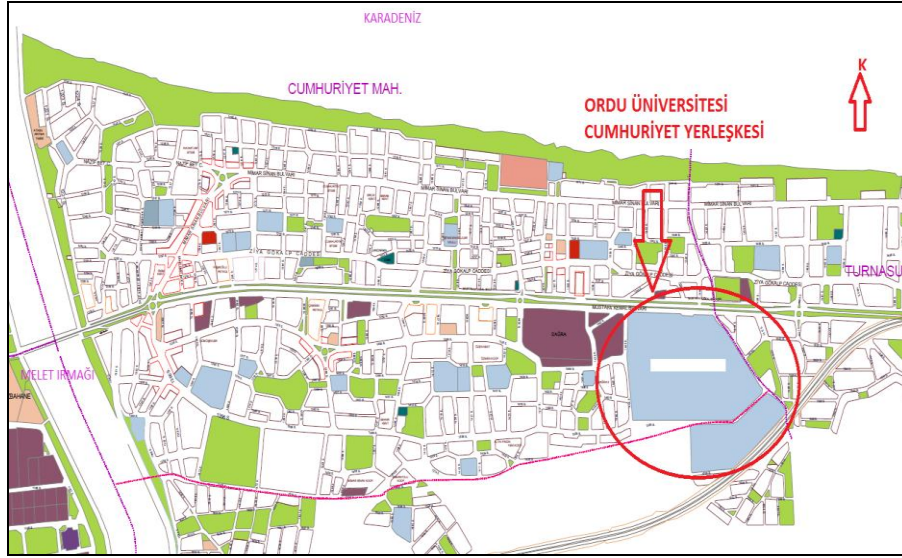
2. Teknolojisinin yeni oluşu ve teorik bilgi eksikliği nedeniyle mühendislik tasarımında yararlanılacak standartlar henüz kesinleşmemiştir. Bu nedenle, benzer koşullarda yapılmış olan tecrübeler ile uygulama sırasında yapılan gözlemlere dayalı tasarım yapılmaktadır.

3. Zemin içinde enjeksiyonun dağılımını ve oluşan geometriyi belirlemek zordur. Bu nedenle, gözlem ve kontrol testlerinin dikkatli ve detaylı bir şekilde yapılma zorunluluğu bulunmaktadır.

4. BULGULAR

Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi, Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesinde inşa edilen Fen-Edebiyat Fakülte binası inşaatından elde edilen bulgularla bu kısımda incelenmektedir.

Ordu ili Cumhuriyet Mahallesi mevkinde bulunan inşaat alanımızın konumu ve görünümü, Şekil 4.1 ile 4.2' de sunulmaktadır.



Şekil 4.1. Ordu Üniversitesi Cumhuriyet Yerleşkesinin konumu.



Şekil 4.2. Fen-Edebiyat Fakülte binasının inşa edileceği alanın tabii zemini.

4.1 Geoteknik Çalışma

Binanın yapılacağı alanda, 15.45 m. derinliğe kadar 5 noktadan temel sondajı yapılmıştır. Sondajlarda her 1.50 m.de bir SPT yapılarak örselenmiş örnekler, kohezyonlu zeminlerde ise örselenmemiş örnekler (UD) alınmış ve alınan örnekler gerekli deneyler yapılmak üzere laboratuara gönderilmiştir. Daha sonra farklı zemin seviyelerini temsil eden örnekler üzerinde zeminlerin fiziksel ve mühendislik özelliklerini belirlemeye yönelik yeterli sayıda deneyler yapılmıştır.

4.1.1 İnceleme alanının jeolojisi

Ordu şehir merkezinin tepe bölgeleri (Kiraz Limanı, Taşbaşı ve Kurtuluş Mahalleleri ile Orta, Konak ve Yeni Mahallelerin üst kısımları) volkanik birimlerden oluşmaktadır. Bu birimler altta koyu renkli bazalt lavları, siyah tüf ve bloklar halinde, üstte ise kumlu ve killi, gri veya kahve renkli blok tüflerinden ibarettir. Bazen üstleri kalın bir toprak tabakasıyla örtülüdür. Bülbül deresinin yamaçlarında, volkanik birimler altında beyaz, mermerleşmiş Mesozoik kireçtaşları görünür. Yeni Mezbaha, Yeni Mahalle, Yeni Hastane'nin bulunduğu bölgelerde ve bazı düzlüklerde kalın bir kil tabakasına rastlanır. Taşbaşı, Kurtuluş ve Konak mahallelerinden geçen dereler ile Bülbül deresinin kenarında dere ve sel birikintileri, yamaçlarda kalın bir moloz tabakası ve sahilde geniş bir kumsal saha görünür. (Tabban ,2000)

Bölgede yeni alüvyonlar çok geniş yer kaplarlar. Bölgede büyük ve küçük akarsuların (Yeşilirmak, Bolaman Irmağı, Melet Irmağı vb.) yeni ve eski alüvyonlarından meydana gelmiş olan deltalar bu bölgenin sahillerinde bulunur. Bunlardan başka Karadenize dökülen diğer büyük, küçük dere ve çayların da, kıyılarında deltaları ve akarsu yatakları boyunca yeni ve eski alüvyonları vardır. Etüdü yapılan Ordu Fen Edebiyat Fakültesi binası da alüvyon türü birimler üzerinde yer almaktadır. (Göksu, 1974)

İnceleme alanın zemin profili genellikle; 5.00-9.00 m'lere kadar ince kum arabantlı, doğal nemli, yoğun siltli kil, tabanda ise kuyu sonuna kadar ıslak, sıkı, orta iri daneli KUM şeklindedir.

4.1.2 Yeraltı suyu durumu

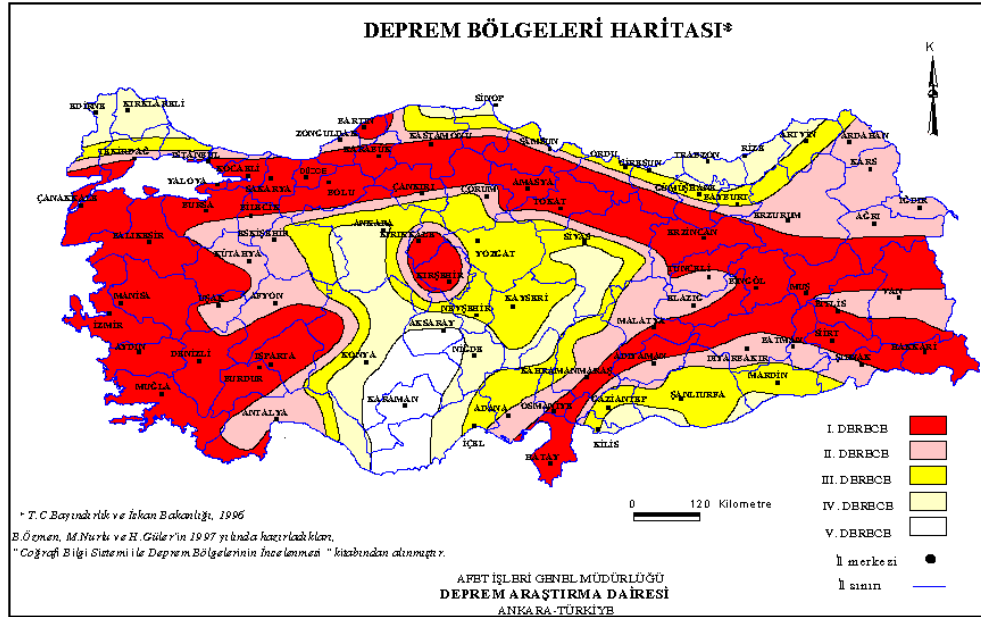
Sondaj çalışmaları bitiminden bir gün sonra yapılan ölçümlerde, inceleme alanında Çizelge 4.1'de belirtilen seviyelerde yeraltı suyuna rastlanılmıştır.

Çizelge 4.1: İnceleme alanındaki yeraltı suyu seviyeleri

Sondaj No	Derinlik (m)	Yeraltısuyu Seviyesi (m)
SK - 1	15.15	2.00
SK - 2	15.25	1.90
SK - 3	15.45	2.10
SK - 4	15.45	2.00
SK - 5	15.45	2.20

4.1.3 Depremsellik

İnceleme alanı Şekil 4.3'de sunulan Deprem Haritasındaki konumuna göre III. Derece Deprem Bölgesi kuşağında yer almaktadır.



Şekil 4.3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nca 1996 yılında yayınlanan ve beş bölgeye ayrılan Türkiye Deprem Haritası.

Aynı Bakanlıkça 1998 yılında yayınlanan "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" uyarınca;

Temel teşkil edecek olan KİL için;

Etkin yer ivmesi katsayısı en az $A_0 = 0.20$ g,

Zemin Grubu – D

Yerel Zemin Sınıfı – Z3, yerel zemin sınıfına göre de spektrum periyotları, $T_A = 0.15$ sn, $T_B = 0.60$ sn alınmalıdır.

Temel teşkil edecek olan KUM için;

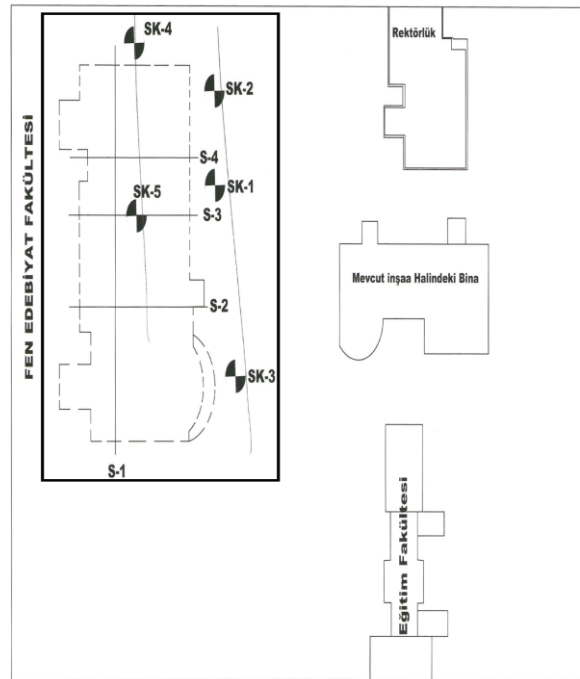
Etkin yer ivmesi katsayısı en az $A_0 = 0.20$ g,

Zemin Grubu – C

Yerel Zemin Sınıfı – Z2, yerel zemin sınıfına göre de spektrum periyotları, $T_A = 0.15$ sn, $T_B = 0.40$ sn alınmalıdır.

4.1.4 Sondaj çalışmaları

İnceleme alanındaki temel zemininin jeolojik ve geoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan sondajların yerleri Şekil 4.4'deki vaziyet planında işaretlenmiştir.



Şekil 4.4. İnceleme alanındaki sondaj yerleri.

Sondaj çalışmaları kamyon üzerine monteli GMS-300 tipi rotary sistem çalışan sondaj makinesi ile yürütülmüştür. Zemin kendi kendini tutamayan özellikte olduğundan sondaj derinliği boyunca muhafazalı ilerlenmiştir. Sondaj çalışmalarında, her 1.50 m.de (iri daneli zeminlerde sıklık, ince daneli zeminlerde ise kıvam özelliklerini kontrol etmeye yönelik olarak) SPT (Standart Penetrasyon

Test) yapılmıştır. Bu kapsamda örselenmiş örnekler ve kohezyonlu zeminlerde ise örselenmemiş örnekler (UD) alınmıştır.

Sondaj çalışmaları sırasında yapılan SPT'lerden elde edilen darbe sayısı (N) değerlerine göre zemin değerlendirilmesine ilişkin hazırlanan Çizelge 4.2, 4.3, 4.4, 4.5. ve 4.6. aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 4.2. SK-1'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirmesi.

Sondaj No	Deney Zonu	SPT – N (II + III)	Zemin Cinsi	Zemin Değerlendirmesi
SK-1	1.50 – 1.95	5	Siltli Kil	Orta katı
	3.00 – 3.45	5		
	4.50 – 4.95	5		
	6.00 – 6.45	9		Katı
	7.50 – 7.95	34	Kum	Sıkı
	9.00 – 9.45	44		
	10.50– 10.95	63		
	12.00– 12.45	73		
	13.50– 13.61	R		
	15.00– 15.15	R		Çok Sıkı

Çizelge 4.3. SK-2'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirmesi.

Sondaj No	Deney Zonu	SPT – N (II + III)	Zemin Cinsi	Zemin Değerlendirmesi
SK-2	1.50 – 1.95	5	Siltli Kil	Orta Katı
	3.00 – 3.45	7		
	4.50 – 4.95	5		
	6.00 – 6.45	8		
	7.50 – 7.95	16	Kum	Orta Sıkı
	9.00 – 9.45	36		Sıkı
	10.50– 10.95	47		
	12.00– 12.45	72		
	13.50-13.85	R		
	15.00-15.25	R		Çok Sıkı

Tablo 4.4. SK-3'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirilmesi

Sondaj No	Deney Zonu	SPT – N (II + III)	Zemin Cinsi	Zemin Değerlendirmesi
SK-3	1.50 – 1.95	5	Siltli Kil	Orta Katı
	3.00 – 3.45	4		Yumuşak
	4.50 – 4.95	7		Orta Katı
	6.00 – 6.45	7		
	7.50 – 7.95	10		
	9.00 – 9.45	25	Kum	Orta Sıkı
	10.50– 10.95	43		Sıkı
	12.00– 12.45	64		Çok Sıkı
	13.50-13.95	77		
	15.00-15.45	88		

Çizelge 4.5. SK-4'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirilmesi.

Sondaj No	Deney Zonu	SPT – N (II + III)	Zemin Cinsi	Zemin Değerlendirmesi
SK-4	1.50 – 1.95	4	Siltli Kil	Yumuşak
	3.00 – 3.45	5		Orta Katı
	4.50 – 4.95	6		
	6.00 – 6.45	9		
	7.50 – 7.95	10		
	9.00 – 9.45	50	Kum	Sıkı
	10.50– 10.95	54		Çok Sıkı
	12.00– 12.45	76		
	13.50-13.95	83		
	15.00-15.45	89		

Çizelge 4.6. SK-5'den elde edilen SPT-N değerlerine göre zemin değerlendirilmesi.

Sondaj No	Deney Zonu	SPT – N (II + III)	Zemin Cinsi	Zemin Değerlendirmesi
SK-5	1.50 – 1.95	3	Siltli Kil	Yumuşak
	3.00 – 3.45	4		Çok Katı
	4.50 – 4.95	17		
	6.00 – 6.45	19	Kum	Orta Sıkı
	7.50 – 7.95	28		Sıkı
	9.00 – 9.45	42		Çok Sıkı
	10.50– 10.95	73		
	12.00– 12.45	84		
	13.50-13.95	92		
	15.00-15.45	94		

4.1.5 Laboratuvar deneyleri

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmaları sırasında, farklı seviyelerden alınmış olan örselenmiş ve örselenmemiş (UD) örneklerin tipik zemin özellikleri gösterenleri üzerinde TS ve ASTM' ye uygun olarak, zeminlerin fiziksel özelliklerini belirlemeye yönelik yeterli sayıda zemin mekaniği deneyleri uygulanmıştır. Bu deneyler ;

- Atterberg limitleri tayini (LL,PL ve PI)
- Dane boyutu dağılımının tayini (elek analizi)
- Zemin sınıflandırması (USC)
- Tek eksenli Basınç Deneyi
- Konsolidasyon Deneyi

olup, laboratuvar deney raporları Ekler bölümünde sunulmuştur.

4.1.6 Geoteknik değerlendirmeler

Temel zemininin jeolojik ve geoteknik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan sondaj çalışmaları ile laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde; emniyetli taşıma gücü, oturma, yatak katsayısı, sıvılaşma, kazı şevi v.b. hususlar hesaplanarak önerilerde bulunulmuştur.

4.1.6.1 Taşıma gücü

Yapının temeli yumuşak – çok katı KİL tabakasına oturmaktadır. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen aşağıdaki parametrelere göre; HS – JEOTEK kohezyonlu zeminlerde taşıma gücü programına göre, net emniyetli taşıma gücü, $q_{emin} = 0.096$ MPa olarak hesaplanmıştır.

Temel Tipi ;

Temel türü	: Radye (Dikdörtgen)
Temel genişliği	: 40 m
Temel uzunluğu	: 70 m
Temel derinliği	: 1 m

Zeminin Geoteknik Parametreleri ;

Kohezyon	: 43 kPa
İçsel sürtünme açısı	: 0°
Birim Hacim Ağırlığı	: 17 kN/m ³
Doygun birim hacim ağırlığı	: 13 kN/m ³
Yeraltı suyu derinliği	: 2 m

Taşıma Gücü Faktörleri ;

N_c	: 5.791
N_q	: 1
N_g	: 0
Maksimum taşıma gücü	: 0.262 MPa
Güvenlik Katsayısı	: 3
İzin verilebilir taşıma gücü	: 0.096 MPa
Hesaplama yöntemi	: Skempton (1951) – Hanna ve Mayerof (1981)

4.1.6.2 Oturma

Yapılan taşıma gücü hesabına göre 70/40/1 m ebatlarında dikdörtgen şeklindeki radye temelimizin oturacağı kil zeminin izin verilebilir taşıma gücü 0.096 MPa olarak tespit edilmiştir. HS–Jeotek Konsolidasyon Oturması programı ile yapılan oturma hesabına ait parametre ve sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Birim hacim ağırlığı	: 0.18 kg/cm ³ (kil)
Hacimsel sıkışma katsayısı	: M_v (cm ² /kg)

SK – 1 nolu sondaj verilerine göre konsolidasyon oturma hesabı ;

Oturan tabaka kalınlığı	: 6.30 m (kil)
M _{v1}	: 0.0123 cm ² / kg (3.00 m ye kadar)
M _{v2}	: 0.0187 cm ² / kg (3.00 m – 5.50 m' ye kadar)
Oturma	: S
S	: ~8.08 cm

SK – 3 nolu sondaj verilerine göre konsolidasyon oturma hesabı ;

Oturan tabaka kalınlığı	: 8.00 m (kil)
M _{v1}	: 0.0129 cm ² / kg (3.00 m. ye kadar)
M _{v2}	: 0.0147 cm ² / kg (3.00 m – 7.00 m' ye kadar)
S	: ~10.28 cm

SK – 4 nolu sondaj verilerine göre konsolidasyon oturma hesabı ;

Oturan tabaka kalınlığı	: 7.00 m (kil)
M _{v1}	: 0.0123 cm ² / kg (3.00 m' ye kadar)
M _{v2}	: 0.0187 cm ² / kg (3.00 m – 7.00 m' ye kadar)
S	: ~9.4 cm

SK – 5 nolu sondaj verilerine göre konsolidasyon oturma hesabı ;

Oturan tabaka kalınlığı	: 3.30 m (kil)
M _{v1}	: 0.0123 cm ² / kg (3.00 m' ye kadar)
M _{v2}	: 0.0187 cm ² / kg (3.00 m – 4.00 m' ye kadar)
S	: ~3.5 cm

Elde edilen oturma miktarlarının, Çizelge 4.7'den de anlaşılacağı üzere, kabul edilebilir limitler civarında ve altında olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.7. Zemin ve temel tipine göre izin verilebilir maksimum toplam oturmalar. (Skempton ve Mc Donalds, 1956)

Temel ve Zemin Koşulları	Toplam Oturma (mm)
Killer üzerindeki tekil ve şerit temel	25
Kumlar üzerindeki tekil ve şerit temel	25
Killer üzerindeki radye temel	65-100
Kumlar üzerindeki radye temel	40-65

4.1.6.3 Yatak katsayısı

Projelendirmede kullanılacak yatak katsayısı, $k_s = 10.000 \text{ kN/m}^3$ olarak alınmalıdır. (Bowles, 1988)

4.1.6.4 Sıvılaşma

İncelenen sahada, $M = 6$ magnitüd değerinde oluşabilecek bir depremde, sıvılaşma riski SK – 5 nolu sondaj verilerine göre Liquefy Pro programı ile araştırılmıştır. İnceleme alanında deprem esnasında, 5.00 – 15.45 m arasında yer alan orta sıkı-çok sıkı kum tabakasında sıvılaşma potansiyeli mevcut olmayıp sadece 0.40 cm civarında sismik oturma beklenmektedir. Bu oturma da kabul edilebilir sınırlar içinde bulunmaktadır.

4.1.6.5 Geoteknik veri ve hesapların değerlendirilmesi

İnceleme sahasında gerçekleştirilen sondaj çalışmalarından elde edilen verilere göre yapılan hesaplar ışığında; inşa edilecek bina sahasının en üstte, kalınlığı 5.00 - 9.00 m arasında olan, temel zeminini oluşturan yumuşak – orta katı kıvamlı, doğal nemli, akışkan özellikte kil tabakasında düşük taşıma gücü ve farklı oturma problemleri mevcuttur. Yapının temel zeminine güvenle taşınabilmesi için hızlı, ekonomik ve tüm zemin cinslerinde uygulanabilen jet grout yöntemi ile temel zemini iyileştirilmelidir.

4.2 Jet Grout Uygulamasının Proje Aşaması

Yapılan jeolojik incelemeler doğrultusunda hazırlanan geoteknik rapor sonucunda Fen-Edebiyat Fakülte binası temel zemininin, yapılması planlanan bina tarafından uygulanacak yükler altında, tabii haliyle gerekli güvenliği sağlayamayacağı ve temel zemininde bir iyileştirme yapılması gerekliliği anlaşılmıştır. Zemin iyileştirmesi olarak jet grout yönteminin tercih edilmesi uygun görülmüştür. Bu kısımda, yapılması planlanan jet grout kolonlarının taşıma gücü hesapları sunulmaktadır.

4.2.1 Mevcut geoteknik veriler

Binanın inşa edileceği alanda yapılmış olan geoteknik ve jeolojik etütler dâhilinde alınan numuneler üzerinde, zemin indeks ve mühendislik parametrelerini tayin etmek amacıyla laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür.

Yapılmış olan sondaj ve laboratuvar çalışmaları sonucunda oluşan veriler değerlendirilmiş ve mühendislik parametreleri seçilmiştir. Bu geoteknik değerlendirmeler Ekler bölümünde sunulmuştur.

4.2.2 İdealize zemin profili

Sondaj logları ve jeolojik kesitler incelendiğinde, inşaat alanında yüzeyden itibaren ortalama 8 m. derinliğe kadar yumuşak bir siltli kil tabakası mevcuttur. Bu tabaka direkt olarak yüklendiği durumda yüksek miktarda oturmalara maruz kalabilecek bir malzemeden oluşmaktadır. Bu oturmaların tamamlanması için geçecek süre ise bina inşaatının tamamlanmasından sonra da devam edebilecek olup, bina için ciddi sorunlar yaratma potansiyeline sahiptir.

Yüzeydeki siltli kil tabakasının altında, yüzeyden ortalama 8 m. derinlikten başlayarak sondajlarda tanımlanan derinliğin sonuna kadar devam eden orta sıkı, sıkı bir kum birimi gözlenmektedir.

Jet grout kolonlarının projelendirilmesinde yüzeydeki yumuşak plastik kil tabakasının sağlayacağı çeper sürtünmesi ihmal edilmiştir. Jet grout kolonlarının taşıma gücünü kum birim içerisinde oluşacak çeper sürtünmesi ve uç direncinden alacağı kabul edilmiş olup, hesaplar bu duruma göre yapılmıştır.

Yüzeyde 0-8 m. arasında bulunan siltli kil tabakasının kabul edilen mühendislik parametreleri ile yüzeyden itibaren 8 m. nin altında bulunan kum birimi için kabul edilen mühendislik parametreleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Jet grout hesaplarında kullanılmak üzere kabul edilen mühendislik parametreleri.

Mühendislik Parametreleri	Silt-Kil Tabakasında (0-8 m)	Kum Tabakasında (8-20 m)
Kohezyon (C')	2 kPa	0 kPa
İçsel sürtünme açısı (Φ')	26 °	36 °
Zeminin kesme gerilmesi (C_u)	25 kPa	-
Zeminin yoğunluğu (γ)	18 kN/m ³	19 kN/m ³

4.2.3 Jet grout kolonu taşıma gücü

Jet grout kolonlarının taşıma gücü, yeryüzünden itibaren 8 m ile 20 m arasında bulunan kum birimi için, çevre sürtünmesi ve uç direncinden gelen bileşenler halinde hesaplanmıştır.

4.2.3.1 Kazık uç kapasitesi

$$Q_p = A \times q_p \quad (4.1)$$

$$q_p = q' \times N_q^* \quad (4.2)$$

$$Q_p = A \times q' \times N_q^* \quad (4.3)$$

$$q_{lim} = 50 \times N_q^* \times \tan \Phi' \quad (4.4)$$

(Q_p değerinin belirli bir limit değeri, q_{lim} , aşamayacağı kabul edilir.)

$$Q_p = A \times (q' \times N_q^*) \leq 50 \times N_q^* \times \tan \Phi' \quad (4.5)$$

Q_p : Kazık uç kapasitesi

q_p : Kazık uç direnci

A : Kazık uç alanı

q' : Efektif gerilme

N_q^* : Nihai taşıma gücü katsayısı

Φ' : Efektif içsel sürtünme katsayısı

$N_q^* = 180$ ($\Phi' = 36^\circ$ ye göre Şekil 4.5'deki grafikten alındı.)

$$P'_o = 2 \times 18 \times 6 \times (18 - 9.81) + 12 \times (19 - 9.81) = 195.42 \text{ kPa} \quad (4.6)$$

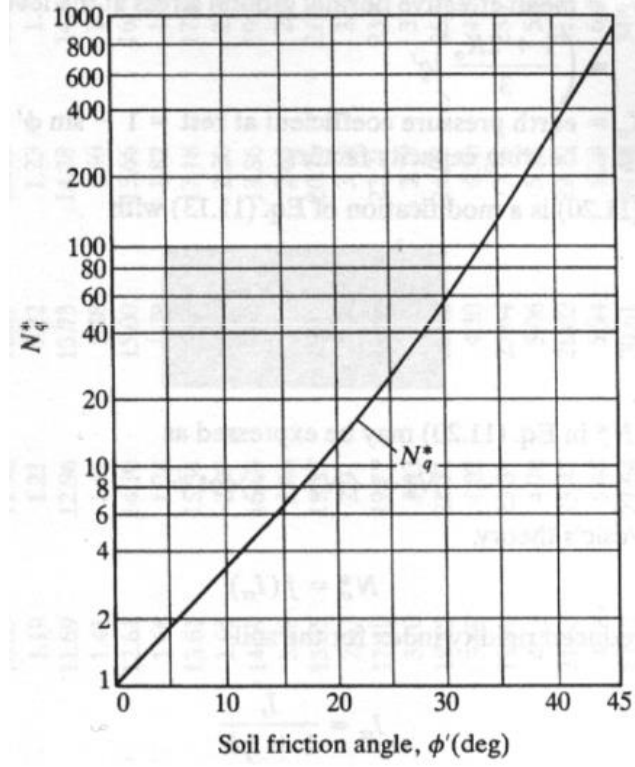
$$q_p = 195.42 \times 180 = 35175.6 \text{ kPa} \quad (4.7)$$

$$q_{lim} = 50 \times 180 \times \tan 36 = 6538.9 \text{ kPa} \quad (4.8)$$

$$q_p > q_{lim} \quad \Rightarrow \quad q_{lim} = 6538.9 \text{ kPa} \quad (4.9)$$

$$A = \Pi \times D^2 / 4 = \Pi \times 0.6^2 / 4 = 0.283 \text{ m}^2 \quad (4.10)$$

$$Q_p = A \times q = 0.283 \times 6538.9 = 1850 \text{ kN} \quad (4.11)$$



Şekil 4.5. Meyerhof yöntemine göre kumlarda N_q^* değerinin belirlenmesi.

4.2.3.2 Kazık çevre sürtünmesi

$$Q_s = L \times P \times f \quad (4.12)$$

$$f = K \times \sigma_o' \times \tan \delta \quad (4.13)$$

Q_s : Çevre sürtünmesi

L: Derinlik

P: Kazık kesitinin çevresi

f: Birim sürtünme direnci

K: Efektif toprak basıncı katsayısı

σ_o' : Düşey efektif gerilme

δ : Zemin-Kazık sürtünme açısı (= $0.8 \Phi'$)

Yüzeyden 8 m ile 20 m arasında, 14 m derinlikte;

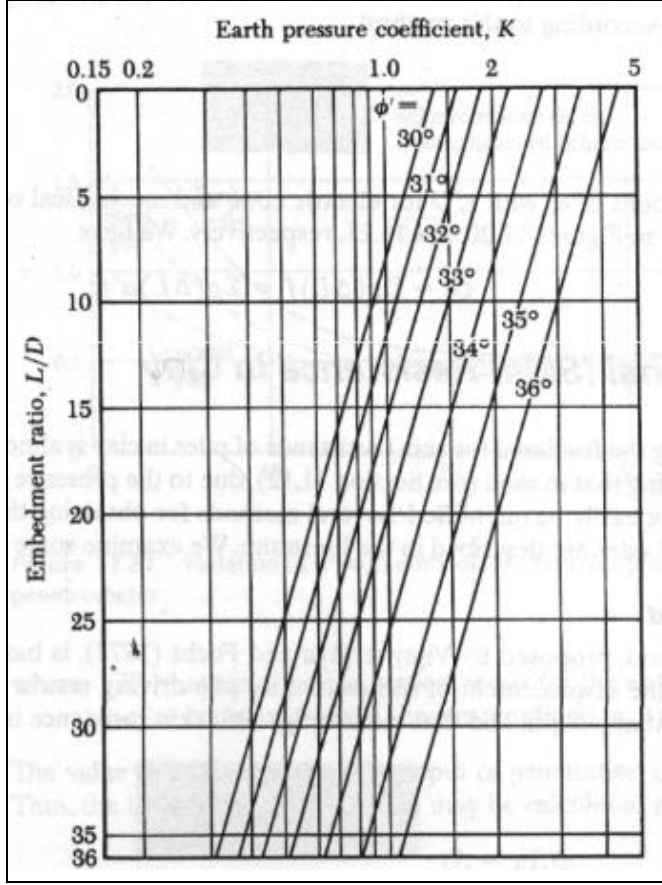
$$\sigma_o' = 2 \times 18 + 6 \times (18 - 9.81) + 6 \times (19 - 9.81) = 140.28 \text{ kPa} \quad (4.14)$$

$$f_s = K \times \sigma_o' \times \tan \delta, \Phi' = 40^\circ, \delta = 36^\circ, K_s = 1 \text{ (Şekil 4.6'dan)} \quad (4.15)$$

$$f = 1 \times 140.28 \times \tan 36 = 101.9 \text{ kPa} \quad (4.16)$$

$$P = 2 \times \Pi \times R = 2 \times 0.3 = 1.88 \text{ m} \quad (4.17)$$

$$Q_s = L \times P \times f = 12 \times 1.88 \times 101.9 = 2298 \text{ kN} \quad (4.18)$$



Şekil 4.6. L/D Oranına göre efektif toprak basıncının (K) tespit edilmesi.

4.2.3.3 Toplam kapasite

$$Q = Q_p + Q_s \quad (4.19)$$

Q : Toplam kapasite

Q_p : Kazık uç kapasitesi

Q_s : Çevre sürtünmesi

$$Q = 1850 + 2298 = 4148 \text{ kN} \quad (4.20)$$

$$Q_{em} = Q / F.S. \quad (4.21)$$

Q_{em} : Emniyetli taşıma kapasitesi

F.S. : Güvenlik katsayısı

$$Q = 4148 / 5 = 830 \text{ kN} = 83 \text{ ton} \quad (4.22)$$

4.2.3.4 Jet grout kolonu kesit zorlanması ve güvenlik tahkiki

1 Adet jet grout kolonunda oluşan gerilme;

Binadan	45 ton(20t/m ² x 1.5 mx 1.5 m)
Dolgudan	4.05 ton (1.8t/m ³ x 1 m x 1.5 m x 1.5 m)
Radyeden	2.81 ton (2.5t/m ³ x 0.5 m x 1.5 m x 1.5 m)
Toplam	51.86 ton/kolon (1.5 m x 1.5 m karolajla zemine tatbik

edilecek olan her bir jet grout kolonuna gelen toplam yük.)

$$\sigma = F / A \quad (4.23)$$

σ : Jet grout kolonuna etkiyen birim yük

F : Jet grout kolonun gelen yük

A : Jet grout kolonunun alanı (D = 0.60 m)

$$A = 0.30^2 \times \Pi = 0.283 \text{ m}^2 \quad (4.24)$$

$$\sigma = 51.86 / 0.283 = 183 \text{ t/m}^2 = 1.83 \text{ MPa} \quad (4.25)$$

Ezilme Güvenliği Tahkiki :

$$q_u \geq \sigma \text{ olmalı} \quad (4.26)$$

q_u : Siltli Kil zemin için yaklaşık jet grout taşıma kapasitesi (Çizelge 4.9'dan)

σ : Jet grout kolonuna etkiyen birim yük

2.5 MPa \geq 1.83 MPa (Jet grout kolonumuz yük altında ezilmeden güvenli bir şekilde durabiliyor.)

Çizelge 4.9. Zemin cinsine göre jet grout kolonu serbest basınç mukavemeti değerleri. (Durgunoğlu, 2004)

Zemin Cinsi	Serbest Basınc Mukavemeti (MPa)
Kil	2-5
Silt	3-7
Kum	7-14
Çakıl	12-18

Taşıma Gücü Güvenliği Tahkiki ;

$Q_{em} \geq F$ olmalı

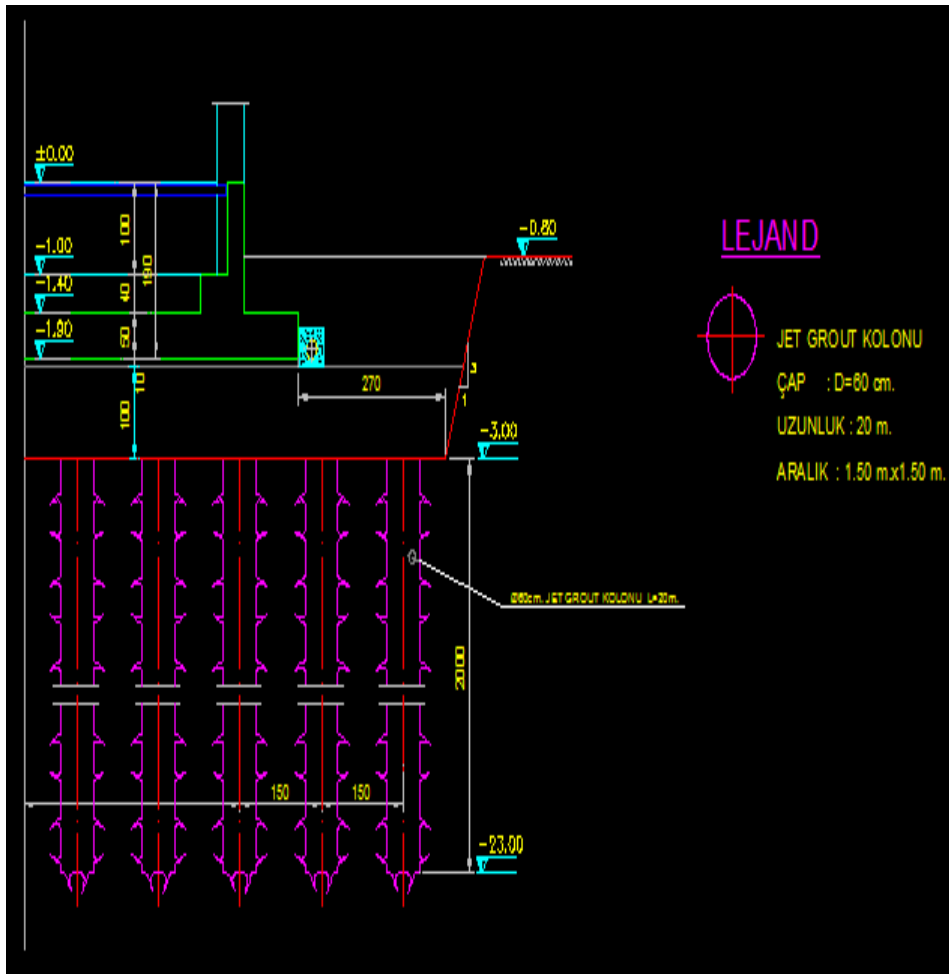
(4.27)

Q_{em} : Emniyetli taşıma kapasitesi

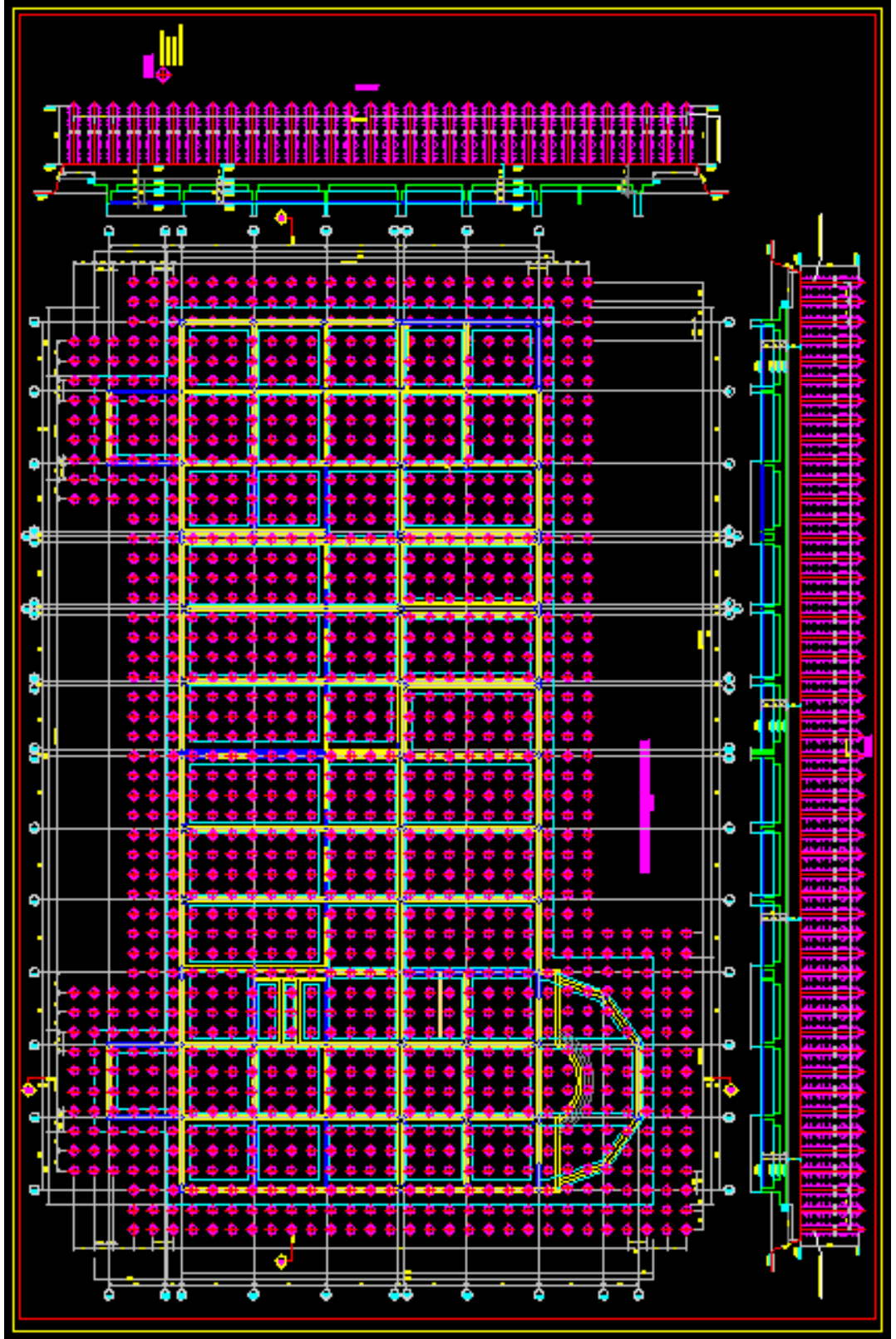
F : Jet grout kolonun gelen yük

83 ton/kolon \geq 51.86 ton/kolon (Jet grout kolonumuz tüm yükü güvenli bir şekilde taşıyabiliyor.)

Yapılan hesaplar doğrultusunda hazırlanan jet grout uygulama projesi Şekil 4.7 ve Şekil 4.8' de sunulmuştur.



Şekil 4.7. Jet grout uygulama projesinin kesit detayı.



Şekil 4.8. Jet grout uygulama projesinin planı.

4.3 Jet Grout Uygulaması

Geoteknik rapordaki veriler baz alınarak yapılan jet grout hesapları doğrultusunda uygulama ve detay projeleri hazırlanmıştır. Bu aşamadan sonra; 0.60 m. çapında, merkezden merkeze 1.5 m. karolajla, temel kazısı seviyesinden 20.0 m. derinliğe kadar 1313 adet jet grout kolonu uygulaması yapılmıştır.

4.3.1 Jet grout uygulamasında kullanılan ekipmanlar

Aynı anda iki uygulama yapmamıza olanak sağlayan iki ayrı ekipman takımına dair bilgiler Şekil 4.9'da verilmiştir.

Sıra No.	Ekipmanın Markası / İsmi
1	Casangrande C6 – XP (Delici Makine)
2	Casangrande C8-M9 (Delici Makine)
3	Tecniwell TW351 (Yüksek Basınç Pompası)
4	Tecniwell TW352 (Yüksek Basınç Pompası)
5	Tecniwell M20 (Enjeksiyon Setleri)
6	Atlas Copco XAHS 236 (Hava Kompresörleri)
7	Çimento Siloları
8	Su Tankı
9	Jeneratör
10	Tij, nozzle, monitör ve yedek parçalar...

Şekil 4.9. Jet grout uygulamasında kullanılan ekipmanlar.

4.3.2 Çalışma parametrelerinin tespit edilmesi ve uygulama süreci

Jet grout yöntemi ile zemin iyileştirmesinin uygulama kısmına başlamadan önce, daha önce benzer özellikteki zemin profillerinde tecrübe edilmiş farklı parametrelerle 3 adet deneme kolonu imalatı yapılmıştır. Deneme kolonlarının proje ve hesaplarda istenen özelliklerde olduğu anlaşılmış olup, jet grout kolonları Şekil 4.10'da verilen çalışma parametrelerine uygun olarak jet 2 yöntemi ile imal edilmeye başlanmıştır.

Çalışma Parametreleri	
Kolon Boyu	4.5 m
Basınç	350 bar
Hava Basıncı	10 bar
Nozzle Çapı	2x3.0 mm
Çimento Miktarı	155 kg/m
Çimento Türü	42.5 R cemII/A-M (P-LL)
Su/Çimento Oranı	1/1
Dönüş Hızı	22 tur/dk
Çekme Hızı	69 sn/m

Şekil 4.10. Jet 2 yöntemi ile yapılan uygulamanın çalışma parametreleri.

Zemin iyileştirme çalışmaları kapsamında yapılması planlanan toplam 1313 adet jet grout kolonundan 945 adetinin imalatı Jet 2 yöntemi ile 31 iş gününde tamamlanmıştır. Sahadaki bazı uygulama sorunlarından dolayı, geri kalan 368 adet jet grout kolonu 13 iş gününde Jet 1 yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır. jet 1 yöntemi ile istenilen özelliklerde imal edilen jet grout kolonlarının çalışma parametreleri Şekil 4.11'de sunulmuştur.

Çalışma Parametreleri	
Kolon Boyu	4.5 m
Basınç	450 bar
Nozzle Çapı	2x2.2 mm
Çimento Miktarı	155 kg/m
Çimento Türü	42.5 R cemII/A-M (P-LL)
Su/Çimento Oranı	1/1
Dönüş Hızı	22 tur/dk
Çekme Hızı	110 sn/m

Şekil 4.11. Jet 1 yöntemi ile yapılan uygulamanın çalışma parametreleri.

İki ayrı ekipmanla yapılan jet grout uygulamasında, toplam 44 iş gününde, 1313 adet jet grout kolonu yapılmıştır. Jet 1 ve jet 2 yönteminin birlikte uygulandığı çalışmamızda 29.84 kolon/gün ortalaması ile imalat tamamlanmıştır. 20.0m uzunluğunda olan her bir jet grout kolonunun toplam imalat miktarı 26.260,00 m

olup, toplamda 4.072,700 ton çimento sarfiyatı olmuştur. Jet grout poje hesap değerleri ile sahada yapılan uygulamadaki değerlerin kıyaslanabilmesi için standart silindir basınç deneyleri, bütünlük deneyleri ve yükleme deneyi yapılmıştır.

Tezimize konu olan bu çalışmaya özel olarak, standart bir jet grout uygulamasında yapılan deneysel ve gözlemsel kontrollerin dışında, zemin ıslahı tamamlanmış olan alanın SPT-N değerleri alınarak zeminin öncesi ve sonrası verileri kıyaslanmıştır.

4.3.3 Jet grout kolon dayanımlarının kontrolü

İşletme parametrelerine uygun olarak tatbik edilen jet grout kolonlarının dayanım değeri, zeminin mevcut profili doğrultusunda jet grout hesaplarında 2.5 MPa olarak alınmıştır. Hesaplarda kullanılan dayanım değeri ile uygulamadakilerin karşılaştırılması için, zemine tatbik edilmiş olan jet grout kolonlarından karot numuneleri alınıp bu numunelerin dayanımlarının standart silindir basınç değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Çizelge 4.10'da jet 1 ve Çizelge 4.11'de jet 2 yöntemi ile imal edilen söz konusu jet grout kolonlarından alınan bozulmamış karot numunelerinin standart silindir basınç dayanımları verilmiştir.

Çizelge 4.10. Jet 1 yöntemi ile imal edilen jet grout kolonlarının standart silindir basınç dayanımları.

Sıra No	Jet Grout Kolon No.	Jet Grout Kolonunun Yaşı (Gün)	Standart Silindir Basınç D. (MPa)
1	496	11	3.26
2	305	11	5.78
3	741	11	3.61
4	309	11	5.33
5	741	29	4.84
6	496	29	2.43
7	305	29	4.28
8	309	29	6.62

Çizelge 4.11. Jet 2 yöntemi ile imal edilen jet grout kolonlarının standart silindir basınç dayanımları.

Sıra No	Jet Grout Kolon No.	Jet Grout Kolonunun Yaşı (Gün)	Standart Silindir Basınç D. (MPa)
1	203	22	2.48
2	202	19	4.06
3	301	14	2.92
4	302	18	1.98
5	550	27	3.14
6	756	26	3.51
7	748	11	3.61
8	549	31	5.14
9	405	23	2.01
10	551	28	5.13
11	583	28	3.72
12	549	50	6.40
13	550	46	4.75
14	551	47	5.74
15	756	45	2.94
16	772	45	4.51
17	583	47	5.12
18	748	45	4.42
19	202	45	4.75
20	203	48	5.98
21	300	39	5.15
22	253	43	7.75

Çalışmamıza konu olan jet grout yöntemi ile zemin iyileştirmesi kapsamında jet grout kolonlarından alınan bozulmamış karot numunelerinin standart silindir basınç dayanımlarının ortalama değeri, jet 1 ve jet 2 yöntemlerinin uygulamadaki ağırlıklarına göre aşağıda gösterildiği gibi 4.39 MPa olarak tespit edilmiştir:

Toplam jet grout kolonu sayısı : 1313 Adet
Jet 1 yöntemi ile üretilen jet grout kolonu sayısı : 368 Adet

Jet 2 yöntemi ile üretilen jet grout kolonu sayısı	: 945 Adet
Jet 1 yöntemi için ortalama standart silindir basınç dayanımı	: 4.52 MPa
Jet 2 yöntemi için ortalama standart silindir basınç dayanımı	: 4.33 MPa
Jet 1 yönteminin uygulamadaki ağırlığı	: 368/1313
Jet 2 yönteminin uygulamadaki ağırlığı	: 945/1313
$(4.52 \times (368/1313)) + (4.33 \times (945/1313)) = 4.39 \text{ MPa}$	(4.28)

4.3.4 Jet grout kolonlarının bütünlük deneyi

Zemine uygulaması yapılan jet grout kolonlarının 35 adeti üzerinde bütünlük (Sonic integrity test) deneyi yapılmıştır. Yapılan deneylerde jet grout kolonlarının, proje kriterlerinde ön görüldüğü gibi en az 0.60 m çap ve 20.0 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bununla birlikte jet grout kolonların herhangi bir süreksizliğe uğramadığı anlaşılmıştır. Şekil 4.12'de, yapılan bütünlük deneyinden bir görünüm yer almaktadır. Bütünlük deneyinin sonucunda her bir jet grout kolonu için oluşturulan modellerden bir örnek ise Şekil 4.13'de görülmektedir.

TNO Profound firmasının ürettiği FPDS-7 tip Hollanda yapımı olan deney sistemi aşağıdaki elemanlardan oluşmaktadır:

- İvme ölçer (Accelerometer) (TNO Profound)
- Plastik başlı özel çekiç (0.5 kg)
- Özel girişli HP dizüstü bilgisayar
- ELAN PC Card PCMCIA girişi
- İvme ölçer transfer kablosu
- Macun



Şekil 4.12. Uygulama alanında yapılan bütünlük deneyinden bir görünüm.

4.3.5.1 Yükleme deney düzeneği

Eksenel statik yükleme deneyi ASTM D1143'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde 1 adet 8.10 m' lik çelik kiriş, jet grout kolonu üzerine, yükleri homojen aktarmak için çelik kiriş üzerine 1 adet 20.200.200 mm ebatlarında çelik plaka ve kafa yerleştirilmiştir. Çelik plaka üzerine de 1 adet 500 ton kapasiteli hidrolik kriko ve gerekli yük kademelerine ulaşabilmek için 1 adet hidrolik germe ünitesi kullanılmıştır. Kriko ile uygulanan her bir yük kademesindeki deplasmanları ölçebilmek için jet grout kolonu içerisine Şekil 4.15'deki gibi 6 adet 22'şer metre uzunluğunda çelik halat yerleştirilmiştir. Deplasmanların sağlıklı bir şekilde ölçülebilmesi için, Şekil 4.16'da görüldüğü gibi yükleme kolonunun etrafında uygun mesafelere 4 adet 1/100 mm hassasiyetli deplasman ölçer kullanılmıştır.



Şekil 4.15. Jet grout kolonunun içindeki çelik halatlar.



Şekil 4.16. Yükleme deney düzeneğine dair bir resim.

4.3.5.2 Yükleme deney programı

Deneyde yük, proje yükünün %12.5' i baz alınarak kademeli olarak uygulanmıştır. Proje yükünün %12.5, %25, %37.5, %50, %62.5, %75, %87.5, %100, %112.5, %125, %137.5, %150 değerlerine kadar yük uygulanmış ve her yük kademesinde 60 dakika beklenerek ilerlenmiştir. Maksimum yük proje yükünün %150'si olarak belirlenmiştir. Proje yükü değerine ulaşabilmek için çıkılan her yük kademesinde beklenen 1 saatte bütün ara bekleme sürelerinde 5 ve 15'er dakikalık okumalar alınmış, proje yüküne çıktıktan sonra bu yük kademesinde de 1 saat beklenip ara bekleme sürelerinde 5, ve 15'er dakikalık okumalar alınmıştır. Proje yükünden maksimum yüke çıkana kadar her yük kademesinde yine 1'er saat beklenmiş ve 5 ile 15'er dakikalık okumalar yapılmıştır.

Maksimum yükte ise tekrar 1 saat beklenmiş 5 ve 15'er dakikalık okumalar yinelenmiştir. Sonra son aşama olan boşaltmada ise her kademe için 15 dakika beklenip, 5'er dakikalık okumalar alınıp ve yük tamamen boşaltıldıktan sonra 20 dakika daha beklenip deney sonuçlandırılmıştır. Toplam yaklaşık 15 saat süren eksenel statik yükleme deney sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Eksenel statik yükleme deneyi programı.

Yükleme Kademesi	Proje Yüğü (%)	Yük (Ton)	Bekleme Süresi	Deplasman Okuma Aralıkları (Dakika)
1	12.5	7.5	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
2	25	15.0	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
3	37.5	22.5	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
4	50	30.0	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
5	62.5	37.5	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
6	75	45.0	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
7	87.5	52.5	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
8	100	60.0	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
9	112.5	67.5	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
10	125	75.0	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
11	137.5	82.5	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
12	150	90.0	1 saat	0,5,5,5,15,15,15
13	137.5	82.5	15 dk	0,5,5,5
14	125	75.0	15 dk	0,5,5,5
15	112.5	67.5	15 dk	0,5,5,5
16	100	60.0	15 dk	0,5,5,5
17	87.5	52.5	15 dk	0,5,5,5
18	75	45.0	15 dk	0,5,5,5
19	62.5	37.5	15 dk	0,5,5,5
20	50	30.0	15 dk	0,5,5,5
21	37.5	22.5	15 dk	0,5,5,5
22	25	15.0	15 dk	0,5,5,5
23	12.5	7.5	15 dk	0,5,5,5
24	0	0.0	20 dk	0,5,5,5,5

Toplam Süre: 15 saat 5 dk

Proje Yüğü: 60,0 ton

Maksimum Yük: 90,0 ton

Her adımda deplasman hızı 0.25 mm/saat değerine düşünceye kadar beklenmiştir. Fakat maksimum bekleme süresi 2 saattir ve sonra diğer yük kademesine geçilmiştir.

4.3.5.3 Yükleme deneyi sonuç ve değerlendirilmesi

Tek çevrimden oluşan deney sonucuna göre maksimum yükte oluşan maksimum deplasman 19,74 mm olarak ölçülmüştür. Deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 4.17'de gösterilmiştir.

Yükleme Kademesi	Toplam Deplasman (mm)	Kalıcı Deplasman (mm)
1-90 ton (Proje yükünün %150' si)	19.74	5.40

Şekil 4.17. Yükleme deneyi sonucu.

Deneyde maksimum yüke kadar kolonda herhangi bir menfi durum gözlenmemiş olup deney kolonu Tablo 4.12' de verilen oturma değerleri uyarınca proje yükünün %150' si olarak görülen 90 tonu göçme oluşmadan emniyetli olarak taşımıştır.

4.4 Uygulama Sonrası Zeminin SPT-N Değerleri

Tezimize konu olan binanın zemin iyileştirme çalışmalarının proje hesap ve uygulama aşamasında takip edilen aşamalar, standart bir jet grout uygulamasındaki sıralama ile tamamlanmıştır. Böylece proje hesap değerleri doğrultusunda uygulanmış olan jet grout kolonlarının istenen özelliklerde olduğu standart silindir basınç dayanımı, bütünlük deneyi ve yükleme deneyinden elde edilen sonuçlarla tespit edilmiştir.

Ancak çalışmamızın bu kısmında; standart kontrollere ek olarak, jet grout ile zemin ıslahı yapılmış olan bir zeminin, uygulama sonrası yapılan SPT deneyi ile zemindeki iyileşmenin deneysel tespiti de yapılmış olacaktır. Bu doğrultuda uygulama sonrası yapılan SPT' lerden elde edilen darbe sayısı (N) değerleri Çizelge 4.13'de sunulmuştur. Sondaj kuyularındaki darbe sayısını gösteren tablodaki "R = Refü" ifadesi; SPT deneyinde her 15 cm.' lik ilerleme için 50 darbe sayısının gerçekleşmesi durumu için kullanılmıştır.

Çizelge 4.13. Jet grout ile zemin iyileştirmesi yapılan zeminin uygulama sonrası SPT-N değerleri.

Deney Zonu (m)	SPT-N			
	K-1'	K-2'	K-3'	ORTALAMA
1.00-1.45	9	6	9	8
2.50-2.95	0	8	0	9
4.00-4.45	1	8	9	9
5.50-5.95	0	5	2	12
7.00-7.45	8	6	2	32
8.50-8.95	R	3	4	R
10.00-10.45	R	R	8	R
11.50-11.95	R	R	R	R
13.00-13.45	R	R	R	R
14.50-14.95	R	R	R	R

Zemin iyileştirme çalışmaları ve tüm inşaat faaliyeti tamamlanan Fen-Edebiyat Fakülte binasının Cumhuriyet Yerleşkesi içindeki genel görünümü Şekil 4.18'de görülmektedir.



Şekil 4.18. Fen-Edebiyat Fakültesinin Cumhuriyet Yerleşkesindeki konumu.

5. İRDELEMELER

Bu bölümde, jet grout yöntemiyle yapılan zemin iyileştirme çalışmamızdan elde edilen bulgular bazı konu başlıkları altında irdelenecektir.

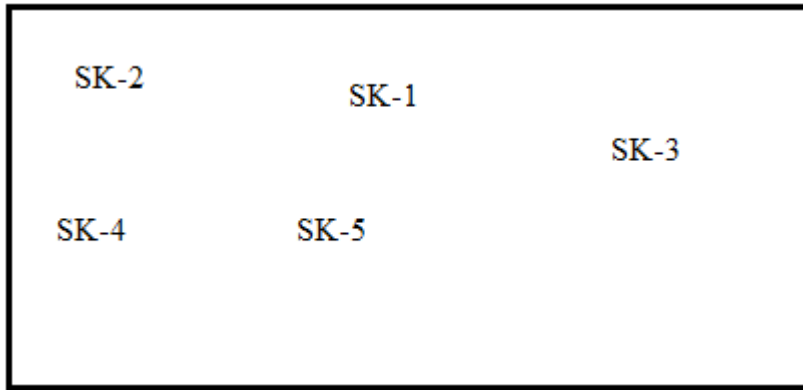
5.1 Uygulama Öncesi ve Sonrasında yapılan SPT Deneyleri

Jet grout uygulamasının proje ve hesaplarında ön görülen sınır değerler, jet grout kolonları üzerinde yapılan deneylerle kontrol edilmiştir. Uygulamanın proje ve hesaplarında ön görülen sınır değerlerin üstünde sonuç verdiği, jet grout kolonları üzerinde yapılan deneysel tahkiklerle anlaşılmıştır. Söz konusu deneysel tahkiklerin yanı sıra, tezimize konu olan çalışmaya özel olarak, temel zeminini teşkil eden uygulama alanındaki jet grout kolonlarının dışında kalan zeminde ne miktarda bir iyileşme olduğu da ayrıca araştırılmıştır. Bu doğrultuda uygulama öncesi temel zemininin geoteknik verilerinin tespit edilebilmesi için yapılan SPT deneylerinden elde edilen darbe sayısı (N) değerleri ile uygulama sonrası değerleri karşılaştırılmıştır. Söz konusu karşılaştırma Çizelge 5.1'de sunulmuştur. Bu karşılaştırma yapılırken uygulama öncesi ve sonrası SPT deneylerinin sondaj üst kotları arasındaki yaklaşık 1 m. lik fark dikkate alınmıştır.

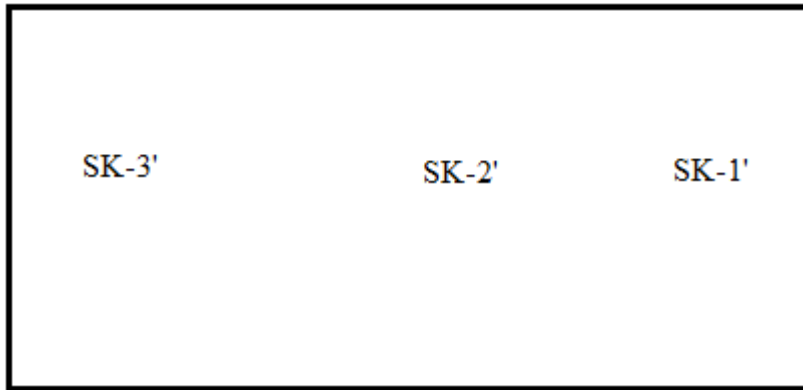
Jet grout uygulaması öncesinde yapılan SPT deneylerinin Şekil 5.1'deki sondaj lokasyonları ile uygulama sonrası yapılan SPT deneylerinin Şekil 5.2'deki sondaj lokasyonları incelendiğinde; SK-4 ile SK-3' ün, SK-5 ile SK-2' nin ve SK-3 ile de SK-1'in darbe (N) sayılarının kıyaslanması gerektiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.1. Jet grout uygulaması öncesi ve sonrası yapılan SPT deneylerinden elde edilen (N) darbe sayıları.

Derinlik (m)	Kot (m)	SPT-N (Öncesi)					SPT-N (Sonrası)		
		SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5	SK-1'	SK-2'	SK-3'
1.00	1.45	5	6	5	4	3	9	6	9
2.50	-0.05	5	6	5	5	8	10	8	10
4.00	-1.55	6	6	7	7	17	11	8	9
5.50	-3.05	17	11	8	9	22	10	15	12
7.00	-4.55	37	23	15	23	32	18	26	52
8.50	-6.05	50	39	31	51	52	R	43	44
10.00	-7.55	66	55	50	61	77	R	R	48
11.50	-9.05	R	R	R	R	R	R	R	R
13.00	-10.55	R	R	R	R	R	R	R	R
14.40	12.05	R	R	R	R	R	R	R	R



Şekil 5.1. Jet grout uygulaması öncesi yapılan SPT deneylerine ait lokasyonlar.



Şekil 5.2. Jet grout uygulama sonrası yapılan SPT deneylerine ait lokasyonlar.

Söz konusu sondaj kuyularına ait SPT deneylerinden elde edilen darbe sayısı (N) değerleri Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.2. SK-3 ve SK-1' sondaj kuyularından elde edilen SPT-N değerlerinin kıyaslanması.

Derinlik (m)	Kot (m)	SPT-N		SPT-N Değeri Ortalama Artış Oranı (%)
		SK-3	SK-1'	
1	1.45	5	9	82
2.5	-0.05	4	10	
4	-1.55	7	11	
5.5	-3.05	7	10	
7	-4.55	10	18	
8.5	-6.05	25	R	
10	-7.55	43	R	
11.5	-9.05	64	R	
13	-10.55	77	R	
14.5	12.05	88	R	

Çizelge 5.3. SK-4 ve SK-3' sondaj kuyularından elde edilen SPT-N değerlerinin kıyaslanması.

Derinlik (m)	Kot (m)	SPT-N		SPT-N Değeri Ortalama Artış Oranı (%)
		SK-4	SK-3'	
1	1.45	4	9	119
2.5	-0.05	5	10	
4	-1.55	6	9	
5.5	-3.05	9	12	
7	-4.55	10	52	
8.5	-6.05	50	44	
10	-7.55	54	48	
11.5	-9.05	76	R	
13	-10.55	83	R	
14.5	12.05	89	R	

Çizelge 5.4. SK-5 ve SK-2' sondaj kuyularından elde edilen SPT-N değerlerinin kıyaslanması.

Derinlik (m)	Kot (m)	SPT-N		SPT-N Değeri Ortalama Artış Oranı (%)
		SK-5	SK-2'	
1	1.45	3	6	20
2.5	-0.05	4	8	
4	-1.55	17	8	
5.5	-3.05	19	15	
7	-4.55	28	26	
8.5	-6.05	42	43	
10	-7.55	73	R	
11.5	-9.05	84	R	
13	-10.55	92	R	
14.5	12.05	94	R	

Jet grout uygulaması yapılan zemine ait öncesi ve sonrası SPT-N değerlerinin kıyaslanması ve SPT deneylerinden elde edilen darbe sayılarının (N) artış oranları Çizelge 5.2, Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de görülmektedir. Jet grout kolonlarının kapladığı hacimlerde elde edilen dayanımların dışında, yalnızca iyileştirilen zemin kısmındaki toplam ortalama iyileşme oranı %74 mertebesinde gerçekleşmiştir.

5.2 Jet 1 ve Jet 2 Yöntemlerinin Kıyaslanması

Jet 2 yöntemi ile imal edilen jet grout kolonlarına ait Tablo 4.9' daki veriler incelendiğinde, ortalama yaşı 34 gün olan 22 adet numunenin standart silindir basınç dayanımının ortalama 4.33 MPa olduğu görülmektedir. Jet 1 yöntemi ile imal edilen jet grout kolonlarına ait Tablo 4.10' daki veriler incelendiğinde, ortalama yaşı 20 gün olan 8 adet numunenin standart silindir basınç dayanımının ortalama 4.52 MPa olduğu görülmektedir. Jet 2 yöntemi ile oluşturulan jet grout kolon çaplarının, jet 1 yöntemi ile oluşturululardan daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte her iki yöntem ile teşkil edilen jet grout kolonlarının da proje hesaplarında ön görülen değerleri karşıladığı görülmüştür. Ancak ortalama standart silindir basınç

dayanımları incelendiği zaman, jet 1 yöntemi ile oluşturulan kolon dayanım değerlerinin jet 2 yöntemine kıyasla daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

İki yöntemin jet grout kolon imalat hızları da bu çalışma kapsamında kıyaslanabilmektedir. Her ne kadar ilk başta tercih edilen jet 2 yöntemi ile yapılan uygulamalar süresince zemin durumu zaman zaman imalatın duraklamasına neden olsa da, jet 2 yöntemi ile jet 1'e göre birim zamanda daha fazla jet grout kolon imalatı yapılabildiği anlaşılmıştır. Bu doğrultuda çalışmamıza konu olan jet grout uygulamasında, jet 2 yöntemi ile yapılan kolonların imalat hızı 30.5 kolon/gün, jet 1 yöntemi ile yapılan kolonların imalat hızı ise 28.30 kolon/gün olarak tespit edilmiştir.

5.3 Jet Grout Uygulamasının Zemin Taşıma Kapasitesine Katkısı

Jet grout uygulaması ile yapılan zemin iyileştirmesinin proje ve hesaplarda ön görülen sınır değerler, jet grout kolonları üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla tahkik edilmiş olup uygulama başarıyla tamamlanmıştır. Bu kısımda, yapılan jet grout uygulaması sonrasında zemin emniyetli taşıma gücünün, jet grout kolonlarının da içinde bulunduğu tüm alanda ortalama hangi değere ulaştığı belirlenecektir. Çalışmamıza konu olan zeminin uygulamadan önceki maksimum taşıma gücü 0.262 MPa (26,2 t/m²), jet grout kolonlarından alınan karot numunelerinin standart silindir basınç dayanımları ise ortalama 4.39 MPa (439 t/m²) olarak tespit edilmiştir.

$$q_{emin} = \bar{\sigma}_{kap} / F.S. \quad (5.1)$$

$$\bar{\sigma}_{kap} = ((26.2 \times A_2) + (439 \times A_1)) / A \quad (5.2)$$

q_{emin} : Emniyetli taşıma gücü

F.S. : Güvenlik katsayısı

$\bar{\sigma}_{kap}$: Jet grout uygulaması sonunda zemin taşıma kapasitesi

A : Toplam zemin iyileştirme alanı

A_1 : Toplam Jet grout kolon alanı

A_2 : Jet grout kolonu haricinde kalan alan

$$A = 70 \times 40 = 2800 \text{ m}^2 \quad (5.3)$$

$$A_1 = 1313 \times \Pi \times (0.30)^2 = 371.24 \text{ m}^2 \quad (5.4)$$

$$A_2 = 2800 - 371.24 = 2428.76 \text{ m}^2 \quad (5.5)$$

$$\bar{\sigma}_{kap} = ((26.2 \times 2428.76) + (439 \times 371.24)) / 2800 \quad (5.6)$$

$$\bar{\sigma}_{kap} = 80.93 \text{ t/m}^2 \approx 0.8 \text{ MPa} \quad (5.7)$$

$$q_{emin} = 80.93 / 3 = 26.98 \text{ t/m}^2 \approx 0.27 \text{ MPa} \quad (5.8)$$

Jet grout ile zemin iyileştirmesi yapılmadan önce 0.096 MPa olarak hesaplanan zemin emniyetli taşıma gücünün uygulamadan sonra, jet grout kolonlarının da içinde bulunduğu tüm alanda, ortalama 0.27 MPa değerine ulaştığı görülmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızdaki veriler, bulgular ve irdelemeler ışığında elde edilen sonuçlar ile öneriler aşağıda sunulmaktadır:

1. Jet grout uygulamasının bir zemin iyileştirme yöntemi olarak silt, kil ve kum gibi farklı zemin karakteristiklerinde istenilen sonuçları vermiş olduğu görülmüştür.

2. Uygulama aşamasındaki gözlemlerimiz ve deneysel bulgularımız, jet grout yöntemiyle zemindeki boşluk suyunun uzaklaştırılarak zeminin önemli oranda sıkıştırıldığını göstermektedir.

3. Çalışmamızdaki jet grout kolonlarının 35 adeti üzerinde bütünlük (Sonic integrity test) deneyi yapılmıştır. Yapılan deneylerde jet grout kolonlarının en az 0.60 m çap ve 20.0 m uzunluğunda olduğu görülmüştür. Bu sonuçlarla, jet grout kolonlarının hesaplarda ön görülen çap ve boy kriterlerini sağladığı görülmüştür. Bununla birlikte jet grout kolonların herhangi bir süreksizliğe uğramadığı anlaşılmıştır.

4. Proje kapsamında, 0.60 m çapında ve 20.0 m boyunda imal edilen jet grout kolonlarından bir tanesi üzerinde yükleme deneyi yapılmıştır. Kolon için proje yükü 60 ton olarak belirlenmiş, yükleme deneyi maksimum 90 tona kadar gerçekleştirilmiştir. Deneyde maksimum yüke kadar kolonda herhangi bir menfi durum gözlenmemiş olup, deney kolonu 5.40 mm kalıcı deplasman yapmıştır. Jet grout kolonu bu oturma değeri uyarınca proje yükünün %150' si olarak görülen 90 tonu göçme oluşmadan emniyetli olarak taşımıştır.

5. Jet grout uygulamasının hesaplarında ön görülen sınır değerlerinin tahkiki, jet grout kolonları üzerinde yapılan deneysel çalışmalarla başarıyla tamamlanmıştır. Söz konusu deneysel tahkiklerin yanı sıra, tezimize konu olan çalışmaya özel olarak, temel zeminini teşkil eden uygulama alanındaki jet grout kolonlarının dışında kalan zeminde ne miktarda bir iyileşme olduğu da ayrıca araştırılmıştır. Jet grout

kolonlarının kapladığı hacimlerde elde edilen dayanımların dışında, yalnızca iyileştirilen zemin kısmındaki toplam ortalama iyileşme oranının %74 mertebesinde gerçekleşmiş olduğu anlaşılmıştır.

6. Çalışmamız kapsamında, yapılan jet grout uygulaması sonrasında zemin emniyetli taşıma gücünün, jet grout kolonlarının da içinde bulunduğu tüm alanda, ortalama hangi değere ulaştığı araştırılmıştır. Çalışmamıza konu olan zeminin uygulamadan önceki maksimum taşıma gücü 0.262 MPa, jet grout kolonlarından alınan karot numunelerinin standart silindir basınç dayanımları ise ortalama 4.39 MPa olarak tespit edilmiştir. Jet grout ile zemin iyileştirmesi yapılmadan önce 0.096 MPa olarak hesaplanan zemin emniyetli taşıma gücünün uygulamadan sonra, jet grout kolonlarının da içinde bulunduğu tüm alanda, ortalama 0.27 MPa değerine ulaştığı görülmüştür.

7. Çalışmamızda, jet grout uygulama yöntemlerinden jet 1' in yanında jet 2 yöntemi de tatbik edildiği için bu iki farklı yöntemle ilgili bazı gözlem ve kıyaslamalar yapılabilmektedir:

- Jet 1 yönteminin uygulama hızının 28.30 kolon/gün, jet 2' yönteminin ise 30.5 kolon/gün olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgulara göre jet 2 yönteminin uygulama hızının jet 1' e göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.
- Jet grout kolon çapları 0.60 m olarak ön görülmüş olup jet 1 yöntemi ile imal edilen kolon çaplarının yaklaşık 0.60 m mertebesinde olduğu görülmüştür. Buna rağmen jet 2 uygulamasında ise, zeminin hava yardımıyla daha etkin yırtılmasından dolayı, imal edilen kolon çaplarının jet 1' e göre nispeten daha büyük olduğu gözlemlenmiştir.
- Jet 1 ile teşkil edilen kolonlardan alınan karot numunelerinin standart silindir basınç deneyinden elde edilen sonuçların ortalama değeri 4.52 MPa, jet 2' den elde edilenlerin ise 4.33 MPa olduğu tespit edilmiştir. Uygulama hızı ve kolon çapları jet 2' den daha düşük olmasına rağmen, jet 1 ile oluşturulan kolonların dayanımlarının jet 2' ye nispeten daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akbulut S., Saglamer A., 2002. Estimating The Groutability of Granular Soils: A New Approach, Tunnelling and Underground Space Technology.
- Anonim, 1997. ASCE Soil Improvement and Geosynthetics Committee, Ground Improvement Subcommittee. "Soil Improvement and Geosynthetics Committee Report," Ground Improvement, Ground Reinforcement and Ground Treatment, Developments 1987-1997, Geotechnical Special Publication No. 69, Proceedings of the sessions sponsored by the Committee on Soil Improvement and Geosynthetics of the Gee-Institute of ASCE in conjunction with Geo- Logan '97, Logan, Utah July 1997, V.R. Schaefer, cd., ASCE, pp. 1-371.
- ASTM D 1143 - 81, 1981 (Reapproved 1994), Standard test method for piles under static axial compressive load, Philadelphia / American Society for Testing and Materials.
- Aldrich H.P., 1965. Precompression For Support Of Shallow Foundations, J. Soil Mech. And Found. Div., ASCE, 3.
- Ayan E., 2009. Derin Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enst., İstanbul, 251281.
- Bakım M. A., 2007. Enjeksiyon Yöntemleriyle Zemin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniv., Fen Bilimleri Enst, Isparta, 200551.
- Ballarin L., Forti F., 1998. The use of jet grouting method for the stabilization of the underground. Geotechnical Hazards, Balkema, 485-488.
- Baş K., 2006. Temel Takviye Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enst., İstanbul, 222776.
- Baumann V., 1984. "Das Soilcrete - Verfahren in der Baupraxis", Vorträge der Baugrundtagung , Duesseldorf: 49 - 83. DGEG.
- Bell A.L. 1993. Jet-grouting. In Ground improvement. Edited by E.D. Moseley. Chapman and Hall, Glasgow, pp. 149-174.
- Bowles 1988., Foundation Analysis and Design, 4th edition, page:409.
- Brown R. E., 1977. Vibrofloatation Compaction of Cohesionless Soils, J. Geotech. Engng. Div. ASCE, 103, GTI2, 1437-1451.
- Bruce D. A., 1988. Aspects of Minipiling Practice in the u.s., Ground Engineering Vol. 21, No:8, 20-33.
- Ballarin L., Forti, F., 1998. The use of jet grouting method for the stabilization of the underground. Geotechnical Hazards, Balkema, 485-488.

- Chai J. C., , Miura, N., 1999. Investigation of factors affecting vertical drain behavior. *J. Geotech. and Geoenviron. Engrg., ASCE*, 125(3), 216–226.
- Durgunoğlu H. T., Kulaç H. F., Oruç K., Öge C.E., Eker F.Ş., 1998. “Jet Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirme Üzerine Bir Uygulama”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*, Yıldız teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Durgunoğlu H. T., Kulaç, H. F., Oruç, K., Yıldız, R., Sickling, J., Boys, I. E., Altugu, T., And Emrem, C., 2003. “A Case History of Ground Treatment with Jet Grouting Against Liquefaction for a Cigarette Factory in Turkey”, *Grouting and Grout Treatment*, February 2003, New Orleans, USA
- Durgunoğlu H. T., 2004. Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Düzceer R., 2004. Sakhalin Doğalgaz ve Petrol İşleme Tesisi Kazık İşleri, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Erdil B., 2008. Jetgrout Kolonu Tasarım Taşıma Gücü Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enst., İstanbul, 246766.
- Ergun U., Özkan Y., Önalp A. ve Keçeli A., (2005). Parsel Bazında Zemin - Temel Etüdüleri ve Zemin İyileştirme İşleri Hakkında Yönetmelik Taslağı Ön Raporu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Glossop R., 1960. The Invention and Development of the Injection Processes *Geotechnique*, 10: 1-91.
- Gökalp A., Düzceer R., (2002). “Ground Improvement by jet grouting technique for foundations of a natural gas combined cycle power plant in Turkey” Ninth International Conference & Exhibition on Piling and Deep Foundations, DFI, October 2002, Nice, France.
- Göksu E., 1974. 1/500 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, SAMSUN, MTA Yayınları, Ankara.
- Gallavresi F., 1992, *Grouting Improvement of Foundation Soils Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics*, Geotechnical Special Publication, ASCE, Cilt 1, s. 1-39.
- Greenwood D. A., Kirsh, K., 1984. Specialist Ground Treatment by Vibrotory and Dynamic Methods. State of the Art, Proc. Int. Symposium on Piling and Ground Treatment, London, 17-45.
- HS – JEOTEK programı
- I.C.E., 1976. *Ground Treatment by Deep Compaction*, London, 154.
- Johnson S. J., 1970a. Precompression for Improving Foundation Soils, *J. Soil Mech. And Found. Div. ASCE*. (96), SMI, 11-144. ; 1968 Placement Improvement of Soil to Support Structures, Cambridge, Mass. ASCE Speciality Conf., 53-86.
- Johnson S. J., 1970b. Foundation Precompression With Vertical Sand Drains, *J. Soil Mech. and Found. Div. ASCE*. (96), SMI, 145-175. ; 1968 Placement Improvement of Soil to Support Structures, Cambridge, Mass. ASCE Speciality Conf., 9-39 (Discussion 40-52)

- Kauschinger J.L., Welsh J.P., 1989. Design and construction and performance of earth support systems, MIT, Cambridge.
- Kauschinger J.L., Perry E.B., Hankour R., 1992. Jet-Grouting: State-of the-Practice, Grouting Soil Improvement and Geosynthetics, A.S.C.E. Speciality Con., 1, 169-181, New Orleans.
- Kirsch F., Sondermann W., 2001. "Ground improvement and its numerical analysis". Proc. 15th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engg., Istanbul 2001, A.A. Balkema, S. 1775 - 1778
- Kutzner C., 1996. Grouting of Rock and Soil, Balkema, Rotterdam
- Küçükali N., 2008. Demiryolu Altyapısının Jet Enjeksiyon İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniv., Fen Bilimleri Enst., Trabzon, 179185.
- Küsin C.C., 2009. Jet Grout Yöntemi İle İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniv., Fen Bilimleri Enst., Adana, 244321.
- Liquefy Pro programı
- Langbehn W. K., 1986. The Jet Grouting Method: Report, Department of Civil Engineering, University of Berkeley (California): 156p.
- Lloret A., Alonso, E.E., Gens, A., Suriol, J., 1991. Horizontal load tests on jetgrouted columns. Proc. XECSMFE, Floransa, 2, 471-474.
- Loos W., 1936, "Comparative Studies of the Effectiveness of Different Methods for Compacting", International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 3, p:174-179.
- Lunardi P., 1977. "Ground Improvement by Means of Jet-Grouting", Ground Improvement, ISSMFE Thomas Telford, Vol 1 No:2, pp. 65 - 86.
- Melegary C., Garassino A.L., 1997. Seminar on Jet Grouting, CI-Premier Pte. Ltd., Singapore.
- Omine K., Ochiai H., Yoshida N., 1998. "Estimation of In – Situ Strenght of Cement – Treated Soils Based on a Two – Phase Mixture Model", Soils & Foundations, Vol. 38, No. 4, pp. 17 – 29.
- Ou C.Y., Teng F.C., Wangi I. W., 2007. "Analysis and Design of Partial Ground Improvement in Deep Excavations", Computers and Geotechnics 35 576 – 584.
- Önalp A., (1982). "İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2, 1160.
- Önalp A., Sert S., 2006. Geoteknik Bilgisi III- Bina Temelleri, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özsoy B., Durgunoğlu H. T., 2003. "Sıvılaştırma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması", 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Pilot G., 1977. Methods of Improving the Engineering Properties of Soft Clay: State of the Art, Proc. Int. Symposium on Soft Clay, Bangkok.

- Priebe H. J., 1991. 'Vibro Replacement- Design Criteria and Quality Control', Deep Foundation Improvements: Design, Construction and Testing. ASTM STP 1089, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp. 62- 73.
- Racansky V., Schweiger H.F., Thurner R., 2008. "FE-Analysis of the Behaviour of Buttressed Jet Grouted Retaining Walls" Proc. 12th Int. Conf. Computer Methods and Advances in Geomechanics,, 3984 - 3992
- Rausche K., 1988. Recent WEAP Developments, Proceedings of the Third International Seminar on the Application of Stress Wave Theory to Piles, Ottawa.
- Rixner J. J., Kraemer S. R. and Smith, A. D., 1986. Prefabricated Vertical Drains: vol. 1 Engineering Guidelines, FHWA/RD-86/168, FHWA, Springfield, Virginia.
- Sağlamer A., 1996. Temel İnşaatı II Ders Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul (yayımlanmamış).
- Sağlamer A., Düzceer, R., Gokalp, A., Yılmaz, E., 2002. "Ground Improvement by Jet Grout Columns for the Foundations of an Automobile Plant in Turkey" Deep Foundations, Proceedings of the International Deep Foundations Congress 2002, February 14-16, 2002, Orlando, Florida, GSP No.116.
- Sert S., Önalp A., 2007. "Turba Üzerine Yapılmış Rijit Platformun Oturmaları ve Kontrolü", ZMTM 1. Özel Konulu Sempozyumu: Teori ve Uygulamada Zemin - Yapı Etkileşimi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, sayfa: 181-185, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Schaefer V. R., 1997. Ground Improvement, Ground Reinforcement, Ground Treatment Developments 1987-1997, Proceedings of Sessions sponsored by the Committee of Soil Improvements and Geosynthetics of Geoinstitute of the ASCE, Geotechnical Special Publication No:69.
- Stocker M. F., 1994. 40 Years of Micropiling, 20 Years of Soil Nailing Where do we Stand Today XIII I.C.S.M.F.E., New Delhi, 5, 167-168.
- Stoel A., 2001. Grouting for Pile Foundation Improvement. PhD Thesis, Delf University, Amsterdam, Netherlands.
- Tabban A., 2000. Kentlerin Jeolojisi ve Deprem Durumu, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları : 56, Ankara .
- TS10465, 1992, Beton deney metotları- Yapı ve yapı bileşenlerinde sertleşmiş betondan numune alınması ve basınç mukavemetinin tayini (tahribatlı metot), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN-12716, 2002. Özel Jeoteknik Uygulamalar-Jet Enjeksiyon, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunçdemir F., 2004. Türkiye Mühendislik Haberleri, _MO, 430-2, Ankara, Türkiye.
- Ergun U., 2002. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Semineri, Bölüm 5: Zemin İyileştirme Yöntemleri, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Xanthakos P.P., Abramson, L.W., Bruce, D.A. 1994. Ground Control and Improvement. John Wiley & Sons, Inc.
- Warner J., Brown, D.R., 1974. Planning and Performing Compaction Grouting, Jr. Of G.T. Eng. Div. A.S.C.E. Vol. 100, 653-666.

- Welsh J.P., Rubright, R.M. and Coomber, D.B.,1986. “Jet grouting for support of structures”, Proceedings ASCE Convention, Seattle, 17p.
- Weltman A., 1982. A Review of Micro Pile Types, Ground Engineering Vol. 14, No:4, 43-49.
- Witt K.J. and Smolczyk U., 2002. Geotechnical Engineering Handbook, 1st edition, Vol.2, Chap.2.3, Ernst und Sohn, Berlin.
- Wong J.G., Poh T.Y., 2000. “ Effects of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures”, J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 247 - 256.
- Yahiro T. and Yoshida, H., 1973. Induction grouting method utilizing high speed water jet, 8th International conference on soil mechanics and foundation engineering, Moscow, August.
- Yıldırım S., 2011. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı,Birsen Yayınevi, İstanbul.
- URL-1:<http://mlengineering.weebly.com/foundation-equipment.html> (Ziyaret Tarihi: 28 Mayıs 2015).
- URL-2: <http://www.builtconstructions.in/OnlineMagazine/Bangalore/Pages> (Ziyaret Tarihi: 30 Mayıs 2015).
- URL-3: <http://zeminteknolojileri.com/tr> (Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2015).
- URL-4: <http://www.kocea.or.kr> (Ziyaret Tarihi: 01 Haziran 2015).
- URL-5: <http://www.zetas.com.tr/index.php> (Ziyaret Tarihi: 02 Haziran 2015).
- URL-6: <http://www.pacificblasting.com/blasting.html> (Ziyaret Tarihi: 05 Haziran 2015).
- URL-7: <http://emlakansiklopedisi.com/wiki/jet-grout> (Ziyaret Tarihi: 05 Haziran 2015).
- URL-8: <http://tezmanmuhendislik.com/urun/kil-matkaplari-245.htm> (Ziyaret Tarihi: 07 Haziran 2015).

EKLER

EK A: Laboratuvar Deney Raporları

Sondaj No.	Numune No.	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal Yoğunluk (g/cm ³)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı	Direk Kesme Deneyi		Tek Eksenli Basınç	Üç Eksenli Basınç Deneyi (UU)		Konsolidasyon Deneyi	
					No. 4 Kalan (%)	No. 200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)		c (kgf/cm ²)	φ (°)		c (kgf/cm ²)	φ (°)	Şişme Basıncı (kgf/cm ²)	Şişme Yüzdesi
SK-1	SPT-2	3,00-3,45	43,4		1,2	78,3	63,0	27,0	36,0	CH							
"	SPT-4	6,00-6,45	46,4		0,9	74,9	66,0	31,0	35,0	CH							
"	SPT-5	7,50-7,95	24,6		0,0	8,3		NP		SP-SM							
"	SPT-7	10,50-10,95	19,7		0,0	7,6		NP		SP-SM							
SK-2	SPT-1	1,50-1,95	39,7		0,0	73,2	59,7	29,7	30,0	CH							
"	SPT-4	6,00-6,45	41,2		0,0	74,6	68,5	36,3	32,2	MH							
"	SPT-6	9,00-9,45	23,4		0,0	18,4		NP		SM							
SK-3	SPT-7	10,50-10,95	19,7		0,0	18,6		NP		SM							
SK-4	SPT-6	9,00-9,45	18,4		0,0	7,4		NP		SM-SP							
SK-5	SPT-1	1,50-1,95	38,6		0,0	73,5	69,3	32,7	36,6	CH							
"	SPT-4	6,00-6,45	19,2		0,0	8,3		NP		SP-SM							

Şekil A.1. Laboratuvar deney raporu-1.

Sondaj No.	Numune No.	Derinlik (m)	Su içeriği (%)	Doğal Yoğunluk (g/cm ³)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı	Direk Kesme Deneji		Tek Eksenli Basınç	Üç Eksenli Basınç Deneji (UU)		Konsolidasyon Deneji	
					No. 4 Kalan (%)	No. 200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)		c (kgf/cm ²)	φ (°)		q _u (kgf/cm ²)	c (kgf/cm ²)	φ (°)	Şişme Yüzdesi
SK-3	UD-1	4,00	50,2	1,79	0,9	71,5	80,9	44,1	36,8	MH			0,43	2	0,94	0,106	
"	UD-2	7,00	40,8	1,77	0,8	74,2	68,5	36,1	32,4	MH			0,44	3	1,03	0,118	
SK-4	UD-1	2,50	42,0	1,79	0,0	91,7	81,2	39,8	41,4	MH			0,50	3	0,86	0,094	
"	UD-2	7,00	59,6		0,5	66,6	76,3	30,3	46,0	CH							

Şekil A.2. Laboratuvar deney raporu-2.

EK B: Geoteknik Değerlendirmeler

Derinlik (m)	Zemin Tanımı	SPT_N	LL (%)	PL (%)	PI (%)	Wn (%)	#4 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	Zemin Sınıfı	Drenajlı Parametre		Drenajsız Parametre	
										c (kPa)	ϕ	cu (kPa)	ϕ
0	Siltli-Kil												
1.5	Siltli-Kil	5										20.00	0.00
3	Siltli-Kil	5	63	27	36	43.4	1.2	78.3	CH	2.00	26.78	20.00	0.00
4.5	Siltli-Kil	5										20.00	0.00
6	Siltli-Kil	9	66	31	35	46.4	0.9	74.9	CH	2.00	26.96	36.00	0.00
7.5	Kum	34		NP		24.6	0	8.3	SP-SM	0.00	35.20		
9	Kum	44								0.00	37.98		
10.5	Kum	50		NP		19.7	0	7.6	SP-SM	0.00	39.49		
12	Kum	50								0.00	39.49		
13.5	Kum	50								0.00	39.49		
15	Kum	50								0.00	39.49		

Şekil B.1: SK-1' den elde edilen geoteknik veriler.

Derinlik (m)	Zemin Tanımı	SPT_N	LL (%)	PL (%)	PI (%)	W _n (%)	#4 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	Zemin Sınıfı	Drenajlı Parametre		Drenajsiz Parametre	
										c (kPa)	ϕ	cu (kPa)	ϕ
0	Siltli-Kil												
1.5	Siltli-Kil	5	59.7	29.7	30.0	39.7	0	73.2	CH	2.00	27.95	20.00	0.00
3	Siltli-Kil	7										28.00	0.00
4.5	Siltli-Kil	5										20.00	0.00
6	Siltli-Kil	8	68.5	36.3	32.2	41.2	0	74.6	MH	2.00	27.50	32.00	0.00
7.5	Siltli-Kil	16										64.00	0.00
9	Kum	36		NP		23.4	0	18.4	SM	0.00	35.78		
10.5	Kum	47								0.00	38.75		
12	Kum	50								0.00	39.49		
13.5	Kum	50								0.00	39.49		
15	Kum	50								0.00	39.49		

Şekil B.2. SK-2' den elde edilen geoteknik veriler.

Derinlik (m)	Zemin Tanımı	SPT_N	LL (%)	PL (%)	PI (%)	W _n (%)	#4 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	Zemin Sınıfı	Drenajlı Parametre			Drenajsız Parametre		
										c (kPa)	ϕ	cu (kPa)	ϕ		
0	Siltli-Kil														
1.5	Siltli-Kil	5												20.00	0.00
3	Siltli-Kil	4												16.00	0.00
4.5	Siltli-Kil	7	80.9	44.1	36.8	50.2	0.9	71.5	MH			2.00	26.64	28.00	0.00
6	Siltli-Kil	7												28.00	0.00
7.5	Siltli-Kil	10	68.5	36.1	32.4	40.8	0.8	74.2	MH			2.00	27.46	40.00	0.00
9	Siltli-Kil	25												100.00	0.00
10.5	Kum	43		NP		19.7	0	18.6	SM			0.00	37.72		
12	Kum	50										0.00	39.49		
13.5	Kum	50										0.00	39.49		
15	Kum	50										0.00	39.49		

Şekil B.3. SK-3' den elde edilen geoteknik veriler.

Derinlik (m)	Zemin Tanımı	SPT _N	LL (%)	PL (%)	PI (%)	W _n (%)	#4 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	Zemin Sınıfı	Drenajlı Parametre		Drenajsız Parametre	
										c (kPa)	ϕ	cu (kPa)	ϕ
0	Siltli-Kil												
1.5	Siltli-Kil	4										16.00	0.00
3	Siltli-Kil	5	81.2	39.8	41.4	42	0	91.7	MH	2.00	25.89	20.00	0.00
4.5	Siltli-Kil	6										24.00	0.00
6	Siltli-Kil	9										36.00	0.00
7.5	Siltli-Kil	10	76.3	30.3	46.0	59.6	0.5	66.6	CH	2.00	25.23	40.00	0.00
9	Kum	50		NP		18.4	0	7.4	SM-SP	0.00	39.49		
10.5	Kum	50								0.00	39.49		
12	Kum	50								0.00	39.49		
13.5	Kum	50								0.00	39.49		
15	Kum	50								0.00	39.49		

Şekil B.4: SK-4' den elde edilen geoteknik veriler.

Derinlik (m)	Zemin Tanımı	SPT _N	Drenaj Parametre							Drenaj Parametre		Drenajsiz Parametre		
			LL (%)	PL (%)	PI (%)	W _n (%)	#4 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	Zemin Sınıfı	c (kPa)	ϕ	cu (kPa)	ϕ	
0	Siltli-Kil													
1.5	Siltli-Kil	3	69.3	32.7	36.6	38.6	0	73.5	CH	2.00	26.68	12.00	0.00	
3	Siltli-Kil	4										16.00	0.00	
4.5	Siltli-Kil	17										68.00	0.00	
6	Kum	19		NP		19.2	0	8.3	SP-SM	0.00	30.10			
7.5	Kum	28								0.00	33.33			
9	Kum	42								0.00	37.45			
10.5	Kum	50								0.00	39.49			
12	Kum	50								0.00	39.49			
13.5	Kum	50								0.00	39.49			
15	Kum	50								0.00	39.49			

Şekil B.5. SK-5' den elde edilen geoteknik veriler.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serkan GÜL

Doğum Yeri ve Tarihi : Bitlis / 13.03.1977

E-Posta : serkangultr@gmail.com

Lisans : Yıldız Teknik Üniversitesi

Mesleki Deneyim : Aksa İnş. Tic. Ltd. Şti. 1998-1999
Özgü İnş. Tic. Ltd. Şti. 2000-2001
Çamsan A.Ş. 2001-2002
Kolin A.Ş. 2002-2003
Milli Savunma Bakanlığı İnş.
Emlak ve NATO Enf. Blg.Bşk.lığı 2003-2007
Ordu Üniversitesi 2007-Halen