

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ENJEKSİYON YÖNTEMLERİYLE
ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Mustafa Arlan BAKIM

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2007**

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. Enjeksiyon Teknikleri.....	4
2.1.1. Emdirme Enjeksiyonu.....	5
2.1.2. Kompaksiyon Enjeksiyonu.....	8
2.1.3. Çatlatma Enjeksiyonu.....	11
2.2. Enjeksiyon Malzemeleri.....	13
2.2.1. Çimento Esaslı Karışımlar.....	14
2.2.1.1. Enjeksiyonda Kullanılan Çimento Karışımlarının Özellikleri.....	16
2.2.2. Enjeksiyonda Kullanılan Dolgu Malzemeleri.....	18
2.2.2.1. Killerin Enjeksiyonda Kullanımı.....	19
2.2.2.2. Puzzolanların Enjeksiyonda Kullanımı.....	20
2.2.2.3. İnce Kumların Enjeksiyonda Kullanımı.....	20
2.2.2.4. Enjeksiyonda Kullanılan Katkı Maddeleri.....	20
2.3. Jet Grout Zemin Enjeksiyonu.....	21
2.3.1. Jet Grout Teknikleri.....	28
2.3.2. Jet Grout Yönteminde Kullanılan İşletim Parametreleri.....	30
2.3.2.1. Enjeksiyon Basıncı.....	30
2.3.2.2. Dönme ve Çekme Hızı.....	31
2.3.2.3. Dozaj.....	32
2.3.3. Farklı Zeminlerde Jet Grout Uygulama Parametreleri.....	33

2.3.4. Bir Jet Grout Kolonun Mekanik Karakteristikleri.....	34
2.3.5. Jet Grout Kolonun İmalatında Kullanılacak Çimento Miktarının ve Parametrelerinin Hesaplanması.....	36
2.3.6. Jet Grout Kolonlarda Zemin-Çimento Karışımının Mukavemeti	39
2.3.7. Jet Grout Kolonların Taşıma Kapasitesi.....	40
2.3.8. Jet Grout Kolonlarla Yapılan Zemin İyileştirilmesindeki Analizler.....	44
2.3.9. Jet Grout Kolonlarının Kontrol Edilmesi.....	51
2.3.9.1. Karot Numunelerinin Alınması.....	51
2.3.9.2. Kazık Yükleme Deneyi.....	52
2.3.9.3. Kazık Süreklilik Deneyi.....	53
2.3.9.4. Çap Kontrolü.....	54
2.4. Jet Enjeksiyon Yöntemlerindeki Gelişmeler.....	54
2.5. Jet Grout Kolonların Zeminlerin Sıvılaşma Direnci Üzerine Etkisi.....	55
2.5.1. Sıvılaşmanın Tanımı ve Sıvılaşma Kriterleri.....	55
2.5.2. Periyodik Gerilme Oranı (CSR).....	58
2.5.3. Devirsel Direnç Oranı (CRR).....	59
2.5.4. Sıvılaşmaya Karşı Emniyet Faktörü.....	60
2.5.5. Çevrimsel Gerilim Azaltım faktörü.....	64
2.5.6. Sıvılaşma Potansiyeli Analizlerinde CPT Verilerinin Kullanılması.....	69
2.6. Jet Grout Kolonların Zeminlerin Sıvılaşma Etkisi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	71
2.7. Jet Grout Kolonların Mukavemet Özellikleri	74
2.8. Jet Grout Kolonların İksa Yapılarının Desteklenmesinde Kullanılması Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	78
2.9. Jet Grout Kolonların Zemindeki Oturmaların Azaltılmasına Etkisi Üzerine Yapılan Çalışmalar.....	80
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	83
3.1. Birinci Çalışma Sahası.....	83
3.1.1 Giriş.....	83
3.1.2. Zemin Özellikleri.....	85
3.1.3. Jet Grout Parametrelerinin Belirlenmesi ve Kontrolü.....	87
3.1.4. Jet Grout Proje Planlaması.....	89
3.1.5. Jet Grout Kazık Yükleme Deneyi.....	91

3.1.6. Karot Numunelerin Alınması.....	95
3.1.7. Kazık Süreklilik Deneyleri.....	95
3.2. İkinci Çalışma Sahası	96
3.2.1. Giriş.....	96
3.2.2. Zemin Özellikleri.....	97
3.2.3. Jet Grout işletim Parametreleri, Deneyler ve Zeminde Teşkil Edilen Kolonlar.....	102
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	105
4.1. Birinci Çalışma Sahasına Ait Sonuçların Değerlendirilmesi.....	105
4.2. İkinci Çalışma Sahasına Ait Sonuçların Değerlendirilmesi.....	110
5. SONUÇ.....	119
6. KAYNAKLAR.....	121
EKLER.....	126
ÖZGEÇMİŞ.....	157

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENJEKSİYON YÖNTEMLERİYLE ZEMİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Mustafa Arlan BAKIM

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri: Prof. Dr. Muhittin GÖRMÜŞ
Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN (Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Soner UZUNDURUKAN

Zemin enjeksiyonları özellikle son 10-15 yıllık bir dönemde zeminlerde meydana gelen oturmaların, sıvılaşma etkilerinin azaltılmasında ve zemin taşıma kapasitesinin artırılmasında kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında enjeksiyon teknikleri araştırılmış ayrıca jet grout zemin enjeksiyonu yöntemi çok farklı zeminlerde başarıyla uygulanabilmesi ve temel mühendisliğinde ekonomik çözümler sunması sebebiyle ağırlıklı olarak ele alınmıştır.

Araştırmalar kapsamında Çorlu'da Avrupa Serbest Bölgesi Polyplex Polyester Fabrikası ek binaları jet grout zemin iyileştirilmesi ile Antalya'da İstanbul Oteli Lojman binalarının temel altı jet grout zemin iyileştirilmesi sonucu ıslah öncesi ve ıslah sonrası zemin mühendislik özelliklerinin (taşıma gücü, oturma özellikleri, sıvılaşma özellikleri vb.) değişimi incelenmiş ve zeminde teşkil edilen jet grout kolonlarında yapılan süreklilik, kolon yükleme deneyleri ile kolonlardan alınan karot numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyleri sonuçları değerlendirilerek uygulamanın etkinliği analiz edilmiştir.

Her iki çalışma sahasında teşkil edilen yüksek modüllü jet grout kolonların temel zemininin emniyet gerilmesinin artırılmasına, sıvılaşma riskinin ortadan kaldırılmasına ve oturma koşullarının sağlanmasına önemli ölçüde etkisi görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirilmesi, enjeksiyon teknikleri, jet grout yöntemi,

2007, 157 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SOIL STABILIZATION WITH SOIL ENJECTION METHODS

Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences

Civil Engineering Department

**Thesis Committee: Prof. Dr. Muhittin GÖRMÜŞ
Yrd. Doç. Dr. Ömür ÇİMEN (Supervisor)
Yrd. Doç. Dr. Soner UZUNDURUKAN**

Soil injections especially are used to reduce settlement and liquefaction effects of soils and increase bearing capacity of ground for last 10-15 years.

In this thesis study, the soil injection techniques are investigated and it is emphasized that the jet grouting technique can be used in treating a wide range of soil types and performing economic solutions for ground engineering.

In the scope of works, the ground engineering properties (liquefaction potential, settlement, bearing capacity) of soils of Polyplex Polyester Factory in European Free Zone in Çorlu and Istanbul Palace Otel lodging buildings in Antalya are measured before and after soil stabilizing by jet grouting and the efficiency of application is analyzed by pile integrity tests, loading tests and uni-axial compression tests of core samples of jet grouting columns constituted in the ground.

Installation of the high modulus jet-grout columns on both sites, increased the bearing capacity of the ground, decreased the liquefaction potential and satisfied the settlement conditions.

Key Words: Soil stabilization, Soil injection techniques, jet grouting method,

2007, 157 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Ömür Çimen'e teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma süresince yakın ilgi ve görüşlerini esirgemeyen Prof.Dr. Turan DURGUNOĞLU'na teşekkürlerimi sunuyorum.

Araştırmanın yürütülmesinde maddi ve manevi yardımlarını gördüğüm Zetaş A.Ş. Genel Müdür Yardımcısı İnşaat Yük. Müh. Selim İkiz ve Zetaş A.Ş. Genel Koordinatörü İnş. Yük. Müh. Cevdet BAYMAN ve tüm Zetaş A.Ş. personeline teşekkür ederim.

1187-YL-05 No'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Mustafa Arlan BAKIM

Isparta, 2007

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Temel enjeksiyon teknikleri şematik gösterimi.....	4
Şekil 2.2. Kademeli enjeksiyon işlemi.....	8
Şekil 2.3. Kompaksiyon enjeksiyonunun şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.4. Akaryakıt tanklarında kompaksiyon enjeksiyonu.....	10
Şekil 2.5. Çatlatma enjeksiyonu şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.6. Kompaksiyon enjeksiyonu ile çatlatma enjeksiyonunda derinlikle uygulanan enjeksiyon basıncının değişimi.....	13
Şekil 2.7. Jet grout sistemi şematik gösterimi.....	23
Şekil 2.8. Jet grout çimento silosu, pompa ve santral üniteleri.....	23
Şekil 2.9. Jet grout delgi makinesi (SM-405).....	24
Şekil 2.10. Jet grout enjeksiyon pompası (Tw-600).....	24
Şekil 2.11. Kademeli delgi matkabı.....	26
Şekil 2.12. Kademeli olmayan delgi matkabı.....	26
Şekil 2.13. Jet1 yöntemi şematik gösterimi	28
Şekil 2.14. Jet2 yöntemi şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.15. Jet3 yöntemi şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.16. Basınç-kademeli bekleme süresi-hedeflenen kolon çapı ilişkileri.....	31
Şekil 2.17. İslah edilmiş zemin sınıfına göre farklı tipteki zeminlerde taşıma kapasitesinin değişimi.....	36
Şekil 2.18. Jet grout kolonlarında muhtemel kayma yüzeyi.....	42
Şekil 2.19. Jet grout kolonlarıyla ıslah edilen zeminin blok taşıma kapasitesi.....	44
Şekil 2.20. Jet grout kolonlarla iyileştirilen zemindeki oturmaların gelişimi.....	46
Şekil 2.21. Genişliği B olan temelin gerilme dağılımı.....	49
Şekil 2.22. Jet grout kolonlarıyla ıslah edilmiş zemin.....	51
Şekil 2.23. Kazık süreklilik testi.....	53
Şekil 2.24. Standart yöntemle oluşturulmuş jet grout kolonlar.....	54
Şekil 2.25. Süperjet yöntemiyle oluşturulmuş kolonlar.....	54
Şekil 2.26. Devirsel direnç oranı – düzeltilmiş SPT ilişkisi.....	60
Şekil 2.27. Devirsel direnç oranı-düzeltilmiş kayma dalgası hızı ilişkisi.....	64

Şekil 2.28. Deprem kayma dalgalarının dağılım modeli ve birim hücrenin tanımlanması.....	67
Şekil 2.29. Birim alan ve kayma modülü oranlarına göre azaltım eğrileri.....	68
Şekil 2.30. Temiz kum, siltli kum ve kumlu silt için $M=7.5$ depremlerinde kullanılan devirsel direnç oranı ile düzeltilmiş CPT uç direnci ilişkisi.....	69
Şekil 2.31. Temiz çakıl ve siltli çakıl için $m=7.5$ depremlerinde kullanılan devirsel direnç oranı ile CPT uç direnci değerleri ilişkisi.....	70
Şekil 2.32. Mabeynci Arif Bey yalı'sı İnşaatı.....	72
Şekil 2.33. Jet grout kolonların mukavemet aralıkları.....	75
Şekil 2.34. Elastisite modülü-tek eksenli basınç mukavemeti ilişkisi.....	76
Şekil 2.35. Süperjet kolonları numuneleri 3,7,14,28 günlük dayanımları.....	77
Şekil 2.36. Jet grout uygulaması tipik zemin kesiti.....	78
Şekil 2.37. İslah öncesi ve ıslah sonrası inklinometre ölçümleri.....	79
Şekil 2.38. La Rosita elektrik santrali çalışma sahası zemin jeolojik kesiti.....	80
Şekil 2.39. La Rosita elektrik santrali yapıları ıslah öncesi ve ıslah sonrası oturmaların değişimi.....	81
Şekil 3.1. Çorlu Avrupa Serbest Bölgesi haritası.....	83
Şekil 3.2. Polyplex ek binaları inşaatı yerleşim planı ve sondaj noktaları.....	84
Şekil 3.3. Polyplex ek binaları inşaatı jet grout yerleşim detayı.....	89
Şekil 3.4. Polyplex ek binaları zemin iyileştirilmesi jet grout kolon kesitleri.....	90
Şekil 3.5. polyplex ek binaları zemin iyileştirilmesi jet grout kazık yükleme test ekipmanları kesit.....	91
Şekil 3.6. Polyplex ek binaları jet grout zemin iyileştirilmesi yükleme kazıkları ve test kirişi yerleşim planı.....	92
Şekil 3.7. Jet grout kolon yükleme deneyi test ekipmanları düzeneği	94
Şekil 3.8. İstanbul oteli lojmanları inceleme alanı yerbulucu haritası.....	96
Şekil 3.9. İstanbul oteli lojmanları çalışma platformu zemini.....	96
Şekil 3.10. Lojman bölümü yapıları yerleşim planı, sondaj ve CPT noktaları.....	97
Şekil 3.11. İstanbul oteli lojmanları a ve b bloklar jet grout kolon kesitleri.....	102
Şekil 3.12. İstanbul oteli lojmanları a ve b bloklar jet grout temel birleşim detayı.....	103
Şekil 4.1. Polyplex ek binaları inşaatı inceleme alanı jeolojik kesiti	106

Şekil 4.2. Çorlu-Polyplex jet grout yükleme deneyi deformasyon-yük grafiği....	109
Şekil 4.3. Çorlu-polyplex jet grout yükleme deneyi deformasyon-zaman grafiği.....	109
Şekil 4.4. Çorlu-Polyplex jet grout yükleme deneyi yük-zaman grafiği.....	110
Şekil 4.5. İstanbul oteli lojmanları inşaatı inceleme alanı jeolojik kesiti.....	112
Şekil 4.6. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout test kolonları.....	113
Şekil 4.7. İstanbul oteli lojmanları inşaatı galeri çukurları ve radye temel altı jet grout kolonları.....	114
Şekil 4.8 İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout kolon yükleme deneyi yük-zaman grafiği.....	116
Şekil 4.9. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout kolon yükleme deneyi deformasyon-yük grafiği.....	116
Şekil 4.10. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout kolon yükleme deneyi deformasyon-zaman grafiği.....	117
Şekil 4.11. İnce dane yüzdesi-tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi.....	118
Şekil 4.12. SPT N ₃₀ -tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi.....	118
Şekil E 3.1. 1 nolu sondaj kuyusu üç eksenli basınç deneyi kayma gerilmesi-normal gerilme grafiği.....	131
Şekil E 4.1. 1 nolu sondaj kuyusu ud-1 numuneleri konsolidasyon deneyi boşluk oranı – log-p garfiği	134
Şekil E 5.1. Birinci çalışma sahası jet grout kolon dispozisyon planı	135
Şekil E 7 Polyplex kazık süreklilik deneyi sonuçları	139
Şekil E 8 İkinci çalışma sahası 1,2,3 ve 4 nolu zemin sondajları düzeltilmiş spt değerleri derinlikle değişimi.....	140
Şekil E 9 İkinci çalışma sahası cpt deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açısı derinlikle değişimi	141
Şekil E.11.1 2 nolu sondaj kuyusu ud2 numuneleri 50 kpa hücre basıncında deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafiği.....	145
Şekil E.11.2 2 nolu sondaj kuyusu ud2 numuneleri 100 kpa hücre basıncında deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafiği ve gerilme daireleri.....	146

Şekil E 11.3. 4 nolu sondaj kuyusu ud2 numuneleri 50 kpa hücre basıncında deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafiği.....	147
Şekil E 11.4. 4 nolu sondaj kuyusu ud2 numunleri 100 kpa hücre basıncında deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafiği ve gerilme daireleri.....	148
Şekil E 12.1 Zamana bağlı konsolidasyon değerleri (4kg yükleme zamanlamasına göre verilmiştir.....	150
Şekil E 12.2 Zamana bağlı konsolidasyon değerleri (8 kg yükleme zamanlamasına göre verilmiştir.....	151
Şekil E 12.3 e – LogP eğrisi	152
Şekil E 13.1. istanbul oteli lojmanları zemini 2 nolu cpt verilerinden elde edilen cpt uç direnci, devirsel direnç oranı ve güvenlik sayısının derinlikle değişimi	153
Şekil E 13.2. İstanbul oteli lojmanları zemini 3 nolu cpt verilerinden elde edilen cpt uç direnci, devirsel direnç oranı ve güvenlik sayısının derinlikle değişimi.....	154

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Enjeksiyon malzemesi türlerine göre emdirme enjeksiyonunun uygulanabildiği zemin ortamları ve özellikleri	6
Çizelge 2.2. Su/çimento oranı-kayma mukavemeti-plastik viskozite arasındaki ilişki	17
Çizelge 2.3. Yaygın olarak kullanılan çimento katkı maddeleri.....	21
Çizelge 2.4. Jet grouting işletim parametreleri genel değerleri.....	34
Çizelge 2.5. Farklı tipteki zeminlerde teşkil edilen jet grout kolon taşıma kapasiteleri	35
Çizelge 2.6. Değişik nozzle çaplarında değişik basınçlarda geçen grout miktarları.....	38
Çizelge 2.7. Granüler zeminlerde kolon tasarımında kullanılan limit değerler	43
Çizelge 2.8. Kohezyonlu zeminlerde kolon tasarımında kullanılan limit değerler	43
Çizelge 2.9. Gerilme azaltım faktörünün derinliğe bağlı değişimi	58
Çizelge 2.10. Düzeltilmiş SPT değeri-potansiyel hasar ilişkisi.....	59
Çizelge 2.11: Manyitüd düzeltme faktörleri	71
Çizelge 2.12. 1 ve 2 nolu sondaj kuyusu ıslah öncesi ve ıslah sonrası kayma dalgası hızı ölçümleri	73
Çizelge 2.13. Farklı tipteki zeminlerde su-çimento oranına bağlı kolon dayanımları	77
Çizelge 2.14. La Rosita Elektrik santrali inşaatı çalışma sahası zemin mühendislik özellikleri.....	81
Çizelge 3.1. Polyplox ek binaları inşaatı jet grout zemin iyileştirilmesi test kolonları imalat parametreleri.....	88
Çizelge 3.2. Polyplox ek binaları jet grout yükleme deneyi test kirişi hesapları.....	93
Çizelge 3.3. Jet grout kolon yükleme deneyi manometre aleti göstergesine karşılık gelen gerçek bar değerleri	95

Çizelge 3.4. İstanbul oteli lojmanları zemini temel mühendisliği değerlendirilmesinde kullanılan geoteknik parametreler.....	100
Çizelge 3.5. Antalya istanbul oteli lojmanları jet grout kolonları işletim parametreleri.....	102
Çizelge 4.1. Birinci çalışma sahası 1-2-3-4 nolu sondaj numuneleri su içerikleri, kıvam limitleri ve zemin sınıflandırılması	105
Çizelge 4.2. Çorlu-Polyplex jet grout kolonları karot deney verileri.....	107
Çizelge 4.3. Çorlu-Polyplex jet grout kazık süreklilik testi sonuçları.....	108
Çizelge 4.4. İstanbul oteli lojman ve spor kompleksi sondaj numuneleri su içerikleri, kıvam limitleri ve zemin sınıflandırılması.....	111
Çizelge 4.5. İkinci çalışma sahası jet grout kolonları karot numuneleri tek eksenli basınç dayanımları.....	115
Çizelge E 1 Çorlu Polyplex ek binaları çalışma sahası 1,2,3 ve 4 nolu sondaj kuyuları spt deney sonuçları.....	127
Çizelge E 2 Çorlu Polyplex ek binaları çalışma sahası 1,2,3 ve 4 nolu sondaj kuyuları numuneleri elek analizi sonuçları.....	129
Çizelge E 3 1 Nolu sondaj kuyusu drenajsız üç eksenli basınç deneyi deney parametreleri.....	130
Çizelge E 4.1. 1 Nolu sondaj kuyusu ud-1 numuneleri konsolidasyon deneyi proje ve örnek parametreleri	132
Çizelge E 4.2. 1 Nolu sondaj kuyusu ud-1 numuneleri konsolidasyon deneyi sonuçları	133
Çizelge E 6.1. Birinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test föyü yükleme aşaması.....	136
Çizelge E 6.2. Birinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test föyü yükün kaldırılma aşaması.....	138
Çizelge E 10 İstanbul oteli lojmanları zemini sondajlardan elde edilen numunelere ait laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen su içeriği ve elek analizi sonuçları	142
Çizelge E 12 1 nolu sondaj kuyusu ud3 numuneleri konsolidasyon deney parametreleri	149

Çizelge E 14.1. İkinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test föyü yükleme aşaması	155
Çizelge E 14.2 İkinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test föyü yükün kaldırılma aşaması	156

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_{kolon}	Kolon kesit alanı
A_r	Alan değiştirme oranı
a_{max}	Maksimum yanal yer ivmesi
A_{Islah}	Islah edilecek alan
A_{Jet}	Islah edilecek alan içindeki jet grout kolonlarının alanı
A_b	Kolon taban alanı
A	Jet Enjeksiyonu enjeksiyon çıkış kesit alanı
a_s	Zemin alanının toplam alana oranı
B	Temel genişliği
C	Kohezyon
c_N	Düzeltilme faktörü
c_u	Drenajsız kayma mukavemeti
C_v	Düzeltilme faktörü
CSR_{imp}	Azaltılmış periyodik gerilme oranı
CRR	Devirsel direnç oranı
CSR	Periyodik gerilme oranı
D_f	Temel Derinliği
D_{50}	Ortalama parça çapı
D_a	Kolon çapı
D_w	Suyun yoğunluğu
D_c	Çimentonun yoğunluğu
ds/dt	Birim kayma deformasyonu oranı
dm	Karışımdaki çimentonun eşdeğer küresel dane çapı
E_{jet}	Jet grout kolonlarının elastisite modülü
E_{ort}	Zeminin ortalama elastisite modülü
E_s	Herhangi bir derinlik için zeminin elastisite modülü
E	Püskürtme enerjisi
FS	Sıvılaşmaya karşı emniyet faktörü
G_r	Modül oranı
G_r	Kayma modülleri oranı

G_c	Kolon kayma modülü
G_s	Zemin kayma modülü
g	Yerçekimi ivmesi
h_1	Negatif yüzey sürtünmesinin üretilebileceği yumuşak tabakanın kalınlığı
h_2	Kolonun iyice gömüldüğü taşıyıcı tabaka kalınlığı
h	Hidrostatik düşü
H_{zemin}	Islah edilmiş zemin hacmi
k_s'	Herhangi bir derinlik için yatak katsayısı
K_o	Sukunetteki zemin basıncı katsayısı
K_s	Zemin basıncı katsayısı
k	Yatak katsayısı
k_s''	Temel alt seviyesindeki yatak katsayısı
LL	Likit Limit
L	Yatay yöndeki uzunluk
m	Düşey yöndeki kazık sıra sayısını
MSF	Manyitüd Düzeltme Faktörü
$(N_1)_{60}$	Düzeltilmiş SPT penetrasyon değeri
n	Yatay yöndeki kazık sıra sayısı
N_q	Taşıma gücü faktörü
$P_{taş (grup)}$	Taşıma elemanları grup taşıma kapasitesi
$P_{taş (kolon)}$	Her bir jet grout kolonun taşıma kapasitesi
p	Püskürtülen harç basıncı
q	Başlangıç su kuma oranı
Q_{net}	Zeminin net taşıma gücü
Q_{top}	İyileştirilmiş zemin toplam taşıma kapasitesi
q_c	Konik uç direnci
q_{c1}	Düzeltilmiş CPT uç direnci
q_{ort}	Ortalama gerilme değeri
Q_b	H derinliğindeki uç birim taşıma kapasitesi
$Q_{12(ort)}$	h_2 derinliği için ortalama yanal sürtünme derinliği
$Q_{11(ort)}$	h_1 derinliği için ortalama yanal sürtünme değeri

q	Zemine etki eden gerilme
$q_{\text{taş}}$	Toplam Jet grout kolon taşıma kapasitesi
$q_{\text{uç}}$	Kolon uç direnci
q_{yan}	Kolon çevre direnci
Q	Enjeksiyon malzemesi debisi
r_d	Gerilme azaltma faktörü
S	Test kirişi eğilme dayanımı
S_R	Çevrimsel gerilme oranı azaltma faktörü
T	Enjeksiyon karışımı toplam kayma gerilmesi
T_s	Başlangıç kayma mukavemeti
t	Darbeden yansıma anına kadar geçen süre
V_x	Test kirişi kesme dayanımı
V_s	Arazi kayma Dalgası Hızı
V_{s1}	Düzeltilmiş kayma dalgası hızı
V	Enjeksiyon malzemesi çıkış hızı
$V_{\text{çekme}}$	Enjeksiyon malzemesi çekilme hızı
W_x	Mukavemet Momenti
w	Su/ çimento oranı
x	Yansıma derinliği
y	Suyun kinematik viskozitesi
y'	Oturma koşulu göz önüne alınarak zeminde oluşması istenen oturma
Y_p	Plastik viskozite katsayısı
σ_{vo}	Düşey toprak basıncı
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
δ	Zemin-kolon arasındaki sürtünme açısı
α	Adhezyon için azaltma faktörü
z	Derinlik
ξ	Uç taşıma kapasitesi için azaltma faktörünü
φ	İçsel sürtünme açısı
β	Kolonların aralıklarına, kolon uzunluklarına, zemin çeşidine, vb. özelliklere bağlı azaltma faktörü
σ_0	Toplam düşey gerilme

σ'_0	Efektif düşey gerilme
τ_s	Kolonla iyileştirilen zemin arasındaki kayma gerilmesi
τ	Deprem sırasında sistemde oluşan kayma gerilmesi
τ_{avg}	Zemin-çimento karışımı kolonda birim alana etki eden ortalama kayma gerilmesi

1. GİRİŞ

Zemin enjeksiyonu, temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Üst yapı yüklerini zeminin sağlıklı bir şekilde taşıyabilmesi için zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda zeminin geçirimsizliği azaltılarak kayma mukavemeti artırılır ve enjeksiyon sayesinde danelerin kenetlenmesi sağlanarak şekil değiştirme direnci artırılır.

Bu iyileştirme, zeminin gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimsizlik gibi hidrolik özellikleri değiştirilerek elde edilir. Zemin enjeksiyonları özellikle son 10-15 yıllık bir süreç içerisinde tünel kazımı dolayısıyla yüzeydeki veya yakın çevredeki yapılarda meydana gelebilecek zararlı oturmaların engellenmesinde, deprem esnasında sıvılaşabilecek gevşek, suya doymuş granüler zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin azaltılmasında ve zeminlerin taşıma kapasitesinin artırılmasında kullanılmıştır (Bell, 1993).

Enjeksiyon teknolojisinin kökeni diğer zemin iyileştirme teknikleri gibi eskiye dayanmakla beraber bu teknoloji hem yeni enjeksiyon malzemeleri hem de bu malzemelerin zemin içerisine nüfuz ettirilmesi bakımından sürekli bir gelişim içerisindedir. Burada dikkatle üzerinde durulması gereken nokta, bütün bu uygulamalar için aynı enjeksiyon malzemesinin ve enjeksiyon parametrelerinin kullanılmayacağıdır (Wallace, 1982).

Zemindeki boşlukların büyüklüğüne ve enjeksiyonun amacına göre uygun enjeksiyon malzemesinin belirlenmesi gerekmektedir. Enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme biçimine ve zemin özelliklerine bağlı olarak da farklı enjeksiyon teknikleri geliştirilmiştir. Enjeksiyon malzemesi ve enjeksiyon parametreleri (enjeksiyon basıncı, enjeksiyon hızı, enjekte edilen hacim vb.) zemin koşullarına (dane çapı dağılımı, rölatif sıklık, geostatik gerilmeler vs.) ve uygulama amacına yönelik olarak tasarlanmalıdır.

Zemin enjeksiyonu uygulama alanları aşağıda sıralanmıştır:

1. Aşırı oturmaları önlemek amacıyla boşlukları doldurma
2. Mevcut yapıların büyütülmesi halinde zeminin emniyet gerilmesini artırma
3. Yer altı su akımını kontrol altına alma
4. Kazık çakımı işlemlerinde gevşek kohezyonsuz zeminin oturmasını önleme
5. Tünel kazıları sırasında deplasmanları kontrol altına alma
6. İksa problemlerini rahatlatmak amacıyla zemin güçlendirmesi
7. Kazıkların düşey ve yatay kapasitelerini artırmak amacıyla enjeksiyon
8. Sıvılaşmaya karşı gevşek kum tabakalarını taşlaştırma
9. Temeli alttan destekleme işleri
10. Şev stabilizasyonu
11. Şişen zeminlerin stabilizasyonu

Bu kadar farklı uygulama alanına sahip olan zemin enjeksiyonlarının başarılı bir şekilde uygulanabilmesi için enjeksiyon tekniklerinin, enjeksiyon harcı türlerinin, dolgu malzemelerinin özelliklerinin ve zeminin enjeksiyona karşı göstereceği davranışın bilinmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı günümüzde uygulanan enjeksiyon tekniklerini incelemek, özellikle de jet grout zemin enjeksiyonu yönteminin zemin sıvılaşması, üst yapı yüklerinden dolayı zeminde meydana gelen oturmalar ve zeminlerin taşıma kapasitesindeki etkinliğini belirtmektir.

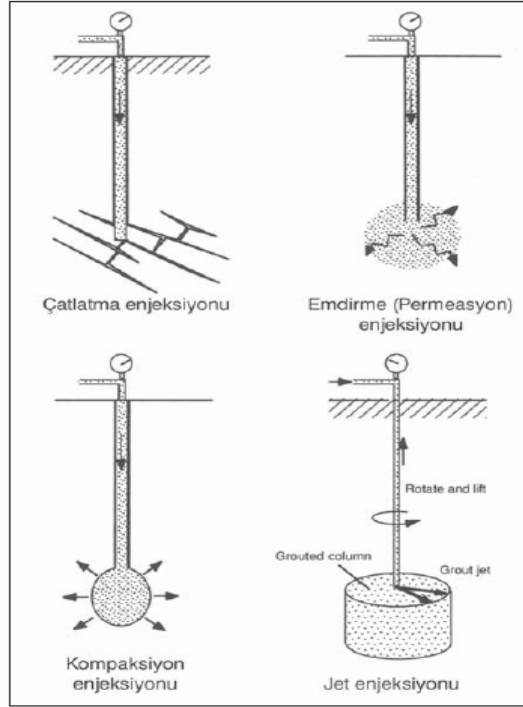
Tez beş bölümden oluşturulmuştur. Birinci bölümde konu tanıtılmıştır. İkinci bölümde, enjeksiyon yöntemleriyle ilgili literatür bilgileri araştırılmış ve jet grout zemin enjeksiyonu yöntemine ait teknik bilgiler ve literatürde jet grout zemin enjeksiyonunun kullanımı ile ilgili çalışmalar yer almıştır. Üçüncü bölümde, arazi uygulamalarına yer verilmiştir. Çorlu Polyplex ve Antalya İstanbul Oteli inşaat sahaları seçilerek, bu alanlarda zemin araştırmaları yapılmıştır. Öncelikle her iki arazi çalışması için de, zemin profili ve zemine ait özellikler tanımlanmıştır. Zeminin jeolojik kesitleri verilmiş, zemine ait deneylerle zeminin sıvılaşma analizi, oturma

analizi ve taşıma gücü hesapları için zemin parametreleri elde edilmiştir. Zemine ait parametrelerin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma açısından değerlendirilmesi yapılarak, jet grout zemin enjeksiyonu ile zemin iyileştirilmesine gidilmiştir. Zemin özelliklerine bağlı olarak jet grout işletim parametreleri seçilmiştir. Dördüncü bölümde araştırma bulguları ve sonuçları şeklinde oluşturulmuştur. Bu bölümde arazi ve laboratuvar deney sonuçları değerlendirilmiştir. Zemin içerisinde oluşturulan jet grout kolonlara ait deneyler ve sonuçlarıyla jet grout zemin enjeksiyonunun zemin iyileştirmesindeki etkinliği analiz edilmiştir. Beşinci bölümde ise jet grout zemin enjeksiyonunun her iki çalışma sahasındaki etkisi değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Enjeksiyon Teknikleri

Enjeksiyon teknikleri enjeksiyon malzemesinin zemin içerisine yerleştirilme biçimine bağlı olarak değişmektedir. Enjeksiyon malzemesinin özelliğine bağlı olarak çimento enjeksiyonu ve kimyasal enjeksiyon şeklinde bir ayırım yapılabilir. Zemin içerisine yerleştirilmesine göre temel enjeksiyon teknikleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir. Buna göre temel enjeksiyon teknikleri; çatlatma enjeksiyonu, emdirme (permeasyon) enjeksiyonu, kompaksiyon enjeksiyonu ve jet enjeksiyonu olmak üzere dört farklı grupta ele alınmaktadır.



Şekil 2.1. Temel enjeksiyon teknikleri şematik gösterimi (Tunçdemir, 2004).

Temel enjeksiyon teknikleri ile permeasyonu mümkün olmayan zeminlere enjeksiyon uygulanabilmeye başlanmıştır. Bu sayede daha ince daneli zeminlerin de iyileştirilmesi mümkün olmuş ve hem çevresel koruma hem de ekonomik açıdan olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Tunçdemir, 2004).

2.1.1. Emdirme Enjeksiyonu

Bu enjeksiyon tekniğinde düşük viskoziteli enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara, düşük basınçlarda nüfuz etmekte dolayısıyla zeminin hacmi ve yapısında bir değişiklik meydana getirmemektedir. Zemin içerisine enjekte edilen malzeme zamanla sertleşmekte ve böylece zeminin mekanik ve hidrolojik özelliklerini değiştirmektedir. Amaç zeminin daneleri arasındaki boşlukları doldurmak olduğundan enjeksiyon malzemesi zeminin dane çapı göz önünde bulundurularak seçilmektedir (Mitchell ve Wade, 1992).

En yaygın daneli enjeksiyon malzemesi çimentodur. Zemin veya kil ve bunların çimento ile karışımları da kullanılır. Çimento katkılı veya katkısız, daha ince mikro çimento olabilir. Çimentonun dane çapı kaba kumların ve daha kaba zeminlerin daneleri arasına girmeye uygundur. Su-Çimento oranları 0.5 – 1,0 arası değişir. Mikro çimento ile ince daneli kumlu zeminlerin arasına girilmesi son yıllarda mümkün olmuştur. Kum-çimento, kil-çimento karışımları ise kaba daneli zeminlere enjekte edilebilmektedir.

Daneli karışımlar genel olarak orta ve kaba kumlardan daha ince zeminlere emdirme enjeksiyonu olarak giremezler. İnce dane oranı %10 dan az olan zeminler kimyasal solusyonlar ile emdirme enjeksiyonuna tabi tutulabilirler. İnce dane oranı %15 den fazla ise etkili bir kimyasal enjeksiyon güç olabilir. İnce dane oranı %20 den fazla olan zeminlerde ise emdirme enjeksiyonu mümkün olamamaktadır.

Kimyasal enjeksiyon malzemelerinin kullanımı yeraltı suyu ve çevre kirliliği açısından kısıtlanmaktadır. En zararsız görülen silikatların kullanıldığı enjeksiyon bölgelerinde suyun PH değerinin 8,6 dan küçük olması istenmektedir. Bunun için alkali olmayan silikat karışımlar geliştirilmiştir. Emdirme enjeksiyonunda hem süspansiyon türünde olan çimento şerbeti hem de kolloit yapıdaki saf kimyasal çözeltiler kullanılabilir. Fakat zeminin geçirimsizliği azaldıkça hem teknik hem de ekonomik zorluklar artmaktadır (Gallavresi, 1992). Çizelge 2.1’de enjeksiyon

malzemesi türlerine göre emdirme enjeksiyonunun uygulanabildiği zemin ortamları ve özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.1'e göre enjekte edilecek malzemeye bağlı olarak uygulama alanları, geçirimsizlik katsayısı, özgül dane yüzeyi, kullanılabilir enjeksiyon teknikleri ve hangi zeminlerde kullanılabilirliği anlaşılmaktadır. Çizelge 2.1' de verilmiş olan enjeksiyon malzemesi karışımları çok ince daneli çimentolar ve değişik katkı malzemeleri kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 2.1. Enjeksiyon malzemesi türlerine göre emdirme enjeksiyonunun uygulanabildiği zemin ortamları ve özellikleri (Gallavresi, 1992).

Reolojik Kategori	Partiküler Süspansiyonlar (Bingham Akışkanları)		Çözeltiler (Newton Akışkanları)			Gaz Emülsiyonları		
	Kararsız	Kararlı	Koloit Çözeltiler (Vizkozite zamanla artmakta)	Saf Çözeltiler (Vizkozite zamanla değişmemekte)				
Enjeksiyon Malzemelerinin Ana Türleri	Sadece çimento	Bentonit veya kil ile birlikte çimento	Topaklaşmamış bentonit	Kimyasal Enjeksiyon Malzemeleri			Şişebilen Enjeksiyon Malzemeleri	
				Sodyum Silikat bazlı		Organik Reçineler bazlı		
				Yüksek dayanımlı	Orta-Düşük dayanımlı		Çimento bazlı	Organik Ürünler bazlı
Uygulama Alanları	Çatlaklı kaya ve duvar	Topaklaşmamış bentonit		Mikro fisürlü ve geçirimli kaya			Büyük boşluklar veya oyuklar	Boşluklar ve hızlı akan sızıntı suları
		GRANÜLER ZEMİNLER						
		Çakıl	Kaba Kumlar	Orta-İnce Kum		İnce Siltli Kumlar (Kumlu Siltler)		
Geçirimsizlik Katsayısı, k_f (m/s)		$>5.10^{-4}$	$>5.10^{-5}$	$>5.10^{-5}$	$>1.10^{-5}$	$>1.10^{-6}$		
Özgül Yüzey, S_{gs} (m ² /N)		<0.5	<1.5	<1.5	<4	<10		
Temel Enjeksiyon Tekniği	Yüksek Basınç	Kontrollü hacim ve basınç					Düşük basınç (Boşlukların doldurulması)	

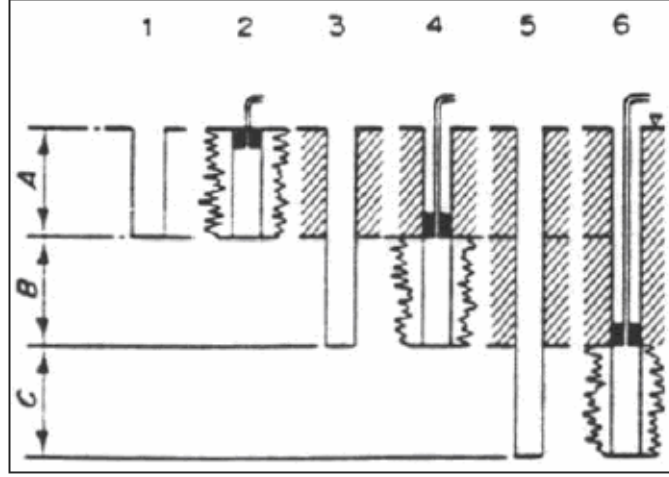
Bu yolla elde edilen karışımlar için segregasyon (karışım içerisindeki çimento veya katkı malzemesi danelerinin zamanla çökmesi ve karışım suyundan ayrılması) ve filtrasyon oranları (karışım içerisindeki danelerin zemin tanecikleri tarafından tutulması ve enjeksiyonun engellenmesi) çok daha az, vizkozite parametrelerinden

olan akma değeri belli bir süre boyunca sabit ve daha düşük, zamana bağlı dayanım daha yüksek ve geçirimsizlik diğer karışımlara göre daha azdır.

Silikat bazlı çözeltilerde de hem teknik hem de çevresel açıdan bakıldığında yüksek kararlılıkta ve kristal yapıda yeni tip karışımlar elde edilmiştir. Son 10-15 yıllık literatür taraması yapıldığında enjeksiyon malzemelerinin reolojik özellikleri (vizkozite ve zamanla değişimi, basınç altındaki segregasyon miktarı, filtrasyon oranı, ilk ve son priz zamanı), bu özelliklerin farklı dane çapı dağılımındaki zeminlere enjekte edilebilirliği nasıl etkilediği ve değişik pozolanik katkı maddelerinin bu özellikleri nasıl değiştirdiği hakkında birçok çalışma olduğu görölmektedir. Dolayısıyla kritik olan husus zeminin geoteknik özellikleriyle enjeksiyon malzemesinin reolojik özelliklerinin tam olarak belirlenmesi ve bu özelliklerin birbirleriyle uyumlu olarak bir araya getirilmesidir (Gallavresi, 1992; Bell, 1993).

Emdirme enjeksiyonunda yüzeysel ve kademeli enjeksiyon olmak üzere iki tip uygulama yapılmaktadır. Yüzeysel derinliklerde enjeksiyon işlemleri tek aşamada yapılabilir. Bu durumda enjeksiyon kuyusu tasarım derinliğine kadar açılır ve enjeksiyon borusu yardımıyla aşağıdan yukarıya doğru enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Alternatif olarak kuyu açılırken de enjeksiyon işlemi yapılabilir. Kuyu belli bir derinlikte açıldıktan sonra enjeksiyon borusu indirilir ve açılan derinlik boyunca enjeksiyon işlemi gerçekleştirilir. Bu durum tasarım derinliğine kadar tekrar ettirilir.

Kademeli enjeksiyon işlemi ise rölâtif olarak yüksek enjeksiyon basınçlarının gerektiği daha derin zeminlerde ve daha etkili bir permeasyon için uygulanır. Bu yöntemde enjeksiyon kuyusu belli bir derinliğe kadar açılır ve enjeksiyon yapılır. Enjeksiyon malzemesi sertleştikten sonra kuyu biraz daha derinleştirilir ve tekrar enjeksiyon yapılır. Bu işlem Şekil 2.2'de görölmektedir.



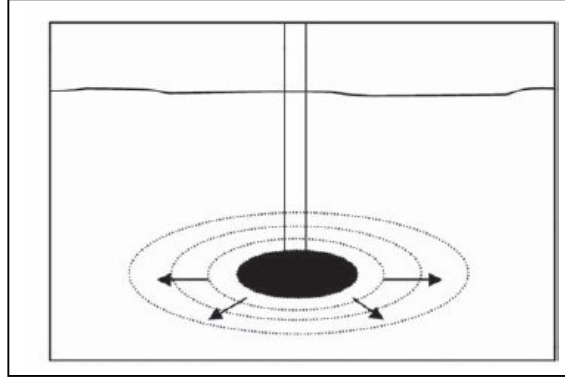
Şekil 2.2. Kademeli enjeksiyon işlemi (Bell, 1993).

Kademeli enjeksiyon derinliğin artması, enjeksiyon basıncının artırılmasını sağlar ve yüzeydeki sızıntıdan meydana gelebilecek enjeksiyon malzemesi kaybını engeller. Kullanılan enjeksiyon harcı, zeminin dane çapı dağılımına bağlı olarak çok çeşitli olabilir; k, permeabilite katsayısı 10^{-3} cm/sn olan zeminlerde silikat esaslı, 10^{-4} cm/sn olan zeminlerde reçine esaslı harçlar kullanılır. Son yıllarda, ince daneli çimento ile oluşturulan süspansiyonlar, daha ince zeminlere enjeksiyon yapılmasını mümkün kılmıştır (Bell, 1993).

2.1.2. Kompaksiyon enjeksiyonu

Kompaksiyon enjeksiyonunu, 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). Zemin hem enjekte edilen malzemenin etrafında hacim değişikliğine uğrayıp sıkışacak hem de enjeksiyon malzemesinin desteğini alacaktır. 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). Kompaksiyon enjeksiyonu Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmiştir.

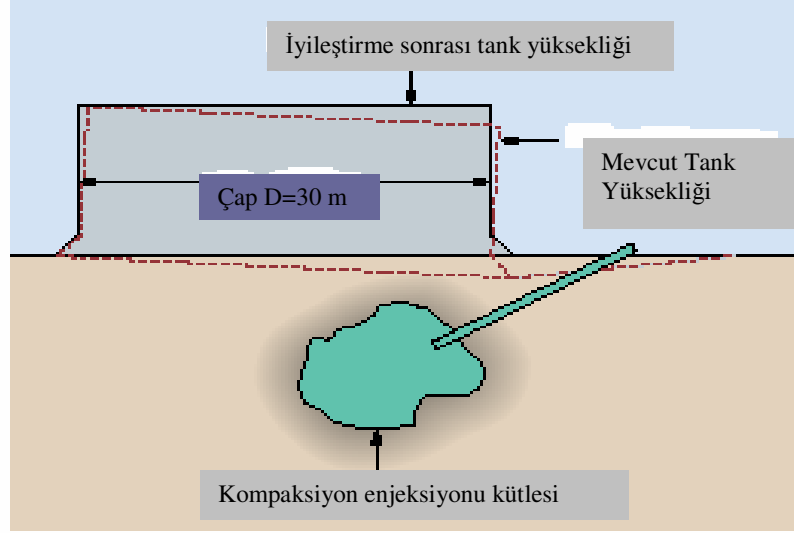


Şekil 2.3. Kompaksiyon enjeksiyonunun şematik gösterimi (Essler vd., 2000)

Şekil 2.3’de çökme değeri çok düşük (0-10mm) ve ince kum oranı yüksek (kum %88, çimento %12) harç özelliklerine sahip bir enjeksiyon malzemesi ile geçici muhafaza borusu ile teçhiz edilen bir kuyuda muhafaza borusunun ucundan zemine enjeksiyon malzemesi zerk edilmesi gösterilmiştir. Muhafaza borusu adım adım geri çekilerek bu işlem tekrar edilir ve böylece zemin harç ile kenarlara itilerek zemin içerisinde bu harçtan oluşan kolonlar elde edilir. Böylece hem mevcut zemin sıkıştırılarak ıslah edilmiş hem de harç kolonları ile donatılmış olur. Bu yöntemin düşeyden en fazla 20 derece açı ile uygulanması önerilir ve aynı noktalardan tekrarlı enjeksiyon yapılması mümkün değildir. Bu nedenlerle, bu yöntem mevcut binaların içinde çalışma olanağının olduğu durumlarda kullanılabilir (Boulanger ve Hayden, 1995).

50 yıl kadar önce A.B.D.’de uygulanmaya başlayan kompaksiyon enjeksiyonu yöntemi, çoğunlukla zayıf veya yumuşak zeminlerin sıkıştırılmasında, temel ve döşemelerin alttan desteklenmesinde, yapı oturmalarının kontrol edilmesinde, farklı oturmalar gösteren yapı temellerinin rehabilitasyonunda ve tekrar eski seviyelerine yükseltilmesinde kullanılmıştır (Warner, 1982).

A.B.D. nin çeşitli yerlerinde inşa edilmiş, 14,5 m yüksekliğinde, 30 m çapındaki akaryakıt tanklarında meydana gelen farklı oturmaların tanklar boşaltılmadan kontrol altına alınabilmesi için, inşaat gabarisi dışından enjeksiyonu yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (<http://www.keller-ge.co.uk>).



Şekil 2.4. Akaryakıt Tanklarında Kompaksiyon Enjeksiyonu (<http://www.keller-ge.co.uk>).

Kompaksiyon enjeksiyonunda zemin-çimento harcı oldukça büyük bir basınçla (3500 kpa) zemine basılır. Gevşek veya örselenmemiş zeminleri sıkıştırmak ve zeminin birim hacim ağırlığını artırmak için kullanılır. Böylece; yoğun, üniform bir kütle oluşturulmuş olur.

Enjeksiyon işlemi yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya yapılabilir. 1-2,5 m aralıklarla ilerlenir ve enjeksiyon karışımı pompalanır. Basınçlar bazı hallerde 4500 Kpa'yı (Genellikle 1000-3000 Kpa) geçer. Pompanın tipi ve pompalama hızının kontrolü kompaksiyon enjeksiyonu yönteminin esasıdır. Pompalama hızı basınç miktarı ve basıncın yükselme hızı ile ilişkilidir. Basınç miktarı ve basıncın yükselme hızı zemin tipi, sıkıştırma derecesi, su muhtevası, enjeksiyon derinliği, zemin ve yapıdan kaynaklanan çevre basınçları'na bağlı olarak değişir. Bazı zeminler dakikada 3-14 lt enjeksiyon malzemesi alabilirken, dakikada 3000 lt enjeksiyon malzemesi alabilen zeminler de vardır (Warner, 1982).

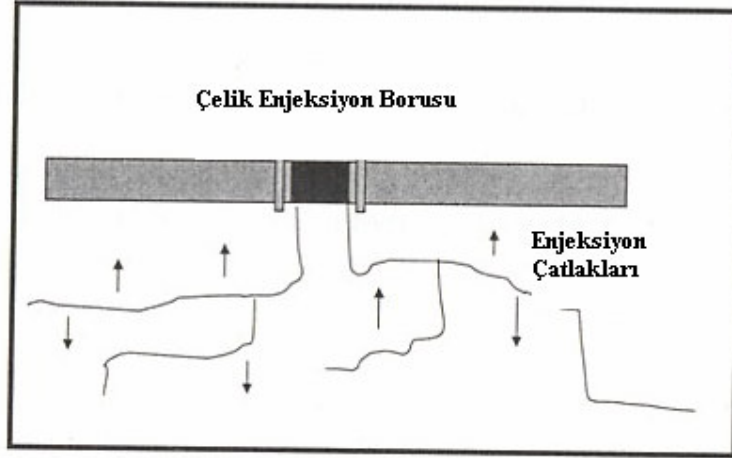
Kompaksiyon enjeksiyonu ile emdirme enjeksiyonu arasında hem enjeksiyon parametreleri hem de uygulanabilecek zeminler arasında büyük farklar vardır. Kompaksiyon enjeksiyonunda çok katı bir enjeksiyon malzemesi ve çok yüksek basınçlar (4000 kPa'a kadar) gerekmektedir. Dolayısıyla zeminin orijinal yapısı bozulmakta ve bu sayede radyal olarak sıkıştırılabilmektedir. Ayrıca kompaksiyon enjeksiyonu tüm zeminlere uygulanabilirken emdirme enjeksiyonunun uygulanabilirliği, burada zemin içerisindeki boşluklara nüfuz etme söz konusu olduğundan, hem zeminin dane çapı dağılımı hem de enjeksiyon malzemesinin dane çapı dağılımı belirlenmektedir. Literatür çalışmaları göz önüne alındığında kompaksiyon enjeksiyonunun başarılı sonuçlar vermesi enjeksiyon malzemesinin katı ve yüksek vizkozitede olmasına bağlıdır. Bu yüzden karışımlarda plastisiteyi gereğinden fazla artıracak silt ve gereğinden fazla akışkanlık sağlayacak bentonitin kullanılmaması öngörülmektedir (Warner, 1982).

Kompaksiyon enjeksiyonunun son 10 yıllık bir süreç içerisinde sivilaşmayı önleyici bir teknik olarak da kullanılmaya başlandığı görülmektedir. Boulanger ve Hayden (1995) kompaksiyon enjeksiyonunun sivilaşmayı önlemek için kullanıldığı bir vaka analizi hazırlamışlardır. Çalışmalarında, bu enjeksiyon tekniğinin siltli kumlarla siltli zeminlerin SPT ve CPT direnç değerlerini önemli ölçüde artırdığı belirtilmiştir. Kompaksiyon enjeksiyonu sonucu zemin içerisinde oluşturulan kütlelerin uzun vadede yeterli dayanımda olmasının gerekliliği ve bu tekniğin çok yumuşak killerde uygulanmasının fazladan boşluk suyu basınçları oluşturarak uzun vadede oturmalara yol açacağı belirtilmiştir. Dolayısıyla bu hususların uygulama öncesinde enjeksiyon parametreleri ve enjeksiyon malzemelerinin tasarımı sırasında göz önünde bulundurulmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

2.1.3 Çatlatma Enjeksiyonu

Çimento esaslı harçla zemin 10 kg/cm^2 lik bir basınçla parçalanır. Böylece, zemin içinde enjeksiyon mercekleri ve tabakaları oluşur. Birbiri ile bağlantılı olmayan boşluklar doldurulur ve zemin bir miktar sıkışır (Gallavresi, 1992).

Çatlatma enjeksiyonu yöntemiyle viskozitesi daha düşük bir enjeksiyon malzemesi zemin içerisine yerleştirilen özel çelik borularla tekrarlı enjeksiyonlarla zeminin taşıma gücü artırılarak zeminde çatlaklar oluşturulmakta ve bu çatlaklar ile zeminin deformasyon yapması sağlanmaktadır. Bu yöntemin şematik gösterimi Şekil 2.5 de verilmiştir.

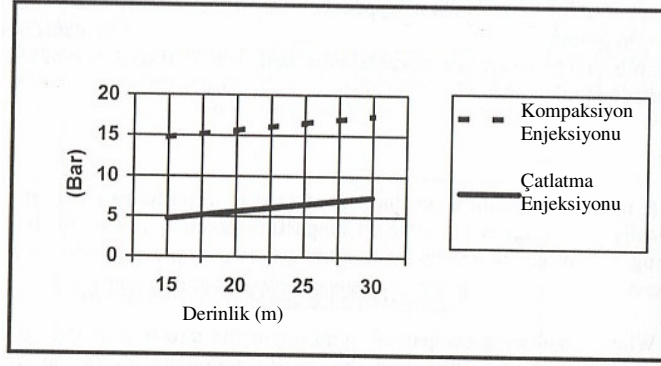


Şekil 2.5. Çatlatma enjeksiyonu şematik gösterimi (Gallavresi, 1992).

Bu yöntem yatay olarak uygulanabilmesi ve tekrarlı enjeksiyona müsade etmesi bakımından diğer enjeksiyon yöntemlerine göre farklılık göstermektedir. Çatlak oluşumu ile nüfuz etme işlemi genellikle çimento esaslı karışımlarla yapılır. Geçirimsizliği nedeniyle şerbeti yeterli hızda alamayan kayaç ve zeminlerde akım yolları açmak için bu yöntem kullanılır. Tabakalaşma gösteren bir formasyonda, enjeksiyon şerbetinin tabakalar arasında daha iyi nüfuz edebilmesi için deliklerin tabakalanma düzlemine dik olarak açılması gerekmektedir.

Baker (1982), ince dane oranının yüksek olduğu zeminlere kimyasal enjeksiyon malzemelerinin hidrolik çatlatma ile girilebildiğini belirtmişlerdir.

Şekil 2.6'da kompaksiyon enjeksiyonu ile çatlatma enjeksiyonunda derinlikle uygulanan enjeksiyon basıncının değişimi görülmektedir.



Şekil 2.6. Kompaksiyon enjeksiyonu ile çatlatma enjeksiyonunda derinlikle uygulanan enjeksiyon basıncının değişimi (Gallavresi, 1992)

Çatlatma enjeksiyonu ve kompaksiyon enjeksiyonlarında derinliğe bağlı uygulanan enjeksiyon basınçları incelendiğinde kompaksiyon enjeksiyonunda derinlik arttıkça çatlatma enjeksiyonuna göre daha fazla basınçlarda çalışıldığı görülmektedir. Kompaksiyon enjeksiyonunda 30 m derinlikte basınç 15-20 bar arasında seyrederken, çatlatma enjeksiyonunda bu değer 5-10 bar arasında kalmaktadır (Gallavresi, 1992).

Her iki yöntemde de zeminin taşıma kapasitesi aşıldığında zemin ve üst yapıda kabarmalar oluştuğundan dolayı enjeksiyon sırasında, deformasyona veya gerilme kontrollü gözlem şebekesi kullanılmalıdır. Enjeksiyon miktarı, basıncı, basınç bölgeleri mutlaka enjeksiyon öncesi tesis edilmiş kapsamlı bir elektronik aletsel gözlem sistemi oluşturularak belirlenmelidir.

Enjeksiyon tekniklerinden jet grout zemin enjeksiyonu yöntemi Bölüm 2.4. de geniş bir şekilde ele alınmıştır.

2.2 Enjeksiyon Malzemeleri

Zemin enjeksiyonlarında kullanılan enjeksiyon malzemeleri olarak su, çimento, dolgu malzemeleri ve katkı maddeleri akla gelmektedir. Genel olarak enjeksiyon harçları; daneli, kimyasal ve köpükler olarak üç sınıfa ayrılmaktadır.

Daneli harçlar çimento, kil, bentonit, bazen de kum ile hazırlanmış olup çökme hızına göre stabil veya stabil olmayan harçlardır. Kimyasal harçlar Newton sıvıları veya organik reçine olarak bilinmekte olup organik monomerlerden (Acrylamides, phenoplast, aminoplast) yapılmaktadır. Viskoziteleri suyunkine yakındır ve priz yapana kadar da sabit kalmaktadır. Kaba kumlarda veya kumlu çakıllarda kimyasal enjeksiyon kullanılır. Böylece, temel altındaki zeminde istenilen seviyeye kadar bir blok oluşturulur. Yanında kazı yapılacak temellerin emniyete alınması gibi hallerde sık kullanılmaktadır. Üçüncü grup harç olan köpükler ise gazların emülsifiye edilmesi ile elde edilir. Köpükler kabarma sayısı ile tanımlanır. Kabarma sayısı, gazın hacminin sıvının hacmine oranıdır. Bu sayı zeminin boşluk oranına eşdeğerdir (Ish-Shalom ve Greenberg, 1962).

2.2.1 Çimento Esaslı Karışımlar

Çimento karışımları genellikle normal portland çimentosu ile suyun karıştırılmasıyla hazırlanmaktadır. Çimento esaslı karışımlarda kullanılan su içmeye uygun, içinde bakteri bulunmayan, % 5 den fazla sülfat, %0.5 den fazla klorid, şeker, yosun gibi asılı madde veya yüksek alkali içeren sulardır. Çimentoların en yaygın formları trikalsiyum slikaat (C_3S), dikalsiyum slikaat (C_2S), trikalsiyum aluminat(C_3A), tetrakalsiyum aluminoferrit (C_4AF) bileşiklerinden meydana getirilmektedir.

Ana bileşikler oldukça farklı şekilde davranış gösterirler ve çimentonun özelliklerini kontrol etmektedirler. C_3A bileşeni aslında çabuk donar. Eğer büyük ısıda uygulanırsa bazı mukavemetlere bir günde erişilir ve bundan sonra mukavemet artışı olmaz (Ish-Shalom ve Greenberg, 1962).

Türk Standartlarında yer alan başlıca çimento türleri şunlardır :

a) Portlan çimentosu (PÇ 32,5) : Bu çimentolar katkısız çimentolardır .Hammadde karışımının pişmesi sonucunda elde edilen klinker %3-5 oranında alçı taşı katılarak öğütülmesi sonucunda elde edilir.

b) Yüksek dayanımlı Portland Çimentoları PÇ 42,5, PÇ 52,5 : Bunlar da Portland çimentosu sınıfından olup dayanımları daha yüksektir. Özgül yüzeyleri ve C3S miktarları daha yüksek katkısız çimentolardır.

c) Erken Dayanımı Yüksek Çimentolar EYÇ 52,5 : Bunlar daha kısa sürede yüksek dayanım kazanan, katkısız çimentolardır .

d) Beyaz Portland Çimento BPC 70, BPC 85: Bunlar dekoratif amaçlı katkısız çimentolardır. Dekoratif açıdan önemli olmalarına rağmen dayanım bakımından Portland çimentoları ile eşdeğer olarak üretilmektedirler. Hammaddeleri kimyasal bileşim bakımından özenle seçilir.

Çimento harçları, çimento ağırlığının su ağırlığına oranı ile karakterize edilir. Bu harçlar önemli ölçüde çökmeye maruz kaldıklarından stabil sayılmazlar. Stabil olmayan harçların sulandırılrsa da kumlara ve çakıllara yapılan enjeksiyonlarda kullanılması doğru değildir. Çimento karışımları, zeminin veya çatlamış kayanın su geçirimsizliğini veya duyarlılığını artırmak amacıyla kullanılır. Karışım verimli pompalama ile enjeksiyona izin vermesi için mutlaka sıvı olmalıdır. Hazırlanan karışımlar için akışkanlık, su kuma ve dane boyutu gibi özellikler büyük öneme sahiptir. Enjeksiyon işleminden sonra ise, büzülme, hidrasyon ısısı, mukavemet ve dayanıklılık gibi özellikler daha fazla önem kazanmaktadır.

Çimento karışımları genellikle normal portland çimentosu ile suyun karıştırılmasıyla hazırlanır. Bazı durumlarda ise diğer tip çimentolar kullanılır. Bunlar, erken yüksek mukavemet veren , düşük ısıda reaksiyon yapabilen ve kimyasal etkilere direnç gösteren çimentolardır. Ekonomi veya özel karışım özellikleri elde etmek için ince kum, uçucu kül ve kil gibi katı malzemeler kullanılabilir. Bununla birlikte su kumayı önleyici, akışkanlık artırıcı, priz hızlandırıcı - geciktirici ve homojen dağılımı sağlayabilecek durumlara göre dizayn edilmiş kimyasal katkı maddeleri kullanılabilir. Çimento karışımlarının özelliklerini etkileyen en önemli faktör, su kuma oranını belirleyen suyun miktarı ve su/çimento oranıdır. Karışımın akışkanlığı ise karışımın su/çimento oranı ile ilişkilidir. Karışımındaki fazla su çökmeye, düşük mukavemete, büzülme artışına ve düşük dayanıklılığa neden olur (Papadaxis, 1955) .

2.2.1.1 Enjeksiyonda Kullanılan Çimento Karışımlarının Özellikleri

Zemin enjeksiyonlarında kullanılan çimento karışımlarının su kuma, akış özellikleri, priz alma ve dayanım özellikleri bulunmaktadır.

Su kuma, karışımdaki çimento danelerinin suda dağılması ve askıda durması olayıdır. Çok yoğun bir karışım olması durumu hariç, karışım başlangıç olarak stabil değildir ve yerçekimi etkisiyle çimento daneleri çökme yapar. Özellikle su kuma oranı ve su kuma kapasitesi olarak enjeksiyon dizaynında önemlidir. Başlangıç su kuma oranı Darcy kanunu ile su/çimento oranı ≤ 1 için aşağıdaki formülle hesaplanabilir (Ish-Shalom ve Greenberg, 1962).

$$q = \frac{9}{12} \cdot \frac{dm^2}{y} \cdot \frac{Dc - Dw}{Dw} \cdot \frac{w^2}{1 + 3.w} \quad (2.1)$$

Bu Formülde ;

q = başlangıç su kuma oranı

dm = karışımdaki çimentonun eşdeğer küresel dane çapı

y = suyun kinematik viskozitesi

Dc = çimentonun yoğunluğu

Dw = suyun yoğunluğu

w = su/ çimento oranıdır.

Akış özellikleri genellikle, daneler arasındaki dinamik itme çekim kuvvetleri tarafından ve yoğun karışımlarda hareket eden danelerin yoğunluğunu artırarak etkilenir. Yoğun bir karışım ancak yeterli bir sıvı içerdiği zaman kolay bir şekilde pompalanabilir. Bu sıvı, kayma esnasında dane yapısının genişlemesini önleyerek akmasını sağlar. Genellikle iyi dereceli danelerin düzeni tercih edilir. Çünkü daha iyi derecelenen ve daha az kritik porozitede olan karışım daha iyi pompalanabilir. İnce danelerin makul bir yüzdesi, karışımdaki danelerin özgül yüzeyini artırmak için tercih edilebilir, bu nedenle sıvı ve katı fazlarının ayrılması yavaşlar. Laminer akım

şartları altında çimento karışımları Bingham akışkanları gibi davranır. Karışımın sabit bir birim deformasyon oranında akması için gerekli olan kayma gerilmesi (T) aşağıdaki formüldeki gibi verilmektedir .

$$T = T_s + Y_p \cdot \frac{ds}{dt} \quad (2.2)$$

Bu formülde;

T_s =başlangıç kayma mukavemeti,

Y_p =plastik viskozite katsayısı

ds/dt = birim kayma deformasyonu oranı veya hız eğimidir.

Saf çimento karışımlarının kayma mukavemeti ve plastik viskoziteleri Çizelge 2.2. deki gibi verilmiştir. Çimento karışımları için kullanılan kalsiyum klorit $CaCl_2$ priz alma süresini kısaltmaktadır. Ancak $CaCl_2$ ' nin birçok yan etkileri mevcuttur. Karışım ile temas eden çelik paslanabilir ve rötire artabilir.

Çizelge 2.2. Su/Çimento Oranı-Kayma Mukavemeti-Plastik Viskozite Arasındaki İlişki (Simonds, 1958).

Su/çimento oranı	Kayma mukavemeti T_s N/m^2	Plastik viskozite Y_p
0,3	387	4,03
0,4	67	0,90
0,5	23	0,37
0,6	12	0,20
0,7	7	0,13
1,0	2,9	0,06
2,0	1,0	0,025
5,0	0,53	0,014
10,0	0,43	0,012
20,0	0,39	0,011

Priz alma süresini geciktiren maddeler genellikle sıcak hava şartlarında fazla uzun mesafeli pompalama yapılan yerlerde kullanılır. Şeker ve tartarik asid çimento ağırlığının %0,05'i oranında karışımlara konulduğunda priz alma süresinde %100' e varan artışlar olabilmektedir. Akışkanlaştırıcıların kullanılması durumunda, belirli akıcılıktaki karışımın su/çimento oranı azalır ve karışım mukavemetinde orantılı bir şekilde artış meydana gelir. Çoğu akışkanlaştırıcılar ilk mukavemeti azaltarak ve başlangıç pekleşmesini artırarak priz geciktiriciler gibi davranır. Daha önce yapılmış çalışmalarda erken mukavemet artışları için, karışıma çimento ağırlığının %1'i oranında CaCl_2 katıldığında, artışın 28 günde %10 azalmasına rağmen, 24 saatte %30 mukavemet artışı görülmüştür.

Karışım mukavemetini etkileyen en önemli değişkenler karışımın su/çimento oranı, çimentonun tipi ve katkı maddeleridir. Çimento tipleri dayanım sınıflarına göre alt gruplara ayrılırlar. Ayrıca, çimento sembolünün yanında katkı miktarını ve erken dayanımı belirleyen harfler de bulunabilir. Günümüz standartlarında çimento dayanımı 32.5, 42.5, 52.5 sayılarından birisi ile belirtilir. Bu sayı, standart deneyde çimento numunesinin 28 gün içinde ulaşması gereken basınç dayanımının N/mm^2 veya MPa olarak değeridir. Ayrıca bir R harfi bulunuyorsa bu, çimentonun erken dayanımlı olduğunu ve 2 gün içinde standartta belirtilen dayanıma ulaşacağını gösterir.

2.2.2 Enjeksiyonda Kullanılan Dolgu Malzemeleri

Dolgu malzemeleri kullanımının amacı karışımın homojenliğini artırmak ve enjeksiyon masraflarını azaltmaktır. Belirli dolgu malzemeleri kullanılarak teknik avantajlar sağlanabilir. Mesela su kusmayı azaltma, priz geciktirme ve akıcılık artırma şeklindedir. Kullanılan dolgu malzemeleri puzzolanlar, ince kumlar ve killer ve diğer katkı maddeleridir. Bunlardan puzzolanlar reaksiyona girerken kumlar ve killer girmezler.

2.2.2.1 Killerin Enjeksiyonda Kullanımı

Killer çok küçük dane boyutlarına sahip olduklarından su emme kapasiteleriyle düşük konsantrasyonlarda bile çimentonun çökmesini önleyerek karışımın stabilitesini artırır. Genellikle illit ve kaolinit kili kullanılır. Gerekli mukavemetin istendiği kaya enjeksiyonu ve zemin konsolidasyonunda, kil muhtevası bentonit kullanılarak minimumda tutulur. Su/Çimento oranı = 1-3 değerleri için %2-5 oranında bentonit kullanılır. Kil/Çimento enjeksiyonu için yüksek kil oranı (%50) kullanıldığında mukavemet biraz artabilmekte ve birim ağırlığa göre hacim artışı olmaktadır. Bentonit koloidal özellik gösteren, plastisitesi yüksek olan bir kil çeşitidir. Kil mineralinin bir çeşiti olan bentonitler kimyasal özelliklerine göre başlıca 2 gruba ayrılmaktadır.

1 - Sodyum Bentoniti : Genelde ağırlıklı olarak sondaj bentoniti ve döküm bentoniti şeklinde işlenir ve kullanılır.

2 – Kalsiyum Bentoniti : Özellikle ağartma toprağı olarak işlenir ve kullanılır.

Kalsiyum bentoniti su ile temasta kendi hacminin 2-3 katı kadar şişer ancak bu oran sodyum bentonitinde 8-10 kata kadar ulaşabilmektedir. Kalsiyum bentonitinin yoğunluğu $2,6 \text{ gr/cm}^3$, iyon değiştirme kapasitesi ise sodyumbentonite göre fazladır (www.tulumenmadencilik.com).

Bentonit- Çimento karışımları hidrolik sızdırmazlık ve stabil karışım hazırlamak amacıyla özellikle su alma yapıları platformlarında geçirimsizlik perde enjeksiyonunda kullanılır. Bentonit-çimento karışımları iyice karıştırıldığında malzeme prizini aldıktan sonra permeabilite azalır ve karışımın gevrekliği artar. Yoğun karışımlar için (çimento ağırlığının %si olarak) %1-2, az yoğun karışımlar için (su/çimento oranı:6/1, 5/1 gibi) %2-4 oranında bentonit kullanılır Enjeksiyon işlemine ise su/çimento oranı 1/1 ile başlanması tavsiye edilmektedir.

2.2.2.2 Puzzolanların Enjeksiyonda Kullanımı

Puzzolanlar, silikatlar ve alüminyum silikatlar gibi kendi kendine çimentolaşmazlar, bir çimentolu bileşik oluşturmak için su içinde serbest kireç ile reaksiyona girerler. Doğal olarak oluşan puzzolanlar ince bir şekilde zemin arduvası, sünger taşı ve diatomit içerirler; toz kömürün yanması sonucu yan ürün olarak ortaya çıkan uçucu kül ve taşlaşmış yüksek fırın cürufu suni puzzolanlara örnektir. Bu uçucu kül ve cüruf artık malzemelerdir. Puzzolanların maksimum dane boyutu olarak 0.5 mm tavsiye edilir.

2.2.2.3 İnce Kumların Enjeksiyonda Kullanımı

İnce kumlar, ekonomik enjeksiyon yapmak için saf su-çimento karışımına katılır. Gerekli olan kayma mukavemeti nisbeten fazla sürtünmeli, az sulu karışımlara kum katarak elde edilebilir. Kum dayanıklılık, büzülme ve alkali reaksiyonlara dayanıklı olma özelliği olduğu için tercih edilir. Genellikle büyükçe bloklar halinde kırılmış sert kayalarda, akıcılığı zayıf olan ince daneli ve düz köşeli malzemeler tercih edilir. Granüle kumlar da kullanılabilir ancak 300 m'den fazla pompalama mesafesi için maksimum boyut 0.5 mm'ye azaltılmalıdır. Ayrıca, daneleri askıda tutabilmek ve segregasyondan kaçınmak için maksimum kum/çimento oranı 3 ile sınırlanmalıdır.

2.2.2.4 Enjeksiyonda Kullanılan Katkı Maddeleri

Katkı maddeleri, karışımın özelliklerini değiştirmek amacıyla küçük oranlarda karışıma katılarak kullanılmaktadır. Fazla alümin ve fazla sülfatlı çimentolarla uyumlu değildir. Katkı maddeleri iyi bir karışım yapmak için yedek malzeme olarak kabul edilmemelidir ve rastgele kullanılmamalıdır. Katkıların uygunluğu, deneme karışımları ile belirlenmelidir. Eğer iki ve daha fazla katkı malzemesi bir karışım için teklif edilirse, uygulamada mutlaka deneme karışımları yapılmalıdır. Çizelge 2.3'de yaygın olarak kullanılan çimento katkı maddeleri görülmektedir.

Çizelge 2.3. Yaygın olarak kullanılan çimento katkı maddeleri (Simonds, 1958)

Katkı maddesi	Kimyasal	Optimum Dozaj	Notlar
Hızlandırıcı	kalsiyum klorür	1-2	donma ve pekleşmeyi hızlandırır
	sodyum silikat	0.5-3	donmayı hızlandırır
	sodyum aluminat		
Geciktirici	kalsiyum ligno-sülfanat	0.2-0.5	akışkanlığı artırır ve pekleşme mukavemetini etkiler
	tartarik asit	0.1-0.5	
	çeker	0.1-0.5	
Akışkanlık Artırıcı	kalsiyum ligno-sülfanat	0.2-0.3	havayı tasfiye eder
	deterjan	0.05	
Hava Sürükleyici	vinsol reçine	0.1-0.2	%10'a kadar hava yi tasfiye eder
Genişletici	alüminyum tozu	0.005-0.02	%15'e kadar genişleme (prizlenmeden önce)
	doymuş tuşlu su	30-60	%1'e kadar genişleme (prizlenmeden sonra)
Su Kusmayı Önleyici	selüloz eter	0.2-0.3 (s/ç =0,7)	karışım suyunun %5'ine eşdeğer
	alüminyum sülfat	%20'e kadar (s/ç <5 için)	havayı tasfiye eder

Çizelge 2.3'de görüldüğü üzere katkı maddeleri hızlandırıcı, geciktirici, akışkanlık artırıcı, hava sürükleyici, genişletici ve su kusmayı önleyici maddeler olarak sınıflandırılmaktadır. Her bir katkı maddesinin kimyasal bileşenleri ve optimum dozajı Çizelge 2.3'de belirtilmiştir.

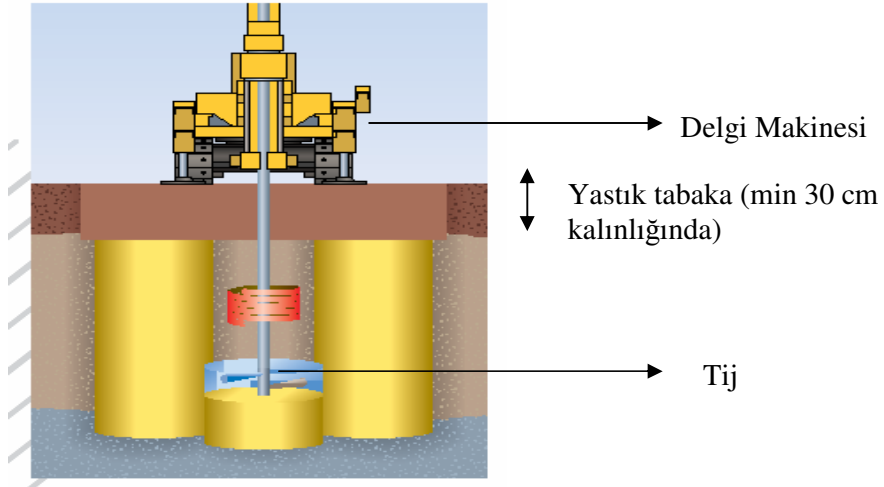
2.3 Jet Grout Zemin Enjeksiyonu

Zemin ıslahı ana işlev olarak zeminin mekanik mukavemet değerlerinin artırılmasını hedefler, dolayısıyla taşıma kapasitesi ve elastisite modülü artar, geçirgenlik azalır. Jet Grout yöntemi bu amaca ulaşılmasında en iyi enjeksiyon metotlarından biridir.

Bu metot çok basit tarifiyle, zeminin min. 300 bar basınçla püskürtülen bir stabilizerle karıştırılmasıdır. Püskürtülen harç bir yandan zeminin örselenmesine, bir anlamda parçalanmasına yol açarken bir yandan da zemin-çimento kolonları oluşturarak zemin özelliklerini iyileştirmektedir. Jet grouting yöntemi, hemen her tür zayıf zemin tiplerinde ve kum, çakıl, kil gibi doğal zemin elemanlarının oluşturduğu kombinasyonlarda, diğer iyileştirme metotlarından (mini kazık, dinamik kompaksiyon, vip dren, zemin dondurulması vb.) daha hızlı, güvenilir, kalıcı ve ekonomik bir çözüm alternatifidir. Geleneksel enjeksiyon metotlarına karşı ise; zemin iyileştirici grout'un miktarı delme ve sevk işleminden önce hesaplandığı için, işin birim ve toplam maliyetlerine çok hassas yaklaşımlar mümkündür. Temel takviyesinde deformasyonların az oluşu, kolonların istenilen derinliklerde üretilebilmesi, arazi şartlarına göre inşaat süresini %30-60 kısaltabilmektedir. Jet Grout Yönteminin çok geniş uygulama alanları vardır. Ayrıca önceden geleneksel yöntemlerle çözülen bir çok problem, zaman içerisinde jet grouting ile çözümlenebilmektedir.

Yöntemin en çok kullanıldığı alanlar; derin temeller, tünel kazısı öncesi zemin ıslahı ve tünel duvar takviyeleri, yeni temellerin takviyesi, eski temellerin güçlendirilmesi, iksa duvarları, dip tapaları, zemin suyuna geçirimsiz perdeler, şev stabilizasyonu, zemin ankrajları, sığ kazılarda şevlerin tutulması, kazı tabanından su gelmesinin önlenmesi, zemin iyileştirilmesi, yapı yüklerinin daha derin tabakalara aktarılması olarak özetlenebilir (Lunardi, 1977).

Şekil 2.7'de jet grout sistemi şematik olarak gösterilmiştir. Zeminde oluşturulan jet grout kolonlarla temel alt kotu arasında minimum 30 cm, maksimum 60 cm kalınlığında yastık tabakası görevini üstlenen stabilize dolgu malzemesinin serilmesi oluşan jet grout kolonlarında başlıkların temel altında kırılmasını engellemektedir.



Şekil 2.7. Jet grout sistemi şematik gösterimi

Jet Grout yapımında jet grout yapımı için uyarlanmış bir delgi makinesi, basınçlı püskürtme için gerekli enjeksiyon pompası, çimento silosu, su deposu, enjeksiyon işlemi için mikser ve dinlendirici kazanlarının bulunduğu bir santralin bulunduğu bir düzen kullanılır. Bu sistem Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’ da gösterilmiştir.

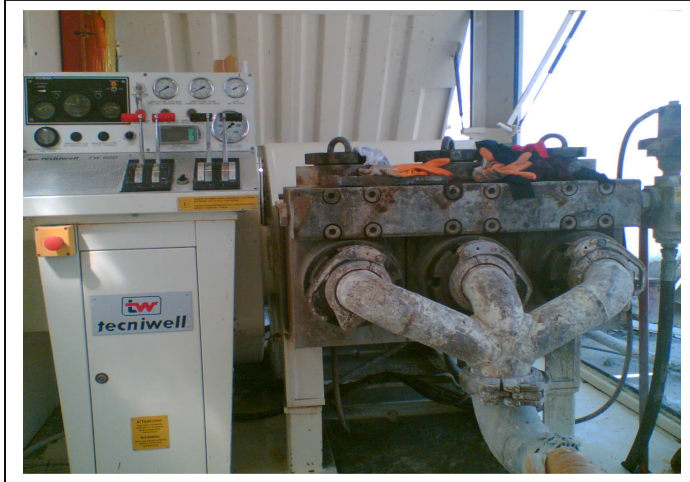


Şekil 2.8. Jet grout çimento silosu, pompa ve santral üniteleri



Şekil 2.9. Jet grout delgi makinesi (SM-405)

Jet grout kolonlarının yapımında 60 MPa da 150-450 lt/dk. arasında çimento harcı basabilen ve 8 saate kadar sürekli çalışabilen pompalar kullanılmaktadır (Kauschinger vd., 1992). Şekil 2.10'da Türkiye'de Ast İnşaat İstanbul Oteli Lojmanları Şantiyesindeki jet grout zemin iyileştirilmesi işlerinde kullanılmış olan Tw-600 pompa gösterilmektedir.



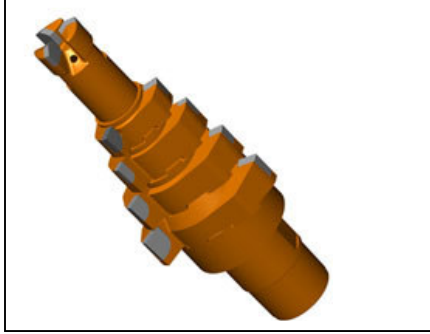
Şekil 2.10. Jet grout enjeksiyon pompası (Tw-600)

Jet Grout metodunun uygulanmasında delgi ve enjeksiyon olmak üzere iki aşama bulunmaktadır. Uygulamada Türkiye’de “TS EN 12716 Özel Geoteknik Uygulamalar – Jet Enjeksiyon” esas alınmaktadır. Öncelikle inşaat sahası ve yolları makine ve personelin verimli çalışarak planlanan günlük imalat miktarlarının yapılabilmesi ve imalat kalitesine ulaşılabilmesi için düzgün ve kuru tutulmalıdır. Delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve ağır iş makinelerinin 10 cm ’den fazla batmadan çalışmalarına imkan sağlayacak biçimde düzenlenmesi gerekir. Çalışma sahasında uygun yüzey drenaj sistemi tesis edilerek platformun kuru kalması sağlanmalıdır (Anonim, 2001).

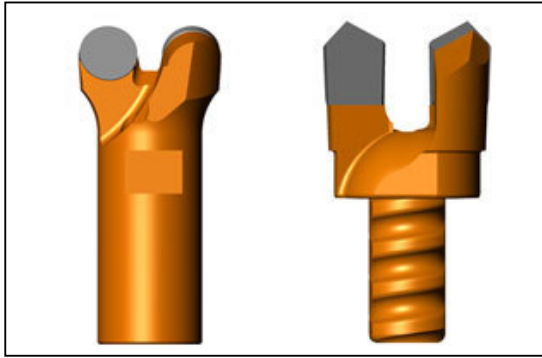
Jet grout kolonların imal edileceği noktaların zemine işaretlenmesi uzman ölçüm ekibi tarafından tek tek yapılır. Tüm jet grout kolonlar, uygulama projelerinde gösterilen merkez konumlarından en fazla 75 mm mesafe içinde kalacak şekilde oluşturulur. Jet grout kolon deliğinin oluşturulması esnasında, delgi ucu mümkün olduğunca düşey bir konumda tutulur ve düşeyden sapma 1/50’den daha fazla olmaması gerekmektedir. Önce projede istenilen derinliğe kadar delgi makinesi ile delgi yapılır, ardından delgi borusu kendi eksenini etrafında döndürülürken yukarı doğru çekilir, püskürtülen harç ile zemin örselenirken zemin-çimento karışımı meydana getirilir.

Ortamın zemin veya kaya olmasına göre, uygun bir delici makine ve ilgili delici uç, matkap, vidye, tij, su başlığı gibi ekipman kullanılır. Delme işleminin çeşidi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak seçilir. Delme işleminin kolaylaştırılması, uç takımının soğutulması ve zeminin enjeksiyona hazırlanması maksadı ile delme sırasında çok çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır. Bunlar su, hava, bentonit şerbeti, çimento şerbeti olabilmektedir. Delgi makinesi tijleri uç takımı olarak, yumuşak karakterli zeminlerde genellikle kil matkapları, sert karakterlerde ise kaya matkapları kullanılmaktadır. Delme borusu (tij) olarak da jet grout tijleri kullanılmaktadır; bunlar da yüksek basınca dayanıklı malzeme ve imalat tekniği ile imal edilmektedirler. Bağlantı manşonlarında da 500-600 bar’a dayanıklı sızdırmazlık elemanları (tij keçesi) kullanılmaktadır. Şekil 2.11’de alüvyonlu

zeminlerde su ve hava ile delgide kullanılan kademeli matkap, Şekil 2.12’de yumuşak zeminlerde kullanılan kademeli olmayan delgi matkabı görülmektedir.



Şekil 2.11. Kademeli delgi matkabı



Şekil 2.12. Kademeli olmayan delgi matkabı

Jet Grout enjeksiyon ekipmanları mikser, dinlendirici, pompa, su tankı, çimento silosu, basınç göstergeleri, vanalar vb. ekipman, su saati, gidiş-dönüş hattı, ara hortumlar vb. ekipmanlardan oluşmaktadır. Enjeksiyon karışımı belirli orandaki suyun ve çimentonun mikserde birleştirilmesiyle oluşur. Uygulama alanına göre su/çimento oranı ayarlanır, çok miktarda hacim dolacaksa, pompanın basmasının mümkün olduğu oranda (%25 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 durdurulur, çelik bir bilya delme borusu içine bırakılır, uç kısmının hemen üstünde yer alan bir valf bu suretle kapatılmış olur. Valf kapanınca delme borusuna yollanacak grout’un

yönü boru ucunda “monitör” diye adlandırılan ve jet grout nozzle’larını taşıyan takıma çevrilmiş olur. Yüksek basınçlı grout pompalanmaya başlanır ve enjeksiyon fazı başlamış olur. Yüksek basınç grouta nozzle’lardan geçerken yüksek hız kazandırır. Yüksek hızlı grout zeminin doğal yapısını parçalayarak zeminle karıştır. Delici takımın dönel hareketi sayesinde bu karışım daire kesitli bir kolon formunda oluşur ve zeminden çok farklı mekanik değerlere sahip jet grout kolon elde edilmiş olur (Melegary ve Garassino, 1997).

Delici takımın dönme hareketi, önceden belirlenmiş ve sabit bir hızla çekme hareketi ile birleşince düşey kolonlardan oluşan bir yapı oluşturulur. Delici boru takımının çekilmesi esnasında, dönme hareketinin kısmi olarak uygulanması da mümkün olup, bu yolla çeşitli kesitlerde ince çimento perdeler elde edilebilir. Oluşacak kesitlerin ebatları, zemin özelliklerine bağlı olduğu gibi; dönüş hızı, çekme hızı, enjeksiyon basıncı, grout debisi (dakikada strok sayısı), nozzle çap ve adedi gibi jet grout parametrelerine bağlıdır.

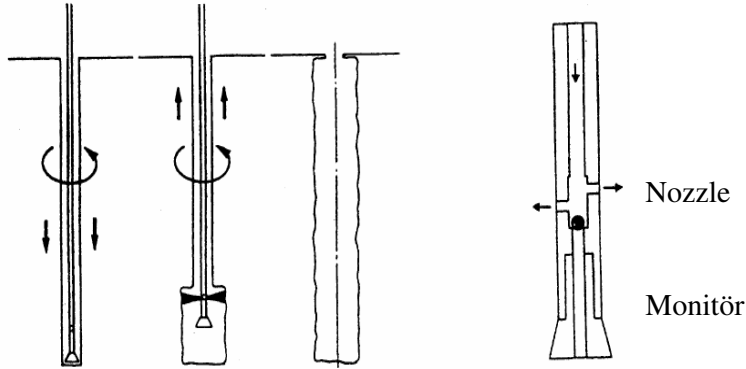
Basınçlı enjeksiyon esnasında, delici takımın etrafından dışarıya belirli bir miktar zemin materyali taşması uygun görülür. Bu durum groutla karıştırılan zemin içinde aşırı basınç oluşmadığına işaret eder. Çünkü aşırı basınç oluşması halinde, basıncın fazlası delme borusu çapı ile delinen delik çapı farkından oluşan boşluktan dışarı kaçar.

Aşırı basıncın oluşmasının istenmemesinin sebebi aşırı basıncın zeminde kırılmalara ve ayrıca zeminin kaldırılmasına sebep olmasıdır. Bu durum oluşturulan kolonlarda süreksizliğe ve mevcut yapıların konstrüksiyonlarında problemlere yol açar. Bu türden sorunların yaşanmaması için uygulamada; debi miktarının azaltılması, enjeksiyon basıncının düşürülmesi, masif kil özellikli zeminlerde, ön yıkamalı delme işlemi gibi tedbirler alınmaktadır. Basınçlı enjeksiyon sırasında taşan 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).

2.3.1. Jet Grout Teknikleri

Jet-Grout teknikleri zemin koşullarına, istenen jet grout kolon özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Amaçlarına ve kullanım şekline göre Jet1, Jet2, Jet3 yöntemleri olmak üzere üç çeşit jet grout yöntemi bulunmaktadır.

JET1 Yöntemi, en basit ve yaygın kullanılan tekniktir. İlk olarak 70' li yılların başında Japonya'da, 70 lerin ortalarında ise İtalya'da denenmiştir. Bu yöntemde, delme-enjeksiyon takımı tek çeperli bir borudan ibaret olup, grout bu boruda nozzle lardan 300-600 bar basınçla basılmaktadır. Delgi makinesindeki tijler hem kendi ekseninde dönmekte ve aşağıdan yukarıya doğru çekilmektedir. Şekil 2.13'de jet1 yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



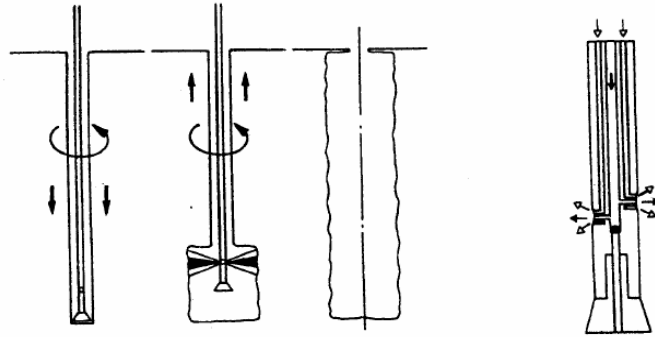
Şekil 2.13. Jet 1 yöntemi şematik gösterimi

Jet1 yönteminde genellikle 1 veya 2 nozzle kullanılmaktadır. Nozzle sayısının az olması enerji kaybının az olması demektir. Küçük çaplı nozzle'larda ki enerji kaybı, jetin nozzle'ın hemen çıkışında oluşturduğu bulutlanmadan kaynaklanır. Nozzle çapı arttırıldığı zaman bu bulutlanma da azalır. Bu metotla oluşan kolonlar zemin türlerine ve parametre aralıklarına göre yaklaşık olarak killi zeminlerde 600-800 mm, kumlu-çakıllı zeminlerde 1000 mm olarak oluşur. Tekli sistemle jet grout kolonu imalinde tek sınırlama aletten kaynaklanmaktadır. Çimento basan pompanın gücü ve sağladığı akış hızı kolon çapını etkiler.

Jet2 Yöntemi, çift çeperli bir boru takımının delici olarak kullanıldığı, çift akışkan kullanılan metottur. Bu metot da grout orta borudan, basınçlı hava (8-12 bar) dış borudan geçer. Basınçlı hava, Jet1 yöntemindeki kinetik enerji sürtünme kayıplarını kısmen azalttığı için, bu metotla oluşan kolon çapları Jet1'e kıyasla % 60-80 daha büyük olur.

Kum içindeki bir uygulamada , ikili sistemle jet grout kolonu yapılırken zeminin örselenmesi için 45 Mpa basınç uygulanmış; delgi borusunun dönme hızı 8-10 devir/dk., harcanan çimento 930 kg/m, çimento/su oranı 1/1.25, harç debisi 130 lt/dk., harcın birim hacim ağırlığı 16-17 kn/m³ iken kolon çapı 1.4 m ye ulaşmıştır (Ichihashi vd., 1992).

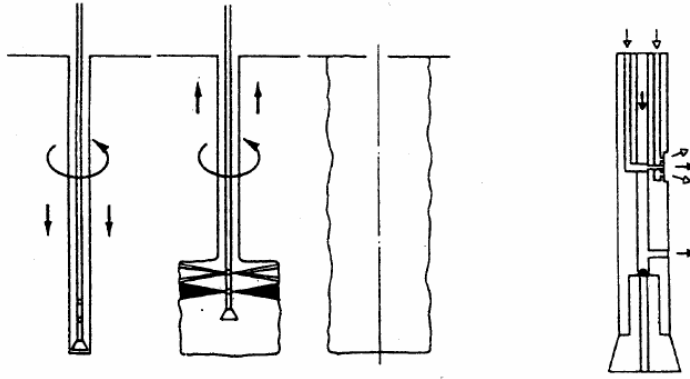
İkili sistemin önemli bir dezavantajı çimento basılan zeminin hava içeriğini arttırmasıdır. Elde edilen zemin-çimento karışımının mukavemeti ikili sistemde diğer sistemlerden daha düşüktür. Şekil 2.14' de Jet2 yöntemi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Jet2 yöntemi şematik gösterimi

Jet2 yönteminde genellikle bir nozzle kullanılmaktadır. Bunun sebebi iki hava nozzle'ından birinin tıkanması durumunun operatörün fark etmesindeki zorluktur. Bu da metodun amacına ulaşmasını zorlaştırmaktadır. Jet2 de kullanılan nozzle'ların çapı Jet1'e göre daha büyüktür (2.5-4.5 mm). Jet2 metodunda zemin kırılma riski daha azdır.

Jet3 yönteminde ise iç-içe 3 borulu takım kullanılarak, 400-600 bar basınçlı su ortadaki borudan, 8-12 bar basınçlı hava ara borudan, tıpkı Jet 2 deki gibi, nozzle'lerden basılmaktadır. 30-80 bar basınçlı grout ise en dış borudan ayrı bir nozzle'dan, su-hava karışımı içine enjekte edilmektedir. Jet grout kolonlarının çapları bu metodla 2 m 'nin üzerine kadar çıkabilmektedir. Şekil 2.15'de jet3 yöntemi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Jet3 yöntemi şematik gösterimi

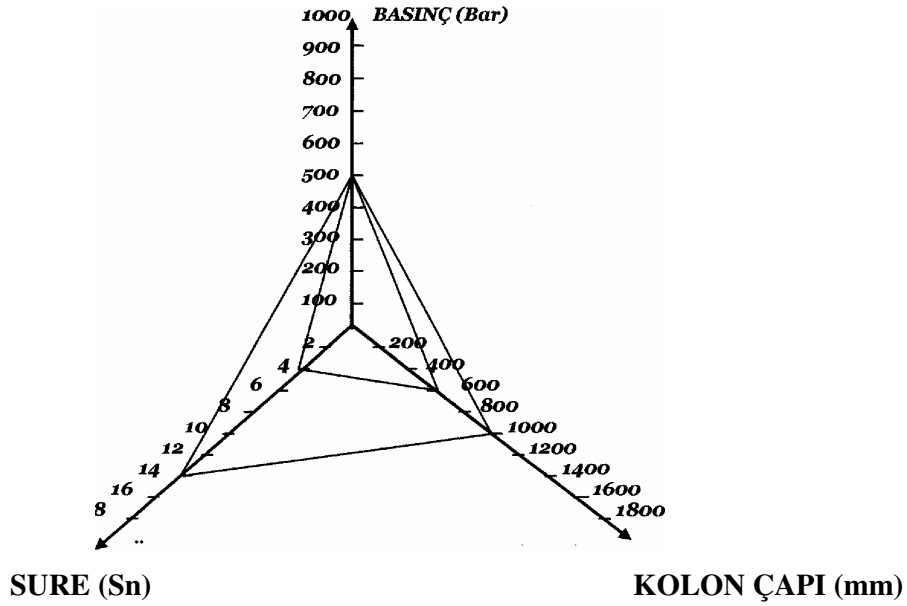
2.3.2 Jet Grout Yönteminde Kullanılan İşletim Parametreleri

Çalışma parametreleri, zemin özelliklerine, elde edilmek istenen kolon çapına, kolonunun taşıma kapasitesine ve tercih edilen jet grout metoduna göre seçilmektedir. Bu parametrelerin başlıcaları; enjeksiyon basıncı, dozaj, çekme ve dönme hızı olarak gösterilebilir. Jet grout kolon imalatına başlanmadan önce farklı işletim parametreleri kullanarak test kolonları imal edilmektedir. Zemin yapısına uygun, istenen kolon çapının elde edildiği, kolonda sürekliliğin sağlandığı ve ekonomik olan parametreler tercih edilmektedir.

2.3.2.1 Enjeksiyon Basıncı

Enjeksiyon basıncının çalışma aralıklarına göre, jet grout işleri genel olarak; 200-250 bar aralığında çalışma düşük basınçlı, 300-400 bar aralığında çalışma orta basınçlı, 400-700 bar aralığında çalışma yüksek basınçlı çalışmalar olarak yapılmaktadır.

Basınç, elde edilmek istenen çapın oluşmasında en önemli parametredir. Şekil 2.16' da görüldüğü üzere basınç ile kolon çapı arasında direk bir bağlantı vardır. Basınç arttırıldığı zaman kolon çapı artar. Bununla beraber ulaşılmak istenen çapta homojen bir kolon elde etmek için basınç değeri gerekli fakat yeterli değildir. Aynı çap ve homojenlikte kolon oluşması zaman faktörü ile de ilişkilidir. Bazı zemin şartlarında ise basıncı arttırmak, çapın artmasını sağlamayabilir.



Şekil 2.16. Basınç-kademeli bekleme süresi-hedeflenen kolon çapı ilişkileri (Melegary ve Garassino, 1997)

2.3.2.2 Dönme ve Çekme Hızı

Dönme ve çekme hızı jet grout yönteminde işletim parametrelerinin en önemlileri arasındadır. Dönme işlemi delgi makinesinde bulunan tijlerin belli bir hızla kendi eksenleri etrafında dönmesidir. Zemin ile enjeksiyon malzemesinin homojen bir karışım oluşturabilmesi için, tijlerin dönüş hızı belirli bir değerden fazla olmamalı, tij çekme hızı da ıslah edilen bölgenin tamamında sürekliliği sağlayacak şekilde ayarlanmalıdır. Dönüş hızı genellikle 10-20 devir/dak. değerleri arasında değişir. İstenilen çapın çok büyük olmadığı durumlarda 30 devir/dak.'ya kadar çıkabilmektedir.

Çekme işlemi ise delgi makinesinde bulunan tijlerin istenen jet grout alt kotuna inildikten sonra enjeksiyon başladığı anda kolon oluşumu için belli bir hızla aşağıdan yukarıya doğru çekilmesi işlemidir. Tij çekme işlemi, kademeli çekme ve sürekli çekme olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Bu iki ayrı tip çekme metodu, genellikle delici makinenin imal yöntemine bağlı olarak seçilir. Bazı makinelerde sadece kademeli, bazılarında ise hem kademeli hem de sürekli çekme düzeneği bulunmaktadır. Kademeli çekmede, her kademedede 4 cm ilerleme ve 6-10 saniye bekleme, en iyi neticeyi sağlamaktadır. Sürekli çekmede ise delgi makinesinde ayarlanan sabit bir çekme hızı ile tijlerin aşağıdan yukarıya çekilmesi sağlanmaktadır (Melegary ve Garassino, 1997).

Çekme hızı, zeminin özelliklerine ve birim hacme enjekte edilecek grout miktarına bağlıdır. Kohezyonlu zeminlerde, nozzle lardan çıkan enjeksiyon malzemesinin zemini parçalama işlemi ve karışım oluşumunu sağlayabilmesi için genellikle daha uzun süreler gerekmektedir. Dönme ve çekme hızı optimizasyonu ıslah edilecek zemine ve kullanılan jet-grouting metoduna bağlıdır. Jet2 ve Jet3 metotları, daha büyük çaplar hedeflediği ve dolayısıyla ıslah edilen zemin hacmi daha büyük olduğu için, daha uzun sürelere ihtiyaç duyarlar.

2.3.2.3 Dozaj

Standart su/çimento oranı 1, özgül ağırlığı ise $1410-1570 \text{ kg/m}^3$ dür. Bu oran seçilen metod, uygulanan ıslah yöntemi ve kolonların nihai mukavemetlerine göre değişebilir. Su/çimento oranının, su geçirmez plastik grout perde teşkili için karışımda bentonit kullanımının 0.7' nin altına inmesi uygun görülmez. 1m^3 ıslah edilmiş zemin içindeki çimento miktarı $350-700 \text{ kg/m}^3$ arasında değişir. Genelde, bu değer ortalama 450 kg/m^3 alınabilir.

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

2.3.3 Farklı Zeminlerde Jet Grout Uygulama Parametreleri

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

Killi zeminlerde, düzgün bir kolon elde etmek için, küçük çaplı nozzle kullanılmalıdır. Genellikle kullanılan nozzle adedi 2, çapları ise 1,6- 2.0mm 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 kademedede bekleme süresi uzun olmalıdır. Bu tür killi 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. Bu genel kurallar seçilen jet sistemine uyarlanmalıdır. Killi zeminlerle birlikte kumlu ve çakıllı zeminlerdeki farklı çalışma parametreleri ve bunların elde edilecek sonuca etkileri Çizelge 2.4' de görülmektedir.

Çizelge 2.4. Jet grouting işletim parametreleri genel değerleri (Melegary ve Garassino, 1997)

PARAMETRE		JET GROUTING METODU		
		Jet-1	Jet-2	Jet-3
Enjeksiyon Basıncı		Ö.Y. : Ön Yıkama		
Su		Ö.Y (200-300)	Ö.Y (200-	300-500
Grout	Bar	300-600	300-600	40-60
Basınçlı Hava	Bar	kullanılmaz	8-12	8-12
Grout Debisi				
Su	lt/dak.	Ö.Y	Ö.Y	70-250
Grout	lt/dak.	60-250	100-350	150-300
Basınçlı Hava	lt/dak.	kullanılmaz	5-15.000	5-15.000
Nozzle Çapları				
Su	mm	Ö. Y (1,6 -2,4)	Ö.Y(1,6-2,4)	1,8-2,5
Grout	mm	1,6 - 3,0	2,0-5,0	3,5-6,0
Nozzle Sayısı				
Su	adet	Ö.Y(1)	Ö.Y(1)	1 -2
Grout	adet	2-6	1-2	1
Takım Dönme Hızı				
	d/d	10-30	10-30	10-30
Takım Çekme Hızı (Kademeli Çekme - Her kademe 4 cm)				
	Saniye	8-15	10-20	15-25
Kolon Çapı				
Kumlu - Çakıllı	m	0,6-1	1,0-2,0	1,5-2,5
Killi	m	0,5-1	1,0-1,5	1,0-2,0
Su/Çimento oranı				
	S:C	0,8:1	den	2: 1'e
Çimento Sarfiyatı (Karıştırılmış zeminin birim hacminde)				
	kg/m ³	400-800	400-800	400-800
Soilcrete (Karıştırılmış zemin) mukavemeti				
Kumlu - Çakıllı	kg/cm ²	100-300	75-250	75-200
Killi	kg/cm ²	15-100	15-85	15-75

2.3.4 Bir Jet Grout Kolonun Mekanik Karakteristikleri

Jet grout yöntemi ile zemin ıslah işleminde öncelikle enjeksiyon ile karıştırılan zeminin mukavemeti artmaktadır. Farklı zeminlerin taşıma kapasiteleri incelendiğinde su/çimento oranı 1 ve ıslah edilmiş zemin içindeki çimento dozajı ortalama 450 kg/m³ olan, farklı tabii zeminlerde oluşturulmuş kolonların kapasiteleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

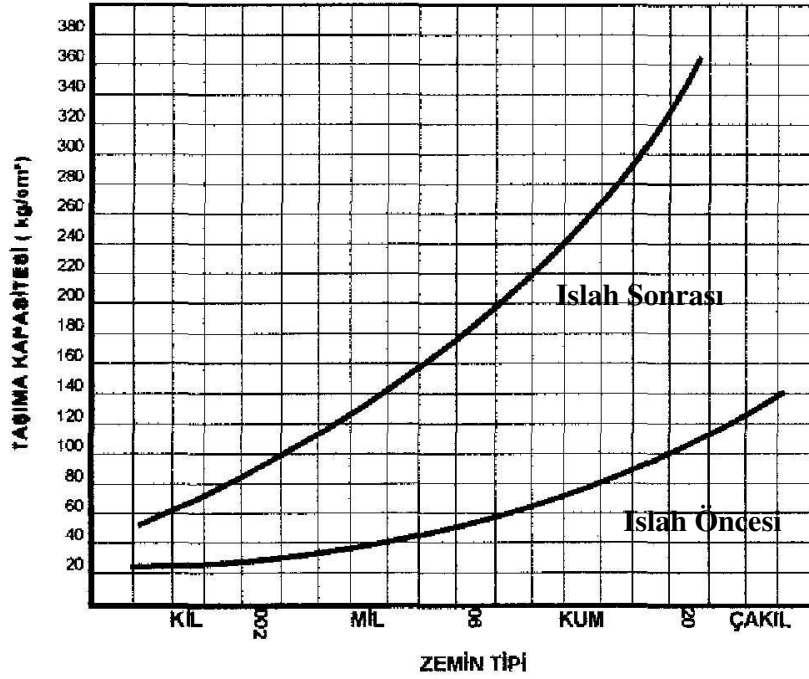
Çizelge 2.5. Farklı tipteki zeminlerde teşkil edilen jet grout kolon taşıma kapasiteleri (Melegary ve Garassino, 1997)

Zemin Türü	Zeminde Teşkil Edilen Jet Grout Kolon Taşıma kapasiteleri (kg/cm ²)
Organik İçeriği Çok Olan Zeminler	3
Kil	18-30
Silt	30-45
Kum	60-90
Çakıl	100

Organik içerikli zeminlerde çimento dozajı 450 kg/m³ den 700 kg/m³'e çıkartılabilmektedir, çünkü kullanılan çimentonun bir kısmı organik ortamda yer alan ve çimentonun bağlayıcılığını ortadan kaldıran asitlerin nötrleştirilmesinde harcanmaktadır.

Jet grout zemin enjeksiyonu sayesinde ıslah edilmiş hacim, bitişindeki işlem görmemiş zeminin özelliklerini de iyileştirmektedir. Jet-grouting'in bu ikinci etkisi sayesinde, ıslah edilmiş zeminin SPT değerleri doğal zemininkine (ve diğer ıslah metotlarının neticesinde oluşan sonuca) göre %20-25 daha yükselmektedir (Melegary ve Garassino, 1997).

Aynı su/çimento oranı ve çimento dozajlı Jet2 kolonunun mukavemeti, Jet1 kolonuna göre %10-15 daha düşüktür. Bunun sebebi, Jet2 kolonunun içindeki hava içeriğidir. Yine aynı su/çimento oranlı ve çimento dozajlı Jet3 kolonunun mukavemeti Jet1 ve Jet2 kolonunun mukavemetinden daha düşüktür. Bu da Jet3 metodunun içerdiği çok miktardaki sudan kaynaklanmaktadır. Şekil 2.17'de ıslah edilmiş zemin sınıfına göre kolon taşıma kapasitesinin değişimi gösterilmektedir. Buna göre granüler zeminlerde ıslah sonrası taşıma kapasitesindeki artışın daha fazla olduğu gözlenmektedir.



Şekil 2.17. Islah edilmiş zemin sınıfına göre farklı tipteki zeminlerde taşıma kapasitesinin değişimi (Melegary ve Garassino, 1997)

2.3.5 Jet Grout Kolonun İmalatında Kullanılacak Çimento Miktarının ve Parametrelerin Hesaplanması

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

Kullanılacak çimento miktarının hesabı aşağıdaki örnekteki gibi yapılmaktadır. Örnekte başlangıç verileri olarak aşağıdaki parametreler kullanılmıştır :

- Uygulanacak Metot Jet1
- Killi Zeminde istenen 60 cm kolon çapı
- Çimento Dozajı 450 kg/m^3
- Su/çimento oranı = 1

- Nozzle sayısı = 2
- Nozzle Çapı = 2 mm
- Enjeksiyon Basıncı = 400 Bar olarak alındığında 1 m ıslah edilmiş zemin hacmi H_{zemin} Eşitlik (2.3) ile bulunabilir.

$$H_{zemin} = \pi * r^2 * h (1 m) \quad (2.3)$$

$$H_{zemin} = 3,14 * 0,3^2 * 1 = 0,28 m^3$$

1 m ıslah edilmiş zemindeki çimento miktarı; ıslah edilecek hacim ile kullanılacak çimento dozunun çarpımı ile belirlenmektedir.

$$450 kg/m^3 * 0,28 = 126 kg/m \text{ olarak bulunmaktadır.}$$

Hacimsel olarak 1 lt' lik hacimde 3 kg çimento ile 1 kg su eşit yer kaplamaktadır. 3 kg/lt çimento hacimsel olarak 1 kg/ lt suya eşit olduğundan; su / çimento oranı 1 olan 1 m kolonda bulunan enjeksiyon malzemesinin hacmi;

$$126 + 126/3 = 168 \text{ litre olarak hesaplanmaktadır.}$$

Tij çekme hızının belirlenmesi için 1 dakikalık sürede 1 m lik uzunluktan çıkan enjeksiyon miktarının bilinmesi gerekmektedir.

Jet huzmesindeki 2 mm çaplı bir nozzle dan enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı Eşitlik (2.4) ile hesaplanmaktadır.

$$V = \sqrt{2gh} \quad (2.4)$$

Bu formülde, h = hidrostatik düşü, g = yerçekimi ivmesidir. Hidrostatik düşü h Eşitlik (2.5) deki formülle hesaplanmaktadır.

$$h = \text{Enjeksiyon basıncı} / \text{karışım özgül ağırlığı} \quad (2.5)$$

Karışımın özgül ağırlığı 1,45 kg/dm³ olarak alınırsa, hidrostatik düşü;

$h = 4000 / 1.45 = 2.760$ m olarak bulunmaktadır. Buna göre enjeksiyon malzemesi çıkış hızı v ;

$V = \sqrt{2 \times 9,81 \times 2,76} = 232$ m/sn olarak bulunmaktadır. 1 sn sürede bir nozzleden fıskıran enjeksiyon malzemesi miktarı Q Eşitlik (2.6) ile hesaplanmaktadır.

$$Q = V \times A \quad (2.6)$$

Bu formülde; V , Jet hızı; A , jet çıkış kesit alanını ifade etmektedir. Buna göre;

$$Q = 2320 \text{ dm/sn} \times 0,00062 \text{ dm}^2 = 1,45 \text{ lt/sn}$$
 olarak hesaplanmaktadır.

1 m kolon teşkili için gerekli süre ise 1 m kolonda bulunan enjeksiyon malzemesi hacminin 1 sn sürede bir nozzleden fıskıran enjeksiyon malzemesi miktarı Q 'ya bölümü ile :

$$(168/1,45) = 116 \text{ sn} = 1.93 \text{ dk.}$$
 olarak bulunmaktadır.

Çizelge 2.6. Değişik nozzle çaplarında ve değişik basınçlarda geçen grout miktarları (Melegary ve Garassino, 1997)

Su/Çimento = 1							Grout Özgül Ağırlığı = 1,52									
	Nozzle Çapı(mm)															
	1,	1,6	1,8	2	2,4	2,8	3	3,2	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	
Basınç	Debi(Bir nozzleden geçen grout miktarı)															
300	18	24	30	37	63	73	83	96	114	148	188	232	280	334	392	
350	20	26	32	40	58	78	90	103	123	160	203	250	303	380	423	
400	21	27	35	43	62	85	94	110	131	171	217	268	324	385	452	
450	22	29	37	45	65	89	102	116	139	182	230	284	343	409	450	
500	23	31	39	48	69	94	108	123	147	191	242	289	352	430	506	
550	25	32	41	50	72	98	113	129	154	201	254	314	380	452	530	
600	26	34	42	52	75	103	118	134	161	210	255	326	397	472	554	

Çizelge 2.6'da değişik nozzle çaplarında, 300-600 bar basınçlarda bir nozzle dan geçen grout miktarının lt/sn cinsinden değerleri yer almaktadır . Çizelge 2.6' ya göre

aynı basınçta nozzle çapının artmasıyla bir nozzle dan geçen grout miktarı artmaktadır.

Jet grout uygulanmasında üzerinde en çok durulan özellik, jet kolonlarının çapı olmaktadır. Kolon çapı, püskürtme enerjisine doğrudan bağlı görülse de zemin davranışını tahmin etmek o kadar kolay değildir. Püskürtme enerjisi E, Eşitlik (2.7) deki gibi ifade edilebilir.

$$E = (p \cdot Q) / V_{\text{çekme}} \quad (2.7)$$

Burada; p; püskürtülen harcın basıncı (MpA), Q; Harç debisi (m³/sn), V_{çekme}; yukarıya çekilme hızını (m/sn) göstermektedir.

Herhangi bir arazide yapılan uygulamada, uygulanacak maksimum basınç en az 3 deney yapılarak belirlenmelidir. Basınç gereğinden daha büyük olursa atık miktarı daha fazla olur ve zemin kabarması kontrol edilemez. Meydana gelen kolonların çapı ve mekanik özellikleri zemin cinsi ve özellikleri, harcın bileşimi, püskürtme basıncı, nozzleların bulunduğu delgi borusunun dönme ve yukarı çekilme hızına bağlıdır.

2.3.6 Jet Grout Kolonlarda Zemin-Çimento Karışımının Mukavemeti

Jet grout kolonlarından alınan karot numuneleri üzerinde serbest basınç deneyi yapılır ve elastisite modülü belirlenir. Zemin-çimento karışımının mukavemetinin belirlenmesi amacı ile jet grout kolonlarının yapımından en az 28 gün sonra numune alınıp, 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 eksenel birim deformasyon ve serbest basınç mukavemetinin % 40 ına tekabül eden sekant modülü verilmelidir. Serbest basınç deneylerinde, yük sabit hızla (yaklaşık 1 mm/dakika) 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. Tekli jet tekniği kullanılması halinde,

daha fazla çimento harcandığı için, karışım mukavemeti yüksek olmaktadır. Buna karşılık, ikili jet tekniği ile zemine daha az çimento püskürtüldüğü için karışım mukavemeti daha küçüktür. Ayrıca yüksek mukavemete erişebilmek için su/çimento oranının düşürülmesi gerekmektedir.

Kohezyonsuz zeminler içinde imal edilen jet grout kolonların 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 killer 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 10MPa, elastisite modülü 5400 MPa, Poisson Oranı 0,27 bulunmuştur (Lloret vd., 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.

2.3.7 Jet Grout Kolonların Taşıma Kapasitesi

Zeminde düşey olarak oluşturulan tekil jet grout kolonları zemindeki kazık elemanlarına benzer bir şekilde hesaplanabilmektedir. Jet grout kolonlarının taşıma kapasitesi $q_{\text{taş}}$ Eşitlik (2.8)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$q_{\text{taş}} = q_{\text{uç}} + q_{\text{yan}} \quad (2.8)$$

Bu formüde; $q_{uç}$ kolon uç direncini, q_{yan} ise kolon çevre direncini ifade etmektedir. Granüler zeminler için taşıma kapasitesi $q_{taş}$ (2.9) Eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$q_{taş} = A_b \cdot q_b + \pi \cdot D_a \cdot \int \gamma \cdot z \cdot K_s \cdot \tan \delta \cdot dz \quad (2.9)$$

Kohezyonlu zeminler için jet grout kolonun uç taşıma kapasitesi $q_{uç}$ (2.10) Eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$q_{uç} = A_b \cdot q_b + \pi \cdot D_a \cdot \int \alpha \cdot c_u \cdot dz \quad (2.10)$$

(2.9) ve (2.10) eşitliklerinde q_b değeri kumlu zeminlerde Eşitlik (2.11)'deki gibi, kohezyonlu zeminlerde ise Eşitlik (2.12) deki formülle hesaplanmaktadır.

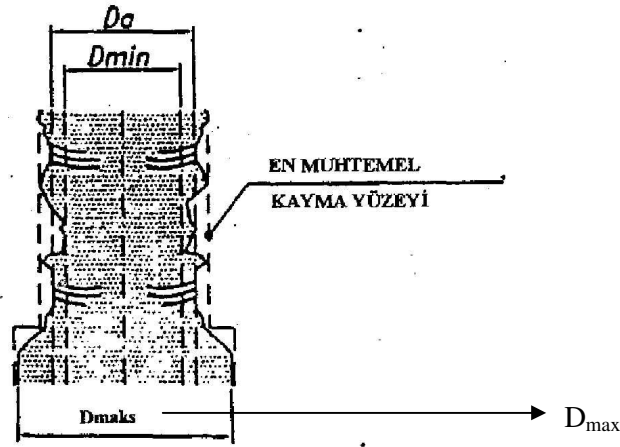
$$q_b : (1 + 2 \cdot K_o) \cdot \sigma_{vo} \cdot N_q \cdot \xi \text{ (kumda)} \quad (2.11)$$

$$q_b : 9 \cdot c_u \text{ (Kohezyonlu zeminlerde)} \quad (2.12)$$

(2.9), (2.10), (2.11), (2.12) Eşitliklerinde ;

A_b : Kolon taban alanı, D_a : kolon çapı, N_q : taşıma gücü faktörü, σ_{vo} : düşey toprak basıncı, γ : zeminin birim hacim ağırlığı, K_o : sukunetteki zemin basıncı katsayısı, K_s : zemin basıncı katsayısı (granüler zeminlerde $k_s = 1$), δ : zemin-kolon arasındaki sürtünme açısı, α : adhezyon için azaltma faktörü, c_u : drenajsız kayma mukavemeti, z : derinlik, ξ : uç taşıma kapasitesi için azaltma faktörünü ifade etmektedir. Jet grout tekniği ile yapılan kolonların temas noktalarında azdan çoğa doğru sıkışma meydana gelmekte, bir diğer yandan ise derinliğin artması ile kolonlar oluşturulamamaktadır.

Jet grout kolonlarının imali ile çevresinde oluşabilecek kayma yüzeyi Şekil 2.18'de görülmektedir. Kayma yüzeyi ile ilgili olarak adhezyon için azaltma faktörü normal konsolide ve aşırı konsolide olmuş zeminlerde $\alpha = 1$ olarak verilmektedir.



Şekil 2.18. Jet grout kolonlarında muhtemel kayma yüzeyi

Jet grout kolonlarında ortalama çap D_a 'yı dikkatli bir şekilde seçmek gerekmektedir. Çap kesinlikle güvenlik göz ardı edilmeden seçilmelidir. Uygulamada tahmin edilen kolon çaplarından daha büyük çaplara ulaşılabilen bu da güvenlik sayısını arttırmaktadır. Adhezyon katsayısının ve zemin basıncı katsayısının 1 değerinden büyük olması yine tahmin edilenden daha büyük çaplar elde edilmesine yol açmaktadır.

Adhezyon katsayısının 1 ile 0.45 değerleri arasında veya zeminin basınç katsayısının 1 ile 1.4 arasında seçilmesi ile zeminde oluşturulan kolonların ortalama tahmini çapı, gerçekte oluşturulan kolonlarıki ile eşdeğer olabilmektedir. Çökebilen zeminlerin içinde ince tabakalar halinde taşıyıcı özelliğine sahip olmayan malzemeler bulunduğundan bu durum boşluk suyu basıncının emilmesine yol açmaktadır. Çökebilen zeminlerin sağlam zemin ile kolon gövdesi arasında bulunmasıyla, su seviyesinin üstünde yüzey sürtünmesinde azalmaların olduğu görülmektedir. Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'de jet grout kolonları ve diğer kazık çeşitlerinin grup etkisi göz önüne alınarak, negatif yüzey sürtünmesi ve tabakalı zeminlerdeki limit değerleri gösterilmiştir. Hesap yöntemlerinin doğru uygulanması ile iyileştirilen zeminin direnci killerde 4 Mpa, çakıllı ve kumlu zeminlerde ise 12 MPa' a kadar çıkabilmektedir. Ön yıkama yöntemi ile killerde daha yüksek değerlere ulaşılabilir.

Çizelge 2.7. Granüler zeminlerde kolon tasarımında kullanılan limit değerler(Melegary ve Garassino, 1997)

Kazık Tipi	Sürtünme Kapasitesi Azaltma Faktörü		Birim Çeper Sürtünmesi İçin Limit Değerler	Uç Kapasitesi Azaltma Faktörü
	δ/φ	K_s	τ_{kPA}	ξ
Fore Kazık	0,6	0,5-0,65	100-200	0,33-0,50
Çakma kazık (açık uç)	02-Mar	0,65-0,95	120	0,70-0,80
Çakma kazık (kapalı uç)	0,75	1,0-1,5	120-180	1,0
Jet Grout Kolon	1,0	1,0-2,0	≥ 180	1,0

Çizelge 2.7 incelendiğinde granüler zeminlerde oluşturulan jet grout kolonlarında fore kazık , çakma kazık imalatlarına göre negatif yüzey sürtünmesinin arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 2.8 : Kohezyonlu zeminlerde kolon tasarımında kullanılan limit değerler (Melegary ve Garassino, 1997)

Kazık Tipi	Sürtünme Kapasitesi Azaltma Faktörü		Birim Çeper Sürtünmesi İçin Limit Değerler	Uç Kapasitesi Azaltma Faktörü
	δ/φ	K_s	τ_{kPA}	ξ
Fore Kazık	0,9	0,35	275	0,66
Çakma kazık (açık uç) (e :dış, i: iç)	0,95e 0,80i	0,40e 0,35i	200	0,70
Çakma kazık (kapalı uç)	0,95	0,45	200	0,8
Jet Grout Kolon	1,0	0,45	280	1,0

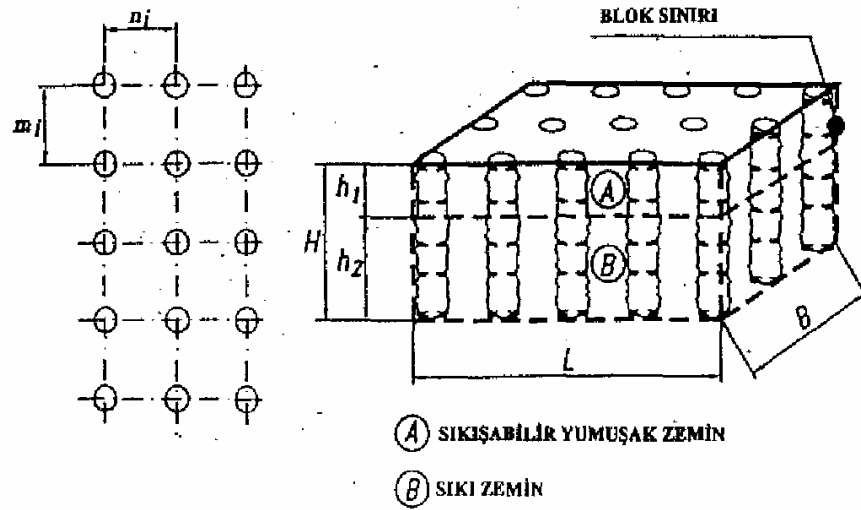
Çizelge 2.8 incelendiğinde de kohezyonlu zeminlerde oluşturulan jet grout kolonlarda da negatif yüzey sürtünmesinin fore kazık ve çakma kazık imalatlarına göre arttığı gözlenmiştir.

2.3.8 Jet Grout Kolonlarla Yapılan Zemin İyileştirilmesindeki Analizler

Zemin iyileştirmesindeki amaç, zeminin büyük hacme sahip kütesindeki özelliklerinin değiştirilmesidir. Jet grout kolonları ile zemin iyileştirilmesine gidilmesi düşünüldüğünde iki kriterin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu kriterler kolonların taşıma gücü ve oturma analizleridir.

Kolonların taşıma gücü analizleri yapılırken iki yöntem seçilebilir. Bu yöntemler:

Taşıma elemanlarının grup kapasitesi ve ıslah edilen alanın blok analizidir. Jet grout kolonlarıyla ıslah edilen zeminin blok taşıma kapasitesinin belirlenmesi için Şekil 2.19'dan yararlanılmıştır.



Şekil 2.19. Jet grout kolonlarıyla ıslah edilen zeminin blok taşıma kapasitesi (Melegary ve Garassino, 1997)

Taşıma elemanlarının grup kapasitelerinin hesaplanmasında her bir kolonun taşıma kapasitesinin toplamı Eşitlik (2.13)'deki gibi verilmektedir.

$$P_{\text{taş (grup)}} = \beta \cdot n \cdot m \cdot P_{\text{taş (kolon)}} \quad (2.13)$$

Burada:

β : klonların aralıklarına, kolon uzunluklarına, zemin çeşidine, vb. özelliklere bağlı azaltma faktörü, n: yatay yöndeki sıra sayısı, m:Düşey yöndeki sıra sayısını, $P_{\text{taş (kolon)}}$: her bir jet grout kolonun taşıma kapasitesini göstermektedir.

Blok analizinin yapılabilmesi için grubun taşıma kapasitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Taşıma elemanlarının grup taşıma kapasitesi (2.14) Eşitliği ile verilmektedir.

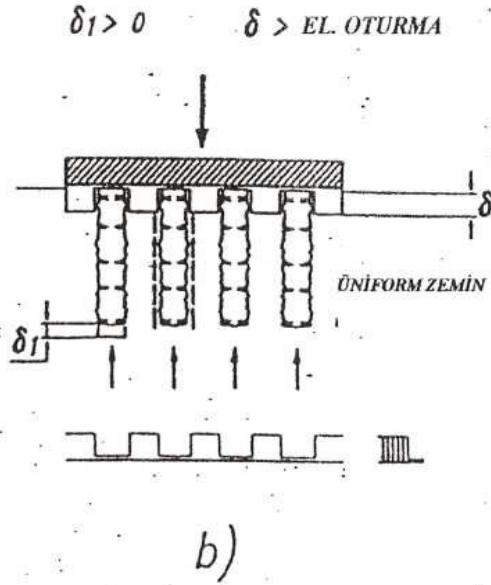
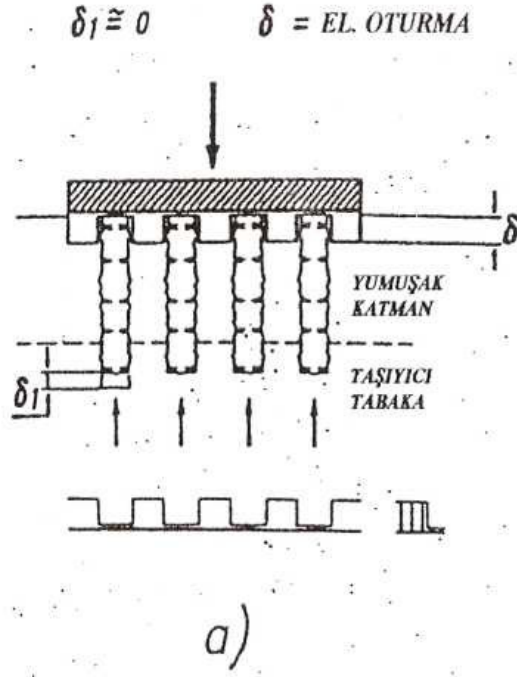
$$P_{\text{taş (grup)}} : B \cdot L \cdot Q_b + 2 \cdot (B + L) \cdot (h_2 \cdot Q_{12(\text{ort})} - h_1 \cdot Q_{11(\text{ort})}) \quad (2.14)$$

Bu formülde :

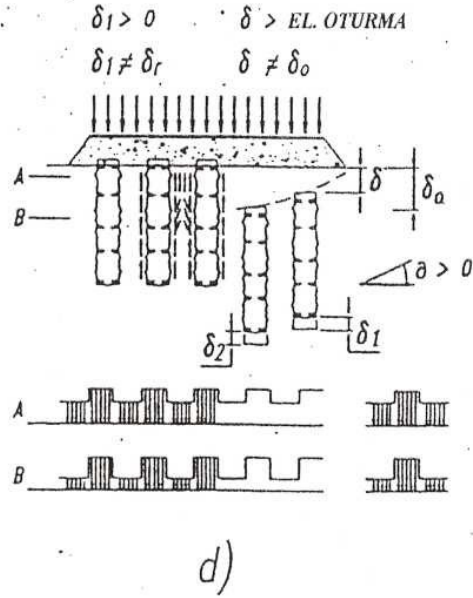
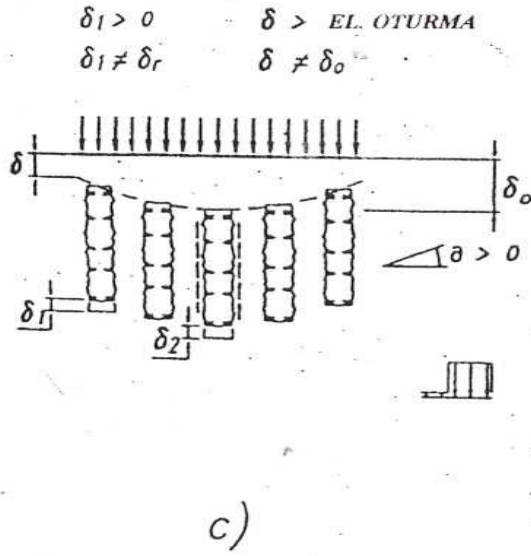
Q_b : H derinliğindeki uç birim taşıma kapasitesi, $Q_{12(\text{ort})}$: h_2 derinliği için ortalama yanıl sürtünme derinliği, $Q_{11(\text{ort})}$: h_1 derinliği için ortalama yanıl sürtünme değeri, h_1 : Negatif yüzey sürtünmesinin üretilebileceği yumuşak tabakanın kalınlığı, h_2 : Kolonun iyice gömüldüğü taşıyıcı tabaka kalınlığını ifade etmektedir.

Eğer negatif yüzey sürtünmesi bulunmuyorsa $h_1 = 0$ ve $h_2 = H$ kabul edilmelidir.

Jet grout kolonlar ile iyileştirme yapılan zeminlerdeki oturma analizlerinde yükün aktarılma şekli ve kolonların zemin içindeki durumuna göre oturmalar farklı şekillerde meydana gelmektedir. Buna göre; eğer yük rijit bir kütle tarafından kolonlara aktarılıyor ve kolonların uçları taşıyıcı katman içinde bulunuyorsa, bütün yük kolonlara aktarılarak her bir kolonda elastik oturmaya neden olmaktadır (Şekil. 2.20a).



Şekil 2.20. Jet Grout Kolonlarla İyileştirilen Zemindeki Oturmaların Gelişimi(a,b)
(Melegary ve Garassino, 1997)



Şekil 2.20. (devam) Jet grout kolonlarla iyileştirilen zemindeki oturmaların değişimi (c,d)

Eğer yük rijit bir kütle tarafından aktarılıyor ve kolon uçları taşıyıcı katmanda bulunmuyorsa, kazıklar yüzen kazık şeklinde davranmakta ve yükün büyük bir bölümü jet grout kolonlarına aktarılmakta, çok küçük bir orandaki bir bölümü

zemin tarafından taşınmaktadır. Oturmalar kolonların elastik oturmasından daha fazla olmaktadır (Şekil 2.20b).

Yük üniform bir şekilde bükülebilir bir yüzey tarafından aktarılıp jet grout kolon uçları taşıyıcı katmanda bulunmuyor ise, yükün büyük bir bölümü kolonlara aktarılmakta sabit orandaki bir bölümü zemin tarafından taşınmaktadır. Oturmalar üniform değildir (Şekil 2.20c).

Eğer yük ve temel sistemi arasında granüler malzeme yer alıyor ise yük genel olarak kolonlar tarafından, sabit bir oranda da zemin tarafından taşınmaktadır Granüler malzemenin bulunması, zemindeki kolonların reaksiyonlarının daha üniform davranmasını sağlar fakat derine gidildikçe zemin gerilmelerinin çoğunlukla kolonlara aktarıldığı görülmektedir (Şekil2.20d).

Şekil a,b,c,d incelendiğinde sadece Şekil a' da jet grout kolonlarının taşıyıcı elemanlar olarak çalıştığı görülmekte diğer durumlarda bulunan jet grout kolonlarının yükleme yapıldığı anda zeminin davranışını değiştiren bir faktör olduğu görülmektedir.

Jet grouting kolonları ile zemin ıslahı yapılırken blok olarak zeminin oturma koşullarını da sağlaması gerekmektedir. Bu sebepten dolayı oturma koşulu göz önüne alınarak hesaplanan elastisite modülü ile zeminin ıslahı neticesindeki ortalama elastisite modülü karşılaştırılmalıdır. Burada dikkat edilmesi gereken koşul, ıslah edilen zeminin ortalama elastisite modülünün, oturma koşulu göz önüne alınarak hesaplanan elastisite modülünden büyük veya eşit olmasıdır.

Jet grout kolonlarla teşkil edilmiş zeminde yatak katsayısı Eşitlik (2.15) deki gibi tanımlanmıştır (Melegary ve Garassino,1997).

$$k = \frac{q}{y} \quad (2.15)$$

Bu formülde :

k; yatak katsayısı, q; zemine etki eden gerilme, y'; oturma koşulu göz önüne alınarak zeminde oluşması istenen oturmayı ifade etmektedir.

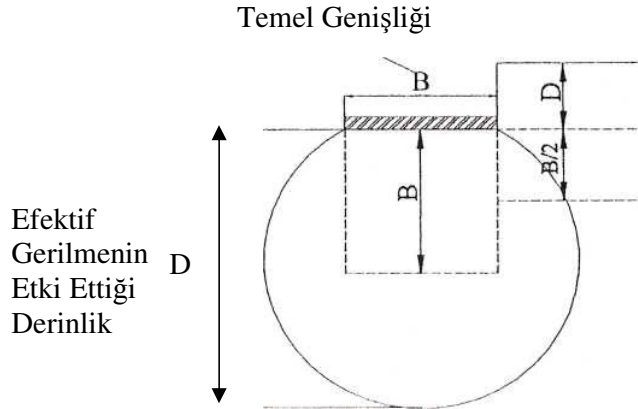
Oturma koşulu göz önüne alınarak zeminde oluşması istenen oturmadan herhangi bir derinlik için zeminin elastisite modülü bulunabilir. Genişliği B olan bir temelin ortalama B/2 derinliği için gerilme değerinin $q_{ort}/2$ olduğu farz edilebilir. Buradan yola çıkılarak herhangi bir derinlik için yatak katsayısına bağlı elastisite modülü (2.16) ve (2.17) Eşitliklerinden bulunabilir.

$$E_s = \frac{q_{ort} / 2}{y' / B} \quad (2.16)$$

$$E_s = \frac{B \cdot k_s'}{2} \quad (2.17)$$

Bu formüllerde;

E_s ; herhangi bir derinlik için zeminin elastisite modülü, q_{ort} ; ortalama gerilme değeri, B; temel genişliği, k_s' ; herhangi bir derinlik için yatak katsayısı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.21'de genişliği B olan temelin gerilme dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.21. Genişliği B olan temelin gerilme dağılımı (Melegary ve Garassino, 1997)

Herhangi bir D derinliğinde zeminin elastisite modülü tanımlaması Eşitlik (2.18) deki gibi yazılabilir.

$$E_s = C. (D + B/2) \Rightarrow \frac{C.B}{2} \left(\frac{2.D}{B} + 1 \right) \quad (2.18)$$

Elastisite modülü eşitliği C sabitine bağlı olarak yazılır ise:

$$C = \frac{k_s'}{\left(\frac{2.D}{B} + 1 \right)} \quad (2.19)$$

Eşitliği elde edilmektedir, D = 0 iken yatak katsayısına k_s'' denir ise:

$$E_s = \frac{B.k_s''}{2} \quad (2.20)$$

Eşitliği elde edilir, zeminin elastisite modülü C sabitine bağlı olarak yazılır ise:

$$E_s = C.z \quad (2.21)$$

eşitlikleri elde edilmektedir. Bu formülde;

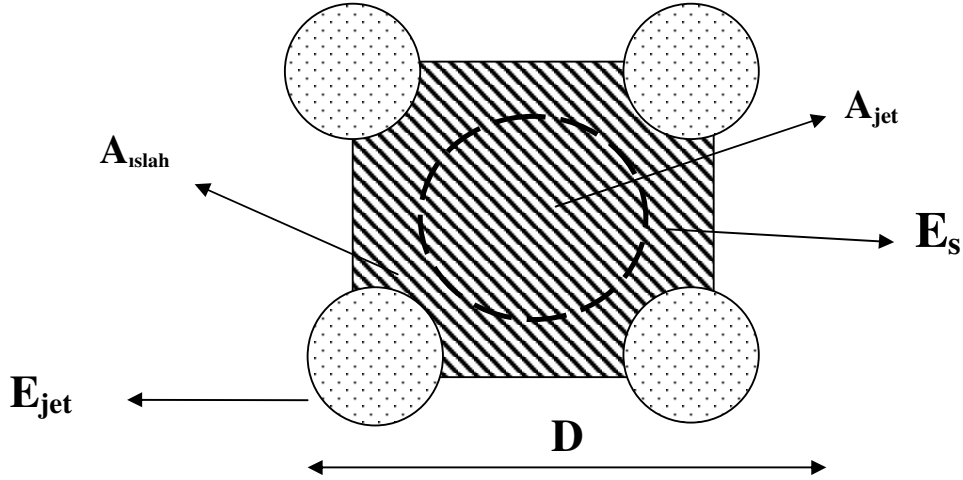
C; sabit, z; derinlik olarak tanımlanmaktadır.

Jet grout kolonları ile ıslah edilecek zeminin elastisite modülünün, (2.21) formülü yardımıyla oturma koşulu göz edilerek bulunan elastisite modülüne eşit veya büyük olması gerekmektedir. Jet grout kolonları ile ıslah edilen zemin Şekil 2.22'de gösterilmektedir. Şekle göre ıslah edilen zeminin ortalama elastisite modülü :

$$E_{ort} = \frac{A_{jet}}{A} E_{jet} + \frac{A_{ıslah} - A_{jet}}{A} E_s \quad (2.22)$$

olarak tanımlanmaktadır; Bu formülde;

$A_{ıslah}$; ıslah edilecek alan, A_{jet} ; ıslah edilecek alan içindeki jet grout kolonlarının alanı, E_s ; zeminin elastisite modülü, E_{jet} ; jet grout kolonlarının elastisite modülüdür.



Şekil 2.22. Jet grout kolonlarıyla ıslah edilmiş zemin (Melegary ve Garassino, 1997)

2.3.9 Jet Grout Kolonlarının Kontrol Edilmesi

Jet Grout yöntemi ile yapılacak kolon inşaa ve zemin ıslah işlemleri, uygulamanın yapılacağı zemin ile ilgili tüm etüd ve testlerin yapılmış ve bunlarla ilgili değerlerin elde edilmiş olmasını gerektirmektedir. Ayrıca, her uygulama öncesi sahada test kolonları inşası ve bunların hesaplanmış değerleri karşılayıp, karşılamadığı gözlemlenmeli, parametrelerde gerekli optimizasyonlar yapılmalıdır. Genellikle imalatın kontrolü için jet grout kolonlardan karot ve piston numunelerin alınması, kazık yükleme deneyi, kazık süreklilik deneyleri ve çap kontrolü yapılması gerekmektedir.

2.3.9.1 Karot Numunelerinin Alınması

Jet grout kolonlar ile teşkil edilen kesitin beton kalitesinin tahkikine yönelik her bir blok altında karot numuneleri alınarak ve laboratuvarında tek eksenli basınç deneyi yapılmaktadır. Ayrıca imalat esnasında enjeksiyon işlemleri tamamlandıktan sonra taze enjeksiyondan piston numune alıcılarla piston numuneler alınıp laboratuvarında numunelerin prizini almasının ardından basınç testleri yapılmaktadır. Sonuçta da ölçülen mukavemet değerlerinin servis yüklerini belli bir emniyet faktörü ile taşıdıkları ispat edilmelidir. Karot numuneleri 28 gün sonra imal edilen kolondan alınmalı ve yükseklik/çap oranı en az iki olmalıdır.

2.3.9.2 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 jet grout kolon yükleme deneyi yapılır. Yükleme deneyi için bir adet basınç kolonu ile 2 adet çekme kolonu olarak kullanılacak kolonlar imal edilmelidir. Deney doğrultusunda jetgrout 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 yüklenebilir. Yükleme deneylerinde “ ASTM D 1143-81 ” standart yükleme için uygun maddeleri kullanılabilir.

Yükleme deneyinde kolonda maksimum yüklemeye meydana gelen deplasmanın servis yükünde meydana gelen deplasmanın 1.5 katını geçmemesi, deney yükü kaldırıldıktan sonra meydana gelen kalıcı deplasmanın ise toplam deplasmanın %50 sini geçmemesi ve kazık başlığında ölçülen toplam oturma değerinin 10mm yi geçmemesi gerekmektedir (Düzceer, 2004).

Deney ekipmanları kazığa verilecek eksenel yüke maruz reaksiyon kirişleri, hidrolik krikoy 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 deplasmanlar, kolondan ve basınç elemanlarından bağımsız bir ölçüm sistemiyle kayıt altına alınmalıdır.

2.3.9.3 Kazık Süreklilik Deneyi

Kazık çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için uygulanan kazık süreklilik deneyinde kazıkların üst ucundan küçük bir çekiç darbesi verilmektedir. Bu darbenin ivme sinyali A, kazık üstüne geçici olarak yapıştırılan bir akselometre ile algılanarak sayısallaştırılıp bilgisayarda kaydedilir. Kazıktaki şekil/malzeme değişikliklerinden ve kazık ucundan yansıyan sinyaller de algılanarak hız sinyali olarak kaydedilir. Şekil 2.24’de deney görülmektedir. Bu sinyal hıza bağlı bir değişken olup geçen zamanın tam olarak bilinmesinden faydalanılarak, alınan yansımaların yerini tesbit için sinyal, derinliğe bağlı bir fonksiyona dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde bilinmesi gereken dalga hızının yayılma hızı olup beton/jet grout kolon için ortalama $C=3000-4500$ m/sn dir (Rausche, 1988) .

Formüle edilirse, yansıma derinliği x , (2.23) Eşitliği ile bulunabilmektedir.

$$x = \frac{1}{2} \cdot C \cdot t \quad (2.23)$$

Bu formülde; t : darbeden yansıma anına kadar geçen süre olarak tanımlanmaktadır.

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



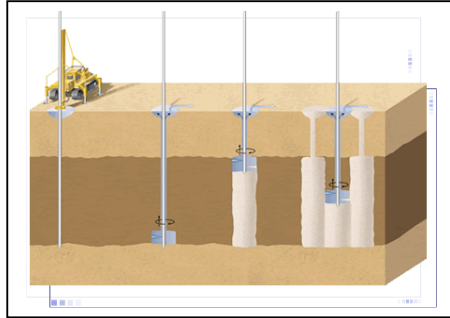
Şekil 2.23. Kazık süreklilik deneyi

2.3.9.4 Çap Kontrolü

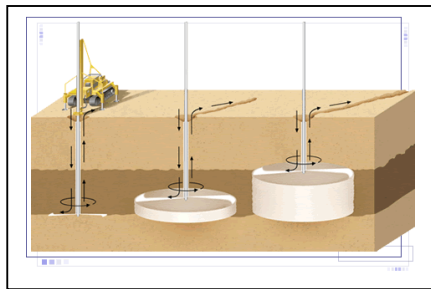
Çalışma platformundan seçilecek imalatı tamamlanan kolonlardan bazıları kazılarak kolon meydana çıkartılır ve kolon boyutları tahkik edilerek istenen çapın sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

2.4 Jet Enjeksiyon Yöntemlerindeki Gelişmeler

Son dönemlerde büyük kolon çaplarını yüksek hızda ve düşük maliyetlerle elde edebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden birisi de süperjet olarak adlandırılan yöntemdir. Bu metod ile 3-5 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. Tijlerin ucundaki yüksek çaplı nozzlelerden çimentolu harç ile hava karışımı yüksek basınçta püskürtülür ve zemin ilk önce parçalanarak zemin-çimento karışımı kolonlar oluşur. Şekil 2.24’da standart yöntemle oluşturulmuş jet grout kolonlar, Şekil 2.25’de süperjet yöntemiyle oluşturulmuş kolonlar şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Standart yöntemle oluşturulmuş jet grout kolonlar(www.harward-bayer.com)



Şekil 2.25. Süperjet yöntemiyle oluşturulmuş kolonlar (www.harward-bayer.com)

Bu yöntemde tijlerin dönme ve çekme hızları standart jet grout kolonlardakine göre çok daha azdır. Bell vd. (2003) superjet kolonları imalatında işletim parametreleri olarak 3-4 devir/dakika dönüş hızı, 75 mm /dakika çekme hızı, 40 MPa enjeksiyon basıncı ile 4m çapa kadar ulaşabildiğini görmüşlerdir.

Süperjet yöntemiyle oluşturulan kolonlarda kolon kesitlerinin büyüdüğü görülmektedir. Bu yöntem yatay zemin suyu kontrolünde, sıvılaşabilir tabaka stabilizasyonunda, geçirimsiz perde duvar imalatında, kazı yan yüzleri desteklenmesinde kullanılmaktadır (www.harward-bayer.com).

2.5 Jet Grout Kolonların Zeminlerin Sıvılaşma Direnci Üzerine Etkisi

2.5.1 Sıvılaşmanın Tanımı ve Sıvılaşma Kriterleri

Depremler sırasında üstyapıda meydana gelen hasarların başlıca sebeplerinden biri zemin sıvılaşmasıdır. Sıvılaşma suya doymuş granüler zeminlerde deprem halinde gerçekleşen tekrarlı yükleme koşullarında boşluk suyu basıncının artarak zeminin kayma mukavemetinin, efektif gerilmelerin azalması ve dolayısıyla taşıma kapasitesinin düşmesi veya tamamen kaybolması olarak açıklanmaktadır. Boşluk suyu basıncının artması, yer altı su seviyesindeki değişimler ve depremler sırasında suya doymuş granüler zeminlerde meydana gelen tekrarlı kesme kuvvetleri, sıvılaşma olarak tariflenen mekanizmayı harekete geçirmektedir .

Sıvılaşmanın oluşması ile zeminin mukavemetinde azalma oluşmakta, yapıların temellerini destekleyen zeminlerde olduğu takdirde ise yapının dönmesine veya zemin içine batmasına sebep olabilmektedir. Sıvılaşma potansiyeli bulunan suya doymuş zeminler üzerine inşa edilen yapılarda depremlere dayalı devirsel yükleme koşullarında oturma ve taşıma gücü problemleri yaşanmaktadır. Zemin sıvılaşmasına bağlı ilk aşama , bölgede potansiyel sıvılaşma yapısında zemin olup olmadığının incelenmesidir.

Son 20-30 yıl içerisinde yapılan araştırmalar, göreceli temiz kumlu, az ince daneli granüler yapıdaki zeminlerin deprem kaynaklı sıvılaşmaya karşı hassas olduklarını göstermektedir. Bunun yanı sıra, kohezyonlu siltli zeminlerin de potansiyel sıvılaşma

durumu son zamanlarda araştırma konusu olmuştur. Potansiyel sıvılaşma özelliğinde olan zeminler ;

a) Dane boyu 0.005 mm den küçük olma yüzdesi $\leq \%15$

b) Zeminin Likit Limiti (LL) $\leq \% 35$

c) Su muhtevası (w) $\geq 0.9 * LL$

olarak tariflenmektedir (Youd ve Idriss, 1997) .

Sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik başka bir çalışmada zemin aşağıdaki özellikleri gösterdiği takdirde sıvılaşma potansiyeline sahip olmaktadır (Ishihara ve Yoshimine, 1998).

1 - Dane içeriği (200 nolu eleği geçme miktarı) $\leq \% 35$

2 – Ortalama Parça Çapı (D50) ; $0.02 \text{ mm} \leq D50 \leq 2 \text{ mm}$

3 – Doygun tabakanın derinliği ≤ 15 ile 20 metre

4 – SPT – N Değeri ≤ 20 ile 30

Türkiye’de 1998 tarihli deprem yönetmeliğinde yer alan ve aşağıdaki özetlenen kriterler baz alındığında, herhangi bir sahadaki sıvılaşma potansiyeli aşağıdaki koşulların mevcudiyeti söz konusu olduğunda ele alınmaktadır.

Yer altı su seviyesi zemin üst seviyesine 10.0 metreden yakınsa

- Söz konusu sahada kalın ve gevşek/yumuşak alüvyon katmanı bulunuyorsa
- Söz konusu sahada gevşek kum-silt tabakası bulunuyorsa

Ulusal ve uluslararası platformda değişik araştırmacılar tarafından öngörülen ve yukarıda tariflenen kabullere göre, suya doymun temiz kumların potansiyel olarak sıvılaşabildikleri görülmektedir. Diğer yandan, daha önceleri sıvılaşmayacakları düşünülen siltli kum veya kumlu siltten oluşan, suya doymun, tabii zemin

tabakalarının da depremler sırasına sıvılaşılabirliği yapılan araştırmalarda ortaya çıkmıştır (Erken vd., 1995). Son yıllarda olan bazı büyük depremlerde bu tür zemin tabakalarında sıvılaşma olaylarının gözlenmiş olması ve tabiatta saf kum tabakalarına göre bu tür tabakalarla daha sık karşılaşılması sıvılaşma olayının daha kapsamlı bir şekilde incelenmesini gerektirmektedir.

İri daneli ve çakıllı zeminlerin de potansiyel olarak sıvılaşabildikleri uluslar arası bilimsel araştırmalarda rapor edilmiştir. Ancak çakıllı zeminlerin ince daneli kumlu zeminlere göre davranış olarak önemli bir farklılığı bulunmaktadır. Bu farklılık , çakıllı zeminlerin geçirimli olması sebebiyle sismik yüklemeler altında oluşan tekrarlı boşluk suyu basınçlarını göreceli olarak çabuk dağıtmalarıdır. Bu şekliyle, çakıllı zeminlerin sıvılaşma potansiyeli aşağıda tariflenen durumlar dahilinde irdelenmektedir (Evans, 1987).

- Çakıllı zeminlerin daha az geçirimli tabakalar arasında sıkışması
- İnce daneli zeminlerin çakıllı zeminlerin boşluklarını doldurması
- Çakıllı tabakaların oldukça kalın olduğu ve tekrarlı yükler altında oluşan boşluk suyu basınçlarının dağılması için gerekli olan drenaj boylarının uzamasıdır.

Sıvılaşma başlangıcının nicel değerlendirmelerinde, saha deneylerinin yapılması en yaygın mühendislik yaklaşımıdır. Yapılan araştırmalar neticesinde dört farklı saha deneyi, yararlı bilgiler sağlayabilecek olgunluğa ulaşmıştır. Bunlar; standart penetrasyon deneyi (SPT), koni penetrasyon deneyi (CPT), arazi kayma dalga Hızı (Vs), Becker penetrasyon deneyi (BPT) dir.

İnceleme alanında sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde, en eski ve yaygın yöntem SPT sonuçlarının iyi geliştirilmiş bağıntılar ve hesaplamalarla kontrol edilmesidir. Sözü edilen yaklaşımların temelinde Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen bağıntılar bulunmaktadır. Hesaplamalarda zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi iki farklı parametreye bağlı olarak gerçekteştirilmektedir. Bu parametreler, bir deprem yüklemesi altında olusacak periyodik gerilme oranı

(CSR) ve zeminin sıvılaşmaya karşı dayanımını temsilen devirsel direnç oranıdır (CRR). Zemin sıvılaşması zeminin periyodik gerilme oranının, zeminin devirsel direnç oranından büyük olması durumunda oluşmaktadır.

2.5.2 Periyodik Gerilme Oranı (CSR)

Seed ve Idriss (1971) tarafından verilen bağıntılar kullanılarak Periyodik gerilme oranı (CSR) Eşitlik (2.24)' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$CSR = 0,65 \left(\sigma_0 / \sigma'_0 \right) a_{max} \cdot r_d \quad (2.24)$$

Bu formülde :

0,65: Seed tarafından önerilmiş ağırlıklı ortalama katsayısı, σ_0 : Toplam düşey gerilme, σ'_0 : Efektif düşey gerilme, a_{max} : Maksimum yanal yer ivmesi, r_d : gerilme azaltma faktörü olarak verilmektedir.

Maksimum yer ivmesi, incelenen sahada sıvılaşma olmadığı farz edilen durumda bulunan ivmedir. Gerilme azaltma faktörü (r_d) derinliğe bağlı olarak Çizelge 2.9'da dört farklı şekilde tanımlanmış olup derinlikle meydana gelen kayma gerilmesi azaltmasını ifade etmektedir .

Çizelge 2.9. Gerilme azaltım faktörünün derinliğe bağlı değişimi (Seed ve Idriss, 1971).

Gerilme Azaltım Faktörü r_d	Derinlik
$1,00 - 0,00765 \cdot z$	$z < 9,15 \text{ m}$
$1,174 - 0,0267 \cdot z$	$9,15 \text{ m} < z < 23 \text{ m}$
$0,744 - 0,008 \cdot z$	$23 \text{ m} < z < 30 \text{ m}$
0,50	$z > 30 \text{ m}$

2.5.3 Devirsel Direnç Oranı (CRR)

Devirsel direnç oranı, arazideki zeminin sıvılaşma direncini temsil etmektedir. Devirsel direnç oranını belirlemek için en yaygın ve kullanışlı yol standart penetrasyon deneyinden elde edilen verileri kullanmaktır. Genelde bir zeminin sıvılaşma direncini arttıran faktörler standart penetrasyon deneyinden bulunan düzeltilmiş SPT ($(N_1)_{60}$) değerini de artırmaktadır.

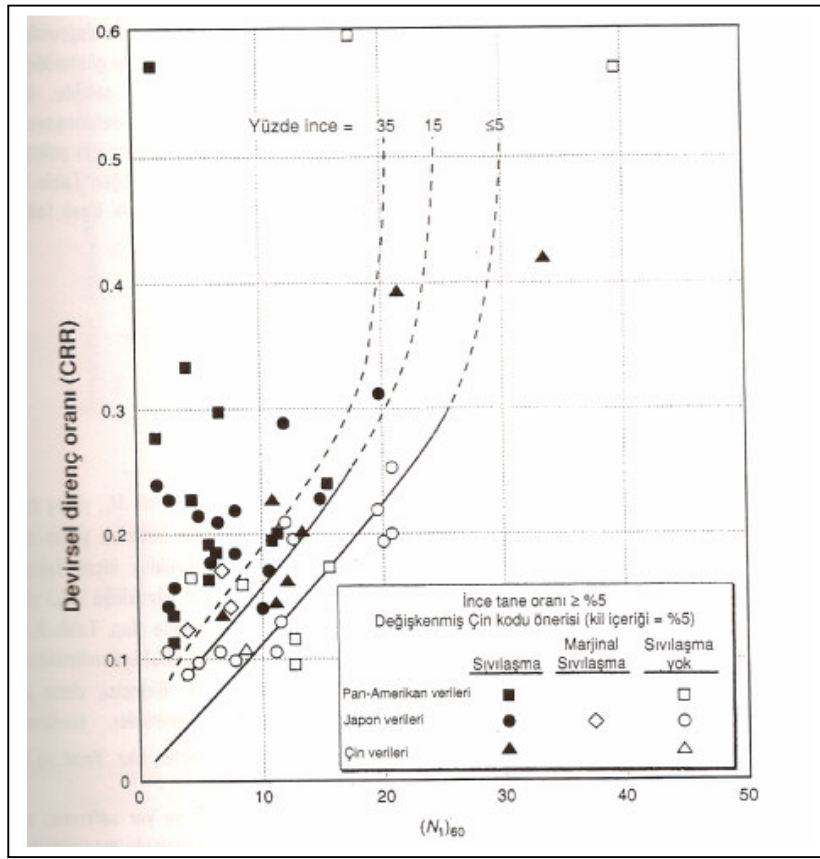
Seed vd. (1985) standart penetrasyon deneyi ve arazi performans verilerine dayanarak tanımlanabilecek üç yaklaşık potansiyel hasar dağılımı olduğu sonucuna varmıştır. Bu durum Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Düzeltilmiş SPT değeri-potansiyel hasar ilişkisi (Seed vd., 1985)

$(N_1)_{60}$	Potansiyel hasar
0-20	Yüksek
20-30	Orta
> 30	Önemsiz hasar

Bu çizelgeye göre, $(N_1)_{60} = 20$ değeri orta ve sıkı kumlar arasında yaklaşık bir sınırdır. $(N_1)_{60} > 30$ olduğunda, kum ya sıkı veya çok sıkı bir durumdadır. Böyle bir durumda hacimsel artma nedeniyle büyük deformasyonlar üretmemekte ve bu nedenle önemli hasar oluşmamaktadır.

Şekil 2.26'da arazideki zeminin devirsel direnç oranını belirlemede kullanılabilen grafik depremler esnasında sıvılaşmış veya sıvılaşmamış pek çok yerde yapılan araştırmalara dayalı olarak geliştirilmiştir. Şekilde kullanılan verilerin çoğunda deprem büyüklüğü 7.5 civarındadır (Seed vd., 1985) . Şekilde düzeltilmiş SPT ile devirsel direnç oranı arasındaki ilişkiler farklı ince dane oranları için görülmektedir. Burada çizginin sağındaki veriler genellikle deprem esnasında sıvılaşmayan sahaları gösterirken, solundaki veriler sıvılaşma gözlenmiş yerleri belirtmektedir.



Şekil 2.26. Devirsel direnç oranı – düzeltilmiş SPT ilişkisi (Seed vd, 1985)

Şekil 2.26 incelendiğinde 7.5 büyüklüğündeki bir deprem için, ((N₁)₆₀) değerinin 30 dan büyük olması durumunda temiz kumun sınılaşmadığı, ((N₁)₆₀) = 30 değerindeki kumun ya sıkı ya da çok sıkı bir kıvamda bulunduğu ve bu kumun makaslama esnasında hacimsel olarak genişleme eğiliminde olduğu söylenebilmektedir.

2.5.4 Sınılaşmaya Karşı Emniyet Faktörü

Sınılaşma analizinde son adım sınılaşmaya karşı emniyet faktörünün hesaplanmasıdır. Depremin neden olduğu devirsel gerilme oranının arazideki zeminin devirsel direnç oranından büyük olması halinde deprem esnasında sınılaşma meydana gelebilmektedir. Sınılaşmaya karşı emniyet faktörü Eşitlik (2.25)'deki bağıntı ile tanımlanmaktadır.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (2.25)$$

Emniyet faktörü ne kadar yüksek ise zemin de sıvılaşmaya karşı o kadar dirençlidir. Bununla birlikte, emniyet faktörünün 1'in hafifçe üzerinde olduğu zeminler yine de bir deprem anında sıvılaşabilmektedir.

Sıvılaşmaya karşı emniyet faktörünü belirleyebilmek için zeminin kayma dalgası hızı da kullanılabilir.

Ohba ve Toriumi (1970), Japonya'da Osaka yakınlarında alüvyon zeminlerde yapılan Rayleigh hızı ölçümlerine dayanan,

$$V_s = 84 \cdot N_0^{0.31} \quad (2.26)$$

bağıntısını sunmuşlardır. Bu korelasyon eşitliklerinde V_s , m/sn biriminde kayma dalgası hızını, N_0 ise SPT darbe sayısını göstermektedir.

Ohta ve Goto (1978), her birinde V_s , SPT-N, derinlik, jeolojik yaş ve zemin tipi ile ilgili bilgiler bulunan 300 set veriyi kullanarak, kayma dalgası hızının bu değişkenler ile ilişkisini incelemişlerdir. SPT-N değeri, derinlik, jeolojik yaş ve zemin cinsi ile kayma dalgası hızı arasında yaptıkları analiz sonucunda aşağıda verilen korelasyon eşitliğini tanımlamışlardır. Bu bağıntıda, çok sıkı zeminlerde SPT deneyinde, 30 cm nin 50 vuruşta geçilememesi durumunda SPT-N değerleri, 50 darbe için belirlenen giriş miktarından Eşitlik (2.27) deki formülle hesaplanmıştır.

$$V_s = 69 N_0^{0.17} D_0^{0.2} E F \quad (2.27)$$

Burada

$E=1.0$, $F=1.00$ (Kil); $F=1.09$ (İnce Kum)

$E=1.3$, $F=1.07$ (Orta Kum); $F=1.14$ (Kaba Kum)

$F=1.15$ (Kum-Çakıl); $F=1.45$ (Çakıl)

olarak alınması önerilmekte ve F zemin cinsini, E jeolojik yaş faktörünü ve D ise metre cinsinden derinliği ifade etmektedir.

İyisan (1996), Erzincan'da yapılan bir grup sismik ve arazi penetrasyon (SPT) deneyi sonuçlarını değerlendirerek ve tüm zemin grubunu içeren 65 adet veri kullanarak yaptığı regresyon analizi sonucunda V_s ve N arasında ;

$$V_s = 51.5 * N_{0.516} \quad (2.28)$$

ampirik bağıntısını elde etmiştir. Bağıntının geliştirilmesinde, sismik dalga hız ölçümleri yeraltı su seviyesinin üzerinde yapıldığından YASS'nin etkisi dikkate alınmamıştır.

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen SPT N- V_s korelasyonlarında, SPT deneyinin arazide uygulanması sırasında kullanılan donanım, deney teknikleri ve analizlerde kullanılan veri sayısı bu bağıntılardan elde edilen sonuçlar üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle elde edilen bağıntılarda korelasyon katsayısı ne kadar büyük olursa olsun sonuçların bir çok faktörden etkileneceği dikkate alınarak, bu bağıntılardan hesaplanan hız değerlerini, arazi ölçümlerinden bulunanlar gibi değerlendirmek yoluna gidilmemelidir.

Bu ampirik bağıntılardan bulunan sonuçları, arazi sismik deneylerinin yapılamadığı durumlarda zemin dinamik özellikleri hakkında yaklaşık bir fikir edinmek veya sınırlı sayıda sismik deneyin uygulanabildiği durumlarda ise, ölçülen hız değerlerini kontrol etmek ve sismik deney programını desteklemek amacıyla kullanmak daha anlamlı olmaktadır. Kayma dalgası hızı ölçümü için Eşitlik (2.29)'daki denklem kullanılabilir (Robertson , 1992).

$$V_{s1} = V_s C_v = V_s \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25} \quad (2.29)$$

Bu formülde;

V_{s1} = Düzeltmiş kayma dalgası hızı

$$C_v = \text{Düzeltilme faktörü} = \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25}$$

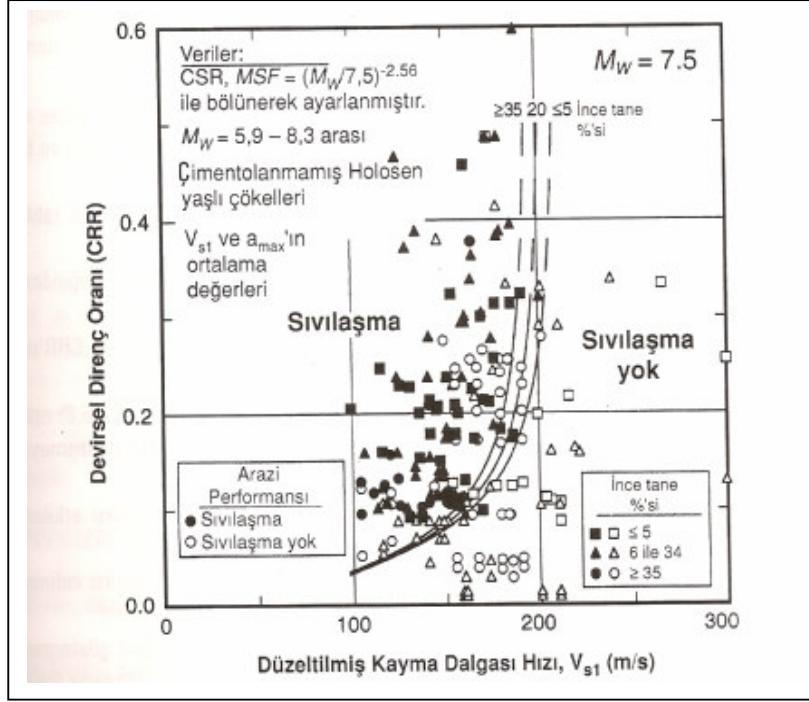
σ'_{v0} = Düşey efektif gerilme (kPa)

V_s = Araziye ölçülen kayma dalgası hızını göstermektedir.

Devirsel direnç oranını belirlemede kayma dalgası hızı kullanıldığı zaman Şekil 2.27 kullanılmaktadır(Andrus ve Stokoe, 1997). (2.29) Eşitliğinden elde edilen düzeltilmiş kayma dalgası hızı V_{s1} değerine karşılık ince tane miktarına bağlı olarak devirsel direnç oranı elde edilir. Sonra sıvılaşmaya karşı emniyet faktörü (2.25) Eşitliği kullanılarak hesaplanır. Sıvılaşmaya karşı emniyet faktörünü belirlemek amacıyla kayma dalgası hızını kullanmanın avantajı, sıvılaşma potansiyeli ilk analizinin gerekli olduğu çok büyük sahalar için kullanılabilmesidir.

Bu yöntemin dezavantajı ise; deney işleminde çoğu kez zemin numuneleri elde edilmeyişi, potansiyel olarak sıvılaşabilir ince tabakanın teşhis edilemeyişi ve yöntemin zeminin küçük deformasyonları üzerine dayanmasıdır. Halbuki sıvılaşmada yüksek deformasyonlar söz konusudur.

Şekil 2.27'deki veriler arazi performans verilerine dayandırılmıştır. Devirsel direnç oranı CRR'nin 0.3 değeri üstündeki eğrileri doğru olarak tanımlayabilmek için çok az veri bulunmaktadır. Eğriler 200 m/sn lik kayma dalgası üzerinde çok dik olup, kayma dalgası hızını ölçmede yapılacak küçük bir hata, emniyet faktöründe önemli değişikliklere sebep olabilmektedir. Örneğin kayma dalgası hızında 190' dan 210 m/sn 'ye artış, devirsel direnç oranında iki kat artışa sebep olmaktadır.



Şekil 2.27 : Devirsel direnç oranı-düzeltilmiş kayma dalgası hızı arasındaki ilişki (Andrus ve Stokoe, 1997)

2.5.5 Çevrimsel Gerilim Azaltım Faktörü

Çimento – zemin karışımı ile elde edilen yüksek kayma mukavemetine sahip kolonlarla hesap için öncelikli adım zeminin maksimum kayma modülünün tayinidir. Jet grout imatları sonrasında oluşan jet grout kolonların zeminin sıvılaşma potansiyelinin düşürülmesine yönelik etkisinin değerlendirilmesi için Hayden ve Baez (1994) tarafından çimento kolonları için önerilen kabullerden yararlanılabilir.

Bu kabule göre kolonla iyileştirilen çevre zemin arasında birim kayma deformasyonu uyumluluğu olduğu taktirde ;

$$\tau_s / \tau = ((1/G_r)(1/(A_r + (1/G_r)(1 - A_r)))) \quad (2.30)$$

bağıntısının sağlanmış olması gerekmektedir. Bu formülde;

τ_s ; kolonla iyileştirilen zemin arasındaki kayma gerilmeleri, τ ; deprem sırasında sistemde oluşan kayma gerilmesi, A_r ; alan değiştirme oranı = A_c/A , A_c ; kolon alanı, A ; her bir kolonun iyileştirdiği birim alan, G_r ; kayma modülleri oranı = G_c/G_s , G_c ; kolon kayma modülü, G_s ; zemin kayma modülünü ifade etmektedir.

Eşitlik 2.30'dan da görüldüğü üzere, iyileştirilmiş zeminde deprem sırasında oluşacak kayma gerilmeleri, kolon çapı, aralığı ve kayma modülü değişkenleriyle ilişkilidir.

Hesaplanan oran, Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilen yöntemle bulunan periyodik gerilme oranlarına, azaltma faktörü olarak uygulanırsa; Azaltılmış CSR değeri CSR_{imp} (2.31) Eşitliği ile bulunmaktadır.;

$$CSR_{imp} = K_G \cdot CSR \quad (2.31)$$

Dolayısıyla iyileştirilmiş olan zemine tasarım deprem büyüklüğü ve maksimum yer ivmesi altında etkileyecek gerilmeler, bu oran miktarınca düşecek ve sıvılaşma riskini azaltacaktır. Sıvılaşma analizlerinde hesaplanan gerilme oranları bu şekilde revize edilecek olursa, sıvılaşma riski olduğu hesaplanan kritik tabakalarda hedef güvenlikler sağlanmakta ve sıvılaşma riski kalmamaktadır

Yüksek kayma modüllü zemin – çimento karışımı kolonlar ile yapılan uygulamalarda ikinci adım olarak tasarımcının tecrübesine de bağlı olarak uygun bir kolon çapı ve aralığı seçilerek iterasyona başlanmaktadır. Kolonların kayma modülleri tercihen arazide yapılacak aplikasyon deneyleri veya başlangıç olarak müteahhit firmaların benzer sahalarda elde ettiği tek eksenli silindirik basınç deneyi mukavemetlerinin (f_{JG}) yorumlanması ile elde edilebilmektedir. Her durumda bu verilerin inşaat aşamasında deneylerle doğrulanması zorunludur. Tercihen Jet Grout kolon karot numunelerinden alınacak örnekler tek eksenli basınç deneyine tabi tutularak ve geçici yükleme durumlarında Poisson Oranı (ν) 0.5 kabul edilerek, aşağıda açıklandığı şekilde elastisite (E_{JG}) ve kayma (G_{JG}) modülleri bulunabilmektedir (Seed ve Idriss, 1971).

$$E_{JG} = 4730 \cdot \sqrt{f_{JG}} \quad (\text{MPa}) \quad (2.32)$$

$$G_{JG} = \frac{E_{JG}}{2 * (1 + \nu)} \quad (2.33)$$

Kayma modülünün alabileceği değer aralığı literatürde 1000 MPa ile 4000 MPa arasında olabilmektedir (Seed ve Idriss, 1971). Uygulamada zemindeki değişim miktarlarını tanımlamak üzere yüksek modüllü kolon alanının (A_{JG}), Şekil 2.35' de gösterilen birim hücre alanına (A) oranı olan, alan yerdeğiştirme oranı (a_r) aşağıdaki formüldeki gibi tanımlanmaktadır.

$$a_r = \frac{A_{JG}}{A} \quad (2.34)$$

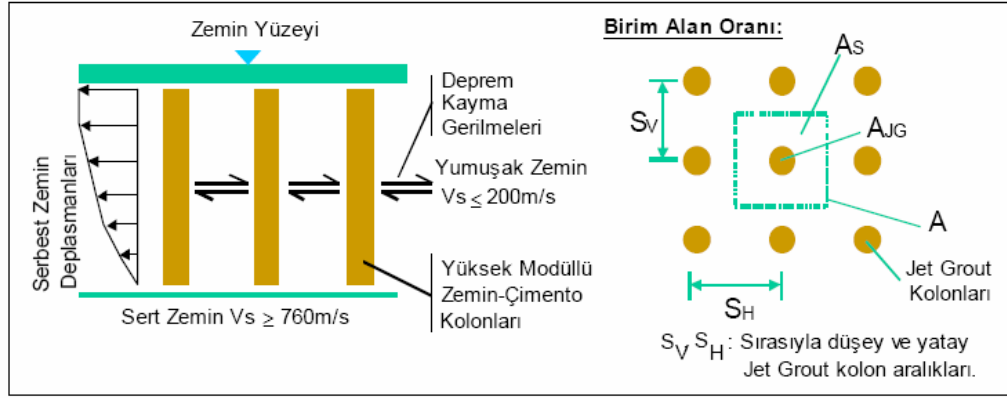
$$a_s = \frac{A_s}{A} = 1 - a_r \quad (2.35)$$

Hesabın bundan sonraki adımları; deprem durumunda oluşacak kayma gerilmelerinin birim alan içerisinde üniform olarak oluşturulan kolonlar ve bu elemanları çevreleyen zemin arasında, kayma modülleri oranında dağılacağı kabulüne dayanmaktadır. Sıvılaşma potansiyeli gösteren alüvyonal zeminlerde kayma dalgası hızının genelde 200m/s'den az olacağı düşünülürse burdan elde edilecek çimento karışımı kolonların kayma modülünün zemin kayma modülüne oranının (Gr) 15 ile 160 kat farklı olabileceği hesaplanmıştır. Bu durumda oluşacak kayma gerilmeleri uygun bir uygulama çapı ve aralığının seçimi ile kolonlar arası kalan zeminden ziyade kolonlar üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Birim alan içerisindeki gerilme konsantrasyonu (n) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır :

$$n = \frac{\tau_{JG}}{\tau_s} \quad (2.36)$$

Yukarıdaki ifadede, τ_{JG} ; çimento-zemin karışımı kolonlara ve τ_s ; kolonlar arasındaki zemine etkileyen kayma gerilmesini temsil etmektedir.



Şekil 2.28 : Deprem kayma dalgalarının dağılım modeli ve birim hücrenin tanımlanması (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003)

Bu durumda birim alan üzerine etki eden gerilme (τ), herhangi bir derinlikte birim alan içerisindeki kayma gerilmesinin dengesinden yola çıkarak ve alan değişim oranı (a_r)'ye bağlı olarak şu şekilde hesaplanmaktadır :

$$\tau = \tau_s a_s + \tau_{JG} a_r \quad (2.37)$$

Yukarıdaki eşitlik gerilim konsantrasyonu oranına bağlı olarak çözüldüğü takdirde aşağıdaki formül elde edilmektedir :

$$\tau_s = \frac{\tau}{(1 + (n-1)a_r)} \quad (2.38)$$

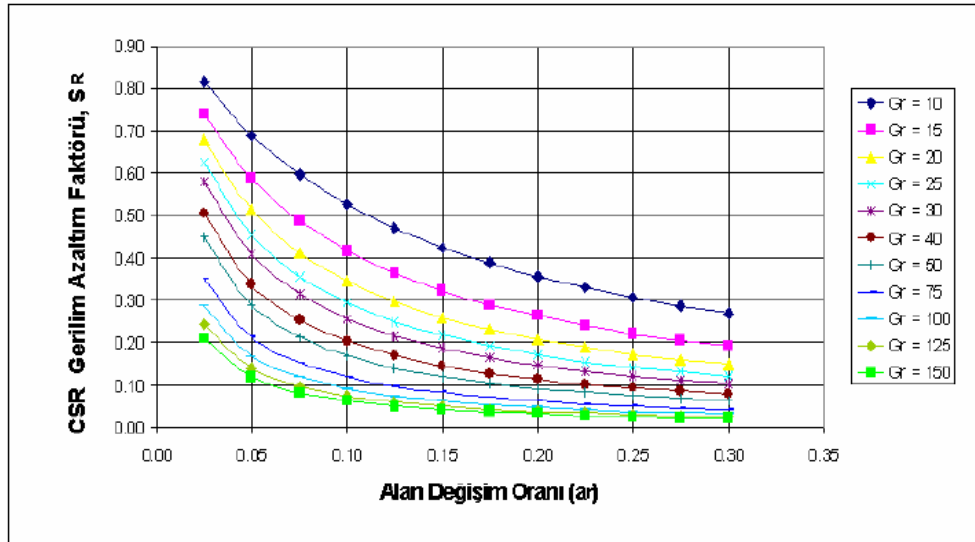
Kolon ve zemin arasındaki gerilme dağılımının hesabında deprem halinde kolonların ve onları çevreleyen zeminin deplasmanlarının aynı olacağı tezinden hareket edilmektedir. Bu takdirde depremde oluşan kayma gerilmeleri, kolon ile zemin arasındaki rijitlik farkından dolayı, nisbeten daha rijit olan kolonlar üzerinde yoğunlaşmaktadır (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003). Kolonlar arasında kalan zeminin sıvılaşma riskinin azaltılması için yüksek kayma modüllü kolonların kendilerine gelecek kayma kuvvetini karşılayacak mukavemete sahip olması gerekmektedir. Zemin-çimento karışımı kolonlarda birim alan üzerine etki eden toplam kayma gerilmesi (τ) yerine ortalama kayma gerilmesi (τ_{avg}) kullanılmaktadır. Deprem esnasında şekil değiştirmeler bu gerilme sayesinde ortaya çıkmakta, kolonlar ve

onları çevreleyen zemin arasındaki gerilme paylaşımı kolon çapı ve kolonlar arası mesafenin bir fonksiyonu haline gelmektedir.

Birim alan içerisindeki kolonlar ve bunları çevreleyen zemin arasında şekil değiştirme uyumu olduğu kabulüyle zeminin çevrimsel gerilme oranı (CSR) üzerinde azaltma faktörü (S_R) oluşmaktadır. Azaltma faktörü (2.39) Eşitliği ile belirlenmektedir. Bu sayede çevrimsel gerilme oranı azalmakta ve sıvılaşmaya karşı zeminin güvenlik sayısı artmaktadır (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003).

$$S_R = \frac{\tau_s}{\tau} = \frac{\tau_s}{\tau_{avg}} = \frac{1}{(1 + (G_r - 1)xa_r)} \quad (2.39)$$

Bu formülde (S_R) azaltma faktörü, (τ_s) kolonlar arası zemine etkileyen kayma gerilmesi, bir başka deyişle zemin tarafından taşınan kayma gerilmesi, τ_{avg} zemin-çimento karışımı kolonda birim alana etki eden ortalama kayma gerilmesi, G_r modül oranı, a_r alan oranı olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.36'da alan değişim oranlarına göre gerilim azaltım faktörlerinin değişimi modül oranları $G_r = 10-150$ arasında tanımlanmıştır.



Şekil 2.29 : Birim alan ve kayma modülü oranlarına göre azaltım eğrileri (Özsoy ve Durgunoğlu, 2003)

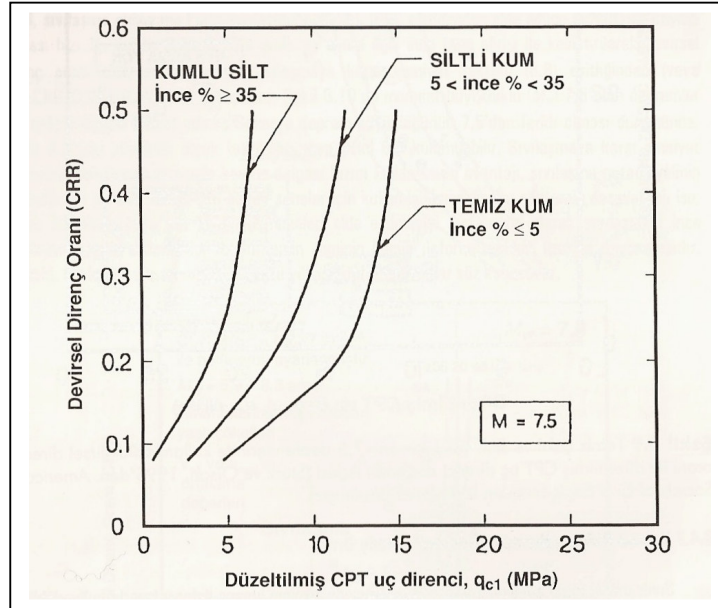
2.5.6 Sıvılaşma Potansiyeli Analizlerinde CPT Verilerinin Kullanılması

Kaba daneli zeminlerde arazide numune alımı ve laboratuvar ortamında arazideki gerçek gerilme koşullarının oluşturulmasında zorluklar bulunmaktadır. Bundan dolayı sıvılaşma potansiyeli analizlerinde arazi deneylerinden elde edilen verilerden faydalanılmaktadır. CPT sürekli veri toplama özelliği, güvenilirliği, hızı ve ekonomik olma özellikleri ile sıvılaşma analizlerinde kullanılan modern bir yöntemdir.

CPT ile sıvılaşma değerlendirmeleri için ilk aşama düzeltilmiş CPT uç direncinin belirlenmesidir. CPT uç direnci Eşitlik (2.40)' da verilmiştir.

$$q_{c1} = c_N \cdot q_c = \frac{1,8 \cdot q_c}{0,8 + \sigma'_{v0} / 100} \quad (2.40)$$

Burada, q_{c1} düzeltilmiş CPT uç direnci, c_N düzeltme faktörü, σ'_{v0} düşey efektif gerilme, q_c konik uç direncidir. Düzeltilmiş CPT uç direnci belirlendikten sonra arazideki zeminin devirsel direnç oranını belirleyebilmek için Şekil 2.30'daki grafikten yararlanılmaktadır.



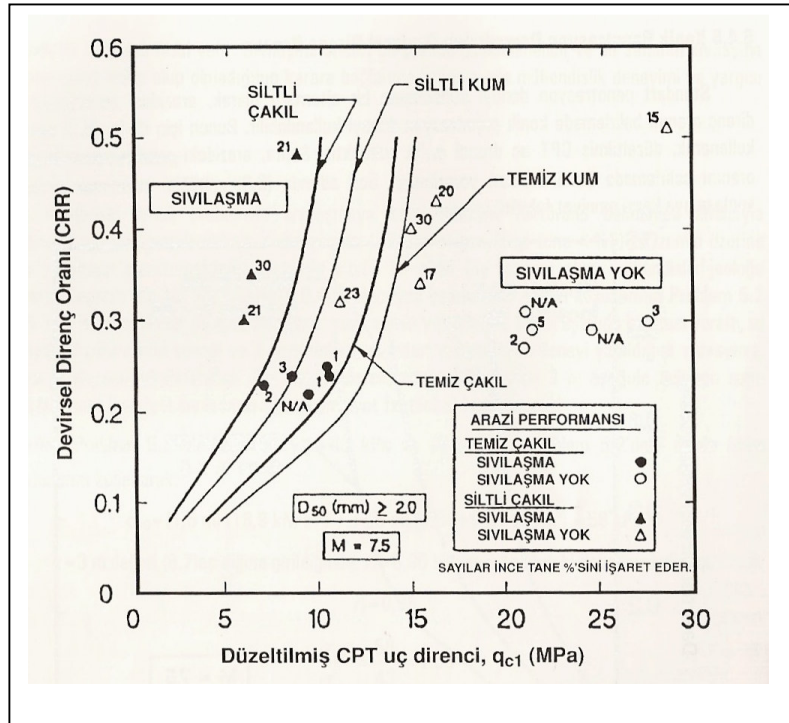
Şekil 2.30. Temiz kum, siltli kum ve kumlu silt için M=7.5 depremlerinde kullanılan devirsel direnç oranı ile düzeltilmiş CPT uç direnci ilişkisi (Stark ve Olson, 1995)

Temiz çakıl ve siltli çakıllar için ise 7.5 manyitüdündeki depremler için devirsel direnç oranını belirleyebilmek için Şekil 2.31'den yararlanılmıştır.

Diğer manyitüdeki depremler için devirsel direnç oranı CRR Eşitlik (2.41) ile bulunmaktadır.

$$CRR = (CRR_{7.5}) \cdot (MSF) \quad (2.41)$$

Burada, MSF manyitüd düzeltme faktörüdür.



Şekil 2.31. Temiz çakıl ve siltli çakıl için M=7.5 depremlerinde kullanılan devirsel direnç oranı ile CPT uç direnci değerleri ilişkisi (Stark ve Olson, 1995)

Çizelge 2.11'de Youd ve Idriss (1997) tarafından düzenlenmiş olan manyitüd düzeltme faktörleri verilmiştir.

Çizelge 2.11. Manyitüd düzeltme faktörleri (Youd ve Idriss, 1997)

Deprem Büyüklüğü	Manyitüd Düzeltme Faktörü (MSF)
8,5	0.89
7,5	1.00
6,5	1.13
6	1.32
5,5	1.50

Buna göre farklı bir manyitüd etkisi dikkate alınarak sözkonusu zemin tabakasının sıvılaşmaya karşı dayanımını temsil eden güvenlik faktörü GS Eşitlik (2.42) ile belirlenmektedir.

$$GS = (CRR_{7,5} / CSR).MSF \quad (2.42)$$

2.6 Jet Grout Kolonların Zeminlerin Sıvılaşmasına Etkisi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Doğu (2005) çalışmasında İstanbul İlinde Mabeynci Arif Bey Yalısı'nın zemininde ölçülen sıvılaşma potansiyelinin; zeminde teşkil edilen jet grout kolonları ile azaltılmasını araştırmışlardır. Çalışmalarında öncelikle Mabeynci Arif Bey Yalısı'nın zemininde sıvılaşma potansiyelini incelemişler, jet grout imalatları öncesi ve sonrası kuyu içi yönteminden elde edilen arazi kayma dalgası hızlarına göre sıvılaşma ile ilgili değerlendirmeler yapmışlardır.

Arazide yapılan sondaj çalışmalarına göre yüzeyden itibaren ilk 6-8 m derinliğinde ortalama SPT değerleri 14 olan yapay dolgu tabakası bulunduğu, bu tabakanın altında ise 18 m yüksekliğinde SPT değerleri 3 ile 20 arasında değişen gevşek ve boşluklu siltli kumlu kabuk tabakası ile Spt değerleri 31-69 arası değişen çakıllı kabuk tabakaları olduğu belirtilmiştir. Bu tabakanın afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliğe göre Z4 sınıfında zemine tekabül ettiği ve yüzeyden 2.4m aşağıda yer altı suyu seviyesine rastlanıldığı belirtilmiştir. Siltli kumlu tabakada

SPT değerlerinin 20' den küçük, gevşek ve boşluklu olmasından dolayı bu tabakanın sıvılaşma için risk teşkil ettiği gösterilmiştir.

Şekil 2.32'da görülen Mabeynci Arif Bey Yalısı Marmara Denizi ile bağlantılı olup bodrum kat kazısı sırasında tabandan su gelmesinin önlenmesi ve kazı yan yüzeylerinin desteklenmesi amacı ile öncelikle 80 cm çapında jet grout kolonları ile ağırlık duvarları oluşturulmuştur.

Ağırlık duvarlarının imalatından sonra yapı temellerinin desteklenmesi ve sıvılaşma riskinin azaltılmasına yönelik temel altına 60 cm çapında 2.5 x 2.5 m mesafeli dört adet kare ve karenin ortasında bir adet 60 cm çapında jet grout kolondan oluşan yerleşim detayı ile temel altı kolonları teşkil edildiği belirtilmiştir.



Şekil 2.32. Mabeynci Arif Bey yalı'sı inşaatı (www.dizayn.com)

Çizelge 2.12'de ıslah öncesi ve ıslah sonrası 1 ve 2 nolu sondaj kuyularında kuyu içi yöntemiyle elde edilmiş olan arazi kayma dalgası hızları gösterilmiş olup ıslah sonrası kayma dalgası hızlarının yaklaşık 2 katına kadar çıktığı belirtilmiştir.

Doğu (2005) Çizelge 2.12'deki ıslah sonrası arazi kayma dalgası hızlarını Şekil 2.27'ye göre değerlendirerek sıvılaşma riskinin bulunduğu siltli kum tabakasında ıslah sonrası sıvılaşma etkisinin giderildiği sonucuna varmıştır.

Çizelge 2.12. 1 ve 2 nolu sondaj kuyusu ıslah öncesi ve ıslah sonrası kayma dalgası hızı ölçümleri (Doğu, 2005)

Derinlik	Sondaj 1 Islah Öncesi	Sondaj 1 Islah Sonrası	Sondaj 2 Islah Sonrası	Sondaj 2 Islah Sonrası
	Vs(m/s)	Vs(m/s)	Vs(m/s)	Vs(m/s)
1.0	151.5	178.6	151.5	-
1.5	158.7	166.7	161.3	169.5
2.0	158.7	178.6	172.4	200.0
2.5	153.8	156.3	169.5	172.4
3.0	151.5	153.8	232.6	222.2
3.5	142.9	151.5	250.0	172.4
4.0	163.9	166.7	285.7	222.2
4.5	178.6	188.7	333.3	270.3
5.0	172.4	196.1	294.1	277.8
5.5	200.0	217.4	277.8	322.6
6.0	208.3	250.0	227.3	322.6
6.5	212.8	294.1	238.1	312.5
7.0	222.2	416.7	250.0	250.0
7.5	250.0	526.3	256.4	263.2
8.0	256.4	555.6	263.2	256.4
8.5	270.3	555.6	294.1	344.8
9.0	256.4	526.3	303.0	370.4
9.5	270.3	555.6	294.1	476.2
10.0	256.4	526.3	263.2	434.8
10.5	277.8	526.3	243.9	454.5
11.0	263.2	555.6	178.6	476.2
11.5	232.6	555.6	147.1	454.5
12.0	238.1	588.2	144.9	476.2
12.5	285.7	555.6	133.3	454.5
13.0	238.1	555.6	135.1	434.8
13.5	243.9	555.6	137.0	454.5
14.0	256.4	588.2	142.9	416.7
14.5	217.4	588.2	232.6	416.7
15.0	217.4	588.2	250.0	416.7

Durgunoğlu vd. (2002), çalışmalarında İzmir Tire'de Organize Sanayi Bölgesi içerisinde inşa edilen sigara fabrikası sahasında yapı temelleri altında teşkil edilen jet grout kolonları ile zeminin sıvılaşma etkisinin azaltılmasını ve taşıma gücünün artırılmasını incelemişlerdir.

Zemin araştırmalarını 7 adet sondaj kuyusu ve 19 adet araştırma çukuru ile gerçekleştirmişlerdir. Zemin araştırmaları sonucunda yüzeyden itibaren 0-1.5m arası orta çakıllı bloklu dolgu tabakası, 2-5m ile 7-14m arası orta katı kil içerikli kolüvyon tabakası, 3-8m ile 3-10m arası gevşek siltli kum içerikli alüvyon tabakası olduğu ve yer altı su seviyesine ise yüzeyden itibaren 4.7m aşağıda ulaşıldığı belirtilmiştir. Jet grout zemin ıslahı kapsamında boyları kolüvyon üst tabakası seviyesine ve üst yapı yüklerine göre 3.4 m ile 8.4m arasında değişen toplam 3596 adet jet grout kolon teşkil etmişlerdir. Sahadaki mevcut zemin verileri ve sıvılaşma analizleri neticesinde sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünün 0.17 mertebesinde sıvılaşmanın başlayacağı belirtilmiş ve fabrika yapıları temel altında sıvılaşma sonrası beklenen 30 cm oturma ile 50 cm yatay deplasmanın jet grout kolonları imalatı neticesinde minimize edildiği belirtilmiştir.

Durgunoğlu vd. (2001), çalışmalarında 7.4 büyüklüğindeki Kocaeli depremi sırasında inşa edilmekte olan Carrefour alışveriş merkezi inşaatı temel zemininde teşkil edilen jet grout kolonların yüzeysel temeller altındaki siltli kil tabakasında deprem esnasında sıvılaşma neticesinde kilde meydana gelen oturmaları azalttığını ve sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünün artırıldığını belirtmişlerdir.

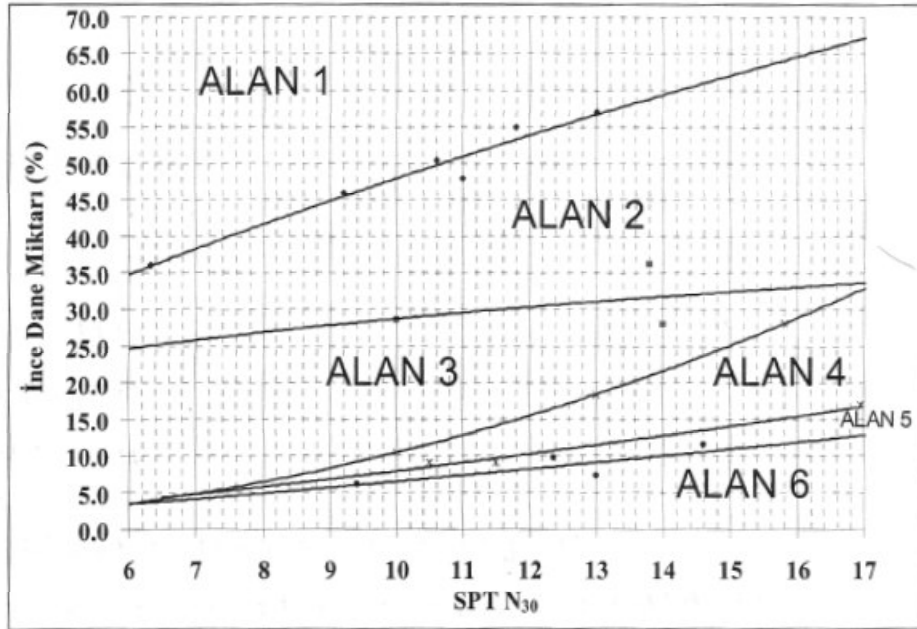
Ayrıca ölkemizde Sağlamer vd. (2002) Gölcük Ford Otosan tesisleri inşaatı zemininde sıvılaşmaya karşı jet grout yönteminin uygulandığı bir araştırma yapmışlardır.

2.7 Jet Grout Kolonların Mukavemet Özellikleri

Doğu vd., (2006), Tariş-Aydın, Limak Lara Otel Antalya, Concorde Otel Antalya sahalarında yapılan jet grout kolonlarından alınan karot numunelerinin mukavemet özelliklerinin zeminin ince dane yüzdesi ve SPT vuruş sayısından ne derece etkilendiğini araştırmışlardır. alışmalarında arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen zeminin ince dane oranı, ortalama SPT darbe sayısı ve karotiyer ile alınan numunelerin serbest basınç dayanımlarını incelemişlerdir.

Çalışmaları sonucunda karotiyer ile alınan numunelerin serbest basınç dayanımları, araştırma verileri ile karşılaştırılarak, ince dane yüzdesine ve SPT vuruş sayısına bağlı, kolonların serbest basınç dayanımlarının belirlenebileceğini göstermişlerdir.

Şekil 2.33'de zeminde teşkil edilen jet grout kolonlarının serbest basınç dayanım aralıkları gösterilmektedir. Bu grafikte, 6 adet alan SPT vuruş sayısına ve ince dane yüzdesine bağlı olarak tanımlanmıştır.



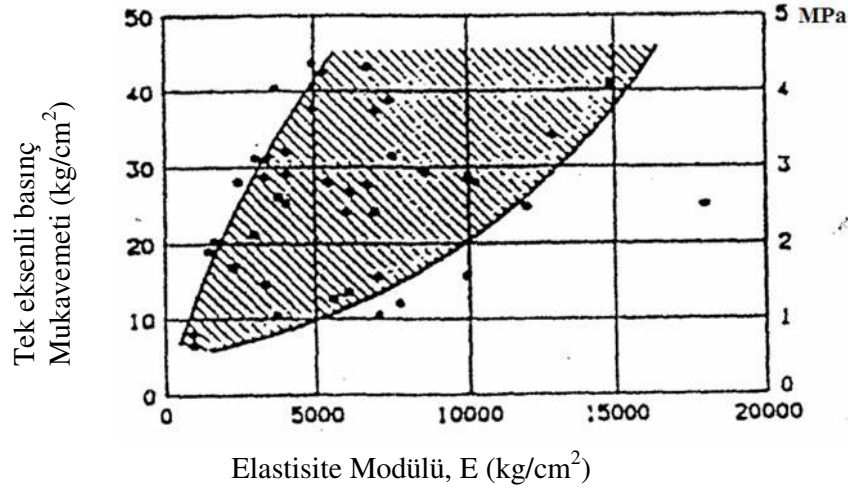
Şekil 2.33. Jet grout kolonlarının mukavemet aralıkları (Doğu vd., 2006)

Şekil 2.26'ya göre alan 1, 2,6 N/mm²'den düşük mukavemete sahip kolonları, alan 2, 3.5 N/mm²'den düşük, 2,6 N/mm²'den yüksek mukavemete sahip kolonları, alan 3, 5.5 N/mm²'den düşük, 3.5 N/mm²'den yüksek mukavemete sahip kolonları, alan 4, 7.0 N/mm²'den düşük, 5.5 N/mm²'den yüksek mukavemete sahip kolonları, alan 5, 14.0 N/mm²'den düşük, 7.0 N/mm²'den yüksek mukavemete sahip kolonları ve alan 6, 14 N/mm²'den yüksek mukavemete sahip kolonları temsil ettiğini belirtmişlerdir.

Doğu vd., (2006) çalışmaları sonucunda zeminde oluşturulan kolonların mukavemetinin yüksek olmasının malzemeleri oluşturan danelerin derecelenmesinin

iyi olmasına, ince dane miktarının artması sonucu ise kolon mukavemetinin azaldığı sonucuna varmışlardır.

Trevi (1994) çalışmalarında elastisite modülü ile jet grout kolonların tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalarında siltli ve siltli-kumlu zeminlerden elde edilen numuneleri kullanmışlardır. Çalışmaları sonucunda Şekil 2.34'deki grafiği elde etmişler ve jet grout kolon mukavemetinin düşük olmasının elastisite modülünün de düşük olmasına sebep olduğu sonucuna varmışlardır.



Şekil 2.34. Elastisite modülü-tek eksenli basınç mukavemeti ilişkisi (Trevi, 1994)

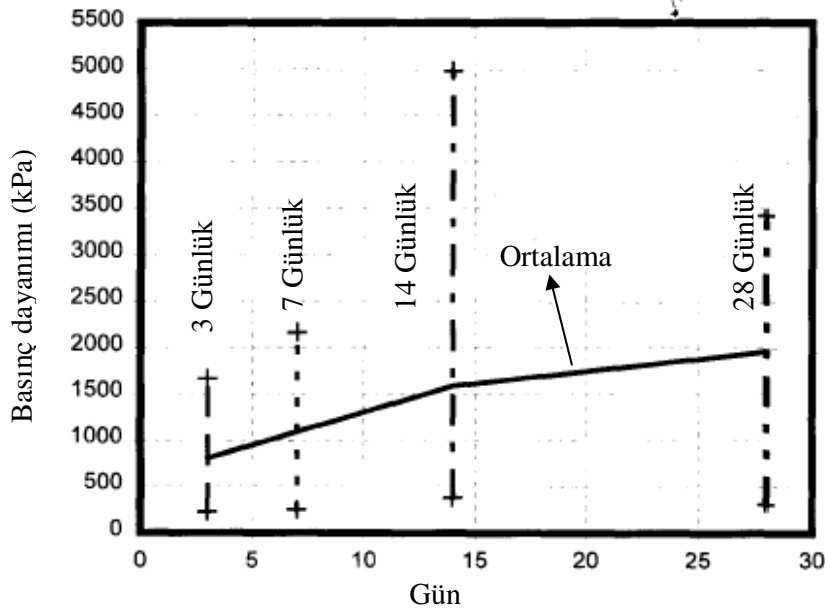
Baumann (1984) çalışmasında jet grout kolonlarla iyileştirilmiş farklı tipteki zeminlerde kolonların tek eksenli basınç dayanımlarının jet grout kolon bileşimindeki su-çimento oranına bağlı olarak almış olduğu değerleri incelemişlerdir. Buna göre yedi farklı zemin tipinde kolonlardan alınan numunelerde iki farklı su-çimento oranına bağlı elde edilen değerler Çizelge 2.13'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.13. Farklı tipteki zeminlerde su-çimento oranına bağlı kolon dayanımları (Bauman, 1984)

Zemin Tipi	Kolon Basınç Dayanımları (Mpa)						
	Çakıl	Kum	Silt, Kil	Organik Zemin	Çakıllı Kumlu	Kumlu Siltli	Siltli Killi
Kolon No	1	2	3	4	5	6	7
Su/Çimento = 0.67	≤20	≤15	≤12	≤3	12-18	10-14	6-10
Su/Çimento = 1.00	≤20	≤15	≤12	≤3	6-10	5-7	3-5

Çizelge 2.13'e göre kumlu ve çakıllı zeminlerde elde edilen kolon dayanımlarının killi, siltli ve organik zeminlere göre daha yüksek olduğu, çimento miktarının artması ile çakıllı kumlu, kumlu siltli, siltli killi zeminlerde dayanımın arttığı sonucuna varılmaktadır.

Bell vd. (2003) çalışmalarında süperjet kolonlarından alınan karot numuneleri üzerinde laboratuarda tek eksenli basınç deneyleri yapmışlardır. Deneylerde 76 * 150 mm lik silindirik numunelere ait 3,7,14 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlemişler ve Şekil 2.35'deki grafiği elde etmişlerdir.



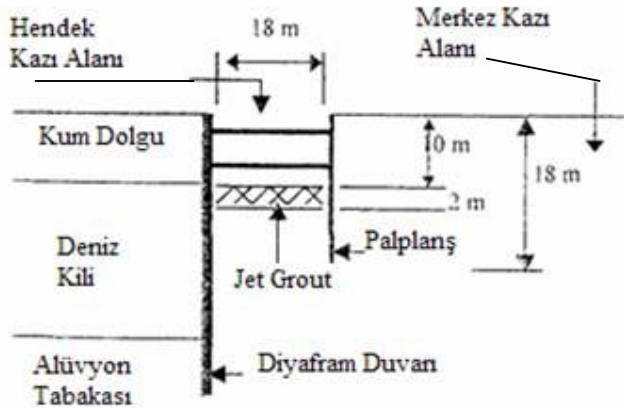
Şekil 2.35. Süperjet kolon numunelerine ait 3,7,14,28 günlük basınç dayanımları (Bell vd., 2003)

Şekil 2.35'e göre süperjet kolon dayanımlarının zamana bağlı olarak arttığı ve gerçek dayanıma ise 28 günde ulaşıldığı gözlenmektedir.

2.9 Jet Grout Kolonların İksa Yapılarının Desteklenmesinde Kullanılması Üzerine Yapılan Çalışmalar

Wong ve Poh (2000) jet grout kolonların bitişik nizamlı yapılarda bodrum kat kazısı sırasında kazı yan yüzeylerindeki diyafram duvarlardaki hareketi önlemek için kullanıldığı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında iksa duvarları arkasında oluşturulan jet grout kolonların duvar arkasındaki zemin tabakasının aksi yönde hareketine sebep olduğunu ve diyafram duvarlarında da kazıya ters yönde deplasman olduğunu gözlem verileri sonucunda elde etmişlerdir. Çalışmalarında ayrıca diyafram duvarlarındaki eğilme momentlerinin de jet grout kolonlar ile azaldığını ve bitişik yapıların kazıdan etkilenmemesinin sağlandığını göstermişlerdir.

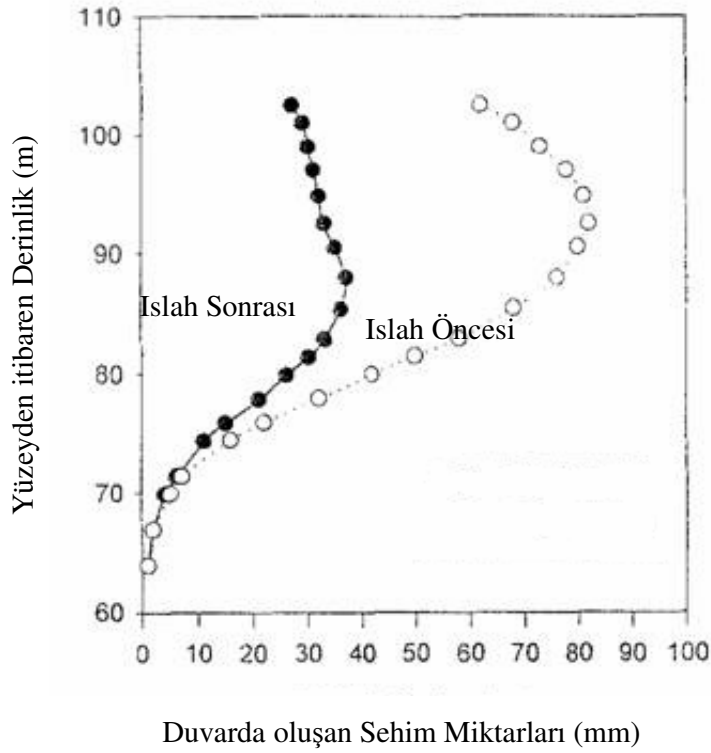
Wong vd. (1999) Singapurda bir sanat merkezi inşaatında 18000 m² alanlı bir temel kazısında palplanş duvarı ve diyafram duvarı ile desteklenmiş kazı yan yüzeylerinin jet grout kolonlar ile güçlendirilmesini ve kazı yönünde deplasmanların jet grout kolonlar ile azaltıldığını gösteren bir çalışma yapmışlardır. Zemin yüzeyinden itibaren 2.5-3.0 m seviyede yer altı su seviyesinin bulunduğu deniz kili üzerinde kum dolguda yapılan jet grout uygulamasına ait zemin kesiti Şekil 2.36'da gösterilmiştir.



Şekil 2.36. Jet grout uygulaması tipik zemin kesiti (Wong vd., 1999)

Şekil 2.36'da verilen zemin kesitinde jet grout kolonları Jet-2 yöntemiyle elde edilmiştir.

Wong vd., (1999) çalışmalarında zemine ait ıslah öncesi drenajsız kayma dayanımının 300 kPa ve elastisite modülünün 150 MPa iken jet grout zemin ıslahı sonrası drenajsız kayma dayanımının 1150 kPa, elastisite modülünün ise 350 kPa değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Islah öncesi ve ıslah sonrası hendek kazısında yaptıkları inklinometre ölçümleri sonucunda şekil 2.37'deki çizelgeyi elde etmişlerdir.



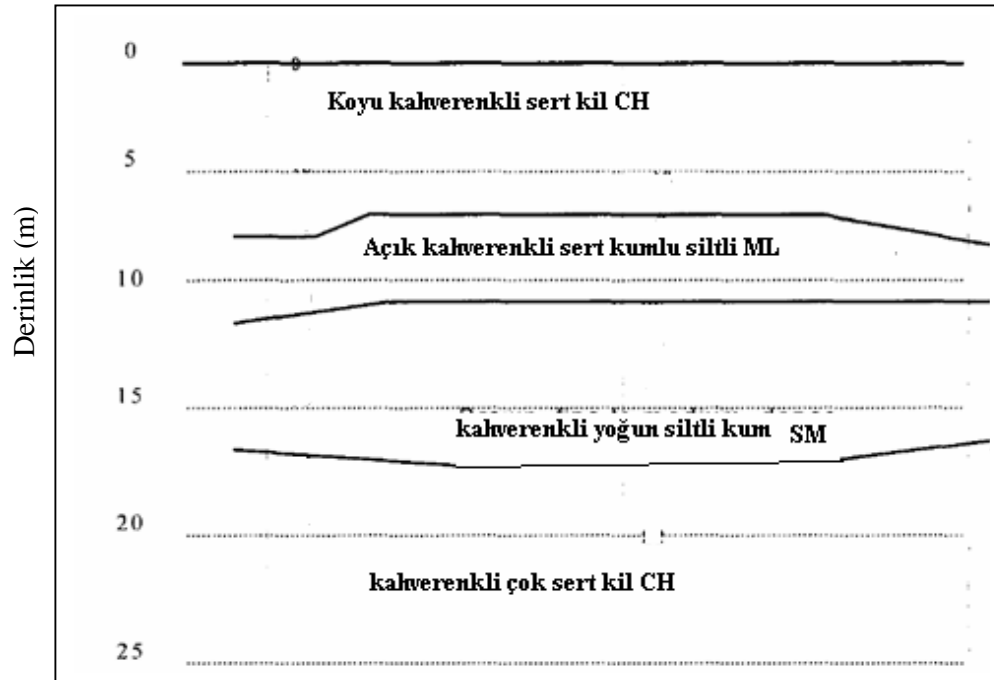
Şekil 2.37. Islah öncesi ve ıslah sonrası inklinometre ölçümleri (Wong vd., 1999)

Şekil 2.37'de diyafram duvarındaki sehimsiz miktarları 2 m yüksekliğindeki jet grout uygulaması öncesi maksimum 87 mm iken ıslah sonrası 37 mm ye düştüğü görülmektedir.

2.9 Jet Grout Kolonların Zemindeki Oturmaların Azaltılmasına Etkisi Üzerine Yapılan Çalışmalar

Bell vd. (2003) çalışmalarında Meksika’da La Rosita elektrik santrali inşaatı temel altı yükleri altında zeminde meydana gelen oturmaların kontrol altına alınması amacıyla superjet kolonlarının kullanılmasını incelemiştir.

Öncelikle zemin özelliklerinin belirlenmesi için sahada çeşitli arazi deneyleri yapılmış olup çalışma sahasında yapılan SPT deneyleri sonucuna göre inceleme alanının jeolojik kesiti Şekil 2.38’de gösterilmektedir.



Zemin Profili ve Zemin sınıfları

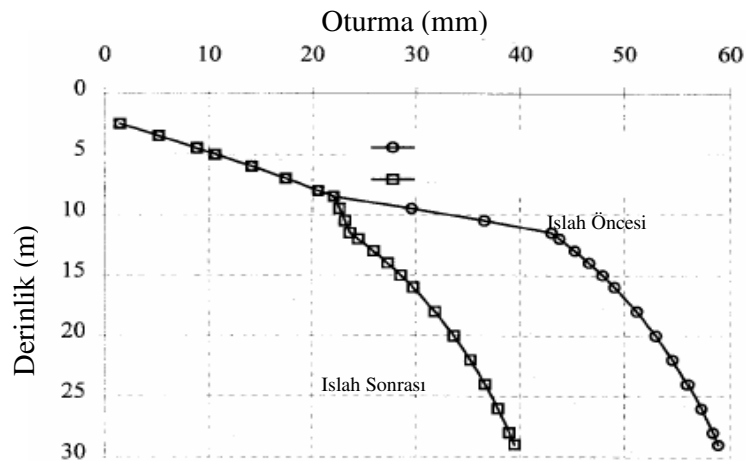
Şekil 2.38. La Rosita elektrik santrali çalışma sahası zemin jeolojik kesiti (Bell vd., 2003)

Şekil 2.38’de verilen dört farklı zemin tipinde yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda bu zemin tabakalarının zemin sınıfları, birim hacim ağırlıkları, drenajsız kayma dayanımları, içsel sürtünme açıları ve elastisite modülleri Çizelge 2.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.14. Zemin mühendislik özellikleri (Bell vd., 2003)

Mühendislik Özellikleri	Üst Kil Tabakası	Silt Tabakası	Kum Tabakası	Alt Kil tabakası
Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılması	CH	ML	SM	CH
Birim Hacim ağırlığı kN/m ³	19.1	15.7	15.7	19.2
Drenajsız Kayma Direnci, Su, kPa	112	-	-	139
İçsel Sürtünme Açısı	-	25	40	-
Elastisite Modülü, Mpa	40-70	10-30	70-100	70-100

Kum tabakası kalınlığının beton kazıklar için istenen kazık uç direncini sağlamakta yetersiz kalma durumu olması ve silt tabakasındaki oturmaların toplam oturma miktarını artırması nedeniyle ekonomik bir çözüm olarak süperjet kolonları imal edildiğini belirtmişlerdir. Çalışma sahasında elde ettikleri CPT deney verileri sonucunda üst yapı yükleri altında beklenen toplam oturma miktarının yaklaşık 60 mm olduğunu, oturmanın en fazla oluştuğu silt tabakasının süperjet kolonları ile güçlendirilmesi sonucu toplam oturma değerlerinin önemli ölçüde azalacağı belirtilmiştir. Süperjet kolonlarının silt tabakasındaki oturma miktarlarının azaltılması ve üstteki kil tabakasından üst yapı yüklerini alttaki sıkı kum tabakasına aktarabilmek için ekonomik bir çözüm olanağı sunduğunu göstermişlerdir. Süperjet kolonları ile zemin iyileştirilmesinde ıslah öncesi ve ıslah sonrası oturma değerlerinin değişimini Şekil 2.39'daki gibi göstermişlerdir.



Şekil 2.39. La Rosita elektrik santrali yapıları ıslah öncesi ve ıslah sonrası oturmaların değişimi (Bell vd., 2003)

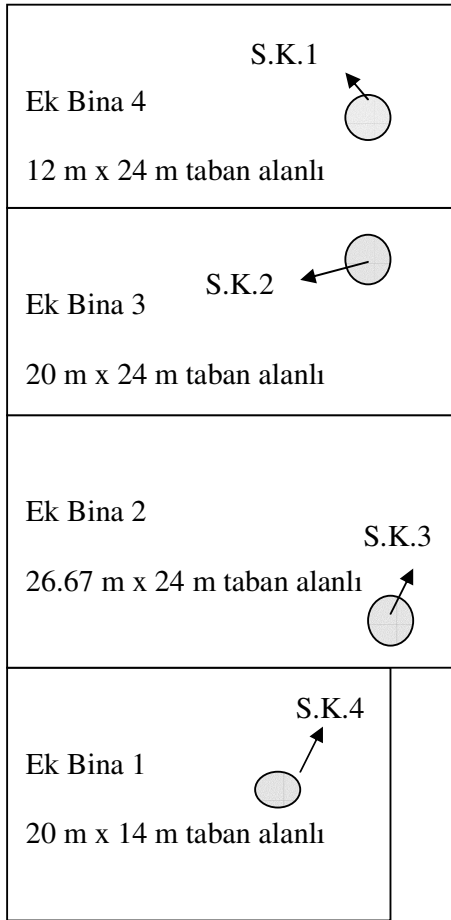
Keskin ve Çimen (2002) çalışmalarında Afyon İli Dinar İlçesinde Yapımı Planlanan altı katlı özel idare işhanı temel zeminindeki oturmaların jet grout yöntemiyle kontrol altına alınmasını ve zeminin taşıma gücünün artırılmasını incelemişlerdir.

Çalışmalarında öncelikle inceleme sahası zemin özelliklerinin belirlenmesi için 4 adet zemin sondajı ve 1.5m de bir standart penetrasyon deneyleri yapmışlardır. Sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri ile zemin özellikleri belirlenmiştir. Buna göre yüzeyden itibaren ilk 1.5m de yapay bir dolgu tabakası olduğunu, bu tabaka altında 7.4m yüksekliğinde ortalama SPT değeri 8 olan siltli-killi kum tabakası olduğunu, bu tabaka altında ise 18m yüksekliğinde ortalama SPT değeri 18 olan siltli-killi çakıl tabakası olduğunu ve yer altı su seviyesinin yüzeyden itibaren 1.5-1.6m olduğunu belirtmişlerdir.

Sondajlar sırasında yapılan SPT deney sonuçları ve laboratuvar deney sonuçları birlikte değerlendirilerek zeminin hacimsel sıkışma modülü $30-40 \text{ kg/cm}^2$ olarak elde etmişlerdir. 5+1 katlı ve bir bodrumlu olarak yapımı planlanan binanın sığ temellerin taşıma gücünü ve oturma koşullarını sağlamadığını ve sondaj verilerinin değerlendirilmesi sonucu 9-15m derinliklerde sıvılaşma potansiyelinin olduğunu belirtmişlerdir. Bu kriterlerin dikkate alınması sonucu en uygun çözümün jet grout zemin enjeksiyonu olduğuna karar vermişlerdir.

Uygulamada 4 x 4m karelerde yaklaşık 120 cm çapında ve 20m boyunda jet grout kolonların imali neticesinde yer altı suyu kontrol altına alınmış, zeminin taşıma gücü ve deformasyon modülü artırılarak zeminde beklenen oturmaların önemli ölçüde azaltılmasının sağlandığını belirtmişlerdir.

İnceleme sahasında, inşaatı planlanan yapının oturacağı zeminin özelliklerini belirlemek için 20 m derinliğinde dört adet zemin sondajı yapılmıştır. Sondaj çalışmalarında kızaklı-morsetli zemin sondaj makinesi kullanılmış olup rotary sistemiyle zemin açılmıştır. Farklı üst yapı özelliklerine sahip ek binalar incelendiğinde, 1 Nolu ek bina 20m x 14m taban alanlı ve 100 kn/m² taban basıncına sahip, 2 Nolu ek bina 26.67m x 24m taban alanlı ve 200 kn/m² taban basıncına sahip, 3 Nolu ek bina 20m x 24m taban alanlı ve 200 kn/m² taban basıncına sahip ve 4 Nolu ek bina 12m x 24m taban alanlı ve 150 kn/m² taban basıncı oluşturduğu projesinde belirtilmiştir. Çalışma platformunda jet grout zemin iyileştirilmesinden sonra inşa edilecek ek binaların yerleşim planı,boyutları ve zemin iyileştirilmesi öncesinde sondaj noktaları Şekil 3.2’de görülmektedir



Şekil 3.2. Polyplex ek binaları inşaatı yerleşim planı ve sondaj noktaları

3.1.2 Zemin özellikleri

İnceleme alanında yapılan 4 adet zemin sondajına göre SK1 sondajı zemin profilinin 0.3-4 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 4-5 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 5-11 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 11-13 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 13-20 m arasında ise açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil olduğu; SK2 sondajı zemin profilinin 0.3-4 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 4-5 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 5-9 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 9-13 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 13-20 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil olduğu; SK3 sondajı zemin profili incelendiğinde 0.3-4 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 4-5 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 5-9 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 9-11 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 11-20 m arasında ise açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil olduğu; SK4 sondajı zemin profili incelendiğinde ise 0.3-4 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 4-5 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 5-9 m arasında açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 9-11 m arasında ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 11-20 m arasında ise açık kahverenkli ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil olduğu görülmüştür. Yer altı suyu seviyesi ise 2.0m olarak gözlenmiştir (Anonim, 2005a).

Sondajdan alınan numuneler üzerinde zemin özelliklerini belirlemek için, elek analizi deneyi, kıvam limitleri deneyi, üç eksenli basınç deneyi yapılmış, su muhtevaları belirlenmiş ve zemin sınıfları Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma sistemine göre verilmiştir. Arazi SPT deneyleri sonuçları her bir sondaj kuyusu için Ek-1' de verilmiştir. Ek-2'de ise 1-2-3-4 nolu sondaj kuyusu numuneleri elek analizi deneyleri sonuçları gösterilmiştir.

Sondaj Kuyusu 1 den alınan UD-1 numuneleri üzerinde drenajsız üç eksenli basınç deneyi 20-60-100 kPa olmak üzere üç farklı hücre basıncında yapılmış, kayma

gerilmesi ile normal gerilme arasında ilişki grafiği çıkartılarak gerilme daireleri EK-3'de gösterilmiştir.

1 Nolu Sondajdan alınan kil numuneleri üzerinde konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Konsolidasyon deneyi ile numunelerin farklı yük kademelerindeki hacimsel sıkışma katsayıları ile boşluk oranı- basınç eğrisinden Casagrande Yöntemi ile ön yükleme basıncı bulunmuştur. Buna göre ön yükleme basıncı 70 kN/m^2 olarak bulunmuştur. Deney verileri ve boşluk oranı-basınç eğrileri Ek-4' de verilmiştir. Ek-4'deki konsolidasyon deneyi verileri ve zemin profilinden killi zeminde beklenen konsolidasyon oturması 25.40 cm olarak bulunmuştur.

Zemin özellikleri belirlendikten sonra aşağıdaki parametreler kullanılarak zeminin emniyetli taşıma gücü Eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır (Terzaghi,1943). Ek binalarının temel sistemi mütemadi temel şeklindedir. Buna göre ;

$$K_1 = 0,5 ; K_2 = 0,5 \text{ (Mütemadi temel şekil katsayıları)}$$

$$C(\text{Kohezyon}) = 0,16 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Üç eksenli basınç deneyinden elde edilmiştir)}$$

$$\varphi = 18,36^\circ \text{ (içsel sürtünme açısı)}$$

$$N_c = 12,34 ; N_q = 4,77 ; N_y = 3,53 \text{ (Terzaghi Taşıma Gücü Katsayıları)}$$

$$\gamma_1 = 1,849 \text{ gr/cm}^3 \text{ (zeminin doymun birim hacim ağırlığı)}$$

$$\gamma_2 = 1,627 \text{ gr/cm}^3 \text{ (zeminin kuru birim hacim ağırlığı)}$$

$$B = 350 \text{ (Temel Genişliği)}$$

$$D_f = 1,50 \text{ m temel derinliği'ne göre (3.1) formülü ile;}$$

$$q = K_1 * C * N_c + \gamma_1 * D_f * N_q + K_2 * N_y * B * \gamma_1 \quad (3.1)$$

$$q_a = 0,5 * 160 * 12,34 + 1,849 * 150 * 4,77 + 0,5 * 3,53 * 350 * 1,627$$

$$q_a = 3314 \text{ gr/cm}^2$$

$$q_{net} = 3314 - (150 * 1,849)$$

$$q_{net} = 3036 \text{ gr/cm}^2 = 3,03 \text{ kg / cm}^2$$

$q_{emniyet} = q_a/G_s = 3,03 / 3 = 1,01 \text{ kg/cm}^2$ şeklinde zeminin emniyetli taşıma gücü bulunmuştur.

Ek binaların meydana getirdiği zemin basınçları 100 kN/m^2 ile 200 kN/m^2 arasında değişmektedir. Mevcut yüklere göre ek binaları taşıyan zeminin taşıma gücünün 250 kN/m^2 olması istenmekte ve zeminde oluşabilecek oturma miktarı mütemadi temeller için literatürde müsaade edilen değerlerin üzerindedir (Kumbasar ve Kıp 1999). Yapı temellerinin radye temeller olarak inşa edilmesi durumunda ise temel boyutlarının büyüklüğüne bağlı olarak temeller altında meydana gelmesi beklenen oturmaların mertebesi daha büyük olacaktır. Bu sebeplerden dolayı yapılması planlanan ek binaların üç tanesinde (Ek Bina2, Ek Bina3, Ek Bina4) zemin iyileştirilmesinin gerektiği görülmektedir. Ek Bina1'de ise temellerden aktarılan zemin basıncı 100 kN/m^2 olup bu binada taşıma gücü ve oturma koşulları sağlandığından sadece stabilize dolgu malzemesi serilip sıkıştırılma uygulanması yeterli durumdadır.

3.1.3 Jet Grout Parametrelerinin Belirlenmesi ve Kontrolü

Çalışma sahasındaki ince çakıllı-kumlu-killi zemin yapısındaki jet grout uygulamasında Jet1 yöntemi kullanılmıştır. Jet grout kolonların imalatına başlanmadan önce iki adet test kuyusu imal edilmiş olup bu kolonların imalat parametreleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Parametrelerin hesabında ;

$\Phi 60 \text{ cm}$ çapında jet grout kolon için Eşitlik (3.2) ile kolon kesit alanı A_{kolon} ,

$$A_{kolon} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot (0,3)^2 = 0,283 \text{ m}^2 \quad (3.2)$$

olarak hesaplanmıştır.

İmalatlarda 400 dozlu PÇ 42.5 tipi portland çimentosu kullanılmış olup;

$400 \cdot 0,283 = 113$ kg çimento, Su/çimento oranı olduğundan 113 kg da su kullanılmaktadır.

Çizelge 3.1. Polyplox ek binaları inşaatı jet grout zemin iyileştirilmesi test kolonları imalat parametreleri

Jet Grout Test Kolon No	1	2
Beklenen Kolon Çapı(cm)	60	60
Oluşan Kolon Çapı(cm)	52	57,5
Enjeksiyon Basıncı (Bar)	450	500
Çekme Hızı (cm/dk)	86,25	76,96
Dönme Hızı (dev/dk)	36-54	36-54
Nozzle Çapı(mm)	2,4	2,2
Su/Çimento Oranı	1	1

Çekme hızının belirlenmesi için 1 dakikalık sürede 1m lik uzunluktan çıkan enjeksiyon miktarının bilinmesi gerekmektedir. Hacimsel olarak 1 lt lik hacimde 3 kg çimento ile 1 kg su eşit yer kaplamaktadır. 3 kg/lt çimento hacimsel olarak 1 kg/ lt suya eşit olduğundan;

$113 / 3 = 38$ lt/m çimento ile 113 lt su olmak üzere toplam = $113 + 38 = 151$ lt/m jet grout olarak birim hacimdeki grout miktarı bulunmaktadır. Nozzle çapı ile enjeksiyon basıncı arasındaki ilişkiye göre nozzleden çıkan enjeksiyon debisini gösteren Bölüm 2’de verilen Çizelge 2.7’den 2,4 mm lik nozzle ve 450 bar basınç için 65 lt /dk. olmak üzere enjeksiyon debisi bulunmaktadır.

1 adet tijde toplam 2 adet nozzle kullanıldığı için toplam debi;

$65 \cdot 2 = 130$ lt/dk olarak bulunmaktadır. Bu debide çıkan toplam grout miktarı ise;

$$Q = 151 / 130 = 1,16 \text{ dk/m} \quad (3.3)$$

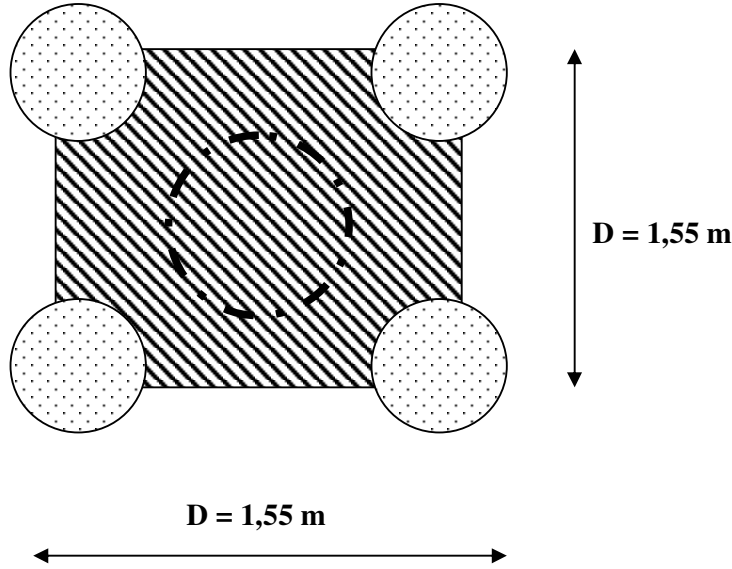
Çekme hızı ise; $V_{\text{çekme}} = 1 / 1,16 \cdot 100 = 86,25$ cm/dk olarak belirlenmiştir.

Aynı yöntemle 2 nolu test kolonundaki tij çekme hızı ise 76,96 cm/dk olarak bulunmuştur.

Test kolonları açılıp incelendikten sonra istenen çapın sert killi zeminde oluşmadığı görülmüştür. Bunun üzerine 2 nolu test kolonu parametrelerindeki çekme hızı 70 cm/dk. ya düşürülerek 1 adet test kolonu daha imal edilmiştir. Bu test kolonunun tekrar açılıp incelenmesinden sonra istenen 60 cm çapın elde edildiği görülerek bu parametrelerle imalata başlanmıştır.

3.1.4 Jet Grout Proje Planlaması

Sondaj sonuçlarından ince çakıllı-kumlu- killi bir zemin yapısı olduğu görülmektedir. Jet grout zemin ıslahı sonucunda iyileştirilmiş zeminin taşıma gücünün üst yapı yüklerini emniyetle taşıyabilmesi için 250 kN/m^2 yeterli bulunmaktadır. Bu değerlere ulaşabilmesi için proje 60 cm çapında kolon oluşacak şekilde Jet-1 sistemi kullanılmıştır. Sondaj sonuçlarından zemin yüzeyinden 10 m derinlikten sonra ortalama SPT_{N30} değeri 30 olan sıkı bir kum tabakası görülmektedir. Üst yapı yüklerinin bu tabakaya aktarılabilmesi için jet grout kolon yüksekliğinin 12 m olması tasarlanmıştır. Jet grout kolonların projesinde Şekil 3.3'de gösterildiği gibi merkezden merkeze kolonlar arası mesafe 1.55 m olarak planlanmıştır.



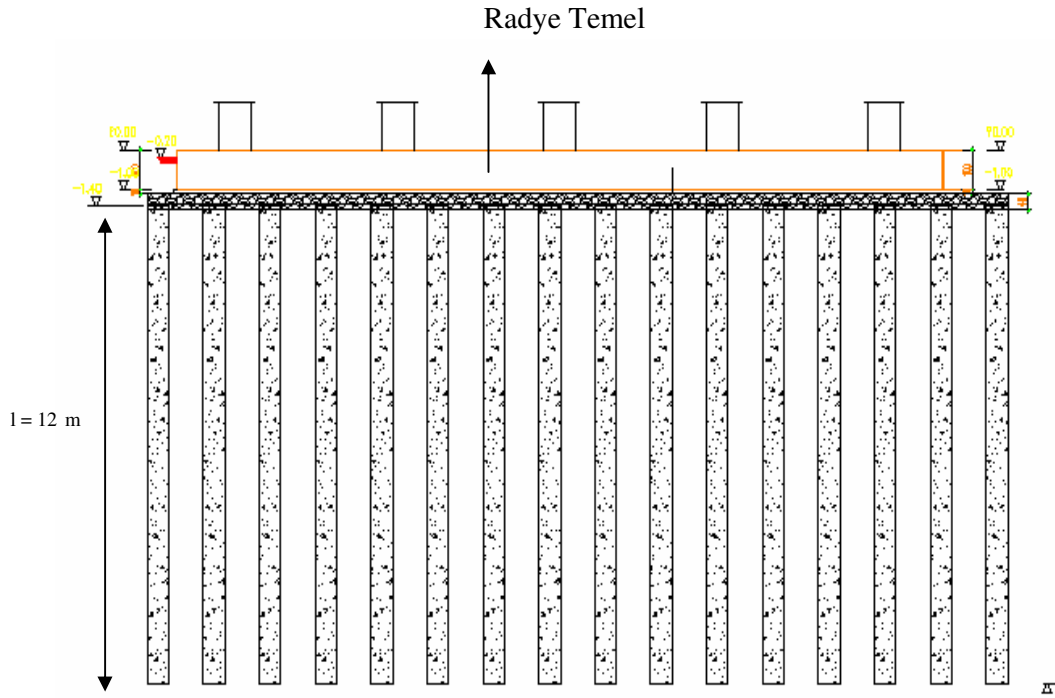
Şekil 3.3. Polyplex ek binaları inşaatı jet grout yerleşim detayı

Zeminin emniyetli taşıma gücü (3.1) Eşitliği kullanılarak 100 kPa olarak bulunmuştur. Kolon kesit alanı ise (3.2) Eşitliği ile hesaplanmıştır.

1,55 * 1,55 karelajda oluşan etkili zemin alanı = 2,4 m² ve Ballarin ve Forti (1998) tarafından verilen literatür bilgisi ile killi zeminlerde iyileştirilmiş zemin mukavemeti 1,5 MPa alındığında jet grout imalatı sonucunda oluşması istenen iyileştirilmiş zeminin güvenli toplam taşıma gücü Q_{top}, (3.4) eşitliği ile hesaplanmıştır. Buna göre;

$$Q_{top} = [100kPa * (2,40 - 0,283) + 1500 * 0,283] / 2,4 = 250 kPa \quad (3.4)$$

olarak bulunmaktadır. Şekil 3.4’de jet grout kolon kesitleri verilmiştir.

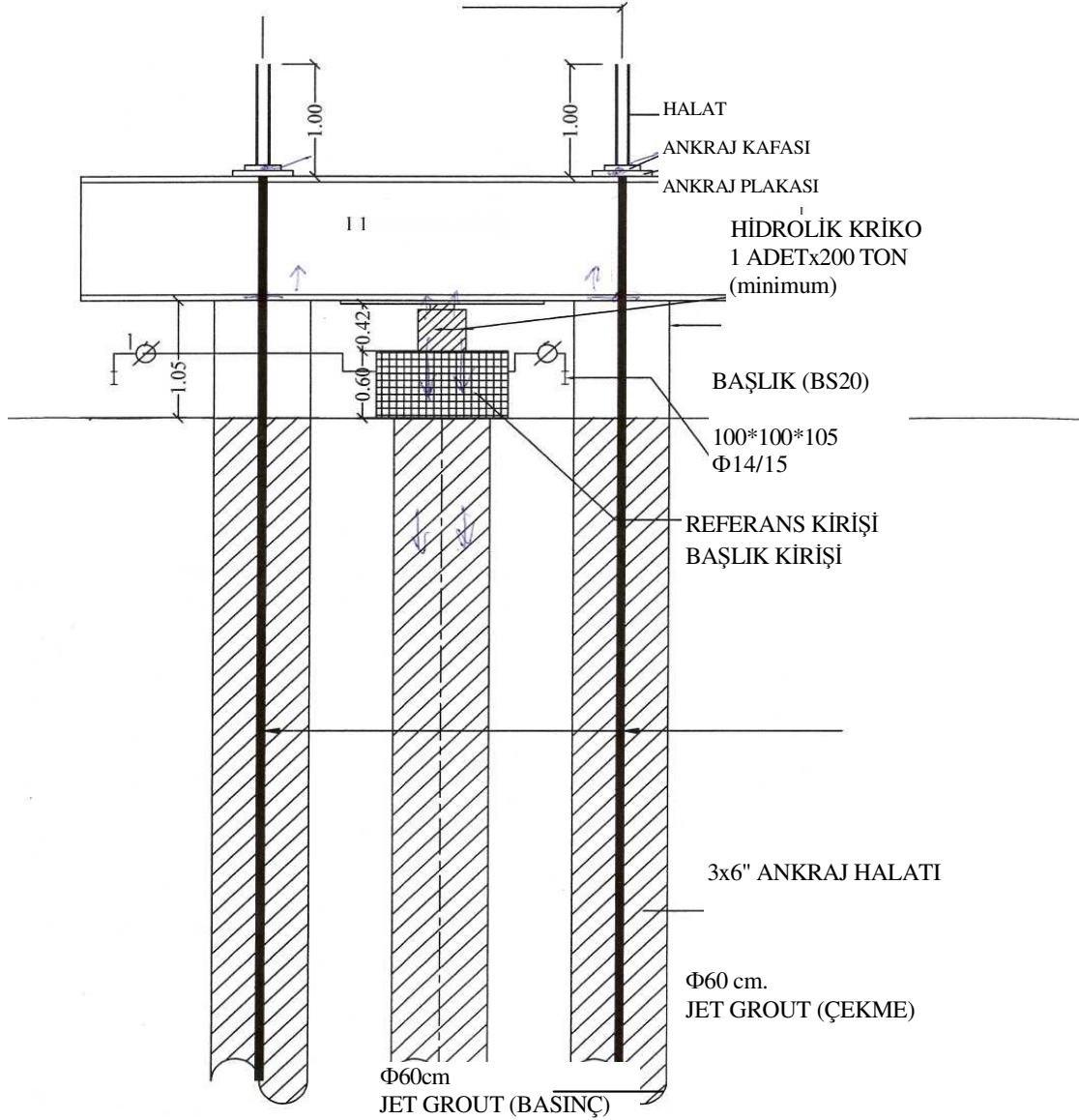


Şekil 3.4. Polyplex ek binaları zemin iyileştirilmesi jet grout kolon kesitleri

Çalışma sahasında 1, 2 ve 3 nolu ek binaların temel altına 1.55x1.55m karelajda toplam 590 adet, 12 m boyunda jet grout kolon imalatı gerçekleştirilmiş olup jet grout yerleşim planı Ek-5’ de verilmiştir. Temel altı yüklerinin jet grout kolonlarının başlıklarında ezilme meydana getirmemesi için temel altına 30 cm kalınlığında dolgu malzemesi serilmiştir.

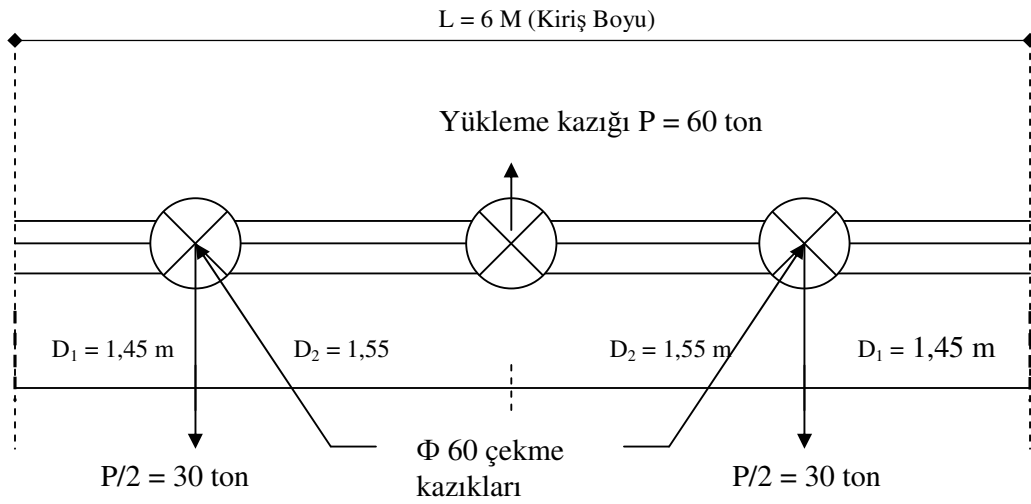
3.1.5 Jet Grout Kazık Yükleme Deneyi

Çalışma platformunda imalat kolonlarından biri üzerinde kolonların üst yapı servis yüklerini eminiyetle taşıyıp taşıyamadıklarının ve üst yapı yükleri altında imalat kolonlarının oturma miktarlarının tahkiki için ASTM D 1143 standartlarına uygun jet grout kolon yükleme deneyi yapılmıştır. Deney için kullanılan ekipman Şekil 3.5' de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Polyplex ek binaları zemin iyileştirilmesi jet grout kazık yükleme test ekipmanları kesiti

Deney için iki adet I 1100 profilinde 6 m boyunda test kirişi kullanılmıştır. Çekmeye çalışacak kolonlar da imalat kolonlarından seçilmiş olup çalışma platformu üzerinde ard arda gelen 3 kolon üzerinde deney yapılmıştır. Çekmeye çalışacak kolonlara öncelikle merkezlerinden itibaren delgi yapılarak enjeksiyonlanmış ve enjeksiyon donmadan hemen üçlü 6 inc lik çekme halatları yapılmıştır. Çekme halatlarının her biri 15 tonluk çekme yükünü taşıyabilecek özelliktedir. Şekil 3.6' da deney kazıkları yerleşim planı ve yükler şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Polyplex ek binaları jet grout zemin iyileştirilmesi yükleme-çekme kazıkları ve deney kirişi yerleşim planı

Kazık yükleme deneyi ana kiriş hesapları proje verileri çerçevesinde yapılmış olup Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Deney yükü olarak proje yükünün 1,5 katı alınmıştır. Kirişin eğilme dayanımı hesabı (3.5) Eşitliğine göre yapılmıştır.

$$S = M / W_x \quad (3.5)$$

Bu formülde :

M test momenti olup 46,5 t.m dir; W_x ise Stahleisen (1967) tarafından verilen I1100 profili mukavemet mukavemeti olup 26.668 cm^3 dür.

Buna göre;

$M_x = 46,5 \text{ t.m} / 26,668 \text{ cm}^3 = 174,37 \text{ kg/cm}^2$ olarak kirişin eğilme dayanımı bulunmaktadır. Stahleisen (1967) tarafından verilen I1100 profili güvenli eğilme dayanımı (1400 kg/cm^2) kirişin eğilme dayanımından ($174,37 \text{ kg/cm}^2$) büyük olduğundan dolayı kiriş eğilme tahkikini sağlamaktadır.

Çizelge 3.2 : Polyplex ek binaları jet grout yükleme deneyi test kirişi hesapları

Proje Verileri	Proje Yüğü	: 40 ton
	Test Katsayısı	: 1,5
	Test Yüğü	: $1,5 \cdot 40 = 60 \text{ ton}$
	Serbest Açıklık	: $1,55 \cdot 2 = 3,1 \text{ m}$
	Test Momenti	: $30 \cdot 1,55 = 46,5 \text{ t.m}$
	Kesme Kuvveti	: $60/2 = 30 \text{ ton}$
Ana Kiriş Boyutları	Dış Yükseklik	: 116 cm
	Tabla Genişliği	: 20 cm
	Tabla Kalınlığı	: 3 cm
	Gövde Genişliği	: 3 cm
Moment Hesapları	Kiriş Atalet Momenti	: $773,384 \text{ cm}^4$
	Ana Kiriş Adedi	: 2
	Ana Kiriş Toplam Atalet Momenti	: $1546,77 \text{ cm}^4$
	W_x	: $26,668 \text{ cm}^3$

Test kirişinin kesme tahkiki hesapları için kesme gerilmesi V_x (3.6) Eşitliğine göre ;

$$V_x = \frac{P}{A_x} \quad (3.6)$$

hesaplanabilmektedir. Buna göre;

$$A_x = 450 \text{ cm}^2$$

$$V_x = 30 \text{ ton} / 450 \text{ cm}^2 = 67 \text{ kg} / \text{cm}^2 \text{ olarak bulunmaktadır.}$$

Stahleisen (1967) tarafından verilen kirişin güvenli kesme dayanımı (900 kg/cm^2) kirişe gelen kesme kuvvetinden (67 kg/cm^2) büyük olduğundan dolayı kesme tahkiki açısından da kirişin uygun olduğu görülmüştür.

Yükleme deneyi için servis yükünün belirlenmesinde jet grout kolonun uç taşıma kapasitesi ile kolon çevre direncinin toplamı olan toplam taşıma kapasitesi (2.9) Eşitliği ile 40 ton olarak belirlenmiştir. Test için kullanılan jet grout kolonuna servis yükünün 1,5 katı olan 60 tona kadar maksimum yükleme yapılmıştır.



Şekil 3.7. Jet rout kolon yükleme deneyi test ekipmanları düzeneği

Şekil 3.7’de yükleme pistonuna yükü aktaran manometre ve diğer test ekipmanları gösterilmektedir. Kullanılan hidrolik kriko deney yükünün %20 si daha fazla yükleme ve ölçme kapasitesine sahip olup kolon eksenine en fazla 25 mm eksantrisite ile yerleştirilmiştir. İstanbul Teknik Üniversitesi yapı malzemeleri laboratuvarında test edilen 0008225 seri numaralı hidrolik silindirin kalibrasyon deneyi, Amsler marka 500 ton kapasiteli hidrolik presin 250 tonluk ölçeğinde yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.3’ de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Jet grout kolon yükleme deneyi manometre aleti göstergesine karşılık gelen gerçek bar değerleri (Anonim, 2005b)

Manometre (Bar)	0	50	100	150	200	250	300	350	400
Gerçek Yükler (ton)	0	16	34,25	52,25	70,75	87,5	106	123	14,075

Çizelge 3.3’de uygulanan yüke karşılık manometrede ölçülen bar değerleri görülmektedir. İterasyon ile yükleme deneyindeki gerçek yükler bulunmuştur. Yükleme föyü Ek-6’da gösterilmiş olup, deney sonuçları bulgular bölümünde değerlendirilmiştir.

3.1.6 Karot Numunelerin Alınması

İmalat süresince imalat kolonlarından 15 adet karot numunesi alınarak numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılmış ve basınç dayanım değerleri ölçülmüştür.

Karot kırım deneyleri İstanbul’da özel bir laboratuvar tarafından yapılmıştır. Test sırasında uygulamada ASTM C42 standartlarının öngördüğü kriterler kullanılmış olup karot deney sonuçları bulgular bölümünde değerlendirilmiştir.

3.1.7 Kazık Süreklilik Deneyleri

Jet grout kolonların kalitesi ve sürekliliğinin tahkikine yönelik çalışma sahasında imalat kolonları üzerinde 20 adet kazık süreklilik testi yapılmıştır. Jet grout kolonlara ait süreklilik testleri sonuçları Ek-7’de verilmiş olup sonuçlar bulgular bölümünde değerlendirilmiştir.

3.2 İkinci Çalışma Sahası

3.2.1. Giriş

Ast İnşaat A.Ş. tarafından Antalya ili Kundu Köyü 1296 Nolu parselde İstanbul Oteline ait lojman inşaatlarında yapılmış olan üst yapıların temel zemini jet grout zemin enjeksiyonu yöntemiyle iyileştirilmiştir. 1296 nolu parsel 28.660 m² alanlı olup bu bölümde dört adet 1 zemin+2 normal katlı B Bloklar ile 1 zemin+4 normal katlı A bloktan oluşan lojman yapılarının inşa edilmesi planlanmıştır. Şekil 3.8’de inceleme alanı yerbulucu haritası, Şekil 3.9’da ise çalışma alanının zemini gösterilmiştir.



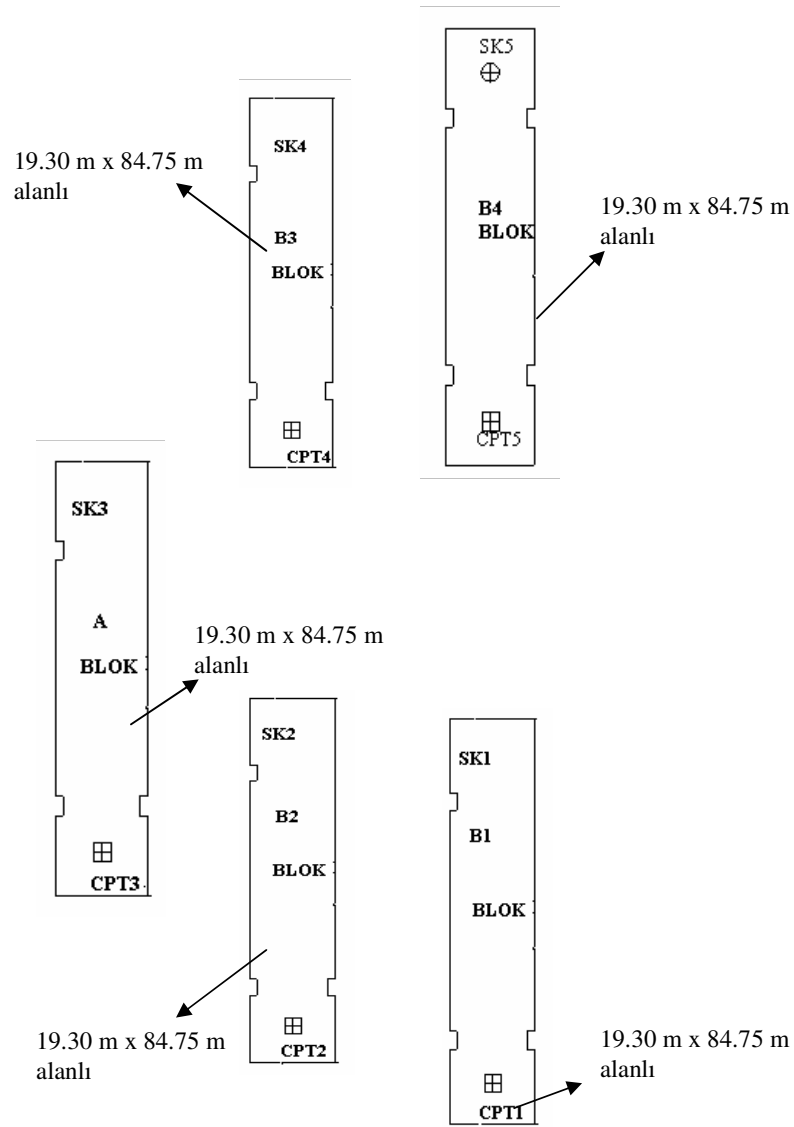
Şekil 3.8. İstanbul oteli lojmanları inceleme alanı yerbulucu Haritası



Şekil 3.9. İstanbul oteli lojmanları çalışma platformu zemini

3.2.2. Zemin özellikleri

Zemin çalışmaları kapsamında toplamda beş farklı noktada toplam 172.3m uzunluğunda zemin sondajı, beş farklı noktada toplam 122.1m uzunluğunda CPT deneyi, dört adet toplam 15.10 m uzunluğunda araştırma çukuru gerçekleştirilmiş olup Şekil 3.10'da lojman yapı planlarında sondaj ve CPT noktaları gösterilmiştir. Yapıların inşa edileceği alanda yapılardan temellere aktarılacak yükler 60 kPa'ın üzerindedir.



Şekil 3.10. Lojman bölümü yapıları yerleşim planı, sondaj ve CPT noktaları

Sondajlarda, sistematik olarak 1.5m ara ile Standard penetrasyon deneyleri gerçekleştirilerek SPT/N darbe sayıları belirlenmiş olup karşılaşılan zemin koşullarına bağlı olarak temsili ve örselenmemiş zemin numuneleri alınmıştır.

Lojmanların inşa edileceği alanda gerçekleştirilen sondajlarda ilk yaklaşık 20.0 m derinlik içerisinde yer yer kum arabantlı killi silt / siltli kil zeminlerle karşılaşmış olup bu zemin tabakasında düzeltilmiş darbe sayısı ortalama $N_{ort}=6$ olarak elde edilmiştir. Buna göre; killi zeminlerin kıvamı genel itibariyle orta katı, drenajsız kayma mukavemeti ise 40 kPa olarak belirlenmiştir. Bu seviye altında takriben 40.0m'ye kadar karşılaşılan siltli kil tabaka içerisinde SPT darbe sayısı ortalama $N_{ort}=10$ olarak elde edilmiş olup kıvamı genel itibariyle katı, drenajsız kayma mukavemeti ise 65 kPa olarak belirlenmiştir. Bu seviyenin altında ise yaklaşık 49.0m derinliğe kadar olan kesimdeki siltli kil içerisinde SPT/N darbe sayısı ortalama $N_{ort}=20$ olarak elde edilmiştir. Buna göre; killi zeminlerin kıvamı genel itibariyle çok katı, drenajsız kayma mukavemeti ise 130 kPa olarak belirlenmiştir. Bu derinlik (49.0m) altında ise SK-2 nolu sondajda travertene girilmiştir. Enerji oranına göre düzeltilmiş SPT/N darbe sayılarının derinlikle değişim grafiği Ek-8'de verilmiştir.

Sondajlarda zemin yüzeyinden itibaren takriben 0.75 m ile 1.5m derinlikte yeraltısuyu seviyesi bulunduğu görülmüştür.

Sondajlardan alınan temsili zemin numuneleri üzerinde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneylerinden su muhtevaları ve elek analizi sonuçları Ek-10'da verilmiştir.

CPT deneyleri için elektronik veri toplama sistemine sahip CPT ekipmanı kullanılmıştır. Sondalama 10 cm² konik uç ve 150 cm² çevre alanına sahip elektronik bir cihazın hidrolik baskı yoluyla 2 cm/sn sabit hızla zemine penetre edilmesi ile yapılmış olup penetrasyon esnasında 2 cm ara ile ölçülen uç ve çevre mukavemeti verileri elektronik alıcı aracılığı ile ölçülüp bilgisayarda kaydedilmiştir. Bu veriler zemin tabakalarının hassas bir şekilde tanımlanması, taşıma ve oturma özelliklerinin

taini, temel mühendisliği tasarım parametrelerinin belirlenmesi için gerekli verileri oluşturmuştur.

İnce daneli zeminlerin drenajsız kayma mukavemetinin ve iri daneli zeminlerin içsel sürtünme açısının derinlikle değisimi CPT deneylerinden yararlanılarak belirlenmiştir. CPT deneylerinden elde edilen zemin parametrelerinin derinlikle değişimi Ek-9'da gösterilmiştir. İlk 20 m derinlik içinde kil zeminin $SPT/(N_1)_{60}$ 'ye göre bulunan drenajsız kayma mukavemeti değeri 40 kPa olarak belirlenmiş olup CPT deneyleri ile de teyid edilmiştir. Bununla birlikte ilk 8.0m derinlik içinde yer yer drenajsız kayma mukavemeti değeri 20 kPa gibi çok düşük mukavemetli seviyelerdedir.

İkinci çalışma sahası 2 nolu sondaj kuyusu UD-2 numuneleri ve 4 Nolu Sondaj Kuyusu UD-2 numuneleri üzerinde drenajsız üç eksenli basınç deneyi 50-100 kPa olmak üzere iki farklı hücre basıncında yapılmış, kayma gerilmesi ile normal gerilme arasında ilişki grafiği çıkartılarak mohr daireleri EK-11'de gösterilmiştir.

Lojmanların inşa edileceği zeminde 10-10.50 m ler arası 1 Nolu Sondajdan alınan UD3 numuneleri üzerinde konsolidasyon deneyi yapılmıştır. Konsolidasyon deneyi ile numunelerin farklı yük kademelerindeki hacimsel sıkışma katsayıları ile boşluk oranı- basınç eğrisinden Casagrande Yöntemi ile ön yükleme basıncı bulunmuştur. Buna göre ön yükleme basıncı 110 kN/m^2 olarak bulunmuştur. Deney verileri ve boşluk oranı-basınç eğrileri Ek-12' de verilmiştir. Ek-12'deki konsolidasyon deneyi verileri ve zemin profilinden killi zeminde beklenen konsolidasyon oturması 21 cm olarak bulunmuştur.

Mühendislik değerlendirmelerinde kullanılan zemin parametreleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. İstanbul Oteli lojmanları zemini temel mühendisliği değerlendirilmesinde kullanılan geoteknik parametreler

Doğal Su Muhtevası (w_n %)	9-48
Likit Limit (LL %)	24-62
Plastik Limit (PL %)	12-23
Plastisite İndisi (PI %)	6-39
Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırılması	CL,CI,CH,ML,SM,SP,SW
Drenajsız Kayma Mukavemeti (S_u , kPA)	32-50
Organik Madde Muhtevası (%)	0.5-1.6
Maksimum Kuru Birim hacim Ağırlığı (t/m ³)	1,76
Optimum Su Muhtevası (w_{opt} , %)	11,5
Sıkışma İndisi (Cc)	0.173-0.365
Yeniden Sıkışma İndisi(Cr)	0.018-0.062
Başlangıç Boşluk Oranı(eo)	0.76-1.27
Ön Konsolidasyon Basıncı(Po)	70-110
Aşırı Konsolidasyon Oranı (Ocr)	0.6-1.2
Konsolidasyon Katsayısı(Cv, cm ² /sn)	2,46x10 ⁻¹⁴

Çalışma platformunda lojman bölümünde inşaatı planlanan yapılarda zemine aktarılması beklenen gerilmeler yaklaşık 60 kPA'nın üzerinde hesaplanmış olup temel taban derinliği 1,5 m olarak tasarlanmıştır. Bu durumda tüm yapı temelleri kil zemin üzerine inşa edilmiştir. Kil zeminler için taşıma gücü q , (3.7) Eşitliği ile verilmektedir (Terzaghi ve Peck, 1948).

$$q = 5 \cdot c \quad (3.7)$$

Bu formülde; c kil zemine ait drenajsız kayma mukavemetini ifade etmekte olup Ek-8 ve Ek-9 dikkate alınarak minimum ortalama 25 kPA olarak belirlenmektedir. Dolayısı ile Eşitlik (3.7) formülü kullanılarak zeminin net taşıma gücü :

$Q_{net} = 5 \times 25 = 125$ kPA olarak bulunmaktadır. Güvenlik faktörü 2,5 alındığında emniyetli taşıma gücü ise 50 kPa olarak hesaplanmaktadır.

Sahanın sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde CPT verilerinden yararlanılmıştır. Çalışma sahası incelendiğinde Türkiye deprem haritasına göre 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Sıvılaşma potansiyeli analizleri $M=6.5$

manyitüdündeki depreme göre yapılmış olup su seviyesinin sığ olduğu ve doğal zemin seviyesinden itibaren yaklaşık ilk 12m derinlik içerisinde karşılaşılan siltli kum, kum birimler için gerçekleştirilmiştir.

Devirsel direnç oranının derinlikle değişimi, CPT uç direncinin derinlikle değişimi ve sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörlerinin derinlikle değişimi CPT2 ve CPT3 verilerine göre Ek-13'deki şekillerde gösterilmektedir. Şekillerden görüldüğü üzere arazide kumlu seviyelerde güvenlik sayısı 1 den küçük olduğundan dolayı sıvılaşma riski olduğu sonucuna varılmaktadır.

Konsolidasyon deneyleri ile hesaplanan toplam oturma değerleri yüzeysel tekil ve serit temeller için toplam oturma limitlerinin (2.5cm) çok üzerindedir. Yapı temellerinin radye temeller olarak inşa edilmesi durumunda temel boyutlarının büyüklüğüne bağlı olarak temeller altında meydana gelmesi beklenen oturmaların mertebesinin daha büyük olacağı açıktır.

İnşası planlanan yapıların temel taban gerilmelerinin 50 kPa değerini aşması, dolayısıyla sözkonusu yapılar için üstyapı yükleri altında zeminin taşıma gücü açısından kritik olduğu görülmektedir. Bu durumda, inşası planlanan yapı temellerinde taşıma gücünü arttırmaya yönelik zemin ıslahı (yüksek rijitliğe haiz zeminin yerinde çimento ile karıştırılarak inşa edilen silindirik kolonlar) yapılması ya da yapı temellerinin kazıklı temeller şeklinde oluşturulması gerekmektedir.

Fore kazıklı uygulamada maliyetlerin artması sebebi ile radye temeller altına jet grout kolonlarla zemin iyileştirilmesinin yapılması daha uygun olarak düşünülmüştür. Jet grout zemin enjeksiyonu yöntemi ile zemin ıslahında 60 cm jet grout kolonların yapı taban alanları boyunca 2m x 2m karelajda uygulanması durumunda iyileştirilmiş zeminin güvenli taşıma kapasitesi (3.4) Eşitliği ile 150 kPa olarak belirlenmiştir.

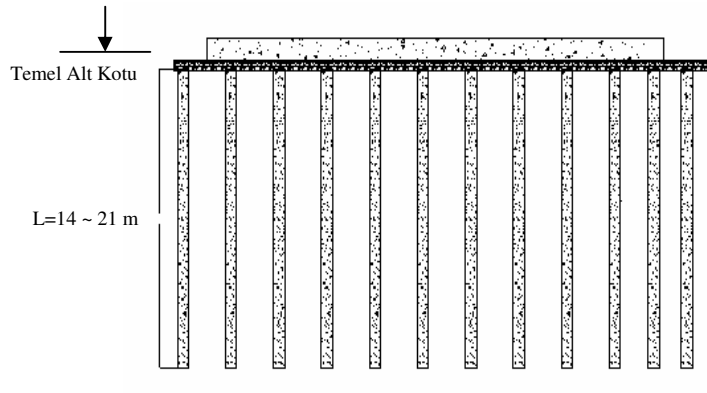
3.2.3. Jet Grout İşletim Parametreleri ve Zeminde Teşkil Edilen Kolonlar

Ast İnşaat Antalya İstanbul Oteli lojmanlarında imalatı yapılan jet grout kolonlara ait test sırasında kullanılan işletim parametrelerinden 60 cm kolon çapını sağlayan parametreler Çizelge 3.5’de gösterilmiştir. İmalatlarda PÇ 42.5 tipi portland çimentosu kullanılmıştır.

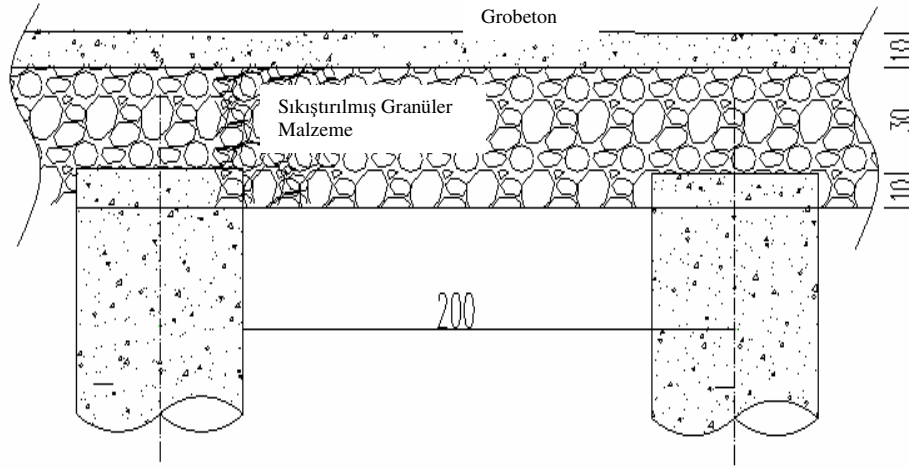
Çizelge 3.5. Antalya İstanbul Oteli lojmanları jet grout kolonları işletim parametreleri

İşletim Parametreleri	
Kolon Çapı(cm)	60
Enjeksiyon Basıncı (Bar)	450
Çekme Hızı (cm/dk)	67
Dönme Hızı (dev/dk)	36-54
Nozzle Çapı(mm)	2,2
Su/Çimento Oranı	1
Çimento dozu	400

Çizelge 3.5’deki işletim parametreleri kullanılarak her bir blok altına 2*2 m karelajda 60 cm çapında jet grout kolonlar imal edilmiştir. A Blok altına 420 adet, her bir B Blok altına 370 er adet jet grout kolon teşkil edilmiştir. Jet grout kolon boyları B1,B2,B3,B4 bloklarda 14 m, A Blokta ise 21m olarak tasarlanmıştır. Jet grout kolon kesitleri Şekil (3.11)’de, temel birleşim detayı ise Şekil (3.12)’de verilmiştir.



Şekil 3.11. İstanbul oteli lojmanları A ve B bloklar jet grout kolon kesitleri



Şekil 3.12. İstanbul Oteli lojmanları A ve B bloklar jet grout temel birleşim detayı

Şekil 3.12'deki temel birleşim detayı incelendiğinde radye temel altına 10 cm kalınlığında grobeton tabakasının serildiği, bu tabaka altında ise jet grout kolon başlıklarının temel yükleri altında ezilmesini önlemek için 30 cm kalınlığında sıkıştırılmış granüler malzeme serildiği görülmektedir.

Çalışma platformunda imal edilen 60 cm çapındaki kolonlarda yükleme deneyi yapılmış ve karot numuneleri alınmıştır. Yükleme deneyi için servis yükünün belirlenmesinde jet grout kolonun uç taşıma kapasitesi ile kolon çevre direncinin toplamı olan toplam taşıma kapasitesi (2.9) eşitliği ile 42 ton olarak belirlenmiştir. Test için kullanılan jet grout kolonuna servis yükünün 1,5 katı olan 63 tona kadar maksimum yükleme yapılmış olup yükleme föyü Ek-14'de gösterilmiştir. Yükleme deneyi sonuçları dördüncü bölümde değerlendirilmiştir. Ayrıca imalat kolonlarından 15 adet karot numunesi alınmış, numuneler üzerinde özel bir laboratuarda tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Karot numuneleri sonuçları bulgular bölümünde değerlendirilmiştir.

Çalışma sahasında imalat kolonlarıyla aynı zemin profiline sahip bir alanda imal edilen test kazıkları ile kazık süreklilik deneyleri yapılmıştır. Burada kazık süreklilik deneylerinin imalat kolonlarında yapılamamasının sebebi jet grout kolonların üst

1.40m tabakasının blokaj içermesidir. Kazık süreklilik deney aletinin ve test çekicinin kazık başlık bölgesinin blokaj yapıda oluşundan dolayı sağlıklı sonuç vermeyeceği düşünülerek aynı zemin profilinde ancak üst 1.40m blokaj içermeyen serbest zeminde istenen boylarda (A Blok 21m, B Bloklar 14m) jet grout kolonlar imal edilerek deney yapılmış ve istenen boylarda jet grout kolonların oluştuğu ve kolon boylarında süreklilik teşkil edildiği görülmüştür.

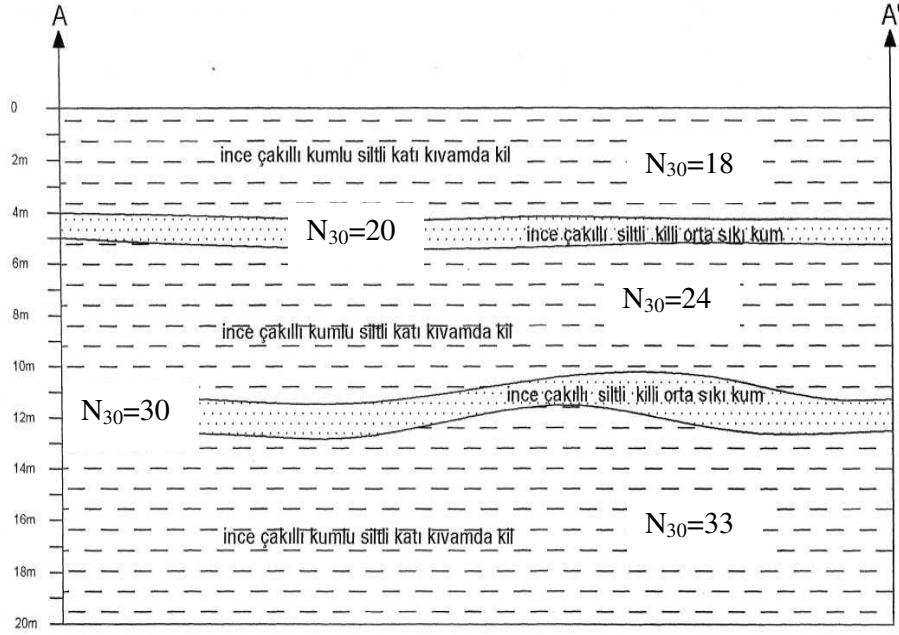
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Birinci Çalışma Sahasına Ait Sonuçların Değerlendirilmesi

Çorlu Polyplex jet grout zemin iyileştirilmesi işleri kapsamında sahada yapılan sondaj çalışmaları ve sondajlardan elde edilen numuneler üzerinde yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda 1-2-3-4 nolu sondaj kuyusu numuneleri su içerikleri, kıvam limitleri ve zemin sınıflandırılması sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiş olup inceleme alanının jeolojik kesiti çıkartılarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Birinci çalışma sahası 1-2-3-4 nolu sondaj numuneleri su içerikleri, kıvam limitleri ve zemin sınıflandırılması (Anonim, 2005a).

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	N30	Su İçeriği %	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı
					%LL	%PL	%PI	
SK-1	SPT-1	1,50-1,95	18	11	18	8	10	CL
SK-1	UD-1	1,50-2,00	-	11	32	16	16	CL
SK-1	SPT-3	4,50-4,95	21	10	29	15	14	SC
SK-1	UD-2	4,50-5,00	-	12	32	17	15	CL
SK-1	UD-2	4,50-5,00	-	11	17	8	9	SC
SK-1	SPT-7	10,50-10,95	28	13	20	10	10	SC
SK-1	SPT-10	15,00-15,45	38	12	26	10	16	CL
SK-2	SPT-1	1,50-1,95	18	16	24	12	12	CL
SK-2	SPT-2	3,00-3,45	19	15	26	16	10	CL
SK-2	SPT-3	4,50-4,95	18	14	29	11	18	SC
SK-2	SPT-6	9,00-9,45	23	12	29	14	15	SC
SK-3	SPT-1	4,50-4,95	20	12	25	11	14	SC
SK-3	SPT-2	7,50-7,95	22	17	34	17	17	CL
SK-4	SPT-8	12,00-12,45	27	13	25	13	12	SC



Şekil 4.1. Polyplex ek binaları inşaatı inceleme alanı jeolojik kesiti

Jet grout zemin iyileştirilmesi yapılacak olan inceleme alanının jeolojik kesiti incelendiğinde 0-4m arası ortalama SPT değeri 18 olan ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 4-6m arası ortalama SPT değeri 20 olan ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum, 6-11 m arası ortalama SPT değeri 24 olan ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil, 11-13m arası ortalama SPT değeri 28 olan ince çakıllı siltli killi orta sıkı kum ve 13-20m arası ise ortalama SPT değeri 33 olan ince çakıllı kumlu siltli katı kıvamda kil olduğu görülmüştür.

Şekil 4.1’de verilen zemin profilinde imal edilen 12m boyundaki kolonlardan K1 ve K2 numaralı ilk iki kolondan alınan karot numunelerinde tek eksenli basınç deneyi sonucu bulunan basınç dayanım değerleri, karot numunelerinin alındığı tabakalara ait ince dane yüzdeleri ve ortalama SPT N_{30} değerleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Çorlu-Polyplex jet grout kolonları karot deney verileri

Karot No	Kesit (cm ²)	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (t/m ³)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (Mpa)	İnce Dane Yüzdesi #200	Spt N30
K1	66,5	950,61	1470	1,56	21	3,08	56.33	20
K2	66,5	950,61	1682	1,77	27	4,62	53.1	18

Deney verilerine göre imal edilen Φ 60 cm çapında kolonlara ait karot sonuçları incelendiğinde;

$$\text{Kesit alanı} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,3^2 = 0,283 \text{ cm}^2 \quad (3.2)$$

Proje Yüğü = 40 ton

Kolon kesitinde oluşan gerilme = 40 ton / 0,283 cm² = 141,34 ton / cm² = 1,41 Mpa olarak bulunmaktadır. Güvenlik sayısı = 2 olarak alınırsa ; karot numunelerinden istenen minimum mukavemet değeri M, 2,82 Mpa olarak bulunmaktadır ve deney sonuçlarında numunelerden elde edilen mukavemet değerleri servis yüklerinin belli bir emniyet faktörü ile taşındığını göstermektedir.

Çorlu Polyplex jet grout zemin iyileştirilmesi işleri kapsamında imalat kolonlarında yapılan kazık süreklilik deneyi sonuçlarından elde edilen veriler Çizelge 4.3'de görülmektedir.

Çizelge 4.3' te jet grout kolon numaraları, kolon numaralarına karşılık gelen deney aletindeki ID numaraları, projedeki gerçek jet grout boyları ve test sonucu ölçülen jet grout boyları görülmektedir. Kazık süreklilik deneyi sonuçları ile de istenen boyda ve çapta kolonların bu zemin profilinde oluştuğu gözlemlenmiştir.

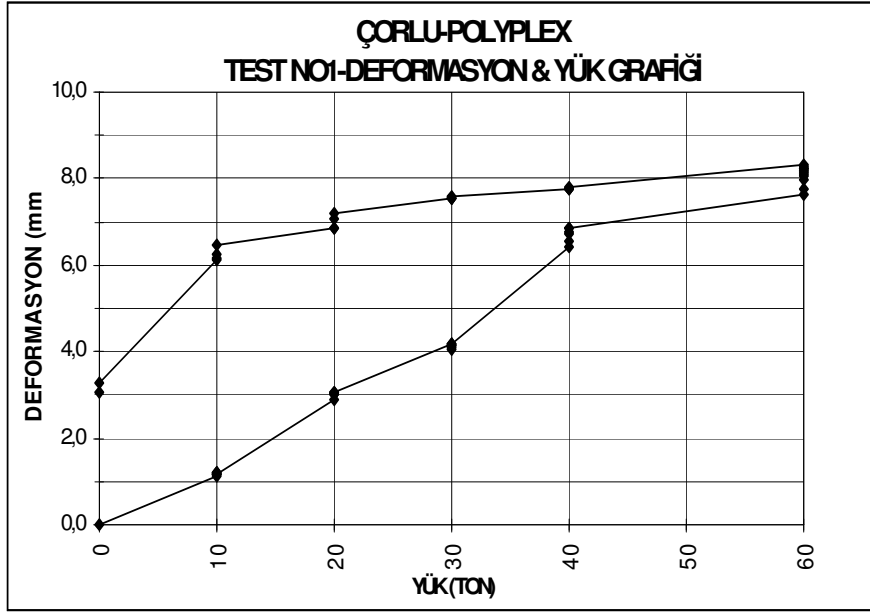
Çizelge 4.3. Çorlu-Polyplex jet grout kazık süreklilik deneyi sonuçları

ID NO	JG KOLON NO	JG BOYU	JG TEST BOYU
130	I-10	12.00	12.28
131	I-9	12.00	12.09
132	I-11	12.00	12.18
133	B-10	12.00	12.03
134	B-11	12.00	12.14
135	B-9	12.00	12.08
136	C-9	12.00	12.15
137	C-10	12.00	12.20
138	C-11	12.00	12.04
139	A-11	12.00	12.23
140	A-10	12.00	12.29
141	A-9	12.00	12.09
142	P-7	12.00	12.01
143	P-8	12.00	12.25
144	P-9	12.00	12.33
145	O-7	12.00	12.05
146	O-8	12.00	12.10
147	O-9	12.00	12.15
148	O-10	12.00	12.52
149	I-3	12.00	12.26

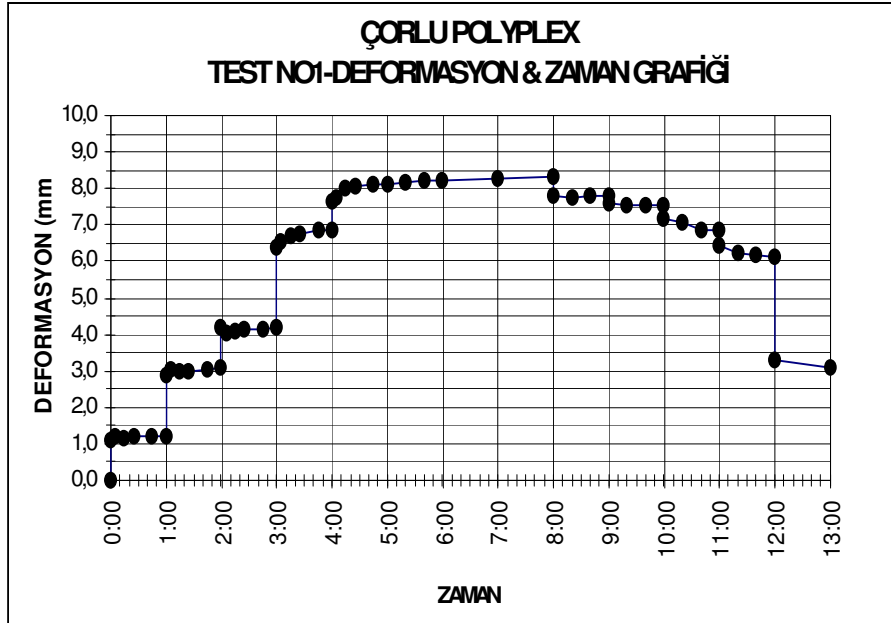
Bu sahadaki zemin profilinde sondaj verileri incelendiğinde 10 m derinlikten sonra SPT değerinin 25'in üzerine çıktığı ve sıkı kum tabakasına girildiği görülmüştür. Bu nedenle bu tabakaya jet grout kolonları ile üst yapı yükleri aktarılması amaçlanmış ve kolon boyları 12 m olarak tasarlanmıştır.

İşletim parametreleri incelendiğinde uygun çapın elde edilebilmesi için kil yüzdesi fazla olan zemin profillerinde çekme hızının düşürülmesi ve basıncın artırılmasının istenen kolon çapının elde edilmesinde önemli bir etken olduğu test kazıklarının elde edilmesi sonucu görülmektedir.

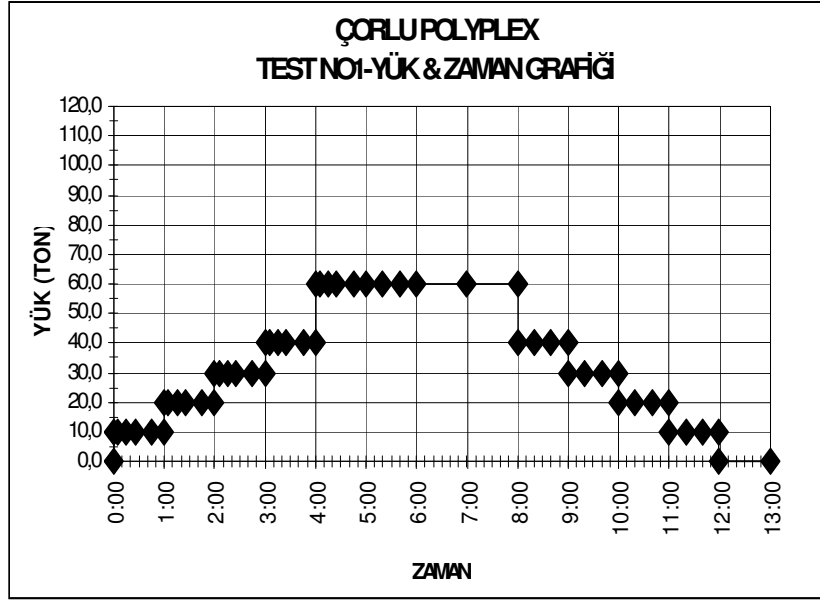
Bu sahadaki zemin ıslahı çalışmasında yapılan yükleme deneyi ASTM D 1143 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Jet Grout kolon yükleme deneyinde kazık toplam taşıma kapasitesinin %25 'ine tekabül eden yük aralıklarıyla yük artırılmış ve maksimum %150 yüke ulaşıldıktan sonra yük aynı kademe aralıklarıyla kaldırılarak deney tamamlanmıştır. Yükleme deneyi sonucunda deformasyon-yük grafiği, deformasyon-zaman grafiği ve yük-zaman grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Çorlu-Polyplex jet grout yükleme deneyi deformasyon-yük grafiği



Şekil 4.3. Çorlu-Polyplex jet grout yükleme deneyi deformasyon-zaman grafiği



Şekil 4.4. Çorlu-Polyplex jet grout yükleme deneyi yük-zaman grafiği

Deneye ait grafikler incelendiğinde kolondaki maksimum oturma miktarına yükleme aşamasında % 150 kapasitedeki maksimum yük olan 60 tonda erişildiği görülmüştür. Ek-8'deki yükleme foyünde 60 ton maksimum yüklemede 8.32 mm maksimum deplasman olduğu görülmüştür. Yük tamamen kaldırıldıktan sonra ise 0,12 mm kalıcı deplasman görülmüştür. Maksimum deplasmanın 10mm den küçük olması, maksimum deplasmanın servis yükünde (40 ton) meydana gelen deplasmanın 1.5 katını aşmaması ve kalıcı deplasmanın toplam deplasmanın %50 sinden oldukça az olması sebebiyle test kazığının oturma kriterlerini sağladığı kabul edilmiştir.

4.2. İkinci Çalışma Sahasına Ait Sonuçların Değerlendirilmesi

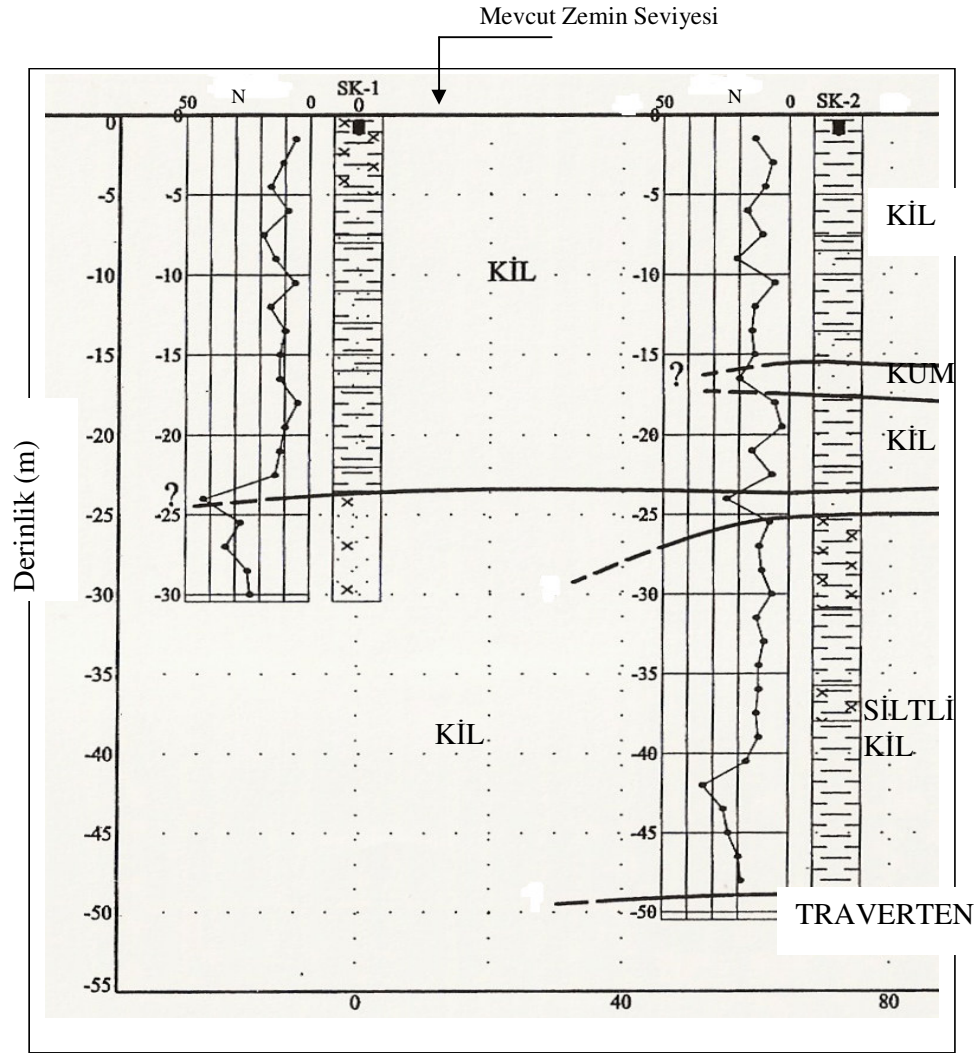
Antalya İstanbul Oteli Lojmanları jet grout zemin iyileştirilmesi işleri kapsamında yapılan arazi ve labaratuvar deneylerinden elde edilen zemine ait su içerikleri, kıvam limitleri ve zemin sınıflandırılması Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. İstanbul oteli lojman ve spor kompleksi sondaj numuneleri su içerikleri, kıvam limitleri ve zemin sınıflandırılması (Anonim, 2006).

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	SPT	Su İçeriği	Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı
					%LL	%PL	%PI	
SK-1	SPT-1	1,50-1,95	6	26	31	18	13	CL
SK-1	SPT-2	3,00-3,45	11	-	-	-	-	-
SK-1	SPT-4	6,00-6,45	19	31	35	16	19	CL
SK-1	SPT-6	9,00-9,45	14	-	-	-	-	-
SK-1	UD-3	10,00-10,50	-	43	58	23	35	CH
SK-1	SPT-7	10,50-10,95	6	48	61	23	38	CH
SK-1	UD-4	14,50-14,90	-	26				ML
SK-1	SPT-12	18,00-18,45	5	26	33	16	17	CL
SK-1	SPT-17	25,50-25,95	28	26				SM
SK-2	SPT-2	3.00 - 3.45	14	32	34	15	19	CL
SK-2	SPT-3	4.50 - 4.95	10	-	-			-
SK-2	SPT-7	10.50 - 10.95	6	45	53	23	30	CH
SK-2	UD-2	11.50 - 11.90	-	42	37	20	17	CL
SK-2	SPT-12	18.00 - 18.45	6	-	-			-
SK-2	SPT-13	19.50 - 19.95	3	32				ML
SK-2	SPT-20	30.00 - 30.45	13	28	25	14	11	CL
SK-2	SPT-24	36.00 - 36.45	13	25				ML
SK-3	SPT-2	3.00 - 3.45	9	26	32	19	13	CL
SK-3	SPT-3	4.50 - 4.95	9	-	-	-	-	-
SK-3	UD-2	5.50 - 6.60	-	30	36	17	19	CL
SK-3	SPT-5	7.50 - 7.95	8	34	32	15	17	CL
SK-3	SPT-7	10.50 - 10.95	11	-	-	-	-	-
SK-3	SPT-8	12.00 - 12.45	6	32	30	18	12	CL
SK-3	SPT-13	19.50 - 19.95	9	29	34	15	19	CL
SK-3	SPT-17	25.50 - 25.95	10	30	29	17	12	CL
SK-4	SPT-1	1.50 - 1.95	7	27	29	15	14	CL
SK-4	SPT-2	3.00 - 3.45	13	-	-	-	-	-
SK-4	UD-2	5.50 - 6.00	-	28	40	17	23	CL
SK-4	SPT-8	12.00 - 12.45	7	45	62	23	39	CH
SK-4	SPT-9	13.50 - 13.90	5	-	-	-	-	-
SK-4	SPT-13	19.50 - 19.95	11	28	27	14	13	CL
SK-4	SPT-17	25.50 - 25.95	17	31				SM
SK-5	SPT-1	1.50 - 1.95	5	25	24	18	6	CL
SK-5	SPT-4	6.00 - 6.45	11	-	-	-	-	-
SK-5	UD-2	7.00 - 7.50	-	34	58	23	35	CH
SK-5	SPT-6	9.00 - 9.45	21	22				SM
SK-5	SPT-7	10.50 - 10.95	7	-	-	-	-	-

İstanbul Oteli Lojmanları zemininde yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri neticesinde inceleme alanının jeolojik kesiti çıkartılmış olup Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

İnceleme alanı temsili jeolojik kesitinde zemin tabakaları ile derinlikle SPT değerlerinin değişimi görülmektedir. SK2 sondajında 49m de travertene girilmiştir.



Şekil 4.5. İstanbul oteli lojmanları inşaatı inceleme alanı jeolojik kesiti

İstanbul Oteli Lojmanları çalışma sahasında jet grout kolonların oluşturulduğu tabii zeminde yüzeydeki serbest malzeme alınarak 70 cm blokaj tabakası serilmiş ve jet

grout kolonları teşkil edilmiştir. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere blokaj dolgu içerisinde de jet grout kolonların projede istenen 60 cm çapında oluştuğu görülmüştür.



Şekil 4.6. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout test kolonları

Şekil 4.5’de verilen jeolojik özelliklere sahip zeminde imal edilen jet grout kolonlardan 15 adet karot numunesi alınmış ve numuneler üzerinde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır.

Sahada çevre yüzey sularının temeller altına sızmasına ve yeraltı su seviyesinin olası yükselmesine karşı inşa edilen yapı temelleri çevresinde drenaj hendekleri için galeri çukurları açılmıştır. Şekil 4.7’de galeri çukurlarının açılması sonucunda yapıların radye temelleri altında oluşturulmuş jet grout kolonları görülmektedir.



Şekil 4.7. İstanbul oteli lojmanları galeri çukurları ve radye temel altı jet grout kolonları

Çizelge 4.5’de İstanbul Oteli şantiyesinde jet grout kolonlarından alınan 15 adet karot numunelerine ait tek eksenli basınç deneyi sonuçları, karot numunelerinin alındığı tabakalardaki ince tane yüzdeleri ve SPT N_{30} değerleri görülmektedir. Karot numuneleri için elde edilen dayanımlar 28 günlük mukavemet değerlerini ifade etmektedirler.

Çizelge 4.5. İkinci çalışma sahası jet grout kolonları karot numuneleri tek eksenli basınç dayanımları

Karot No	Kesit Alanı (cm ²)	Ağırlık (gr)	Birim Ağırlık (t/m ³)	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (MPa)	İnce Dane Yüzdesi (%) #200	SPT N30
K1	66,5	1026	1,68	24,9	3,75	91	10
K2	66,5	1013	1,68	39,4	5,93	62	11
K3	66,5	1018	1,67	36	5,42	76	10
K4	66,5	1059	1,73	38,1	5,73	62	5
K5	66,5	1042	1,70	24,8	3,73	91	9
K6	66,5	1056	1,73	36	5,42	76	10
K7	66,5	1039	1,70	40,8	6,14	62	16
K8	66,5	1044	1,71	37,2	5,6	76	13
K9	66,5	1017	1,66	37,5	5,64	76	13
K10	66,5	1053	1,74	23,5	3,54	92	9
K11	66,5	1037	1,70	27,3	4,11	76	7
K12	66,5	1032	1,71	26,4	3,97	92	11
K13	66,5	1015	1,66	19,2	2,98	92	6
K14	66,5	1014	1,66	38,2	5,75	62	8
K15	66,5	1051	1,70	28,6	4,3	76	7

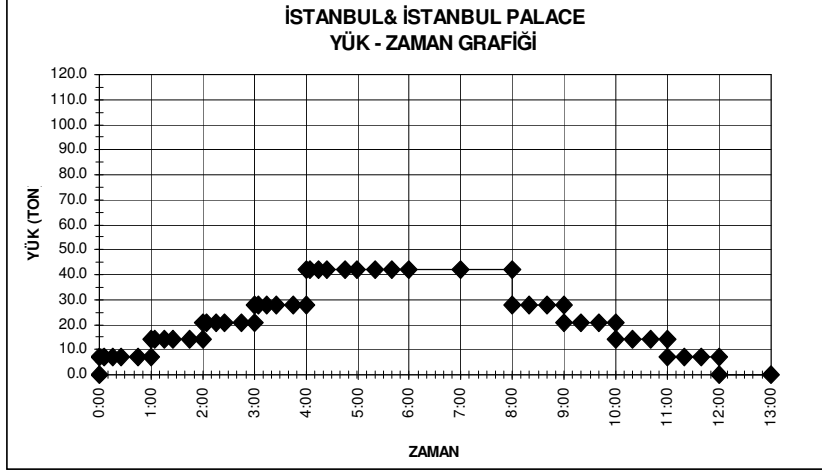
Deney verilerine göre imal edilen Φ 60 cm çapında kolonlara ait karot sonuçları incelendiğinde; 60 cm çapındaki bir jet grout kolona ait,

$$\text{Kesit alanı} = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,3^2 = 0,283 \text{ cm}^2 \quad (3.2)$$

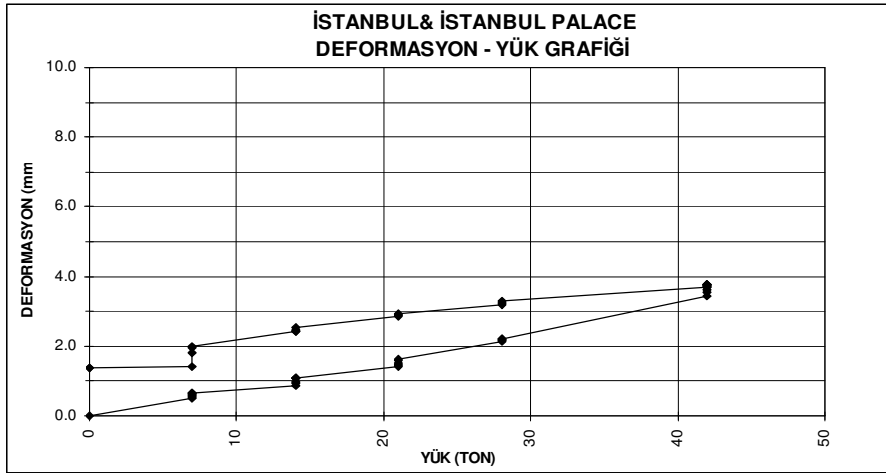
$$\text{Proje Yüğü} = 42 \text{ ton, kolon kesitinde oluşan gerilme} = 42 \text{ ton} / 0,283 \text{ cm}^2 = 148,4 \text{ ton} / \text{cm}^2 = 1,48 \text{ Mpa}$$

Güvenlik sayısı 2 olarak alınır ; karot numunelerinden istenen minimum mukavemet değeri = $1,48 \cdot 2 = 2,96 \text{ Mpa}$ olarak bulunmaktadır ve deney sonuçlarında numunelerden elde edilen 28 günlük mukavemet değerleri servis yüklerinin belli bir emniyet faktörü ile taşındığını ispat ettiği görülmektedir.

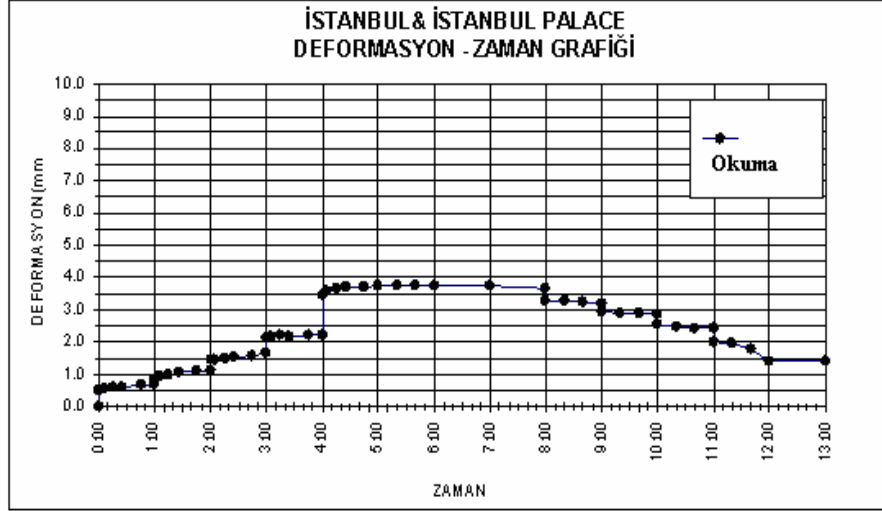
Çalışma sahasında 60 cm çapındaki imalat kolonlarından biri üzerinde kazık taşıma gücünün 1,5 katı olan 63 ton kapasiteli yükleme deneyi yapılmıştır. Yükleme deneyi sonucunda deformasyon-yük grafiği, deformasyon-zaman grafiği ve yük-zaman grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout kolon yükleme deneyi yük-zaman grafiği



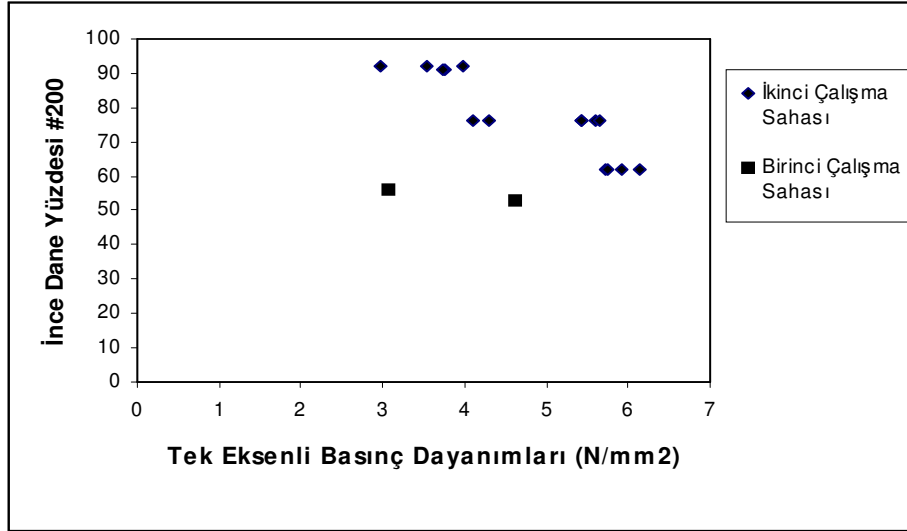
Şekil 4.9. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout kolon yükleme deneyi deformasyon-yük grafiği



Şekil 4.10. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout kolon yükleme deneyi deformasyon-zaman grafiği

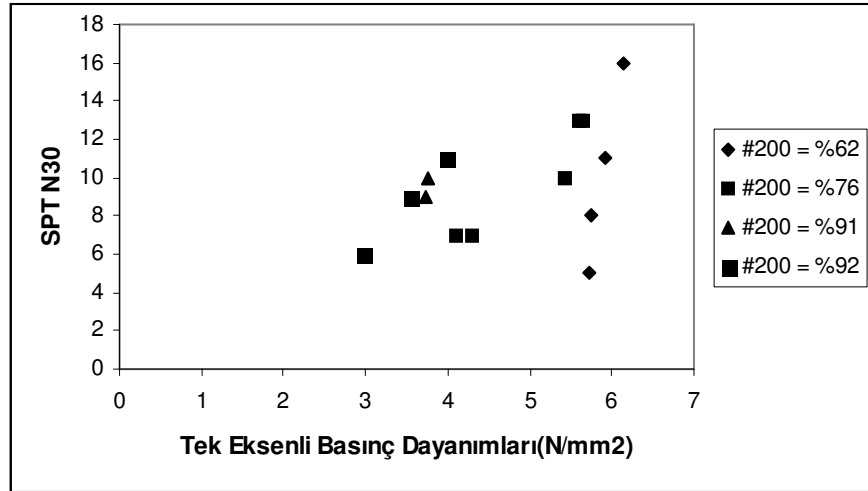
Deneye ait grafikler incelendiğinde kolondaki maksimum oturma miktarına yükleme aşamasında % 150 kapasitedeki maksimum yük olan 63 tonda erişildiği görülmüştür. Ek-16'daki yükleme füyünde test kolonunda 63 ton maksimum yüklemeye 3.76 mm maksimum deplasman olduğu görülmüştür. Yük tamamen kaldırıldıktan sonra ise 1.39 mm kalıcı deplasman olduğu görülmüştür. Maksimum deplasmanın servis yükünde(28 ton) meydana gelen deplasmanın 1.5 katını aşmadığı, kalıcı deplasmanın ise toplam deplasmanın %50 sinden oldukça az olması sebebiyle test kazığının oturma kriterlerini sağladığı kabul edilmiştir.

İstanbul Oteli Lojmanları zemininin ıslah öncesi elastisite modülü kil zemin için 250 kg/cm² olarak belirlenmiştir (Bowles, 1995). Islah sonrası bu değer (2.22) Eşitliği ile ortalama 656,81 kg/cm² bulunmuştur. Zeminde teşkil edilen jet grout kolonların elastisite modülü ise tek eksenli basınç deneyleri sırasında yapılan ölçümlerde ortalama 6000 kg/cm² olarak bulunmuştur. Zeminde yüksek modüllü kolonların teşkil edilmesi kayma modülü oranının (Gr) artmasına, gerilme azaltım faktörünün (S_R) azalmasına ve sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünün (FS) artmasına sebep olmaktadır. Her iki çalışma sahasında jet grout kolonların üst seviyelerinden alınan karot numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyleri sonucunda bulunan basınç dayanım değerleri karot numunelerinin alındığı tabakaların ince dane yüzdesi ile karşılaştırılmış olup Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. İnce dane yüzdesi – tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 4.11 incelendiğinde her iki çalışma sahasında ince dane yüzdesinin azalması sonucu karot tek eksenli basınç mukavemetlerinin arttığı görülmüştür. İkinci çalışma sahasındaki Spt N_{30} değerleri dört farklı ince dane yüzdesine sahip zemin profilinde oluşan jet grout kolonlardan alınan karot numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları ile karşılaştırılmış olup Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. SPT- N_{30} – tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi

Şekil 4.12 incelendiğinde aynı ince dane yüzdesine sahip zemin profilinde oluşturulan jet grout kolonlardan alınan karot numuneleri tek eksenli basınç dayanımlarının SPT N_{30} değeri arttıkça yükseldiği görülmektedir.

5. SONUÇ

Çorlu Polyplex Polyester fabrikası ek binalarının inşa edileceği 1 nolu çalışma sahasında Jet1 yöntemi kullanılarak 60 cm çapında, 12 m boyunda 1.55x1.55m kareajda 590 adet jet grout kolonu imal edilmiştir. Yapılan jet grout zemin enjeksiyonu sonucu çalışma sahasında inşa edilecek yapı temel zeminlerinin emniyet gerilmelerinin artırıldığı ve ıslah sonrası zeminin oturma koşullarının sağlandığı görülmüştür. Jet grout zemin iyileştirilmesi işleri sonucunda jet grout kolonlarda yapılan kazık süreklilik deneyleri ile kazık boylarının projede istenen şekilde ve çapta olduğu görülmüştür. Jet grout kolon yükleme deneyi ile kolonların servis yüklerinin 1.5 katını emniyetle taşıdığı ve deney sırasında kolonlarda meydana gelen oturmaların da limit değerler dahilinde olduğu görülmüştür. Kolonlardan alınan karot numuneleri üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneylerinde ise karot numunelerin servis yüklerinin 2.5 katına kadar güvenlik faktörü taşıdığı görülmektedir. İyileştirilmiş zeminin taşıma gücü ise zemin taşıma gücünün 2.5 katına kadar çıkartılmıştır.

Antalya'da İstanbul Otelı Lojmanlarının inşa edildiği 2 nolu çalışma sahasında ise 1 nolu çalışma sahasına benzer şekilde Jet1 yöntemi ile 60 cm çapında B Bloklarda 14m, A Bloкта ise 21m boylarında jet grout kolonları 2 x 2m aralıklarla her bir lojman bloğu altında imal edilmiştir. A Bloкта 420 adet, B Bloklarda ise 370 er adet jet grout kolon teşkil edilmiştir. Jet grout zemin enjeksiyonu sonucu yapıların temel zemininin emniyetli taşıma gücü 3 kat artırılmıştır. Jet grout kolon yükleme deneyleri ile kolonların servis yüklerinin 1.5 katını emniyetli bir şekilde taşıdığı ve oturma koşullarının sağlandığı görülmüştür. Kolonlardan alınan karot numuneleri üzerinde laboratuarda yapılan tek eksenli basınç deneyleri ile karot numunelerin servis yüklerini emniyetle taşıdığı görülmüştür.

Çalışma sahaları karşılaştırıldığında ikinci çalışma sahasında yer altı su seviyesinin yüzeye yakın oluşundan (yaklaşık 0.75 -1.5m arası) dolayı oturma ve taşıma gücü problemlerinin yanı sıra zeminin sıvılaşma riskinin de yapı temellerini tehdit ettiği görülmektedir. Jet grout yöntemi ile sıvılaşmaya karşı yüksek modüllü kolonların zeminde teşkil edilmesi sıvılaşma esnasında zemine gelen gerilmelerin kolonlar

tarafından karşılanacağını ve sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörünün artırıldığını göstermektedir.

İkinci çalışma sahasında ilk 1.5m de düşük plastisiteli inorganik kil tabakasından dolayı yüzeydeki serbest malzeme alınıp blokaj serilmiş ve blokaj içerisinde de istenen 60 cm zemin-çimento karışımı jet grout kolonların oluştuğu görülmüştür.

Her iki çalışma sahasında yapılan jet grout kolon yükleme deneylerinde kazıkların servis yüklerini emniyetle taşıdığı ve oturma kriterlerini sağladıkları görülmüştür. Birinci çalışma sahasında yapılan 60 ton kapasiteli yükleme deneyindeki %150 taşıma kapasitesinde oluşan maksimum deplasmanın (8.32mm) ikinci çalışma sahasında 63 ton kapasiteli yükleme deneyindeki (3.76 mm) maksimum deplasmandan büyük olması birinci çalışma sahasında SPT değeri daha yüksek olan sert kil tabakasının kazıktaki oturmaları artıcı bir etken teşkil ettiği sonucunu göstermektedir.

Jet grout kolonların tek eksenli basınç dayanımları imal edildikleri zemindeki ince dane yüzdesinin artması ile azalmaktadır. Jet grout kolonların imal edildiği zeminin SPT N_{30} değerinin artması ile jet grout kolonların tek eksenli basınç dayanımları artmaktadır.

Çorlu Polyplex Polyester fabrikası ek binaları ile Antalya İstanbul Oteli lojman binaları radye temel altı jet grout zemin enjeksiyonu yöntemi ile zemin iyileştirilmesi; yapıların temel zemininin emniyetli taşıma gücünü artırmış, üst yapı yükleri altında oturma miktarlarının istenilen sınırlarda kalması mümkün olmuş, sıvılaşma riskini ortadan kaldırmış ve bu yapıların temel altı zemin özelliklerine uygun, ekonomik bir zemin stabilizasyonu yapılmasını sağlamıştır.

6. KAYNAKLAR

- Andrus, R.D., Stokoe, K.H., 1997. "Liquefaction Resistance based on Shear wave Velocity" Proceedings, NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, Technical Report.
- 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 Geotechnical Institute of ASCE in conjunction with Geo-Logan '97, Logan, Utah July 1997, V.R. Schaefer, cd., ASCE, pp. 1-371.
- Anonim, 2001. Özel Geoteknik Uygulamalar-Jet Enjeksiyonu, TS EN 12716, 65s, Türkiye.
- ASTM C42/C 42M, 2002. "Standard Test Method of Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete", Annual Book of ASTM Standards, PA, USA.
- Anonim, 2005a. Tekirdağ-Çorlu İlçesi Avrupa Serbest Bölgesi Polyplex Polyester Fabrikası Ek Binaları Jeoteknik Etüd Raporu, Gedik Sondaj Müh. Ltd. 60s, İzmir.
- Anonim, 2005b. İstanbul Teknik Üniversitesi Laboratuvarı 0008225 seri numaralı hidrolik silindir kalibrasyon sertifikası, 1s, Türkiye.
- Anonim, 2006, Zetaş A.Ş. Ast İnşaat Antalya-Kundu Köyü 10,17,1296 Nolu Parseller İstanbul&İstanbul Palace Oteli Lojman ve Spor Kompleksi İnşaatı Geoteknik Etüd Raporu, İstanbul.
- ASTM D 1143, Standard Load Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA.
- Baker, K., 1982. "Planning and Performing Structural Chemical Grouting", Proceedings of the Conference on Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE, New Orleans.
- Ballarin, L., Forti, F., 1998. The use of jet grouting method for the stabilization of the underground. Geotechnical Hazards, Balkema, 485-488.
- Baumann, V., 1984. Das Soilcrete-Verfahren in der Baupraxis. Vorträge der Baugrundtagung, Duesseldorf:49-83.DGEG.
- Bell, F.G., 1993. Engineering Treatment of Soils. E&FN SPON, London.

- Bell, Kenneth R., Clemente, Jose L.M., Gularte, Francis B., Lopez, Roberto A., 2003. Superjet Grouting Reduces Foundation Settlement for La Rosita Power Plant in Mexicalli, Mexico, New Orleans, pp. 354-364, USA.
- Boulanger, R.W., Hayden, R.F., 1995. 'Aspects of Compaction Grouting of Liquefiable Soil', Journal of Geotechnical Engineering , ASCE, Cilt 121, No.12.
- Bowles, Joseph E., 1995. Foundation Analysis and Design, 1024 p, U.K.
- Choi, Yook, 2006. Analysis of Piles Reinforced by Jet-Grouting Method, Washington, DC.
- Crowther, Carroll L., 1998. Load testing of Deep Foundations, John Wiley and Sons.
- Doğu, O., 2005. Jet Grouting Tekniği ile Zemin Islahı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Doğu, O., Yıldırım, H., Durgunoğlu, A. T., 2006. Zeminin İnce Dane Oranı ve SPT Vuruş Sayısının Jet Grout Kolonların Mukavemetine Etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi, K.T.Ü., Trabzon.
- Durgunoğlu v.d., 2002. "Sıvılaşmaya Karşı Jet Grout Yöntemi ile Zemin ıslahına ait bir Vaka Analizi" Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Düzceer, 2004. Sakhalın Doğalgaz ve Petrol İşleme Tesisi Kazık İşleri, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Erken, A., Ansal, A.M, Yıldırım, H., Ülker, R., Sancar, T. ve Kılıç, C, 1995. "Liquefaction of Silt and Sand Layers in Erzincan-Ekşisu", First Int.Conf. on Earthquake Geotechnical Engineering, Tokyo, Vol.1, pp.13-18.
- Essler, R. D., Drooff, E. R., Falk, 2000. Compensation grouting, concept, theory, and practice, Geotechnical Special Publication No. 104, American Society of Civil Engineers, 1-15.
- Evans, M. D., 1987. "Undrained Cyclic Triaxial Testing of Gravels : the Effect of Membrane Compliance." Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley.
- Gallavresi, F., 1992, Grouting Improvement of Foundation Soils Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, Geotechnical Special Publication, ASCE, Cilt 1, s. 1-39.
- Hayden, R., Baez, J. (1994). State of Practice for Liquefaction Mitigation in North America, Tsukuba City, Japan.

- Ichihashi, Yoshiomi, Mitsuhiro Shibazaki, Hiroaki Kubo, Masahiro Iji, Akira Mori, 1992. Soil Improvement and Geosynthetics. New Orleans, 25-28 Vol.1, pp.182-193,ASCE, New York.
- Ishihara, K., Yoshimine, R., 1998. Flow Potential of Sand during Liquefaction, Japan Geotechnical Society.
- Ish-Shalom, M., Greenberg, S.E., 1962 “ The Rheology of Fresh Portland Cement Pastes ”, Proc. 4 th. Int. Symp. On Chem. Of cement Nat. Bur. Std. U.S. Monograph 43, Vol 2, pp.731-743.
- İyisan, R., 1996. "Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney sonuçlarının Karşılaştırılması", İMO Teknik Dergi, (7)2:1187-1199.
- Kumbasar, V., Kip, F., 1999. Zemin Mekaniği Problemleri. Çağlayan Kitabevi, 182s, İstanbul.
- Kauschinger, L. Joseph, Rachid hankour, E.B. Perry, 1992. Methods to Estimate Composition of Jet Grout Bodies, Proceedings of the conferege of Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics. New Orleans, Louisiana, 25-28, Vol. 1, pp.182-193, ASCE, New York.
- Keskin, S.N., Çimen, Ö., 2002. Zemin İyileştirilmesinde Jet Grout Yöntemi Kullanılması Üzerine Bir Uygulama. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Karol, R.H., 1982. "Chemical Grouts and their Properties", Proceedings of the Conference on Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE, New Orleans.
- Lunardi, P., 1977. “Ground Improvement by Means of Jet-Grouting”, Ground Improvement, ISSMFE Thomas Telford, Vol 1 No:2, pp. 65-86.
- Lloret, A., Alonso, E.E., Gens, A., Suriol, J., 1991. Horizontal load tests on jet grouted columns. Proc. XECSMFE, Floransa, 2, 471-474.
- Melegari, C., Garassino A.L., 1997. Seminar on Jet Grouting, CI-Premier Pte. Ltd., Singapore.
- Mitchell, James K. And Wade A. Van Court, 1992. “ The Role of Soil Modification In Enviromental Engineering Applications”’, Proceedings of the conferege of Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, New Orleans, Louisiana, 25-28 February 1992, Vol. 1, pp.144-155, ASCE, New York.
- Ohba, S., Tariumi, I, 1970. "Dynamic Response Characteristics of Osaka Plain", Proc. Annual Meeting A.I.J.
- Ohta,Y., Goto, N., 1978. "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristics Soil Indicies" Earthquake Eng. and Struc. Dyn., (6):167-187

- Özsoy, B., Durgunoğlu, H. T., 2003. “Sıvılaştırma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin-Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması”, 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul.
- Papadaxis, M., 1955. Rheology of Cement Suspensions. Tech. Publ. No 72, Centre d’Etudes et de Recherches de l’ Industrie des Liantes Hydrauliques, Paris.
- Rausche, K., 1988. Recent WEAP Developments, Proceedings of the Third International Seminar on the Application of Stress Wave Theory to Piles, Ottawa.
- Robertson P.K., 1992. “ Seismic Cone Penetration Test for Evaluating Liquefaction Potential Under Cyclic Loading” Canadian Geotechnical Journal, Ottawa, vol.29, pp. 686-695.
- Saglam, A., R. Duzceer, A. Gokalp, and E. Yilmaz. 2001. “Recent applications of jet grouting for soil improvement in Turkey” Proceedings, XVth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, August, 3:1839-1842.
- Seed, H. B., 1979. “Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquakes”, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.105(GT2), pp.201-255.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., 1971. “Simplified Procedure for Evaluating the Soil Liquefaction Potential”, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division. ASCE, Vol.97(SM9), pp.1249-1273.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., 1982. “Ground Motions and Soil Liquefaction During Earthquakes”, Earthquake Engineering Research Institute.
- Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L. F., Chung, R., 1985. “Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111(12), pp.1425-1445.
- Simonds, A.W., 1958. “ Cement and Clay Grouting of Foundations ‘”, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, No SM1, 1544-1 to 11.
- Stahleisen V., 1967, Kalendar, MBH, Duesseldorf.
- Stark, T. D., and Olson, S. M., 1995. “ Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case Histories.” Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol.121,no. 12, pp.856-869.
- Terzaghi, K., 1943. Theoretical Soil Mechanics. Wiley, New York.
- Terzaghi, K., Peck, Ralph B., 1948. Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, New York.

- Tunçdemir , F., 2004. Türkiye Mühendislik Haberleri, İMO, 430-2, Ankara, Türkiye.
- Trevi, K., 1994. Columnar Treatment, Illustrative Report, Cesena.
- Wallace, H.B. , 1982. Grouting in Geotechnical Engineering, New York.
- Warner, J., Brown, D.R., 1974. Planning and Performing Compaction Grouting, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Cilt 100, No. GT6, s. 653-666.
- Warner, J., 1982. Compaction Grouting – The first thirty years, Proceedings Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE, pp 694-707.
- Wong, K.S., Li,J.C., Goh, A.T.C., Poh, K.B., Oishi, E., 1999. ‘Effect of Jet Grouting on Performance of Deep Excavation in Soft Clay’’, Proceedings of the 5th International Symposium on Field Measurements in Geomechanics-FMGM99, Singapore, 279-284.
- Wong, J.G., Poh, T.Y., 2000. ‘ Effects of Jet Grouting on Adjacent Ground and Structures’’, J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 247-256.
- Youd, L., Idriss, I.M., eds, 1997. Proc. NCEER Workshop on Evaluation Liquefaction Resistance of Soils, NCEER, Buffola, Newyork.
- Youd, L. T. v.d. , 2001. ‘Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER-NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils’’, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127(10), pp.817-833.
- www.asb.org.tr. Erişim tarihi: 22.09.2006
- www.dizayn.com. Erişim tarihi: 24.11.2006
- www.ecogrout.com. Erişim tarihi: 26.06.2006.
- www.harward-bayer.com. Erişim tarihi: 27.09.2006.
- www.jet-grouting.com. Erişim tarihi: 22.06.2006.
- www.keller-ge.co.uk. Erişim Tarihi: 24.08.2006.
- www.tulumenmadencilik.com. Erişim tarihi: 25.08.2006.

EKLER

EK-1. Çorlu Polyplex Ek Binaları Zemini 1-2-3-4 Nolu Sondaj Kuyuları SPT Deneyleri Sonuçları (Anonim, 2005a)

Çizelge E 1 Çorlu Polyplex ek binaları çalışma sahası 1,2,3 ve 4 nolu sondaj kuyuları spt deney sonuçları

Derinlik	1 Nolu Sondaj Kuyusu SPT Deneyi			
	15 cm	30 cm	45 cm	
1,5	4	8	12	20
3,0	5	9	11	20
4,5		UD		
6,0	8	11	10	21
7,5	9	12	12	24
9,0	11	12	11	23
10,5	10	14	12	28
12,0	15	16	17	33
13,5	14	17	17	34
15,0	14	18	20	38
16,5	12	15	16	31
18,0	18	14	20	34
19,5	12	16	19	35
Derinlik	2 Nolu Sondaj Kuyusu SPT Deneyi			
	15 cm	30 cm		N30 Değeri
1,5	3	7	11	18
3,0	4	10	9	19
4,5	6	9	9	18
6,0	7	10	10	20
7,5	7	11	10	21
9,0	10	10	13	23
10,5	11	13	14	27
12,0	12	14	16	30
13,5	11	15	15	30
15,0	12	14	18	32
16,5	11	15	17	32
18,0	13	17	17	34
19,5	14	16	15	31

Çizelge E.1. (devam)

Derinlik	3 Nolu Sondaj Kuyusu SPT Deneyi			
	15 cm	30 cm	45 cm	N30 Değeri
1,5	5	10	10	18
3,0	5	6	12	18
4,5	7	10	10	20
6,0	6	9	10	19
7,5	8	10	12	22
9,0	9	12	13	25
10,5	12	14	14	28
12,0	11	14	15	29
13,5	10	12	15	27
15,0	11	13	13	26
16,5	14	14	15	29
18,0	12	12	18	30
19,5	13	14	15	29
Derinlik	4 Nolu Sondaj Kuyusu SPT Deneyi			
	15 cm	30 cm	45 cm	N30 Değeri
1,5	6	9	10	19
3,0	4	10	10	20
4,5	6	9	12	21
6,0	5	8	10	18
7,5	7	11	10	21
9,0	8	12	12	24
10,5	11	13	12	25
12,0	10	14	13	27
13,5	11	13	12	25
15,0	10	12	13	25
16,5	11	13	14	27
18,0	13	15	18	33
19,5	14	17	18	35

EK-2. 1-2-3-4 Nolu Sondaj Kuyuları Numuneleri Elek Analizi Sonuçları (Anonim, 2005a)

Çizelge E 2 Çorlu Polyplex ek binaları çalışma sahası 1,2,3 ve 4 nolu sondaj kuyuları numuneleri elek analizi sonuçları

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	N30	Elek Analizi			
				#4	#10	#40	#200
SK-1	SPT-1	1,50-1,95	18	97,70	79,10	61,87	56,33
SK-1	UD-1	1,50-2,00	-	99,72	98,85	84,31	54,81
SK-1	SPT-3	4,50-4,95	21	98,20	46,31	41,08	33,77
SK-1	UD-2	4,50-5,00	-	99,10	97,51	78,83	53,86
SK-1	UD-2	4,50-5,00	-	99,53	97,48	47,92	37,69
SK-1	SPT-7	10,50-10,95	28	93,88	56,47	41,15	34,20
SK-1	SPT-10	15,00-15,45	38	90,20	69,36	60,54	55,26

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	N30	Elek Analizi			
				#4	#10	#40	#200
SK-2	SPT-1	1,50-1,95	18	98.9	98.47	87.11	53.1
SK-2	SPT-2	3,00-3.45	19	99.4	98.38	87.74	53.92
SK-2	SPT-3	4,50-4,95	18	93.6	73.33	41.93	35.65
SK-2	SPT-6	9.00-9.45	23	93.2	77.51	41.43	32.36

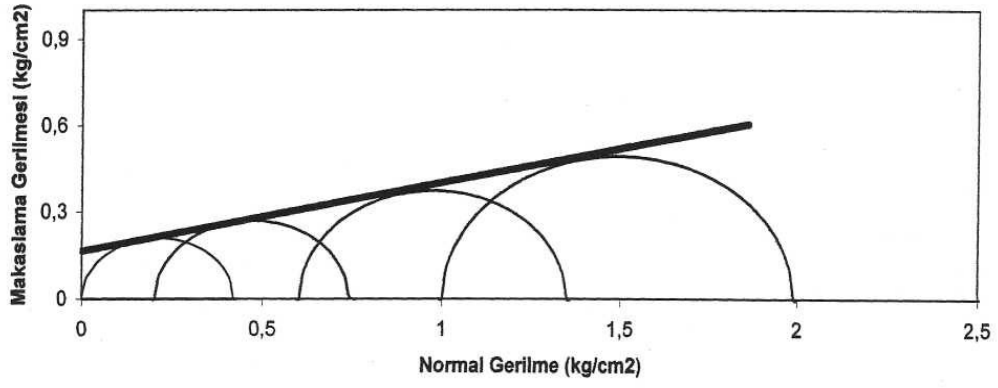
Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	N30	Elek Analizi			
				#4	#10	#40	#200
SK-3	SPT-1	4,50-4,95	20	95.4	73.07	49.72	36.03
SK-3	SPT-2	7.50-7.95	22	98.5	97.39	84.27	54.04
SK-4	SPT-8	12.00-12.45	27	96.9	79.77	58.44	28.73

EK-3. 1 nolu sondaj kuyusu ud numuneleri üç eksenli basınç deneyi ve kayma gerilmesi-normal gerilme grafiği

Çizelge E 3 1 nolu sondaj kuyusu drenajsız üç eksenli basınç deneyi deney parametreleri.

TARİH :		16,09,2005		ÖRNEĞİ ALAN			
DENEYE BAŞLAMA TARİHİ		16,09,2005					
DENEY BİTİŞ		20,09,2005					
KUYU SK-1		ÖRNEK		UD		ALINDIĞI	
						1,50-2,00	
500 Kg RİNG							
YAŞ ÖRNEK AĞIRLIĞI (GRAM)		363,25	ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (CM)		10,00	YAŞ YOĞUNLUK (gr/cm ³)	1,849
KURU ÖRNEK AĞIRLIĞI (GRAM)		319,63	ÖRNEK ALANI (CM ²)		19,64	KURU YOĞUNLUK (gr/cm ³)	1,627
ÖRNEK ÇAPI (CM)		5,00	ÖRNEK HACMİ (cm ³)		196,4	SU İÇERİĞİ (%)	13,65
DİAL GEYÇ	DEFORMASYON cm	KISALMA %	DUZ.ALAN cm ²	OKUMA	KG.KUVVET F	YÜK/ALAN F/A (Kg/cm ²)	PRESS (Kg) BASINÇ
50	0,050	0,500	19,742	10	3,597	0,182	0,2
100	0,100	1,000	19,841	12	4,316	0,218	0,2
150	0,150	1,500	19,942	15	5,395	0,271	0,2
200	0,200	2,000	20,044	16	5,755	0,287	0,2
250	0,250	2,500	20,147	19	6,834	0,339	0,2
300	0,300	3,000	20,250	20	7,194	0,355	0,2
350	0,350	3,500	20,355	22	7,913	0,389	0,2
400	0,400	4,000	20,461	23	8,273	0,404	0,2
450	0,450	4,500	20,568	25	8,992	0,437	0,2
500	0,500	5,000	20,677	28	10,071	0,487	0,2
550	0,550	5,500	20,786	30	10,791	0,519	0,2
600	0,600	6,000	20,897	43	15,467	0,740	0,2
650	0,650	6,500	21,008	48	17,266	0,822	0,6
700	0,700	7,000	21,121	50	17,985	0,852	0,6
750	0,750	7,500	21,236	56	20,143	0,949	0,6
800	0,800	8,000	21,351	80	28,776	1,348	0,6
850	0,850	8,500	21,468	89	32,014	1,491	1,0
900	0,900	9,000	21,586	100	35,971	1,666	1,0
950	0,950	9,500	21,705	120	43,165	1,989	1,0
1000	1,000	10,000	21,825	100	35,971	1,648	1,0

Örnek No:	Çap (mm)	Boy (mm)	Kesit Alanı (cm ²)	Yanal Basınç (kg/cm ²)	Yenilme Yüğü	Eksenel Gerilim
1	5	10	19,64	0,20	0,74	0,74
				0,60	1,35	1,35
				1,00	1,99	1,99
İçsel Sürtünme açısı		18,36		Kohezyon (kg/cm ²)		0,16



Şekil E 3.1. 1 nolu sondaj kuyusu üç eksenli basınç deneyi kayma gerilmesi-normal gerilme grafiğı

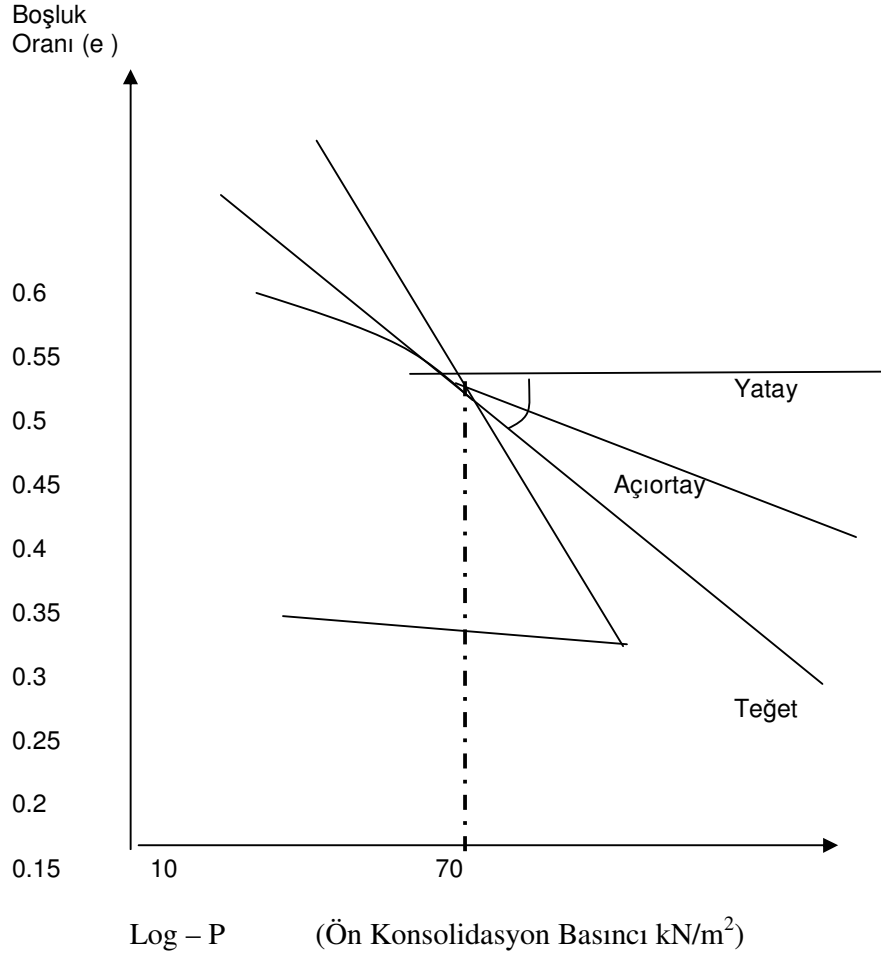
EK-4. 1 nolu sondaj kuyusu ud1 numunelkeri konsolidasyon deneyi

Çizelge E 4.1. 1 nolu sondaj kuyusu ud-1 numuneleri konsolidasyon deneyi proje ve örnek parametreleri

KONSOLIDASYON DENEYİ PROJE PARAMETRELERİ					
PROJE ADI :	POLYPLEX EUROPA POLYESTER FILM SAN. VE TİC. A.Ş.				
Örnek Geliş Tarihi :	16.09.2005	BAŞLAMA :	16.09.2005	BİTİŞ :	21.09.2005
KUYU NO :	SK-1	ÖRNEK NO:	UD-1	DERİNLİK (M)	1,50-2,00
RİNG NO	1	RİNG AĞIRL.	60,05	RİNG ÇAPI CM	4,98
ÖRNEK PARAMETRELERİ					
Deney Öncesi Ring + Yaş Örnek Ağırlığı (gr):	119,92	Deney Sonrası Ring + Yaş Örnek Ağırlığı (gr) :	117,39	Ring + Kuru Örnek ağırlığı (gr) :	113,85
Deney Öncesi Yaş Yoğunluk (gr/cm3):	1,569	Deney Sonrası Yaş Yoğ.(gr/cm3) :	1,857	Deney Öncesi % Su içeriği :	11,28
Deney Öncesi Kuru Yoğunluk (gr/cm3):	1,410	Deney Sonrası Kuru Yoğ.(gr/cm3) :	1,742	Deney Sonrası % Su içeriği :	6,58
Deney Öncesi Boşluk Oranı e_0 :	0,596	Deney Sonrası Boşluk Oranı :	0,291	Deney Öncesi Doygunluk :	0,43
Yaş Numune Ağırlığı (gr) :	59,87	Kuru Numune Ağırlığı (gr) :	53,8	Deney Sonrası Doygunluk :	0,51

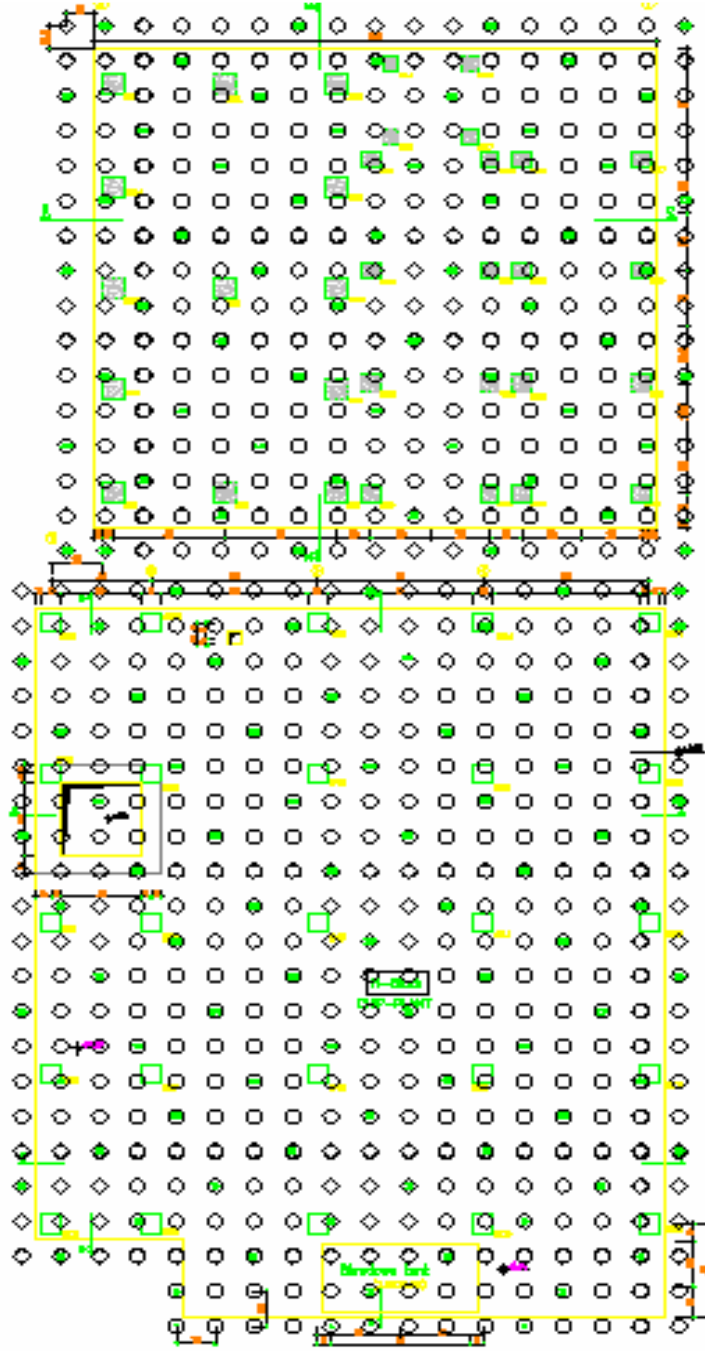
Çizelge E 4.2. 1 nolu sondaj kuyusu ud-1 numuneleri konsolidasyon deneyi sonuçları

KONSOLIDASYON DENEYİ								
PROJE ADI :	POLYPLEX EUROPA POLYESTER FILM SAN. VE TİC. A.Ş.							
ÖRNEK GELİŞ TARİHİ :	16.09.2005	BAŞLAMA :		16.09.2005	BİTİŞ :		21.09.2005	
KUYU NO :	SK-1	ÖRNEK NO:		UD-1	DERİNLİK (M)		1,50-2,00	
YÜKLER	OKUMA	ΔH (CM)	H (CM)	e	Δe	Δp (kg/cm2)	AV (cm²/kg)	MV(cm/kg)
0.00	0.00	0.000	1.96	0.596	0.09	0.25	0.362	0.227
0.25	111	0.111	1.84	0.505	0.017	0.25	0.068	0.045
0.50	132	0.132	1.830	0.488	0.026	0.5	0.052	0.035
1.00	164	0.164	1.79	0.462	0.059	1	0.059	0.04
2.00	236	0.236	1.73	0.404	0.056	2	0.028	0.02
4.00	305	0.305	1.65	0.347	0.056	4	0.014	0.01
8.00	374	0.374	1.58	0.291				
4.00	365	0.365	1.59	0.299				
1.00	351	0.351	1.61	0.310				
0.25	331	0.331	1.62	0.326				



Şekil E 4.1. 1 nolu sondaj kuyusu ud-1 numuneleri konsolidasyon deneyi boşluk oranı – log-p garfiği

EK-5. Polyplex ek binaları jet grout kolon yerleşim planı



Şekil E 5.1. Birinci çalışma sahası jet grout kolon yerleşim planı

Çzelge E 6.1. birinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test föyü yükleme aşaması

YÜKLEME	Gerçek	Test	Kademe	T0N	Bar	1	2	Ortalama	Toplam Deplasman (mm)
	12:50	00:00	00:00	00:00	0	49,92	49,91	49,92	
25 % DVL	12:50	00:00	00:00	10,00	30,25	48,68	48,92	48,80	1,19
	12:55	00:05	00:05	10,00	30,25	48,53	48,93	48,73	
	13:05	00:15	00:15	10,00	30,25	48,56	48,94	48,75	
	13:15	00:25	00:25	10,00	30,25	48,50	48,93	48,72	
	13:35	00:45	00:45	10,00	30,25	48,50	48,91	48,71	
	13:50	01:00	01:00	10,00	30,25	48,51	48,95	48,73	
50 % DVL	13:50	01:00	00:00	20,00	60,95	47,50	46,59	47,05	3,07
	13:55	01:05	00:05	20,00	60,95	47,20	46,56	46,88	
	14:05	01:15	00:15	20,00	60,95	47,23	46,59	46,91	
	14:15	01:25	00:25	20,00	60,95	47,29	46,53	46,91	
	14:35	01:45	00:45	20,00	60,95	47,19	46,52	46,86	
	14:50	02:00	01:00	20,00	60,95	47,17	46,52	46,85	
75 % DVL	14:50	02:00	00:00	30,00	88,36	46,51	44,93	45,72	4,17
	14:55	02:05	00:05	30,00	88,36	46,85	44,90	45,88	
	15:05	02:15	00:15	30,00	88,36	46,85	44,80	45,83	
	15:15	02:25	00:25	30,00	88,36	46,84	44,73	45,79	
	15:35	02:45	00:45	30,00	88,36	46,82	44,71	45,77	
	15:50	03:00	01:00	30,00	88,36	46,81	44,68	45,75	
100 % DVL	15:50	03:00	00:00	40,00	115,97	44,38	42,63	43,51	6,85
	15:55	03:05	00:05	40,00	115,97	44,30	42,46	43,38	
	16:05	03:15	00:15	40,00	115,97	44,16	42,26	43,21	
	16:15	03:25	00:25	40,00	115,97	44,08	42,19	43,14	
	16:35	03:45	00:45	40,00	115,97	44,02	42,14	43,08	
	16:50	04:00	01:00	40,00	115,97	44,01	42,12	43,07	

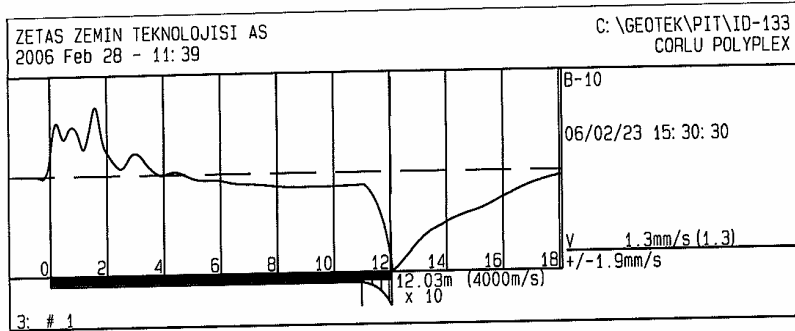
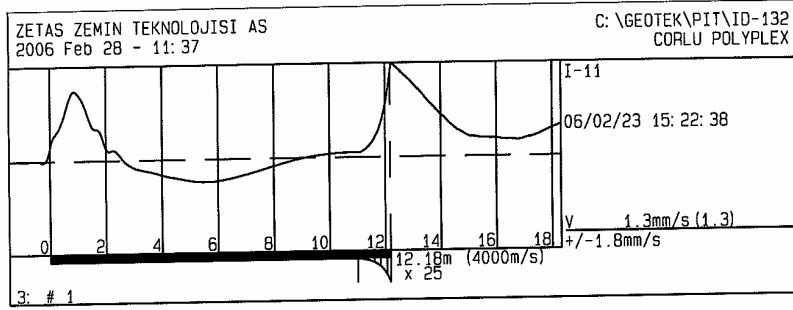
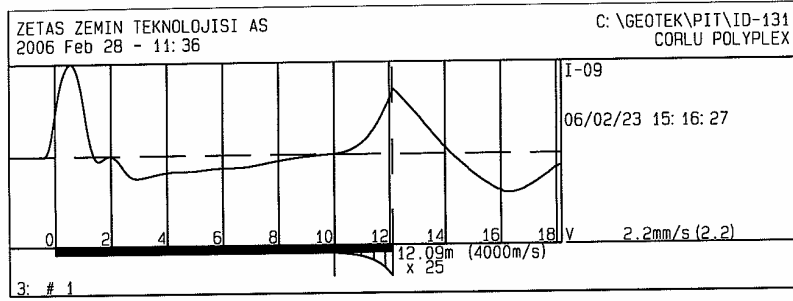
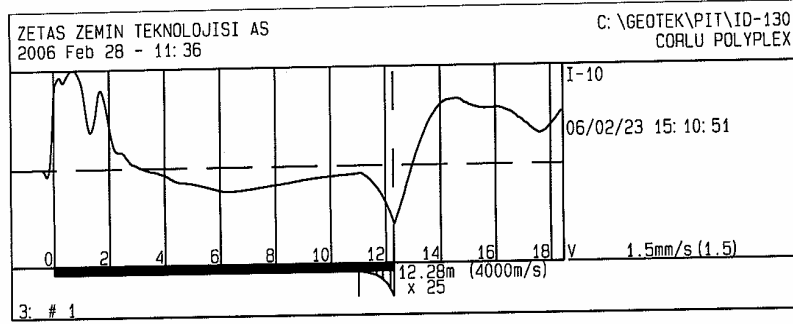
Çizelge E 6.1. (devam)

YÜKLEME	Gerçek	Test	Kademe	T0N	Bar	1	2	Ortalama	Toplam Deplasman (mm)
150 % DVL	16:50	04:00	00:00	60,00	171,00	43,45	41,10	42,28	8,14
	16:55	04:05	00:05	60,00	171,00	43,35	40,95	42,15	
	17:05	04:15	00:15	60,00	171,00	43,17	40,68	41,93	
	17:15	04:25	00:25	60,00	171,00	43,12	40,60	41,86	
	17:35	04:45	00:45	60,00	171,00	43,08	40,56	41,82	
	17:50	05:00	01:00	60,00	171,00	43,04	40,52	41,78	
	18:10	05:20	01:20	60,00	171,00	42,98	40,48	41,73	8,24
	18:30	05:40	01:40	60,00	171,00	42,95	40,45	41,70	
	18:50	06:00	02:00	60,00	171,00	42,93	40,42	41,68	
	19:50	07:00	03:00	60,00	171,00	42,87	40,38	41,63	8,29
	20:50	08:00	04:00	60,00	171,00	42,84	40,36	41,60	8,32

Çizelge E 6.2. Birinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test füyü yükün kaldırılma aşaması

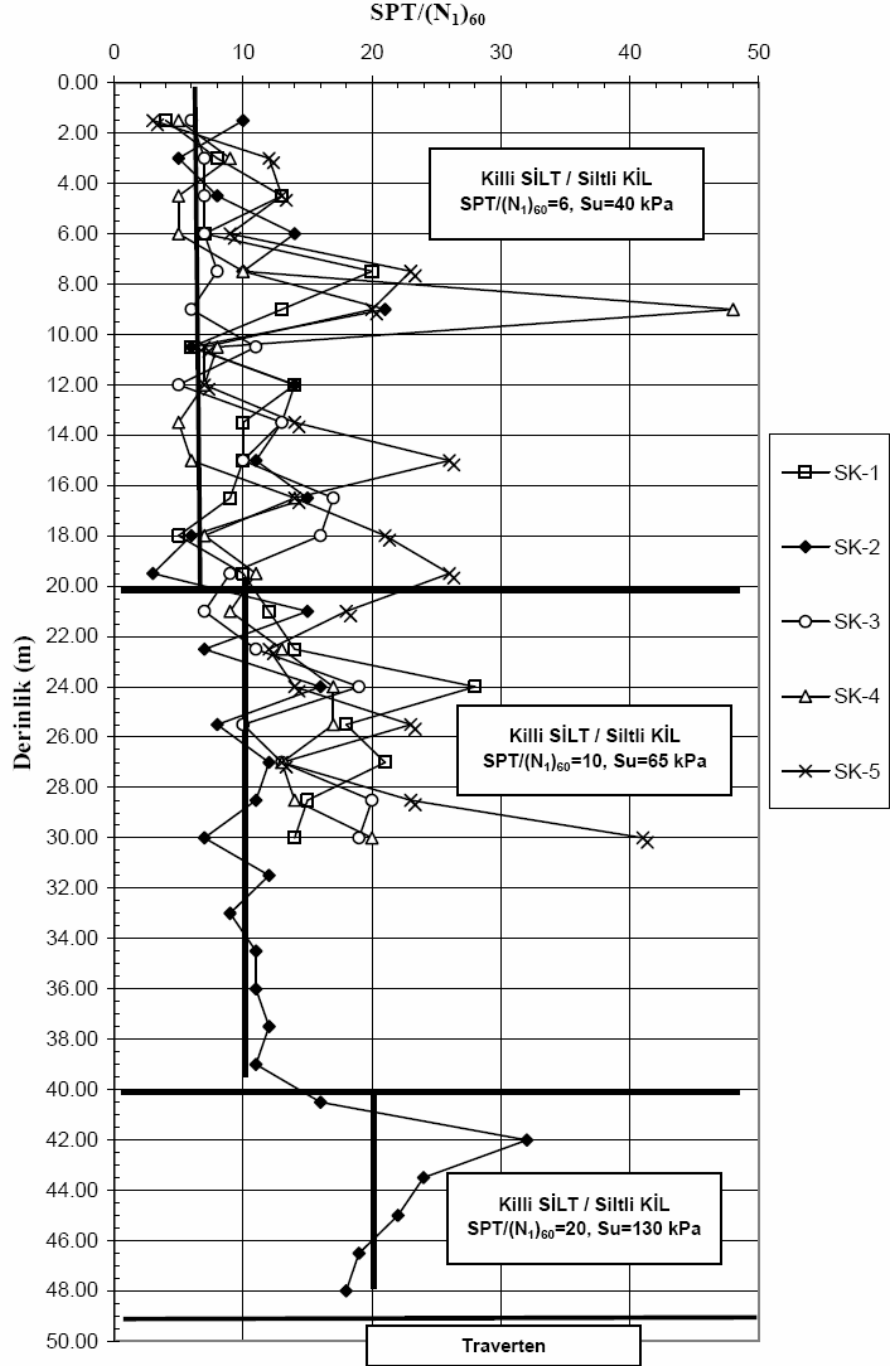
YUKU KALDIRM A	Gerçek	Test	Kademe	T0N	Bar	1	2	Ortalama	Toplam Deplasman (mm)
100 % DVL	20:50	08:00	00:00	40,00	115,97	43,83	40,41	42,12	7,78
	21:10	08:20	00:20	40,00	115,97	43,85	40,44	42,15	
	21:30	08:40	00:40	40,00	115,97	43,83	40,44	42,14	
	21:50	09:00	01:00	40,00	115,97	43,84	40,44	42,14	
75 % DVL	21:50	09:00	00:00	30,00	88,36	44,00	40,65	42,33	7,54
	22:10	09:20	00:20	30,00	88,36	44,01	40,70	42,36	
	22:30	09:40	00:40	30,00	88,36	44,02	40,72	42,37	
	22:50	10:00	01:00	30,00	88,36	44,03	40,73	42,38	
50 % DVL	22:50	10:00	00:00	20,00	60,95	44,30	41,15	42,73	6,86
	23:10	10:20	00:20	20,00	60,95	44,40	41,32	42,86	
	23:30	10:40	00:40	20,00	60,95	44,58	41,51	43,05	
	23:50	11:00	01:00	20,00	60,95	44,59	41,52	43,06	
25 % DVL	23:50	11:00	00:00	10,00	30,25	45,00	41,90	43,45	6,13
	00:10	11:20	00:20	10,00	30,25	45,18	42,16	43,67	
	00:30	11:40	00:40	10,00	30,25	45,27	42,24	43,76	
	00:50	12:00	01:00	10,00	30,25	45,29	42,28	43,79	
0 % DVL	00:50	12:00	00:00	0,00	0,00	47,92	45,33	46,73	0,12
	01:50	13:00	01:00	0,00	0,00	48,20	45,50	46,85	

EK-7. Polyplex ek binaları inşaatı jet grout kazık süreklilik deneyi sonuçları



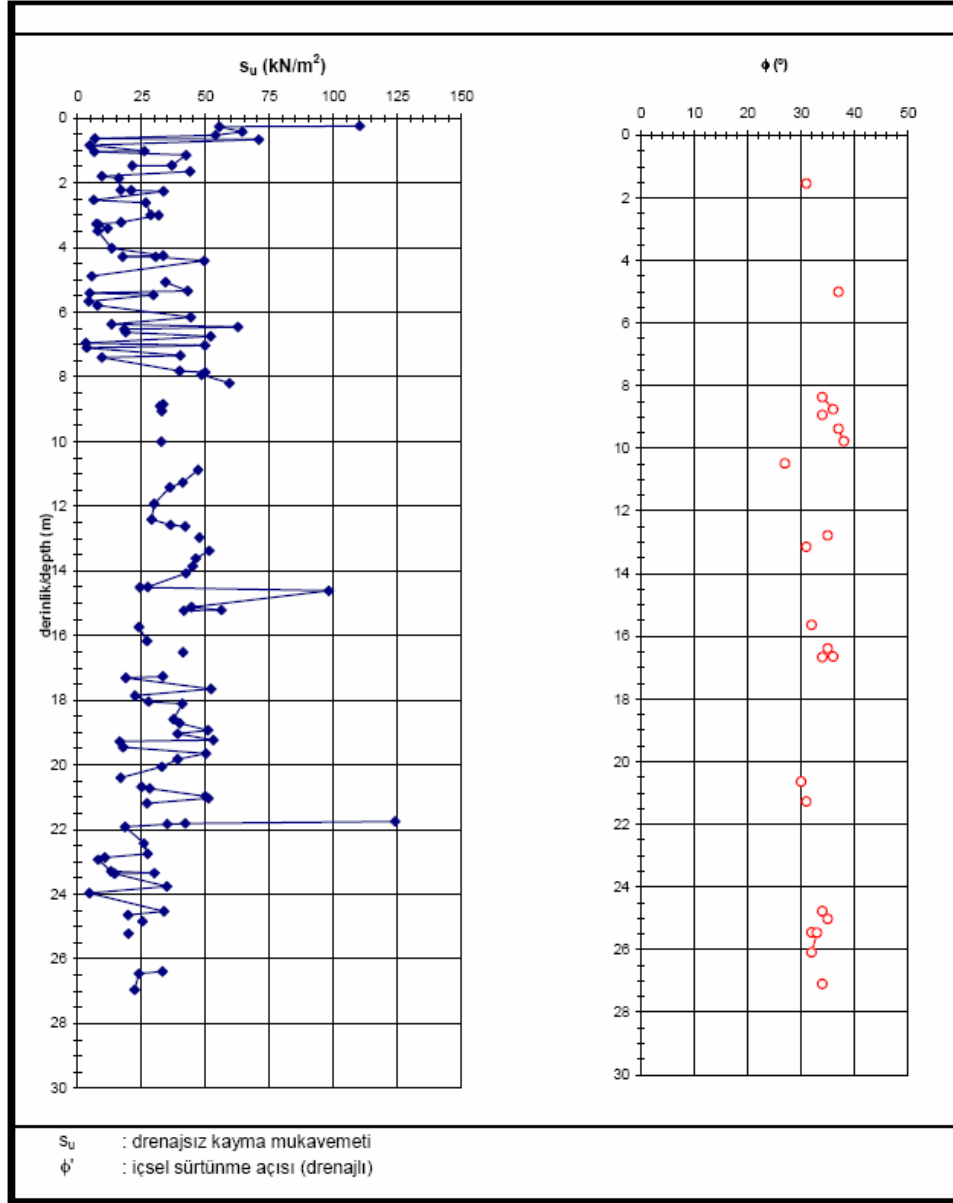
Şekil E 7 Polyplex ek binaları inşaatı jet grout kazık süreklilik deneyi sonuçları

EK-8. İstanbul oteli lojmanları inşaatı 1,2,3,4 ve 5 nolu zemin sondajları spt/n darbe sayılarının derinlikle değişimi



Şekil E 8 İkinci çalışma sahası 1,2,3 ve 4 nolu zemin sondajları düzeltilmiş spt değerleri derinlikle değişimi

EK-9. İstanbul oteli lojmanları inşaatı cpt'den elde edilen zemin parametrelerinin derinlikle değişimi



Şekil E 9 İkinci çalışma sahası cpt deneylerinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açısı derinlikle değişimi

EK-10 İkinci çalışma sahası laboratuvar deneyleri su içeriği ve elek analizi sonuçları

Çizelge E 10 İstanbul oteli lojmanları zemini sondajlardan elde edilen numunelere ait laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen su içeriği ve elek analizi sonuçları

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Su İçeriği %	Elek Analizi	
				#10	#200
SK-1	SPT-1	1,50-1,95	26	0	92
SK-1	SPT-2	3,00-3,45	-	-	-
SK-1	SPT-4	6,00-6,45	31	0	98
SK-1	SPT-6	9,00-9,45	-	-	-
SK-1	UD-3	10,00-10,50	43	0	100
SK-1	SPT-7	10,50-10,95	48	0	100
SK-1	UD-4	14,50-14,90	26	0	67
SK-1	SPT-12	18,00-18,45	26	0	98
SK-1	SPT-17	25,50-25,95	26	0	25

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Su İçeriği %	Elek Analizi	
				#10	#200
SK-2	SPT-2	3.00 - 3.45	32	0	92
SK-2	SPT-3	4.50 - 4.95	-	-	-
SK-2	SPT-7	10.50 - 10.95	45	0	100
SK-2	UD-2	11.50 - 11.90	42	0	90
SK-2	SPT-12	18.00 - 18.45	-	-	-
SK-2	SPT-13	19.50 - 19.95	32	0	59
SK-2	SPT-20	30.00 - 30.45	28	0	76
SK-2	SPT-24	36.00 - 36.45	25	8	68
SK-2	SPT-30	45.00 - 45.45	23	0	82

Çizelge E 10 (devam)

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Su İçeriği %	Elek Analizi	
				#10	#200
SK-3	SPT-2	3.00 - 3.45	26	0	91
SK-3	SPT-3	4.50 - 4.95	-	-	-
SK-3	UD-2	5.50 - 6.60	30	0	100
SK-3	SPT-5	7.50 - 7.95	34	0	97
SK-3	SPT-7	10.50 - 10.95	-	-	-
SK-3	SPT-8	12.00 - 12.45	32	0	85
SK-3	SPT-13	19.50 - 19.95	29	0	93
SK-3	SPT-17	25.50 - 25.95	30	0	91

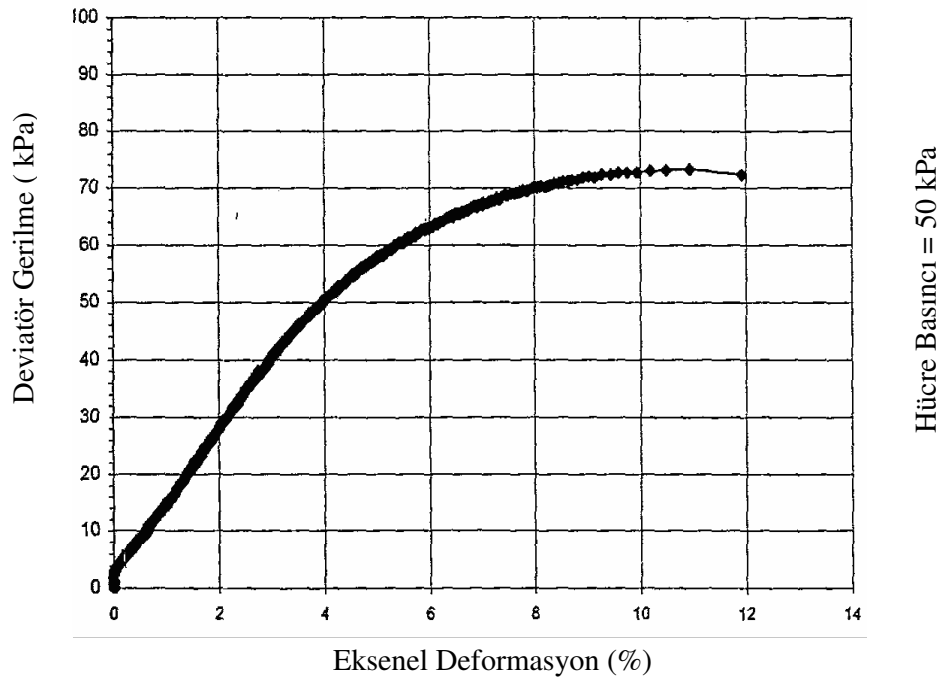
Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Su İçeriği %	Elek Analizi	
				#10	#200
SK-4	SPT-1	1.50 - 1.95	27	0	76
SK-4	SPT-2	3.00 - 3.45	-	-	-
SK-4	UD-2	5.50 - 6.00	28	0	100
SK-4	SPT-8	12.00 - 12.45	45	0	99
SK-4	SPT-9	13.50 - 13.90	-	-	-
SK-4	SPT-13	19.50 - 19.95	28	0	88
SK-4	SPT-17	25.50 - 25.95	31	1	34

Çizelge E 10 (devam)

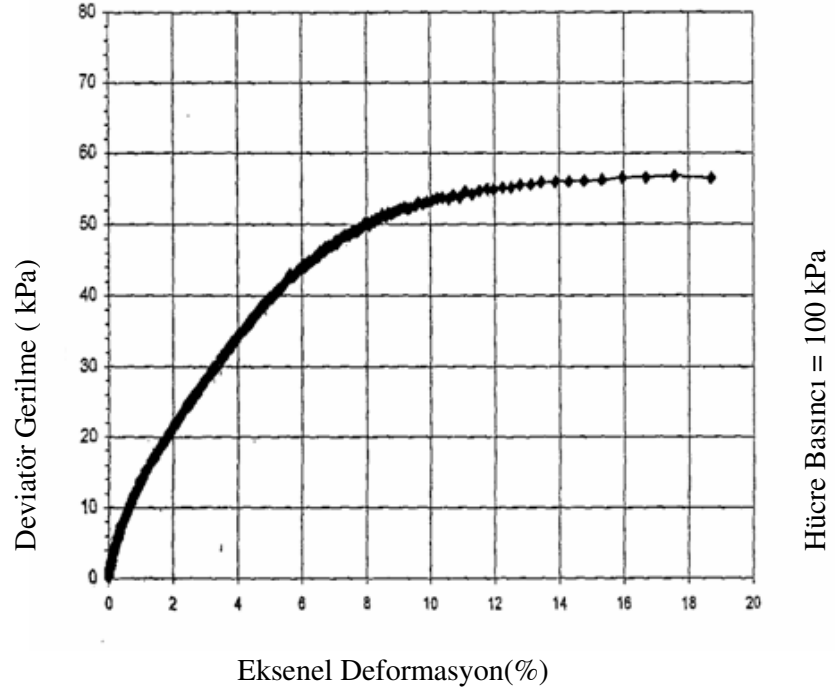
Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Su İçeriği %	Elek Analizi	
				#10	#200
SK-5	SPT-1	1.50 - 1.95	25	0	62
SK-5	SPT-4	6.00 - 6.45	-	-	-
SK-5	UD-2	7.00 - 7.50	34	0	98
SK-5	SPT-6	9.00 - 9.45	22	0	32
SK-5	SPT-7	10.50 - 10.95	-	-	-
SK-5	SPT-8	12.00 - 12.45	22	0	100
SK-5	UD-3	13.00 - 13.50	31	0	83
SK-5	SPT-11	17.50 - 17.95	21	1	34
SK-5	SPT-15	22.50 - 22.95	29	1	73
SK-5	SPT-19	28.50 - 28.95	27	0	77

EK-11. İkinci çalışma sahası 2-4 nolu sondaj kuyusu ud2 numuneleri üç eksenli basınç deneyi deviatör gerilme-eksenel gerilme, kayma gerilmesi-normal gerime grafikleri ve gerilme daireleri

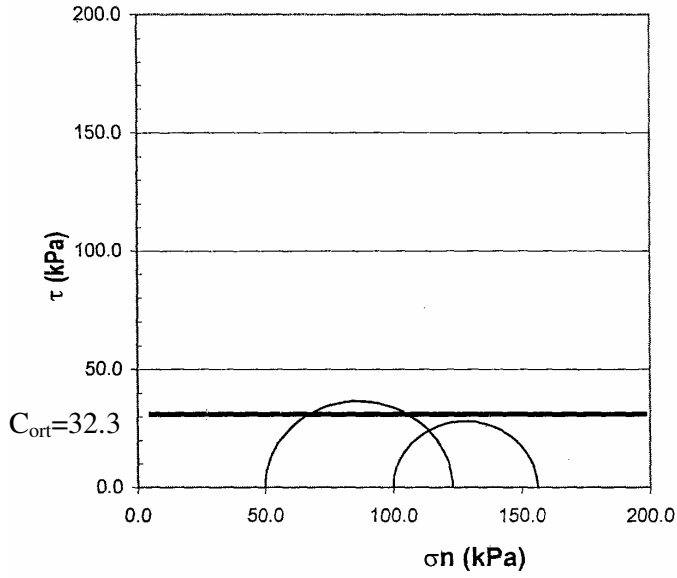
TARİH :	11,05,2006				
DENEYE BAŞLAMA TARİHİ	11,05,2006				
KUYU	SK-2	ÖRNEK NO :	UD2	ALINDIĞI	11.50-11.90
ÖRNEK AĞIRLIĞI (GRAM)	509,99	ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (CM)	12,10	YAŞ YOĞUNLUK (gr/cm ³)	1,840
ÖRNEK ÇAPI (CM)	5,40	ÖRNEK ALANI (CM ²)	22,89		
Yükleme Oranı (kPa/dk.) :	10	ÖRNEK HACMİ (cm ³)	276,98		
		Maksimum Deviatör Gerime (KPa)	73		



Şekil E.11.1 2 nolu sondaj kuyusu ud2 numuneleri 50 kpa hücre basıncında deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafiği

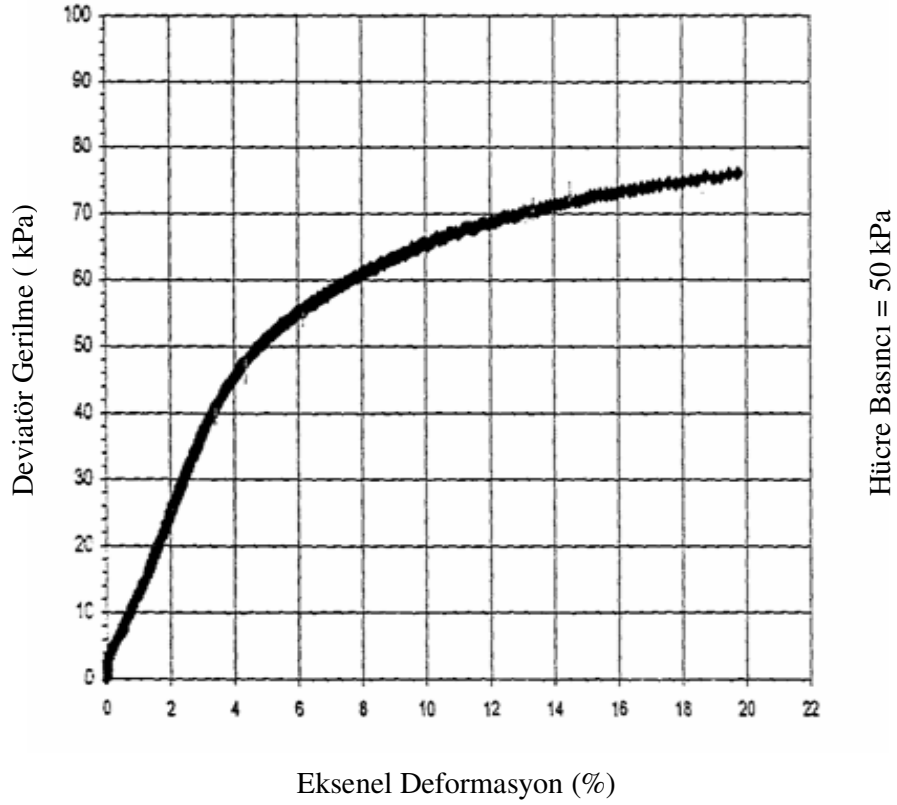


Hücre Basıncı (kPa)	Kohezyon
50	36.5
100	28

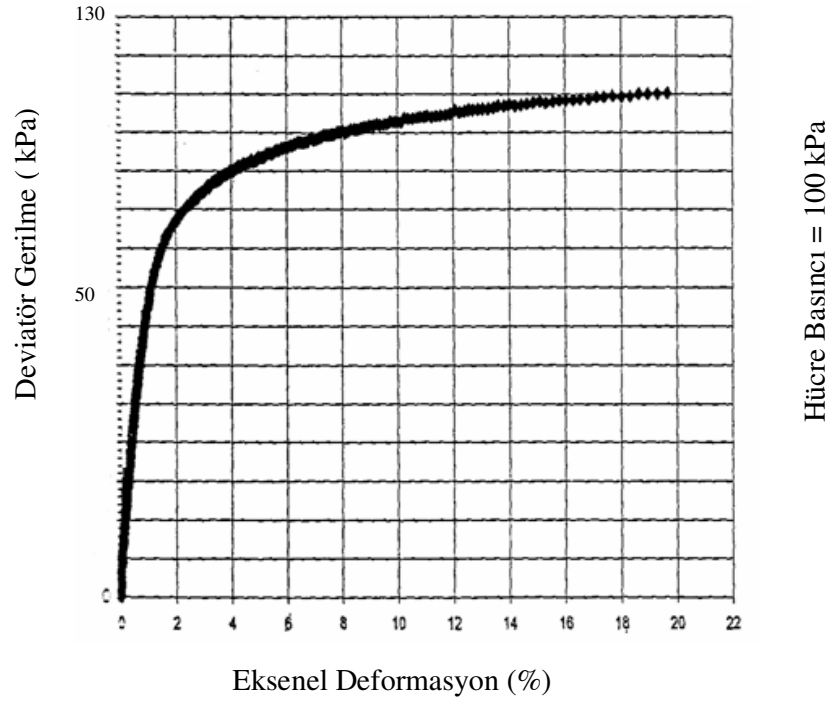


Şekil E.11.2 2 nolu sondaj kuyusu ud2 numuneleri 100 kpa hücre basıncında deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafiği ve gerilme daireleri

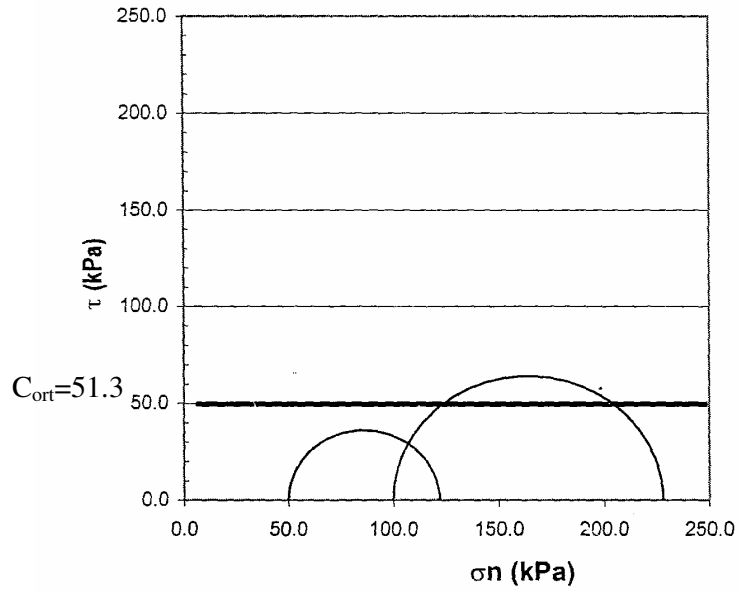
TARİH :	10,05,2006				
DENEYE BAŞLAMA TARİHİ	10,05,2006				
KUYU	SK-4	ÖRNEK NO :	UD2	ALINDIĞI	5.50-6.00
ÖRNEK AĞIRLIĞI (GRAM)	597,17	ÖRNEK YÜKSEKLİĞİ (CM)	12,90	YAŞ YOĞUNLUK (gr/cm ³)	2,02
ÖRNEK ÇAPI (CM)	5,40	ÖRNEK ALANI (CM ²)	22,89		
Yükleme Oranı (kPa/dk.) :	10	ÖRNEK HACMİ (cm ³)	295,29		
		Maksimum Deviatör Gerime (KPa)	72		



Şekil E 11.3. 4 nolu sondaj kuyusu ud2 numuneleri 50 kpa hücre basıncında deviatör gerilme-eksenel deformasyon grafiği



Hücre Basıncı (kPa)	Kohezyon
50	36
100	64



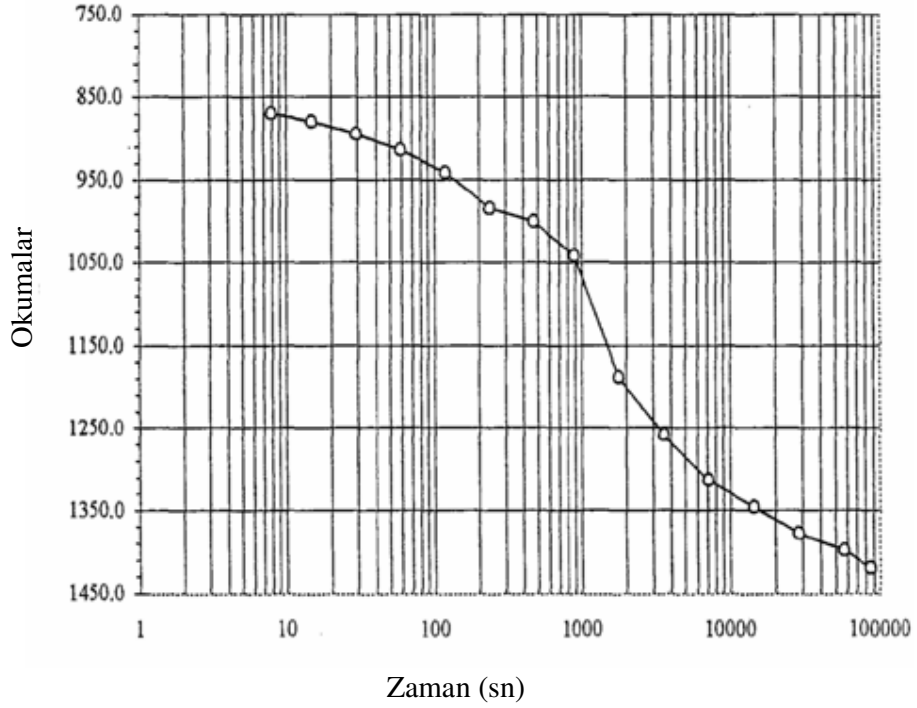
Şekil E 11.4. 4 nolu sondaj kuyusu ud2 numunleri 100 kpa hücre basıncında deviator gerilme-eksenel deformasyon grafiği ve gerilme daireleri

EK-12. İstanbul Oteli Lojmanları İnşaatı Zemini 1 Nolu sondaj Kuyusu UD3 Numuneleri Konsolidasyon Deneyi

Çizelge E 12 1 nolu sondaj kuyusu ud3 numuneleri konsolidasyon deney parametreleri

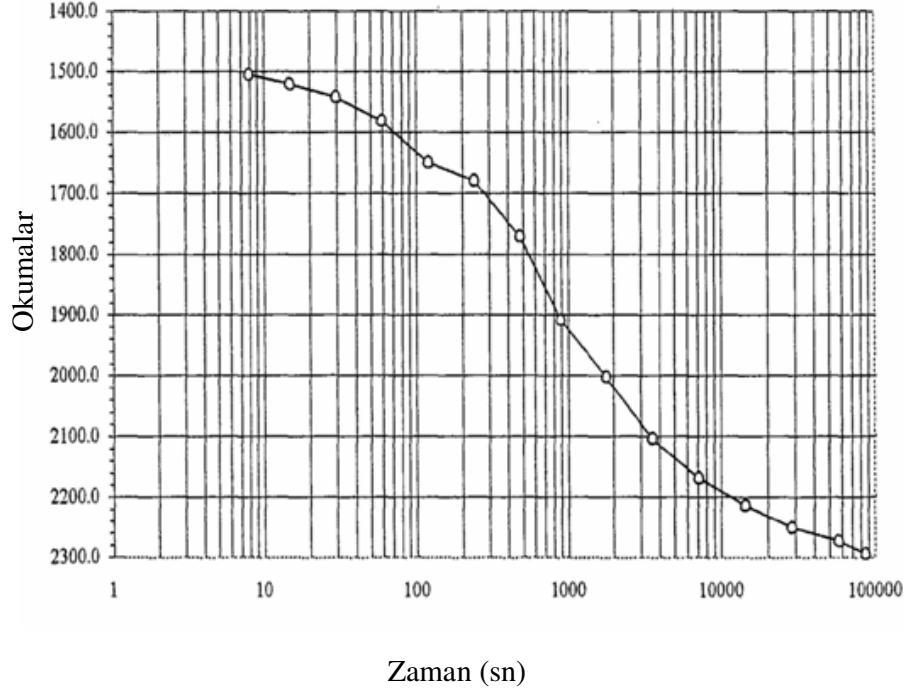
KONSOLIDASYON DENEYİ PARAMETRELERİ					
PROJE ADI :	İSTANBUL OTELİ LOJMAN VE SPOR KOMPLEKSİ				
Örnek Geliş Tarihi :	20.04.2006				
KUYU NO :	SK-1	ÖRNEK NO:	UD-3	DERİNLİK (M)	10.00-10.50
RİNG YÜKSEKLİĞİ (CM)	2	RİNG ALANI(CM²)	19.68	RİNG ÇAPI CM	5
Numune Kalınlığı (cm)	2	Ring Ağırlığı (gr)	67.96	Birim Ağırlık (kn/m³)	16.97
Ring + Yaş Numune ağırlığı (gr)	136.07	Kuru Numune ağırlığı (gr)	47.65	G.S.	2.75
Başlangıç Su Muhtevası %	42.94	Başlangıç boşluk Oranı	1.27	Doygunluk Oranı %	92.9
Deney Sonu Doymunluk Oranı %	116.1	Deney Sonu Numune Yüksekliği Değişimi (cm)	0.224	Deney Sonu Boşluk Oranı	1.02
Deney sonu deformasyon okuması	2244				

Yükleme Zamanlaması : 4 kg					
Zaman (sn)	Okuma	Δh (cm)	e	Birim Deformasyon (%)	Konsolidasyon (%)
0	788.0	0	1,18224	0.00	0.00
8	870.0	0.0082	1,17293	0.41	12.97
15	880.0	0.0092	1,17179	0.46	14.56
30	895.0	0.0107	1,17009	0.54	16.93
60	914.0	0.0126	1,16793	0.63	19.94
120	942.0	0.0154	1,16475	0.77	24.37
240	984.0	0.0196	1,15998	0.98	31.01
480	1000.0	0.0212	1,15816	1.06	33.54
900	1042.0	0.0254	1,15339	1.27	40.19
1800	1189.0	0.0401	1,13669	2.01	63.45
3600	1259.0	0.0471	1,12874	2.36	74.53
7200	1314.0	0.0526	1,12249	2.63	83.23
14400	1347.0	0.0559	1,11874	2.80	88.45
28800	1378.0	0.059	1,11522	2.95	93.35
57600	1399.0	0.0611	1,11284	3.06	96.68
86400	1420.0	0.0632	1,11045	3.16	100.00



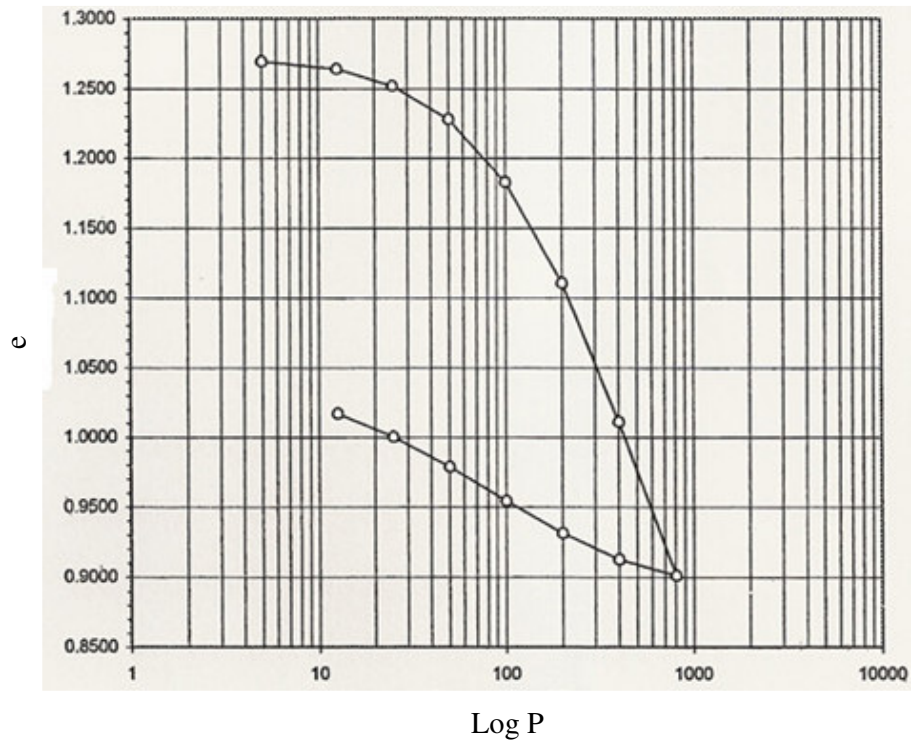
Şekil E 12.1 1 nolu sondaj kuyusu ud3 numuneleri zamana bağlı konsolidasyon değerleri (4kg yüklemeye zamanlamasına göre verilmiştir)

Yükleme Zamanlaması : 8 kg					
Zaman (sn)	Okuma	Δh (cm)	e	Birim Deformasyon (%)	Konsolidasyon (%)
0	1420.0	0	1,11045	0.00	0.00
8	1506.0	0.0086	1,10068	0.43	9.82
15	1521.0	0.0101	1,09898	0.51	11.53
30	1543.0	0.0123	1,09648	0.62	14.04
60	1582.0	0.0162	1,09205	0.81	18.49
120	1651.0	0.0231	1,08421	1.16	26.37
240	1680.0	0.026	1,08092	1.30	29.68
480	1771.0	0.0351	1,07058	1.76	40.07
900	1910.0	0.049	1,05480	2.45	55.94
1800	2003.0	0.0583	1,04423	2.92	66.55
3600	2104.0	0.0684	1,03276	3.42	78.08
7200	2170.0	0.075	1,02526	3.75	85.62
14400	2215.0	0.0795	1,02015	3.98	90.75
28800	2252.0	0.0832	1,01595	4.16	94.98
57600	2274.0	0.0854	1,01345	4.27	97.49
86400	2296.0	0.0876	1,01095	4.38	100.00



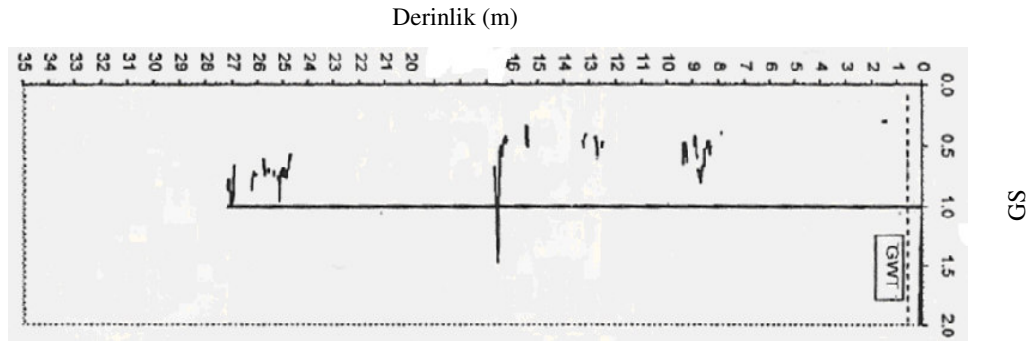
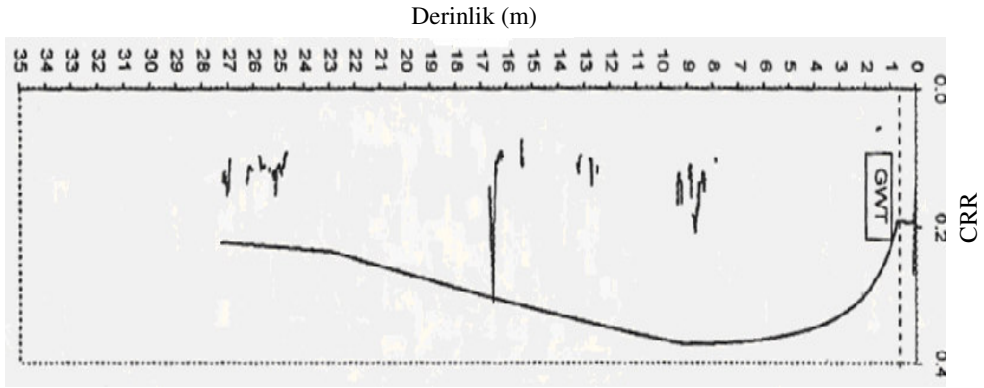
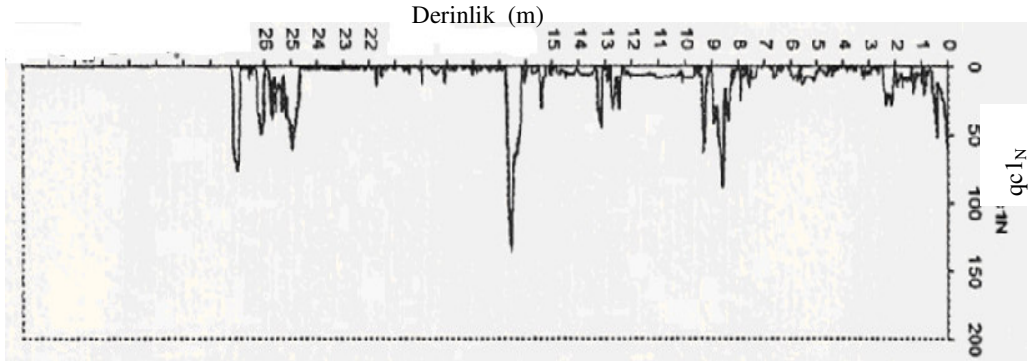
Şekil E 12.2 1 nolu sondaj kuyusu ud3 numuneleri zamana bağlı konsolidasyon değerleri (8 kg yüklemeye zamanlamasına göre verilmiştir)

Yük	Basınç (kPa)	Okuma	Δh (cm)	Δe	e	mv (1/kPa)
0	0	0	0.0000	0.0000	1.2717	0.00000
0.1	5	22	0.0022	0.0025	1.2692	0.00022
0.25	13	70	0.0048	0.0055	1.2638	0.00031
0.5	25	178	0.0108	0.0123	1.2515	0.00043
1	51	390	0.0212	0.0241	1.2274	0.00042
2	102	788	0.0398	0.0452	1.1822	0.00039
4	203	1420	0.0632	0.0718	1.1105	0.00031
8	406	2296	0.0876	0.0995	1.0110	0.00022
16	813	3264	0.0968	0.1100	0.9010	0.00012
8	406	3164	-0.0100	-0.0114	0.9124	0.00001
4	203	3000	-0.0164	-0.0186	0.9310	0.00004
2	102	2796	-0.0204	-0.0232	0.9542	0.00010
1	51	2582	-0.0214	-0.0243	0.9785	0.00021
0.5	25	2392	-0.0190	-0.0216	1.0000	0.00037
0.25	13	2244	-0.0148	-0.0168	1.0169	0.00058

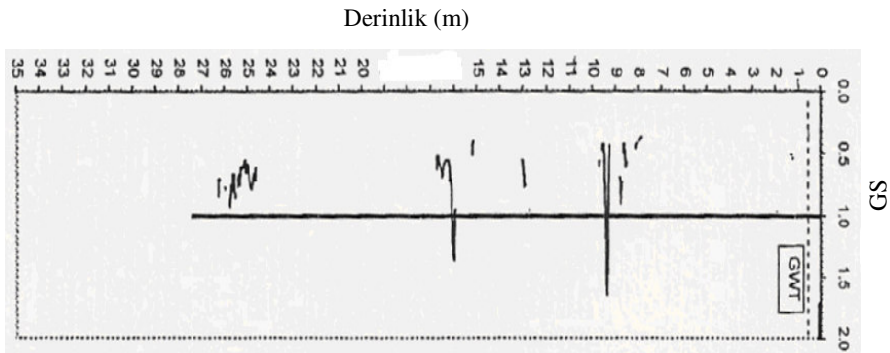
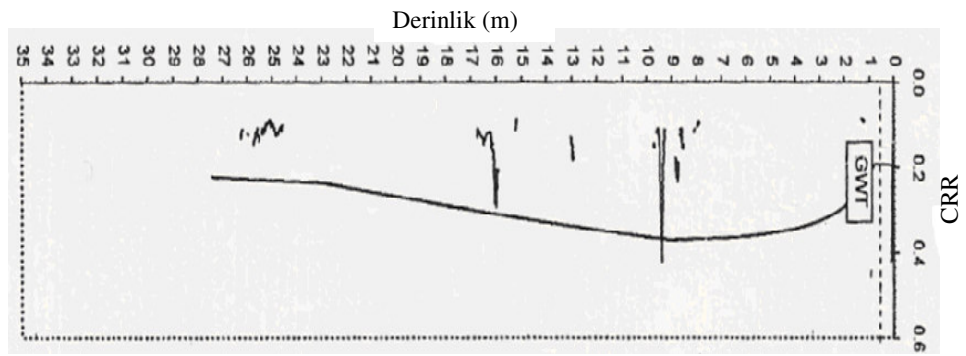
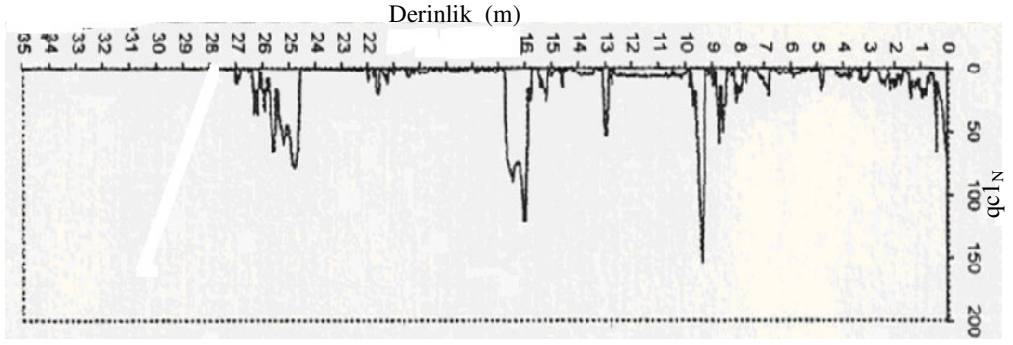


Şekil E 12.3 1 nolu sondaj kuyusu ud3 numuneleri e – logp eğrisi

Ek-13. İkinci çalışma sahası sıvılaşma analizlerinde kullanılan cpt verileri



Şekil E 13.1. İstanbul oteli lojmanları zemini 2 nolu cpt verilerinden elde edilen düzeltilmiş cpt uç direnci, devrsel direnç oranı ve güvenlik sayısının derinlikle değişimi



Şekil E 13.2. İstanbul oteli lojmanları zemini 3 nolu cpt verilerinden elde edilen cpt uç direnci, devirsel direnç oranı ve güvenlik sayısının derinlikle değişimi

EK-14. İstanbul oteli lojmanları inşaatı jet grout kolon yükleme test föyü

Çizelge E 14.1. İkinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test föyü yükleme aşaması

	ZAMAN/TIME			YÜK/LOAD		DEFORMASYON SAATİ OKUMALARI			
	Gerçek	Test	Kademe	T0N	Bar	1	2	Ort.	Dep.
	10:00	00:00	00:00	00:00	0	49.99	49.99	49.99	
25 % DVL	10:00	00:00	00:00	7.00	21.88	49.3	49.65	49.48	0.66
	10:05	00:05	00:05	7.00	21.88	49.28	49.6	49.44	
	10:15	00:15	00:15	7.00	21.88	49.25	49.58	49.42	
	10:25	00:25	00:25	7.00	21.88	49.2	49.56	49.38	
	10:45	00:45	00:45	7.00	21.88	49.15	49.5	49.33	
	11:00	01:00	01:00	7.00	21.88	49.15	49.5	49.33	
50 % DVL	11:00	01:00	00:00	14.00	43.75	48.85	49.39	49.12	1.11
	11:05	01:05	00:05	14.00	43.75	48.82	49.31	49.07	
	11:15	01:15	00:15	14.00	43.75	48.76	49.24	49.00	
	11:25	01:25	00:25	14.00	43.75	48.72	49.12	48.92	
	11:45	01:45	00:45	14.00	43.75	48.72	49.05	48.89	
	12:00	02:00	01:00	14.00	43.75	48.72	49.05	48.89	
75 % DVL	12:00	02:00	00:00	21.00	63.70	48.27	48.85	48.56	1.65
	12:05	02:05	00:05	21.00	63.70	48.25	48.83	48.54	
	12:15	02:15	00:15	21.00	63.70	48.25	48.75	48.50	
	12:25	02:25	00:25	21.00	63.70	48.22	48.69	48.46	
	12:45	02:45	00:45	21.00	63.70	48.19	48.63	48.41	
	13:00	03:00	01:00	21.00	63.70	48.14	48.55	48.35	
100 % DVL	13:00	03:00	00:00	28.00	82.87	47.52	47.70	47.61	2.66
	13:05	03:05	00:05	28.00	82.87	47.42	47.60	47.51	
	13:15	03:15	00:15	28.00	82.87	47.42	47.50	47.46	
	13:25	03:25	00:25	28.00	82.87	47.36	47.48	47.42	
	13:45	03:45	00:45	28.00	82.87	47.32	47.40	47.36	
	14:00	04:00	01:00	28.00	82.87	47.32	47.35	47.34	
150 % DVL	14:00	04:00	00:00	42.00	121.52	45.97	47.15	46.56	3.75
	14:05	04:05	00:05	42.00	121.52	45.82	47.05	46.44	
	14:15	04:15	00:15	42.00	121.52	45.71	46.99	46.35	
	14:25	04:25	00:25	42.00	121.52	45.64	46.95	46.30	
	14:45	04:45	00:45	42.00	121.52	45.62	46.93	46.28	
	15:00	05:00	01:00	42.00	121.52	45.56	46.92	46.24	
	15:20	05:20	01:20	42.00	121.52	45.54	46.92	46.23	3.76
	15:40	05:40	01:40	42.00	121.52	45.54	46.92	46.23	
	16:00	06:00	02:00	42.00	121.52	45.54	46.92	46.23	
	17:00	07:00	03:00	42.00	121.52	45.55	46.93	46.24	
	18:00	08:00	04:00	42.00	121.52	45.57	47.05	46.31	3.68

Çizelge E 14.2. İkinci çalışma sahası jet grout kolon yükleme deneyi test füyü yükün kaldırılma aşaması

	ZAMAN/TIME			YÜK/LOAD		DEFORMASYON SAATİ OKUMALAR			
	Gerçek	Test	Kademe	T0N	Bar	1	2	Ort.	Dep.
100 % DVL	18:00	08:00	00:00	28.00	82.87	46.1	47.31	46.71	3.19
	18:20	08:20	00:20	28.00	82.87	46.12	47.34	46.73	
	18:40	08:40	00:40	28.00	82.87	46.15	47.35	46.75	
	19:00	09:00	01:00	28.00	82.87	46.22	47.38	46.80	
75 % DVL	19:00	09:00	00:00	21.00	63.70	46.53	47.56	47.05	2.85
	19:20	09:20	00:20	21.00	63.70	46.57	47.59	47.08	
	19:40	09:40	00:40	21.00	63.70	46.59	47.62	47.11	
	20:00	10:00	01:00	21.00	63.70	46.62	47.66	47.14	
50 % DVL	20:00	10:00	00:00	14.00	43.75	46.96	47.93	47.45	2.42
	20:20	10:20	00:20	14.00	43.75	47.06	48	47.53	
	20:40	10:40	00:40	14.00	43.75	47.08	48.03	47.56	
	21:00	11:00	01:00	14.00	43.75	47.1	48.05	47.58	
25 % DVL	21:00	11:00	00:00	7.00	21.88	47.58	48.4	47.99	1.42
	21:20	11:20	00:20	7.00	21.88	47.6	48.45	48.03	
	21:40	11:40	00:40	7.00	21.88	47.74	48.65	48.20	
	22:00	12:00	01:00	7.00	21.88	47.85	49.3	48.58	
0 % DVL	22:00								1.39
	23:00	13:00	01:00	0.00	0.00	47.88	49.32	48.60	
						47.88	49.32	47.21	

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa Arlan BAKIM

Doğum Yeri ve Yılı : Antalya / 13.07.1979

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Antalya Karatay Lisesi / 1993-1997

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi / 1998-2002

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Tüm yapı Mimarlık-Mühendislik Ltd. / 2003

Dinamik Yapı Denetim A.Ş. / 2004

Zetaş Zemin Tek. A.Ş. / 2005