

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

**SIVILAŞMAYA KARŞI JET GROUTING YÖNTEMİ İLE
ÖRNEK BİR İYİLEŞTİRME UYGULAMASININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT YALÇIN ÖZ

DENİZLİ, MAYIS - 2015

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



**SIVILAŞMAYA KARŞI JET GROUTING YÖNTEMİ İLE
ÖRNEK BİR İYİLEŞTİRME UYGULAMASININ
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT YALÇIN ÖZ

DENİZLİ, MAYIS - 2015

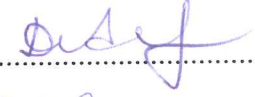
KABUL VE ONAY SAYFASI

MURAT YALÇIN ÖZ tarafından hazırlanan "SIVILAŞMAYA KARŞI JETGROUTING YÖNTEMİ İLE ÖRNEK BİR İYİLEŞTİRME UYGULAMASININ İNCELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12.05.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.


Jüri Üyeleri

İmza

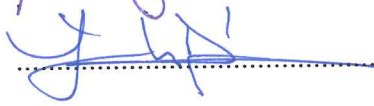
Danışman
Yrd. Doç. Dr. Devrim ALKAYA


.....

Üye
Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇOBANOĞLU


.....

Üye
Yrd. Doç. Dr. Fatih DİKBAŞ


.....

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
27/05/2015 tarih ve ...19/17... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


.....

Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



Murat Yalçın ÖZ

ÖZET

**SIVILAŞMAYA KARŞI JET GROUTING YÖNTEMİ İLE ÖRNEK BİR
İYİLEŞTİRME UYGULAMASININ İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MURAT YALÇIN ÖZ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. DEVRİM ALKAYA)

DENİZLİ, MAYIS - 2015

Bu çalışmada, depreme maruz kalmış ya da kalmamış taşıma kapasitesi olması gerekenden daha az olan, üstüne herhangi bir yapı inşaatı amaçlanan hemen her tür zemin için iyileştirme yöntemi tanıtılmış ve jet grouting yöntemi üzerinde durulmuştur.

Zemin için sıvılaşma riski oluşturacak birçok faktör ele alınmış, detaylı olarak spt deneyi verileriyle özel bir yöntemle sıvılaşma analizi hesap yöntemleri açıklanmıştır. Ayrıca sıvılaşma riskine karşı yapılabilecek zemin iyileştirme yöntemlerine açıklık getirilmiş ve sıvılaşma riskinin önlenmesi için yapılacak jet grouting zemin iyileştirme metodu üzerinde durulmuştur.

Uygulamalara ve gözlemlere örnek teşkil edecek şekilde güncel bir jet grouting yöntemi ile iyileştirme araştırılmış, proje ve zemin etüdü incelenmiş, yapım aşamaları detaylı bir şekilde incelenmiş, iyileştirme sonrası yapılan imalatın proje verilerine uygun bir şekilde imal edilip edilmediği özel yöntemlerle test edilmiş, iyileştirmenin amacına yönelik, zeminin sıvılaşma riski değerlendirilmiş ve iyileştirmeden sonraki zeminin son durumu değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Jet Grouting, Sıvılaşma Analizi Birim Alan Metodu, Kazık Bütünlük Testi, Tam Boy Süreklilik.

ABSTRACT

**THE EXAMINATION OF A SAMPLE SOIL IMPROVEMENT
APPLICATION BY JET GROUTING METHOD AGAINST
LIQUEFACTION
MSC THESIS
MURAT YALÇIN ÖZ
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING**

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. DEVRİM ALKAYA)

DENİZLİ, MAY 2015

In this study, it has been or has not been exposed to an earthquake, carrying capacity less than they should be, intended of construction of any building, any type of soil improvement techniques has been introduced and focused on jet grouting method.

Most of the factors has been considered which a risk for the liquefaction of the ground, the liquefaction risk has been analyzed with spt data by a special method and has been described in detail. In addition, methods of soil improvement can be done against the risk of liquefaction has been clarified and focused on jet grouting ground improvement method which can prevent the risk of liquefaction.

To be sample for applications and observations, a recent jet grouting application study has been investigated, examined the project and ground survey, production steps were examined in detail, post-improvement tested by special methods whether manufactured production is properly according to project-data, for the purpose of improving, evaluated the status of soil whether it had liquefaction risk or not, before and after improvement.

KEYWORDS: Jet Grouting, Liquefaction Analysis Unit Area Method, Pile Integrity Test, Full-Length Continuity.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vi
TABLO LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ.....	x
ÖNSÖZ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	2
1.3 Hipotez	4
2. ZEMİN İYİLEŞTİRME	5
2.1 Sık Uygulanan Bazı Zemin İyileştirme Yöntemleri.....	9
2.1.1 Vibrokompaksiyon.....	9
2.1.2 Kum Sıkıştırma Kazıkları (SCP)	9
2.1.3 Dinamik Kompaksiyon	10
2.1.4 Taş Kolonlar	11
2.1.5 Derin Karıştırma	12
2.1.6 Kireç Kolonlar	12
2.1.7 Su Düşürümü	13
2.1.8 Permeasyon Enjeksiyonu	13
2.1.9 Kompaksiyon Enjeksiyonu	13
2.1.10 Çatlatma Enjeksiyonu	14
2.1.11 Patlatma	15
2.1.12 Ek Dolgu ile Ön Yükleme	15
2.1.13 Vakum Uygulaması ile Ön Yükleme.....	16
2.1.14 Elektro-Osmoz	16
2.1.15 Geotekstil	17
2.1.16 Donatılı Zemin	17
2.1.17 Isıl İşlemler	18
2.1.18 Çimento ile Stabilite	18
2.1.19 Kireç ile Stabilite	18
2.1.20 Uçucu Kül ile Stabilite	19
2.1.21 Hafif Malzemeler	19
2.1.22 Jet-Grouting	19
2.1.22.1 Yöntemin Teknik Özellikleri	21
2.1.22.2 Jet Grouting Uygulama Sistemleri.....	23
2.1.22.2.1 Jet 1	24
2.1.22.2.2 Jet 2	24
2.1.22.2.3 Jet 3	25
2.1.22.3 Jet Grouting İşletim Parametreleri.....	25
2.1.22.3.1 Enjeksiyon Basıncı	26
2.1.22.3.2 Dönme ve Çekme Hızı.....	26
2.1.22.3.3 Dozaj.....	27

2.1.22.4	Enjeksiyon İşletim Parametrelerinin Seçimi	27
2.1.22.5	Jet Grouting İmalat Kontrol Deneyleri	31
2.1.22.5.1	Karot Numunelerinin Alınması	31
2.1.22.5.2	Kolon Yükleme Deneyi	32
2.1.22.5.3	Kolon Süreklilik Deneyi	33
2.1.22.5.4	Çap Kontrolü.....	35
3.	SIVILAŞMA RİSKİNE KARŞI ZEMİN İYİLEŞTİRME	36
3.1	Sıvılaşmanın Genel Nedenleri ve Sıvılaşma Koşulları	37
3.2	Sıvılaşma Potansiyelinin İncelenmesi	39
3.2.1	Basitleştirilmiş Hesap Yöntemi	40
3.2.1.1	Çevrimsel Gerilme Oranı (CSR).....	41
3.2.1.2	Çevrimsel Mukavemet Oranı (CRR)	44
3.3	Sıvılaşmaya Karşı Zemin İyileştirme Yönteminn Seçilmesi	46
3.4	Sıvılaşma Riskine Karşı Jet Grouting Yöntemi ile Zemin İyileştirmenin Projelendirilmesi	47
3.4.1	Kesme Güvenlik Kontrolü	48
3.4.1.1	Zemin Maksimum Kayma Modülünün Saptanması	48
3.4.1.2	Birim Alan Metodu ve Deprem Kayma Ger. Dağılımı.....	49
3.4.1.3	Çevrimsel Gerilim Azaltma Faktörü.....	51
3.4.1.1	Yapısal Kontroller	52
3.4.2	Taşıma Gücü Kontrolü.....	54
3.4.3	Önerilen Hesap Algoritması	57
3.5	Bu Çalışma İçin Geliştirilen Excel Hesap Programı	58
4.	AYDIN-MERKEZ-İŞIKLI KÖYÜ 1000 KİŞİLİK ÖĞRENCİ YURDU İNŞAATI ZEMİNİNİN JETGROUTİNG YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRİLMESİ.....	64
4.1	Giriş	64
4.2	Uygulama Yapılacak Olan Bölgenin Depremselliği	65
4.3	Bölgenin Jeolojik Yapısı	68
4.4	Zemin Araştırması ve Deneyler	68
4.5	İnşaat Zemini İçin Sıvılaşma Analizi	73
4.5.1	Fiziki Durum ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	73
4.5.2	Sıvılaşma Potansiyeli Hesabı.....	74
4.5.3	Yöntem ve Hesap Adımları	75
4.5.3.1	6 m Derinlik İçin	75
4.5.3.2	9 m Derinlik İçin	77
4.5.3.3	15 m Derinlik İçin	78
4.5.3.4	Tüm Sondaj Spt Değerlerinin Sıvılaşma Riski Analizi	79
4.6	Uygulanan Jet Grouting Kolon Çap ve Aralık Tahkiki.....	92
4.6.1	Öngörülen İyileştirme Kesme Kontrolü.	96
4.6.1.1	Hesap Adımları	93
4.6.2	İyileştirme Proje Verilerine Göre Taşıma Gücü Kontrolü.....	102
4.6.2.1	Sosyal Tesis Binası	103
4.6.2.2	Yurt Binaları.....	107
4.6.2.2.1	A Blok.....	107
4.6.2.2.1	B Blok.....	108
4.6.2.2.1	C Blok.....	109
4.6.2.2.1	D Blok.....	109
4.7	Zemin İyileştirme Uygulama Detayları ve Kontrolleri	110
4.7.1	İnşaatta Kullanılan Ekip ve Ekipmanlar	110

4.7.2	İnşaat Aşaması	112
4.7.3	İnşaat Sonrası Kontroller	118
4.7.3.1	Numune Alımı ve Basınç Dayanımı Tayini.....	119
4.7.3.2	Süreklilik Testi (PIT)	121
4.7.3.3	Kolon Yükleme Deneyi.....	123
4.7.3.4	Tam Boy Süreklilik Tahkiki	129
4.8	Genel Değerlendirme	132
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	134
6.	KAYNAKLAR.....	139
7.	EKLER.....	143
EK A.1	Sondaj Logları	144
EK A.2	Sondaj Logları	145
EK A.3	Sondaj Logları	146
EK A.4	Sondaj Logları	147
EK A.5	Sondaj Logları	148
EK A.6	Sondaj Logları	149
EK A.7	Sondaj Logları	150
EK A.8	Sondaj Logları	151
EK A.9	Sondaj Logları	152
EK A.10	Sondaj Logları	153
EK B	Sondaj Lokasyonları	154
EK C.1	Jet Grouting Projesi	155
EK C.2	Jet Grouting Projesi	156
EK D	Kolon Yerleşimi	157
EK E.1	Deney Sonuçları Özeti	158
EK E.2	Deney Sonuçları Özeti	159
EK F.1	Sıvılaşma Hesabı Genel Tablosu	160
EK F.2	Jet Grouting Projelendirme Genel Hesabı	161
8.	ÖZGEÇMİŞ	162

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Vibroflatasyonun şematik gösterimi.....	9
Şekil 2.2: Kum sıkıştırma kazıklarının şematik gösterimi.....	10
Şekil 2.3: Dinamik kompaksiyon.....	10
Şekil 2.4: Taş kolon uygulaması şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.5: Derin karıştırma şematik gösterimi.....	12
Şekil 2.6: Kompaksiyon şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.7: Çatlatma enjeksiyonu şematik gösterimi.....	15
Şekil 2.8: Jet grouting uygulaması modeli.....	20
Şekil 2.9: Jet grouting uygulama sistemleri.....	24
Şekil 2.10: Basınç-kademeli bekleme süresi-hedeflenen kolon çapı ilişkileri.....	26
Şekil 2.11: Çeşitli zeminlerde istenilen basınç dayanımı için çimento miktarları.....	28
Şekil 2.12: Sıkıştırılmayan akışkanlar için basınç-akım grafiği.....	30
Şekil 2.13: Karot alımı ve basınç deneyi.....	31
Şekil 2.14: Kolon yükleme deneyi.....	32
Şekil 2.15: Integrity test ekipmanların görünüşü ve testin yapılışı.....	34
Şekil 2.16: P.i.t.sinyali ölçümü sonuçları.....	34
Şekil 3.1: Tane boyu ve sıvılaşma ilişkisi.....	39
Şekil 3.2: Suya doymuş zemin katmalarında düzeltilmiş SPT-N değeri ile sıvılaşma direncinin değişimi.....	45
Şekil 3.3: Deprem kayma dalgalarının dağılım modeli ve birim hücrenin tanımlanması.....	49
Şekil 3.4: Birim alan ve kayma modülü oranlarına bağlı olarak CSR azaltma eğrileri.....	50
Şekil 3.5: Jet grouting kolon yerleşimi ve alanları.....	58
Şekil 3.6: Önerilen jet grouting projelendirme hesap algoritması.....	56
Şekil 3.7: Bu çalışma için geliştirilmiş sıvılaşma analizi hesap programı algoritması.....	60
Şekil 3.8: Bu çalışma için geliştirilmiş jet grouting projelendirme hesap programı algoritması.....	61
Şekil 3.9: Bu çalışmada geliştirilen sıvılaşma ve jet grouting projelendirme programı.....	62
Şekil 4.1: Aydın ili ve çevresinde oluşmuş büyük depremler.....	66
Şekil 4.2: İzmir ve çevresi için deprem tehlikesi haritası (% g cinsinden yumuşak zeminler için maksimum yatay taban kayması ivmesi.....	67
Şekil 4.3: Sondaj lokasyonları.....	71
Şekil 4.4: Sondaj noktaları arası alınan yatay kesitteki zemin sınıfları.....	72
Şekil 4.5: Sondaj noktaları arası alınan yatay kesitteki zemin sınıfları.....	73
Şekil 4.6: Excel programında hazırlanan sıvılaşma analizi ekranı.....	80
Şekil 4.7: Her sondaj kuyusundaki SPT N değerleriyle hesaplanmış a_r değerleriyle okunan SR değerleri.....	95
Şekil 4.8: Proje verilerine göre yerleştirilmiş jet kolonlar.....	105
Şekil 4.9: EGT MD 1500 Jet grouting delme makinesi.....	111

Şekil 4.10: Pompa, mikser, silo ve jenaratör.....	112
Şekil 4.11: 4-5-6 nolu test kolonlarının görünümü ve 6 nolu test kolonunda ölçüm.....	112
Şekil 4.12: Çekme hızı belirlenmesi ve 1 no'lu kolonda ölçüm.....	113
Şekil 4.13: Kolon aplikasyonu.....	113
Şekil 4.14: Sıkıştırılmayan akışkanlar için basınç-akım grafiği.....	111
Şekil 4.15: Bodrumsuz B blok kolon kesitleri.....	116
Şekil 4.16: Bodrumlu B blok kolon kesitleri.....	117
Şekil 4.17: Basınç deneyine tabi tutulan numuneler.....	120
Şekil 4.18: Kolonların p.i.t.testleri sonuçları.....	121
Şekil 4.19: Sinyal eşleştirme çap tayini.....	122
Şekil 4.20: Yükleme testi ve yapılan ölçümler.....	123
Şekil 4.21: Yükleme testi kolon imalatı.....	124
Şekil 4.22: Yük oturma deney sonuçları grafiği.....	127
Şekil 4.23: Zaman oturma grafiği.....	128
Şekil 4.24: Tam boy süreksizlik tahkiki sondaj çalışması ve karot numuneleri.....	129
Şekil A.1: SK-1 Sondaj logu.....	143
Şekil A.2: SK-2 Sondaj logu.....	144
Şekil A.3: SK-3 Sondaj logu.....	145
Şekil A.4: SK-4 Sondaj logu.....	146
Şekil A.5: SK-5 Sondaj logu.....	147
Şekil A.6: SK-6 Sondaj logu.....	148
Şekil A.7: SK-7 Sondaj logu.....	149
Şekil A.8: SK-8 Sondaj logu.....	150
Şekil A.9: SK-9 Sondaj logu.....	151
Şekil A.10: SK-10 Sondaj logu.....	152
Şekil B: A-B-C-D Blok ve Sosyal Tesis Binası için sondaj yapılan yerler.....	153
Şekil C.1: Sosyal Tesis Binası jet grouting projesi.....	154
Şekil C.2: A-B-C-D blokları jet grouting projesi.....	155
Şekil D: Jet kolon yerleşimi örnek bir kesit.....	156
Şekil E.1: SK-1, SK-2, SK-3, SK-4, SK-5 sondaj kuyularından alınan numuneler için yapılan deney sonuçları özeti.....	157
Şekil E.2: SK-6, SK-7, SK-8, SK-9, SK-10 sondaj kuyularından alınan numuneler için yapılan deney sonuçları özeti.....	158
Şekil F.1: SK-1 sondaj kuyusu için yapılan sıvılaştırma analizi Excel tablosu.....	159
Şekil F.2: Öngörülen ve mevcut kolon basınç dayanımlarına göre jet grouting projelendirilmesi tüm alan için genel hesabı.....	160

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Zemin iyileştirme yöntemleri ve yapılış amaçları.....	8
Tablo 3.1: Etkin yer ivmesi katsayısı.....	43
Tablo 3.2: Büyük depremlerden alınmış en büyük ivme değerleri	43
Tablo 3.3: Sıvılaşmada kullanılan zemin iyileştirme yöntemleri.....	47
Tablo 3.4: Farklı tipteki zeminlerde teşkil edilen jet grouting kolon taşıma kapasiteleri.....	53
Tablo 3.5: Taşıma gücü faktörleri.....	55
Tablo 3.6: Temel tabanı geometrisi.....	56
Tablo 4.1: Yeraltı su seviyesi ölçüm değerleri	70
Tablo 4.2: Zemin etüt raporundan alınan zemin karakteristik özellikleri ve deprem düzeltme katsayıları bilgileri.....	79
Tablo 4.3: %5 birim deformasyona karşılık gelen SPT-N sayısına bağlı olarak okunan CRR değerleri tablosu.....	80
Tablo 4.4: SK1 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	81
Tablo 4.5: SK2 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	82
Tablo 4.6: SK3 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	83
Tablo 4.7: SK4 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	84
Tablo 4.8: SK5 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	85
Tablo 4.9: SK6 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	86
Tablo 4.10: SK7 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	87
Tablo 4.11: SK8 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	88
Tablo 4.12: SK9 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	89
Tablo 4.13: SK10 için hazırlanan sıvılaşma analizi hesap tablosu.....	90
Tablo 4.14: Sıvılaşmaya en müsait en küçük güvenlik sayısı F_s 'ye sahip sondaj noktaları ve CRR, CSR değerleri.....	91
Tablo 4.15: Kil, silt ve kumda teşkil edilen jet grouting kolon taşıma kapasiteleri.....	92
Tablo 4.16: Bu çalışmada seçilen basınç mukavemetleri.....	92
Tablo 4.17: SR ile azaltılmış tasarım CSR ile yeni sıvılaşma analizi sonuçları.....	94
Tablo 4.18: SR ile azaltılmış tasarım CSR ile yeni sıvılaşma analizi sonuçları.....	97
Tablo 4.19: Jet-grouting kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.....	99
Tablo 4.20: Jet-grouting kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.....	99
Tablo 4.21: Jet-grouting kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.....	100
Tablo 4.22: Yurt inşaatında elde edilen ortalama basınç değerleri.....	100
Tablo 4.23: Jet-grouting kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.....	101
Tablo 4.24: Jet-grouting kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.....	101
Tablo 4.25: Jet-grouting kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.....	102
Tablo 4.26 : Taşıma gücü faktörleri.....	104
Tablo 4.27: Temel tabanı geometrisi katsayıları	104
Tablo 4.28: B blok deneme kolonlarının parametresi.....	113
Tablo 4.29: Yurt inşaatında elde edilen ortalama basınç değerleri.....	119
Tablo 4.30: Kolonların farklı metrelerdeki basınç dayanımları.....	120
Tablo 4.31: Yükleme testi detayları.....	125

Tablo 4.32: Elde edilen karot numunelerine ait ölçüm değerleri D blok (287 no'lu kolon)-Sosyal Tesis (182 no'lu kolon).....	130
Tablo 4.33: Toplam enjeksiyon boyları ve çimento miktarları.....	137

SEMBOL LİSTESİ

σ	:	Düşey zemin gerilmesi (kg/cm^2)
σ'	:	Efektif zemin gerilmesi (kg/cm^2)
u_w	:	Boşluk suyu basıncı
σ	:	Düşey zemin gerilmesi (kg/cm^2)
σ'	:	Efektif zemin gerilmesi (kg/cm^2)
u_w	:	Boşluk suyu basıncı
u_s	:	Statik durumda boşluk suyu basıncı
u_d	:	Dinamik durumda boşluk suyu basıncı
g	:	Yer çekimi ivmesi (m/s^2)
a_{\max}	:	Maksimum yer ivmesi (m/s^2)
PL	:	Plastisite indisi
LL	:	Likit limit
W	:	Su muhtevası (%)
M	:	Deprem manyitüdü
N	:	SPT deneyi vuruş sayısı
V_s	:	Kayma dalgası hızı (m/sn)
ER	:	SPT Deneyinde Şahmerdan İçin Enerji Oranı
N_{60}	:	Enerji oranı dikkate alınarak düzeltilmiş N değeri
N_1	:	Jeolojik gerilme düzeltmesi yapılmış N değeri
N_{160}	:	Jeolojik gerilme düzeltmesi yapılmış N60 değeri
a_t	:	Sıvılaşmanın gerçekleşmesi için gerekli eşik ivmesi (m/s^2)
G_{\max}	:	Maksimum kayma modülü (MPa)
G	:	Kayma modülü (MPa)
r_d	:	Zemin gerilmesi indirgeme faktörü
z	:	Hesap derinliği (m)
τ_s	:	Sıvılaşmanın başlaması için gerekli periyodik sınır kayma gerilmesi
τ_o	:	Depremin meydana getirdiği ortalama kayma gerilmesi (kg/cm^2)
H	:	Tabaka derinliği (m)
F	:	Güvenlik faktörü
V	:	Poison oranı
E_{jg}	:	Jet grouting kolonu elastisite modülü (MPa)
G_{jg}	:	Jet grouting kolonu kayma modülü (MPa)
F_{jg}	:	Jet grouting kolon basınç taşıma kapasitesi (MPa)
A_{jg}	:	Jet grouting kolon alanı (m^2)
A	:	Jet grouting kolonların bulunduğu seçilen hesap alanı (m^2)
a_r	:	Alan yer değiştirme oranı
n	:	Birim alan içindeki gerilme konsantrasyonu (%)
τ_{jg}	:	Jet grouting kolonlara etkiyen kayma gerilmesi (kg/cm^2)
τ_s	:	Kolonlar arasındaki zemine etkiyen kayma gerilmesi (kg/cm^2)
SR	:	Çevrimsel gerilme oranı üzerine etkiyecek azaltma faktörü
γ	:	Zeminin birim hacim yoğunluğu (t/m^3)
F_s	:	Sıvılaşma emniyet faktörü
τ_{avg}	:	Depremin oluşturacağı eşdeğer kayma gerilmesi (kg/cm^2)
q_c	:	CPT uç direnci
γ	:	Birim deformasyon
Pa	:	N/m^2
kPa	:	kN/m^2

MPa	:	Düşey zemin gerilmesi (kg/cm ²)
M_w	:	Efektif zemin gerilmesi (kg/cm ²)
σ_b	:	Boşluk suyu basıncı
σ_{net}	:	Düşey zemin gerilmesi (kg/cm ²)
σ_{em}	:	Efektif zemin gerilmesi (kg/cm ²)
c	:	Boşluk suyu basıncı
Φ	:	Statik durumda boşluk suyu basıncı
D_f	:	Dinamik durumda boşluk suyu basıncı
B	:	Yer çekimi ivmesi (m/s ²)
γ₁	:	Maksimum yer ivmesi (m/s ²)
γ₂	:	Plastisite indisi
K₁	:	Likit limit
K₂	:	Su muhtevası (%)
N_c	:	Deprem manyitüdü
N_q	:	SPT deneyi vuruş sayısı
N_γ	:	Kayma dalgası hızı (m/sn)
R	:	SPT Deneyinde Şahmerdan İçin Enerji Oranı
σ_{is}	:	Enerji oranı dikkate alınarak düzeltilmiş N değeri
σ_{jg}	:	Jeolojik gerilme düzeltmesi yapılmış N değeri
ρ	:	Jeolojik gerilme düzeltmesi yapılmış N60 değeri

ÖNSÖZ

Bu çalışmada zemin taşıma gücünün artırılması amacı ile tasarlanıp geliştirilmiş en çok kullanılan zemin iyileştirme metotları ele alınmış, hangi zemin koşullarına hangi zemin iyileştirme türünün uygulanabileceği ve verimli sonuç alınacağı incelenmiş, güncel bir jet grouting yöntemi zemin iyileştirme uygulama örneği ile iyileştirme çalışmalarının yapım aşamaları detaylandırılmış, iyileştirme sonrası yapılan imalatın kalitesi özel testlerle kontrol edilmiş ve zeminin taşıdığı sıvılaşma riski incelenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleşmesine katkıda bulunan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Devrim Alkaya'ya, Aydın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü Yapı Malzemeleri Şubesinde görevli Jeoloji Mühendisi Sayın Mustafa Yavaş'a, manevi desteklerini esirgemeyen sevgili anne ve babama, kardeşim Alp'e teşekkürü bir borç bilirim

1. GİRİŞ

Yakın bir araştırılma ve gelişme tarihine sahip olan zemin mekaniği konusu kapsamında, inşaat yapılarının, sadece üst elemanlarıyla depreme karşı m¼cadele eden bir sistem değil, aynı zamanda oturduğu zeminle de doğrudan ilişkili olarak pozitif etkileşimli bir şekilde hareket etme zorunluluğu olan yapılar olduğu anlaşılmıştır. alışmalara her geçen g¼n yenisinin eklendiği bir alanda, zemin taşıma kapasitesinin arttırılması ve deprem esnasında enerjiyi daha fazla s¼nd¼rmesi amaçlarıyla artık en iyi sonuç veren y¼ntemler yaygınlaşmıştır. Bununla birlikte farklı zemin t¼rlerinin aynı y¼ntemle aynı verimde iyileştirilemediği g¼z ¼n¼ne alınırsa her zemin t¼r¼ için en kullanışlı y¼ntemin de zamanla geliştirilmesi kaçınılmazdır. Sistem olarak zemin doğasına fazladan ek olarak d¼ř¼n¼len her t¼r yapı için deprem esnasında ivmesel tepki verecek zemin yapısı pozitif olarak iyileştirilebilir.

Bu çalışmada hemen her t¼r zemin iyileştirme metodu hakkında gerekli bilgiler sunulmuştur. Bununla birlikte sıvılaşma potansiyeli olan bir zeminin iyileştirilmesi ¼zerinde durularak, en son kısımda ¼lkemizde yaygın bir şekilde kullanılan bir y¼ntem olan jet grouting y¼ntemi incelenmiştir. İyileştirilme ¼ncesi sıvılaşma potansiyeli detaylı bir şekilde araştırılarak jet grouting y¼ntemi ile iyileştirmeye karar verildikten sonra proje esasları ve tasarım kriterleri tahkikleri yapılıp, imalat sonrası gerekli kontroller yapılmıştır.

Jet grouting y¼ntemi hemen t¼m zemin tipi ve dane çaplarında uygulanabilen bir y¼ntem olup halen gelişim aşamasındadır. Teknolojisinin yeni oluşu ve teorik bilgi eksikliği nedeniyle m¼hendislik tasarımında yararlanılacak kurallar hen¼z kesinleşmediğinden benzer koşullarda yapılmış olan tecr¼belerle uygulama sırasında yapılan g¼zlemlere dayalı tasarım yapılmaktadır.

Zemin içerisinde enjeksiyon dağılımını ve oluşan geometriyi belirlemek zor olduğundan dikkatli, detaylı g¼zlem ve kontrol testleri yapmak gerekir.

1.1 Tezin Amacı

Yapıların statik durumları bir yana deprem yükleri altındaki tasarımları ve davranışları göz önüne alındığında kuvvetlerin dengeli ve karşılanabilecek bir şekilde elemanlara aktarılması için zemin iyileştirmenin ne kadar gerekli olduğu konusunun anlaşılabilmesi, taşıyıcı elemanlara olması gereken ölçüde rijitlik, süneklik ve birlikte hasar karşılama kabiliyeti kazandırması için yapıların üzerinde durduğu zeminlerin iyileştirilmesi gerekliliğinin anlaşılması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Bu tez çalışmasında üzerinde durulmuş olan sıvılaşma potansiyelini belirlemek için kullanılan hesaplar, sıvılaşma potansiyelinin olması durumunda jet grouting kolon projelendirme kriterlerinin belirlenmesi, jet grouting zemin iyileştirme yöntemi uygulama safhaları, imalat kontrolü ve iyileştirme sonrası tahkikler için yararlanılan başlıca yayınlar ve çalışmalar özetlenmiştir.

Seed ve Idriss (1971) “Zemin Sıvılaşma Potansiyeli Değerlendirme için Basitleştirilmiş Usul” konusunda çalışmalarını yayınlamışlardır. Yaklaşık 12 m derinliğe kadar deprem durumunda zeminde oluşabilecek maksimum kayma gerilmelerinin hesabını açıklamışlardır. Bu çalışmada sıvılaşma potansiyeli araştırılan zemin için bu çalışmadan faydalanılmıştır.

Youd ve diğ. (1997) çalışmalarında maksimum zeminde oluşacak maksimum kayma gerilmesi hesaplanırken kullanılacak derinliğe bağlı azaltma faktörünün nasıl bulunacağı konusundaki hesaplarından faydalanılmıştır.

Sıvılaşmaya karşı mevcut zeminin göstereceği direnç oranı için Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yayınladıkları ve aynı zamanda Japon zemin şartnamesinde de yer almış olan çalışmalarından ve sundukları abaktan faydalanılmıştır.

Zeminin sıvılaşmaya karşı direnci için kullanılacak abaklarda gerekli olan düzeltilmiş SPT-N sayısını belirlemek için Seed ve diğ. (2001) tarafından yayınlanmış olan çalışmadan faydalanılmıştır.

Ayrıca farklı deprem büyüklükleri için hesaplanacak sıvılaşma potansiyeli hesaplarında güvenlik faktörleri için Youd ve diğ. (1997) tarafından yayınlanmış olan yayınlardan faydalanılmıştır.

Özsoy ve Durgunoğlu (2003) 5. Ulusal Deprem Konferansında “Yüksek Modüllü Kum Kazık Kolonlar ile Sıvılaşmanın Önlenmesi” konusundaki çalışmalarını sunmuşlardır.

Bu tez çalışmasında esas olarak Özsoy ve Durgunoğlu'nun bahsedilen jet grouting kolonlarının nasıl projelendirilebileceği ve kesme, oturma, sıvılaşma potansiyeli tahkikleri yapılacağı konusunda yayınlamış oldukları çalışmalarından faydalanılmıştır.

Jet grouting projelendirme ve taşıma gücü kontrolleri için Melegary ve Garassino (1997) tarafından Singapur'daki “Jet grouting” seminerindeki yapılan çalışmalardan faydalanılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada jet grouting yapım aşamaları, imalat kontrolleri ve hesap tahkikleri için;

Askay (2002) tarafından hazırlanmış “Jet Grouting Kullanılarak Zemin İyileştirme Çalışmaları” adlı yayınından;

Borden ve Byle (1995) tarafından yapılmış olan Geoteknik Özel Yayınında “Geoteknik Enjeksiyon” konusundaki çalışmalardan;

Flora ve Croce (2000) tarafından hazırlanmış olan Geoteknik dergisindeki “Tek Akışkanlı Jet grouting Analizleri” konusundaki yayınlardan;

Essler ve Yoshida (2004) tarafından yayınlanmış olan “Zemin İyileştirme” adlı çalışmalardan;

Anonim (1992) tarafından hazırlanmış olan Jet Grouting adlı yayından;

Özkan (2006) tarafından hazırlanmış olan “Enjeksiyon yöntemleri ve uygulamaları” adlı çalışmalardan;

Terzaghi (1943) tarafından hazırlanmış olan “Teorik Zemin Mekaniği” adlı çalışmalardan;

Jet grouting uygulamaları için uygulama öncesi, sırası ve sonraki için Türk Standartları Enstitüsü'nün 2002 yılında uygulamaya koyulan “Özel Jeoteknik

Uygulamalar ve Jet Enjeksiyonu” konusundaki 12716 sayılı standarttan faydalanılmış ve alıntılar yapılmıştır.

1.3 Hipotez

İnşaat yapılacak ve potansiyel olarak sıvılaşma riski taşıyan bir zemin için yapılacak sondajlarla standart ve konik penetrasyon deneyleri ve laboratuvar deneyleri ile saptanacak granülometri eğrisi, ince dane oranı, rölatif sıklık, kıvam, yoğunluk, su muhtevası, y.a.s. seviyesi, içsel sürtünme açısı, ayrıca maksimum yer ivmesi ve hesaplanacak düzeltme katsayıları gibi sismik ve statik ölçütlere göre birçok açıdan değerlendirilip sismik hareketler sonucu oluşan periyodik kayma gerilmeleri, zeminin çevrimsel gerilme mukavemeti ile karşılaştırılır.

Sıvılaşma riski araştırılan alan için bölgenin deprenselliği, yeraltı su seviyesi durumu, alandaki hakim zemin sınıfı durumu da göz önüne alınarak sıvılaşma riski belirlenir.

Sıvılaşma riski taşıyan zemin için yapılacak jet grouting iyileştirmesi için basitleştirilmiş özel yöntemle önce seçilen kolon aralıkları, çapları, taşıma gücü ve kesme kuvveti direnci açısından tahkik edilir.

Seçilen kolon çap ve aralıktan sonra proje verilerine uygunluk için jet grouting iyileştirmesi öncesi denemeler yapılır, uygun enjeksiyon basıncı, nozul çapı, meme sayısına bağlı olarak uygun uygulama verileri seçilir. Uygulama sonrası özel testlerle yapılmış imalatların proje verilerini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir.

2.ZEMİN İYİLEŞTİRME

Taşıma gücü yetersizliği, permeabilite fazlalığı, şişme ve büzölmeye eğilim, kayma direnci yetersizliği, oluşmuş konsolidasyonun devam etmesi, stabilite yetersizliği gibi statiksel sorunlar ve zemin büyütmesi, sıvılaşma, zemin yenilmesi gibi deprem kaynaklı dinamik sorunlar açısından yetersiz olan bir zemin üstüne inşa zorunluluğı olan bir yapı için üzerinde yer alacağı zeminin iyileştirilmesi, kaçınılmaz bir durumdur.

Yapıların oturduğu zemin özelliklerinin projelendirme çalışmalarından önce incelenerek sağlıklı bir şekilde belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Zemin özelliklerinin proje ölçütlerini sağlamadığı hallerde yetersiz zemin koşullarına ilişkin alternatif çözümler olarak (Venkatramaiah 2006);

- Sorunlu parselden vazgeçilip yeni bir arazi seçilebilir,
- Daha iyi nitelikli zemin tabakalarına ulaşmak için derin temeller tasarlanabilir,
- Zayıf zemin kaldırılıp yerine daha iyi bir malzeme kontrollü olarak yerleştirilebilir,
- Zayıf zemin üzerine inşa edilecek yapı zeminden beklenen davranışa uyum sağlayabilecek, biçimde tasarlanabilir,
- Yetersiz ve zayıf zeminin iyileştirilmesine gidilebilir.

Zemin iyileştirilmesine ihtiyaç olup olmadığı zayıf ve sorunlu zeminlerin tanımlanması ve özelliklerinin proje tasarım ve yapım gereksinimleriyle birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir (Ergün ve diğ. 2005).

Zemin iyileştirilmesinde temel ilke, zemin içerisindeki mevcut boşlukların mekanik araçlarla azaltılması, zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi veya zeminin su içeriğinin azaltılması ya da çeşitli elemanların kullanılması ile mevcut zeminin güçlendirilmesidir (Sağlamer 2006).

Zayıf zeminin taşıma gücünü arttırmak, toplam oturmayı azaltıp konsolidasyonu hızlandırmak, dolgu ve şevlerin stabilitesini sağlamak, istinat duvarlarını desteklemek, zeminin potansiyel sıvılaşma riskini azaltmak amaçlarıyla yapılan zemin iyileştirme yöntemleri uygulandığında zeminin (Essler ve Yoshida 2004);

- Sıkışabilirliği azalır,
- Kayma mukavemeti artar,
- Geçirgenliği (permeabilitesi) azalır,
- Şişme ve büzülme potansiyeli düşer,
- Kumlu zeminlerin sıkılığı, killi zeminlerin kıvamı iyileşir,
- Borulanmaya karşı mukavemeti artar,
- Sıvılaşma potansiyeli azalır.

Zemin iyileştirmesine gereksinim olup olmadığı, zayıf ve problemlili zeminlerin tanımlanması ve özelliklerinin binanın tasarım ve yapım gereksinimleriyle birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir. Önce mevcut iyileştirilmemiş zemine ilişkin etütlerde elde edilen geoteknik veriler baz alınarak statik ve dinamik yükler altında analiz ve değerlendirmeler yapılır. Bunun sonucunda aşağıdaki problemlerden biri veya birkaçı ortaya çıkabilir:

- a) yetersiz taşıma gücü,
- b) yapım sırası veya sonrasında gelişebilecek aşırı toplam oturmalar,
- c) yapının eğilmesine, zarar görmesine veya yıkılmasına yol açabilecek aşırı farklı oturmalar,
- d) depremler sırasında sıvılaşma, taşıma gücü kaybı, aşırı yer değiştirmeler,
- e) temel kazısı veya dolgular ile ilgili sorunlar,
- f) şev duraysızlığı,
- g) kazı sırası ve sonrasında gelişebilecek kabarmalar,
- h) problemlili zeminlerin varlığı (çökebilene, şişebilene, karstik, organik vb. zeminler).

Sorun saptanıp problemlı zeminin derinliği, kalınlığı ve yayılımı belirlendikten sonra çözüme yönelik bir veya birden fazla uygun iyileştirme yöntemi seçeneği belirlenir ve en uygununa karar verilerek tasarım sonuçlandırılır. Tasarım sürecinde iyileştirme tekniğinin zemine etkileri ve karşılaşılan zeminlere uygunluğunun belirlenmesi önemlidir.

Zemin iyileştirme yönteminin seçimini etkileyen faktörler:

a) Zemin veya kayanın düşey ve yatay yönde değişimi ve özellikleri (ince tane yüzdesi, kıvam, normal konsolide/aşırı konsolide olma, süreksizlikler vb.)

b) Yeraltı suyu durumu

c) Öngörülen iyileştirme seviyesi (büyüklüğü)

d) Farklı yöntemlerle elde edilebilecek iyileştirmelerin görece büyüklüğü ve yararı

e) İyileştirilmesi hedeflenen alan ve derinlik

f) Yapıma ilişkin faktörler (iş planı, ulaşılabilirlik, malzemeler, geçit hakkı, ekipman ve işgücü temini, yeraltında çalışabilme alanlarına ilişkin engeller

g) Çevresel faktörler

h) Maliyet

i) Yeni veya mevcut yapılarla etkileşim

j) Sonuçların kontrol edilebilirliği

g) Bakım, dayanıklılık ve işletme gereksinimleri

Bazı yöntemler bazen tek zemin tipi için uygun olurken, bazıları geniş aralıkta farklı zeminlere uygulanabilmektedir. Tablo 2.1'de iyileştirme yöntemlerinin kullanım amaçları özet olarak verilmiş olup, taneli ve kohezyonlu zeminler için zemin iyileştirme tekniklerini ve uygulamada hedeflenen temel amaçları göstermektedir (Anonim 2007^a).

Tablo 2.1: Zemin iyileştirme yöntemleri ve yapım amaçları (Anonim 2007^a).

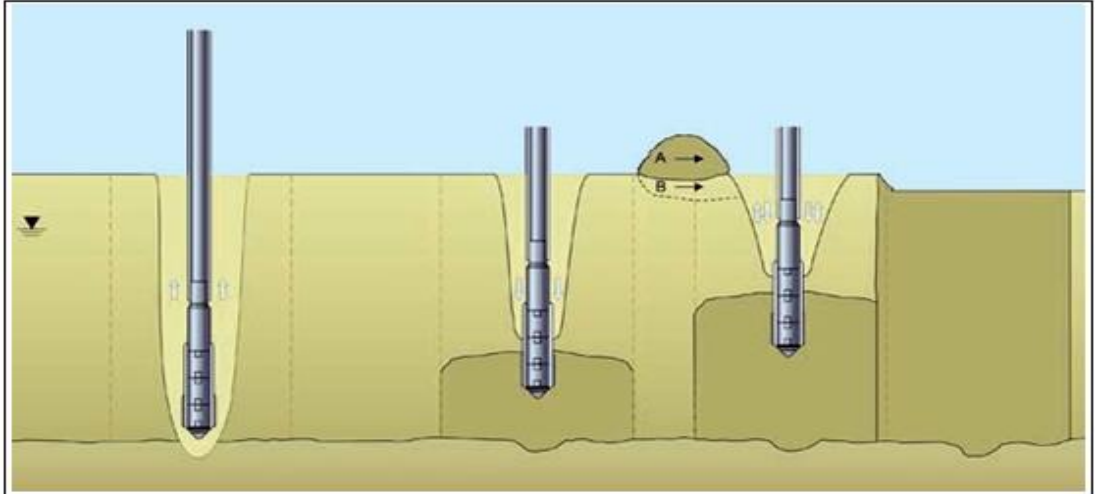
ANA YÖNTEMLER		YÖNTEMLER	ZEMİN TÜRÜ		ZEMİN İYİLEŞTİRME AMACI					
			DANELİ	Kohezyonlu	TAŞIMA GÜCÜ	OTURMA KONTROLÜ	STABİLİTE	ÇEVRESEL NEDENLER	SIVILAŞMA	SU AKIMINI KESME
SIKIŞTIRMA	TİTREŞİMLİ SIKIŞTIRMA İŞLEMLERİ	Vibro Sondalar	**		*	*			**	
		Kum Sıkıştırma Kazıkları	**		*	*			**	
		Vibroflotasyon	**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

2.1 Sık Uygulanan Bazı Zemin İyileştirme Yöntemleri

2.1.1 Vibrokompaksiyon (Vibroflotasyon)

Derin granüllü zeminleri vibratörlü sondalar ile sıkıştırma işlemi olan bu yöntemle granüler zeminlerin başlangıçtaki boşluk oranları ve sıkıştırılabilirlikleri azalırken içsel sürtünme açıları, taşıma gücü ve sıvılaşmaya karşı olan dirençleri de artmaktadır (Şekil 2.1) (Sondermann ve Wehr 2004).

Vibroflotasyon tekniği, yeraltı su seviyesi altındaki çok gevşek kum malzemelerin sıkıştırılması için çok uygundur. Fakat kil bantlarının, aşırı miktarda ince daneli malzeme ve organik madde bulunması bu teknikten alınabilecek verimi önemli ölçüde düşürmektedir. Dolayısıyla granüler malzeme içerisinde ince malzeme oranı % 20'yi aşmamalıdır ve bunun da en fazla %3'ü aktif kil (ince daneli zeminlerin plastisite indisinin kil yüzdesine oranı zeminin aktivite katsayısı olarak tanımlanır, aktivite katsayısı 1.25'ten büyük olan killer aktif kil olarak kabul edilmektedir) olmalıdır (Bell 1993).

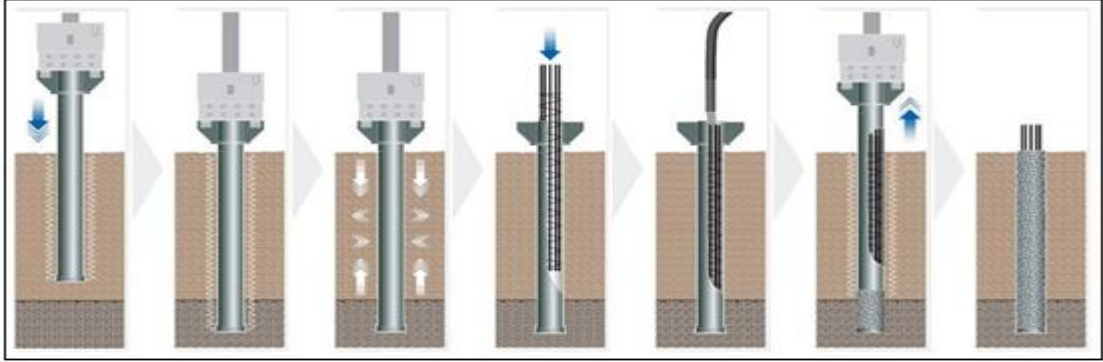


Şekil 2.1: Vibroflotasyonun şematik gösterimi (Url-1).

2.1.2 Kum sıkıştırma kazıkları

Bu yöntem, yumuşak zemin içerisinde titreşimli bir muhafaza borusu yardımıyla kum veya benzer bir malzeme kullanarak sıkıştırılmış kum kazıkların oluşturulması şeklinde uygulanmaktadır (Aboshi ve diğ. 1990).

Kum sıkıştırma kazıkları yöntemine ilişkin ekipman, kum dren yerleştirme ekipmanına benzemektedir. İstenilen derinliğe ulaşıldıktan sonra daha önceden belirlenen boydaki gevşek kum kazığı donanımının mili arasından boşaltılır ve takım biraz yukarı çekilir. Daha sonra milin üstündeki bir vibratör yardımıyla mil gevşek kum kazığını sıkıştırır ve çapını artırır. Bu işlemin tekrar ettirilmesiyle sıkıştırılmış kum kazıkları oluşturulur ve ayrıca etraftaki zeminde sıkıştırılmış olur (Aboshi ve diğ. 1990) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Kum sıkıştırma kazıkları şematik gösterimi (Url-2).

2.1.3 Dinamik kompaksiyon

Dinamik kompaksiyon işlemi, ağır bir yükün tekrarlı olarak değişik yüksekliklerden zemin üzerine düşürülmesinden oluşmaktadır. Yüklerin ağırlıkları genellikle 5 ton ile 27 ton ve düşüş yükseklikleri ise 12 m ile 30 m arasında değişmektedir. Darbe sonucu oluşan enerji genellikle tüm alan üzerindeki kareyaj üzerine aşamalı olarak tek veya birden çok geçişli olarak uygulanmaktadır (Şekil 2.3). Her geçişten sonra oluşan kraterler yeni geçişe başlamadan önce granüler bir dolgu malzemesiyle düzeltilir (Lukas 1995).

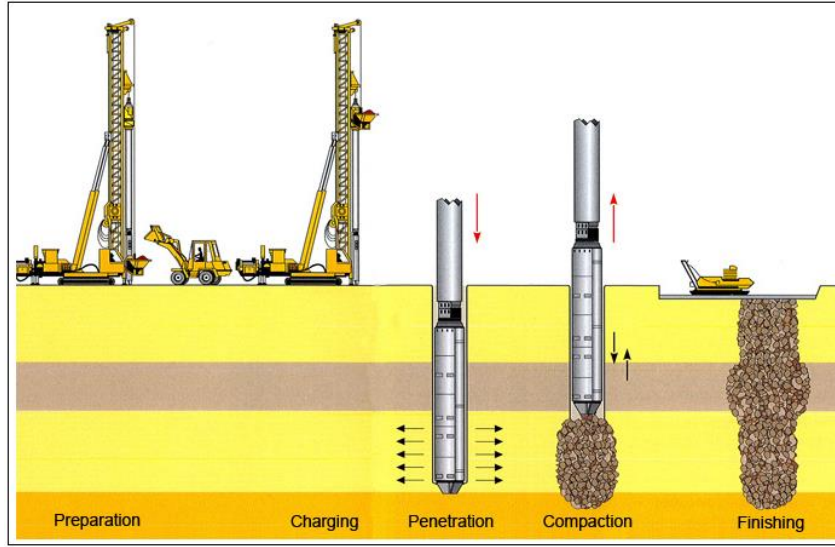


Şekil 2.3: Dinamik kompaksiyon (Url-3).

Dinamik kompaksiyon yöntemi granüler ve dolgulu zeminlerde uygulanır. Gevşek, suya doymuş, kohezyonsuz zeminlerde düşen ağırlığın etkisiyle zemin sıvılaşıyor ve zemin partikülleri birbirlerine daha yakın ve daha yoğun şekil alırlar. En büyük iyileşme, efektif derinliğin 2/3'lük kısmında elde edilir (Lukas 1995).

2.1.4 Taş kolonlar

Taş kolonlar, vibrokompaksiyona benzer yöntemle imal edilirler (Şekil 2.4). Farklı olarak çakıl geri dolgu kullanılır ve genellikle temiz kumlardan çok, az kohezif zeminlerde veya siltli kumlarda tercih edilirler (Anonim 1999).



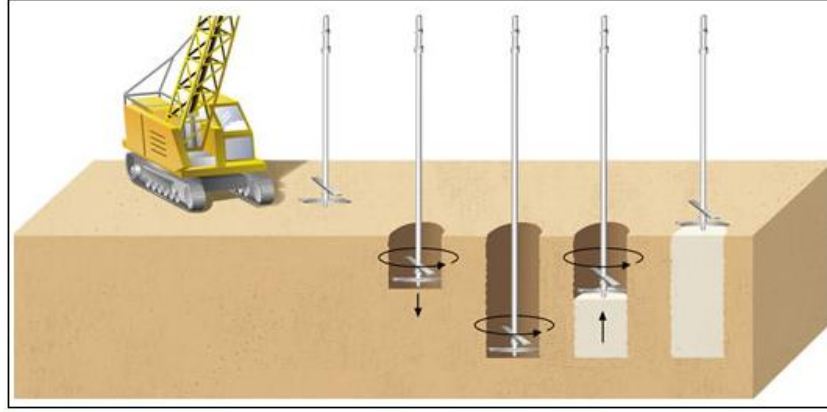
Şekil 2.4: Taş kolon uygulaması şematik gösterimi (Url-4).

Taş kolonlar ile temel uygulamalarında, derinlikle beraber gerilme dağılımı da düşünülerek üst yapının kaplayacağı alandan daha geniş bir alanda uygulanan bu yöntemde, vibratörle silindirik bir çukur açılır ve aşağıdan yukarıya çakıl veya kırma taş ile doldurulur. Sıkıştırma vibrasyonu ve vibratörün bir kerede geri çekilmesi ve sürülmesi sırasındaki deplasmanla sağlanır. Taş kolonlar, zemin koşullarına, kullanılan donanım ve imalat yöntemine bağlı olmak kaydıyla genellikle 1 m çapında ve kare veya üçgen kareli sistemde uygulanırlar. Ancak sömelleri veya duvarları desteklemek için küme veya dizi biçiminde de uygulanabilir (Anonim 1999).

2.1.5 Derin karıştırma

Derin karıştırma yönteminde zemine iyileştirme derinliğinde katkılar enjekte edilir ve bunlar kolonlar veya iyileştirilmiş malzeme panelleri oluşturacak şekilde büyük çaplı, tek veya çok eksenli burgular yardımıyla iyice karıştırılır (Anonim 1999) (Şekil 2.5).

İyileştirme, zeminin dayanımını arttırıp, sıkışabilirliğini ve geçirimsizliğini düşürerek zeminin mühendislik özelliklerini geliştirmektedir. Çimento, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, kireç, çeşitli katkılar veya bunların birleşimleri bağlayıcı madde olarak kullanılmaktadır (Anonim 1999).



Şekil 2.5: Derin karıştırma şematik gösterimi (Url-5).

2.1.6 Kireç kolonlar

Kireç kolonlar, çimento yerine kirecin kullanıldığı veya çimento ile kirecin beraber kullanıldığı bir çeşit derin zemin karıştırma yöntemidir. Kireç kolonlar derin yumuşak kil tabakalarının stabilizasyonunda çok etkilidir. Kireç ile kil mineralleri arasında, dayanımda önemli bir artış ve yerel malzemenin plastisitesinde azalmaya neden olan bir puzolanik reaksiyonu oluşur. Kirecin hidrasyonu sonucu ortaya çıkan ısı ile killi zeminlerin su muhtevası düşer ve bu da konsolidasyonun hızlanmasına ve dayanım kazanılmasına yol açar. Kireç kolonlar yük desteğinde, doğal ve yarma şevlerin stabilizasyonunda ve kazı destek sistemi olarak kullanılabilir (Ergun ve diğ. 2005).

2.1.7 Su düşürümü (drenaj)

Kuyu ve hendeklerle yer altı su seviyesinin düşürülmesi, kum drenler, çakıl drenler ve prefabrike drenler su düşürümü ile sağlanan zemin iyileştirme yöntemleridir (Raj 2005).

Kum drenler, yüksek dolguların oturduğu yumuşak veya killi taban zemininin konsolidasyonunu hızlandırmak, dolgunun yapımı sırasında ve sonunda ortaya çıkabilecek onarımı güç oturmaları önlemek için uygulanan bir yöntemdir (Xanthakos ve diğ. 1994).

Çakıl drenler, sıvılaşma esnasında oluşan aşırı boşluk basınçlarının boşalmasını sağlayarak sıvılaşma tehlikesinin azaltılması amacı ile kullanılması önerilen bir çeşit taş kolonlardır. Sıvılaşan bölgenin iyileştirilmesi, iyileştirilmemiş bölgeden gelecek boşluk suyu basınçlarının toplamak için iyileştirilen bölgenin çevresini ıslah eden bir yöntem olarak kullanılır (Anonim 1999).

Fitul drenler olarak da bilinen prefabrike düşey drenler oturma hızını ve dolayısıyla dayanım artma hızını arttırmak amacıyla genellikle yumuşak, kohezyonlu zeminler için kullanılmaktadır. Düşey drenlerin kullanılması drenaj yolunu kısaltmakta ve dolayısıyla oturma hızını artırmaktadır (Xanthakos ve diğ. 1994).

2.1.8 Permeasyon (sızdırma-empirme) enjeksiyonu

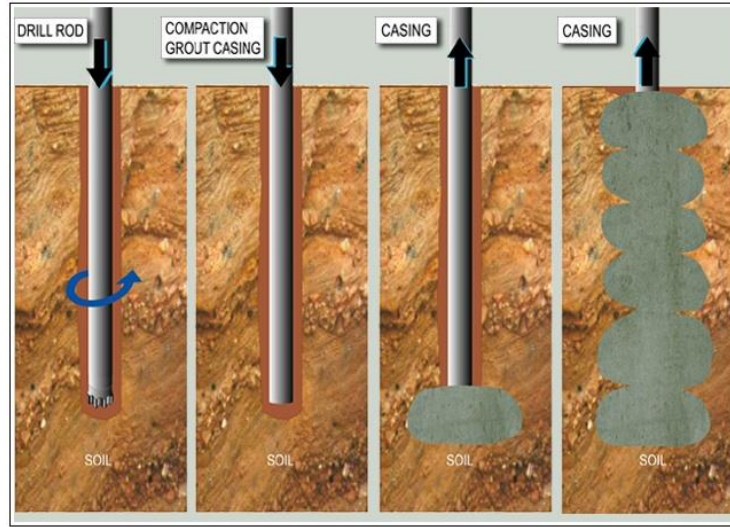
Bu enjeksiyon yönteminde düşük viskoziteli enjeksiyon malzemesi, zemin içerisindeki boşluklara, düşük basınçlarda nüfuz etmekte dolayısıyla zeminin hacmi ve yapısında bir değişiklik meydana getirmemektedir. Zemin içerisine enjekte edilen malzeme zamanla sertleşmekte ve böylece zeminin mekanik ve hidrojeolojik özelliklerini değiştirmektedir (Xanthakos ve diğ. 1994).

2.1.9 Kompaksiyon Enjeksiyonu

Kompaksiyon enjeksiyonu, çok derinlerdeki bölgesel zemin tabakalarını etkin bir şekilde sıkıştırabilmesi, kullanılan ekipmanın dar bölgelerde hatta bina bodrum katlarında bile çalışabilmesi, yapım esnasında nispeten daha az atık ve kirlilik

oluşturması ve mevcut yapılar üzerindeki titreşim etkilerinin asgari olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Byle ve Borden 1995).

Kompaksiyon enjeksiyonunda kritik nokta, enjekte edilen malzemenin enjeksiyon noktası etrafında giderek genişleyen küresel bir kütle olarak kalabilmesidir (Şekil 2.6). Kullanılan malzemenin çok akışkan (düşük viskoziteli) olması durumunda etraftaki zemin hidrolik çatlamaya maruz kalır ve sıkıştırma işlemi üzerindeki kontrol kaybedilebilir. Daha da fazlası bu durum enjeksiyon noktası üzerindeki binalara veya yakındaki yeraltı yapılarına zarar verebilir.



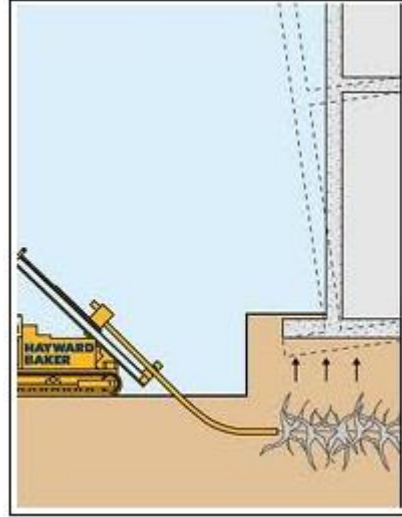
Şekil 2.6: Kompaksiyon enjeksiyonu şematik gösterimi (Ur1-6).

Kompaksiyon enjeksiyonu hemen hemen bütün tip zeminlerde uygulanmakla beraber yumuşak killerde enjeksiyondan kaynaklanan aşırı boşluk suyu basınçları çok yavaş sönmüneceğinden özel önlemlerin alınması gerekebilmektedir (Graf ve Case 1992).

2.1.10 Çatlatma enjeksiyonu

Çatlatma enjeksiyonunda zeminin kontrollü bir şekilde, kararlı fakat düşük viskoziteli çimento enjeksiyonu ile yüksek basınçlarda çatlatılması söz konusudur. Bu enjeksiyon tekniği temel olarak permeasyon enjeksiyonunun mümkün olmadığı düşük geçirimsizliğe sahip, ince daneli zeminlerin, stabilizasyonunda uygulanmaktadır (Şekil 2.7).

Çatlatma enjeksiyonu sonucunda zemin içerisinde ağaç dallarına benzer sertleşmiş çimento kanalları oluşmakta ve bu sayede zemin kontrollü bir şekilde ve bölgesel olarak sıkıştırılmaktadır. Çimento şerbeti başlangıçta yüksek basınçlarda enjekte edilmekte ve zeminin çatlamasıyla beraber oluşan çatlaklar çimento ile doldurulmaktadır. Oluşan çatlakların boyu, genişliği ve hacmi enjeksiyon basıncına ve mevcut jeostatik gerilmelere bağlıdır (Gallevresi 1992).



Şekil 2.7: Çatlatma enjeksiyonu şematik gösterimi (Url-7).

2.1.11 Patlatma

Suya doymuş, gevşek, kohezyonsuz zeminlerin dinamik olarak sıkıştırılma yollarından biri de patlayıcı maddelerin infilak ettirilmesi ile uzunlamasına ve kayma dalgalarının oluşturulmasıdır. Bu yöntem ile bağlayıcı ve yapışkanlık özelliği az olan zemin bileşenleri patlatma etkisi ile yer değiştirerek ve daha küçük parçalara ayrılarak çıkan tozun da etkisi ile sıkışmaya uygun bir yapıya dönüştürülmektedir (Court ve Mitchell 1994).

2.1.12 Ek dolgu ile ön yükleme

Ek dolgu ile ön yükleme, konsolidasyon oturmalarının tamamlanması için gereken sürenin kabul edilemez derecede uzun veya çok kalın homojen kil tabakalarının mevcut olduğu durumlarda söz konusudur (Rowe 2001).

Temel kural, zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde ek dolgunun uygulanmasıdır. Böyle bir yükün uygulanması gereken durumlarda yükleme hızı, oluşan aşırı boşluk suyu basınçlarının sönmemesini sağlayacak şekilde belirlenir ya da dolgunun hemen altında jeotekstiller kullanılmaktadır (Rowe 2001).

Konsolidasyonu hızlandırmanın en etkili yolu, ön yüklemeye dolayısıyla oluşan aşırı boşluk suyu basınçlarının hem düşey hem de yatay yönde sönmemesini sağlamaktır. Düşey ve yatay yöndeki geçirimsizlik katsayıları büyük değişiklikler göstermektedir. Birçok durumda kilin yapısına bağlı olarak yatay geçirimsizliğin düşey geçirimsizlikten yüksek olduğu görülmüştür. Belli aralıklarla kil içerisine yerleştirilen yüksek geçirimsiz düşey kolonlar yeraltı suyunun yatay olarak hızlı bir şekilde drene olmasını sağlamakta, bu esnada aynı zamanda düşey drenaj da devam etmektedir. Sonuç itibarıyla sistem doğal durumdan çok daha hızlı bir şekilde konsolide olmaktadır (Rowe 2001).

2.1.13 Vakum uygulaması ile ön yükleme

Vakum uygulaması ile konsolidasyon suya doygun yumuşak killerin ön dolgu ile yüklenerek göçmesine yol açmaksızın iyileştirilmesini sağlayan etkili bir yöntemdir. Zeminin etrafı hava geçirmez bir membranla kaplanır ve bir çift venturi vakum pompası kullanılarak membran altında vakum oluşturulur. Bu yöntem ile 4.5 m yüksekliğinde normal bir ek dolgunun sağlayacağı eşdeğer bir ön yükleme gerçekleştirilebilir (Terashi ve Juran 2000).

Vakum uygulaması ile konsolidasyon, normal mekanik ön yüklemeye olduğu gibi toplam gerilmeleri artırarak zemin kütledeki etkin gerilmeleri artırmak yerine, toplam gerilmeyi sabit tutup boşluk suyu basıncını azaltma yoluyla sağlanmaktadır (Terashi ve Juran 2000).

2.1.14 Elektro-Osmoz

Elektro-osmoz ince taneli zeminlerde katot ve anot kullanılarak elektriksel alan oluşturma sonucu su akışının ve hareketinin sağlandığı bir işlemdir. Eğer suya doygun, killi bir zemine doğru akım (DC) elektrik enerjisi uygulanırsa, katyonlar

katoda ve anyonlar da anoda çekilecektir. Katyonlar ve anyonlar hareket ederken kendi hidrasyon sularını ve viskoz sürtünmeden kaynaklanacak ek suları taşırlar. Net negatif yük dolayısıyla hareketli katyonlar anyonlardan daha çok olup killi zemin içerisindeki net boşluk suyu akımı katoda doğru olacaktır. Eğer katot bir nokta kuyu ise, katotta toplanan su çekilebilir ve elektrotlar arasındaki zemin de konsolide olur. Konsolidasyon anotta en fazla, katotta ise en azdır. Katotun kendisinde ise hiç konsolidasyon olmayacaktır. Elektro-osmoz işlemi daha düşük bir su muhtevası ve sıkışabilirlik, daha yüksek bir dayanım sağlamaktadır. Doğru akım elektrik enerjisinin suya doymuş bir kile uygulanmasıyla iyon ve mineral değişime yol açan elektrokimyasal bir sertleşmeden dolayı dayanımda ek bir artış, plastisitede de bir düşüş gerçekleşebilir (Rittirong ve Shang 2005).

2.1.15 Geotekstiller

Geosentetik donatı olarak da isimlendirilen geotekstiller oldukça ince ve esnek polimer malzemelerdir. Son yıllarda, farklı mekanik özelliklerde çok sayıda yeni malzemenin geliştirilmesiyle, geotekstillerin kullanımında olağanüstü bir artış olmuştur. Geleneksel yöntemlerin yerine çok çeşitli işlerde kullanılabilen bu malzemeler zemine doğal olarak sahip olmadığı yeni özellikler kazandırıp mühendislik parametrelerini geliştirmekte, doğrudan ve dolaylı üstünlükler sağlamakta, muhtelif geri kazanımlara neden olmakta ve inşaat maliyetlerini düşürmektedir (Yılmaz ve Eskişar 2007).

2.1.16 Donatılı zemin

Bu yöntemde zemin malzemesi galvanizli çelik veya plastik jeogridlerden oluşan elemanlarla güçlendirilir. Özellikle granüler zemin çekme dayanımında çok zayıf olduğundan, eğer şerit elemanlar zemin içerisine yerleştirilirse zemindeki çekme kuvvetleri bu şerit elemanlara iletilebilir. Oluşan bu kompozit yapı güçlendirici elemanların çalıştığı yönde bir çekme dayanımına sahip olmaktadır (Ergun ve diğ. 2005).

2.1.17 Isıl işlemler (ısıtma-dondurma)

Isıtma ya da camlaştırma işlemi zemin bileşenlerini kristal ya da cam ürünler haline getirir. Bu işlemde zemini ısıtmak ve zeminin fiziksel karakteristiğini modifiye etmek için elektrik kullanılır. Normal hava sıcaklığında bile ince daneli malzemelerin özellikleri desikasyon (kuruma) yoluyla iyileşmektedir. Bu çoğu kez ıslah edilmiş çamur yüzeyinde kuru kabuk olarak görülmektedir. Islah işlemi çok yavaş olduğunda desikasyona uğramış tabaka kalınlığı birkaç metreyi bulmaktadır. Zeminin suni olarak ısıtılması ise çok daha verimli olup niteliğine göre uygulanacak sıcaklık 300° ile 1000° C arasında değişmektedir (Terashi ve Juran 2000).

2.1.18 Çimento ile stabilizasyon

Çimento stabilizasyonu ile zemin iyileştirme; granüllü zeminlerin toz haline getirilerek çimento eklenmesi ve karıştırılması ile gerçekleşmektedir. Gerekli zemin bölümleri; toz haline getirme, çimento ekleme, ıslatma ve sıkıştırma yöntemlerinin kullanımı ile iyileştirilmektedir. Bu yöntem, gevşek ve akışkan olmayan, yoğunluk ve nem olarak tüm zemin derinliğinde benzerlik gösteren zeminlerde uygulanmakta ve etkili olmaktadır (Bell 1993).

2.1.19 Kireç ile stabilizasyon

Kireç ile zemin güçlendirme mevcut zemin malzemesi ile kireç tozu ya da kireç çamurunun karıştırılması ve zeminin sıkıştırılması ile gerçekleşmektedir. Genellikle ince taneli zeminlerde uygulanır (Süt 2006).

Kireç, yüksek plastisiteli ve kil içeriği yüksek olan kohezyonlu zeminler için iyi bir iyileştirme katıdır. Bunun nedeni, kil mineralleri ve kireç arasında meydana gelen reaksiyonlardır. Bu reaksiyonlar kısa vadeli ve uzun vadeli iyileşmeler sağlar. Kısa vadeli iyileşmeler, katyon değişimi ve flokülasyon-aglomerasyon sonucu, uzun vadeli iyileşmeler ise puzolanik reaksiyonlar sonucu olmaktadır. Hızlı bir şekilde gelişen katyon değişimi ve flokülasyon-aglomerasyon sonucu direnimde ani bir artış,

plastisitede düşüş, işlenebilirlikte artış ve şişme potansiyelinde düşüş görülür. Yavaş ilerleyen puzolanik reaksiyonlar sonucu ise direnimde artış görülür (Süt 2006).

2.1.20 Uçucu kül ile stabiliteasyon

Uçucu kül alüminyum, silisyum, çeşitli oksitler ve alkaliler içeren yapay puzolanik yapıda bir malzeme olup sönmüş kireçle reaksiyonunda çimentolaşma görülür. Bu yüzden çimentoyla beraber (% 10-35 uçucu kül, % 2-10 kireç) kullanılarak etkili karışımlar elde etmek mümkündür. Bunun yanında yapısında kireç içeren uçucu küller de vardır ve bunlar normal uçucu küllerle karıştırılarak, kirece ihtiyaç duyulmadan aynı etkiyi gösterecek karışım elde edilebilir. Maliyeti önemli ölçüde azalttığı için tercih edilen bir yöntemdir (Vazquez 1991).

2.1.21 Hafif malzemeler

Bu zemin iyileştirme tekniği yumuşak, sıkışabilir bir zemin üzerindeki ağırlığın hafif dolgu malzemelerinin kullanılmasıyla azaltılmasını içermektedir. Hafif malzeme bir dolgu yapımında olduğu gibi ya dolgu olarak yer yüzeyine veya kazılmış doğal bir zemin tabakası yerine kullanılabilir ve zemin üzerine etki eden gerilmelerin azalmasını sağlar (Ergun ve diğ. 2005).

2.1.22 Jet-Grouting yöntemi

İlk olarak Japonya'da geliştirilen püskürtmeli enjeksiyon (jet grouting) sistemi, daha önceden açılan sondaj kuyusuna indirilen ve 360 derece sürekli döndürülerek geri çekilen bir boru takımı içinden çok yüksek basınçlarla enjeksiyon karışımı basılarak, kil – silt gibi ince tane boyutuna kadar zeminlerde ve çok zayıf, bozunmuş kaya ortamlarında enjeksiyon yapılmasını sağlayan bir tekniktir (Şekil 2.8). Boru takımı etrafındaki gereçler enjeksiyon karışımı ile karıştırılarak zeminin türüne ve uygulanan yüksek basınca göre 2 m'ye kadar enjeksiyonlu zemin sütunları oluşturulabilir.



Şekil 2.8: Jet grouting uygulaması modeli (Url-8).

Jet grouting kolonların çeşitli amaçlarla kullanımları aşağıda sıralanmıştır (Durgunoğlu 2004):

- Temeller altında, düşey yükler için basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü,
- Döşemeler altında düşey ve özellikle yüksek yayık yükler altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü,
- Dolgular altında basınç elemanı olarak taşıma gücü ve deplasman kontrolü,
- Köprülerde yaklaşım dolguları altında düşey dolgu yüklerinin taşınması, dolgu altında oturma kontrolü ve kenar ayak kazıklarına negatif çeper sürtünmesi intikalinin önlenmesi,
- Havuzlarda, yer altı su depolarında ve su yapılarında, donatı ile teçhiz edilerek çekme elemanı olarak,
- Kazılarda, ağırlık tipi istinat yapısı teşkili ile yanal zemin itkilerinin alınması
- Kazılarda donatı ile teçhiz edilerek düşey eğilmeye maruz iksa elemanı olarak,
- Kazılarda ve ankrajlı istinat yapılarında özel donatı ile ankraj elemanı olarak,

- Geçirimli zeminlerde ve yüksek yer altı su seviyesi ile kazılarda taşıyıcı elemanlar arasında batardo kapama elemanı olarak,
- Yumuşak killerdeki kazılarda kazı öncesi kazı taban seviyesi altında teşkil edilen payanda elemanı olarak,
- Kazı tabanından kazıya gelecek yeraltı suyunun kontrolü için tıkaç elemanı olarak.
- Şevlerde stabilitenin sağlanması için zemin takviye elemanı olarak, veya ağırlık batardo su teşkili ile,
- Yumuşak zeminde açılan yüzeye yakın tünellerde tünel üstündeki zeminin iyileştirmesi amacı ile,
- Yumuşak zeminde açılan tünellerde tünel içinde ve ayna önünden yapılarak, kazı öncesi tünel kesiti üzerinde taşıyıcı bir şemsiye oluşturulması amacı ile,
- Önemli ve ağır yapılarda sıvılaşma güvenlik sayısı düşük olan yerlerde kazıklı temellere gelecek yatay yüklerin ve oluşacak deplasmanların kontrolü için kazıklarla birlikte,
- Sıvılaşma sonucu oluşacak zemin yanal ve düşey deplasmanlarının sınırlandırılması için yapı etrafında veya altında kapama elemanları olarak,
- Sıvılaşma riskine karşı güvenlik sayısının arttırılması için zeminde oluşan kayma gerilmelerinin bir kısmının taşınarak deprem sonucu oluşabilecek düşey ve yanal deplasmanların sınırlandırılması için imal edilirler.

2.1.22.1 Yöntemin teknik özellikleri

Bu yöntemde zemin doğrudan doğruya genellikle su-çimento karışımı stabil bir malzeme ile, en az 300 barlık çok yüksek basınçlı enjeksiyonla karıştırılır. Delme tijinin ucunda bulunan monitördeki püskürtme memelerinden (nozül) 250-300 m/sn gibi bir hızla çıkan enjeksiyon, zeminin doğal yapısını bozarak zemin ile stabilize malzemenin karışımından meydana gelen, özellikleri tamamen değiştirilmiş ve iyileştirilmiş, çimento-zemin karışımından oluşmuş jet grouting kolonlar meydana getirir (Essler ve Yoshida 2004).

Jet grouting yöntemi, hemen her tür zayıf zemin tiplerinde ve kum, çakıl, kil gibi doğal zemin elemanlarının oluşturduğu kombinasyonlarda diğer iyileştirme yöntemlerinden daha hızlı, güvenilir, kalıcı ve ekonomik bir çözüm alternatifi olmakla beraber diğer klasik enjeksiyon sistemlerinden en önemli farkı, uygulamadan önce gerekli malzemenin miktarı ile iyileştirilmiş zeminin taşıma gücü, deformasyon modülü ve geçirimsizliği gibi çeşitli zemin parametrelerinin bilinmesi ve dolayısıyla işe başlamadan maliyetin belirlenebilmesidir. Yapım sırasında enjeksiyon hızı, açısı, tijn dönme ve geri çekiş hızı, nozul çapı ve sayısı gibi parametrelerin değiştirilmesi ile çeşitli iyileştirilmiş zemin şekilleri elde etmek mümkün olmaktadır (Xanthakos ve diğ. 1994).

İlke olarak önceden hazırlanmış enjeksiyon şerbetinin çok yüksek basınç altında ince püskürtme memelerinden zemin içine püskürtülerek çevredeki zeminin bu şerbetle karıştırılması esasına dayanan yöntemi delme, zemini kesme ve dolgu aşaması olarak üç aşamada irdelemek mümkündür.

Delme işleminin çeşidi, delinecek zeminin özelliklerine bağlı olarak seçilir. İlk etapta zemin özel ataşmanlı delgi makineleriyle öngörülen derinliğe kadar delinir. Delgi sırasında kuyu ağzının yer altı su seviyesi üzerinde olması çalışabilme açısından tercih edilir (Askay 2002).

Delme işleminin kolaylaştırılması, uç takımının soğutulması ve zeminin enjeksiyona hazırlanması amacıyla delgi sırasında su, hava, bentonit süspansiyonu veya çimento su karışımı gibi çeşitli akışkanlar kullanılmaktadır. Uç takım olarak, yumuşak karakterli zeminlerde genellikle kil bitleri, sert karakterlerde ise tricone bitler ve bloklu zeminlerde delik dibi tabanca bitleri (DTH) kullanılmaktadır. Delme borusu (tij) olarak da bağlantı manşonlarında 600-700 bar basınca dayanıklı sızdırmazlık elemanları (keçe) kullanılan yüksek basınca dayanıklı özel imal edilmiş delgi tijleri kullanılmaktadır (Askay 2002).

Zemini kesme aşamasında, projede belirlenen derinliğe erişildiğinde delme ve akışkan basma işlemi durdurulur, çelik bir bilye, tijn içine bırakılarak uç kısmın hemen üstünde yer alan bir valf bu suretle kapatılmış olur. Valf kapanınca tije gönderilecek enjeksiyonun yönü boru ucunda monitör diye adlandırılan ve nozulları taşıyan takıma çevrilmiş olur. Jetleme enjeksiyonu genellikle 300 ile 600 bar basınçla, 1.8 ile 4.0 mm çap aralıklı nozullarda yapılır. Yaklaşık 250 ile 300 m/sn

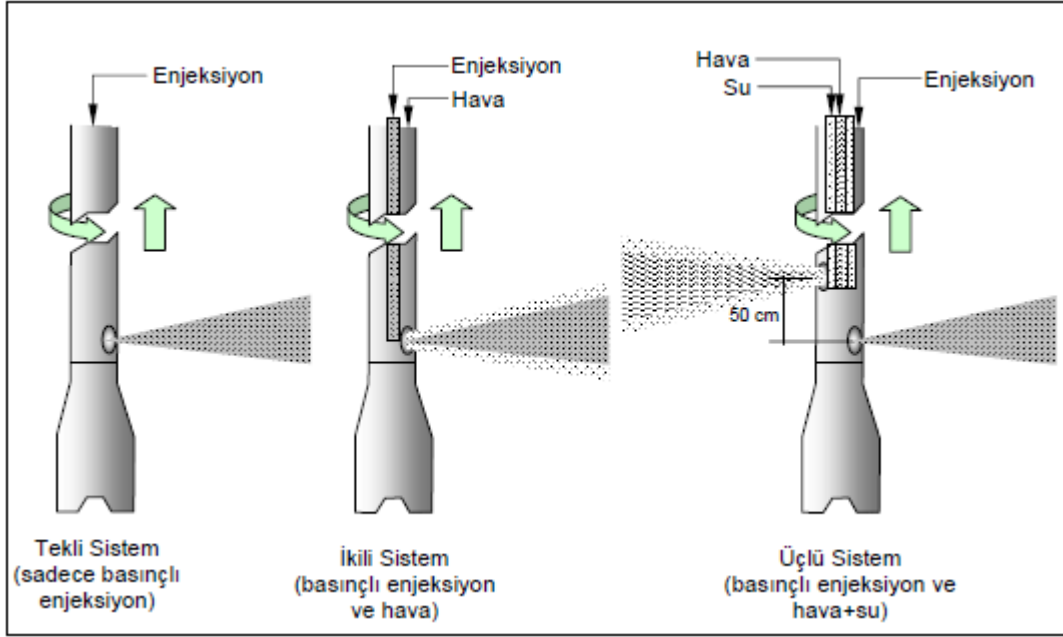
arası hızla çıkan enjeksiyon şerbeti, taşıdığı yüksek kinetik enerji dolayısıyla çevredeki zemini parçalar, karıştırır ve zemin-çimento şerbetinden oluşan özellikleri tamamen farklı yeni bir malzeme (soilcrete) oluşturur (Xanthakos ve diğ. 1994).

Dolgu aşamasında ise delici takımın önceden belirlenmiş dönme hareketi, sabit bir hızla çekme hareketi ile birleşince zemin cinsine bağlı olarak değişik çaplarda jet grouting kolonlar elde edilir. Dolgu işlemi sırasında kesilip karıştırılan zeminin bir kısmı delici takım etrafından yüzeye çıkar (kuma). Bu durum ıslah edilen zeminde basınç olmadığını ve enjeksiyon basıncının çevreye ve üst yapılara zarar vermeyeceğinin göstergesidir. Zemin içerisinde basınç kaldığı takdirde zeminde kırılma ve buna bağlı olarak da kabarma oluşur ve kolonların sürekliliği tehlikeye girer. Bu olayı önlemek için enjeksiyon basıncını düşürürken çekme hızının arttırılması, enjeksiyon debisi miktarının azaltılması, masif kil özellikli zeminlerde ön yıkamalı delgi yapılması yararlı olur. Kuma miktarı zeminin geçirimsizliğine ve türüne bağlı olarak killerde daha fazla, kum ve çakıllarda daha az olmak üzere ortalama olarak enjekte edilen miktarın % 10'u mertebesinde (Xanthakos ve diğ. 1994).

Çeşitli türden bağlayıcı, materyalin yüksek hızla ve önceden belirlenmiş miktar ve dozda zemine enjekte edilmesi işlemi olan jet grouting, bunu çeşitli yollardan sağlayabilir.

2.1.22.2 Jet grouting uygulama sistemleri

Jet grouting türü iyileştirme, genel olarak 3 farklı yöntemle yapılabilir (Şekil 2.9). Sadece basınçlı enjeksiyon, hava ve enjeksiyon ya da üçünün bir arada kullanıldığı bu 3 tür jet grouting yöntemi hangisinin kullanılacağına, iyileştirmenin yapılacağı zemin türü, ulaşılmak istenilen kolon çapı gibi kriterlere bağlı olarak karar verilir.



Şekil 2.9: Jet grouting uygulama sistemleri (Anonim 1992).

2.1.22.2.1 Jet 1

Delgi ve enjeksiyon işlemlerinin tek kanallı tijle yapılmakta olduğu en yaygın yöntemdir. Enjeksiyon 300 ile 600 bar arasında bir basınçla tij içinden yapılmaktadır. Bu yöntemle elde edilen zemin-çimento karışımı jet grouting kolonların çapları, zemin cinsi ve çalışma parametrelerine bağlı olarak killi zeminlerde 600 ile 800 mm, kum-çakıl zeminlerde ise 1000 ile 1200 mm arasında değişen değerlerde olabilmektedir (Croce ve Flora 2000).

2.1.22.2.2 Jet 2

Tekli sisteme göre daha ince gereçler içeren zeminlerde ve enjeksiyonlu zemin sütünü çapı daha büyük istenildiği zaman uygulanır. Bu sistemde boru takımı içinde enjeksiyon karışımının püskürtüldüğü iç boru sistemi vardır (Anonim 1992).

Jetleme enjeksiyonu jet 1 yönteminde olduğu gibi içteki borudan yapılır. Dıştaki borudan 8 ile 10 bar arasında değişen miktarlarda basınçlı hava verilir. Basınçlı hava, jet 1'deki kinetik enerji sürtünme kayıplarını kısmen azalttığı için, bu

yöntemle oluşan kolon çapları jet 1 'e kıyasla % 60 ile % 80 daha büyük olur (Croce ve Flora 2000).

2.1.22.2.3 Jet 3

Zemindeki toprak, kil, silt gibi gereçler enjeksiyon karışımı ile uygun dayanım değerlerine sahip enjeksiyon sütunları oluşturmayabilir. Bu durumda uygun olmayan gereçler hava – su karışımı ile püskürtme yapılarak temizlenir ve kuyu dışına atılan bu gereçlerin yerine enjeksiyon karışımı doldurulur. Kajima yöntemi olarak da bilinen bu sistemde, su, hava ve enjeksiyon karışımı iç içe borularla ayrı ayrı kuyu içine uygulanır (Anonim 1992).

Delgide su ile hava, dolguda ise enjeksiyon şerbetinin kullanıldığı bu yöntemde sistem aynı merkezli, iç içe üç borudan oluşmaktadır. 400 ile 600 bar arası değişen basınçlı su, en iç borudan basılır. 8 ile 12 bar arası basınçlı hava ortadaki borudan verilmektedir. Su ve hava, jet 2 yönteminde olduğu gibi nozullardan zemine girer. Dıştaki borundan gelen enjeksiyon şerbetinin basıncı 30 ile 80 bar arasında değişmektedir. Hava + su basıncı ile önü açılan enjeksiyon şerbeti daha uzaklara kadar zemine nüfuz edebilir. Bu şekilde uygun zemin koşullarında 2000 mm üzeri soilcrete kolon oluşturmak mümkün olabilmektedir. Bu yöntemle imal edilen kolonlarda zemin çimento karışımı malzeme içerisine giren hava ve fazla su nedeniyle, çaptaki büyümeye karşı kolonların dayanımında bir miktar azalma söz konusu olmaktadır (Croce ve Flora 2000).

2.1.22.3 Jet grouting işletim parametreleri

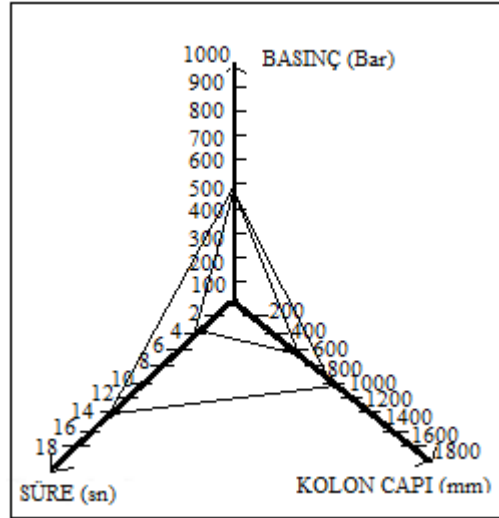
Jet grouting yöntemi bir seri parametrelerden oluşan bir yöntemdir. Bu parametrelerin bir kısmı kullanılan makine ve ekipmanın kapasitelerine bağlı olan sınırlı, diğer bir kısmı ise enjeksiyon işleminden istenen sonuca ve zemin cinsine bağlı değişebilen parametrelerdir. Çalışma parametreleri, zemin özelliklerine, elde edilmek istenen kolon çapına, kolonunun taşıma kapasitesine ve tercih edilen jet grouting metoduna göre seçilmektedir. Bu parametrelerin başlıcaları; enjeksiyon basıncı, dozaj, çekme ve dönme hızı olarak gösterilebilir. Jet grouting 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.

2.1.22.3.1 Enjeksiyon basıncı

Enjeksiyon basıncının çalışma aralıklarına göre, jet grouting 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 2.10'da görüldüğü üzere basınç ile kolon çapı arasında direkt 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 2.10: Basınç-kademeli bekleme süresi-hedeflenen kolon çapı ilişkileri (Melegary ve Garassino 1997).

2.1.22.3.2 Dönme ve çekme hızı

Dönme ve çekme hızı jet grouting 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 grouting 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 kademede 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 grouting miktarına bağlıdır. Kohezyonlu zeminlerde, nozullardan 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. Jet 2 ve jet 3 metotları, daha büyük çaplar hedeflediği ve dolayısıyla ıslah edilen zemin hacmi daha büyük olduğu için, daha uzun sürelere ihtiyaç duyarlar.

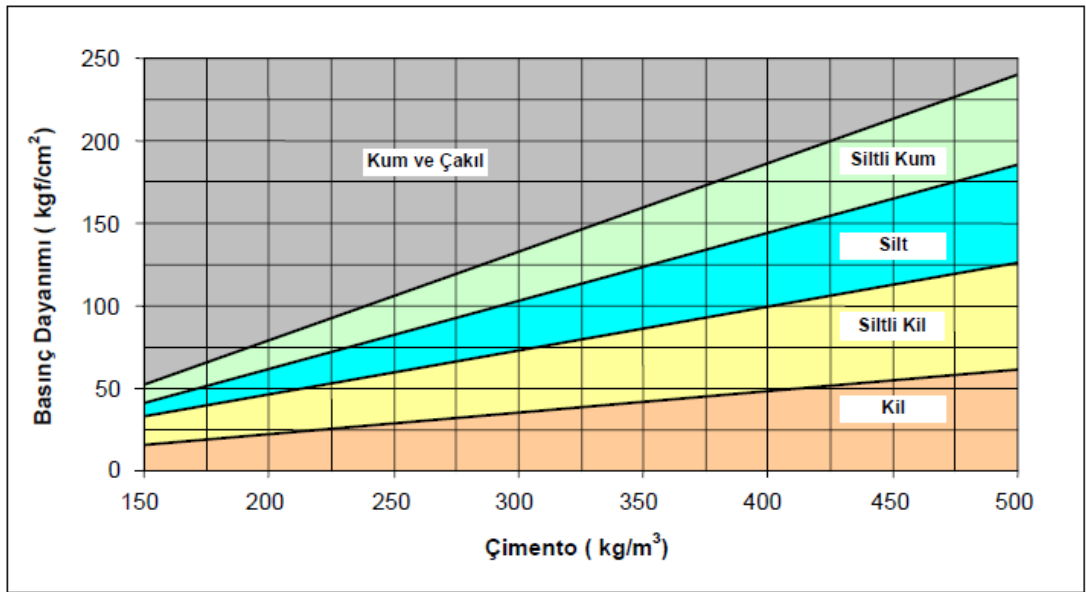
2.1.22.3.3 Dozaj

Standart su/çimento oranı 1, özgül ağırlığı ise 1410-1570 kg/m³'dür. Bu oran, seçilen metot, uygulanan ıslah yöntemi ve kolonların nihai mukavemetlerine göre değişebilir. Su/çimento oranının, su geçirmez plastik grouting perde teşkili için karışımda bentonit kullanımının 0.7' nin altına inmesi uygun görülmez. 1 m³ ıslah edilmiş zemin içindeki çimento miktarı 350-700 kg/m³ arasında değişir (Melegary ve Garassino 1997).

2.1.22.4 Enjeksiyon işletim parametrelerinin seçimi

Parametrelerin yaklaşık hesaplanmasında izlenecek işlemler sıralanırsa :

1. Uygulama öncesinde karar verilmesi gereken ilk parametre, zeminin türüne göre enjeksiyon sütununun uygulama sonrasındaki basınç dayanımının ne olacağıdır. Bu basınç dayanımını sağlamak için 1 m^3 enjeksiyon karışımında kullanılacak olan çimento miktarının bilinmesi gereklidir. Bunun için çeşitli zeminlerin çimento enjeksiyonu sonrasındaki basınç dayanımları ilişkisini veren Şekil 2.11'deki abak kullanılarak istenilen basınç dayanımını sağlamak için kullanılacak çimento miktarı konusunda yaklaşım yapılabilir.



Şekil 2.11: Çeşitli zeminlerde istenilen basınç dayanımı için çimento miktarları (Url-9).

2. Proje için istenilen enjeksiyon sütunu çapının seçimi ve bu çapa ulaşmak için sütunun 1 m derinliğine harcanacak çimento miktarının hesaplanması ikinci işlem sırasıdır.

3. Bu işlem sırasında enjeksiyon karışımı bileşenlerinin seçimi yapılır. Karışıma girecek bileşenlerin su ile karışımından sonra, pompalanabilir özellikte olması istenir. Yüksek su/çimento oranlarında, karışımın pompalanma özelliğinin artmasına rağmen basınç dayanımı düşük olur. Bu durumun tersinde de düşük su/çimento oranları, karışımın pompalanma özelliğini azaltmasına rağmen basınç dayanımının artmasına neden olur.

Aynı zamanda karışıma girecek bileşenlerin oranları, püskürtmeli enjeksiyon uygulamasının yapılacağı zeminin tane boyu dağılımına, permeabilite değerine ve doğal su içeriğine bağlıdır.

Geçirgen taneli (kumlu – çakıllı) zeminlerde yer alan su ve karışımdan gelen su, sütunun oluşturulduğu yerden içsel akış ile gidebilir. Bu durumda su/çimento oranının artırılması gerekir. Ters olarak kohezif, düşük permeabiliteli killi – siltli zeminlerde içsel akış çok yavaş olacağından dolayı yüksek basınç dayanımlarına ulaşmak için düşük su/çimento oranının kullanılması gerekebilir. Dayanımın ikinci planda olduğu ve yüksek permeabilite değerine sahip zeminlerde yeraltı suyu akımı etkilerini azaltmak için karışıma bentonit de eklenebilir. Genel olarak karışımın su/çimento oranı 1.0 – 1.5 arasında değişir. Doğal olarak en iyi karışım oranları arazide yapılacak deneme enjeksiyonları ile bulunabilir.

4. (1), (2) ve (3) no'lu işlem sıralarında elde edilen verilerle oluşturulacak olan enjeksiyon sütununun 1 m'si için kullanılacak karışım miktarı hesaplanır.

5. Enjeksiyon püskürtme basıncının seçimi yapılır. Genel olarak 40 – 50 MPa basınç seçilmesine rağmen, en iyi seçim başka yerlerde yapılan daha önceki deneyimlerden elde edilir. Bu etken aynı zamanda yüksek basınçlı pompanın kapasitesine ve zeminin doğasına bağlıdır. Enjeksiyon karışımının yüksek basınçlı olması, püskürtme enerjisinin yüksek olması ve daha yüksek kapasite ile daha kısa zamanda ve daha geniş çaplı sütun oluşturulması anlamına gelir.

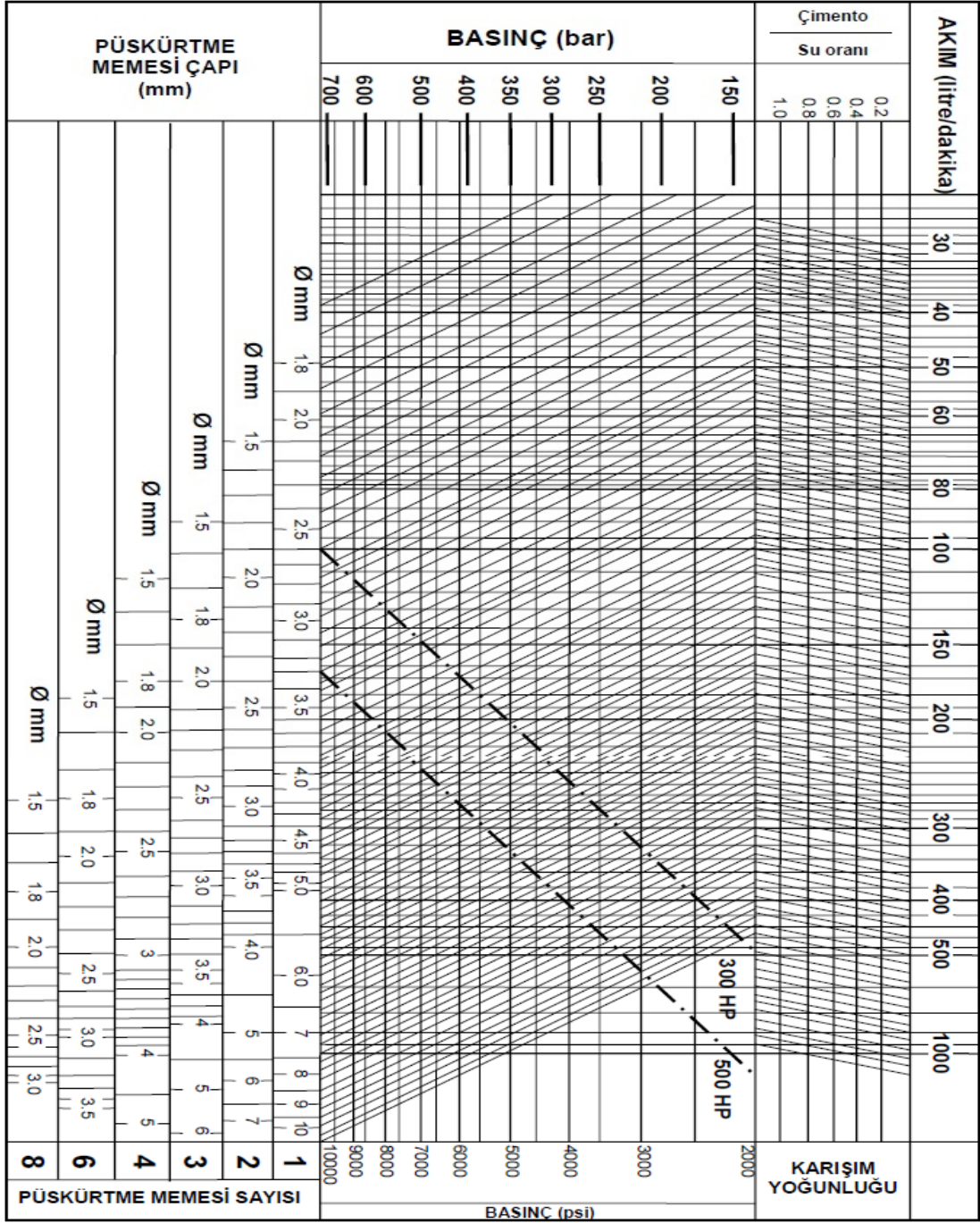
6. Şekil 2.12'deki basınç/akım grafiği kullanılarak püskürtme memelerinin sayısı, çapı ve enjeksiyon karışımının akımı seçilir.

7. (4) ve (6) no'lu işlem sıralarında elde edilen verilerle enjeksiyon sütununun 1 metresinin oluşturulması için geçen zaman hesaplanır.

8. Püskürtmeli enjeksiyonda geri çekilme kademe boyu belirlenir. Bu kademe boyu genellikle 3 – 8 cm olmaktadır. Enjeksiyon takımları yukarı çekilirken uygun enjeksiyon sütunu çapına ulaşabilmek için seçilen kademe boyunda işlem için bekleme zamanı hesaplanır.

9. Püskürtmeli enjeksiyon takımlarının geri çekilirken dönüş hızı saptanır. Bu dönüş hızı her kademe en az 1 veya 2 turu sağlayacak şekilde olmalıdır (Şekil 2.12).

Yukarıdaki işlem sıralamasında hesaplanan parametrelerin kullanılması ile uygulama alanında/yerinde deneme enjeksiyonları yapılır. Bu deneme enjeksiyonları en az 3 ayrı kuyuda ve her kuyuda en az 4 veya daha fazla kademedede yapılır. Her kademedede yapılan deneme enjeksiyonlarında istenilen değerlere ulaşmak için değişik karışım oranları, enjeksiyon – su veya hava akımları ve kademedede bekleme zamanları zeminin farklılıklarına göre değişik olacağı kesindir (Özkan 2006).



Şekil 2.12: Sıkıştırılmayan akışkanlar için basınç-akım grafiği (Özkan 2006).

2.1.22.5 Jet grouting kolon imalat kontrol deneyleri

Soilcrete kolonların performanslarını etkileyen özellikleri olan zemin-çimento karışımının kalitesi ve mukavemeti, imal edilmiş kolonun bütünlüğü, boyu, çapı, geçirimsizliği ve taşıma gücü, uygulama etkinliği ve başarısı doğrultusunda kalite ve proje ölçütleri kontrol edilmelidir. Bu kontroller ön deneyler, gözlem ve proses sırasındaki deneyler, imal edilmiş kolonlar üzerindeki yapılan deneyler ve gözlem olarak sıralanabilir (Anonim 2002).

2.1.22.5.1 Karot numunelerinin alınması

Jet grouting kolonlar ile teşkil edilen kesitin beton kalitesinin tahkikine yönelik her bir blok inşaat alanında karot numuneleri alınarak ve laboratuarda tek eksenli basınç deneyi yapılmaktadır (Şekil 2.13). Ayrıca imalat esnasında enjeksiyon işlemleri tamamlandıktan sonra taze enjeksiyondan piston numune alıcılarla piston numuneler alınıp laboratuarda 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 (Anonim 2002).



Şekil 2.13: Karot alımı ve basınç deneyi (Anonim 2008^a).

2.1.22.5.2 Kolon yükleme deneyi

Projede jet grouting kolon yüklerinin ve jet grouting kolon imalatı kalitesinin tahkik edilmesi amacıyla tüm proje kapsamında imal edilen kolonlardan seçilecek bir adedi üzerinde jet grouting kolon yükleme deneyi yapılır (Şekil 2.14). Yükleme deneyi için bir adet basınç kolonu ile 2 adet çekme kolonu olarak kullanılacak kolonlar imal edilmelidir. Deney doğrultusunda jet grouting basınç kolonuna statik aksenal basınç yükü yüklenerek yük-oturma, yük-zaman ve oturma-zaman grafikleri hazırlanır (Düzceer 2004).



Şekil 2.14: Kolon yükleme deneyi (Anonim 2008^a).

Jet grouting kolonun toplam taşıma kapasitesi kolonun çeperi ve ucu tarafından taşınan toplam kapasitesidir. Deney yükü için ise jet grouting 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 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 10 mm'yi geçmemesi gerekmektedir (Düzceer 2004).

Deney ekipmanları, kazığa verilecek eksenel yüke maruz reaksiyon kirişleri, hidrolik kriko 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 alınır.

2.1.22.5.3 Kolon süreklilik deneyi (Pile integrity test)

Düşük deformasyon seviyeli bir deney olan kazık süreklilik deneyi, kolonlardaki taşıma kapasitesini etkileyebilecek ana süreksizliklerin (kırık, çatlak, uygulama hatası, kesit daralması v.b.) tayininde ülkemizde ve dünyada çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için uygulanan kolon süreklilik deneyinde kolonların üst ucundan küçük bir çekiç darbesi verilmektedir. Bu darbenin ivme sinyali A, kazık üstüne geçici olarak yapıştırılan bir akselometre ile algılanarak sayısallaştırılıp bilgisayarda kaydedilir (Şekil 2.15). Kolondaki şekil/malzeme değişikliklerinden ve kolon ucundan yansıyan sinyaller de algılanarak hız sinyali olarak kaydedilir (Rausche 1988).

İvme ölçer sinyali büyütülüp, özellikle zayıf uç sinyalleri bütün deney bilgileri korunarak dijital forma çevrilmektedir. Hız, ivme sinyalinin integrali alınarak hesaplanmaktadır. Hız-zaman grafikleri deney aletinin ekranında görüntülenmekte ve post-process için saklanmaktadır. Kolon süreklilik deney (p.i.t) sinyalleri ile, kolon kesit değişimi, zemin özellikleri, kolon özgül ağırlığı aynı zamanda kolondaki boşluklar, betona zemin karışması ve kırıklar gibi kolonun öz direncini etkileyen hususlar ile ilgili bilgiler bulunabilmektedir.

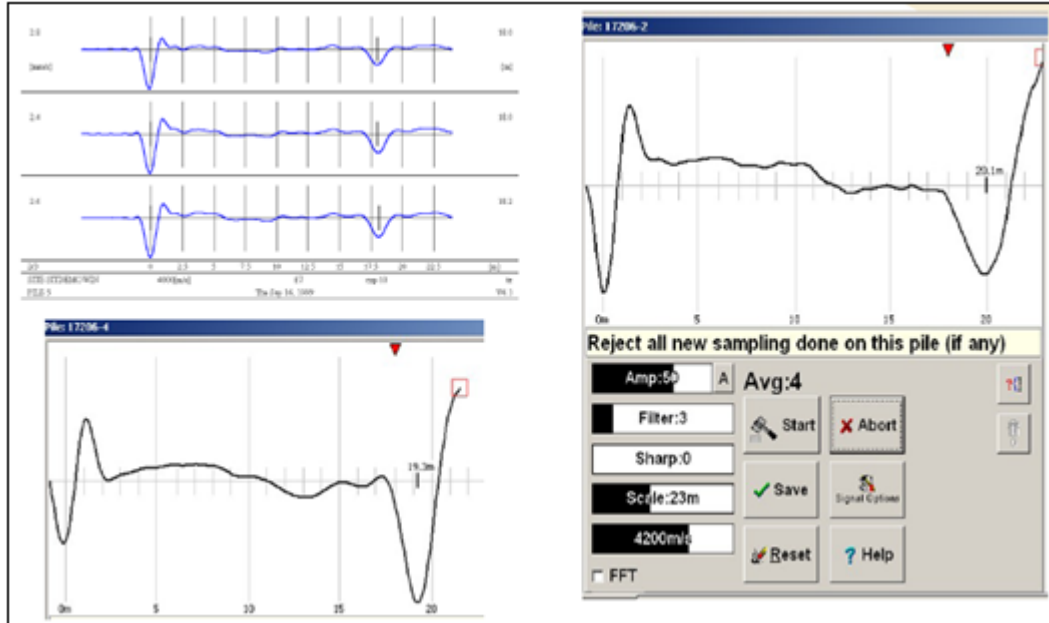


Şekil 2.15: Integrity test ekipmanlarının görünüşü ve testin yapılışı (Anonim 2008^a).

Kolondaki süreksizliklerden ve kolonla zemin arasındaki yüzeyin pürüzlülüğünden dolayı dalgada yansımalar da meydana gelmektedir. İlerleyen ve yansıyan dalgalar ve daha sonraki yansılardan dolayı oluşacak bütün dalgalar, kolon uzunluğu boyunca birbirleriyle girişim halinde bulunacaktır (Şekil 2.16).

Elde edilen sinyalin kolon sürekliliği açısından değerlendirilmesi ise;

- Kualitatif değerlendirme; kolon sürekliliği ile ilgili değerlendirilmenin, hız-zaman reflectogramlarının görsel değerlendirilmesi ile,
- Kuantitatif değerlendirme; kazık-zemin etkileşiminin kütle ve yaylarla modellenmesi şeklinde sonlu elemanlar metodu kullanılarak numerik analiz ile yapılmaktadır.



Şekil 2.16: P.i.t.sinyali ölçümü sonuçları (Anonim 2008^a).

2.1.22.5.4 ap kontrolü

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

Jet grouting kolonlar geçirimsizlik amacı ile imal edilmişse, zemin-imento kolon kalitesini kontrol edebilmek için açılan karot deliklerinden kolaylıkla sabit permeabilite deneyleri yapılarak geçirimsizlik denetlenebilir.

Jet grouting yönteminin çok geniş bir kullanım alanı olduğu göz önüne alınarak kalite kontrol ve denetim ölçütleri her alan için ayrı olarak (temel takviyesi amaçlı kolonlarda permeabilite testi, geçirimsizlik perdesi kolonlarında yükleme deneyi yapılmasına gerek olmaması, vb.) belirlenmelidir (Essler ve Yoshida 2004).

Ülkemizde bazı uluslararası standartlardan faydalanılarak “Özel Jeoteknik Uygulamaları-Jet Enjeksiyon” konusunda TS-EN 12716 sayılı bir standart oluşturulmuştur.

Standartta genel olarak jet enjeksiyonla ilgili terim ve tarifler yapılmıştır. Jet enjeksiyonun en yaygın kullanıldığı alanlar belirtilmiş ve bunlara örnekler verilmiştir.

Yasal olarak yapılmaya karar verilen jet enjeksiyonun kimler tarafından yapılıp, yaptırılabilceği konularına açıklık getirilmiş, uygulama ve tasarım konusunda çeşitli özel şartlar da belirtilmiştir.

Genel olarak 11 bölümden oluşan standardın kapsamı, atıf yapılan diğer standartlar listesi, jet enjeksiyonu ile ilgili terim ve tarifler, bazı özel şartlar, jeoteknik araştırmalar, malzemeler, tasarım esasları, uygulama, kontrol, deney ve gözlem, uygulama dökümanları konularında bir takım standartlar açıklanmıştır.

Bu çalışmada yapılmış olan uygulama üzerinde durulurken gerektiği zaman TS-EN 12716 standardı maddelerine atıfta bulunulmuş ve yapılan işlemler bu maddelere göre değerlendirilmiştir.

3. SIVILAŞMA RİSKİNE KARŞI JET GROUTİNG YÖNTEMİ İLE ZEMİN İYİLEŞTİRME PROJELENDİRİLMESİ

Zemin iyileştirme nedenlerinin en önemlilerinden biri olan sıvılaşma, deprem durumunda, kohezyonsuz ve suya doymuş kumlu ve siltli zeminlerde geçici ve tekrarlı yükler altında boşluk suyu basıncının artımı sonucu mukavemet kaybı oluşması durumudur (Seed ve Idriss 1971).

İnce tane oranı az, suya doymuş zeminlerde özellikle deprem sırasında gelişen sıvılaşma, ani bir gerilim artışına bağlı olarak boşluk suyu basıncının yükselip, tane üzerindeki efektif gerilimin sifıra eşit veya negatif olması ve zeminin makaslama dayanımını kaybetmesi durumudur.

Bir deprem anında meydana gelen sekonder (kayma) dalga yayılımının neden olduğu devirsel kayma gerilmeleri gevşek, suya doymuş kohezyonsuz bir zeminde hacimsel büzölmeye neden olur. Bu büzölme zemin tanelerini daha sıkı konumda olmaya zorlar ve taneden taneye yük aktarımına neden olur. Bu yük transferi, boşluk suyu basıncını arttırır. Sismik sarsıntı çok hızlı meydana geldiği için kohezyonsuz zemin drenajsız yüklemeye maruz kalır ve taneli yapı içinde aşırı boşluk suyu basıncı oluşur. Bu basınç, artmaya devam ederse, öyle bir düzeye ulaşır ki, taneden taneye aktarılan temas basıncı (efektif gerilme) kaybolur. Bu durumda, taneli zemin katıdan çok bir sıvı gibi davranır. Bu aşamada sıvılaşma denilen olay meydana gelir.

Sıvılaşma potansiyeli bulunan bir zemin için olası bir deprem varsayımı altında sıvılaşma analizinin yapılması gerekir. Statik ve dinamik olarak ;

$$\tau' = \tau - u_s \quad (3.1)$$

$$\tau' = \tau - (u_s + u_d) \quad (3.2)$$

Eğer $(u_s + u_d) = \tau$ olursa $\tau' = 0$ 'dır.

τ , toplam gerilme; τ' , efektif gerilme; u_s , statik durumda boşluk suyu basıncı; u_d , dinamik durumda boşluk suyu basınç fazlalığıdır (Mollamahmudoğlu ve diğ. 2006).

3.1 Sıvılaşmanın Genel Nedenleri ve Sıvılaşma Şartları

Sıvılaşabilir özelliklere sahip bir zeminde sıvılaşma oluşması için kuvvetli bir sarsıntıya maruz kalması gerekmektedir. Sıvılaşma tehlikesi analizlerinde, depremin yol açtığı yer hareketinin etkisinin nasıl dikkate alınacağı önemli bir yer tutmaktadır. Çevrimli yüklemeler etkisi altında zeminde oluşan efektif gerilme izi ile akma sıvılaşması çizgisi arasındaki ilişki sıvılaşma başlangıcının tanımlanmasında kullanılabilir. Bu nedenle depremin yol açtığı çevrimli kayma gerilmeleri etkisinde oluşan boşluk suyu basıncı artışlarının tanımlanabilmesi durumunda sıvılaşma başlangıcı tanımlanabilmektedir (Özaydın 2007).

Sıvılaşmanın arazide bütün zemin tabakalarında oluşmadığı bilinmektedir. Bu nedenle sıvılaşma tehlikesi analizlerinde öncelikli olarak sıvılaşmanın meydana gelmesi için gerekli koşulların mevcut olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Bu koşullar arasında en önemlilerinin deprem büyüklüğü ve merkezine uzaklık, zemin tabakasının kompozisyonu ve jeolojik tarihçesi ile zeminin arazi gerilme ve sıklık durumu olduğu ifade edilebilir (Özaydın 2007).

Sıvılaşma, çevrimli yüklemeler altında oluşan artık boşluk suyu basınçları sonucu meydana geldiği için zeminin hacim değişim potansiyeli ve su geçirgenliği üzerinde etkili olduğu bilinen dane boyutu ve dağılımı özellikleri, sıvılaşabilirlik değerlendirmelerinde önemli bir yer tutmaktadır. Uzun yıllar sıvılaşmanın sadece kohezyonsuz kumlu zeminlerde oluştuğu düşünülmesine karşın, son yıllarda yapılan çalışmalar ve gözlemler düşük kohezyonlu siltler Ishiara (1984,1985) ve çakıllı zeminlerde de Youd ve diğ. (1985), Yegian ve diğ. (1994), Evans ve Seed (1987) sıvılaşmanın ortaya çıkabileceğini göstermişlerdir (Özaydın 2007).

Killi zeminlerde ise genel olarak sıvılaşma oluşmadığı kabul edilmektedir. Düşük plastisiteli, ince daneli zeminlerin sıvılaşabilirliği için yaygın olarak başvurulan Çin kriterlerinde Wang (1979) zeminin kil yüzdesi ($< 0.005\text{mm}$) ve likit limiti dikkate alınmaktadır. Daha sonra diğer arazi gözlemleri ile geliştirilen Seed ve

Idriss (1982), Marcuson ve diğ. (1990), Youd (2001) bu kriterlere göre zeminlerin sıvılaşabilmesi için $LL < \% 35$, Kil Oranı $< \% 15$, $W_n > 0.9LL$ ve $LI \leq 0.75$ koşullarının sağlanması gerektiği genel olarak kabul görmektedir (Özaydın 2007).

1999 Kocaeli depreminden sonra Adapazarı siltlerinin sıvılaşabilirliğinin incelendiği araştırmalarda, Önalp ve Arel (2002) Çin kriterlerinin $LL < \%30$, Kil oranı $< \% 10$, $W_n > LL$ ve $LI < \%1$ olarak uygulanabileceğini; Önalp, Bol ve Ural (2006) ise $LL < \%33$, Kil Oranı $< \% 10$, $LI < 0.90$ ve $D_{50} < 0.02$ mm olarak uygulanmasının daha doğru olacağını öne sürmüşlerdir (Özaydın 2007).

1964 Nigata depreminde rölatif sıklığı $\% 50$ olan kumlu zeminlerde sıvılaşma oluşmuş fakat rölatif sıklığı yaklaşık $\% 70$ olan bölgelerde sıvılaşma oluşmamıştır (Seed ve Idriss 1971).

Kumların en önemli fiziksel özellikleri dane boyutu, dane şekli ve dereceleri olarak düşünülebilir. Bütün araştırmalar ve geçmişteki tüm depremler, sıvılaşan zeminlerin dane boyutlarının belirli sınırlar içinde kalmayıp, geniş bir aralıkta değişebileceğini göstermektedir.

Buna göre düşük rölatif sıklıklarda, kötü derecelenmiş kumlar iyi derecelenmiş kumlara göre daha düşük dinamik mukavemete sahiptir. Yüksek rölatif sıklıklarda ise tam tersi bir davranış görülmüştür .

Wang ve Law (1994), sıvılaşabilir zeminlerin karakteristiklerini şu şekilde özetlemişlerdir :

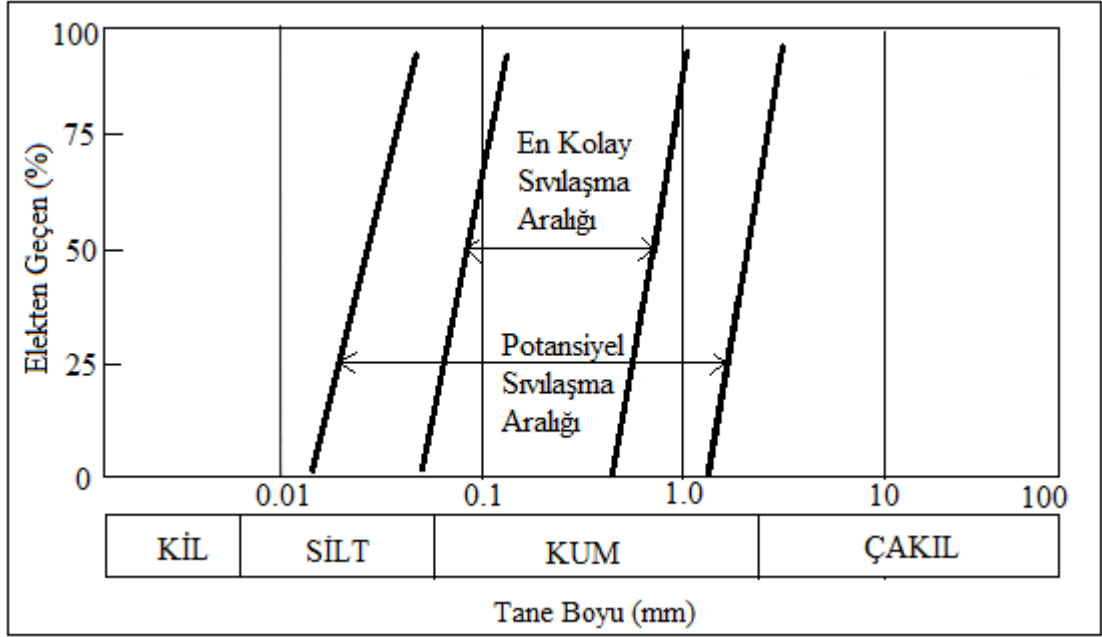
- Ortalama dane boyutu $D_{50} = 0.02 - 1.00$ mm (Şekil 3.1)
- Üniformluk katsayısı $(D_{60} / D_{10}) < 10$
- Plastisite indisi $PI < 10$

Başlangıçta Seed ve Idriss (1982) tarafından açıklanan ve sonradan Youd ve Gilstrap (1999) tarafından pekiştirilen kriterler kullanılarak, ince taneli zeminlerin (plastik siltlerin) sıvılaşması için, aşağıdaki üç kriterin tamamının karşılanması gerekmektedir:

-0.005 mm'den daha ince partiküllerin zemindeki kuru ağırlıkça yüzdesi 15'den daha az olmalıdır (yani 0.005 mm'den geçen yüzde < 15).

-Likit limit değeri 35'den küçük olmalıdır (yani $LL < 35$).

-Zeminin su muhtevası (w) likit limitin 0.9'undan daha büyük olmalıdır (yani, $w > 0.9 (LL)$)



Şekil 3.1: Tane boyu ve sıvılaşma ilişkisi (Anonim 1997).

3.2 Sıvılaşma Potansiyelinin İncelenmesi

Sıvılaşma, laboratuvar ortamında veya arazide zeminin tabii durumunda araştırılabilir. Zeminlerin deprem sırasında ve deprem sonrasındaki gerilme – şekil değiştirme davranışlarını laboratuvar ortamında çeşitli deney sistemleriyle belirlemek mümkün olmaktadır. Özellikle suya doymuş kumlu zeminlerin tekrarlı yükler altındaki sıvılaşma potansiyelleri ve sıvılaşma sonrası davranışları laboratuvar ortamında dinamik basit kesme, dinamik üç eksenli, dinamik burulmalı sarsma tablası deneyi gibi dinamik deney sistemleriyle incelenebilmektedir.

Arazi deneylerinin avantajı zeminin tabii ortamda test edilmesidir. Daha büyük bir hacimde deney yapılarak ölçek etkisi dikkate alınabilmektedir. Yüzeyle ilgili istenilen derinliğe ulaşılabilir ve sürekli tanımlama yapılabilir. Fakat arazide

sismik aktiviteyi göstermek zor olduğu için sıvılaşma potansiyelini ölçmek için yapılan deneylerde, sıvılaşma dayanımıyla doğrudan ilgili zemin parametrelerine ulaşamaz. Değerlendirme kriterlerine ulaşmak için sıvılaşma meydana gelmiş geçmiş depremler incelenerek ampirik bağıntılar geliştirilmiştir (Wang ve diğ. 1994).

CPT deneyi verileri, kayma dalgası hızları, SPT verileri kullanılması gibi birçok yöntemle sıvılaşma potansiyeli incelenebilir.

Bu çalışmada zeminin laboratuarda elde edilmiş özellikleri değerlendirilerek, arazideki SPT verilerinin kullanıldığı basitleştirilmiş bir yöntemle sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır.

3.2.1 Basitleştirilmiş hesap yöntemi

Bu çalışmada sıvılaşma analizi için kullanılmış olan Seed ve Idriss (1971) tarafından detayları verilen SPT N verilerine göre 'basitleştirilmiş hesap yönteminin' ilkeleri açıklanmıştır.

SPT deneyi sondaj tijlerine takılmış, ortasından ikiye ayrılabilen ve içinde pirinçten yapılmış bir iç tüpün bulunduğu örnekleyicinin, 63.5 kg ağırlığında bir şahmerdanın 760 mm yükseklikten tijlerin üzerine düşürülerek zemine sokulması ilkesine dayanır. Ortadan ayrılabilen tüpün dış çapı 50 mm, iç çapı 35mm ve uzunluğu 650 mm olup tijlere monte edilir.

Kuyu deneyin yapılacağı seviyeye kadar temizlenir ve deney seviyesinde örselenmiş bir kısmının kalmamasına özen gösterilir. Tüp, kuyu tabanına kadar indirilip zemine 45 cm çakılır. İlk 15 cm'lik darbe sayısı dikkate alınmaz, daha sonraki 30 cm çakma için toplam darbe sayısı N deney sonucu olarak kaydedilir. Eğer tüp 30 cm'lik bir penetrasyona ulaşmadan önce elde edilen darbe sayısı 50 ise daha fazla darbe uygulanmaz.

3.2.1.1 Çevrimsel gerilme oranı (CSR)

Suya doymun zeminlerde basınç dalgalarının yayınıını çok az basınç gerilmeleri oluşturur. Yani basınç dalgası gözeneklerdeki suda yayılabildiği için bu dalga ile üretilen efektif gerilmelerde değişme olmayacaktır (Ishihara 1996).

Basınç dalgalarının etkisi kayma gerilme oranı değerlendirmelerinde ihmal edilir. Bu durumda kayma dalgalarının yayınıına bağlı yatay kayma gerilmesi, potansiyel sıvılaşma çözümlenmesi için gerilmenin temel bileşenidir (Uyanık 2006).

Seed ve Idriss (1971) çalışmalarında yaklaşık 40 ft (12 m) derinliğe kadar deprem durumunda oluşabilecek maksimum kayma gerilmelerinin (τ_{max}) aşağıdaki şekilde hesaplanmasını önermişlerdir.

$$\tau_{max} = \gamma \cdot h/g \cdot a_{max} \cdot r_d \quad (3.3)$$

Burada, γ ; zemin birim hacim ağırlığını, h ; zemin elemanının derinliğini, g ; yerçekimi ivmesini, a_{max} ; maksimum yüzey ivmesini ve r_d ; derinliğe bağlı olarak azalma faktörünü temsil etmektedir.

Bu formülasyonu şöyle özetleyebiliriz :

$$\tau_{max} = m \cdot a_{max} \quad (3.4)$$

Zemini bir boyutlu düşünürsek kütle $m = \rho \cdot z$ şeklinde yazılır ve (3.4) eşitliğinde ρ te yerine koyulursa;

$$\tau_{max} = \rho \cdot z \cdot a_{max} \quad (3.5)$$

$$\rho = \gamma / g \quad (3.6)$$

$$\tau_{max} = \gamma / g \cdot z \cdot a_{max} \quad (3.7)$$

$$\tau_{max} = \sigma_v/g \cdot a_{max} \quad (3.8)$$

Belirli bir h derinliğindeki zeminin üzerinde belirli bir kalınlığı olan dolgunun esnemez bir kütle olduğu kabul edilmektedir (Seed ve Idriss 1971).

Ancak bu dolgu esnemez olmayıp deprem sırasında deformasyon gösterecek niteliktedir. Dolayısıyla zeminin etkin kayma gerilmesini belirlemek için gerilme azaltma faktörü (r_d) ile en büyük kayma gerilmesi çarpılır (Uyanık 2006).

$$\tau_{max} = (\sigma_v/g) \cdot a_{max} \cdot r_d \quad (3.9)$$

Deprem sırasında zeminin herhangi bir noktasını etkileyen kayma gerilmeleri deprem süresi boyunca farklılık gösterir. Dolayısıyla farklı kayma gerilmeleri tekrarlı gerilme oranının hesabında ortalama kayma gerilmesi olarak ifade edilir. Ortalama kayma gerilmesi (τ_{avg}), maksimum kayma gerilmesi (τ_{max})'ın % 65'i düzeyinde olduğu saptanmıştır (Seed ve Idriss, 1971). Ortalama eşdeğer kayma gerilmelerinin (τ_{avg}) maksimum gerilmenin % 65'inde oluştuğundan yola çıkarak ve bu değerleri efektif düşey gerilmeler (σ_{vo}) ile normalize ederek, aşağıdaki çevrimsel gerilme oranı (CSR) tanımlanmaktadır:

$$CSR = \frac{\tau_{avg}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \cdot \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \quad (3.10)$$

Yukarıdaki ifadede, σ_{vo} ; herhangi bir derinlikteki toplam düşey gerilmeyi temsil etmektedir.

Derinliğe (z) bağlı olarak değişen azalma faktörü için Youd ve diğ. (1997) aşağıdaki ifadeyi önermektedirler:

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113z^{0.5} + 0.04052z + 0.001753z^{1.5})}{(1.000 - 0.4117z^{0.5} + 0.05729z - 0.006205z^{1.5} + 0.001210z^2)} \quad (3.11)$$

Belirli bir h derinliğindeki zeminin üzerinde belirli bir kalınlığı olan dolgunun esnemez bir kütle olduğu kabul edilmektedir (Seed ve Idriss 1971).

Ancak bu dolgu esnemez olmayıp deprem sırasında deformasyon gösterecek niteliktedir. Dolayısıyla zeminin etkin kayma gerilmesini belirlemek için gerilme azaltma faktörü (r_d) ile en büyük kayma gerilmesi çarpılır (Uyanık 2006).

Sıvılaşma analizinde kullanılan en büyük yatay deprem ivmesi göz önüne alınan bölge için ya deprem riski analizlerinden hesaplanır veya o bölgedeki sismik özellikler dikkate alınarak azalım ilişkilerinden yararlanılıp o bölgede bir deprem sırasında olabilecek en büyük yatay yer ivmesi bulunur. Belirgin bir deprem için odak uzaklığı ve magnitud verileri kullanılarak yaygın olarak kullanılan ivme hesaplama yöntemleri de mevcuttur.

Maksimum yer ivmesi birçok arazi ve laboratuvar deneyi yöntemiyle araştırılması gereken bir veridir. Bir alanda gerçekleşecek deprem sonucu oluşacak maksimum yer ivmesi kesindir ve bellidir demek doğru değildir.

Maksimum yer ivmesi a_{max} , ABYYHY 2007 'de etkin yer ivmesi katsayısına (A_0) bağılı olarak verilmiştir. Tablo 3.1'de deprem bölgesine bağılı olarak kullanılması gereken etkin yer ivmesi katsayıları verilmiştir.

Tablo 3.1: Etkin yer ivmesi katsayısı ve deprem bölgeleri ilişkisi (Anonim 2007^b).

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Maksimum yer ivmesi ve etkin yer ivmesi katsayısı arasında bir ilişki vardır (Kırçıl ve diğ. 2005).

$$\text{PGA (Peak Ground Acceleration, Mak. Yer ivmesi)} = A_0 \cdot g \quad (3.12)$$

Deprem bölgesi etkin yer ivmesi katsayısı ile hesaplanan maksimum yer ivmesi güvenilir fakat kaba bir kabuldür. Örneğin gerçekleşen büyük depremlerde (Tablo 3.2) maksimum yer ivmesinin 1. Derece deprem bölgesindeki bir yerleşim için 0.4g değerinin çok üstünde olabildiği de gözlenmiştir. Bu açıdan bu çalışmada kullanılacak basitleştirilmiş yöntemde sivilaşma potansiyeli araştırılacak bir alanda kullanılacak maksimum yer ivmesi için o bölge ve çevresinde gerçekleşen depremler için oluşturulmuş maksimum yer ivmesi haritalarından da faydalanılabilir.

Tablo 3.2: Büyük depremlerden alınmış en büyük ivme değerleri(Url-10).

TARİH	SAAT	YER	MAKS. İVME
19.08.1976	01:12:40	DENİZLİ	348.5 gal
18.09.1979	13:12:23	Dursunbey(BALIKESİR)	288.2 gal
30.06.1981	07:59:09	HATAY	154.0 gal
30.10.1983	04:12:28	Horasan (ERZURUM)	173.3 gal
05.05.1986	03:35:38	Gölbaşı (MALATYA)	114.7 gal
13.03.1992	17:18:39	ERZİNCAN	470.9 gal
26.09.1995	14:58:09	Dinar (AFYON)	182.7 gal
27.06.1998	13:55:53	Ceyhan (ADANA)	273.5 ga
17.08.1999	00:01:51	SAKARYA	407.0 gal
12.11.1999	16:57:20	DÜZCE	513.7 gal
06.06.2000	10:41:40	Çerkeş (ÇANKIRI)	63.2gal

Ayrıca iyileştirme yapılacak bölge için deprem geçmişi gözden geçirilerek sayısal verileri kullanılarak veya o bölge için örnek olabilecek bir deprem baz

alınarak taban kayasındaki ivme zeminin karakteristiğine göre zemin büyütme faktörü ile büyütülerek maksimum ivme öngörülebilir. Böylelikle gerçeğe yakın verilerle güvenli tarafta kalınabilir.

3.2.1.2 Çevrimsel mukavemet oranı (CRR)

SPT, CPT ve kayma dalgası hızı (SWV) ölçümlerine dayanarak günümüze kadar bir çok araştırmacı tarafından sınıvlaşma görülen ve görülmeyen sahalar incelenmiştir. Bu çalışmada esas yöntem olarak SPT darbe sayısına bağlı düzeltme katsayıları verilecektir. SWV ve CPT'ye bağlı olarak önerilen düzeltme faktörleri ile ilgili ayrıntılı bilgi Youd ve diğ. (1997) tarafından verilmiştir ve günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Düzeltilmiş SPT değeri ile yukarıdaki grafiklerden CRR elde edilmesi için aşağıdaki prosedür takip edilebilecektir (Durgunoğlu ve diğ. 2003).

$$N1_{60} = N_{60} \cdot \left[\frac{200}{100 + \sigma'_{vo}} \right] \quad (3.13)$$

N_{60} , teorik serbest düşme, standart tokmağın standart yükseklikten serbest düşmesi halinde ortaya çıkan enerjinin % 60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı; $N1_{60}$ %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye (σ'_{vo} kPa alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısını ifade etmektedir. (Seed ve diğ. 2001).

$$N_{60} = N_m \cdot C_E \cdot C_R \cdot C_B \cdot C_S \cdot C_C \quad (3.14)$$

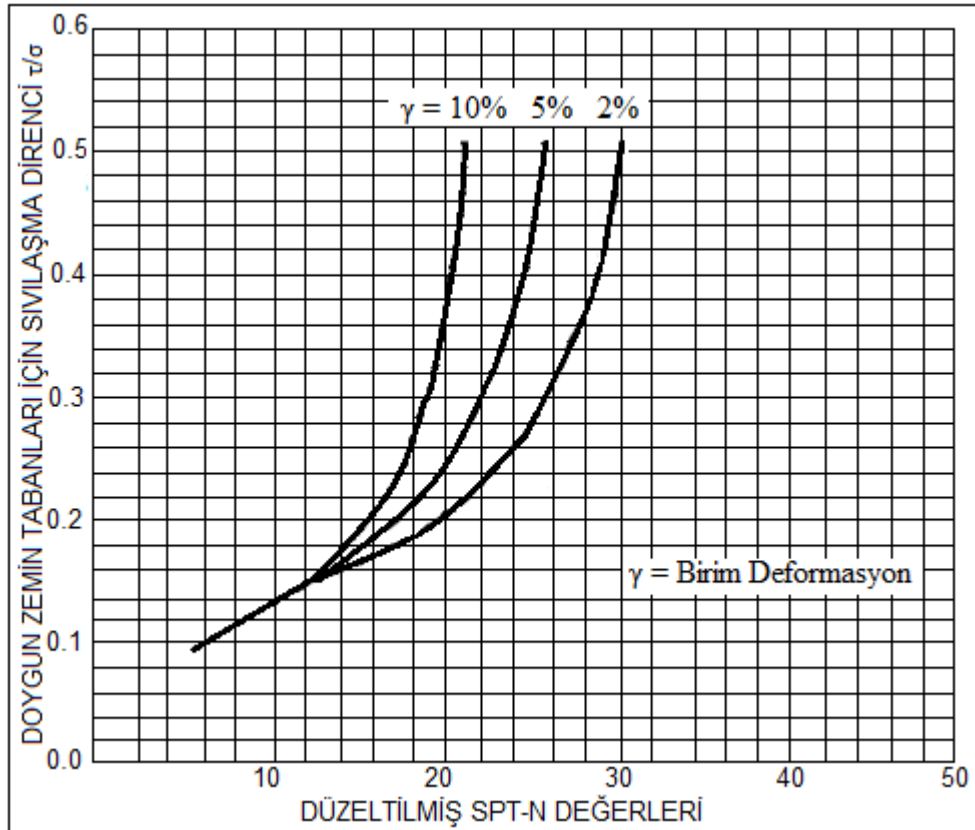
Burada N_m arazide bulunan SPT vuruş sayısını, C_E enerji düzeltmesi, C_R tij uzunluğu düzeltmesi, C_B sondaj çapı düzeltmesi, C_S numune alıcı kılıf düzeltmesi, C_C tokmak yastığı düzeltmesini ifade eder (Youd ve diğ. 1997).

Burada şahmerdanın tipi ve serbest bırakılış yöntemi, en üstteki tijin üzerinde yer alan ve darbenin uygulandığı metal bloğun tipi ve sondaj tijlerinin uzunluğu elde edilen N darbe sayısı değerlerinde değişikliğe neden olduğundan bunun standart hale getirilebilmesi için ER (enerji oranı) kavramı geliştirilmiştir. Enerji oranı dikkate alınarak N değerleri, Türkiye'de kullanılan donut tipi şahmerdan için belirlenen (ER) 45 olmak üzere;

$$N_{60} = N \cdot \frac{ER}{60} \quad (3.15)$$

olarak hesaplanır (Ulusay ve diğ. 2001).

Farklı tane gradasyonlarında tanecikli zeminlerin drenajsız kesme direnci isimli makalelerinde Kokusha ve arkadaşları bir seri drenajsız testi laboratuarda farklı rölatif sıklıklarda ve farklı gradasyonlarda hazırlanan kum çakıl içeren tanecikli zemin numunelerine uygulamışlar ve sonuçları yorumlamışlardır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Suyu doymuş zemin katmanlarında düzeltilmiş SPT-N değeri ile sıvılaşma direncinin değişimi (γ = birim deformasyon, %) (Tokimatsu ve Yoshimi 1983).

Gradasyonda büyük farklılıklar olmasına rağmen aynı rölatif sıklığa sahip numuneler için % 5 çift genlik eksensel birim deformasyona sahip olan devirsel gerilme olarak tanımlanan sıvılaşma direnci veya drenajsız devirsel kesme direncinde çok küçük farklar gözlemlenmiştir. Ayrıca drenajsız periyodik sondaj delgi çapının 115 mm'den büyük olması, farklı çekiç tipleri ve numune alıcı rotları kullanılması durumunda ilave düzeltme faktörleri gerekmektedir (Seed ve diğ. 2001). Deney tipine ilave olarak $M_w = 7.5$ 'den farklı deprem büyüklükleri de göz önünde bulundurularak sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü (F_s) aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir (Youd ve diğ. 1997).

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF \quad (3.16)$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}} \quad (3.17)$$

Burada, MSF; deprem büyüklüğü düzeltme faktörünü ve M_w ; moment cinsinden deprem büyüklüğünü ifade etmektedir (Durgunoğlu ve diğ. 2003).

$F_s < 1$ = Sıvılaşma riski var

$F_s > 1$ = Sıvılaşma riski yok

3.3 Zemin İyileştirme Yönteminin Seçilmesi

Yukarıdaki hesap adımlarının gerçekleştirilmesi sonrasında sıvılaşma riskinin bulunması sebebiyle tasarımcı ve işveren tarafından bu riskin gerçekleşmesi durumunda oluşabilecek muhtemel durumları (temel ve döşeme oturmaları, üst yapıda hasar, tesisin operasyonelliğinin kesintiye uğraması vs.) içeren bir risk analizi yapılmalıdır. Bu analiz sonucunda sıvılaşma etkilerinin önlenmesi veya kısmen azaltılması durumuna gidilmesi yönünde bir karar çıkması durumunda saha için en uygun zemin ıslah metodunun seçimine gidilecektir (Durgunoğlu ve diğ. 2003)

Bu nedenle, zeminde sıvılaşma önleyici aşağıda belirtilen,

Jet grouting, kazıklı temel sistemi, dinamik kompaksiyon (ağırlık düşürme) vibroflatasyon-vibro kompaksiyon, kum sıkıştırma kazıkları, kompaksiyon enjeksiyonu, permeasyon enjeksiyonu, çakıl drenler, taş kolon, derin karıştırma, kimyasal enjeksiyon, patlatma, önyükleme yöntemlerinden tasarım verilerine uygunluk, uygulama deneyimi, uygulanabilirlik kriterleri, ekipman, maliyet gibi kriterler göz önünde bulundurularak uygun olan zemin iyileştirme yöntemi seçimi yapılır (Tablo 3.3).

Ülkemizde en çok bilinen ve uygulanan yöntem olan jet grouting yöntemi zemin iyileştirme metodu taşıma gücü, oturma problemi ve sıvılaşma potansiyeli taşıyan hemen hemen her tür zemin türü için uygulanabilen bir yöntemdir.

Bu nedenle sıvılaşma potansiyeline sahip bir zemin için jet grouting ile yapılacak iyileştirme konusu, detaylı bir şekilde ele alınıp, üzerinde durulmuştur.

Tablo 3.3: Sıvılaşmada zemin iyileştirme yöntemi seçimi (Anonim 2007).

Genel Kategori	İyileştirme Yöntemi	Notlar
Kazı ve/veya , Sıkıştırma	-Sıvılaşabilir zeminin kazılması ve sahadan uzaklaştırılması -Sıvılaşabilir zeminin kazılıp sıkıştırılarak yeniden yerleştirilmesi -Sıvılaşabilir zeminin yerinde sıkıştırılması	Sıvılaşabilir zeminin kazılması ve sahadan uzaklaştırılması genellikle ekonomik bir yöntem değildir. Sıvılaşabilir tabakayı aşan temel derinliği varsa düşünülebilir.
Yerinde sıkılaştırma Yöntemleri	-Titreşimli sonda ile kompaksiyon -Dinamik kompaksiyon -Sıkılaştırma kazıkları -Patlatma ile derin sıkıştırma -Sıkılaştırma enjeksiyonu	Titreşimle sıkılaştırma temiz kumlarda (FC < 12 %) etkin bir yöntemdir ve çakıl kolonlarla beraber de kullanılabilir. Sıkılaştırma kazıkları zemine iletilen kayma gerilmelerinde bir azalmaya yol açarak sıvılaşmaya karşı direnci artırır.
Diğer zemin iyileştirme Yöntemleri	-Sızma enjeksiyonu -Jet grouting enjeksiyonu -Derin karıştırma -Drenler -Önyükeme	Sızma enjeksiyonu çakıllı ve temiz kum karışımlarında etkin olarak kullanılır. Bir çok dren kurulum işlemi sırasında aynı zamanda zeminde sıkılaşımaktadır.
Banket,hendek, sahil duvarı, ve diğer istinat yapıları ve sistemleri	Serbest yüzeyde istinat duvarları veya destek yapıları ile büyük yanal yayılmaları önlemek	Kıyı liman yapılarında ve sahil kenarındaki yapılaşmalarda sıklıkla tercih edilir.
Derin temeller	-Çakma kazıklar -Fore kazıklar	Zemin sıkılaştırması sağladığı gibi zemine aktarılan kayma gerilmelerinde azalmaya sebep olarak sıvılaşmaya karşı direnci artırır.

3.4 Sıvılaşma Riskine Karşı Jet grouting Yöntemi İle Zemin İyileştirme Projelendirilmesi

Sıvılaşma riski hesaplarla belirlenen bir zemin için uygulanacak jet grouting yöntemi ile zemin iyileştirmesinde taşıma gücü kriteri de göz önünde bulundurularak jet grouting projesinin nasıl hazırlandığı detaylandırılmıştır.

Zemin arazi ve laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen parametreler ve hesaplanan maksimum yer ivmesi ile birlikte aşağıda detaylandırılmış olan sıvılaşma analizi yapılarak potansiyelin olup olmadığı araştırılır.

Sıvılaşma riski durumunda tahmini jet grouting kolon çap ve aralığı seçilerek iterasyona başlanır.

Güvenlik kontrolü zemin ve jet grouting kolonları arasında kalan zeminin sıvılaşma riskinin azaltılması için yüksek kayma modüllü kolonların kendilerine gelecek kayma kuvvetini karşılayacak mukavemete sahip olması gerektiği ilkesinden hareketle kesme güvenlik kontrolü olacaktır.

Yeterli bir kesme dayanımı sağlanması durumunda seçilen jet grouting kolon çap ve aralıklarının uygunluğu oturma ve taşıma gücü kontrolleriyle desteklenmelidir.

Şartların sağlanmadığı durumda iterasyona kolon aralığı, çap, veya her ikisinin uygun optimizasyonu ile değiştirilip devam edilir.

3.4.1 Kesme güvenlik kontrolü

Durgunoğlu ve Özsoy (2003) tarafından 5. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sunulan birim alan oranı metoduyla, seçilmiş olan jet grouting kolon aralıkları ve çapları, her sondaj kuyusundaki sıvılaşmaya en müsait, en gevşek özellikli, en düşük güvenlik faktörüne değerine sahip derinlikte oluşacak deprem kayma gerilmelerinin söz konusu çap ve aralıklı jet grouting kolonları tarafından karşılanıp karşılanmadığı araştırılmıştır.

3.4.1.1 Zemin maksimum kayma modülünün saptanması

Çimento - zemin karışımı ile elde edilen yüksek kayma mukavemetine sahip kolonlarla hesap için öncelikli adım zemin maksimum kayma modülünün tayini ve uygun giriş deprem büyüklüklerinin tespitidir. Bu amaçla aşağı kuyu (Down-Hole) veya 'Suspension PS Logging' yöntemleri kullanarak doğrudan veya SPT, CPT, PMT gibi arazi deneyleri sonuçlarından yola çıkarak dolaylı olarak zemin kayma hızı (V_s)

profilinin tayini gerekir. Bu amaçla aşağıdaki formülasyon kullanılabilir (Ohta ve Goto 1978):

$$V_s = 62.14 \cdot N^{0.219} \cdot H^{0.230} \cdot F \quad (3.18)$$

Burada N düzeltilmemiş SPT darbe sayısını, H; tabaka derinliğini ve F; zemin tipine bağlı bir düzeltme faktörünü temsil eder. F düzeltme faktörü killi zeminlerde 1.000, ince kumlarda 1.091, orta daneli kumlarda 1.029, kalın daneli kumlarda 1.073, kum ve çakıllılarda 1.151 ve çakıllı zeminlerde 1.485 alınabilecektir.

3.4.1.2 Birim alan oranı metodu ve kayma gerilmelerinin dağılımı

Yukarıdaki hesap adımlarının gerçekleştirilmesi sonrasında sıvılaşma riskinin olduğunun anlaşılması durumunda tasarımcı ve işveren tarafından bu riskin gerçekleşmesi durumunda oluşabilecek muhtemel durumları (temel ve döşeme oturmaları, üst yapıda hasar, tesisin operasyonelliğinin kesintiye uğraması vs.) içeren bir risk analizi yapılmalıdır. Bu analiz sonucunda sıvılaşma etkilerinin önlenmesi veya kısmen azaltılması durumuna gidilmesi yönünde bir karar çıkması durumunda saha için en uygun zemin ıslah metodunun seçimine gidilecektir. Hayden ve Baez (1994) burada açıklanmış olana benzer bir yöntemle taş kolon uygulamaları için hesap yöntemlerini sunmaktadırlar.

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 başlanacaktır. 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 edilebilecektir. Her durumda bu verilerin inşaat aşamasında deneylerle doğrulanması zorunludur. Tercihen jet grouting kolon karot numunelerinden alınacak örnekler tek eksenli basınç deneyine tabi tutulacak ve geçici yükleme durumlarında Poisson Oranı (ν) 0.5 kabul edilerek, aşağıda açıklandığı şekilde elastisite (E_{JG}) ve kayma (G_{JG}) modülleri bulunabilecektir.

$$E_{JG} = 4730 \sqrt{F_{JG}} \text{ (Mpa)} \quad (3.19)$$

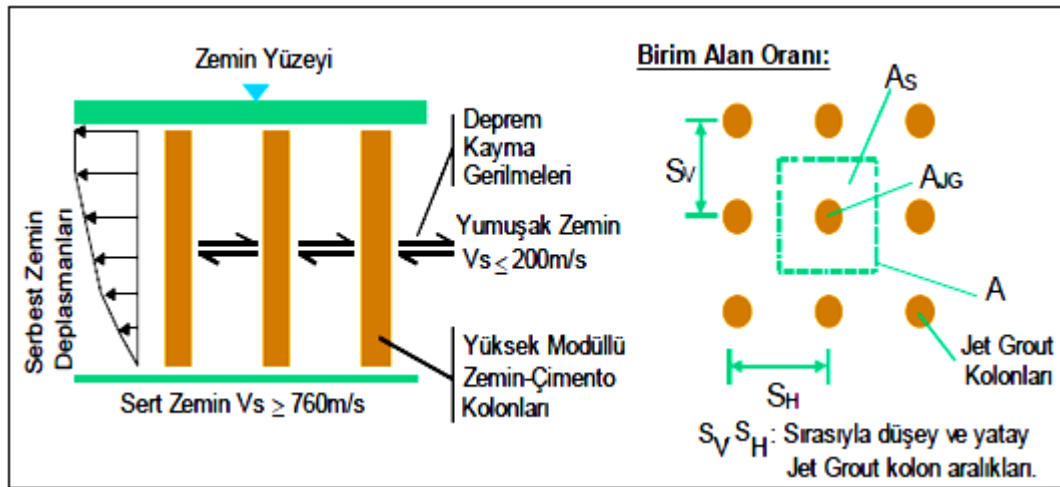
$$G_{JG} = E_{JG} / (2 \cdot (1 + \nu)) \quad (3.20)$$

Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarına uygulanacak 2.0 mertebesinde bir güvenlik faktörü ile kayma modülünün alabileceği değer aralığının, daha önce elde edilen tecrübelerin ışığında, 1000 MPa ila 4000 MPa mertebesinde olabileceği görülmektedir. Uygulamada gerçekleştirilen zemin değiştirmesi miktarını tanımlamak üzere yüksek modüllü kolon alanının (A_{JG}) Şekil 3.3'te gösterilen birim hücre alanına (A) oranı olan, alan yer değiştirme oranı (a_r) aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$a_r = A_{JG} / A \quad (3.21)$$

$$a_s = A_s / A = 1 - a_r \quad (3.22)$$

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 dağılacığı kabulüne dayanmaktadır (Durgunoğlu ve Özsoy 2003).



Şekil 3.3: Deprem kayma dalgalarının dağılım modeli ve birim hücrenin tanımlanması (Durgunoğlu ve Özsoy 2003).

Bu durumda oluşacak kayma gerilmeleri uygun bir uygulama çapı ve aralığının seçimi ile kolonlar arası kalan zeminden ziyade kolonlar üzerinde yoğunlaşacaktır.

Yukarıda yapılan tanımların ışığında birim alan içerisindeki gerilme konsantrasyonu (n) aşağıdaki şekilde tanımlanabilecektir :

$$n = \tau_{JG} / \tau_s \quad (3.23)$$

Yukarıdaki ifadede, τ_{JG} ; çimento-zemin karışımı kolonlara ve τ_s ; kolonlar arasındaki zemine etkiyen kayma gerilmesini temsil etmektedir. 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 hesaplanacaktır (Durgunoğlu ve Özsoy 2003).

$$\tau = \tau_s \cdot a_s + \tau_{JG} \cdot a_r \quad (3.24)$$

$$\tau = \tau_s \cdot (1 - a_r) + \tau_{JG} \cdot a_r \quad (3.25)$$

3.4.1.3 Çevrimsel gerilim azaltma faktörü

Zeminde çimento-zemin karışımı kolonların veya herhangi başka bir donatılı elemanın olmaması durumunda ortalama kayma gerilmeleri Seed ve Idriss (1971) çalışmalarında açıklandığı şekilde bulunabilecektir. Bu durumda kolonlar ve onları çevreleyen zemin arasındaki gerilme paylaşımı kolon çapı ve aralığının bir fonksiyonu haline gelecektir.

Çevrimsel gerilme oranı (CSR) üzerine etkiyecek azaltma faktörü (S_R), birim alan içerisindeki kolonlar ve bunları çevreleyen zemin arasında şekil değiştirme uyumu olduğu kabulüyle G_r kayma modülü oranı olmak üzere aşağıdaki gibi tanımlanabilecektir.

$$S_R = \tau_s / \tau = \tau_s / \tau_{avg} = 1 / (1 + (G_r - 1) \cdot a_r) \quad (3.26)$$

Bu formülde verilen S_R değeri, Seed ve Idriss'in 1971 tarihli çalışmasından bulunan çevrimsel gerilme oranını (CSR) azaltmakta ve dolayısıyla (3.14) eşitliğinde uygun güvenlik faktörü elde etmek için kullanılacaktır.

$$CSR_{tasarim} = CSR \cdot S_R \quad (3.27)$$

Zemin sıvılaşma kontrolü F_s formülüne (3.14) eşitliğine göre, fakat bu sefer $CSR_{tasarim}$ değerleri kullanılarak, uygun güvenlik faktörü elde edilene kadar tekrarlanacaktır (Durgunoğlu ve Özsoy 2003).

Ortalama kayma gerilmesinin (τ_{avg}) yukarıdaki formüllerdeki birim alan üzerine etki eden gerilme (τ) yerine kullanılmasının sebebi, oluşacak şekil değiştirmelerin depremde genelde bu gerilme seviyesinde ortaya çıkmasından ileri gelmektedir.

Söz konusu grafikten okuma yapabilmek için (3.31) eşitliğindeki G_r kayma modülü oranı aşağıdaki formüllerle bulunur.

$$G_r = G_{JG} / G_s \quad (3.28)$$

G_s : Maksimum kayma modülü (MPa)

$$G_s = \rho \cdot V_s^2 \quad (3.29)$$

3.4.1.4 Yapısal kontroller

Kullanılan kolon kesitinin kayma kuvvetlerine (V_{JG}) karşı yeterli olup olmadığının kontrolü için, çimento karışımı kolonların donatısız olarak düşük düktiliteli elemanlar olduğu düşünülerek, aşağıdaki formülasyon kullanılabilir (Anonim 2001):

$$V = 0.65 \cdot \tau_{max} \cdot (1 - S_R) \cdot A \quad (3.30)$$

τ_{max} : Maksimum deprem kayma gerilmesi

A : Seçilen kolon aralığı ölçülerindeki birim alan

$$V_{JG} = 0.3 \cdot \sqrt{F_{JG} \cdot A_{JG}} \quad (3.31)$$

Burada kullanılan basınç mukavemetinin ilke tasarımı aşamasında daha önce yapılmış benzer araştırma sonuçlarından yola çıkılarak bulunması durumunda minimum 2.0 güvenlik faktörü basınç mukavemeti değerine (f_{JG}) uygulanmalıdır. Her durumda sonuçların uygulama sırasında elde edilen yerinde karot numuneleri ile kontrolü gereklidir (Durgunoğlu ve Özsoy 2003).

Bunun için iyileştirme yapılacak saha içinde oluşturulacak test kolonlarından yeterli ölçüde karot alınarak sahada değişen zemin karakteristikleri içinde ne kadar basınç mukavemeti sağlandığı kontrol edilmelidir.

Jet grouting kolonları için çeşitli zemin türleri içinde bugüne kadar elde edilen deneyimler ile basınç mukavemetleriyle ilgili tespitler yapılmıştır (Tablo 3.4).

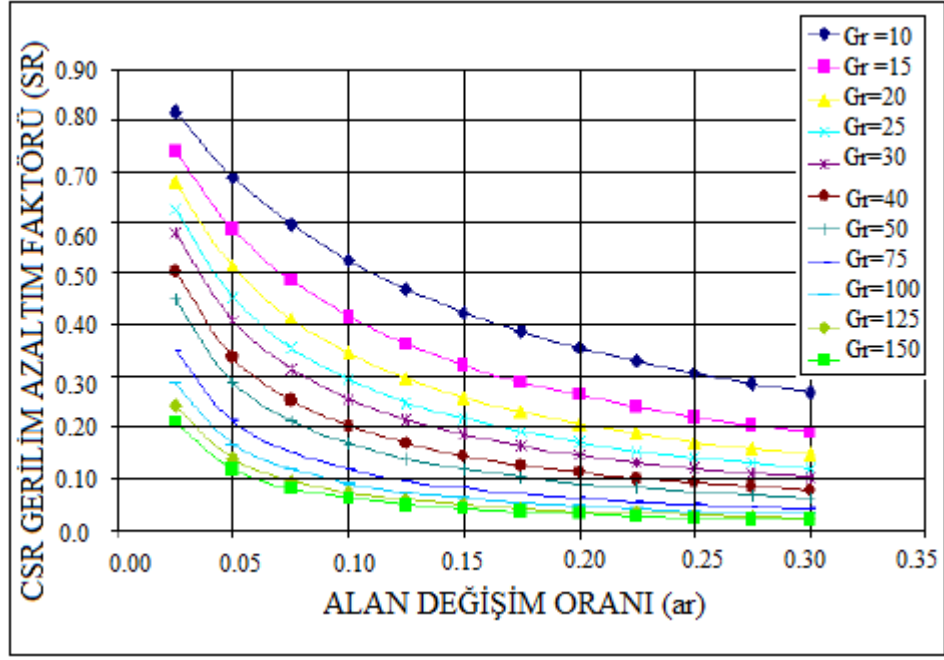
Tablo 3.4: Farklı tipteki zeminlerde teşkil edilen jet grouting kolon taşıma kapasiteleri (Melegary ve Garassino 1997).

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

Bugüne kadar yapılan jet grouting iyileştirme uygulamalarından elde edilen deneyimlere göre sahada dayanımların tam olarak yakalanması için kolon imalatının standartlara uygun yapılması gerekir. Bunun için yapılan imalatın kontrollü deneylerle projeye en uygun şekilde gerçekleşmesi gerekmektedir.

Yukarıdaki formülasyonların daha önceki tecrübeler ışığında uygun tasarım aralıklarında çözümü durumda, Şekil 3.4'te ifade edilen tasarım eğrileri ortaya çıkmaktadır.

Sahada test kolonlarından alınan karot numunelerinin proje verisi olarak kullanılıp iyileştirmenin yapılması en güvenli çözüm ve gerçekçi yaklaşım olacaktır.



Şekil 3.4: Birim alan ve kayma modülü oranlarına bağlı olarak CSR azaltma eğrileri (S_R) (Durgunoğlu ve Özsoy 2003).

3.4.2 Taşıma gücü kontrolü

Sıvılaşma potansiyeline karşı riskin giderilmesi haricinde aynı zamanda zeminin taşıma gücü yetersizliğine karşı da projelendirilecek jet grouting kolonların yerleşim aralık ve çapları kontrol edilmelidir.

İyileştirme yapılacak zemin üstünde inşa edilecek yapının oturma alanı ve ağırlığı ile elde edilecek gerilmenin zeminin taşıyabileceği maksimum gerilmeden küçük olması gerekmektedir.

P = Bina ağırlığı

A = Binanın oturma alanı

σ_b = Binanın oluşturacağı gerilme (taban basıncı)

$$\sigma_b = P / A \text{ (t/m}^2\text{)} \quad (3.32)$$

σ_{net} = Zeminin net taşıma gücü

σ_{em} = Zemin emniyetle taşıyabileceği gerilme

Terzaghi (1943) taşıma gücü formülüne göre ;

$$\sigma_{\text{net}} = K_1 \cdot c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q + K_2 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \quad (3.33)$$

c = Kohezyon, kayma dayanımı

Φ = Kayma dayanımı açısı

D_f = Yapı temel derinliği

B = Yapı temel genişliği

γ_1 = Yapı temel tabanı üstündeki toprağın birim hacim ağırlığı- g / cm^3

γ_2 = Yapı temel tabanı altındaki toprağın birim oylum ağırlığı γ_{doygun} - g / cm^3

K_1, K_2 = Yapı temel tabanı biçimine bağlı katsayılar olup çizelgeden bulunur (Tablo 3.6).

N_c, N_q, N_γ = Yapı temel tabanı altındaki toprağın taşıma gücü katsayıları (Tablo 3.5)

Toprak kohezyon ile ağırlık özellikleri (c, ϕ, γ) yapı temel tabanından ölçülmek üzere B derinliği boyunca ağırlıklı ortalama değeri olarak alınır. D_f, B, N değerleri yapı temelini tanımlayan ayarlanabilir özelliklerdir.

Bu bağıntı $V_s < 300$ m/sn olan topraklar için geçerlidir. (Ercan 2001).

Tablo 3.5: Taşıma gücü faktörleri (Terzaghi 1943).

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1	0
5	6.5	1.6	0.5
10	8.3	2.5	1.2
15	11	3.9	2.6
20	14.8	6.4	5.4
25	20.7	10.7	10.8
30	30.1	18.4	22.4
32	35.5	23.2	30.2
34	42.2	29.4	41.1
36	50.6	37.7	56.3
38	61.4	48.9	78
40	75.3	64.2	109.4
42	93.7	85.4	155.6
44	118.4	115.3	224.6
46	152.1	158.5	330.4
48	199.3	222.3	496
50	266.9	319.1	762.9

Tablo 3.6: Temel tabanı geometrisi katsayıları (K1, K2) (Terzaghi 1943).

Temel Şekil Katsayıları		
Temel Şekli	K1	K2
Şerit	1,00	0,50
Kare	1,20	0,40
Daire	1,30	0,30
Dikdörtgen	1,03	0,48

GK = Güvenlik katsayısı (genellikle 3, emin olunmayan daha riskli durumlarda 4-6)

$$\sigma_{em} = \sigma_{net} / GK \quad (3.34)$$

$\sigma_b < \sigma_{em}$ olmalı.

Buradaki güvenlik sayısı karot basınç dayanımından farklı olarak ayrıca zemin emniyet gerilmesi için uygulanan güvenlik faktörüdür.

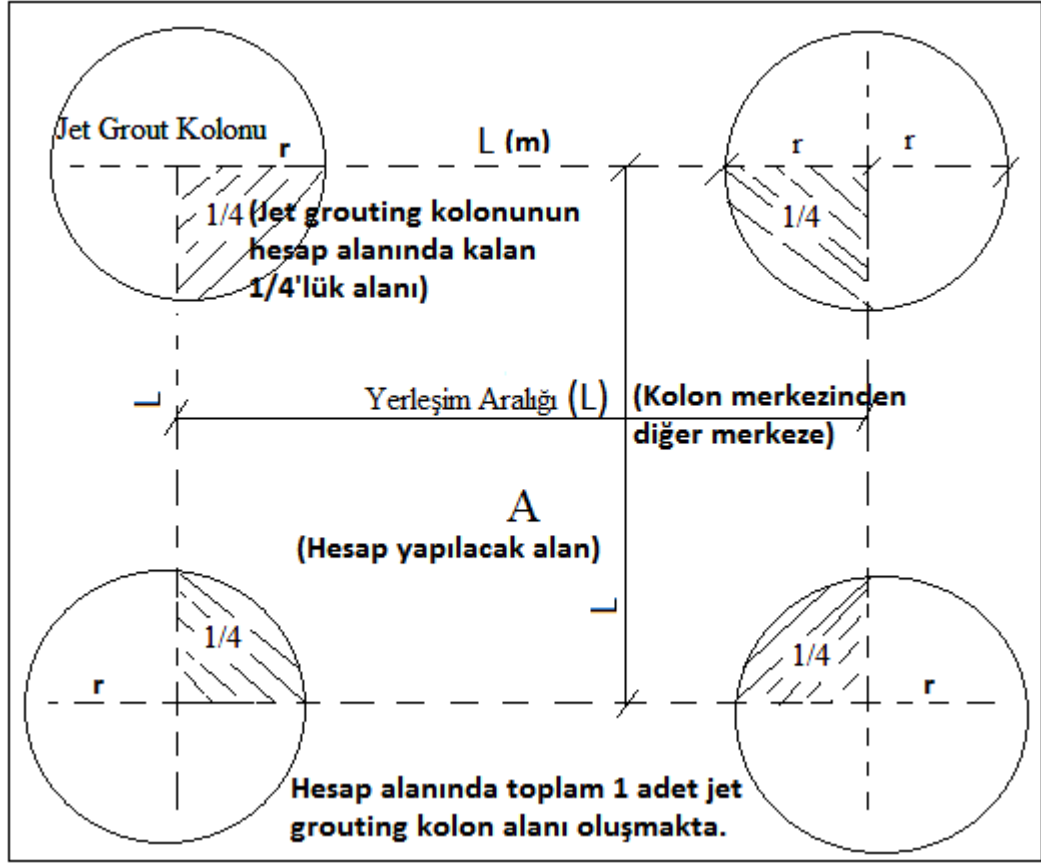
İyileştirme sonrası kolon yerleşim aralığı kadar bir alan seçilirse alan içinde kalan toplam jet grouting kolon kısımları toplamda 1 adet jet grouting kolon alanı oluşturur.

Hesap edilen emniyetli zemin taşıma gücü ile L . L boyutlarında alandan (Şekil 3.5) jet grouting kolon alanı çıkarılarak bulunan zemin alanı çarpılır.

Jet grouting kolon alanı ile test kolonlarından elde edilen güvenlik faktörüyle küçültülmüş basınç mukavemetleri çarpılır ve seçilen alana bölünürse zemin ile birlikte toplam jet grouting kolon alanının oluşturacağı taşıma gücü :

$$\sigma_{is} = [(L . L - \pi . R^2/4) . \sigma_{em} + \sigma_{jg} . \pi . R^2/4] / (L . L) \quad (3.35)$$

olarak ifade edilir (Melegary ve Garassino 1997).



Şekil 3.5: Jet grouting kolon yerleşimi ve alanları (A; Alan, $\frac{1}{4}$; herbir daire çeyreği).

L = Kolon merkezleri arasındaki mesafe, R = Jet grouting kolon çapı

σ_{is} = Jet grouting iyileştirme sonrası zemin taşıma gücü

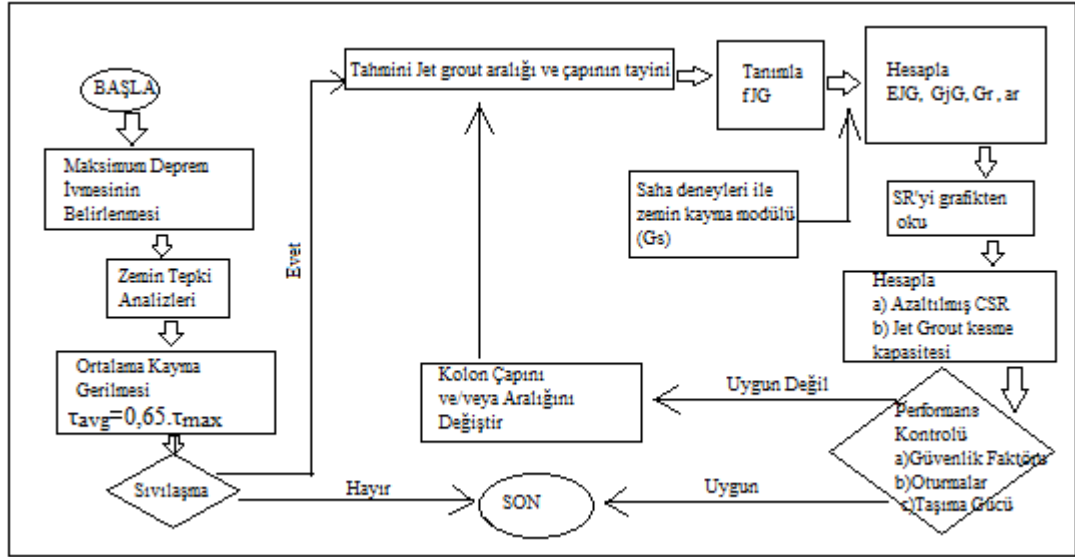
σ_{jg} = Zeminde teşkil edilen jet grouting test kolonlarından elde edilen taşıma kapasiteleri (kg/cm^2)

$\sigma_{is} > \sigma_b$ olmalıdır.

3.4.3 Önerilen hesap algoritması

Şekil 3.6'da verilen hesap ve projelendirme algoritması ile hesap ve kontrol aşamaları özetlenmiştir. Maksimum ivme tayini ile ortalama kayma gerilmeleri belirlenir. Çevrimsel gerilme direnç oranıyla kıyaslanarak bölge için sıvılaşma tehlikesi araştırılır. Sıvılaşma potansiyel bulunan alanda öncelikle jet grouting kolon aralığı ve çapı seçilerek iterasyona başlanır. Jet grouting kolonlarının basınç mukavemeti yerinde deneyler ile tayin edilerek kolonlara ait kayma ve elastisite

modülleri ve oranları belirlenir. Eldeki verilerle S_R okunarak (Bkz. Şekil 3.4) azaltılmış CSR ile sıvılaşma kontrolü yapılır. Aynı zamanda jet grouting kesme kuvveti kapasitesi araştırılır. Taşıma gücü, güvenlik faktörleri uygunsa aralık ve çap tayinine karar verilir. Değilse yeni değerler atanarak iterasyona devam edilir.



Şekil 3.6: Önerilen hesap algoritması (Durgunoğlu ve Özsoy 2003).

3.5 Bu Çalışma İçin Geliştirilen Excel Programı

Sıvılaşma analizi ve jet grouting kolon projelendirmesinin yapılabilmesi için bu çalışmada kullanılmak üzere Excel hesap programı geliştirilmiştir. Program zemin etüt raporu verileri kullanılarak pratik olarak sıvılaşma analizi yapmakta, jet grouting projesi hazırlamakta ve iyileştirme sonrası sıvılaşma kontrolü yapmaktadır.

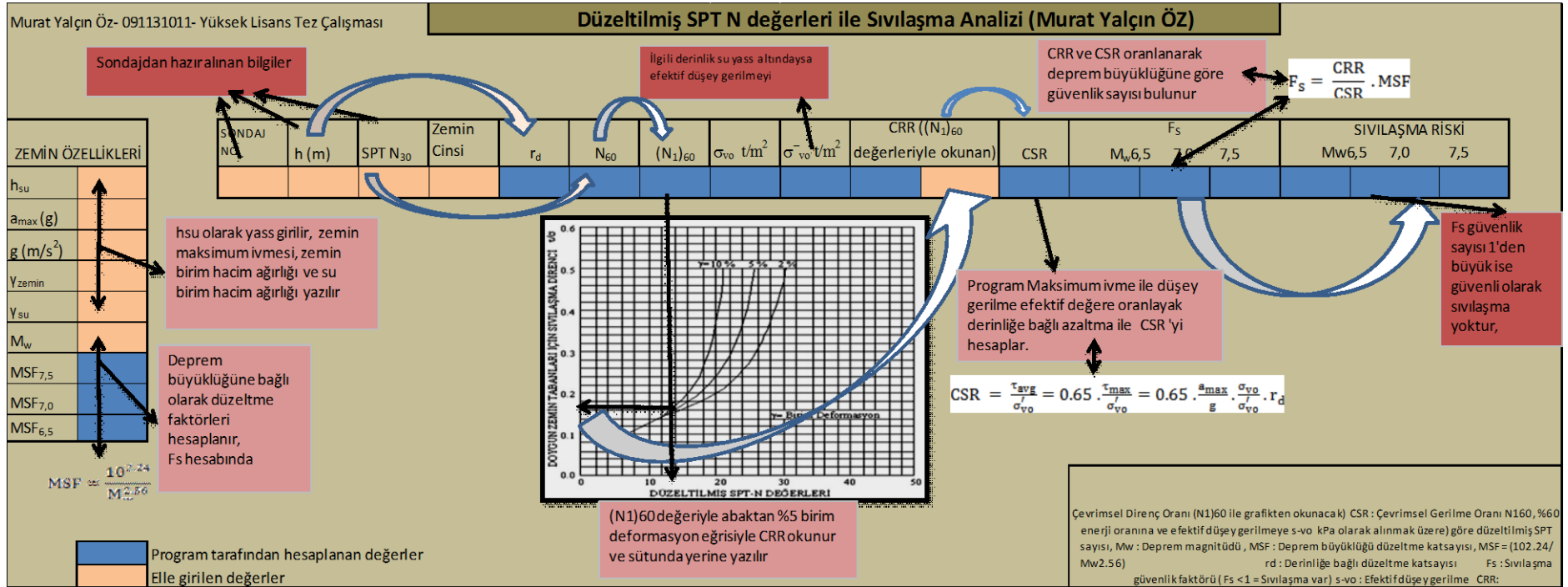
Sonra ilgili abak yardımıyla düzeltilmiş N değeriyle CRR okunarak bu değer ilgili boşluğa girilir ve program, son olarak deprem büyüklüklerini göz önüne alarak CSR ve CRR değerlerini oranlar ve 1'den büyük veya küçük olması durumuna göre sıvılaşma vardır ya da yoktur sonucunu atar.

Burada önemli olan tablonun SPT deneyi yapılan tüm sondaj kuyularındaki her derinlikte elde edilen tüm N değerleri için pratik bir şekilde sıvılaşma analizi yapılabilmesidir.

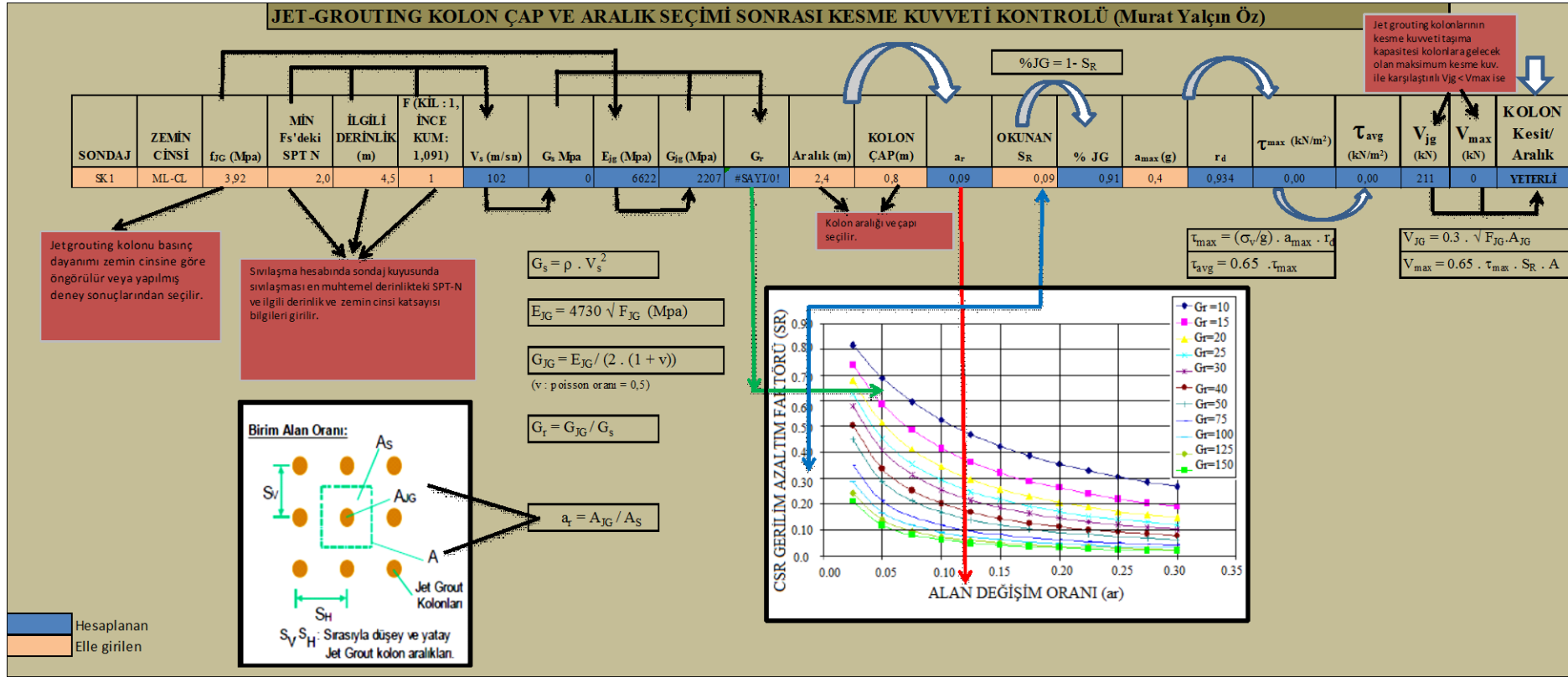
Buna göre Şekil 3.7’de görüldüğü gibi zemine ait veriler, y.a.s.s. bilgisi, o bölgedeki maksimum ivme, SPT-N deney sonuçları ve ilgili derinlikleri gibi mevcut hesaplanan veriler, elle girilerek sıvılaşma hesabı için gerekli tüm değerler program tarafından hesaplanır.

Şekil 3.8’de görülen geliştirilmiş hesap programında sıvılaşma potansiyelinin varlığı sonrası sondaj kuyularında sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı en düşük derinlikler ve o derinliklerdeki SPT-N sayıları dikkate alınarak jet grouting kolon projelendirmesi yapılır.

Hesap yapılacak bölge ve derinlik için belirlenen zemin cinsi, jet grouting kolon basınç dayanımı, kolon aralığı, çapı, maksimum ivme, derinlik azaltma katsayısı gibi değerler elle girilir. Program, kolonlara ait modülleri hesaplar. Kolon çap ve aralık seçimine bağlı olarak da programın hesapladığı a_r ve G_r değerleriyle ilgili abaktan S_R okunur ve okunan S_R ilgili boşluğa yazılır. Bu aşamadan sonra program, maksimum ve eşdeğer kayma gerilmeleri hesaplayarak zeminde oluşacak maksimum kesme kuvvetiyle, jet grouting kolonlarının taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti değerlerini karşılaştırır. Kolonların taşıyabileceği maksimum kesme kuvveti zeminde oluşacak maksimum kesme kuvvetinden büyük olması durumunda program otomatik olarak “Yeterli” atar.



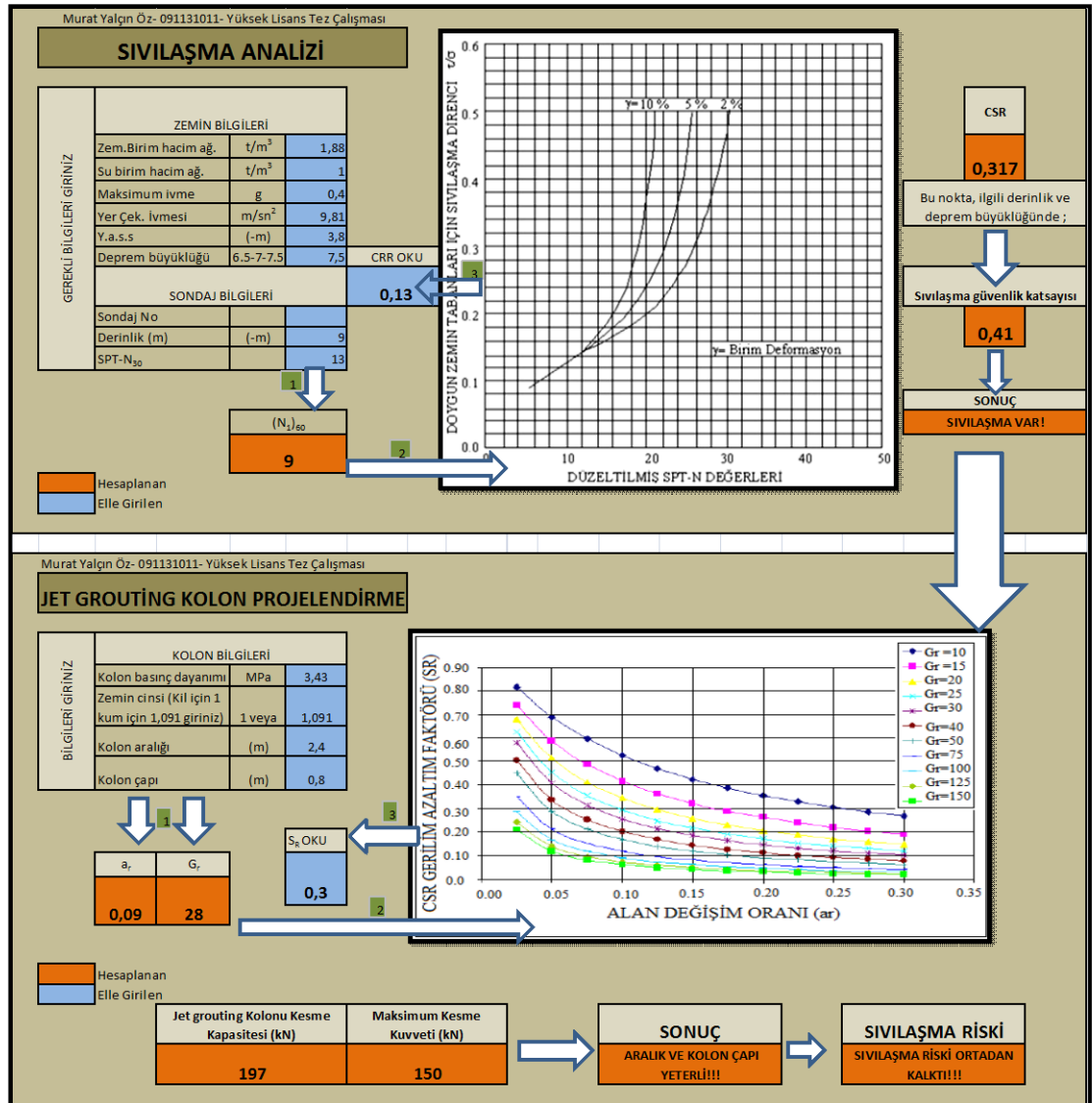
Şekil 3.7: Bu çalışma için geliştirilmiş sıvılaşma analizi hesap programı algoritması.



Şekil 3.8: Bu çalışma için geliştirilmiş jet grouting projelendirme hesap programı algoritması.

Kesme kuvveti kontrolü yapılmasının yanı sıra, elde edilen CSR azaltım katsayısı S_R ile önceden elde edilen CSR değeri çarpılarak CRR ile karşılaştırılır ve zeminin sıvılaşma potansiyeli tekrar incelenir.

Bu çalışmada incelenmiş olan örnek jet grouting projesi verileri yukarıda bahsedilen algoritmayla Excel hesap tabloları geliştirilerek her sondaj kuyusundaki deney yapılan her derinlik için analiz yapılmıştır. Ayrıca pratik olarak herhangi bir noktadaki belli bir derinlikteki sıvılaşma potansiyelini hesaplayıp bu derinlikteki sıvılaşma potansiyeli için jet grouting kolon çapı ve aralık öngörüsüyle kesme kuvveti tahkiki yapan ve sıvılaşma riskini tekrar inceleyen Şekil 3.9'daki hesap programı geliştirilmiştir.



Şekil 3.9: Bu çalışma için geliştirilmiş olan sıvılaşma analizi ve jet grouting projelendirme programı.

Böylelikle istenirse bu programla ayrı ayrı istenen derinlikteki SPT-N değeri ve diğer veriler girildiğinde sıvılaşma potansiyeli sonucu elde edilebilir. Bununla birlikte jet grouting kolon çapı ve aralığı seçimi için çok kısa bir sürede kesme kuvveti ve sıvılaşma tahkiki yapılarak uygun projelendirme verileri seçilebilir.

Sıvılaşma analizi kısmındaki hesap programında hesap yapılmak istenen ilgili derinliğe ait N_{30} değeri girilir. Bu çalışmada belirtilen tüm düzeltmeleri yaparak program, ilgili abak için gerekli $(N_1)_{60}$ değerini hesaplar. Bu değerle ilgili abaktan % 5 birim deformasyon eğrisinden CRR değeri okunur ve bu değer programda ilgili hücreye yazılır. Bu aşamadan sonra program girilen deprem büyüklüğüne göre düzeltme katsayısını da hesaba katarak CRR ve CSR'yi karşılaştırır ve sıvılaşma için sonuç değeri atar.

Jet grouting kolon projelendirme hesabı kısmında deneylerden elde edilmiş veya zemin cinsine göre öngörölmüş kolon basınç dayanımı, öngörülen kolon aralığı (kolon merkezinden merkezine), kolon çapı değerleri ve gerekli düzeltme sayısı girilir. Programın hesaplamış olduğu a_r ve G_r değerleriyle ilgili abaktan S_R okunur. Bu değer ilgili hücreye girildiğinde program kolonların taşıyabileceği kesme kuvvetini, zeminde oluşacak maksimum kesme kuvvetiyle karşılaştırır. Eğer kesme kuvveti kapasitesi maksimum zemin kesme kuvvetinden büyükse çap ve aralık için “yeterlidir” değeri atar.

Son olarak program, S_R ile azaltılmış CSRtasarım ile CRR'yi kıyaslayarak sıvılaşma riskinin ortadan kalkıp kalkmadığını hesaplar. Sıvılaşma potansiyeli devam etmiyorsa “risk ortadan kalktı” değerini ilgili sonuç kısmına atar.

Hesap algoritmalarına bağılı olarak bu çalışmada sondaj kuyularından elde edilen N_{30} değerleri için tüm derinliklerde hesaplamalar yapılmıştır.

Özet olarak bu çalışmada yapılan tüm hesaplar için geliştirilmiş hesap tablolarının anlaşılabilmesi için algoritma oluşturulmuş, buna bağılı olarak eldeki veriler kullanılıp sıvılaşma analizi ve jet grouting kolon projesi yapılmış, bu tez çalışmasında seçilen yöntemlerin öngördüğü şekilde pratik olarak sıvılaşma analizi ve kolon projelendirmesi yapabilen bir program geliştirilmiştir.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen tüm hesap algoritmalarına göre yapılmış sıvılaşma analizi tablolarından bir örnek, inceleme yapılan tüm alanın jet grouting projelendirmesi (Bkz. EK F.1) hesap tablosu sunulmuştur (Bkz. EK F.2)

4. AYDIN MERKEZ IŞIKLI KÖYÜ 1000 KİŞİLİK ÖĞRENCİ YURDU İNŞAATI ZEMİNİNİN JET GROUTING YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİ

4.1 Giriş

Aydın ili, Merkez İlçesi, Işıklı Köyü M19-b4 pafta, 1549 parsel’de Kredi Yurtlar Kurumu tarafından yaptırılan ve Aydın Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü’nce kontrolü yapılan 1000 kişilik öğrenci yurdu inşaatının “zemin iyileştirme projesi“ ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

Bu çalışmada Aydın Çevre ve Şehircilik Müdürlüğü arşivinden söz konusu inşaat zemini için Juro Zemin Test Şti.’nin hazırlamış olduğu zemin etüdü raporundan zemine ait veriler kullanılarak pratik bir yöntemle tekrar sıvılaşma analizi yapılmış, sıvılaşma derinliği belirlenmiş, Limtaş İnşaat Mühendislik Müşavirlik Hiz. San.ve Tic. Ltd. Şti.’nin hazırladığı jet grouting projesi verileri, çalışmanın konusu olan yöntemlerde kullanılarak kapasite ve güvenlik kontrolleri yapılmıştır.

Bu amaçla bu çalışma için zemin karakteristik verileri Juro Zemin Test Şti.’nin hazırladığı zemin etüd raporundan, uygulama işlemleri ve test sonuçları verileri de Aydın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden alınmıştır.

İnşaat alanında zeminin derinlikle değişimini saptamak, zeminin sınıflandırılması, zeminin tanımı, indeks özellikleri, fiziksel özellikleri, suya karşı davranışı, jeolojik yapı, süreksizlik ve basınç-gerilme miktarlarına bağlı kitle hareketleri ve zemin oturmalarını irdelemek amacıyla özel firma tarafından 10 adet 15-20 metre derinliklerde toplamda 175 metre sondaj kuyusu açılmıştır.

İnceleme alanında yapılan 10 adet zemin sondajı ile ilgili tanıtıcı, arazide yapılan sondaj kuyularında rastlanan tüm birimlerin özellikleri ayrıntıları ile sondaj loglarında sunulmuştur (Bkz. Ek A). Bazı sondajlarda yapılan laboratuvar deneyleri sonuçları özeti sunulmuştur (Bkz. EK E). Sondaj kuyularına ait lokasyon bilgileri

sondaj lokasyon haritasında verilmiştir (Bkz. Ek B). Jet grouting kolon projesi örnekleri sunulmuştur (Bkz. EK C ve EK D).

Çalışma alanında sıvılaşma potansiyeli hesaplarla belirlenmiş, sıvılaşma riskine karşı zemin iyileştirme metodu olarak firma tarafından jet grouting yöntemi seçilmiştir.

Uygulanmış olan jet grouting kolon çapı (R) ve eksenleri arasında mesafe (L) kesme dayanımı hesap yöntemiyle kontrol edilmiş, sıvılaşma potansiyelinin ortadan kaldırılıp kaldırılmadığı araştırılmış, iyileştirme sonrası taşıma gücü analizi yapılmıştır.

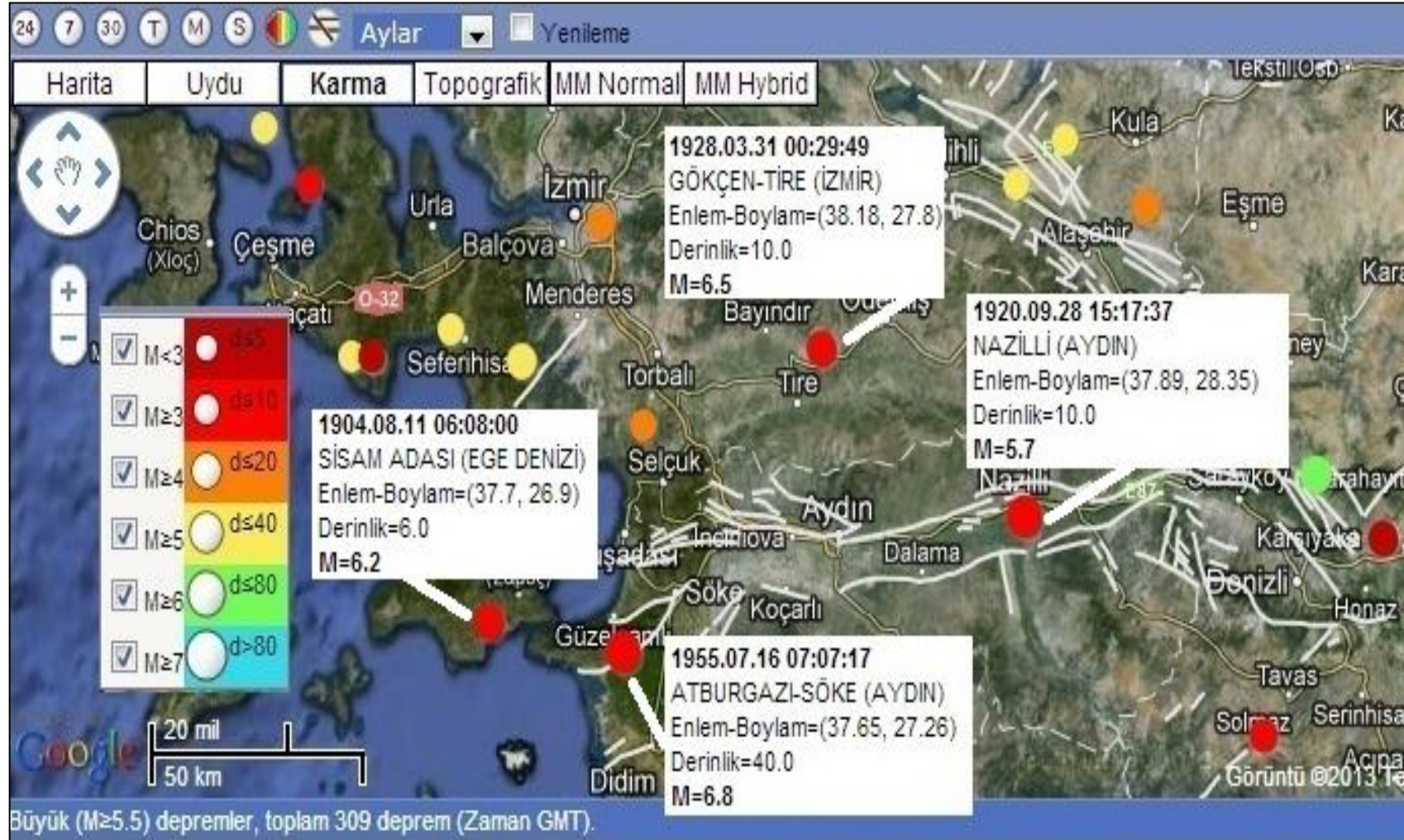
Tüm tahkikler özel firmanın saha ve laboratuvar deneyleri sonucu rapor ettiği veriler kullanılarak yapılmıştır. Tahkik sonuçlarının doğruluğu kullanılan verilerin doğruluğuyla doğrudan ilgilidir.

Jet grouting kolon uygulaması Erhan İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti. ve RG İnş. Enj. Tah. San. ve Tic. Ltd. Şti. ortam girişiminin yapım işini üstlendiği temel alanı içinde yapılırken temel dışında da bir sıra jet grouting kolon imal edilmesi, sıvılaşabilen zemin bölgesinin temel alanından bu şekilde uzak tutulması öngörülmüştür.

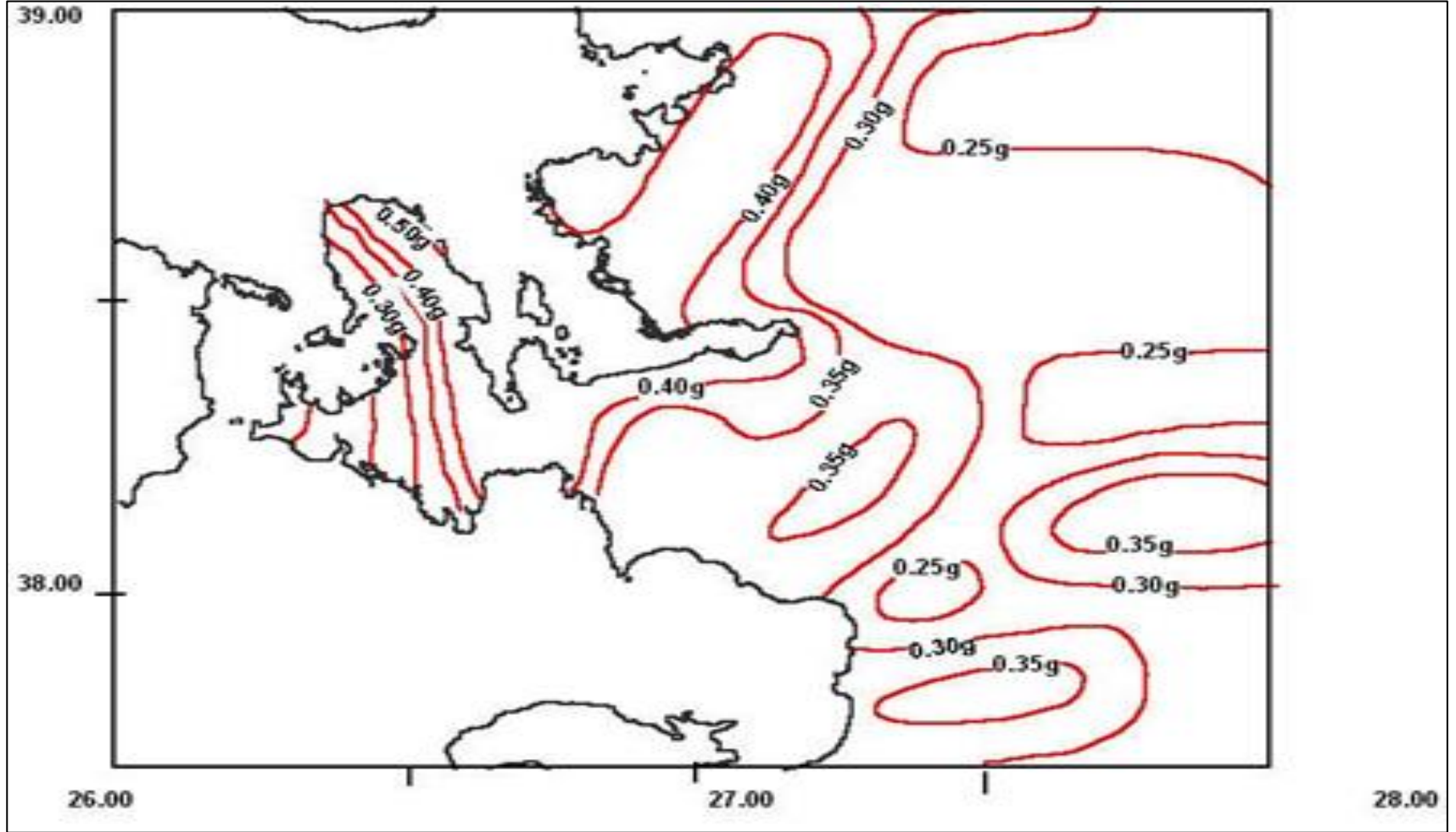
İmalat parametreleri (enjeksiyon basıncı, jet delik çapı, dönme ve çekme hızı) sahada yapılacak ön uygulama sonucunda kesinleştirilebilmiştir. Alternatif olarak yörede uygulama tecrübesi olan imalatçı firmaların tecrübelerinden yararlanılarak da imalat parametrelerine karar verilmesi amaçlanmıştır. Jet grouting ile ilgili tüm deneyler Ege Zemin ve Geogrup İnşaat Mühendislik Sanayi Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır.

4.2 Uygulama Yapılacak Olan Bölgenin Depremselliği

Aydın ili 1. derecede tehlikeli deprem bölgesinde olup çok aktif olan Büyük Menderes Grabeni içinde bulunması nedeniyle tarihsel ve yakın tarihsel dönemde birçok yıkıcı depremlerin etkisinde kalmıştır (Şekil 4.1). Son yüzyılda ise il genelinde meydana gelmiş en büyük deprem 1955 yılındaki $M = 6.8$ büyüklüğündeki Söke depremidir (Url-10). Deprem risk haritasında bölgenin taban kayası ivmesi 0.4g kabul edilmiştir (Şekil4.2).



Şekil 4.1: Aydın ili ve çevresinde oluşmuş büyük depremler (Url-11)



Şekil 4.2: İzmir ve çevresi için deprem tehlikesi haritası (% g cinsinden yumuşak zeminler için maksimum yatay taban kayası ivmesi, 475 yıllık dönüş süresi) (Url-11).

Aydın ve çevresi için kesin bir öngörü olmasa da İzmir ili ve çevresi için daha önce gerçekleşmiş büyük depremlerin verileri incelenerek hazırlanmış söz konusu deprem risk haritasında maksimum yatay taban kayası ivmeleri incelenmiş ve bu çalışmada incelenmiş, bölgenin maksimum ivmesel durumunun değerlendirilmesinde faydalanılmıştır.

Maksimum yer ivmesi sahanın zemin profiline uygun bir deprem kaydının seçilerek Shake 1992 yılı versiyonu vb. analiz programları yardımıyla ana kayada ölçülen ivmenin zemin profiline ne boyutta etki edip hangi değeri alacağı hesaplanabilir. Veya deprem şartnamelerinden yararlanılabilir. Aynı zamanda alana yönelik özel inceleme yapılarak o bölgede gerçekleşmiş büyük depremlerde oluşan maksimum ivme de değerlendirilebilir.

Bu çalışmada 1. derece deprem bölgesi için deprem yönetmeliğinde verilen ve ayrıca bölge için çıkarılmış ivme haritaları ve geçmiş depremler göz önüne alınarak maksimum ivme olarak 0.4 g ana kaya ivmesi kullanılmıştır.

4.3 Bölgenin Jeolojik Yapısı

Aydın ili ve çevresinde yayılım gösteren alüvyon; başta B. Menderes Nehri olmak üzere, kuzeyden güneye akış gösteren Tabakhane Deresi, Kemer Deresi ve Kızılcay'ın getirmiş olduğu, kökeni metamorfik kayalara ve Neojen çökellerine dayanan ayırık, kum-siltli, kum-siltli kil ve bunlarla ara bantlı kumlu çakıl seviyelerinden oluşmaktadır (Anonim 2008^b).

İnceleme sahasının zemini, kiremit renkli genellikle iri taneli yer yer ince taneli genellikle gevşek, çok gevşek siltli kil – kil, siltli kum – yer yer orta sıkı yapılı killi silt birimlerden oluşan kuvaterner yaşlı alüvyondur (Anonim 2008^b).

4.4 Zemin Araştırmaları ve Deneyle

Arazide firma tarafından 10 adet 15.00-20.00 metrelik derinliklerde toplamda 175 metre sondaj kuyusu açılmıştır.

İnceleme sahasında, sondaj kuyusunda muhtelif seviyelerde standart penetrasyon deneyi yapılmıştır. Yapılan penetrasyon deneyi sonuçlarına göre N_{30} penetrasyon direnci, rölatif sıklık ve kıvam ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

SK-1; $Y = 570587.006$ $X = 4189307.639$ $YAS = 3.80$ m

- 0.00 m – 3.00 m Çok Az Plastisiteli Siltli Kil – Killi Silt (CL-ML)
- 3.00 m – 4.50 m Orta Plastisiteli Kil (CL-CH)
- 4.50 m – 15.00 m Killi Kum – Siltli Kum (SC-SM)

SK-2; $Y = 570554.905$ $X = 4189315.812$ $YAS = 3.90$ m

- 0.00 m – 7.00 m Çok Az Plastisiteli Siltli Kil – Killi Silt (CL-ML)
- 7.00 m – 20.00 m Siltli Kum (SM)

SK-3; $Y = 570494.592$ $X = 4189302.571$ $YAS = 3.58$ m

- 0.00 m – 15.00 m Siltli Kum (SM)

SK-4; $Y = 570462.509$ $X = 4189254.611$ $YAS = 3.70$ m

- 0.00 m – 9.50 m Çok Az Plastisiteli Killi-Kum (SC)
- 9.50 m – 20.00 m Siltli Kum (SM)

SK-5 ; $Y = 570427.705$ $X = 4189254.611$ $YAS = 4.65$ m

- 0.00 m – 5.00 m Siltli Kum (SM)
- 5.00 m – 17.00 m Çok az Plastisiteli Siltli Kil- Killi Silt (CL-ML)
- 17.00 m – 20.00 m Çok az Plastisiteli Killi Kum (SC)

SK-6 ; $Y = 570419.638$ $X = 4189222.488$ $YAS = 3.80$ m

- 0.00 m – 9.00 m Siltli Kum (SM)
- 9.00 m – 15.00 m Siltli Kil- Siltli Kum (CL-ML)

SK-7 ; $Y = 570372.731$ $X = 4189234.760$ $YAS = 3.25$ m

- 0.00 m – 5.00 m Çok Az Plastisiteli Killi Silt (ML)
- 5.00 m – 15.00 m Siltli Kum (SM)

SK-8 ; $Y = 570364.652$ $X = 4189202.600$ $YAS = 4.40$ m

- 0.00 m – 7.00 m Çok Az Plastisiteli Killi Silt (ML)
- 7.00 m – 9.00 m Orta Plastisiteli Siltli-Kil (CL)
- 9.00 m – 20.00 m Çok az Plastisiteli Killi- Silt (ML)

SK-9 ; Y = 570273.210 X = 4189232.882 YAS = 4.35 m

- 0.00 m – 18.00 m Siltli- kum (SM)
- 18.00 m – 20.00 m Çok az Plastisiteli Killi-Silt (ML)

SK-10 ; Y = 570313.371 X = 4189212.392 YAS = 3.45 m

- 0.00 m – 6.00 m Siltli – Kum (SM)
- 5.00 m – 13.50 m Çok Az Plastisiteli Killi- Silt (ML)
- 13.50 -15.00 m Orta Plastisiteli Siltli- Kil (CL) (Anonim 2008^b).

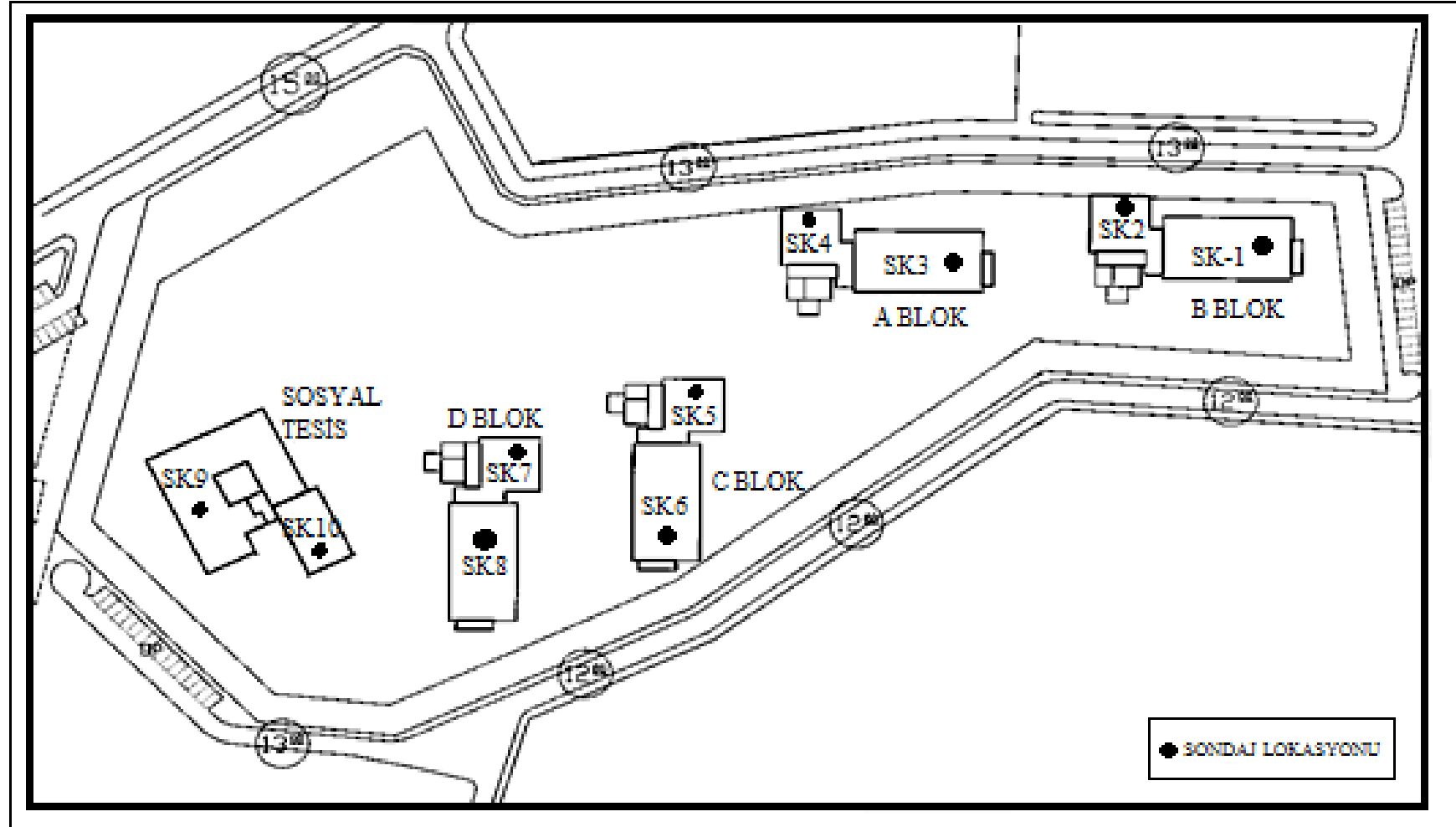
İnceleme sahasında yapılan çalışmalarda SK1, SK2, SK3, SK4 ve SK5 no'lu sondaj kuyularında SPT N_{30} değeri 10 civarında seyretmektedir. SK6, SK7, SK8, SK9 ve SK10 no'lu sondaj kuyularında ise N_{30} penetrasyon direnci 10-30 arasında değişmektedir. Ekte sunulan sondaj loglarında ayrıca SPT deney verileri yer almaktadır.

Yapılan sondajlar esnasında, her kuyuda 8 gün süre ile yeraltısuyu seviyesi ölçülerek, sonuçları aşağıdaki Tablo 4.1'de verilmiştir. Yeraltı suyu seviyesi ortalama 3.80 m olarak hesaplanmıştır.

Tablo 4.1: Yeraltı su seviyesi ölçüm değerleri (Anonim 2008^a).

KUYU NO	1. gün (m)	2. gün (m)	3. gün (m)	4. gün (m)	5. gün (m)	6. gün (m)	7. gün (m)	8. gün (m)
SK-1	4.75	4.50		4.50	4.50			3.80
SK-2	4.50	4.40		4.40	4.40			3.90
SK-3		4.30		4.30	4.35	4.30		3.58
SK-4		4.50		4.50	4.50	4.50		3.70
SK-5				4.40	4.30	4.30	4.30	4.65
SK-6				4.00	4.10	4.10	4.00	3.80
SK-7					4.20	4.20	4.20	4.40
SK-8					4.50	4.60	5.60	3.25
SK-9	4.50	4.50		4.30	4.50			4.30
SK-10		4.40		4.45	4.20			3.45

Arazide yurt binaları ve sosyal tesis binası altında yapılan sondaj lokasyonları için vaziyet planı hazırlanmıştır (Şekil 4.3)



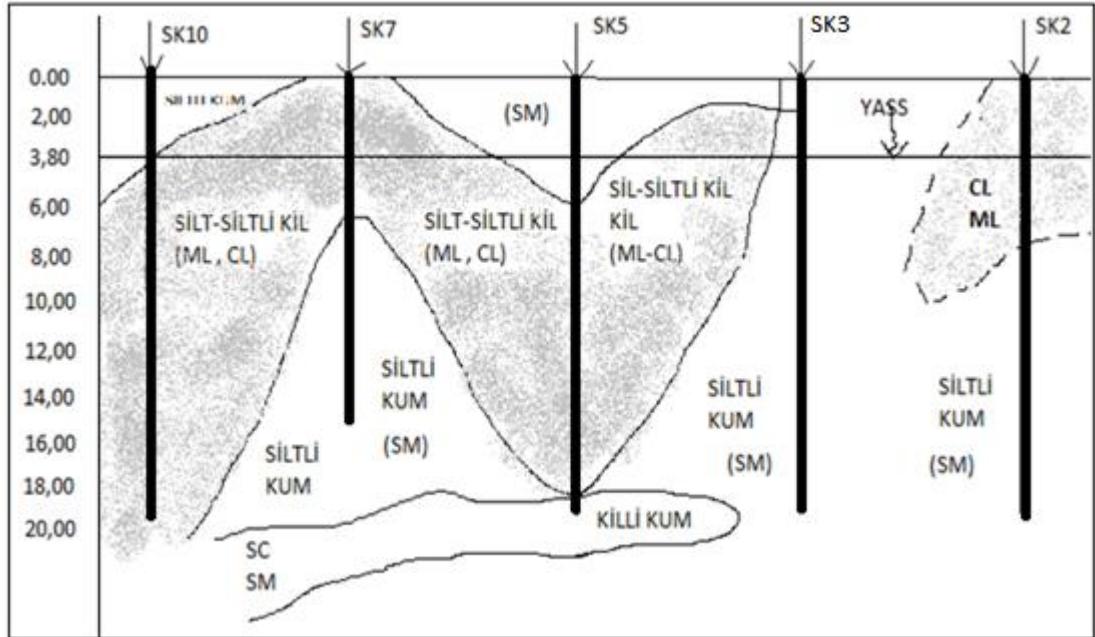
Şekil 4.3: Sondaj lokasyonları (Anonim 2008^b).

İnceleme sahasında hakim birim kumlu-killi silt birimi olup bu birime zaman zaman mercer ve kama oluşumları halinde siltli kil ve nadiren de siltli kum seviyeleri ile kesilmektedir. Koyu kahverengi kızılımsı renkte, yumuşak orta katı kıvamdaki silt ve killi seviyeler, tabana doğru aynı renkte ince taneli siltli kumlara geçiş yapmaktadır. Kum boyutu zeminde tane boyutunun ince olması nedeni ile geçişler belirgin değildir.

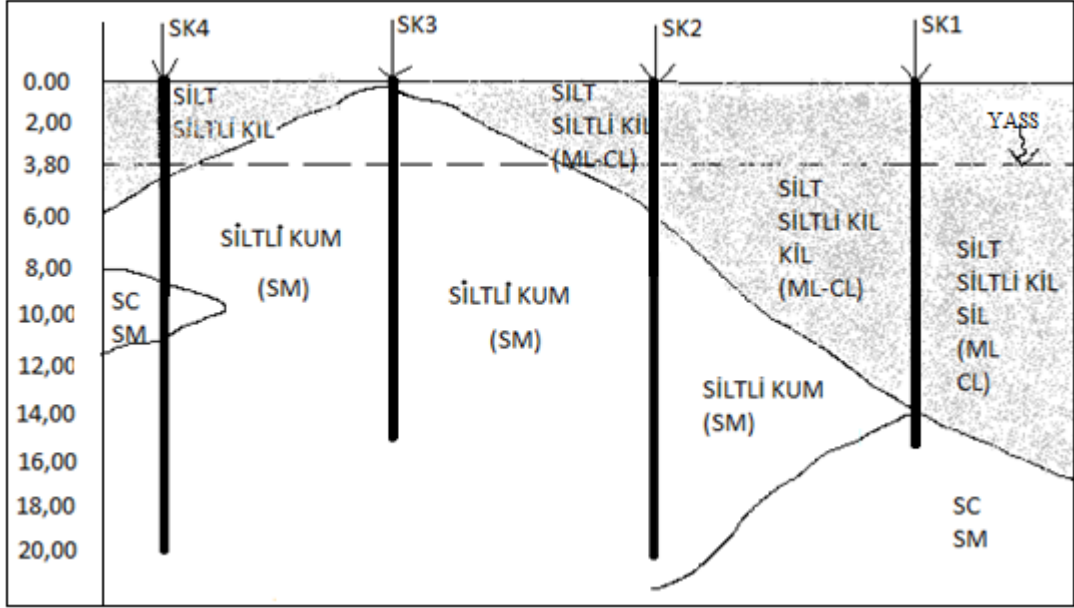
Sondaj çalışmalarında alınan SPT numunesinde 21, UD numunesinden 10 adet su içeriği deneyi yapılmıştır. W_n değerleri % 12.46 ile 34.72 seviyeleri arasında değişmektedir (Anonim 2008^b).

Laboratuar deneylerinden SK-1 'de 4.00-4.50 m'den alınan UD numunesi üzerinde yapılan deneyler sonucu doğal birim hacim ağırlık değeri 18.05-19.37 kN/m^3 mertebelerindedir (Anonim 2008^b).

Bazı sondaj noktaları arası alınan yatay kesitte arazide yapılan sondaj verileriyle zemin sınıfları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de görülmektedir.



Şekil 4.4: Sondaj noktaları arası alınan yatay kesitteki zemin sınıfları (Anonim 2008^b).



Şekil 4.5: Sondaj noktaları arası alınan yatay kesitteki zemin sınıfları (Anonim 2008^b).

4.5 İnşaat Zemini İçin Sıvılaştırma Analizi

4.5.1 Fiziki durum ve deney sonuçlarının değerlendirilmesi

Sondaj logları ve SPT deneyi sonucu inşaat zeminin genel karakteri için iri taneli, yer yer ince taneli, genellikle gevşek ve çok gevşek siltli kil, kil, siltli kum ve yer yer orta sıkı yapılı killi silt olduğu hakim birimin kumlu-killi silt olduğu söylenebilir.

Siltli bir zemin araştırma deneylerde de görülmüş olduğu gibi temiz kum veya kille karşılaştırıldığında daha fazla boşluk suyu basıncına maruz kalabilecek bir yapıya sahiptir. Silt oranının artması bir zeminde mukavemette düşüşe neden olarak bünyesindeki kil muhtevasıyla ters orantılı olarak boşluk suyu basıncına maruz kalma davranışı gösterir.

SK-1, 2, 3, 4, 5 sondaj kuyu bölgeleri için elde edilen N_{30} değeri 10 civarında olduğundan katı olarak nitelendirilebilecek sert olmayan bir zemin kıvamı sıvılaştırmaya müsait bir ortamı göstermektedir.

Düşük plastisiteli silt bir zeminin drenajsız kayma mukavemeti kile göre çok daha düşüktür. İnşaat alanı için hakim birimin silt olduğu düşünüldüğünde sıvılaşma durumunda mukavemetinin düşük olacağı açıktır.

Sıvılaşma için en elverişli koşullar, yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu zaman ortaya çıkmaktadır. Yeraltı su seviyesi üzerinde yer alan ve suya doygun olmayan zeminlerin sıvılaşması söz konusu değildir. Yeraltı suyunun ortalama 3.80 m derinlikte olmasından dolayı bugüne kadar gerçekleşen hiçbir sıvılaşma olayının, yeraltı su seviyesinin 5 metrenin altında olan yerlerde gerçekleşmediği göz önüne alınır ise inşaat alanındaki y.a.s. seviyesi sıvılaşmaya sebebiyet verecek bir derinlikte değildir.

Bölgenin sismik geçmişi düşünüldüğünde 7'ye yakın büyüklükte 3 depremin, 6 civarı büyüklükte 6 depremin gerçekleşmiş olması zeminin her ne kadar sıvılaşmaya olan duyarlılığı ve mukavemeti konusunda direncini arttırsa da en son gerçekleşen büyük ölçekli bir depremin üstünden uzun süre geçtiği düşünüldüğünde sıvılaşma gerçekleşmesi durumundaki karakteri konusunda emin ipuçları vermemekte ve güvenilebilecek iyi yönde bir zemin davranışı göstereceğine dair bir varsayım özelliği bulunmamaktadır.

Sıvılaşmanın bugüne kadar gerçekleşen dünya geneli örneklerinde 5 büyüklüğünden küçük olan depremlerde oluşmadığı ve 5 'ten fazla büyüklükte depremlerde olduğu dolayısıyla bu bölgedeki siltli her bölgenin sıvılaşmaya maruz kalacağı kuvvetli bir ihtimaldir.

4.5.2 Sıvılaşma potansiyeli hesabı

İnşaat zemini için arazide yapılan sondaj çalışmalarında gerçekleştirilen SPT deneyi verileri kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmıştır.

A, B, C, D blok yurt binalarının yaklaşık % 40'ını oluşturan merdiven kovanının ve ıslak zeminlerin bulunduğu kesim bodrumlu olarak tasarlanmıştır. Bu binaların yatakhanelerin olduğu % 60 kısmı ise bodrumsuz olarak tasarlanmıştır.

Dolayısıyla bloklar için değerlendirilecek SPT değerleri yüzeye kadar alınmıştır. Bodrumlu kısım için de bu değerlendirme geçerlidir.

Sosyal tesis bodrumlu olarak tasarlandığı için bodrum kat tabanı altındaki zemin seviyesinden itibaren SPT değerleri kullanılmıştır.

4.5.2.1 Yöntem ve hesap adımları

Juro Zemin Test Ltd. Şti.'nin yapmış olduğu arazi ve laboratuvar deneyleri ile elde edilen tüm veriler kullanılarak çevrimsel gerilmelerinin hesaplanıp oranlanarak güvenlik faktörü yorumlanması yöntemiyle SPT deneyinin yapıldığı her 1.5 metre için $M_w = 7.5$, 7.0 ve 6.5 büyüklüğünde depremler baz alınarak ayrıntılı olarak inşaat yapılmış alanda sıvılaşma tehlikesi irdelenmiş, SPT-N verileri kullanılarak CRR elde edilmiş ve CSR sayıları ile oranlanıp tüm sondaj kuyuları için Excel hesap tablosu geliştirilmiştir.

SK-1 sondaj logu için bazı derinliklerdeki SPT değerleri için sıvılaşma hesabı hesap adımları aşağıda örneklenmiştir. Diğer tüm sondaj kuyuları SPT değerleri kullanılarak hazırlanan Excel tablosuyla çözülmüş ve sıvılaşma riski tablosu oluşturulmuştur.

Birim hacim ağırlık için eldeki mevcut deney sonucuna göre elde edilen değerlerin ortalaması olarak 1.88 t/m^3 değeri kullanılmıştır.

Taşıma gücü analizleri için her sondaj kuyusu için yapılan deneylerde en olumsuz içsel sürtünme açıları ve kohezyon değerleri seçilmiştir.

4.5.2.1.1. 6 metre derinlik için ($N_{30} = 8$)

Tij enerji oranına göre düzeltilerek elde edilen N_{60} değeri 3. bölümde ER (kullanılan donut tipi şahmerdan için enerji oranı) 45 alınarak (3.15) eşitliği yardımıyla;

$$N_{60} = N \cdot \frac{ER}{60}$$

$N_{60} = 8 \cdot (45 / 60) = 6$ bulunur. 3.13 bağıntısında yerine konularak ;

$$N1_{60} = N_{60} \cdot \left[\frac{200}{100 + \sigma'_{vo}} \right]$$

$$N1_{60} = 6 \cdot (200 / (100 + \sigma'_{vo}))$$

$$\sigma_{vo}' = \gamma \cdot h + h_2 \cdot (\gamma - \gamma_w) = (18.8) \cdot (3.8) + (6 - 3.8) \cdot (18.8 - 10) = 90.8 \text{ kPa}$$

$$N_{160} = 6 \cdot (200 / (100 + 90.8)) = 6.28 \approx 6 \text{ bulunur.}$$

% 5 deformasyona ve $N_{160} = 6$ değerine karşılık gelen CRR değeri okunup 0.100 bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.3).

Depremin oluşturduğu çevrimsel kayma gerilmesi ise (3.10) eşitliğine göre

$$CSR = 0.65 \cdot (a_{\max}/g) \cdot (\sigma_{vo} / \sigma_{vo}') \cdot r_d \text{ olarak tanımlanmıştır.}$$

(Maksimum kayma gerilmesi τ_{\max} 'ın düşey gerilme σ_{vo} 'a göre hesaplanması 3. bölümde açıklanmıştır).

Zemin gerilmesi indirgeme faktörü olan r_d (3.11) eşitliğine göre z , hesap derinliği 6 m olmak üzere:

$$\begin{aligned} r_d &= (1 - 0.4113 \cdot 6^{0.5} + 0.04052 \cdot 6 + 0.001753 \cdot 6^{1.5}) / (1 - 0.4117 \cdot 6^{0.5} + \\ &0.05729 \cdot 6 - 0.006205 \cdot 6^{1.5} + 0.001210 \cdot 6^2) \\ &= 0.908 \text{ bulunmuştur.} \end{aligned}$$

$$\text{Dolayısıyla } CSR = 0.65 \cdot 0.4 \cdot (1.88 \cdot 6 / 9.08) \cdot 0.908 = 0.294$$

MSF; deprem büyüklüğü düzeltme faktörünü ve M_w ; moment cinsinden deprem büyüklüğünü ifade etmek üzere $M_w = 7.5$ 'den farklı deprem büyüklükleri de göz önünde bulundurulurak sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü (F_s) (3.16) ve (3.17) eşitliklerine göre aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 7.5^{2.56} = 0.999 \text{ (} M_w = 7.5 \text{ için)}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 7.0^{2.56} = 1.193 \text{ (} M_w = 7.0 \text{ için)}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 6.5^{2.56} = 1.442 \text{ (} M_w = 6.5 \text{ için)}$$

$M_w = 7.5$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.100 / 0.294 \cdot 0.999 = 0.34 < 1 \text{ sıvılaşma riski var !}$$

$M_w = 7.0$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.100 / 0.317 \cdot 1.193 = 0.41 < 1 \text{ sıvılaşma riski var !}$$

$M_w = 6.5$ için;

$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.100/0.317 \cdot 1.442 = 0.49 < 1$ sivilaşma riski var !

4.5.2.1.2 9 metre derinlik için ($N_{30} = 9$)

Tij enerji oranına göre düzeltilerek elde edilen N_{60} değeri 3. bölümde ER (kullanılan donut tipi şahmerdan için enerji oranı) 45 alınarak (3.15) eşitliğine göre

$N_{60} = 9 \cdot (45 / 60) = 6.75$ bulunur. 3.13 bağıntısında yerine konularak ;

$N_{160} = 6.75 \cdot (200 / (100 + \sigma_{vo}'))$

$\sigma_{vo}' = \gamma \cdot h + h_2 \cdot (\gamma - \gamma_w) = (18.8) \cdot (3.8) + (9.0 - 3.8) \cdot (18.8 - 10) = 117.2$
kPa

$N_{160} = 6 \cdot (200 / (100 + 117.2)) = 5.52 \approx 6$ bulunur.

% 5 deformasyona ve $N_{160} = 6$ değerine karşılık gelen CRR değeri okunup 0.100 bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.3)

Depremi oluşturduğu çevrimsel kayma gerilmesi ise (3.10) eşitliği yardımıyla;

$CSR = 0.65 \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo} / \sigma_{vo}') \cdot r_d$ olarak tanımlanmıştır.

Zemin gerilmesi indirgeme faktörü olan r_d (3.11) eşitliğine göre z, hesap derinliği 9 m olmak üzere:

$$r_d = (1 - 0.4113 \cdot 9^{0.5} + 0.04052 \cdot 9 + 0.001753 \cdot 9^{1.5}) / (1 - 0.4117 \cdot 9^{0.5} + 0.05729 \cdot 9 - 0.006205 \cdot 9^{1.5} + 0.001210 \cdot 9^2)$$

= 0.844 bulunmuştur.

Dolayısıyla $CSR = 0.65 \cdot (4/9.81) \cdot (1.88 \cdot 9 / 11.72) \cdot 0.844 = 0.317$

MSF; deprem büyüklüğü düzeltme faktörünü ve M_w ; moment cinsinden deprem büyüklüğünü ifade etmek üzere $M_w = 7.5$ 'den farklı deprem büyüklükleri de göz önünde bulundurulurken sivilaşmaya karşı güvenlik faktörü (F_s) (3.16) ve (3.17) eşitliklerine göre aşağıdaki gibi hesaplanabilecektir :

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF \quad :$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 7.5^{2.56} = 0.999 \text{ (} M_w = 7.5 \text{ için)}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 7.0^{2.56} = 1.193 \text{ (} M_w = 7.0 \text{ için)}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 6.5^{2.56} = 1.442 \text{ (} M_w = 6.5 \text{ için)}$$

$M_w = 7.5$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.100 / 0.317 \cdot 0.999 = 0.320 < 1 \text{ sınırlama var !}$$

$M_w = 7.0$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.100 / 0.317 \cdot 1.193 = 0.380 < 1 \text{ sınırlama var !}$$

$M_w = 6.5$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.100 / 0.317 \cdot 1.442 = 0.460 < 1 \text{ sınırlama var !}$$

4.5.2.1.3 15 metre derinlik için ($N_{30} = 13$)

$$N_{60} = 13 \cdot (45 / 60) = 10$$

$$N_{160} = 10 \cdot (200 / (100 + \sigma_{vo}'))$$

$$\sigma_{vo}' = \gamma \cdot h + h_2 \cdot (\gamma - \gamma_w) = (18.8) \cdot (3.8) + (15.0 - 3.8) \cdot (18.8 - 10) = 170 \text{ t/m}^2$$

$$N_{160} = 10 \cdot (200 / (100 + 170)) = 7.41 \approx 7$$

% 5 deformasyona ve $N_{160} = 7$ değerine karşılık gelen CRR değeri okunup 0.115 bulunmuştur (Bkz. Şekil 3.3).

$$CSR = 0.65 \cdot (a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo} / \sigma_{vo}') \cdot r_d$$

$$r_d = (1 - 0.4113 \cdot 15^{0.5} + 0.04052 \cdot 15 + 0.001753 \cdot 15^{1.5}) / (1 - 0.4117 \cdot 15^{0.5} + 0.05729 \cdot 15 - 0.006205 \cdot 15^{1.5} + 0.001210 \cdot 15^2) = 0.661 \text{ bulunmuştur.}$$

$$\text{Dolayısıyla } CSR = 0.65 \cdot (4 / 9.81) \cdot (1.88 \cdot 15 / 17) \cdot 0.661 = 0.285$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 7.5^{2.56} = 0.999 \text{ (} M_w = 7.5 \text{ için)}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 7.0^{2.56} = 1.193 \text{ (} M_w = 7.0 \text{ için)}$$

$$MSF = 10^{2.24} / M_w^{2.56} = 10^{2.24} / 6.5^{2.56} = 1.442 \text{ (} M_w = 6.5 \text{ için)}$$

$M_w = 7.5$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.115/0.285 \cdot 0.999 = 0.403 < 1 \text{ sivilaşma var !}$$

$M_w = 7.0$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.115/0.285 \cdot 1.193 = 0.480 < 1 \text{ sivilaşma var !}$$

$M_w = 6.5$ için;

$$F_s = CRR / CSR \cdot MSF = 0.115/0.285 \cdot 1.442 = 0.580 < 1 \text{ sivilaşma var !}$$

4.5.2.1.4 Tüm sondaj spt değerlerinin sivilaşma riski analizi

Sonuç olarak her bir sondaj kuyusu ve derinliği için değerlendirilecek sivilaşma potansiyeli için Excel tablosu geliştirilmiştir.

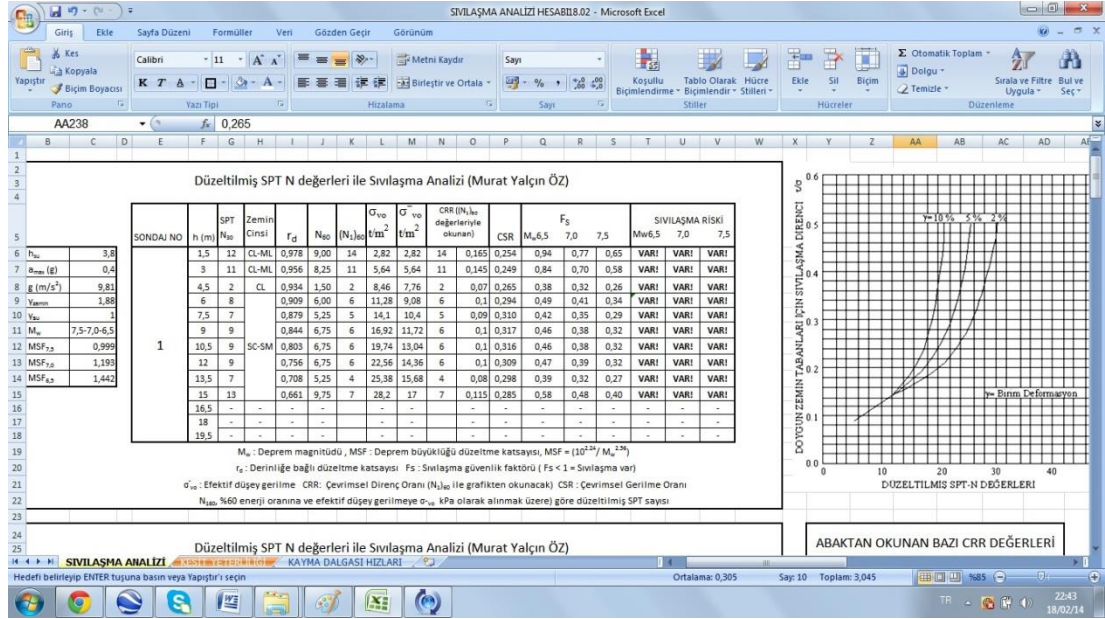
Tablo için deneysel çalışma sonucu oluşturulan SPT-N ve CRR abağı (Şekil 4.5) % 5 birim deformasyon parabolü detaylı bir şekilde irdelenerek, düzeltilmiş SPT-N = 19'da maksimum değerini aldığı görülmüştür.

Tablo 4.2'de yer alan yeraltı su seviyesi, maksimum yer ivmesini, zemin birim hacim ağırlığını ve arazide elde edilen SPT-N değerlerini ve ilgili derinlikleri hesap tablosuna girilerek program ile 6.5, 7.0 ve 7.5 büyüklüklerindeki depremler için magnitud düzeltme faktörlerine göre Seed ve Idriss, 1982 yöntemiyle sondaj yapılan nokta için güvenlik sayısı F_s 'yi 1'den büyük ve küçük olması durumuyla karşılaştırıp sivilaşma potansiyeli analizi yapılmıştır.

SPT-N düzeltilmiş olarak 2'den itibaren 1 puan artırımlarla 19'a kadar tüm değerleri için CRR değeri okunmuş (Tablo 4.3) Excel programına sabit veri olarak girilmiştir. Arazide yapılan deney sonucu bulunan normal SPT-N değerlerini programa girilmiş, düzeltilmiş N değerlerini ve bu değerlere karşılık gelen CRR değerleri otomatik olarak hesaba katılmıştır (Şekil 4.6).

Tablo 4.2: Zemin etüt raporundan alınan zemin özellikleri verileri

h_{su} (m)	-3.8
a_{max} (g)	0.4
g (m/s ²)	1
γ_{zemin} (t/m ³)	1.88
γ_{su} (t/m ³)	1
M_w	6.5-7.0-7.5



Şekil 4.6: Excel programında hazırlanan sıvılaşma analizi ekranı.

Her sondaj kuyusu için elde edilen SPT-N değerleri ve zeminle ilgili veriler girilerek o noktadaki sıvılaşma potansiyelleri araştırılmış ve hesap sonuçları tablolar halinde sunulmuştur (Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12, Tablo 4.13).

Tablo 4.3: %5 Birim deformasyon SPT-N – okunan CRR değerleri tablosu.

%5 BİRİM DEFORMASYON SPT-N60-CRR DEĞERLERİ					
SPT-N60	OKUNAN CRR	SPT-N60	OKUNAN CRR	SPT-N60	OKUNAN CRR
2	0,07	11	0,145	20	0,245
3	0,075	12	0,15	21	0,272
4	0,08	13	0,158	22	0,3
5	0,09	14	0,165	23	0,33
6	0,1	15	0,175	24	0,37
7	0,115	16	0,188	25	0,43
8	0,118	17	0,198	26	0,56
9	0,130	18	0,215		
10	0,14	19	0,23		

N_{60} 'a bağlı okumalar Autocad programında ölçekli bir şekilde yapılmıştır. Excel programında hesaplanan N_1 değerleriyle hesaplanan N_{60} değerleri 0.5'ten büyük ve küçük olması durumuyla tamsayıya yuvarlanarak CRR değeri atanmıştır.

Tablo 4.4: SK1 için SPT N değerleriyle sivilaşma analizi için hazırlanan olan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)		CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ			
									M _w 6.5	7.0		7.5	M _w 6.5	7.0	7.5			
1	1.5	12	CL-ML	0.9777	9.00	14	2.82	2.82	14	0.165	0.2542	0.94	0.77	0.65	VAR!	VAR!	VAR!	
	3	11	CL-ML	0.9562	8.25	11	5.64	5.64	11	0.145	0.2486	0.84	0.70	0.58	VAR!	VAR!	VAR!	
	4.5	2	CL	0.9338	1.50	2	8.46	7.76	2	0.07	0.265	0.38	0.32	0.26	VAR!	VAR!	VAR!	
	6	8	SC-SM	0.9088	6.00	6	11.28	9.08	6	0.1	0.294	0.49	0.41	0.34	VAR!	VAR!	VAR!	
	7.5	7		0.8794	5.25	5	14.1	10.4	5	0.09	0.310	0.42	0.35	0.29	VAR!	VAR!	VAR!	
	9	9		0.8442	6.75	6	16.92	11.72	6	0.1	0.317	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!	
	10.5	9		0.8028	6.75	6	19.74	13.04	6	0.1	0.316	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!	
	12	9		0.7563	6.75	6	22.56	14.36	6	0.1	0.309	0.47	0.39	0.32	VAR!	VAR!	VAR!	
	13.5	7		0.7077	5.25	4	25.38	15.68	4	0.08	0.298	0.39	0.32	0.27	VAR!	VAR!	VAR!	
	15	13	0.6607	9.75	7	28.2	17	7	0.115	0.285	0.58	0.48	0.40	VAR!	VAR!	VAR!		
	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

M_w : Deprem magnitudü , MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı, MSF = (10^{2.24}/ M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sivilaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sivilaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀, (%60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.5 : SK2 için SPT N değerleriyle sıvılaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)		CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ		
									M _w 6.5	7.0		7.5	M _w 6.5	7.0	7.5		
2	1.5	13	ML- CL	0.9777	9.75	15	2.82	2.82	15	0.175	0.2542	0.99	0.82	0.69	VAR!	VAR!	VAR!
	3	4		0.9562	3.00	4	5.64	5.64	4	0.08	0.2486	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	4.5	6		0.9338	4.50	5	8.46	7.76	5	0.09	0.265	0.49	0.41	0.34	VAR!	VAR!	VAR!
	6	0		0.9088	0.00	0	11.28	9.08	0	#YOK	0.294	SPT gir	SPT gir	SPT gir	VAR!	YOK	YOK
	7.5	19		0.8794	14.25	14	14.1	10.4	14	0.165	0.310	0.77	0.64	0.53	VAR!	VAR!	VAR!
	9	12	SM	0.8442	9.00	8	16.92	11.72	8	0.118	0.317	0.54	0.44	0.37	VAR!	VAR!	VAR!
	10.5	8		0.8028	6.00	5	19.74	13.04	5	0.09	0.316	0.41	0.34	0.28	VAR!	VAR!	VAR!
	12	9		0.7563	6.75	6	22.56	14.36	6	0.1	0.309	0.47	0.39	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	13.5	9		0.7077	6.75	5	25.38	15.68	5	0.09	0.298	0.44	0.36	0.30	VAR!	VAR!	VAR!
	15	0		0.6607	0.00	0	28.2	17	0	#YOK	0.285	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK
	16.5	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

M_w : Deprem magnitudü , MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı, MSF = (10^{2.24}/ M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sıvılaşma var)

σ_{vo} : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀, %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.6: SK3 için SPT N değerleriyle sivilaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} ² t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)		CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ		
									M _w 6.5	7.0		7.5	M _w 6.5	7.0	7.5		
3	1.5	7	SM	0.9777	5.25	8	2.82	2.82	8	0.118	0.2542	0.67	0.55	0.46	VAR!	VAR!	VAR!
	3	11		0.9562	8.25	11	5.64	5.64	11	0.145	0.2486	0.84	0.70	0.58	VAR!	VAR!	VAR!
	4.5	0		0.9338	0	0	8.46	7.76	0	#YOK	0.265	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK
	6	7		0.9088	5.25	6	11.28	9.08	6	0.1	0.294	0.49	0.41	0.34	VAR!	VAR!	VAR!
	7.5	6		0.8794	4.5	4	14.1	10.4	4	0.08	0.310	0.37	0.31	0.26	VAR!	VAR!	VAR!
	9	8		0.8442	6	6	16.92	11.72	6	0.1	0.317	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	10.5	7		0.8028	5.25	5	19.74	13.04	5	0.09	0.316	0.41	0.34	0.28	VAR!	VAR!	VAR!
	12	5		0.7563	3.75	3	22.56	14.36	3	0.075	0.309	0.35	0.29	0.24	VAR!	VAR!	VAR!
	13.5	8		0.7077	6	5	25.38	15.68	5	0.09	0.298	0.44	0.36	0.30	VAR!	VAR!	VAR!
	15	9		0.6607	6.75	5	28.2	17	5	0.09	0.285	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	16.5	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

M_w : Deprem magnitüdü , MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı, MSF = (10^{2.24}/ M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sivilaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sivilaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀, %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.7: SK4 için SPT N değerleriyle sıvılaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)	CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ					
											M _w 6.5	7.0	7.5	Mw6.5	7.0	7.5			
4	1.5	7	SC-SM	0.9777	5.25	8	2.82	2.82	8	0.118	0.2542	0.67	0.55	0.46	VAR!	VAR!	VAR!		
	3	9		0.9562	6.75	9	5.64	5.64	9	0.13	0.2486	0.75	0.62	0.52	VAR!	VAR!	VAR!		
	4.5	0	SM	0.9338	0	0	8.46	7.76	0	#YOK	0.265	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK		
	6	9		0.9088	6.75	7	11.28	9.08	7	0.115	0.294	0.56	0.47	0.39	VAR!	VAR!	VAR!		
	7.5	8		0.8794	6	6	14.1	10.4	6	0.1	0.310	0.47	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!		
	9	7		0.8442	5.25	5	16.92	11.72	5	0.09	0.317	0.41	0.34	0.28	VAR!	VAR!	VAR!		
	10.5	8		0.8028	6	5	19.74	13.04	5	0.09	0.316	0.41	0.34	0.28	VAR!	VAR!	VAR!		
	12	8		0.7563	6	5	22.56	14.36	5	0.09	0.309	0.42	0.35	0.29	VAR!	VAR!	VAR!		
	13.5	9		0.7077	6.75	5	25.38	15.68	5	0.09	0.298	0.44	0.36	0.30	VAR!	VAR!	VAR!		
	15	8		0.6607	6	4	28.2	17	5	0.09	0.285	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!		
	16.5	9		0.6186	6.75	5	31.02	18.32	5	0.090	0.272	0.48	0.39	0.33	VAR!	VAR!	VAR!		
	18	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	19.5	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

M_w : Deprem magnitudü , MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı, MSF = (10^{2.24}/ M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sıvılaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀, %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.8: SK5 için SPT N değerleriyle sıvılaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} ⁻ t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)	CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ			
											M _w 6.5	7.0	7.5	M _w 6.5	7.0	7.5	
5	1.5	8	SM	0.9777	6.00	9	2.82	2.82	9	0.13	0.2542	0.74	0.61	0.51	VAR!	VAR!	VAR!
	3	5		0.9562	3.75	5	5.64	5.64	4	0.08	0.2486	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	4.5	6		0.9338	4.50	5	8.46	7.76	5	0.09	0.265	0.49	0.41	0.34	VAR!	VAR!	VAR!
	6	6	ML- CL	0.9088	4.50	5	11.28	9.08	5	0.09	0.294	0.44	0.37	0.31	VAR!	VAR!	VAR!
	7.5	8		0.8794	6.00	6	14.1	10.4	6	0.1	0.310	0.47	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	9	6		0.8442	4.50	4	16.92	11.72	4	0.08	0.317	0.36	0.30	0.25	VAR!	VAR!	VAR!
	10.5	9		0.8028	6.75	6	19.74	13.04	6	0.1	0.316	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	12	7		0.7563	5.25	4	22.56	14.36	4	0.08	0.309	0.37	0.31	0.26	VAR!	VAR!	VAR!
	13.5	6		0.7077	4.50	4	25.38	15.68	4	0.08	0.298	0.39	0.32	0.27	VAR!	VAR!	VAR!
	15	8		0.6607	6.00	4	28.2	17	4	0.08	0.285	0.40	0.33	0.28	VAR!	VAR!	VAR!
	16.5	7		0.6186	5.25	4	31.02	18.32	4	0.080	0.272	0.42	0.35	0.29	VAR!	VAR!	VAR!
	18	7		0.5833	5.25	4	33.84	19.64	4	0.080	0.261	0.44	0.37	0.31	VAR!	VAR!	VAR!
	19.5	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

M_w : Deprem magnitudü , MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı, MSF = (10^{2.24}/ M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sıvılaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀, %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.9: SK6 için SPT N değerleriyle sıvılaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} ⁻ t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)		CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ			
									M _w 6.5	7.0		7.5	M _w 6.5	7.0	7.5			
6	1.5	11	SM	0.9777	8.25	13	2.82	2.82	13	0.158	0.2542	0.90	0.74	0.62	VAR!	VAR!	VAR!	
	3	9		0.9562	6.75	9	5.64	5.64	9	0.13	0.2486	0.75	0.62	0.52	VAR!	VAR!	VAR!	
	4.5	0		0.9338	0.00	0	8.46	7.76	0	#YOK	0.265	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK	
	6	10		0.9088	7.50	8	11.28	9.08	8	0.118	0.294	0.58	0.48	0.40	VAR!	VAR!	VAR!	
	7.5	15		0.8794	11.25	11	14.1	10.4	11	0.145	0.310	0.67	0.56	0.47	VAR!	VAR!	VAR!	
	9	15		0.8442	11.25	10	16.92	11.72	10	0.14	0.317	0.64	0.53	0.44	VAR!	VAR!	VAR!	
	10.5	20		0.8028	15.00	13	19.74	13.04	13	0.158	0.316	0.72	0.60	0.50	VAR!	VAR!	VAR!	
	12	25	CL-ML	0.7563	18.75	15	22.56	14.36	15	0.175	0.309	0.82	0.68	0.57	VAR!	VAR!	VAR!	
	13.5	24		0.7077	18.00	14	25.38	15.68	14	0.165	0.298	0.80	0.66	0.55	VAR!	VAR!	VAR!	
	15	27		0.6607	20.25	15	28.2	17	15	0.175	0.285	0.89	0.73	0.61	VAR!	VAR!	VAR!	
	16.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

M_w : Deprem magnitudü . MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı. MSF = (10^{2.24}/ M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sıvılaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀: %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.10: SK7 için SPT N değerleriyle sınıvlaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} ² t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)		CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ			
									M _w 6.5	7.0		7.5	M _w 6.5	7.0	7.5			
7	1.5	16	ML	0.9777	12.00	19	2.82	2.82	19	0.23	0.2542	1.30	1.08	0.90	YOK	YOK	VAR!	
	3	12		0.9562	9.00	12	5.64	5.64	12	0.15	0.2486	0.87	0.72	0.60	VAR!	VAR!	VAR!	
	4.5	0		0.9338	0.00	0	8.46	7.76	0	#YOK	0.265	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK	
	6	17	SM	0.9088	12.75	13	11.28	9.08	13	0.158	0.294	0.78	0.64	0.54	VAR!	VAR!	VAR!	
	7.5	18		0.8794	13.50	13	14.1	10.4	13	0.158	0.310	0.74	0.61	0.51	VAR!	VAR!	VAR!	
	9	13		0.8442	9.75	9	16.92	11.72	9	0.13	0.317	0.59	0.49	0.41	VAR!	VAR!	VAR!	
	10.5	15		0.8028	11.25	10	19.74	13.04	10	0.14	0.316	0.64	0.53	0.44	VAR!	VAR!	VAR!	
	12	21		0.7563	15.75	13	22.56	14.36	13	0.158	0.309	0.74	0.61	0.51	VAR!	VAR!	VAR!	
	13.5	24		0.7077	18.00	14	25.38	15.68	14	0.165	0.298	0.80	0.66	0.55	VAR!	VAR!	VAR!	
	15	27		0.6607	20.25	15	28.2	17	15	0.175	0.285	0.89	0.73	0.61	VAR!	VAR!	VAR!	
	16.5	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	18	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

M_w : Deprem magnitudü . MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı. MSF = (10^{2.24} / M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sınıvlaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sınıvlaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀. %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.11: SK8 için SPT N değerleriyle sıvılaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)		CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ		
									M _w 6.5	7.0		7.5	M _w 6.5	7.0	7.5		
8	1.5	15	ML	0.9777	11.25	18	2.82	2.82	18	0.215	0.2542	1.22	1.01	0.84	YOK	YOK	VAR!
	3	7		0.9562	5.25	7	5.64	5.64	7	0.115	0.2486	0.67	0.55	0.46	VAR!	VAR!	VAR!
	4.5	19		0.9338	14.25	16	8.46	7.76	16	0.188	0.265	1.02	0.85	0.71	YOK	VAR!	VAR!
	6	14		0.9088	10.50	11	11.28	9.08	11	0.145	0.294	0.71	0.59	0.49	VAR!	VAR!	VAR!
	7.5	11	CL	0.8794	8.25	8	14.1	10.4	8	0.118	0.310	0.55	0.45	0.38	VAR!	VAR!	VAR!
	9	0		0.8442	0.00	0	16.92	11.72	0	#YOK	0.317	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK
	10.5	15		0.8028	11.25	10	19.74	13.04	10	0.14	0.316	0.64	0.53	0.44	VAR!	VAR!	VAR!
	12	12	ML	0.7563	9.00	7	22.56	14.36	7	0.115	0.309	0.54	0.44	0.37	VAR!	VAR!	VAR!
	13.5	15		0.7077	11.25	9	25.38	15.68	9	0.13	0.298	0.63	0.52	0.44	VAR!	VAR!	VAR!
	15	11		0.6607	8.25	6	28.2	17	6	0.1	0.285	0.51	0.42	0.35	VAR!	VAR!	VAR!
	16.5	28		0.6186	21.00	15	31.02	18.32	15	0.175	0.272	0.93	0.77	0.64	VAR!	VAR!	VAR!
	18	26		0.5833	19.50	13	33.84	19.64	13	0.158	0.261	0.87	0.72	0.60	VAR!	VAR!	VAR!
	19.5	27		0.555	20.25	13	36.66	20.96	13	0.158	0.252	0.90	0.75	0.63	VAR!	VAR!	VAR!

M_w : Deprem magnitudü . MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı. MSF = (10^{2.24} / M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sıvılaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀ : %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.12: SK9 için SPT N değerleriyle sıvılaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)	CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ			
											M _w 6.5	7.0	7.5	M _w 6.5	7.0	7.5	
9	1.5	10	SM	0.9777	7.50	12	2.82	2.82	12	0.15	0.2542	0.85	0.70	0.59	VAR!	VAR!	VAR!
	3	11		0.9562	8.25	11	5.64	5.64	11	0.145	0.2486	0.84	0.70	0.58	VAR!	VAR!	VAR!
	4.5	0		0.9338	0.00	0	8.46	7.76	0	#YOK	0.265	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK
	6	13		0.9088	9.75	10	11.28	9.08	10	0.14	0.294	0.69	0.57	0.48	VAR!	VAR!	VAR!
	7.5	10		0.8794	7.50	7	14.1	10.4	7	0.115	0.310	0.53	0.44	0.37	VAR!	VAR!	VAR!
	9	10		0.8442	7.50	7	16.92	11.72	7	0.115	0.317	0.52	0.43	0.36	VAR!	VAR!	VAR!
	10.5	17	ML	0.8028	12.75	11	19.74	13.04	11	0.145	0.316	0.66	0.55	0.46	VAR!	VAR!	VAR!
	12	23		0.7563	17.25	14	22.56	14.36	14	0.165	0.309	0.77	0.64	0.53	VAR!	VAR!	VAR!
	13.5	17		0.7077	12.75	10	25.38	15.68	10	0.14	0.298	0.68	0.56	0.47	VAR!	VAR!	VAR!
	15	34		0.6607	25.50	19	28.2	17	19	0.23	0.285	1.16	0.96	0.81	YOK	VAR!	VAR!
	16.5	28		0.6186	21.00	15	31.02	18.32	15	0.175	0.272	0.93	0.77	0.64	VAR!	VAR!	VAR!
	18	30		0.5833	22.50	15	33.84	19.64	15	0.175	0.261	0.97	0.80	0.67	VAR!	VAR!	VAR!
	19.5	22		0.555	16.50	11	36.66	20.96	11	0.145	0.252	0.83	0.69	0.57	VAR!	VAR!	VAR!

M_w : Deprem magnitudü . MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı. MSF = (10^{2.24} / M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sıvılaşma var)

σ_{vo}⁻ : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀- %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Tablo 4.13: SK10 için SPT N değerleriyle sıvılaşma analizi için hazırlanan Excel hesap tablosu.

SONDAJ NO	h (m)	SPT N ₃₀	Zemin Cinsi	r _d	N ₆₀	(N ₁) ₆₀	σ _{vo} t/m ²	σ _{vo} ⁻ t/m ²	CRR ((N ₁) ₆₀ değerleriyle okunan)		CSR	F _s			SIVILAŞMA RİSKİ		
									M _w 6.5	7.0		7.5	M _w 6.5	7.0	7.5		
10	1.5	9	SM	0.9777	6.75	11	2.82	2.82	11	0.145	0.2542	0.82	0.68	0.57	VAR!	VAR!	VAR!
	3	11		0.9562	8.25	11	5.64	5.64	11	0.145	0.2486	0.84	0.70	0.58	VAR!	VAR!	VAR!
	4.5	0		0.9338	0	0	8.46	7.76	0	#YOK	0.265	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK
	6	8	ML- CL	0.9088	6	6	11.28	9.08	6	0.1	0.294	0.49	0.41	0.34	VAR!	VAR!	VAR!
	7.5	0		0.8794	0	0	14.1	10.4	0	#YOK	0.310	SPT gir	SPT gir	SPT gir	YOK	YOK	YOK
	9	9		0.8442	6.75	6	16.92	11.72	6	0.1	0.317	0.46	0.38	0.32	VAR!	VAR!	VAR!
	10.5	8		0.8028	6	5	19.74	13.04	5	0.09	0.316	0.41	0.34	0.28	VAR!	VAR!	VAR!
	12	21		0.7563	15.75	13	22.56	14.36	13	0.158	0.309	0.74	0.61	0.51	VAR!	VAR!	VAR!
	13.5	16		0.7077	12	9	25.38	15.68	9	0.13	0.298	0.63	0.52	0.44	VAR!	VAR!	VAR!
	15	20		0.6607	15	11	28.2	17	11	0.145	0.285	0.73	0.61	0.51	VAR!	VAR!	VAR!
	16.5	20		0.6186	15	11	31.02	18.32	11	0.145	0.272	0.77	0.64	0.53	VAR!	VAR!	VAR!
	18	22		0.5833	16.5	11	33.84	19.64	11	0.145	0.261	0.80	0.66	0.55	VAR!	VAR!	VAR!
	19.5	26		0.555	19.5	13	36.66	20.96	13	0.158	0.252	0.90	0.75	0.63	VAR!	VAR!	VAR!

M_w : Deprem magnitüdü , MSF : Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı, MSF = (10^{2.24}/ M_w^{2.56})

r_d : Derinliğe bağlı düzeltme katsayısı F_s : Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s < 1 = Sıvılaşma var)

σ_{vo} : Efektif düşey gerilme CRR: Çevrimsel Direnç Oranı (N₁)₆₀ ile grafikten okunacak) CSR : Çevrimsel Gerilme Oranı

N₁₆₀, %60 enerji oranına ve efektif düşey gerilmeye σ_{vo} kPa olarak alınmak üzere) göre düzeltilmiş SPT sayısı

Yapılan 10 adet sondaj için sıvılaşma analizi hazırlanan bu çalışmada Excel tablolarındaki sonuçlar incelendiğinde tüm kuyularda sondaj yapılan derinlikler boyunca sıvılaşma potansiyelinin olduğu bazı derinliklerde $M_w = 6.5$ büyüklüğündeki deprem için riskin olmadığı fakat bu bölgelerin altında tekrar sıvılaşma potansiyelinin var olması sebebiyle inşaat alanındaki genel sıvılaşma potansiyeli gösteren derinliğin 20 metre olacağı öngörülerek seçilecek iyileştirme yönteminin bu derinlikler açısından değerlendirilmesi uygun olacaktır.

Fakat bu analiz, özel sondaj şirketinin arazide elde ettiği ve raporladığı veriler kullanılarak yapılmıştır. Bazı derinliklerde SPT deneyinden elde edilen değerlerin anlamsızlığı analizini de kısmen anlamsızlaştıracaktır. Bazı noktalarda SPT verisi elde edilememiş olması, analizin sürekliliğini etkilemiştir. Bu verilere göre ortaya konan sıvılaşma analizine göre projelendirme yapılması gerekir.

Tüm kuyular için elde edilen SPT-N verileri dikkate alındığında -15 metreden daha aşağı bir derinliğe inilmemiş kuyular olsa da genel anlamda yapılacak iyileştirme için -20 metreye kadar sıvılaşma potansiyeli olan kuyular dikkate alınarak hesap yapılmıştır (Tablo 4.14).

Tablo 4.14: Sıvılaşmaya en müsait en küçük güvenlik sayısı F_s 'ye sahip sondaj noktaları ve CRR, CSR değerleri.

SONDAJ NO	CRR	CSR	F_s (Mw=6.5)	F_s (Mw=7.0)	F_s (Mw=7.5)	İlgili Derinlik h (m)	İlgili Derinlikteki SPT (N)
10	0.090	0.316	0.410	0.340	0.280	10.5	8.0
9	0.115	0.317	0.523	0.433	0.363	9.0	10.0
8	0.100	0.285	0.506	0.419	0.351	15.0	11.0
7	0.130	0.317	0.592	0.489	0.410	9.0	13.0
6	0.118	0.294	0.580	0.480	0.402	6.0	10.0
5	0.080	0.309	0.373	0.309	0.259	12.0	7.0
4	0.090	0.317	0.410	0.339	0.284	9.0	7.0
3	0.075	0.309	0.350	0.290	0.243	12.0	5.0
2	0.090	0.316	0.411	0.340	0.285	10.5	8.0
1	0.070	0.265	0.381	0.316	0.264	4.5	2.0

4.6 Uygulanan Jet Grouting Kolon Çap Ve Aralık Tahkiki

4.6.1 Sıvılaşma riskine karşı öngörülen iyileştirme kesme kontrolü

Sıvılaşma potansiyeli seviyeleri belirlenmiş kuyular hangi blok için açılmışsa o blok için ayrı hesap yapılmıştır. Bu hesap aşamasında firma tarafından belirlenen zemin cinsine göre Tablo 4.15'ten ortalama taşıma kapasiteleri seçilerek jet grouting kolon çap ve aralık deneme hesapları yapılmıştır.

Tablo 4.15: Kil, silt ve kumda teşkil edilen jet grouting kolon taşıma kapasiteleri (Melegary ve Garassino 1997)

Zemin Türü	Zeminde Teşkil Edilen Jet grouting Kolon Taşıma kapasiteleri (kg/cm ²)
Kil	18-30
Silt	30-45
Kum	60-90

Firma tarafından rapor edilen zemin sınıfları kesitinde açılan bazı sondaj kuyuları için belirli derinler için farklı zemin cinsi olduğu görülmüştür. Böyle durumda hesap için tüm zemin sınıfları (Bkz. Şekil4.4 ve Şekil 4.5) göz önüne alınarak jet grouting kolonları için ortalama basınç mukavemetleri tahmin edilmiş ve hesaba katılmıştır (Tablo 4.16).

Tablo 4.16: Bu çalışmada projelendirme için seçilen basınç mukavemetleri.

Blok	Sondaj No	Seçilen Ortalama Basınç Mukavemeti		
		Zemin cinsi	(kg/cm ²)	MPa
A	3, 4	SM	40	3.92
B	1, 2	SM	40	3.92
C	5, 6	ML-CL	30	2.94
D	7, 8	ML-CL-SM	35	3.43
Sosyal Tesis	9, 10	ML-CL	30	2.94

A ve B blokları için zemin karakteristiği genel olarak siltli kum olduğu için Tablo 4.15'ten silt için 30-45 kg/cm² ve kum için 60-90 kg/cm² verilen basınç değerlerinden silt için iyimsen bir değer olan 40 kg/cm² alınmıştır.

C blok ve sosyal tesis binası için düşük plastisiteli kil ve siltli kil zemin cinsleri hakim birim olarak görülmekte olup Tablo 4.15'ten kil için 18-30 kg/cm², silt için 30-45 kg/cm² görüldüğünden ortalama olarak 30 kg/cm² seçilmiş, D blok için -7 metre derinlikten sonra hakim zemin cinsinin siltli kum olması sebebiyle 35 kg/cm² basınç mukavemeti hesap değeri olarak alınmıştır.

Elbette bu değerleri mühendisin öngörüsüne ve kendi tercihlerine bağlıdır. Aynı zamanda güvenli tarafta kalmak zorunda olması ve öngörülerle proje hesabı riskini taşıması yönünden en olumsuz koşulu göz önüne almalıdır. Firma test kolonlarını sadece projedeki çap verisi için incelemiş fakat sıvılaşma analizini bilgisayar programı kullanarak yaptığından program girdisi olarak zemin özelliği seçilmiştir. Bu bağlamda saha içinde test kolonları oluşturulurken her zemin cinsi göz önünde bulundurularak deneme karotlarının alınması projelendirme aşamasında fikir vermesi açısından önemlidir.

İyileştirme işlemi sonunda tüm jet grouting kolonlarından özel firma tarafından yerinde alınan karot numunelerinin ortalama basınç dayanımlarının yeterliliği ilerleyen başlıklarda ayrıca tahkik edilmiştir.

4.6.1.1 Hesap adımları

İlk olarak 80 cm çapında ve 3 metre aralıklarla jet grouting kolonlarının konumlandırılacağı kabulüyle hesaba başlanmıştır.

A blok için Tablo 4.16'da öngörülen basınç mukavemeti 3.92 MPa alındığında emniyetli basınç mukavemeti olarak, malzeme güvenlik faktörü olarak 2.0 kullanılması durumunda, 1.96 MPa (3.92MPa / 2) elde edilir. Bu basınç mukavemeti değerine karşılık gelen elastisite ve kayma modülleri, (3.19) ve (3.20) eşitlikleri yardımıyla;

$$E_{JG} = 4730 \sqrt{F_{JG}} \text{ (MPa)}$$

$$G_{JG} = E_{JG} / (2 \cdot (1 + \nu))$$

$$E_{JG} = 4730 \sqrt{1.96} = 6.62 \text{ MPa}$$

$$G_{JG} = 6.62 / (2 \cdot (1 + 0.5)) = 2.21 \text{ MPa} \approx 2210 \text{ kPa} \text{ bulunur.}$$

Bu bina zemin için yapılan sondajlar SK3 ve SK4 'tür. SK3 ve SK4 sondaj loglarında sıvılaşma potansiyeline sahip en düşük SPT-N sayısına sahip derinlik ve vuruş sayısı baz alınarak sıvılaşmaya en müsait bölge için tahkik yapılmıştır.

SK3 'de 12 metre derinlikte 5 vuruş sayısı, SK4'de 9 metrede 7 vuruş sayısı verileri ve söz konusu derinlikteki zemin karakteristiği SM olduğundan daha olumsuz koşul olan SPT-N = 5 'e sahip SK3 için hesap yapılmış olup (3.18) eşitliğinde yerine konularak;

$$V_s = 62.14 \cdot N^{0.219} \cdot H^{0.230} \cdot F$$

Burada N, düzeltilmemiş SPT darbe sayısı olarak ve F düzeltme faktörü killi zeminlerde 1.000, ince kumlarda 1.091, orta daneli kumlarda 1.029, kalın daneli kumlarda 1.073, kum ve çakıllılarda 1.151 ve çakıllı zeminlerde 1.485 alınabilecektir.

$$V_s = 62.14 \cdot 5^{0.219} \cdot 12^{0.230} \cdot 1.091 = 171 \text{ m/sn bulunur.}$$

Bu durumda elde edilecek zemin maksimum kayma modülü (G_s) ve kayma modülü oranı (G_r) (3.28) ve (3.29) eşitlikleri kullanıldığında aşağıdaki şekilde hesaplanabilecektir.

$$G_s = \rho \cdot V_s^2 = 1.88 \cdot 171^2 = 54973 \text{ kPa} \approx 55 \text{ MPa}$$

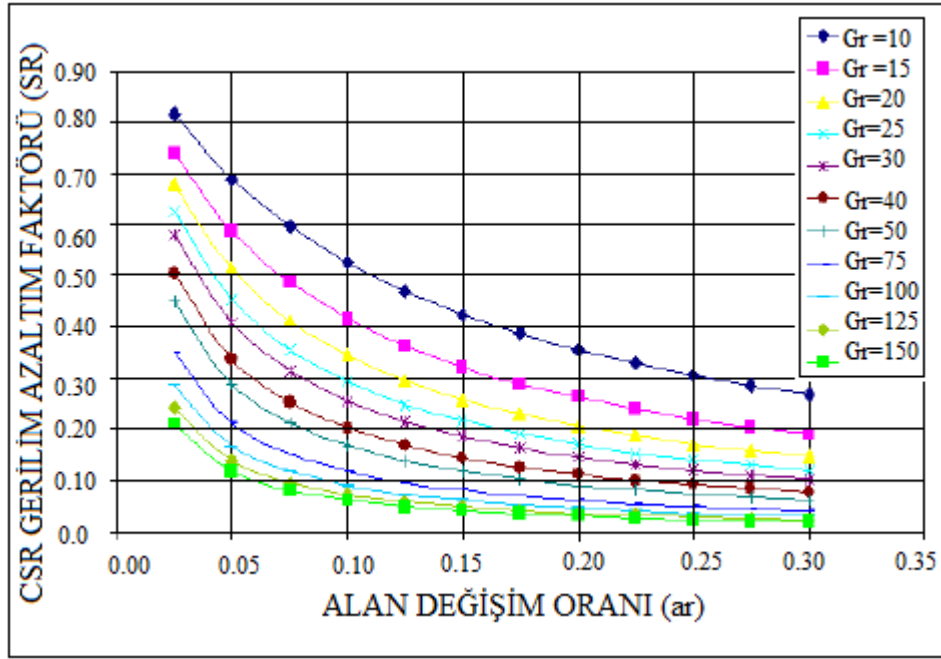
$$G_r = G_{JG} / G_s = 2.210 / 54.97 = 0.040 \text{ (} G_r = 40 \text{ için Şekil 4.6'dan bakılmıştır)}$$

Burada ρ ; ilgili zemin tabakalarının ortalama yoğunluğunu (t/m^3) temsil etmektedir. Birim alan oranından yola çıkarak alan yer değiştirme oranı (3.21) eşitliği ile :

$$a_r = ((\pi \cdot 0.8^2) / 4) / (3)^2 \approx 0.06 \text{ bulunur. (3 m aralıklı kolonlar için)}$$

Buradan Şekil 4.7 yardımıyla SK-3 için 0.06 alan değişim oranı ve kayma modülü oranı 40'a karşılık gelen çevrimsel gerilim azaltım oranı (S_R) 0.30 olarak okunmuştur.

Bu durumda SK3 için depremde doğan zemin kayma gerilmelerinin % 30'unun jet kolonları arasındaki kalan zemin tarafından, % 70'inin 'jet grouting' kolonlarda yoğunlaşacağı ve ancak % 30'unun kolonlar arası zemine aktarılacağı sonucu çıkmaktadır.



Şekil 4.7: Her sondaj kuyusundaki SPT N değerleriyle hesaplanmış a_r değerleriyle okunan S_R değerleri

Çevrimsel gerilme oranı (CSR) üzerine etkiyecek azaltma faktörü (S_R), birim alan içerisindeki kolonlar ve bunları çevreleyen zemin arasında şekil değiştirme uyumu olduğu kabulüyle Seed ve Idriss'in 1971 tarihli çalışmasından bulunan çevrimsel gerilme oranını (CSR) azaltmakta ve dolayısıyla (3.16) eşitliğinde uygun güvenlik faktörü F_s elde etmek için kullanılacaktır.

$$CSR_{tasarim} = CSR \cdot S_R \quad (3.32)$$

Daha önce hazırlanmış sıvılaşma analizi Excel tablosunda pratik olarak bu S_R değerini girdiğimizde 3 farklı deprem büyüklüğü için sıvılaşma riskini tekrar değerlendirdiğimizde:

Çap ve aralığın fonksiyonu olan SR için $M_w = 7.0$ ve $M_w = 7.5$ büyüklüğünde sıvılaşma riski devam etmektedir (Tablo 4.17).

Tablo 4.17: SR ile azaltılmış tasarım CSR ile yeni sıvılaşma analizi sonuçları.

SONDAJ NO	CRR	CSR	CSR ($\times S_R$)	F _s (SON DURUM)			SIVILAŞMA RİSKİ		
				Mw6.5	7.0	7.5	Mw6.5	7.0	7.5
3	0.075	0.309	0.093	1.167	0.965	0.808	YOK	VAR!	VAR!

Bu sondajlar için gerçekleştirilen özel tek boyutlu saha tepki analizlerinin bir ortalaması olarak, sıvılaşma potansiyeli görülen ilk 15m'lik tabakada, en olumsuz durumda (sıvılaşma güvenlik katsayıları (F_s) en düşük) SPT-N değeri olan derinlik hesaplanmış r_d değeri (Bkz. Tablo 4.6) ve maksimum ivme olarak hesap ivmesi alınarak (3.9) eşitliğinde yerine konarak (12 metre derinlikte SPT-N = 5, zayıf nokta),

$$\tau_{\max} = \gamma / g \cdot z \cdot a_{\max} \cdot r_d = (18.8 / g) \cdot 12 \cdot 0.4g \cdot 0.756 = 68.22 \text{ kPa}$$

büyüklüğünde bir maksimum deprem kayma gerilmesi beklenmesi gerektiğini göstermektedir. Bu durumda deprem ortalama kayma gerilmesi bu maksimum değer %65'i mertebesinde, yani yaklaşık 44.34 kPa civarındadır.

3.30 bağıntısı ile birim alana gelen maksimum kesme kuvveti :

$$V_{\max} = 0.65 \cdot \tau_{\max} \cdot (1-S_R) \cdot A$$

$$V_{\max} = 0.65 \cdot 68.22 \cdot 0.70 \cdot 3 \cdot 3 = 279 \text{ kN}$$

mertebesinde bir kayma kuvvetinin 800 mm çapındaki kolon kesitince güvenli olarak taşınması gerekmektedir. Bu tahkik için (3.31) eşitliğinin kullanılması durumunda:

$$V_{JG} = 0.3 \cdot \sqrt{F_{JG} A_{JG}}$$

$$V_{JG} = 0.3 \cdot \sqrt{1.96 \cdot \pi \cdot 800^2 / 4} = 211 \text{ kN} < 279 \text{ kN kolon aralığı fazla !}$$

Kesme kuvveti ve CSR-CRR oranları kıyaslamalarında 80 cm çapında ve 3 m x 3 m olarak iterasyona başlanan jet grouting kolon düzeni sıvılaşma riskini ortadan kaldırmadığı ve maksimum kayma kuvveti karşılayamadığı için 2.50 metre için tekrar yapılmıştır.

$$a_r = ((\pi \cdot 0.8^2) / 4) / (2.5)^2 \approx 0.08 \text{ bulunur.}$$

$a_r = 0.08$ ve $G_r = 40$ için (SK-3 sondaj kuyusunun en zayıf noktası için hesaplanmıştı) $S_R = 0.24$ okunmuştur (Bkz. Şekil 4.7).

$CSR_{tasarım} = CSR \cdot S_R$ ve $S_R = 0.24$ için Excel programında girildiğinde;

2.5 metre jet grouting kolon aralığı için tüm deprem büyüklüklerinde sıvılaşma riskinin ortadan kalktığı görülmüştür (Tablo 4.18).

Tablo 4.18: SR ile azaltılmış tasarım CSR ile yeni sıvılaşma analizi sonuçları.

SONDAJ NO	CRR	CSR	CSR (x S_R)	F _s (SON DURUM)			SIVILAŞMA RİSKİ		
				Mw6.5	7.0	7.5	Mw6.5	7.0	7.5
3	0.075	0.309	0.074	1.458	1.207	1.010	YOK	YOK	YOK

Ayrıca kesme kuvveti kontrolü için (3.30) eşitliği ile birim alana gelen maksimum kesme kuvveti :

$$V_{max} = 0.65 \cdot \tau_{max} \cdot (1-S_R) \cdot A$$

$$V_{max} = 0.65 \cdot 68.22 \cdot 0.76 \cdot 2.5 \cdot 2.5 = 211 \text{ kN}$$

mertebesinde bir kayma kuvvetinin 800 mm çapındaki kolon kesitince güvenli olarak taşınması gerekmektedir. Bu tahkik için (3.31) eşitliğinin kullanılması durumunda:

$$V_{JG} = 0.3 \cdot \sqrt{F_{JG} A_{JG}}$$

$$V_{JG} = 0.3 \cdot \sqrt{1.96 \cdot \pi \cdot 800^2/4} = 211 \text{ kN} = 211 \text{ kN kolon aralığı yeterlidir.}$$

Tüm bloklar zeminleri altında açılmış sondaj kuyularında sıvılaşma için hesaplanan güvenlik faktörü F_s 'nin aldığı en küçük değer o sondaj logundaki en olumsuz koşul olarak düşünülmüş ve o seviyedeki değerler göz önüne alınarak, proje firmasının 2.4 metre aralıklarla 80 cm çapı olarak projelendirdiği jet grouting kolonlarının yerleşmesi durumunda tüm sondaj noktaları için hazırlanan Excel hesap programı ile bu değerler kullanılarak birim alan oranı metodu ile o noktada deprem sonucu oluşacak maksimum kayma gerilmesini oranlayarak jet grouting kolonlara düşen hesap değeri ile uygulanan söz konusu aralık ve çaptaki jet grouting kolonun gerçekte taşıyacağı değer karşılaştırılarak kesitin ve aralığın yeterli olup olmadığı ve ayrıca sıvılaşma potansiyeli tekrar tahkik edilmiştir.

A Blok için SK3-SK4, B Blok için SK1-SK2, C Blok için SK5-SK6, D Blok için SK7-SK8, Sosyal Tesis için SK9-SK10 sondaj kuyuları açıldığından her sondaj

kuyusundaki en zayıf sıvılaşma güvelik faktörünün olduğu derinlik için hesap algoritması Excel tablosunda uygulanacak olursa aşağıdaki değerler elde edilmiştir.

Tablo 4.19 ve Tablo 4.20’de görüldüğü gibi tüm sondaj kuyularındaki en güvensiz bölgelerdeki kayma gerilmesi durumu jet grouting kolonlara düşecek kısmı karşılayacak kadardır. Kesit ve aralıklar optimum düzeyde uygun seçilmiştir.

Bazı bölgelerde sıvılaşma tehlikesinin devam ettiği bazı bölgelerde de kolon aralığının yetersiz olduğu görülmektedir. SK-3 için elle yapılan hesapta 2.4 metrenin uygunluğu düşünülmüştü. İlerleyen kısımlarda görüleceği üzere özel firmanın tüm sondaj kuyularına ve dolayısıyla tüm saha için belirlemiş olduğu 2.4 metre ve 80 cm çap değerinin öngörülen kolon beton basınç değerleriyle her bölge için yeterli düzeyde olmadığı görülmüştür.

Tablolardan okunan değerlere göre C blok için yapılan SK-5 ve SK-6 sondajlarının 2.4 m aralık ve 80 cm çaplı kolonlar ile sıvılaşma riskinin kalmadığı fakat jet grouting kolon çap ve aralığının kesme kuvveti karşılama güvenliği açısından yetersiz olduğu, diğer bloklar için yapılan iyileştirmenin söz konusu çap ve aralıkta sıvılaşma potansiyelini ortadan kaldırdığı ve kesme kuvveti taşıma açısından kolonların yeterli olduğu anlaşılmıştır.

Sıvılaşma güvenlik faktörü (F_s) kontrolü ile kayma gerilmesi taşıma kapasitesi kontrolü birlikte değerlendirilmelidir. Çevrimsel gerilme oranı S_R katsayısıyla azaltılarak bir tasarım çevrimsel gerilme oranı öngörülmekte ve $CSR_{\text{tasarım}}$ değeri ile F_s 'nin güvenli olup olmadığı araştırılmalıdır. Bir çok sondaj noktasında kayma gerilmelerini karşılama açısından kesitler ve aralıklar yeterli olsa da güvenlik faktörü istenilen düzeye çıkarılana kadar iterasyona devam edilmelidir.

Bu durumda tüm sahanın 2.4 metre aralıklı ve 80 cm çapında jet grouting kolonları ile iyileştirilmiş olması sebebiyle C blok için (5 no’lu sondaj) seçilen bu değerlerin yetersiz olduğu görülmektedir.

Fakat aynı zamanda hesaplanan bu değerler jet grouting kolonlarının zemin cinsine bağlı olarak öngörülüp seçilen taşıma kapasitelerine (Bkz. Tablo 4.16) yapıldığı göz önüne alınırsa yerinde yapılan kolonlardan alınan karot numunelerinin gerçek mevcut ortalamalarıyla Tablo 4.20 değerlerine göre son olarak kontrolü yapılmıştır.

Tablo 4.19: Jet-grouting projelendirme kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.

SONDAJ	ZEMİN CİNSİ	f_{JG} (MPa)	MİN Fs'deki SPT N	İLGİLİ DERİNLİK (m)	F (KİL : 1. İNCE KUM : 1.091)	Vs (m/sn)	Gs (MPa)	Ejg (MPa)	Gjg (MPa)	Gr
SK1	ML-CL	3.92	2.0	4.5	1	102	20	6622	2207	112
SK2	SM-CL	3.92	8.0	10.5	1.091	184	63	6622	2207	35
SK3	SM-CL	3.92	5.0	12.0	1.091	171	55	6622	2207	40
SK4	SM	3.92	7.0	9.0	1.091	172	56	6622	2207	40
SK5	ML-CL	2.94	7.0	12.0	1	169	53	5735	1912	36
SK6	ML-CL	2.94	10.0	6.0	1	155	45	5735	1912	42
SK7	CL-SM	3.43	13.0	9.0	1.091	197	73	6194	2065	28
SK8	CL-SM	3.43	11.0	15.0	1.091	214	86	6194	2065	24
SK9	ML-CL	2.94	10.0	9.0	1	171	55	5735	1912	35
SK10	ML-CL	2.94	8.0	10.5	1	168	53	5735	1912	36

Tablo 4.20: Jet-grouting projelendirme kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.

SOND AJ NO	Aralık (m)	KOLON ÇAP(m)	a_r	OKU- NAN S_R	% JG	amax (g)	rd	τ_{max} (kN/ m ²)	τ_{avg} (kN/m ²)	Vjg (kN)	Vmax (kN)	KOLON Kesit/ Aralık
1	2.4	0.8	0.09	0.09	0.91	0.4	0.934	31.61	20.54	211	108	YETERLİ
2	2.4	0.8	0.09	0.26	0.74	0.4	0.803	63.40	41.21	211	176	YETERLİ
3	2.4	0.8	0.09	0.225	0.78	0.4	0.756	68.22	44.34	211	198	YETERLİ
4	2.4	0.8	0.09	0.225	0.78	0.4	0.844	57.12	37.13	211	166	YETERLİ
5	2.4	0.8	0.09	0.25	0.75	0.4	0.756	68.22	44.34	183	192	YETERSİZ!!
6	2.4	0.8	0.09	0.215	0.79	0.4	0.909	41.01	26.66	183	121	YETERLİ
7	2.4	0.8	0.09	0.3	0.70	0.4	0.844	57.12	37.13	197	150	YETERLİ
8	2.4	0.8	0.09	0.34	0.66	0.4	0.661	74.56	48.46	197	184	YETERLİ
9	2.4	0.8	0.09	0.26	0.74	0.4	0.844	57.12	37.13	183	158	YETERLİ
10	2.4	0.8	0.09	0.25	0.75	0.4	0.803	63.40	41.21	183	178	YETERLİ

Uygulanacak en güvenli yol, jet grouting projelendirme safhasında hesap için kullanılacak kolon basınç dayanımı değerlerinin, inşaat alanında yapılacak olan deneme kolonlarından alınan karot numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları olarak seçilmesidir. Tablo 4.21'de görüldüğü gibi öngörülen kolon basınç dayanımları ile hesap yapıldığında 2.4 m aralıklı 80 cm çaplı kolonlar seçildiğinde sıvılaşma riskinin 3 deprem büyüklüğünde de olmadığı görülmektedir. Aynı hesaplar mevcut kolon basınç dayanımları ile tekrarlanmıştır. Bu çalışmada önce karot deneyleri sonuçları yokken öngörülen basınç dayanımlarıyla kolon aralık ve çap değerleri seçilmiştir.

Tablo 4.21: Jet-grouting projelendirme kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.

SONDAJ NO	CRR	CSR	CSR (x S_R)	Fs (SON DURUM)			(SON D.) SIVILAŞMA RİSKİ		
				Mw6.5	7.0	7.5	Mw6.5	7.0	7.5
1	0.07	0.265	0.024	4.232	3.501	2.932	YOK	YOK	YOK
2	0.09	0.316	0.082	1.580	1.307	1.094	YOK	YOK	YOK
3	0.075	0.309	0.070	1.556	1.287	1.078	YOK	YOK	YOK
4	0.09	0.317	0.071	1.820	1.505	1.261	YOK	YOK	YOK
5	0.08	0.309	0.077	1.493	1.235	1.035	YOK	YOK	YOK
6	0.118	0.294	0.063	2.692	2.227	1.865	YOK	YOK	YOK
7	0.13	0.317	0.095	1.971	1.631	1.366	YOK	YOK	YOK
8	0.1	0.285	0.097	1.488	1.231	1.031	YOK	YOK	YOK
9	0.115	0.317	0.082	2.012	1.665	1.394	YOK	YOK	YOK
10	0.09	0.316	0.079	1.643	1.359	1.138	YOK	YOK	YOK

Daha sonra ise iyileştirmeye uygulaması bittikten sonra kolonlardan alınan karot numunelerinin basınç dayanımlarıyla hesap tekrar tahkik edilmiştir. Böylelikle öngörülen değerlerle yeterli ve yetersiz olan kolonların gerçek basınç dayanımlarındaki durumları incelenmiştir.

İyileştirme sonrası yapılmış deneyler sonucunda Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğünden temin edilen jet grouting kolon test sonuçlarının ortalama değerleri aşağıdaki gibidir (Tablo 4.22).

Tablo 4.22: Yurt inşaatında elde edilen ortalama basınç değerleri (Anonim 2008^a).

Blok	Numune Alınan Kolon Sayısı(Adet)	Ortalama Basınç Mukavemeti	
		(N/mm ²)	(kg/cm ²)
A	38	3.69	37.6
B	38	3.88	39.53
C	36	3.91	39.68
D	36	5.10	52.00
Sosyal Tesis	40	4.80	48.94

A Blok için SK-3 ve SK-4, B Blok için SK-1 ve SK-2, C blok için SK-5 ve SK-6, D Blok için SK-7 ve SK-8, Sosyal Tesis Binası için yapılan SK-9 ve SK-10

sondaj noktaları için Blok sahalarında yapılmış kolonlardan alınan Tablo 4.22'deki ortalama basınç mukavemet değerleri kullanılarak hesap mevcut duruma göre yenilendiğinde SK-5 sondaj noktası için söz konusu olan kesit yetersizliğinin olmadığı görülmüştür (Tablo 4.23 ve Tablo 4.24).

Tablo 4.23: Jet-grouting projelendirme kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.

SONDAJ	ZEMİN CİNSİ	f_{JG} (MPa)	MİN F_s 'deki SPT N	İLGİLİ DERİNLİK (m)	F (KİL : 1. İNCE KUM : 1.091)	V_s (m/sn)	G_s (Mpa)	E_{Jg} (MPa)	G_{Jg} (MPa)	Gr
SK1	ML-CL	3.88	2.0	4.5	1	102	20	6588	2196	112
SK2	SM-CL	3.88	8.0	10.5	1.091	184	63	6588	2196	35
SK3	SM-CL	3.69	5.0	12.0	1.091	171	55	6425	2142	39
SK4	SM	3.69	7.0	9.0	1.091	172	56	6425	2142	38
SK5	ML-CL	3.91	7.0	12.0	1	169	53	6614	2205	41
SK6	ML-CL	3.91	10.0	6.0	1	155	45	6614	2205	49
SK7	CL-SM	5.1	13.0	9.0	1.091	197	73	7553	2518	34
SK8	CL-SM	5.1	11.0	15.0	1.091	214	86	7553	2518	29
SK9	ML-CL	4.8	10.0	9.0	1	171	55	7328	2443	45
SK10	ML-CL	4.8	8.0	10.5	1	168	53	7328	2443	46

Tablo 4.24: Jet-grouting projelendirme kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.

SONDAJ NO	Aralık (m)	KOLON ÇAP(m)	a_r	OKUNAN S_R	% JG	a_{max} (g)	r_d	τ_{max} (kN/m ²)	τ_{avg} (kN/m ²)	V_{Jg} (kN)	V_{max} (kN)	KOLON Kesit/ Aralık
1	2.4	0.8	0.09	0.09	0.91	0.4	0.934	31.61	20.54	210	108	YETERLİ
2	2.4	0.8	0.09	0.26	0.74	0.4	0.803	63.40	41.21	210	176	YETERLİ
3	2.4	0.8	0.09	0.24	0.76	0.4	0.756	68.22	44.34	205	194	YETERLİ
4	2.4	0.8	0.09	0.25	0.75	0.4	0.844	57.12	37.13	205	160	YETERLİ
5	2.4	0.8	0.09	0.23	0.77	0.4	0.756	68.22	44.34	211	197	YETERLİ
6	2.4	0.8	0.09	0.18	0.82	0.4	0.909	41.01	26.66	211	126	YETERLİ
7	2.4	0.8	0.09	0.255	0.75	0.4	0.844	57.12	37.13	241	159	YETERLİ
8	2.4	0.8	0.09	0.29	0.71	0.4	0.661	74.56	48.46	241	198	YETERLİ
9	2.4	0.8	0.09	0.2	0.80	0.4	0.844	57.12	37.13	233	171	YETERLİ
10	2.4	0.8	0.09	0.195	0.81	0.4	0.803	63.40	41.21	233	191	YETERLİ

Yine aynı şekilde alan değişim oranı ve kayma modülü oranıyla Şekil 4.6'dan okunan S_R değerleriyle tasarım CSR ile çevrimsel gerilim mukavemet oranı (CRR) karşılaştırılarak güvenlik sınırları içinde kaldığı anlaşılmıştır (Tablo 4.25).

Tablo 4.25: Jet-grouting projelendirme kolon aralık ve kesit tahkiki hesap tablosu.

SONDAJ NO	CRR	CSR	CSR (x S _R)	F _s (SON DURUM)			(SON D.) SIVILAŞMA RİSKİ		
				Mw6.5	7.0	7.5	Mw6.5	7.0	7.5
1	0.07	0.265	0.024	4.232	3.501	2.932	YOK	YOK	YOK
2	0.09	0.316	0.082	1.580	1.307	1.094	YOK	YOK	YOK
3	0.075	0.309	0.074	1.458	1.207	1.010	YOK	YOK	YOK
4	0.09	0.317	0.079	1.638	1.355	1.135	YOK	YOK	YOK
5	0.08	0.309	0.071	1.623	1.343	1.125	YOK	YOK	YOK
6	0.118	0.294	0.053	3.215	2.660	2.228	YOK	YOK	YOK
7	0.13	0.317	0.081	2.319	1.919	1.607	YOK	YOK	YOK
8	0.1	0.285	0.083	1.745	1.443	1.209	YOK	YOK	YOK
9	0.115	0.317	0.063	2.616	2.164	1.812	YOK	YOK	YOK
10	0.09	0.316	0.062	2.106	1.742	1.459	YOK	YOK	YOK

4.6.2 İyileştirme proje verilerine göre taşıma gücü kontrolü

İyileştirme öncesi projesine göre hesapta tahkik edilecek 800 mm çapında 2.4 m x 2.4 m aralıkta tekil kolon 'jet grouting' düzeni ve kolon aralarında kalan zemin için inşaat zemini üzerine oturacak binanın oluşturacağı gerilmenin karşılanıp karşılanmadığı kontrol edilmiştir.

Jet grouting basınç dayanımı olarak Melegary ve Grassino (1997) değerleri (Bkz. Tablo 3.4), c ve Φ değerleri Ek E1 ve Ek E2' den mevcut en zayıf değerler seçilmiştir.

(3.33) eşitliğine göre :

$$\sigma_{net} = K_1 \cdot c \cdot N_{c+} \cdot \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_{q+} + K_2 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma$$

c = Kohezyon, kayma dayanımı (kg/cm²-t/m²)

Φ = Kayma dayanımı açısı

D_f = Yapı temel derinliği (m)

B = Yapı temel genişliği (m)

γ_1 = Yapı temel tabanı üstündeki toprağın birim hacim ağırlığı-kg/cm³

γ_2 = Yapı temel tabanı altındaki toprağın birim hacim ağırlığı ($\gamma_{doygün}$) - kg / cm³

K_1, K_2 = Yapı temel tabanı biçimine bağlı katsayılar olup çizelgeden bulunur (Ercan, 2001).

N_c, N_q, N_γ = Yapı temel tabanı altındaki toprağın taşıma gücü katsayıları

P = Bina ağırlığı (t)

A = Binanın oturma alanı (m^2)

σ_b = Binanın oluşturacağı gerilme (t/m^2) olmak üzere (3.32) eşitliğine göre :

$$\sigma_b = P / A \text{ (t/m}^2\text{)}$$

σ_{net} = Zeminin net taşıma gücü (t/m^2)

σ_{em} = Zemin emniyetle taşıyabileceği gerilme (t/m^2)

GK = Güvenlik katsayısı (genellikle 3, emin olunmayan daha riskli durumlarda 4-6)

(3.34) eşitliğine göre :

$$\sigma_{em} = \sigma_{net} / GK$$

$\sigma_b < \sigma_{em}$ olmalıdır.

4.6.2.1 Sosyal tesis binası

SK9- SK10 sondaj numunelerinden Juro Zemin Test Şirketi tarafından yapılan laboratuvar deneyleri sonucu elde edilen 20 metre derinliğe kadar elde edilmiş Juro Zemin Test Ltd. Şti. tarafından elde edilmiş en zayıf değerler seçilmiştir.

$$c = 3 \text{ kPa} = 0.3 \text{ t/m}^2 = 0.03 \text{ kg/cm}^2 \text{ (siltli kile oturan temel) (Bkz. Ek E.2)}$$

$$\Phi = 17^\circ$$

$\Phi = 17^\circ$ (Φ 'ye bağlı olarak Tablo 4.26'dan iterasyonla bulunan taşıma gücü faktörleri

$$N_c = 12.52$$

$$N_q = 4.9$$

$N_{\gamma} = 3.72$ okunmuştur. Bodrum katlı olarak inşa edilecek olan sosyal tesis binası için projelendirilmiş olan 40 cm yüksekliğinde ve yaklaşık 40 x 43 metre boyutlarında kare şekline yakın olan radye temel için okunacak temel tabanı biçimi katsayıları Tablo 4.27'den seçilmiştir.

$$D_f = 0.4 \text{ m}$$

$$B = 40 \text{ m (temel genişliği)}$$

Tablo 4.26: Taşıma gücü faktörleri (Terzaghi 1943).

ϕ	N_c	N_q	N_{γ}
0	5.14	1	0
5	6.5	1.6	0.5
10	8.3	2.5	1.2
15	11	3.9	2.6
20	14.8	6.4	5.4
25	20.7	10.7	10.8
30	30.1	18.4	22.4
32	35.5	23.2	30.2
34	42.2	29.4	41.1
36	50.6	37.7	56.3
38	61.4	48.9	78
40	75.3	64.2	109.4
42	93.7	85.4	155.6
44	118.4	115.3	224.6
46	152.1	158.5	330.4
48	199.3	222.3	496
50	266.9	319.1	762.9

$$L = 43 \text{ m (temel uzunluğu)}$$

Kare temel için K_1 , K_2 katsayıları

$$K_1 = 1.20 \text{ ve } K_2 = 0.40 \text{ olarak okunur.}$$

Tablo 4.27: Temel tabanı geometrisi katsayıları (K_1 , K_2) (Terzaghi 1943).

Temel Şekil Katsayıları		
Temel Şekli	K_1	K_2
Şerit	1,00	0,50
Kare	1,20	0,40
Daire	1,30	0,30
Dikdörtgen	1,03	0,48

γ_1 değeri ortalama olarak 1.88 t/m^3 alınmıştır.

$$\gamma_1 = 1.88 \text{ t/m}^3 = 0.00188 \text{ kg/cm}^2$$

$$\gamma_{2,\text{doygun}} = 1.88 - 1 = 0.88 = 0.00088 \text{ kg/cm}^2$$

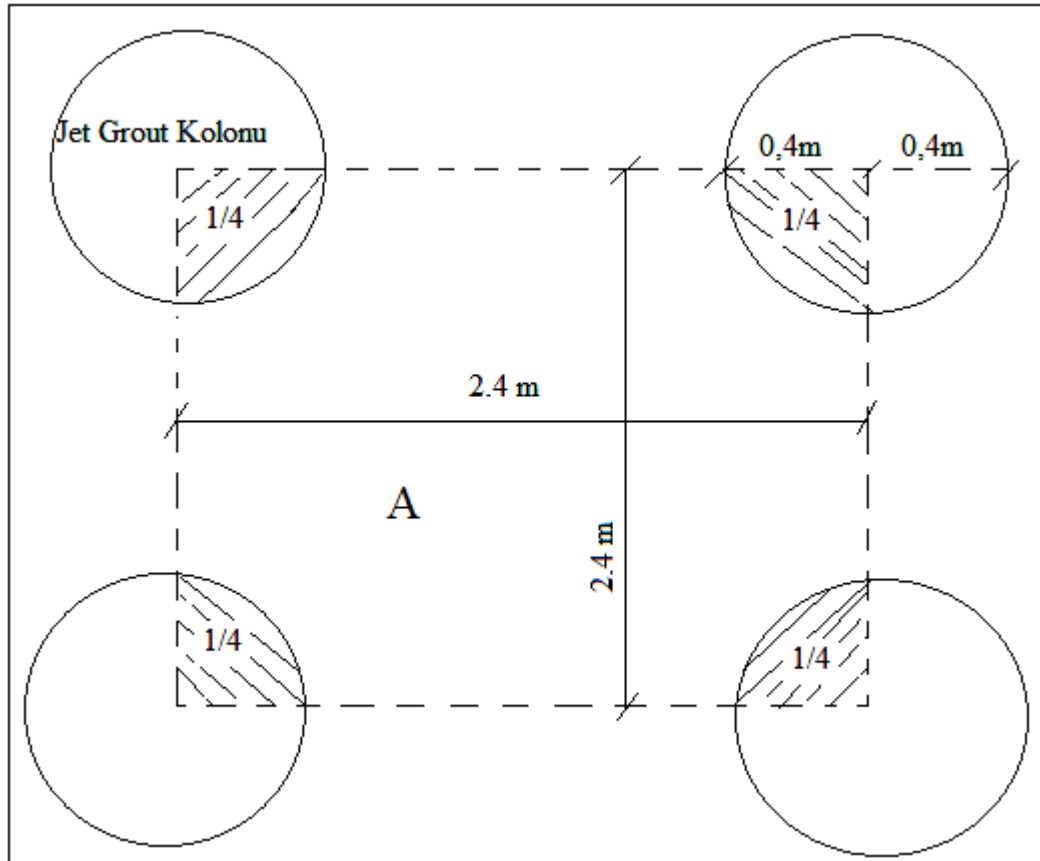
$$\sigma_{\text{net}} = 1.2 \cdot 0.03 \cdot 12.52 + 0.00188 \cdot 40 \cdot 4.9 + 0.40 \cdot 0.00088 \cdot 4000 \cdot 3.72$$

$$\sigma_{\text{net}} = 6.05 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{em}} = \sigma_{\text{net}} / \text{GK}$$

$$\sigma_{\text{em}} = 6.05 / 3 = 2 \text{ kg/cm}^2 = 20 \text{ t/m}^2 \text{ bulunmuştur.}$$

Hesap edilen emniyetli zemin taşıma gücü ile 2.4 x 2.4 boyutlarında A alanından (Şekil 4.8) jet grouting kolon alanı çıkarılarak bulunan zemin alanı ve jet grouting kolon alanı ile mevcut jet grouting kolonlarından alınan numunelerin ortalama taşıma kapasiteleri (Bkz. Tablo 4.16) seçilerek çarpılır. Bu aşamada henüz kolon imalatı yapılmamış olmasından dolayı, projelendirme safhasından zemin cinsine göre taşıma kapasitesi tahmin edilebileceği gibi en güvenilir yol olan deneme kolonlarından alınan karotların ortalama basınç mukavemetleriyle gerçeğe yakın sonuçlar alınabilir.



Şekil 4.8: Proje verilerine göre yerleştirilmiş jet kolonlar.

Mevcut kolonlardan sonradan alınan karot numunelerinin tek eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen basınç değerleri kullanılarak hep hesap adımları gösterilmiş hem de mevcut projenin verilerinin sağlanması yapılmıştır.

Ve bu çarpım seçilen alana bölünürse zemin ile birlikte toplam jet grouting kolon alanının oluşturacağı taşıma gücü (3.35) eşitliğine göre :

$$\sigma_{is} = [(L \cdot L - \pi \cdot R^2/4) \cdot \sigma_{em} + \sigma_{jg} \cdot \pi \cdot R^2/4] / (L \cdot L) \quad (\text{Melegary ve Garassino 1997})$$

L = Kolon merkezleri arasındaki mesafe

R = Jet grouting kolon çapı

σ_{is} = Jet grouting iyileştirme sonrası zemin taşıma gücü

σ_{jg} = Zeminde Teşkil Edilen Jet grouting Kolon Taşıma kapasiteleri (kg/cm²)

σ_{jg} = Sosyal tesis zemini için yapılan SK-9 ve SK-10 için zemin kesitinde (Bkz. Şekil 4.4) hakim zemin cinsi siltli kil olduğundan en olumsuz koşuldaki taşıma kapasitesi (Bkz. Tablo 4.15) olarak 18 kg/cm² değeri seçilmiştir.

$$\sigma_{is} = [(2.4\text{m} \cdot 2.4\text{m} - \pi \cdot 0.8\text{m}^2/4) \cdot 20\text{t/m}^2 + 180\text{ t/m}^2 \cdot \pi \cdot 0.8\text{m}^2/4] / (2.4\text{ m} \cdot 2.4\text{ m})$$

$$\sigma_{is} = 33.96\text{ t/m}^2 \text{ bulunmuştur.}$$

Sosyal tesis binasının bodrum + zemin kat + 1 normal kat olarak 975 m²'lik alana oturduğu hesaplanmıştır.

P = Bina ağırlığı (t)

A = Binanın oturma alanı (m²)

σ_b = Binanın oluşturacağı gerilme (t/m²)

$\sigma_b = P / A$ (t/m²) olmak üzere

P = 4095 ton olarak hesaplanmıştır (Bu değer zemin etüt raporundan alınmıştır).

$$A = 975\text{ m}^2$$

$$\sigma_b = 4095 / 975 = 4.2\text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{is} > \sigma_b = 33.96 > 4.2 \text{ t/m}^2 \text{ taşıma gücü yetersizliği yok!}$$

4.6.2.2 Yurt binaları

Genel olarak A, B, C, D yurt blokları tek tip proje şeklinde, yurt planının bir kısmı bodrumlu bir kısmı bodrumsuz, bodrum + zemin + 5 normal kat olarak projelendirilmiştir.

Bodrumlu kısımlar yaklaşık 22 x 31 metrelik dikdörtgen alana (682m²) oturmakta olup yaklaşık ağırlıkları 6685 tondur (Anonim 2008^a).

Bodrumsuz kısımlar yaklaşık 20 x 43 metrelik dikdörtgen alana (860m²) oturmakta olup yaklaşık ağırlıkları 5160 tondur.

Tüm blokların temelleri dikdörtgen şekilli olduğundan $K_1= 1.03$, $K_2=0.48$ alınmıştır.

4.6.2.2.1 A blok

A blok için yapılan SK3 ve SK4 sondaj kuyularından alınan numuneler için yapılan 3 eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen değerler :

$$c = 4, \Phi = 21 \text{ olduğundan (Bkz. Ek E.1)}$$

$$N_c = 15.98, N_q = 7.26, N_\gamma = 6.48 \text{ hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.26).}$$

$$D_f = 40 \text{ cm}$$

$$\gamma_1 = 1.88 \text{ t/m}^3 = 0.00188 \text{ kg/cm}^2, \gamma_{2,\text{doygun}} = 1.88 - 1 = 0.88 = 0.00088 \text{ kg/cm}^2$$

$$B_{\text{bodrumlu}} = 22 \text{ m}$$

$$B_{\text{bodrumsuz}} = 20 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{net,bodrumsuz}} = 1.03 \cdot 0.04 \cdot 15.98 + 0.00188 \cdot 40 \cdot 7.26 + 0.48 \cdot 0.00088 \cdot 2000 \cdot 6.48$$

$$\sigma_{\text{net,bodrumsuz}} = 6.67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{em,bodrmsuz} = 6.67/3 = 2.2 \text{ kg/cm}^2 = 22 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{net,bodrumlu} = 1.03 \cdot 0.04 \cdot 15.98 + 0.00188 \cdot 40 \cdot 7.26 + 0.48 \cdot 0.00088 \cdot 2200 \cdot$$

6.48

$$\sigma_{net,bodrumlu} = 7.22 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{em,bodrmsuz} = 7.22/3 = 2.4 \text{ kg/cm}^2 = 24 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_b = P / A \text{ (t/m}^2\text{) olmak üzere}$$

$$P_{bodrumlu} = 6685 \text{ ton olarak hesaplanmıştır.}$$

$$A = 682 \text{ m}^2$$

$$\sigma_b = 6685 / 682 = 9.8 \text{ t/m}^2. \text{ Dolayısıyla iyileştirmeden sonra :}$$

$\sigma_{em} > \sigma_{b,bodrmsuz} = 22$ veya $24 > 9.8 \text{ t/m}^2$ taşıma gücü yetersizliği yok, taşıma gücü için ıslaha gerek yok.

4.6.2.2.2 B blok

B blok için yapılan SK1 ve SK2 sondaj kuyularından alınan numuneler için yapılan 3 eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen değerler :

$$c = 4, \Phi = 22 \text{ olduğundan (Bkz. Ek E.1)}$$

$$N_c = 17.16, N_q = 8.12, N_\gamma = 7.56 \text{ hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.26).}$$

$$\sigma_{net,bodrmsuz} = 1.03 \cdot 0.04 \cdot 17.16 + 0.00188 \cdot 40 \cdot 8.12 + 0.48 \cdot 0.00088 \cdot 2000$$

. 7.56

$$\sigma_{net,bodrmsuz} = 7.7 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{em,bodrmsuz} = 7.7/3 = 2.56 \text{ kg/cm}^2 = 25.6 \text{ t/m}^2$$

4.6.2.2.3 C blok

C blok için yapılan SK5 ve SK6 sondaj kuyularından alınan numuneler için yapılan 3 eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen değerler :

$$c = 4, \Phi = 19 \text{ (Bkz. Ek E.1 ve Ek E.2)}$$

$$N_c = 14.04, N_q = 5.9, N_\gamma = 4.84 \text{ hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.26).}$$

$$\sigma_{\text{net,bodrmsuz}} = 1.03 \cdot 0.04 \cdot 14.04 + 0.00188 \cdot 40 \cdot 5.9 + 0.48 \cdot 0.00088 \cdot 2000 \cdot 4.84$$

$$\sigma_{\text{net,bodrmsuz}} = 5.1 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{em,bodrmsuz}} = 5.1/3 = 1.7 \text{ kg/cm}^2 = 17 \text{ t/m}^2$$

4.6.2.2.4 D blok

D blok için yapılan SK7 ve SK8 sondaj kuyularından alınan numuneler için yapılan 3 eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen değerler :

$$c = 4, \Phi = 18 \text{ (Bkz. Ek E.2)}$$

$$N_c = 13.28, N_q = 5.4, N_\gamma = 4.28 \text{ hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.26).}$$

$$\sigma_{\text{net,bodrmsuz}} = 1.03 \cdot 0.04 \cdot 13.28 + 0.00188 \cdot 40 \cdot 5.4 + 0.48 \cdot 0.00088 \cdot 2000 \cdot 4.28$$

$$\sigma_{\text{net,bodrmsuz}} = 4.56 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma_{\text{em,bodrmsuz}} = 4.56/3 = 1.52 \text{ kg/cm}^2 = 15.2 \text{ t/m}^2$. Tüm bloklar için iyileştirmeden sonra elde edilen emniyet gerilmeleri aynı mimarideki binaların oluşturacağı 9.8 t/m^2 değerinden büyüktür.

Dolayısıyla hiçbir blok zemini için taşıma gücü yetersizliği yoktur. Bu anlamda taşıma gücü yetersizliği bakımından zemin iyileştirmeye bile gerek yoktur.

4.7 Zemin İyileştirme Uygulama Detayları ve Kontrolleri

Kolon aralıkları ve çapı belirlendikten sonra projesinde öngörülen özelliklerde kolon inşa edilmeye başlanmıştır. İstenen kolon özelliklerine yeterli kapasitede ve Bölüm 2’de anlatılan jet grouting seçeneklerinden (jet-1, jet-2, jet-3) jet-1 özellikli yani sadece çimento enjeksiyonu ile kolon imal edebilecek ekipman seçilmiştir.

İstenen özelliklerde kolon imal etmek için yeterli parametrelerin seçimi için deneme testleri yapılmış, temel yüksekliği ve sıvılaşma potansiyeli bulunan derinliklere bağlı olarak enjeksiyon boyu belirlenmiştir.

İmalat sonrasında da kolonların istenen düzeyde basınç ve çekme dayanımı, süreklilik, tam boy sürekliliğe sahip olup olmadıkları kontrol edilmiş ve tüm yapı inşası sonrası jet grouting kolonları ile birlikte oturma miktarı hesaplanmıştır.

İnşaat aşamaları ve inşaat sonrası deneyler özetlenmiştir.

4.7.1 İnşaatta kullanılan ekip ve ekipmanlar

Aydın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğüne hazırlanan jet grouting yapım işi özet raporuna göre Jet grouting uygulaması için aşağıdaki ekipman kullanılmıştır.

- Delgi makinesi
- Pompa ünitesi
- Mikser ünitesi
- Çimento silosu
- Su tankı
- Jeneratör

Delgi makinesi uygulama projesinde öngörülen derinliğe kadar delgi yapabilecek ve jet grouting kolonu teşkil edebilecek kapasitede delgi makinesidir. Jet grouting, mini kazık, ankraj uygulamaları için uygun 2006 model İtalyan yapımı delgi makinesi kullanılmıştır (Şekil 4.9). 600 mm çaplı delme kapasiteli bu alet, 22 m

derinliğe kadar delebilmekte ve 90° kadar dönebilmektedir. Bu modeller, 9750-32000 Nm tork'a ve 7500-23000 kg arasında ağırlığa sahiptirler.

Jet grouting mikseri (Şekil 4.10), Tecniwell TWM 20 marka olup enjeksiyon karışımını istenen karışım oranında elektronik olarak tartarak karıştırarak ve pompa ünitesini beslemeye yeterli kapasitede bir mikser ünitesidir. Bu tesisin üretim kapasitesi 20 m³/saat 'tir. Manuel çalışma sistemli, konteynıra monteli, karıştırma ve aktarma sistemidir

Jet grouting pompası Tecniwell marka ve TWM 352 model olup enjeksiyon karışımını istenen çapta kolon teşkil edebilecek basınçta basabilecek yüksek basınçlı pompadan oluşan pompa ünitesidir. Pompa (Şekil 4.10) dizel motorlu, hidrolik sistemli ve 550 Bar basma kapasitesindedir

Çimento silosu, 40 ton kapasiteli, dökme çimento depolayabilen ve jet grouting mikser ünitesini yeterli düzeyde besleyecek çimento silosu ve konveyördür. Jeneratör 100 kw gücündedir (Anonim 2008^a).



Şekil 4.9: EGT MD1500 Jet grouting delme makinesi (Anonim 2008^a).



Şekil 4.10: Pompa , mikser, silo ve jeneratör (Anonim 2008^a).

4.7.2 İnşaat aşaması

Müdürlük arşivinden alınan verilere göre jet grouting kolonlarında TÇ 32.5 çimento kullanılmıştır. Bu çimento çeşidi puzolanik katkı ve hidrasyon ısısının açığa çıkma hızı düşük bir çimento türüdür. Dolayısıyla enjeksiyon betonları için daha uygundur. Başlangıç dayanımları portland çimentolarına göre başlangıçta daha düşük puzolanik reaksiyon sonrası dayanımı portlanda göre daha yüksek olmaktadır. Su / çimento oranı 1/1 ve jet-1 yöntemi ile çimento dozajı 400 kg/m^3 kullanılmıştır.

Her blok (4 blok + 1 sosyal tesis) için blok inşa alanı dışında çekme, dönme, nozul çapı, enjeksiyon basıncı ile ilgili parametrelerin tayini için jet-1 normunda toplamda 18 adet (b blok için 6 tane, diğerleri için 3 tane) deneme jet grouting kolonu yapılmış, (boy 5 m) test kolonlarının çevresi kazılarak çap kontrolü yapılmıştır (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: 4-5-6 no'lu test kolonlarının görünümü ve 6 no'lu test kolonunda ölçüm (Anonim 2008^a).

Buna göre Tablo 4.28’de test no 6 ‘da belirlenen; 52 cm/dak’dan çekme hızı parametresi, 21 devir/dak dönme parametresi ile 500 bar basınç ve 2.6 mm nozul çapı ile imalatın yapılacağı tespit edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Çekme hızı belirlenmesi ve 1 no’lu kolonda ölçüm (Anonim 2008^a).

Jet grouting kolonları 2.4 m aralıklarla ve 80 cm çaplı olarak projelendirilmiştir (Şekil 4.13).

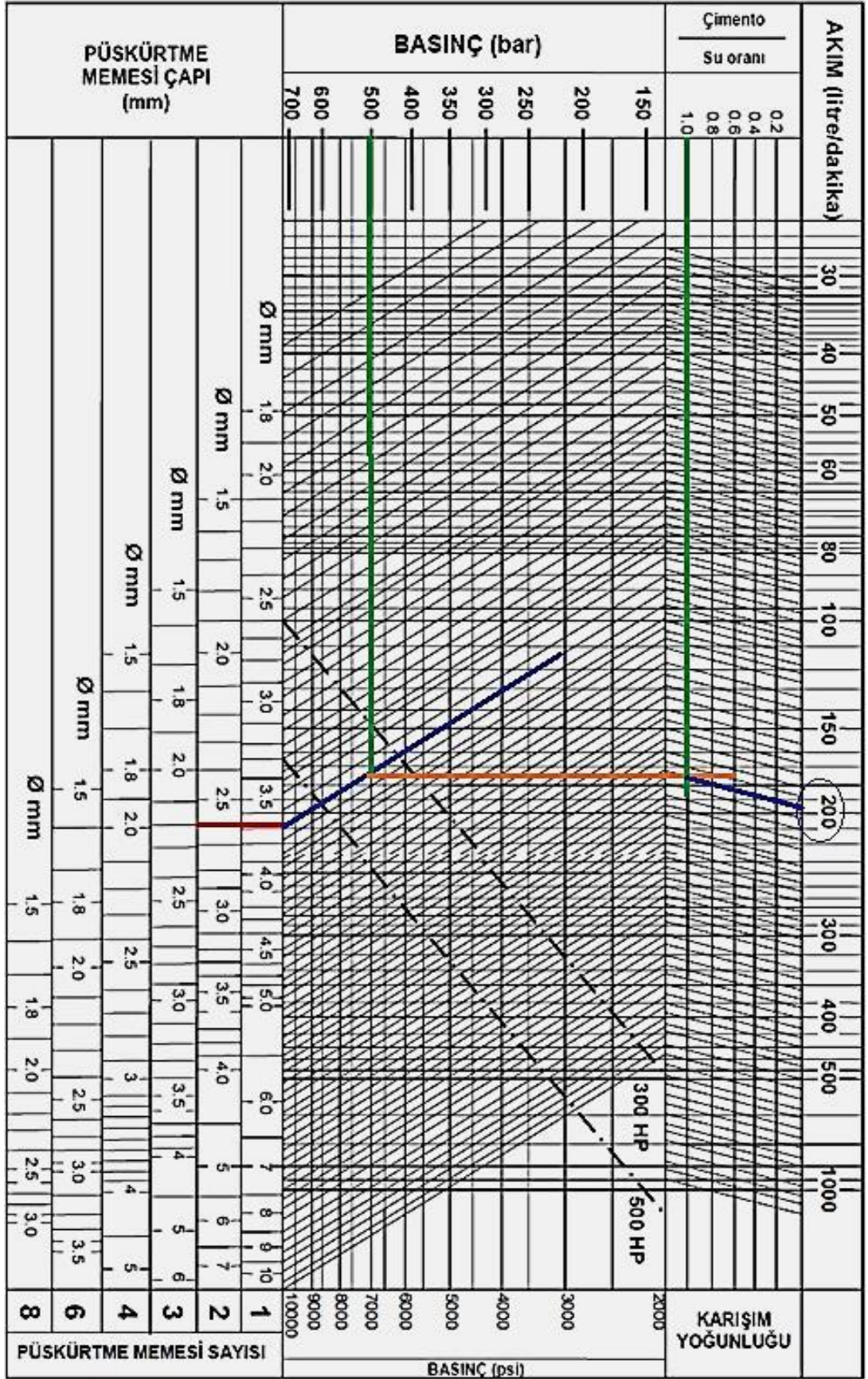


Şekil 4.13: Kolon aplikasyonu (Anonim 2008^a).

Tablo 4.28 : B blok deneme kolonlarının parametreleri (Anonim 2008^d).

TestNo	Boy(m)	Noozle (mm)	Ç. Bas. (Bar)	Çek. Hızı (Cm/dak)	Dön. Hızı (Adet/dak)	Kolon Ç. (Cm)	Yak.Çim.Mik. (Kg)
1	5.00	2.6	500	63	20	70	1300
2	5.00	2.6	500	59	18	65	1250
3	5.00	2.6	500	56	30	60	1150
4	5.00	2.6	500	44	36	70	1200
5	5.00	2.6	500	48	28	75	1250
6	5.00	2.6	500	52	21	80	1300

Proje firmasının karar verdiği bu değerler, Şekil 4.13’te gösterilen abak üzerinde işaretlenerek bilinmeyen başka veriler elde edilebilir veya bilinen verilerle abak üzerinde verilerin doğruluğu tahkik edilebilir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Sıkıştırılmayan akışkanlar için basınç-akım grafiği (Özkan 2006).

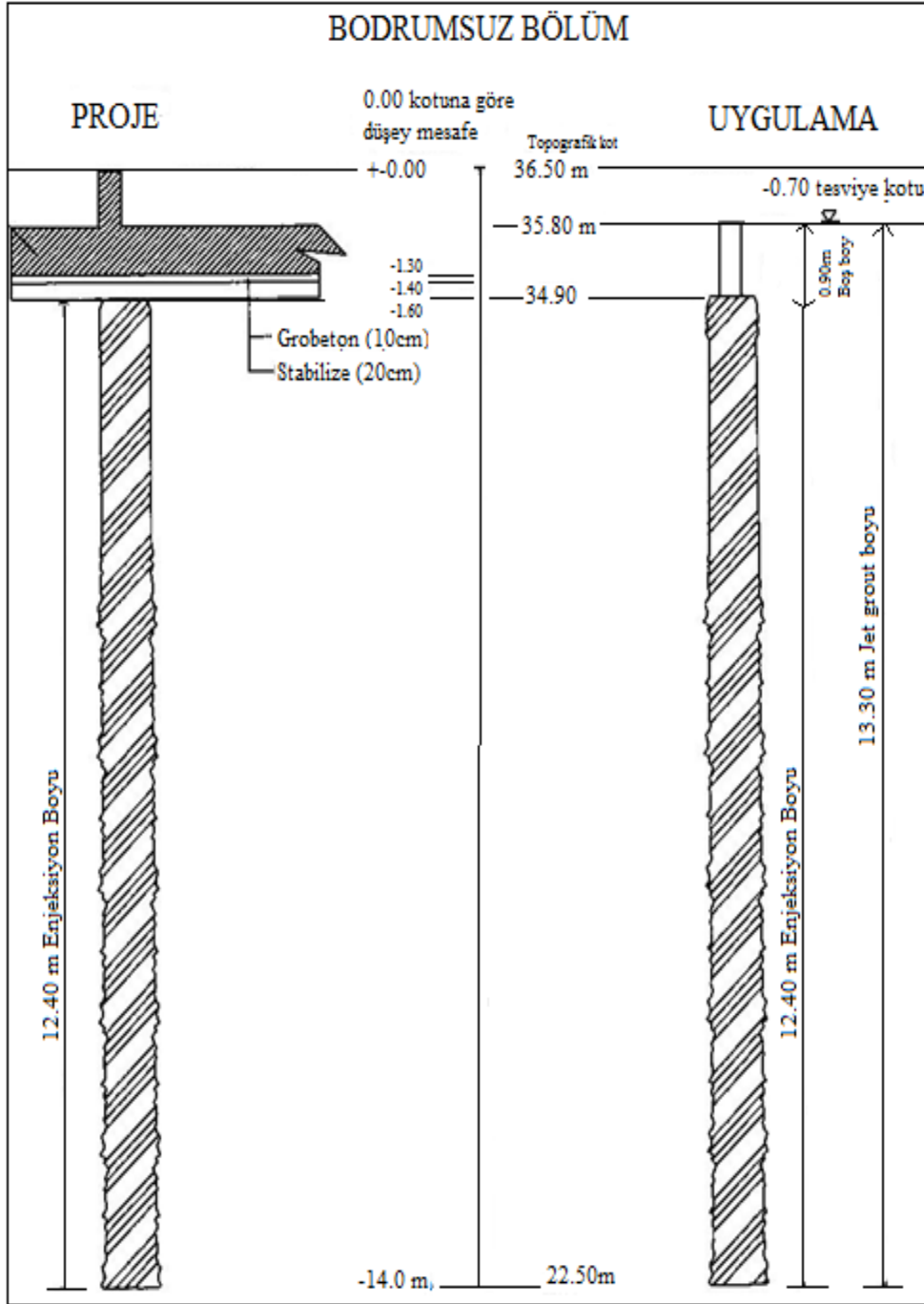
Abakta bilinen herhangi bir değerden diğer bir değere ulaşılabilir. Bu işleminde öncelikle 2.6 mm çaplı memeye sahip 2 nozul parametresinden yola çıkılarak, basıncı değeri olarak 500 bar seçilmiş olduğu için bu iki değerin abakta dikey olarak keşiştiği noktaya denk gelen eğik çizgi belirlenir ve imento/su bölümüne kadar takip edilirse ve buradan imento/su oranı 1.0 olarak belirlenmiş olduğu için bu değerle ilk bulunan eğik çizginin keşiştiği direk eğik çizginin devamıyla imento/su oranı keşiştirilirse keşişimin dikey uzantısı bize bu parametrelerle dakikada kaç litre akım sağlanacağını gösterir. Bu parametreler doğrultusunda elde edilen değer 200 lt/dakika 'dır.

Bu işlemin tam tersi olarak istenen akım litresinden de yola çıkılarak, imento/su oranı ve nozul çapı değerlendirilerek ne kadar basınçla püskürtme yapılması gerektiği de bulunabilir.

Yurt inşaatlarında temel projesi bodrumlu ve bodrumsuz kısım olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Enjeksiyon taban kotu yurt binaları için zemin kotundan itibaren -14 m'0de sosyal tesis binası için -20.60 m'de seviyelenmiştir.

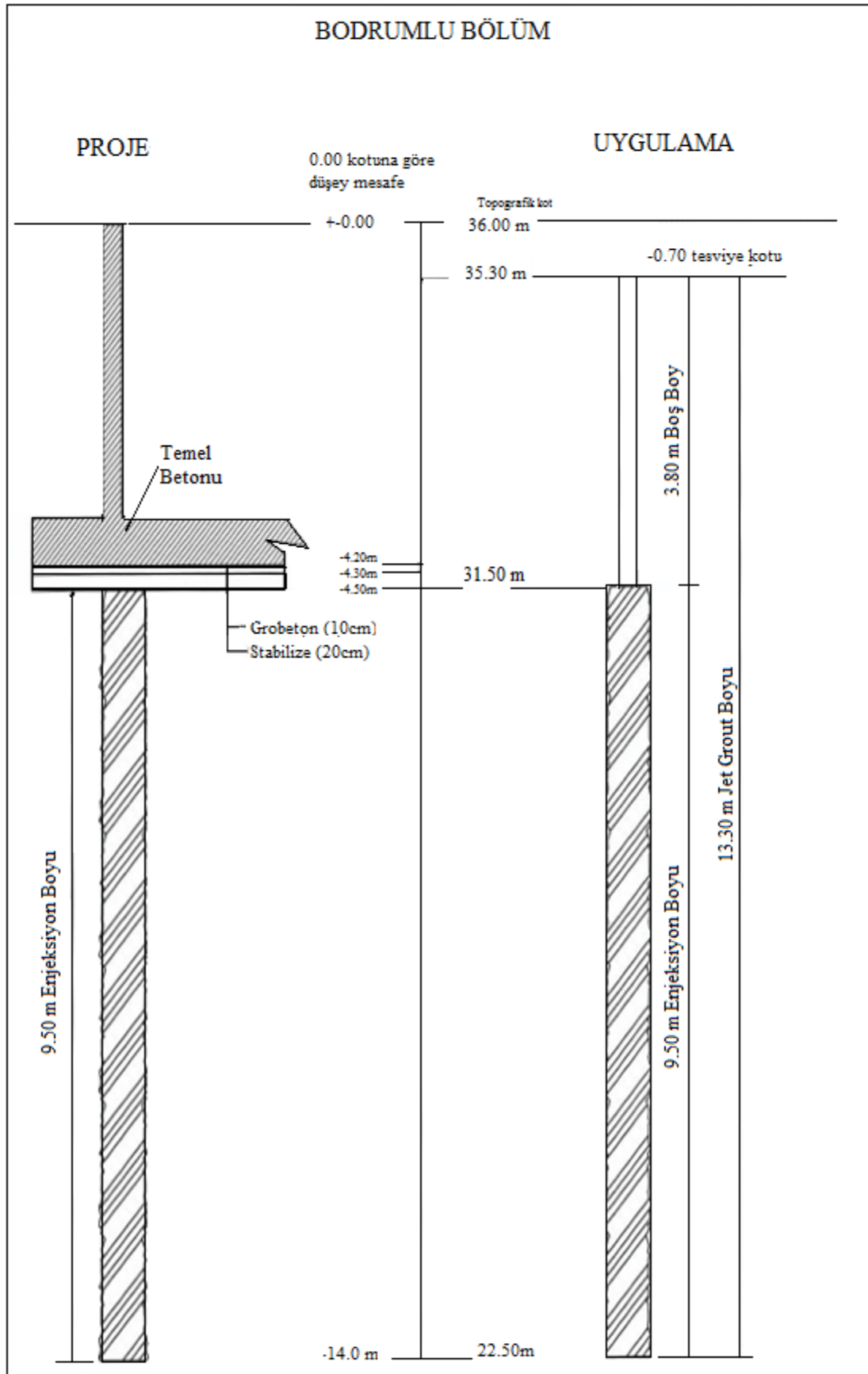
Bodrumsuz kısımda; statik projesine göre yapılacak 70 cm temel kazısına ek olarak 60 m yüksekliğinde temel yüksekliği, 10 cm grobeton ve 20 cm stabilize yüksekliği eklenince enjeksiyonun tabii zemin kotundan toplam 1.60 m aşağıda yapılmaya başlanmıştır. Dolayısıyla tabii zemin kotuna göre -14.00 m derinliğe ulaşması gereken enjeksiyon boyu 12.40 m'dir (şekil 4.15).

şekil 4.15 ve 4.16'da görülen jet grouting boyu; ekipmanlarla işlem yapılan toplam yüksekliği, enjeksiyon boyu; enjeksiyon işlemi yapılan yüksekliği, tesviye kotu; inşaat alanında statik projesine bağlı olarak yapılan düzenleme ve temel üstü yükseklik kazısını, boş boy; jet grouting uygulamasının daha sonra inşa edilecek olan bina temelleri inşaatından önce yapılması sebebiyle kolon oluşturulmaması gereken yani enjeksiyon yapılmayacak, boş olarak geçilecek yüksekliği ifade etmektedir.



Şekil 4.15: Bodrumsuz B blok kolon kesitleri (Anonim 2008^d).

Bodrumlu kısımda; bodrumsuz kısmın temel üstü derinliği olarak belirlenen 70 cm tesviye kazısının tüm inşaat alanında yapılmış olmasından dolayı, statik projesine bodrum katı ve temeli ve temel altı uygulamalarının alt kotu olan -4.50 metreden başlanmıştır ve enjeksiyonun boyu $14.00 - 4.50 = 9.5$ m'dir (Şekil 4.16). Tümü bodrumlu sosyal tesis için ise enjeksiyon boyu $20.00 - 4.50 = 15.50$ m'dir.



Şekil 4.16: Bodrumlu B blok kolon kesitleri (Anonim 2008^d).

4.7.3 İnşaat sonrası kontroller

TS-EN 12716 sayılı “Özel Jeoteknik Uygulamalar-Jet Enjeksiyon” standardının 9. bölümü olan kontrol, deney, gözlem bölümünde inşa edilmiş elemanlar üzerinde yapılması gereken deneyler belirtilmiştir.

Bu kapsamda mekanik deneyler için basınç deneyleri yükseklik/çap oranı 2.0'a eşit olan numunelere uygulanır denilmektedir. Aksi belirtilmedikçe basınç mukavemeti her 1000 m³'lük hacimden alınan 4 numune üzerinde yapılan deneyler ile belirlenmelidir.

Jet enjeksiyonlu elemanlar üzerinde sahada yapılan yükleme deneyleri derin temeller olarak kullanıldıkları yerlerde uygun olabilir.

Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü kontrollüğünde yapılan jet grouting uygulamasının kolonların kalite kontrolünün belirlenmesi amacıyla projede bazı testlerin yapılması belirtilmiştir. Bu amaçla jet grouting uygulamalarında projede belirtilen kriterlere göre testlerin yapılması ve projeye uygunluğunun belirlenmesi amacıyla Müdürlükçe oluşturulan 3 teknik eleman ile “muayene kabul komisyonu” kurulmuştur. İmalatı tamamlanan blokta kazı işlemleri tamamlandıktan sonra komisyon eşliğinde kolonların projeye uygunluğu ile komisyonun belirlediği kolonlarda projede belirtilen kalite kontrol testleri yaptırılmıştır.

Projede jet grouting kolonlar için istenilen kalite kontrol deneyleri;

1-Numune alımı ve basınç dayanımı tayini

2-Süreklilik tayini (p.i.t. testi)

3-Kolon yükleme deneyi

Bu testlere ek olarak kabul komisyonu projede yer almamasına rağmen tam boy süreklilik tahkiki yapılmasına ve p.i.t. testinden ayrı olarak jet grouting kolonu boyunca alınan numune uzunluğunun kolon boyuna oranlanarak karot verim yüzdesi hesaplanması amaçlanmıştır.

4.7.3.1 Numune alımı ve basınç dayanımı tayini

Her 10 kolonda 1 adet serbest basınç deneyi numunesi JTG üst ucundan alınmıştır. Ortalama bir kolon 12.5 m yükseklikte ve 80 cm çapında imal edildiği düşünülürse her bir kolon ortalama 6.3 m^3 hacminde olup toplam 63 m^3 olan 10 kolonda 1 numune alındığında her 1000 m^3 'lük hacimde 15 numune alındığını gösterir ve bu da TS-EN 12716 standardının istediği numune sayısının çok üstündedir ve çok daha güvenli bir sonuç taşımaktadır. Zemin-çimento karışımının mukavemetinin belirlenmesi amacı ile jet grouting kolonlarının yapımından en az 28 gün sonra numune alınıp, alınan numuneler üzerinde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı onaylı özel bir laboratuarda tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Serbest basınç deneyi yük sabit hızla (yaklaşık 1 mm/dakika) yükseklik-çap oranı 2 olan numuneler üzerinde yapılmıştır.

Müdürlük arşivinden elde edilen verilere göre A blok için toplam 38 adet karot numunesi alınmıştır. Bunların 28 günlük ortalama basınç değerleri 3.69 N/mm^2 bulunmuştur. B blok için toplam 38 adet karot numunesi alınmıştır. Bunların 28 günlük ortalama basınç değerleri 3.88 N/mm^2 bulunmuştur. C Blok için toplam 36 adet karot numunesi alınmıştır. Bunların 28 günlük ortalama basınç değerleri 3.91 N/mm^2 bulunmuştur. D Blok için toplam 36 adet karot numunesi alınmıştır (Tablo 4.29). Bunların 28 günlük ortalama basınç değerleri 5.10 N/mm^2 bulunmuştur. Sosyal tesis için toplam 40 adet karot numunesi alınmıştır. Bunların 28 günlük ortalama basınç değerleri 5.10 N/mm^2 bulunmuştur.

Tablo 4.29: Yurt inşaatında elde edilen ortalama basınç değerleri (Anonim 2008^a).

Blok	Numune Alınan Kolon Sayısı(Adet)	Ortalama Basınç Mukavemeti	
		(N/mm2)	(kg/cm2)
A	38	3.69	37.6
B	38	3.88	39.53
C	36	3.91	39.68
D	36	5.10	52.00

Projede bulunmamasına rağmen kolon imalatlarında basınç dayanımlarının derinliğe bağlı olarak nasıl değiştiğini belirlemek amacıyla yapılan tam boy süreklilik tahkiki deneyinde alınan karot numunesinde (Tablo 4.30) farklı derinlikteki karotlarda basınç deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler 55 mm çapında ve 100 mm boyundadır. (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: Basınç deneyine tabi tutulan numuneler (Anonim, 2008).

Tablo 4.30: Kolonların farklı metrelerdeki basınç dayanımları (Anonim 2008^a).

Blok	Kolon Numarası	Farklı Metrelerdeki Basınç Değerleri(N/mm ²)		
		6.00 m	7.50 m	9.00 m.
D	286	8.22 N/mm ²	21.47 N/mm ²	23.03 N/mm ²
		2.55 N/mm ²	1.99 N/mm ²	9.24 N/mm ²
C	316	3.00 m	6.00 m	12.00 m
		2.55 N/mm ²	1.99 N/mm ²	9.24 N/mm ²

Müdürlük kontrolünde karar verilen karot yerleri kolonların zemine en yakın bölgeleridir. TS-EN 12716'da jet grouting kolonlarında karotların alınması gereken bölge için bir açıklama yoktur. Dolayısıyla tüm kolonların zemine yakın bölgelerinden alınan karot numune sonuçlarına göre yapılan tahkikin güvenilir olduğu anlaşılmıştır.

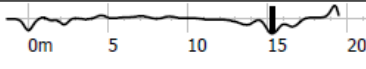
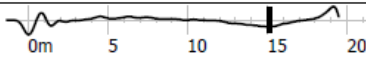
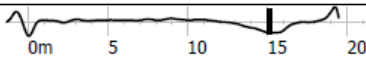
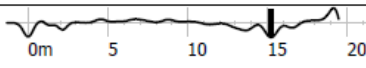
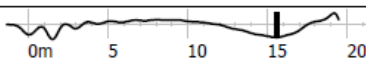
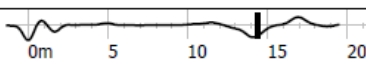
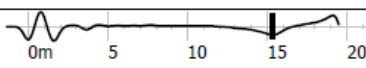
4.7.3.2 Süreklilik tayini (p.i.t)

Kolon süreklilik testi (PIT) her 10 kolonda 1 adet çap-boy tespiti için yapılmıştır. Bu deney adedi Müdürlük ve üstlenici proje firması arasında yapılan teknik şartnamede belirlenmiştir.

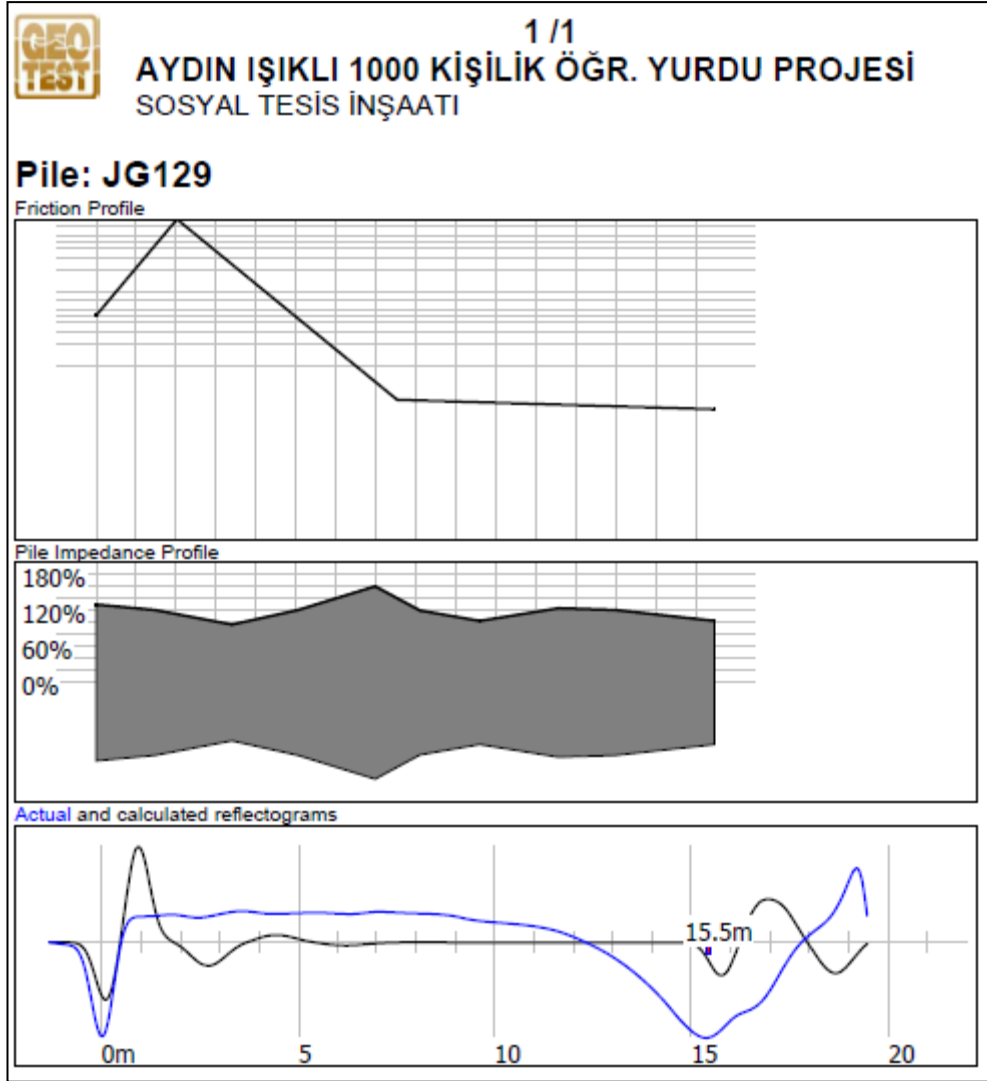
Yapılan testler ASTM (American Society of Testing Materials) D5885-07 “Derin Temeller için Düşük Deformasyon Etkili Süreklilik Testleri için Test Methodları” standardına uygun olarak pulse echo (darbe yankı) metodu ile sonic integrity (dalga süreklilik) testi değerlendirilmiştir.

Her yurt binası için belirlenen kolonlarda testler yapılmıştır (Şekil 4.18). Ayrıca,her blok için seçilen 5 adet kolonda zemin parametreleri dikkate alınarak sinyal eşleştirme (çap tayini) yapılmıştır.

Yapılan p.i.t. testleri ve sinyal eşleştirme analizi (çap tayin) analizinde proje kriterlerinin sağladığı tespit edilmiştir (Şekil 4.19).

Derinlik (m)	Details	Jet Grout	Reflectogram	Açıklama
15.3m	06.11.2009 C:2700m/s Amp:130	JG26		OK
15.2m	06.11.2009 C:2700m/s Amp:210	JG64		OK
15.1m	06.11.2009 C:2700m/s Amp:350	JG65		OK
15.2m	06.11.2009 C:2700m/s Amp:170	JG67		OK
15.6m	06.11.2009 C:2700m/s Amp:80	JG73		OK
14.4m	06.11.2009 C:2700m/s Amp:80	JG86		OK
15.3m	06.11.2009 C:2700m/s Amp:250	JG90		OK

Şekil 4.18: Kolonları p.i.t.testleri sonuçları (Anonim 2010).



Şekil 4.19: Sinyal eşleştirme çap tayini (Anonim 2010).

Bu testte süreklilik testinde kolonların yapılış amaçlarını engelleyecek kırık, çatlak, uygulama hatası gibi problemlerin olup olmadığı amaçlanmış ve kolon sürekliliklerinde problem olmadığı anlaşılmıştır. Şekil 4.19’da jet grouting kolonlarının en alt uçlarına ait kotlara kadar inen eğrilerin kolon boyunca sürekliliğini koruduğu, kolon bitiminden sonra pik yaparak büküldüğü görülmektedir.

Süreklilik testi yapılan kolonlardan bazıları seçilerek yapılan sinyal eşleştirme analizinde ilk olarak uniform bir kolon şekli ile başlanarak sinyaller eşlenene kadar kolon geometrisi değiştirilmiştir. Ölçülen sinyal kolon-zemin sistemine tanımlanmış ve analitik sinyal ayrıca hesaplanarak ölçülen sinyalle karşılaştırılmıştır. Zemin verilerine göre zemin doğru modellenmişse ölçülen ve hesaplanan sinyaller arasındaki fark kolonun geometrisinden kaynaklanır. Analiz tamamlandığında

kolonun son geometrisi belirlenmiştir. Şekil 4.19'da ölçülen ve hesapların mavi ve siyah renkli sinyalleri, en üstte sürtünme profili ve ortada da oluşan kazık geometrisi görülmektedir.

4.7.3.3 Kolon yükleme deneyi

Proje kapsamında yapılmış olan 80 cm çaplı jet grouting kolonlar üzerinde eksenel statik basınç deneyi yapılmıştır (Şekil 4.20). Deneyde test kazığının deney yükünün 1.5 katındaki performansı ölçülmüş olup aşağıda deneye ait ayrıntılar ve sonuçlar sunulmuştur.



Şekil 4.20: Yükleme testi ve yapılan ölçümler (Anonim 2008^a).

Deneyin yapılmasında 3 adet jet grouting kolon kullanılmıştır. Çekme kolonları 15 m boyunda yapılarak 12 m boyunda çelik halat yerleştirilmiştir. Basınç kolonu proje kriterlerine uygun olarak 12.40 m boyunda yapılmıştır.

Deney yükü 2 adet çekme kolonu ile sağlanmış olup, her bir kolona 3 adet vsl tipi (süper tendon çelik halat) yerleştirilmiştir. Çelik halatlara deney yükü gripler ile aktarılmıştır.

Basınç kolonu grup merkezinde olup kolon üst kotunda yatay 100 x 100 x 100 cm ölçülerinde betonarme başlık oluşturulmuştur. Betonarme başlık yük uygulama platformu görevi yapmaktadır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21: Yükleme testi kolon imalatı (Anonim 2008^b).

Hidrolik kriko kolon merkezine yerleştirilmiş olup, reaksiyon kirişi bir platform üzerine askıya alınarak çekme kolonlarına bağlanmış ve halat boşlukları alınmıştır. Deneyin başlaması ile hidrolik pompa vasıtasıyla deney yükü kademeli olarak uygulanmış olup çekme kolonları vasıtasıyla test yükü basınç kolonuna uygulanabilmektedir.

Yüke karşılık deplasman ölçümleri 1/100 mm hassasiyetli ölçü saatleri (deplasman ölçerler) ile okunmuştur. Basınç kolonu her iki yanında yerleştirilen ölçü saatlerinden deney programına göre yükün uygulandığı anda ara periyotlarda ve sonunda okumalar alınarak kayıt formuna yazılmıştır.

Yukarıdaki tabloda verilen deney programı kademeler halinde uygulanmıştır. Kolon yükü $Q_{all} = 30$ ton olup, deneyde bu yükün % 50 fazlası olan 45 tona kadar deney yükü uygulanmıştır. Her bir yük kademesinde 15 dakika beklenilmiş olup, yükün uygulandığı anda, ara periyotlarda ve yükün boşaltılmasından hemen önce yüke ve zamana karşılık oturmalar okunmuştur. Deney yükünde ve azami yükte bekleme süreleri yükün kontrollü uygulanması ile 1 saatten fazla süreye ulaşmıştır (Tablo 4.31).

Bir adet jet grouting kolonuna gelen yükü hesaplamak istersek, öğrenci yurdu bloklarının statik projesine göre bulunmuş ağırlığı ortalama 8600 ton'dur. Her blok altına teşkil edilen kolon sayısı 363 ise (Bu değer jet grouting projesinden alınmıştır) ;

$$1 \text{ kolona gelecek yük} = \text{Bina ağırlığı} / \text{Kolon sayısı}$$

$$1 \text{ kolona gelen yük} = 8600 / 363 = 23.69 \text{ ton/kolon 'dur.}$$

Dolayısıyla kolon tasarım yükü için seçilen $Q_{all} = 30$ ton fazlasıyla güvenlidir.

Tablo 4.31: Yükleme testi detayları (Anonim 2009).

Yük.ton	Zaman, dak.	Okuma Aralığı,dakika	Oturma, (1)	Oturma, (2)	Ortalama Oturma ,mm
0	-	0	-	-	-
7.5	-	0	-	0.14	0.07
7.5	5	5	-	0.14	0.07
7.5	10	5	-	0.14	0.07
7.5	15	5	-	0.14	0.07
15	15	0	0.55	0.76	0.66
15	20	5	0.62	0.83	0.73
15	25	5	0.65	0.85	0.75
15	30	5	0.66	0.87	0.77
22.5	30	0	1.50	1.57	1.54
22.5	35	5	1.64	1.66	1.65
22.5	40	5	1.69	1.71	1.70
22.5	45	5	1.73	1.76	1.75
30	45	0	2.80	2.85	2.83
30	50	5	2.96	3.01	2.99
30	55	5	3.06	3.06	3.06
30	60	5	3.09	3.11	3.10
15	60	0	2.90	2.69	2.80
15	65	5	2.89	2.69	2.79
15	70	5	2.88	2.68	2.78
15	75	5	2.85	2.65	2.75
0	75	0	1.55	1.76	1.66
0	80	5	1.54	1.66	1.61
0	85	5	1.54	1.63	1.60
0	90	5	1.54	1.68	1.59
7.5	90	0	1.90	1.68	1.79
7.5	95	5	1.90	1.68	1.79
7.5	100	5	1.90	1.68	1.79
7.5	105	5	1.90	1.68	1.79
15	105	0	2.30	2.30	2.30
15	110	5	2.36	2.33	2.35
15	115	5	2.36	2.33	2.35
15	120	5	2.36	2.33	2.35
22.5	120	0	2.71	2.75	2.73

Tablo 4.31: Yükleme testi detayları (devam) (Anonim 2008^c).

22.5	125	5	2.85	2.80	2.83
22.5	130	5	2.87	2.81	2.84
22.5	135	5	2.87	2.81	2.84
30	135	0	3.38	3.24	3.31
30	140	5	3.46	3.31	3.39
30	145	5	3.47	3.43	3.45
30	150	5	3.47	3.45	3.46
37.5	150	0	4.80	5.36	5.08
37.5	155	5	4.98	5.53	5.26
37.5	160	5	4.99	5.54	5.27
37.5	165	5	4.99	5.54	5.27
45	165	0	7.38	8.40	7.89
45	170	5	7.61	8.72	8.17
45	175	5	7.62	8.81	8.22
45	180	5	7.62	8.86	8.24
30	180	0	6.70	7.60	7.15
30	185	5	6.69	7.58	7.14
30	190	5	6.68	7.58	7.13
30	195	5	6.68	7.57	7.13
15	195	0	5.34	6.63	5.99
15	200	5	5.30	6.59	5.95
15	205	5	5.28	6.57	5.93
15	210	5	5.28	6.56	5.92
0	210	0	3.46	4.84	4.15
0	215	5	3.44	4.80	4.12
0	220	5	3.40	4.79	4.10
0	225	5	3.40	4.78	4.09

Yüklemeye servis yükünün 1.5 katı büyüklüğe kadar devam edilmiştir.

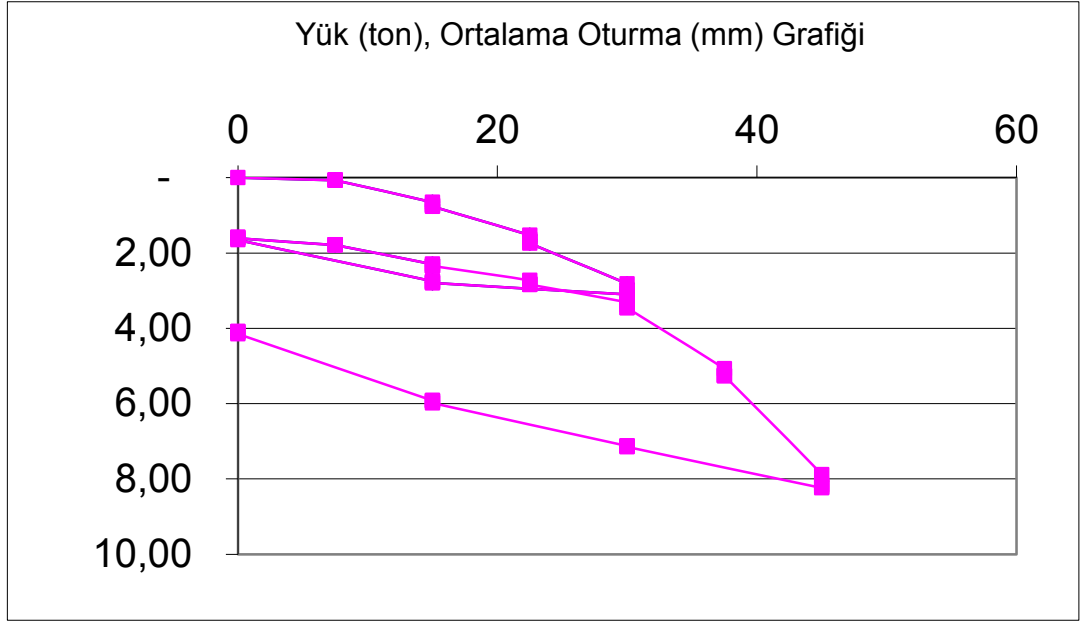
Düzceer R. 2004 yılında sunmuş olduğu çalışmasında jet grouting kolon yükleme deneyinde kabul kriterlerini şöyle belirtmiştir :

-Kolon başlığında ölçülen toplam oturma 10 mm'den küçük olmalı.

-Kolon toplam oturması ön yükleme deneylerinde kolon çalışma yükünde ölçülen oturma değerinin 1.5 katından az olmalı

-Test yükü boşaldıktan sonra meydana gelen kalıcı oturma kolonun toplam oturmasının % 50'sinden fazla olmamalıdır.

Şekil 4.22'de görüldüğü gibi yükleme 30 tona ulaşana kadar olan oturmalar işaretlenmiş ve test yükü boşalttıktan sonra kalıcı oturmanın 1.59 mm olduğu bundan sonra yükleme tekrar 45 ton'a ulaştığında oturmanın 8.24 mm olduğu görülmektedir.



Şekil 4.22: Yük-oturma deney sonuçları grafiği (Anonim 2008^e).

Tekrar test yükü boşalınca bu değerden sonraki kalıcı oturmanın 4.09 mm'ye düştüğü anlaşılmaktadır.

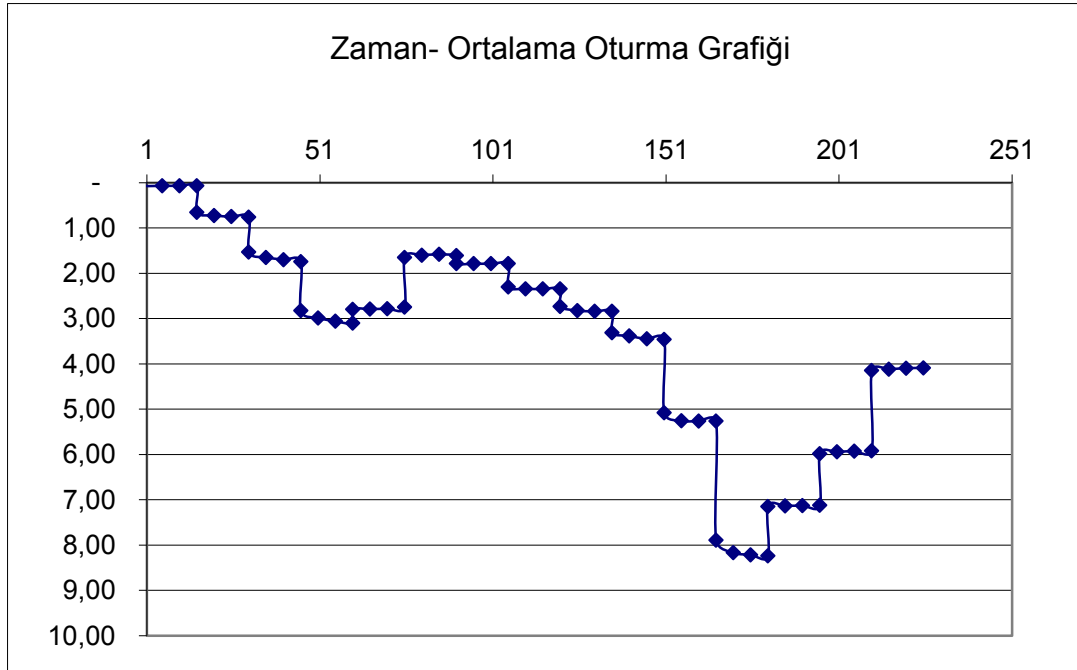
Aydın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü arşivinden edinilen verilere göre deney sonuçları değerlendirilecek olursa;

Tasarım yükü olan $Q_{all}= 30$ ton yükte 3.31mm toplam oturma gözlenmiştir ve 10 mm'den küçüktür. Azami yük olan $Q_{max}= 45$ ton'da 8.24 mm toplam oturma elde edilmiştir. Deney yükünün boşaltılması ile 4.09 mm kalıcı oturma gözlenmiştir. Toplam oturma değerinin %50 elastik oturma olarak geri dönmüş olup kalan kalıcı oturma miktarı 4.09 mm oluşmuştur. Bu durumda geri dönen elastik oturma miktarı $8.24 - 4.09 = 4.15$ mm'dir.

Kolon toplam oturması 4.09 mm olduğu için bu değer kolon çalışma yükündeki oturma değeri 3.31mm'nin 1.5 katı değeri olan 4.96mm'den küçük olup güvenli taraftadır.

Kolonun toplam oturması 8.24 mm ve kalıcı oturma 4.09mm iken toplam oturma miktarının yarısı olan 4.12mm'den küçüktür ve güvenli taraftadır.

Deney yükünde ve azami yükte elde edilen değerler elastik oturmalar olup kolonda deney esnasında hiçbir olumsuzluk gözlenmemiştir. Toplam oturmanın çoğunluğu elastik oturma olup kalıcı oturma miktarı da 5.00 mm'nin altındadır. Kolon 1.5 kat uygulanan tasarım yükünü başarı ile taşımış olup herhangi bir aşırı oturma, kolonda yana yatma, göçme çekme kolonlarında farklı davranış gözlenmemiş olup deney başarı ile tamamlanmıştır (şekil 4.23).



şekil 4.23: Zaman-oturma deney sonuçları grafiği (Anonim 2008[]).

Bu deneyin genel kolon imalatından önce yapılması gerekir. Alınan sonuçlara göre kolon boyunun veya istenen derinliklerdeki sıvılaşmayı önleyecek şekilde davranabilmesi için istenmeyen bir oturma durumunda kolon boyutları tekrar gözden geçirilir. Bu deneyler sonucunda yapılması planlanmış olan kolonlar için yeniden llendirmeye gerek olmadığı anlaşılmaktadır.

4.7.3.4 Tam boy süreklilik tahkiki

Şartnamesinde olmamasına rağmen Müdürlük arşivinden elde edilen verilere göre her blokta 1 adet kontrol mühendisinin seçtiği JTG kolonda sondaj ile kolon boyunca sürekli karot alınmış olduğu görülmüştür.

Test yapılan kolonların çapı 80 cm'dir. Kolon boyu $L = 12.40$ 'm'dir. Karot alımı 28 günlük kolon üzerinde yapılmıştır. Karot alım işlemi 1.5 metrelik karot alıcı ekipmanlar ile tam boy olarak gerçekleştirilmiştir.

Jet grouting projesinde her blokta 1 adet olmak üzere süreklilik tahkiki yapılması için kontrol mühendisi ve muayene komisyonun belirlediği kolonda sondaj ile kolon boyunca sürekli karot alınmıştır.

Elde edilen karot numuneleri karot sandıklarında derinliğe bağlı olarak depolanmıştır (Şekil 4.24). Karot alımında derinliğe bağlı olarak elde edilen numunelerin boyları ölçülerek karot verimleri kontrol edilmiş karot yüzdeleri hesaplanmıştır (Tablo 4.32).

Bu değerler A blok için ortalama % 75.80, B blok için ortalama % 90.72, C blok için % 65 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.24: Tam boy süreklilik testi numuneleri (Anonim 2008^a).

Tablo 4.32: Elde edilen karot numunelerine ait ölçüm değerleri D blok (287 no'lu kolon) Sosyal Tesis (182 no'lu kolon) (Anonim 2008^c).

D blok	Karot Boyu	Tij Boyu	Derinlik	Karot Yüzdesi
	M	m.	m	%
	0.70	1.50	0.00-1.50	47.00
	0.60	1.50	1.50-3.00	40.00
	1.20	1.50	3.00-4.50	80.00
	1.20	1.50	4.50-6.00	80.00
	0.90	1.50	6.00-7.50	60.00
	1.10	1.50	7.50-9.00	73.00
	1.20	1.50	9.00-10.50	80.00
	1.10	1.90	10.50-12.40	58.00
TOPLAM	8.00	12.40		65.00
Sosyal Tesis	Karot Boyu	Tij Boyu	Derinlik	Karot Yüzdesi
	m	m.	m	%
	1.00	1.50	0.00-1.50	67
	1.20	1.50	1.50-3.00	80
	1.20	1.50	3.00-4.50	80
	1.40	1.50	4.50-6.00	93
	1.30	1.50	6.00-7.50	87
	1.20	1.50	7.50-9.00	80
	1.10	1.50	9.00-10.50	73
	0.90	1.50	10.50-12.00	60
	1.30	1.50	12.00-13.50	87
	1.20	1.50	13.50-15.00	80
TOPLAM	11.80	15.00		79

Elde edilen karot numuneleri hakkında Müdürlük komisyonunca tutulan teknik rapor aşağıdaki gibidir.

1-Karot numunesi alımı esnasında aşağıdaki sebeplerden dolayı numunede kayıplar (erime) oluşmaktadır.

a) 28 Günlük yaa sahip jet grouting kolonlarından tam boy numune alınmıştır. Yer altı su seviyesi yaklaşık 3.80 m'dedir. Su altında jet grouting kolonların mukavemet kazanma hızı, atmosfer koşullarına nazaran çok daha yavaş olmaktadır. Karot alımı esnasında numunelerdeki aşınma bunu göstermektedir.

b) Numune alımı devir daim suyu ile ve çift tüplü olarak yapılmıştır. Bilindiği gibi devir daim suyunun basıncı, askıdaki partiküllerin devir daim ile numune üzerinde zımpara etkisi ile jet grouting kolon karotunda ciddi kayıplara yol açtığı ve karot verimini düşürdüğü bilinen bir gerçektir. Uygulama öncesinde yapılmış olan sondaj logları incelendiğinde zeminde mevcut tabakaların, ince kum-silt ve kil ile ardalanmalarından oluştuğu anlaşılmaktadır.

c) Sondaj makineleri bir noktadan rotari kafa ile aseye tutturulan üzerinde delgi ekipmanlarını bulunduran makinelerdir. Zemine delgi amaçlı kullanılan delgi takımlarında her bir devirde oluşan eksantrik kuvvet ile (yalpalama etkisi) numunelerde örselenme oluşmaktadır. Bu örselenme kırılma ve buna bağlı erimelerden oluşmaktadır.

2- Karot sandıklarında numuneler derinliğe bağlı olarak sıralanmıştır. Kolon boyu olan $L = 12.40$ m boyunca karot elde edilmiştir.

3- Karot rnekleri zemin sondaj logu ve idealize edilmiş log ile incelendiğinde kum oranının arttığı 3-12.4 m arasında karot veriminin arttığı gözlenmiştir.

Müdürlük komisyon raporu göz önüne alındığında deneye bağlı problemler sebebiyle bazı numunelerde tam boy sürekliliğin sağlanamadığı anlaşılmaktadır. Tam boy süreklilik için bir tahkik söz konusu olmasa da p.i.t. testleriyle belirlenen süreklilik tahkikinden başarıyla geçen kolonların hem bazı derinliklerdeki basıncı dayanımını belirlemek hem de kolon sürekliliğini gözle görülür hale getirmek açısından bu deney de önemlidir. Raporlarda bu deney için yüzdesel olarak güvenli taraf sınırından bahsedilmemitir. Tüm artlar göz önüne alındığın % 93'e varan kolon süreklilik verimliliği olduğu başarılıdır.

4.8 Genel Değerlendirme

İnşaat alanında yapılan 10 adet sondaj noktası için yapılan sıvılaştırma analizi için, özel firmanın saha ve laboratuvar deneyleri sonucu hazırlanan rapor verileri kullanılmıştır.

Bir blok binası için yapılan 2 sondaj sayısı bir bölgenin karakterini anlamak için yeterli olmayabilir ve bu konuda söz konusu inşaat bölgesi için özel firma tarafından yapılmış olan sıvılaştırma analizi için daha önce İl Müdürlüğüne yapılmış olması muhtemel İmar Planına esas Jeolojik Etüt çalışmalarında yapılan sondaj verileri kullanılmış olabilir. Bu çalışmada Müdürlük arşivinden elde edilen sondaj verileri kullanılmış ve işlem basamakları açısından bir örnek teşkil etmesi amaçlanmıştır.

Çevrimsel gerilme oranı hesabında kullanılacak olan maksimum ivme için zemin profiline bağlı olarak hesaplanabilecek ve saha deneyleriyle elde edilecek kayma dalgası hızları ile özel programlar vasıtasıyla ana kaya ivmesinin hesap yapılan zemindeki değeri göz önüne alınabilir. Bu çalışmada alınan deprem bölgesine bağlı maksimum ivme bir ana kaya ivmesidir ve geçmiş depremler göz önüne alındığında bölge için yapılan hesapta güvenli tarafta olduğu söylenebilir.

Çevrimsel direnç oranı CRR için Japon şartnamesinde yer alan abaktan faydalanılmış ve düzeltilmiş SPT N değerleri kullanılmıştır. CRR için ince malzeme yüzdesini de dikkate alan abaklar da güvenilir ve yeterli sayıda deney sonucu olması halinde kullanılabilir.

Analiz sonuçlarında özel firma tarafından belirlenen jet grouting kolon tabanı kotları için hangi hesap yönteminin kullanıldığı ve hangi deprem büyüklüğünün dikkate alındığı bilinmemektedir.

Genel olarak kolonlarda yapılan gözlemsel incelemelerde kolon çapı y.a.s. seviyesinin üzerindeki parametrelere göre belirlenmiştir. Zemin karakteristik özelliklerinin derinlikle değiştiği düşünülürse deneme kolonlarının tam boy (proje boyu) yapılması daha uygundur. Müdürlük tarafından yapılan uygulama aşamasında yapılan gözlemler ve jet grouting uygulamalarındaki yapılan diğer çalışmalarda incelendiğinde y.a.s.s. altında kolon çaplarının daha geniş olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla istenen çap tam boyda sağlanmıştır.

Tam boy süreklilik deneyleri sonuçlarına dikkat edilirse karot numunesi alınan bazı derinliklerde zeminin yapısı killi silt özelliğinde olmasına rağmen, yapılan kolon imalatlarından alınan karotlardaki basınç değerleri siltli ve kumlu zemin içinde teşkil edilen kolon taşıma kapasitesini sağlamaktadır. Bu da zemin şartlarına göre uygun basınç değerlerini sağlayan jet grouting kolon imalatı yapıldığını göstermektedir.

İşlem sırasında yapılan testler doğrultusunda jet grouting kolon imalatı yapılmış ve sonrasında yapılan deneyler göstermiştir ki yapılan imalatlar projede olması gereken kalite ve özelliktedirler.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Aydın Merkez Işıklı Köyü 1000 kişilik öğrenci yurdu inşaatı zemini için, mevcut zemin etüd verileri kullanılarak SPT-N değerlerine bağlı Seed ve Idriss (1971) tarafından hazırlanmış “basitleştirilmiş hesap yöntemi” ne göre sıvılaşma analizi yapılmıştır.

Sıvılaşma analizi, yapılan sondaj noktaları için yapılan bir analizdir ve her blok zemini için bu sondaj noktalarındaki sıvılaşma potansiyeli blok altında kalan zemin bölgesi için kabul edilmiştir. Sıvılaşma için zemin karakteristik özelliklerini daha iyi anlamak için yapılan daha fazla sondaj güvenli sonuçlar üzerinden projelendirme yapma açısından önemlidir.

Maksimum yer ivmesi bölgenin deprem geçmişi ve 2007 ABYYHY kapsamında öngörülen ana kaya ivmesi olan 0.4 g olarak kabul edilmiştir. Zeminin doğal birim hacim ağırlığı, sondaj kuyularından alınan numunelerinin doğal birim hacim deney sonuçlarının bir ortalaması olarak 1.88 t/m^3 olarak kabul edilmiştir.

CSR ve CRR değerlerinin farklı deprem büyüklükleri göz önüne alınarak yapılan kıyaslamalar sonucunda SK-1 için 15 m'ye, SK-2 için 13.5 m'ye, SK-3 için 15 m'ye, SK-4 için 16.5 m'ye, SK-5 için 18m'ye, SK-6 için 15m'ye, SK-7 için 15m'ye, SK-8, SK-9, SK-10 için 19 m'ye kadar 6.5, 7.0, 7.5 büyüklüklerindeki depremler için sıvılaşma potansiyeli olduğu görülmüştür (Bkz. Tablo 4.4, Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12, Tablo 4.13). Dolayısıyla bu çalışmada belirlenen sıvılaşma potansiyeli derinliklerine kadar jet grouting kolonları imal edilmesi gerektiği hesaplanmıştır.

Proje firması tarafından jet grouting kolonları SK-9 ve SK-10 sondajlarının yapılmış olduğu sosyal tesis için -20 m derinliğe, diğer yurt blokları zeminleri için -14 m'ye kadar imal edilmiştir. Firmanın bu derinliklere karar vermesinde bazı derinliklerdeki kil tabakaları ve yüzdeleri veya likit limit, su muhtevası gibi verileri göz önüne almış olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca proje firmasının hangi deprem büyüklüğü için kolon projelendirmesi yaptığı bilinmemektedir.

Bu çalışmadaki jet grouting projelendirme detay ve hesapları Durgunoğlu ve Özsoy (2003) çalışmasındaki hesap algoritması kullanılarak yapılmıştır.

İyileştirme sonrası sıvılaşma riski kontrolü birim alan yer değiştirme yöntemi ile deprem dolayısıyla oluşacak kayma gerilmelerinin bir kısmının zemin bir kısmının jet grouting kolonları tarafından taşınması sebebiyle kolonlara gelecek kesme kuvvetinin kontrolüyle iyileştirme proje verileri (kolon çapı ve kolon aralığı) tahkik edilmiştir.

İyileştirmenin proje verilerine uygun olması ve gereken şartları sağlaması için uygulama öncesi ve esnasında gerekli kontroller ve denemeler yapılmış, uygulama bittiğinde imalat için proje verilerini karşılayıp karşılamadığı kontrol edilmiştir.

Buna göre ilk olarak Melegary (1997) çalışmasından faydalanarak jet grouting kolon basınç dayanımları (Bkz. Tablo 4.16) öngörülmüştür. İterasyona ilk olarak 2.5 m aralıklı ve 80 cm çaplı kolonlar ile başlanmıştır. Bu veriler ile SR azaltma katsayısı sıvılaşmaya en müsait en küçük güvenlik sayısına (F_s) sahip sondaj noktaları için 7.0 ve 7.5 büyüklüğündeki depremler için iyileştirmeden sonra sıvılaşmanın devam ettiği görülmüştür (Bkz. Tablo 4.17).

2.4 m aralıklı 80 cm çaplı kolon projesine göre sıvılaşma kontrolü tekrar yapıldığında sıvılaşma potansiyelinin iyileştirmeden sonra olmadığı görülmüştür (Bkz. Tablo 4).

Bu aşamadan sonra kolonların kesme kuvveti karşılama tahkiki yapılmıştır. 2.4 m aralıklı, 80 cm çaplı kolonlar için yapılan kesme kuvveti tahkikinde 5 no'lu sondaj için yani C blok için yapılacak olan bu kolonların kesme kuvvetini karşılayamadıkları görülmüştür (Bkz. Tablo 4.20). Proje firmasının uygulamış olduğu 2.4 m aralık ön görülen kolon basınç dayanımına göre uygun değildir. Fakat uygulama firmasının yerinde kolonlardan almış olduğu karotların basınç değerleri (Bkz. Tablo 4.20) kullanıldığında 2.4 m aralıklı ve 80 cm çapında yapılan kolonların kesme kuvvetini güvenle taşıdıkları ispatlanmıştır (Bkz. Tablo 4.24).

Dolayısıyla jet grouting projelendirmesinde uygulamadan önce yapılan test kolonlarından yerinde alınan karot basınç mukavemetleri sonuçlarıyla proje hazırlanması çok önemlidir. Öngörülen basınç mukavemetleri her zaman istenen değerde olmayabilir.

Bu çalışmada öngörülen ve mevcut jet grouting kolon basınç dayanımları arasındaki fark ile projenin riskli tarafta kalınabileceği gösterilmiştir.

Buna göre A blok için öngörülen basınç mukavemeti 3.92 MPa iken mevcut değer 3.69 MPa, B blok için öngörülen 3.92 MPa ve mevcut 3.88 MPa, C blok için öngörülen 2.94 MPa ve mevcut 3.91 MPa, D blok için öngörülen 3.43 MPa ve mevcut 5.1 MPa, sosyal tesis için öngörülen 2.94 MPa ve mevcut 4.80 MPa olmuştur. Mevcut tüm basınç dayanımları için kesme ve sıvılaşma tahkikine göre proje verileri güvenlidir.

Jet grouting iyileştirme projesi bu inşaat için taşıma gücü yetersizliğinden dolayı yapılmış olmasa da bu çalışmada iyileştirmeden sonraki taşıma gücü artışları hesaplanmıştır. Bunun için özel firma tarafından hazırlanmış zemin etüd raporundaki değerler (Bkz. Ek E1 ve Ek E2) arasında en zayıf olanları seçilerek ve Melegary (1997) çalışmasındaki öngörülen basınç mukavemetleri kullanılarak (Bkz. Tablo 3.4) sosyal tesis binası zemini için bina yükünden dolayı oluşacak 4.2 t/m^2 yükün iyileştirmeden sonra 79.21 t/m^2 ile rahatlıkla taşınabileceği ispat edilmiştir. A blok için bina yükünün oluşturacağı 9.8 t/m^2 gerilmeye karşılık iyileştirme sonrası zeminin emniyetli taşıma gücü 46.9 t/m^2 'dir. Bu değer B blok için 54.42 t/m^2 , C blok için 35.43 t/m^2 , D blok için 31.50 t/m^2 'dir. Dolayısıyla bu inşaatlar için iyileştirmeden sonra taşıma gücü yetersizliği yoktur.

Kolonların projelendirme safhası bu şekilde tamamlanmıştır. Burada en önemli kriter zemin özelliklerinin doğru tayini ve seçimidir. Laboratuar firmasının zemin etüd verileri ve jet grouting uygulama firmasından mevcut zeminlerdeki kolon verilerini kullanarak jet grouting projelendirmesi yapıldığı düşünülürse deneylerin standartlara uygun yapılması ve kontrolü çok önemlidir.

Tasarım yükü olan $Q_{all}= 30$ ton yükte 3.31 mm toplam oturma gözlenmiştir ve 10 mm 'den küçüktür. Azami yük olan $Q_{max}= 45$ ton'da 8.24 mm toplam oturma elde edilmiştir. Deney yükünün boşaltılması ile 4.09 mm kalıcı oturma gözlenmiştir. Toplam oturma değerinin %50 elastik oturma olarak geri dönmüş olup kalan kalıcı oturma miktarı 4.09 mm oluşmuştur. Bu durumda geri dönen elastik oturma miktarı $8.24 - 4.09 = 4.15 \text{ mm}$ 'dir.

Kolon toplam oturması 4.09 mm olduğu için bu değer kolon çalışma yükündeki oturma değeri 3.31 mm'nin 1.5 katı değeri olan 4.96 mm'den küçük olup güvenli taraftadır.

Kolonun toplam oturması 8.24 mm ve kalıcı oturma 4.09 mm iken toplam oturma miktarının yarısı olan 4.12 mm'den küçüktür ve güvenli taraftadır.

Deney yükünde ve azami yükte elde edilen değerler elastik oturmalar olup kolonda deney esnasında hiçbir olumsuzluk gözlenmemiştir. Toplam oturmanın çoğunluğu elastik oturma olup kalıcı oturma miktarı da 5.00 mm'nin altındadır.

A, b, c, d bloklarında jet grouting kolonun L = 12.40 m ve sosyal tesiste jet grouting kolonun L = 15.00 m boyunda yapıldığı ve ortalama % 75 gibi yeterli tam boy karot alındığı belirlenmiştir.

Yurt inşaatında yapılan p.i.t testleri ve sinyal eşleştirme analizi (çap tayin) analizinde proje kriterlerinin sağladığı tespit edilmiştir.

Jet grouting yöntemi ile iyileştirilen bu zemin için genel olarak yapılan imalatlar ve harcanan çimento miktarı Tablo 4.33'de özetlenmiştir.

Tablo 4.33: Toplam enjeksiyon boyları ve çimento miktarları (Anonim 2008^a).

BLOK ADI	Kolon Sayısı (Adet)	Metraj			Çimento	
		Toplam Boş Boy (m)	Toplam Enjeksiyon Boyu (m)	Toplam Jet grouting Boyu (m)	Şantiyeye Gelen (Kg)	Kullanılan (Kg)
A BLOK	363	798.9	4029	4827.9	870.300	868.000
B BLOK	363	798.9	4029	4827.9	915.750	913.950
C BLOK	363	796.2	4033.8	4830	913.600	924.000
D BLOK	363	798.9	4029	4827.9	914.100	910.500
SOSYAL TESİS	429	1888.8	6433.8	8322.6	1.534.395	1.518.800
TOPLAM	1881	5081.7	22554.6	27636.3	5148145	5135250

400 kg/m³ 'lük çimento dozajı ile yapılan uygulama için toplam 27636.3 m jet grouting işlemi yapılmış ve toplamda 5135250 kg çimento kullanılmıştır.

Jet grouting imalatı için Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyat listesinden 2014 yılı için yapılan incelemede “Her uzunluk ve açıda Ø80 cm jet grouting kolonu imalatı yapılması “ olarak tanımlanan 16.072/2 pozuna göre jet grouting işçiliği dahil imalatın metresi KDV dahil 68.4636 TL/m’dir. 04.010/1 pozu ile tanımlanan, enjeksiyon çimentosu olan TÇ 32.5 traslı çimentonun 2014 ton birim fiyatı KDV dahil 115.27 TL/ton’dur. Dolayısıyla $27636.3 \text{ m} \times 68.4636 \text{ TL/m} = 1892080 \text{ TL}$ jet grouting kolon imalatı bedeli ve $5135.25 \text{ ton} \times 115.27 = 591940 \text{ TL}$ çimento bedeli hesaplanmıştır.

Her bir blok için 363 kolonla ortalama her biri 1700 m^2 ’lik a, b, c, d blokları için toplam 6800 m^2 ’lik bir alanda ayrıca sosyal tesis için 429 kolonla ortalama 2135 m^2 ’lik bir alan dahil olmak üzere toplam 8935 m^2 ’lik alanın iyileştirme bedeli toplam 2484020 TL olmuştur.

Genel olarak sondaj loglarında görülen hakim birimlerin silt ve kum olması, yeraltı su seviyesinin -3.80 m derinlik gibi yüzeye oldukça yakın bir değerde olması, SPT-N sonuçlarına göre gevşek olarak nitelendirilebilecek suya doygun bir zemin için iyileştirmenin kaçınılmaz olduğu görülmüş ve jet grouting iyileştirmesi tüm alanın sıvılaşma potansiyelini ortadan kaldırmıştır.

Jet grouting yöntemi her ne kadar maliyetli bir iyileştirme yöntemi olarak görünse de statik projede yapıların istenen davranışı göstermesi bakımından zemin için öngörülen karakteristik için tam kontrol sağlamakta, iyileştirme öncesi, sırası ve sonrası için sürekli kontrol edildiği için çok güvenli bir method olmaktadır.

Diğer iyileştirme yöntemlerine nazaran gerek inşa metdou gerekse inşa sonrası deneyleri açısından sıvılaşma faktörüne mümkün olan maksimum seviyede güvenlik oluşturmaktadır. Ülkemizde jet grouting konusunda edinilen tecrübe sayesinde yine diğer methodlara göre hata payı imalat problemleri en düşük seviyededir. Maliyetinin hesaplanabilmesi öngörülebilmesi inşaat bitim süresinin de belirlenebilmesi açısından kamu ihalelerinde avantajlı konumda olmaktadır.

Bu çalışmada kamu kuruluşunda kontrollüğü yapılmış ve tamamlanmış olan bir iyileştirme metodunun mümkün olan en pratik ve güvenli çözüm yolları sunulmuştur. Dolayısıyla bu çalışmanın jet grouting projelendirme konusunda bazı konulara ışık tutması ve bundan sonra yapılacak olan uygulamalara hem tahkik etme hem de fikir vermesi amaçlanmıştır.

6. KAYNAKLAR

Aboshi, H., Mizuno, Y. ve Kuwabara, M., “Japonya'da kum sıkıştırma çalışmaları”, *ASTM STP*, 1089, 32-46, (1990).

Anonim, Aydın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Bayındırlık İl Müdürlüğü Proje Şubesi Arşivi, (2008^a).

Anonim, Juro Zemin Test Sondaj Madencilik İnşaat Tarım Gıda İthalat ve ihracat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi, Aydın Işıklı Köyü Kredi Yurtlar Kurumu 4 adet Yurt Binası ve Sosyal Tesis İnşaatı Zemin Etüd İşlemleri İşi için Üstlenici Firma, Zemin Etüd Raporu, Aydın, (2008^b).

Anonim, DLH Genel Müdürlüğü, Geoteknik Tasarım Esasları, T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryolları, Limanlar, Hava meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Yüksel Proje, Ankara, (2007^a).

Anonim, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (2007^b).

Anonim, Ege Zemin İnşaat ve Mühendislik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Aydın, Merkez, Işıklı Köyü, Kredi Yurtlar Kurumu Öğrenci Yurdu'na ait deney raporu, (2008^c).

Anonim, Geogrup Mühendislik Sanayi ve Ticaret A. Ş., Aydın, Merkez, Işıklı Köyü, Kredi Yurtlar Kurumu Öğrenci Yurdu'na ait deney raporu, (2010).

Anonim, Limtaş İnşaat Mühendislik Müşavirlik Hiz. San. ve Tic. Ltd. Şti., Aydın, Merkez, Işıklı Köyü, Kredi Yurtlar Kurumu Öğrenci Yurdu'na ait M19-B4 pafta, 1549 parsel'in jet grouting zemin iyileştirme projesi, (2008^d).

Anonim, International Navigation Association, Seismic Guidelines for Port Structures, Working Group No.34 of the Maritime Navigation Commission, A.A. Balkema Publishers, Netherlands, (2001).

Anonim, TS EN 12716, Özel jeoteknik uygulamalar-jet enjeksiyon, TSE, Ankara, (2002).

Anonim, Keller Group, Soilcrete – Jet Grouting, Technical Data Sheet, Keller Grundbau GmbH. Kaiserleistrasse 44, D-6050, Offenbach 12, Germany, (1992).

Anonim, Taylor and Francis Group, Handbook on Liquefaction Remediation of Reclaimed Land, Port and Harbour Institute, Ministry of Transport, Japan, (1997).

Anonim, USACE (U. S. Army Corps of Engineers), (1999).

Askay, A., “Jet grouting kullanılarak yapılar zemin iyileştirme çalışmaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2002).

Bell, F.G., “Engineering Treatment of Soils”, *E&FN SPON*, London, (1993).

Byle, M. J. and Borden, R. H., “Verification of geotechnical grouting”, New York, *Geotechnical special publication*, 57, (1995).

Court, W. A. and Mitchell, J. K., “Soil improvement by blasting : part II”, *Journal of Explosive Engineering*, 12, 34-41, (1994).

Croce, P. and Flora, A., “Analysis of single-fluid jet grouting”, *Geotechnique*, 50, 739-748, (2000).

Durgunoğlu, H.T. ve Özsoy B., “Sıvılaştırma etkilerinin yüksek kayma modüllü zemin-çimento karışımı kolonlarla azaltılması”, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, (2003).

Durgunoğlu, H.T., “Yüksek modüllü kolonların temel mühendisliğinde kullanımı”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, (2004).

Düzceer R., “Sakhalin Doğalgaz ve Petrol İşleme Tesisi Kazık İşleri”, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2004).

Ercan, A., “Deprem Yapıyı Nasıl Yıkar? Yer Araştırmalarında Zemin Emniyet Gerilmesi ve Yer İvmesinin Önemi Nedir?”, *Kuzeybatı Anadolu Karesi Bölgesi Jeofizik Toplantısı*, Balıkesir , TMMOB Jeofizik Müh. Odası, 32-35, (2001).

Erken, A., Alhas, E. ve Ansal, A.M., “Suya doygun siltli kumların depremler sırasındaki davranışı, zemin mekaniği ve temel mühendisliği”, 5. *Ulusal Kongresi*, Ankara, ODTÜ, 184-193, (1994).

Essler, R. and Yoshida, H., *Jet grouting in ground improvement*, (eds: M.P. Moseley and K. Kirsch), Jet grouting, New York: Spon Press, (2004).

Gallevesi, F., “Grouting improvement of foundation soils”, *Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics*, New York, 4-39, (1992).

Graf, R. and Case R., “Abundance and distribution of moose in the North Slave River Lowlands”, *NWT November 1987 and 1988*, 17, (1992).

Hayden, R. and Baez, J., “State of Practice for Liquefaction Mitigation in North America”, *International Workshop on Remedial Treatment of Liquefiable Soils*, Tsukuba City of Japan, (1994).

Ishihara, K., “*Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*”, 46, Oxford: Oxford University Press, (1996).

Ishihara, K. and Takatsu, H., “Effects of overconsolidation and Ko conditions on the liquefaction characteristic of sands”, *Soils Found*, 19, 4, 59-68, (1979).

Kırçıl, M.S. ve Hancıoğlu, B., *Depreme dayanıklı yapı tasarımında genel ilkeler ders notları*, İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi, (2005).

Lukas, R.G., “Dynamic compaction”, *Geotechnical Engineering*, 1, FHWA SA-95-037, 5-97, (1995).

Melegary C. and Garassino A.L., *Seminar on jet grouting*, Singapore: CI-Premier Pte. Ltd., (1997).

Mollamahmudoğlu M. ve Babuğu F., *Zeminlerde sıvılaşma analiz ve iyileştirme yöntemleri*, Ankara: Gazi Kitapevi, (2006).

Ohta, Y. and Goto, N., *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, New York: John Wiley & Sons Ltd, 167-187, (1978).

Özaydın K., “Zeminlerde sıvılaşma”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 231-255, (2007).

Özkan, H., *Enjeksiyon yöntemleri ve uygulamaları*, Ankara: DSİ Yayınları, (2006).

Raj, P. P., *Ground improvement techniques*, New Delhi : Laxmi Publications, (2005).

Rausche F., “Recent WEAP Developments”, *Proceedings of the Third International Seminar on the Application of Stress Wave Theory to Piles*, Ottawa, (1988).

Rittirong, A. and Shang, J., “Electro-osmotic stabilization, ground improvement case histories”, (eds: I. Buddhima and C. Jian), *Ground Improvement Case Stories*, 3, Oxford : Elsevier Ltd., 967-996, (2005).

Rowe, R. K., *Geotechnical and geoenvironmental engineering handbook*, Massachusetts: Kluwer Academic Publishers, (2001).

Sağlamer, A., *Zemin iyileştirme yöntemleri*, Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2006).

Seed, H. B., “Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division*, 105, 201-255, (1979).

Seed, H.B. and Idriss, I.M., “Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential”, *ASCE Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 1249-1273, (1971).

Seed, H. B and Idriss, I. M., “Ground motion and soil liquefaction during earthquakes”, *Earthquake Engineering Research Institute*, (1982).

Seed, R.B., Çetin, K.O. and Moss, R.E.S. “Recent advances in soil liquefaction engineering and seismic siteresponse evaluation”, *Seminar on Geotechnical Earthquake Engineering and Microzonation*, Istanbul, 23-24, (2001).

Sondermann, W. and Wehr, W., *Deep vibro techniques*, (eds: M.P. Moseley and K. Kirsch), Jet grouting, New York: Spon Press, 57-92, (2004).

Süt, İ., “Kohezyonlu zeminlerin kireçle iyileştirilmesinin cbr değeri üzerindeki etkisinin irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).

Terashi, M. and Juran, I., “Ground improvement-state of the art”, *International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*, Melbourne, 461-519, (2000).

Terzaghi, K., *Theoretical soil mechanics*, New York: John Wiley & Sons, Ltd. (1943).

Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y. “Empirical correlation of soil liquefaction based on spt-n value and fine content, soil and foundations”, *JSMFE*, 23, 4, 56-74, (1983).

Ulusay, R., Gökçeoglu, C., Sönmez, H. ve Tuncay. E. “Jeoteknik etütler için veri toplama ve degerlendirme teknikleri ek notlar”, *Jeoteknik Etütler İçin Veri Toplama Ve Degerlendirme Teknikleri*, Ankara, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Vakfı, (2001).

Url-1 < <http://www.emabrt.hu> >, alındığı tarih 15.04.2013.

Url-2 < <http://www.groundbau-hilti-jehle.com> >, alındığı tarih 10.04.2013.

Url-3 < <http://www.teknofor.com> >, alındığı tarih 20.04.2013.

Url-4 < <http://www.p3planningengineer.com> >, alındığı tarih 10.04.2013.

Url-5 < <http://www.rebar.ecn.purdue.edu> >, alındığı tarih 11.04.2013.

Url-6 < <http://www.azrm.net> >, alındığı tarih 11.04.2013.

Url-7 < <http://www.haywardbaker.com> >, alındığı tarih 11.04.2013.

Url-8 < <http://www.asconroads.com> >, alındığı tarih 11.04.2013.

Url-9 < <http://www.jet-grouting.com> >, alındığı tarih 11.04.2013.

Url-10 < <http://www.deprem.gov.tr> >, alındığı tarih 11.04.2013.

Url-11 < <http://www.koeri.boun.edu.tr> >, alındığı tarih 11.04.2013.

Uyanık, O., “Sıvılaşır ya da sıvılaşmaz zeminlerin yinelemeli gerilme oranına bir seçenek”, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8, 2, 79-91, (2006).

Vazquez, E., “Fly ash in soil stabilization”, (ed: K. Wesche), *Fly Ash in Concrete - Properties and Performance*, London: E & FN Spon, 174-176, (1991).

Venkatramaiah, C., *Geotechnical engineering*, New Delhi: New Age International, (2006).

Wang, J.G.Z.Q. and Law, K.T., *Siting in earthquake zones*, Rotterdam: A. A. Balkema Publishers, (1994).

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

Yılmaz, H. R. ve Eskişar, T. *Zemin iyileştirme yöntemleri ders notları*, İzmir: Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, (2000).

Youd, T.L., Idriss, I.M., Andrus, R.D., Arango, I., Castro, G., Christian, J.T., Dobry, R., Finn, W.D.L., Harder, L.F.Jr, Hynes, M.E., Ishihara, K., Koester, J.P., Liao, S.S.C., Marcuson, W.F.III., Martin, G.R., Mitchell, J.K., Moriwaki, Y., Power, M.S., Robertson, P.K., Seed, R.B. and Stokoe, K.H.II., “Summary report, proceedings of the nceerworkshop on evaluation of liquefaction resistance of soils”, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, 127, 81-83, (1997).

Youd, T.L. and Gilstrap S.D., “Liquefaction and deformation silty and fine-grained soils”, (ed: P. Seco e Pinto), Proc. of 2nd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, 3, Lisbon, A. A. Balkema, 1013-1020, (1999).

7. EKLER

EK A.1 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..																			
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU																			
PROJE ADI				KREDİ YÜRTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ:				04.07.2008							
KUYU NO:				SK-1				BİTİŞ TARİHİ				04.07.2008							
K.YERİ:				IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN				MAKİNA TİPİ				SULU-ROTARY							
KONUMU								SONDÖR											
DERİNLİĞİ:				15.00				MÜHENDİS				TOLGA ARPAĞAN							
KOTU:								LOGU HAZIRLAYAN				TOLGA ARPAĞAN							
KOORDİNATI:		X	4189307639		Y	570587006													
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFIK	ZEMİN SINIFI	KAYA ÖZELLİKLERİ				BASINÇLI SU DEN.				PERM. DEN.	SÜTUN KESİT	TANIMLAMA	
		15 cm. İpim.darbe	30 cm. İpim.darbe	45 cm. İpim.darbe	N90 PENET.DİR.			KAROT YÜZDESİ	(RQD%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAKSIKLIĞI	BASINÇI(bar)	5 DK.SU KAV.(l)	10 DK.SU KAV.(l)				TOEKAYIP(l)
0,00							CL												
1,00	SPT	6	6	6	12		ML											KİLLİ SİLT,KİREMİT RENKLI,İNCE TANELİ YUMUŞAK	
2,00																			
3,00	SPT	4	5	6	11														
4,00																			
5,00	UD	1	1	1	2		CL											SİLT-KİLLİ SİLT,KİREMİT RENKLI,İNCE TANELİ YUMUŞAK	
6,00	SPT	4	4	4	8														
7,00	SPT	4	3	4	7														
8,00																			
9,00	SPT	4	5	4	9														
10,00	SPT	3	4	5	9		SC											SİLT-KİLLİ SİLT,KİREMİT RENKLI,İNCE TANELİ YUMUŞAK	
11,00							SM												
12,00	SPT	3	4	5	9														
13,00																			
14,00	SPT	3	3	4	7														
15,00	SPT	5	6	7	13														
16,00																			
17,00	SPT																		
18,00	SPT																		
19,00																			
20,00	SPT																		
GEÇİRİMLİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)				AYRIŞMA DERGESİ				DAYANIM DERGESİ				ZEMİN CİNSLERİ					
<1	Geçirimsiz	0-25 ÇOK ZAYIF				W1	TAZE				R1	ÇOK ZAYIF				CL	SM		
1-5	As Geçirimsiz	25-50 ZAYIF				W2	AZ AYRIŞMIŞ				R2	ZAYIF				CH	SC		
5-25	Geçirimsiz	50-75 ORTA				W3	ORTA AYRIŞMIŞ				R3	AZ DAYANIMLI				OH	SP		
>25	Çok geçirimsiz	75-90 İYİ				W4	ÇOK AYRIŞMIŞ				R4	DAYANIMLI				ML	GM		
		90-100 ÇOK İYİ				W5	TAMAMI AYR.				R5	ÇOK DAYANIMLI				MH	KİL SİLT GC/GP ÇAKIL		

Şekil A.1: SK-1 Sondaj Logu.

EK A.2 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..																
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU																
PROJE ADI		KREDİ YURTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ		04.07.2008		YERALTISUYU DURUMU						
KUYU NO:		SK-2				BİTİŞ TARİHİ		04.07.2008		ÖLÇÜM TARİHİ	DERİNLİK					
K.YERİ:		İŞİKLİ KÖYÜ/AYDIN				MARİHA TİPİ		SULU-ROTARY		14.04.2008	3,90					
KONUMU						SONDÖR		MUHAMMET KELEK								
DERİNLİĞİ:		15.00				MÜHENDİS		TOLGA ARPAĞAN								
KOTU:						LOGU HAZIRLAYAN		TOLGA ARPAĞAN								
KOORDİNAT:		X		4189307639		Y		570587006								
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFİK	KAYA ÖZELLİKLERİ				BASINÇLI SU DEN.		PERM. DEN.	SÜTUN KESİTİ	TANIMLAMA	
		15 cm.İfın.darbe	30 cm.İfın.darbe	45 cm.İfın.darbe	N90 PENEL.DİR.		ZEMİN SINIFI	KAROT YÜZDESİ	(RQD%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAKSIZLIK				BASINÇ(bar)
0,00																
1,00																
2,00	SPT	7	8	5	13											
3,00	SPT	3	2	2	4											
4,00	SPT	3	3	3	6											
5,00																
6,00	SPT															
7,00																
8,00	SPT	5	8	11	19											
9,00	SPT	6	5	7	12											
10,00																
11,00	SPT	3	4	4	8											
12,00	SPT	4	5	4	9											
13,00																
14,00	SPT	5	3	6	9											
15,00	SPT															
16,00	SPT															
17,00																
18,00	SPT															
19,00																
20,00	SPT															
KUYU TABANI:20.00 m.																
GEÇİRMİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)			AYRIŞMA DERCESİ			DAYANIM DERECESİ			ZEMİN CİNSLERİ					
<1	Geçirimsiz	0-25	ÇOK ZAYIF		W1	TAZE		R1	ÇOK ZAYIF		CL	SM				
1-5	Az Geçirimli	25-50	ZAYIF		W2	AZ AYRIŞMIŞ		R2	ZAYIF		CH	kİL	SC			
5-25	Geçirimli	50-75	ORTA		W3	ORTA AYRIŞMIŞ		R3	AZ DAYANIMLI		OH	SP				
>25	Çok geçirimli	75-90	İYİ		W4	ÇOK AYRIŞMIŞ		R4	DAYANIMLI		ML	GM				
		90-100	ÇOK İYİ		W5	TAMAMI AYR.		R5	ÇOK DAYANIMLI		MH	sİLT	GC/GP			
														KUM	ÇAKIL	

Şekil A.2: SK-2 Sondaj Logu.

EK A.3 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..																
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU																
PROJE ADI				KREDİ YURTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ:		05.07.2008		YERALTISUYU DURUMU				
KUYU NO:				SK-3				BİTİŞ TARİHİ:		05.07.2008		ÖLÇÜM TARİHİ				
K-YERİ:				IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN				MAKİNA TİPİ:		SULU-ROTARY		DERİNLİK				
KONUMU:								SONDÜR:		14.04.2008		3,58				
DERİNLİĞİ:				15.00				MÜHENDİS:		TOLGA ARPAGAN						
KOTU:								LOGU HAZIRLAYAN:		TOLGA ARPAGAN						
KOORDİNAT:		X		Y												
DERİNLİK	DÖNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFİK	KAYA ÖZELLİKLERİ		BASINÇLI SU DEN.				PERM. DEN.	SÜTÜN KESİTİ	TANIMLAMA	
		15 cm.çift.darbe	30 cm.çift.darbe	45 cm.çift.darbe	N90 PERNETLİDİR.		ZEMİN SINIFI	KAROT YÜZDESİ	(ROD%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATIĞLIKLIĞI				BASINÇ (bar)
0,00																
1,00	SPT	3	3	4	7											
2,00																
3,00	SPT	4	5	6	11											
4,00																
5,00	UD															
6,00	SPT	2	3	4	7											
7,00																
8,00	SPT	2	3	3	6											
9,00	SPT	3	4	4	8											
10,00																
11,00	SPT	3	3	4	7											
12,00	SPT	3	2	3	5											
13,00																
14,00	SPT	4	3	5	8											
15,00	SPT	4	5	4	9											
16,00																
17,00	SPT															
18,00	SPT															
19,00																
20,00	SPT															
YASS:3,58 M.																
SM																
SİLTİLİ KUM;KİREMIT RENKLİ İNCE TANELİ GEVŞEK SUYA DOYGUN																
KUYU TABANI:15.00 M.																
GEÇİRİMLİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)		AYRIŞMA DERCESİ		DAYANIM DERCESİ		ZEMİN CİNSLERİ								
<1	Geçirimsiz	0-25	ÇOK ZAYIF	W1	TAZE	R1	ÇOK ZAYIF	CL		SM						
1-5	Az Geçirimli	25-50	ZAYIF	W2	AZ AYRIŞMIŞ	R2	ZAYIF	CH	KİL	SC	KUM					
5-25	Geçirimli	50-75	ORTA	W3	ORTA AYRIŞMIŞ	R3	AZ DAYANIMLI	OH		SP						
>25	Çok geçirimli	75-90	İYİ	W4	ÇOK AYRIŞMIŞ	R4	DAYANIMLI	ML		GM						
		90-100	ÇOK İYİ	W5	TAMAMI AYR.	R5	ÇOK DAYANIMLI	MH	SİLT	GC/GP	ÇAKIL					

Şekil A.3: SK-3 Sondaj Logu.

EK A.4 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..															
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU															
PROJE ADI		KREDİ YURTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ		07.07.2008		YERALTISUYU DURUMU					
KUYU NO:		SK-4				BİTİŞ TARİHİ		07.07.2008		ÖLÇÜM TARİHİ		DERİNLİK			
K.YERİ:		IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN				MAKİNA TİPİ		SULU-ROTARY		14.04.2008		4,50			
KONUMU						SONDÖR									
DERİNLİĞİ:		20,00				MÜHENDİS		TOLGA ARPAĞAN							
KOTU:						LOGU HAZIRLAYAN		TOLGA ARPAĞAN							
KOORDİNAT:		X Y													
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				ZEMİN SINIFI	KAYA ÖZELLİKLERİ			BASINÇLI SU DEN.			SÜTÜN KESİTİ	TANIMLAMA	
		15 cm.kiçn.darbe	30 cm.kiçn.darbe	45 cm.kiçn.darbe	N30 PENET.DİR.		KAROT YÜZDESİ	AYRIŞMA DER. (RQD%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAK SIKLIĞI	BASINÇ (bar)			5 DK.SU KAY.(l)
0,00															
1,00	SPT	3	3	4	7	SC									KİLLİ SİLT SİLT;KİREMİT RENKLİ,İNCE TANELİ YUMUŞAK
2,00						SM									
3,00	SPT	3	4	5	9										
4,00	UD														
5,00															
6,00	SPT	3	4	5	9										
7,00															
8,00	SPT	3	4	4	8										
9,00						SM									
10,00	SPT	3	4	3	7										
11,00															
12,00	SPT	4	4	4	8										
13,00															
14,00	SPT	4	5	4	9										
15,00															
16,00	SPT	3	4	4	8										
17,00															
18,00	SPT	3	4	5	9										
19,00															
20,00	SPT														
KUYU TABANI:20.00 M.DİR.															
GEÇİRİMLİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)			AYRIŞMA DERESESİ			DAYANIM DERESESİ			ZEMİN CİNSLERİ				
<1	Geçirimsiz	0-25	ÇOK ZAYIF			W1	TAZE		R1	ÇOK ZAYIF		CL			
1-8	Az Geçirimsiz	25-50	ZAYIF			W2	AZ AYRIŞMIŞ		R2	ZAYIF		CH	KİL	SM	
8-25	Geçirimsiz	50-75	ORTA			W3	ORTA AYRIŞMIŞ		R3	AZ DAYANIMLI		OH		SC	
>25	Çok geçirimsiz	75-90	İYİ			W4	ÇOK AYRIŞMIŞ		R4	DAYANIMLI		ML		SP	
		90-100	ÇOK İYİ			W5	TAMAMI AYR.		R5	ÇOK DAYANIMLI		MH	SİLT	GM	
														GC/GP	
														ÇAKIL	

Şekil A.4: SK-4 Sondaj Logu.

EK A.5 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..																		
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU																		
ROJE ADI		KREDİ YURTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ:		08.07.2008		YERALTISUYU DURUMU								
KUYU NO:		SK-5				BİTİŞ TARİHİ		08.07.2008		ÖLÇÜM TARİHİ	DERİNLİK							
LYERİ:		IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN				MAKİNA TİPİ		SULU-ROTARY		14.04.2008	4,65							
SONUMU						SONDÖR												
DERİNLİĞİ:		20,00				MÜHENDİS		TOLGA ARPAGAN										
KOTU:						LOGU HAZIRLAYAN		TOLGA ARPAGAN										
KOORDİNAT:		X Y																
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFİK	ZEMİN SINIFI	KAYA ÖZELLİKLERİ				BASINÇLI SU DEN.				PERM. DEN.	SÜTÜN KESİTİ	TANIMLAMA
		15 cm.çfm.darbe	30 cm.çfm.darbe	45 cm.çfm.darbe	N30 PENEL.DİR.			KAROT YÜZDESİ	(RQD%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAK SIKLIĞI	BASINÇ(bar)	5 DK.SU KAY.(l)	5 DK.SU KAY.(l)			
0,00																		
1,00																		
2,00	SPT	5	4	4	8		SM											
3,00	SPT	4	3	2	5													SİLTİ KUM ;KİREMİT RENKLİ,İNCE TANELİ YUMUŞAK
4,00	UD	4	3	3	6													
5,00																		
6,00	SPT	3	3	3	6													
7,00																		
8,00	SPT	3	4	4	8		ML											
9,00	SPT	4	3	3	6		CL											
10,00																		
11,00	SPT	4	5	4	9													
12,00	SPT	3	4	3	7													
13,00																		
14,00	SPT	4	3	3	6													
15,00																		
16,00	SPT	3	4	4	8													
17,00																		
18,00	SPT	3	4	3	7													
19,00																		
20,00	SPT						SC											
KUYU TABANI:20.00 M.DİR.																		
GEÇİRİMLİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)				AYRIŞMA DERCESİ				DAYANIM DERCESİ				ZEMİN CİNSLERİ				
<1	Geçirimsiz	0-25 ÇOK ZAYIF				W1	TAZE				R1	ÇOK ZAYIF		CL				
1-5	Az Geçirimsiz	25-50 ZAYIF				W2	AZ AYRIŞMIŞ				R2	ZAYIF		CH	KİL			
5-25	Geçirimsiz	50-75 ORTA				W3	ORTA AYRIŞMIŞ				R3	AZ DAYANIMLI		OH				
>25	Çok geçirimsiz	75-90 İYİ				W4	ÇOK AYRIŞMIŞ				R4	DAYANIMLI		ML				
		90-100 ÇOK İYİ				W5	TAMAMI AYR.				R5	ÇOK DAYANIMLI		MH	SİLT			

Şekil A.5: SK-5 Sondaj Logu.

EK A.6 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..																
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU																
PROJE ADI		KREDİ YURTULAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ:		08.07.2008		YERALTISUYU DURUMU						
KUYU NO:		SK-6				BİTİŞ TARİHİ		08.07.2008		ÖLÇÜM TARİHİ	DERİNLİK					
K.YERİ:		IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN				MAKİNA TİPİ		SULU-ROTARY		14.04.2008	3,80					
KONUMU						SONDÖR		MUHAMMET KELEK								
DERİNLİĞİ:		15.00				MÜHENDİS		TOLGA ARPAGAN								
KOTU:						LOGU HAZIRLAYAN		TOLGA ARPAGAN								
KOORDİNATE		X	Y													
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFİK	KAYA ÖZELLİKLERİ				BASINÇLI SU DEN.			PERM. DEN.	SÜTUN KESİT	TANIMLAMA
		15 cm.için.darbe	30 cm.için.darbe	45 cm.için.darbe	N90 PENET.DİR.		KAROT YÜZDESİ (RQD%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAK SIKLIĞI	BASINÇ (bar)	5 DK.SU KAY.(l)	5 DK.SU KAY.(l)			
0,00																
1,00																
2,00	SPT	7	5	6	11											
3,00	SPT	6	5	4	9											
4,00	UD															
5,00																
6,00	SPT	4	4	6	10											
7,00																
8,00	SPT	7	6	9	15											
9,00	SPT	5	7	8	15											
10,00																
11,00	SPT	8	9	11	20											
12,00	SPT	12	14	11	25											
13,00																
14,00	SPT	9	11	13	24											
15,00	SPT	13	16	11	27											
16,00																
17,00																
18,00	SPT															
19,00																
20,00	SPT															
KUYU TABANI:15.00 m.DİR.																
GEÇİRİMLİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)		AYRIŞMA DERGESİ		DAYANIM DERGESİ		ZEMİN CİNSLERİ								
<1	Geçirimsiz	0-25	ÇOK ZAYIF	W1	TAZE	R1	ÇOK ZAYIF	CL	KİL	SM						
1-5	Az Geçirimli	25-50	ZAYIF	W2	AZ AYRIŞMIŞ	R2	ZAYIF	CH		SC						
5-25	Geçirimli	50-75	ORTA	W3	ORTA AYRIŞMIŞ	R3	AZ DAYANIMLI	OH		SP						
>25	Çok geçirimli	75-90	İYİ	W4	ÇOK AYRIŞMIŞ	R4	DAYANIMLI	ML		GM						
		90-100	ÇOK İYİ	W5	TAMAMI AYR.	R5	ÇOK DAYANIMLI	MH		SİLT	GC/GP					

Şekil A.6: SK-6 Sondaj Logu.

EK A.7 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..																		
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU																		
PROJE ADI				KREDİ YÜRTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ:				09.07.2008						
KUYU NO:				SK-7				BİTİŞ TARİHİ				09.07.2008						
İÇ YERİ:				IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN				MAKİNA TİPİ				SULU-ROTARY						
KONUMU								SONDÖR				14.04.2008						
DERİNLİĞİ:				15.00				MÜHENDİS				TOLGA ARPAGAN						
KOTU:								LOGU HAZIRLAYAN				TOLGA ARPAGAN						
KOORDİNATE:		X		Y														
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFİK	ZEMİN SINİFİ	KAYA ÖZELLİKLERİ				BASINÇLI SU DEN.				PERM. DEN.	SÜTÜN KESİTİ	TANIMLAMA
		15 cm.çin.darbe	30 cm.çin.darbe	45 cm.çin.darbe	N30 PENET.DİR.			KAROT YÜZDESİ	(RQD%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAK SIKLIĞI	BASINÇ(bar)	5 DK.SU KAY.(l)	5 DK.SU KAY.(l)			
0,00																		
1,00																		
2,00	SPT	6	8	8	16		ML											
3,00	SPT	6	5	7	12													
4,00	UD																	
5,00																		
6,00	SPT	6	8	9	17													
7,00	SPT	5	7	11	18													
8,00																		
9,00	SPT	4	6	7	13													
10,00	SPT	8	6	9	15		SM											
11,00																		
12,00	SPT	10	8	13	21													
13,00	SPT	12	10	14	24													
14,00																		
15,00	SPT	13	16	11	27													
16,00	SPT																	
17,00																		
18,00	SPT																	
19,00	SPT																	
20,00																		
KUYU TABANI:15.00 m.DİR.																		
GEÇİRİMLİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)			AYRIŞMA DERGESİ			DAYANIM DERECESİ			ZEMİN CİNSLERİ							
<1	Geçirimsiz	0-25	ÇOK ZAYIF		W1	TAZE		R1	ÇOK ZAYIF		CL							
1-5	Az Geçirimsiz	25-50	ZAYIF		W2	AZ AYRIŞMIŞ		R2	ZAYIF		CH	KİL	SM	KUM				
5-25	Geçirimsiz	50-75	ORTA		W3	ORTA AYRIŞMIŞ		R3	AZ DAYANIMLI		OH		SC					
>25	Çok geçirimsiz	75-90	İYİ		W4	ÇOK AYRIŞMIŞ		R4	DAYANIMLI		ML		SP					
		90-100	ÇOK İYİ		W5	TAMAMI AYR.		R5	ÇOK DAYANIMLI		MH	SILT	GM	ÇAKIL				
													GC/GP					

Şekil A.7: SK-7 Sondaj Logu.

EK A.8 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..																
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU																
PROJE ADI		KREDİ YÜRTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU				BAŞLANGIÇ TARİHİ		07.07.2008		YERALTISUYU DURUMU						
KUYU NO:		SK-8				BİTİŞ TARİHİ		07.07.2008		ÖLÇÜM TARİHİ	DERİNLİK					
K.YERİ:		IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN				MAKİNA TİPİ		SULU-ROTARY		14.04.2008	4,40					
KONUMU						SONDÖR										
DERİNLİĞİ:		20.00				MÜHENDİS		TOLGA ARFAGAN								
KOTU:						LOGU HAZIRLAYAN		TOLGA ARFAGAN								
KOORDİNATI:		X	Y													
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFİK	KAYA ÖZELLİKLERİ				BASINÇLI SU DEN.		PERM. DEN.	SÜTÜN KESİT	TANIMLAMA	
		15 cm.İÇİN DARBE	30 cm.İÇİN DARBE	45 cm.İÇİN DARBE	N90 PENET.DİR.		ZEMİN SINIFI	KAROT YÜZDESİ	(KQP%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAK SIKLIĞI	BASINÇ (bar)			5 DK.SU KAY.(l)
0,00																
1,00																
2,00																
3,00	SPT	3	3	4	7											
4,00																
5,00	UD	5	9	10	19											
6,00	SPT	4	6	8	14											
7,00																
8,00	SPT	3	5	6	11											
9,00	SPT															
10,00																
11,00																
12,00	SPT	6	4	8	12											
13,00																
14,00	SPT	7	6	9	15											
15,00	SPT	5	7	4	11											
16,00																
17,00																
18,00	SPT	11	14	12	26											
19,00																
20,00	SPT	10	13	14	27											
YASS:4.40 M.																
SİLT-KİLLİ SİLT;KİREMİT RENKLİ İNCE TANELİ YUMUŞAK																
SİLT-KİLLİ SİLT;KİREMİT RENKLİ İNCE TANELİ YUMUŞAK																
SİLT-KİLLİ SİLT;KİREMİT RENKLİ İNCE TANELİ YUMUŞAK																
KUYU TABANI:20.00 M.																

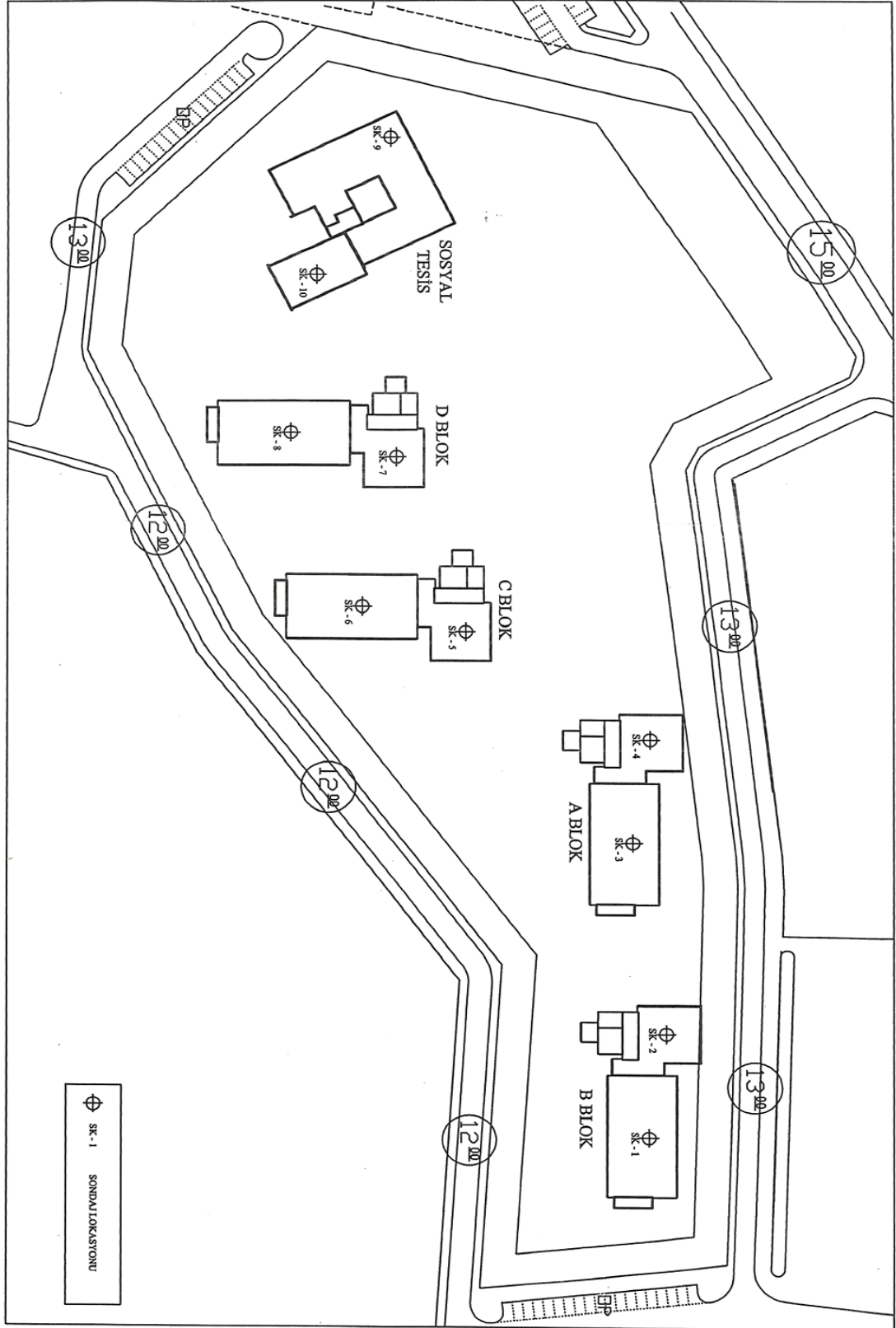
Şekil A.8: SK-8 Sondaj Logu.

EK A.9 Sondaj Logları

JURO ZEMİN TEST LTD.ŞTİ..															
TEMEL SONDAJ KUYU LOGU															
PROJE ADI		KREDİ YURTLAR KURUMU ÖĞRENCİ YURDU			BAŞLANGIÇ TARİHİ		04.07.2008			YERALTISUYU DURUMU					
KUYU NO:		SK-9			BİTİŞ TARİHİ		04.07.2008			ÖLÇÜM TARİHİ					
K.YERİ:		IŞIKLI KÖYÜ/AYDIN			MAKİNA TİPİ		SULU-ROTARY			DERİNLİK					
KONUMU					SONDÖR		MUHAMMET KELEK			14.04.2008					
DERİNLİĞİ:		20.00			MÜHENDİS		TOLOA ARPAGAN			4.35					
KOTU:					LOGU HAZIRLAYAN		TOLOA ARPAGAN								
KOORDİNAT:		X			Y										
DERİNLİK	ÖRNEK/TEST TİPİ	SPT TESTİ				GRAFİK	ZEMİN SINIFI	KAYA ÖZELLİKLERİ		BASINÇLI SU DEN.			PERM. DEN.	SÜTÜN KESİTİ	TANIMLAMA
		15 cm.çin.darbe	30 cm.çin.darbe	45 cm.çin.darbe	N60 PENEL.DİR.			KAROT YÜZDESİ	(RQP%)	AYRIŞMA DER.	DAYANIM DER.	ÇATLAK-SIKLIĞI			
0,00															
1,00															
2,00	SPT	4	4	6	10										
3,00	SPT	3	5	6	11										
4,00	UD														
5,00															
6,00	SPT	6	8	5	13										
7,00															
8,00	SPT	6	4	6	10										
9,00	SPT	4	4	6	10										
10,00															
11,00	SPT	11	9	8	17										
12,00	SPT	6	12	11	23										
13,00															
14,00	SPT	8	10	7	17										
15,00	SPT	13	16	18	34										
16,00															
17,00	SPT	14	11	17	28										
18,00	SPT	12	16	14	30										
19,00															
20,00	SPT	11	9	13	22										
KUYU TABANI:20.00 M.															
GEÇİRLİLİK		KAYA KALİTESİ(RQD)			AYRIŞMA DERGESİ		DAYANIM DERGESİ			ZEMİN CİNSLERİ					
<1	Geçirimsiz	0-25 ÇOK ZAYIF			W1	TAZE	R1	ÇOK ZAYIF			CL	KİL	SM	KUM	
1-5	Az Geçirimli	25-50 ZAYIF			W2	AZ AYRIŞMIŞ	R2	ZAYIF			CH		SC		
5-25	Geçirimli	50-75 ORTA			W3	ORTA AYRIŞMIŞ	R3	AZ DAYANIMLI			OH	SP			
>25	Çok geçirimli	75-90 İYİ			W4	ÇOK AYRIŞMIŞ	R4	DAYANIMLI			ML	GM	ÇAKIL		
		90-100 ÇOK İYİ			W5	TAMAMI AYR.	R5	ÇOK DAYANIMLI			MH	GC/GP			

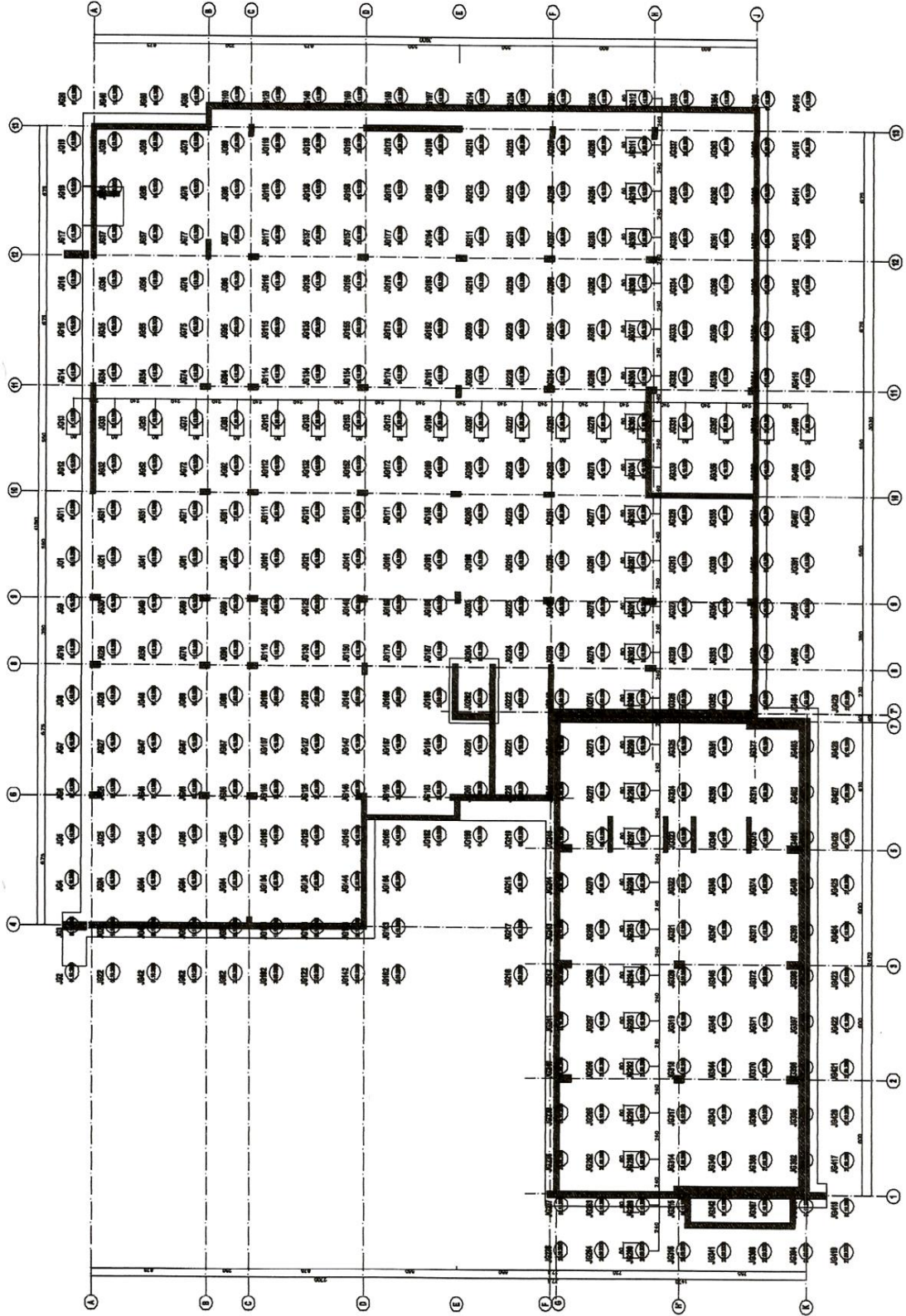
Şekil A.9: SK-9 Sondaj Logu.

EK B Sondaj Lokasyonları



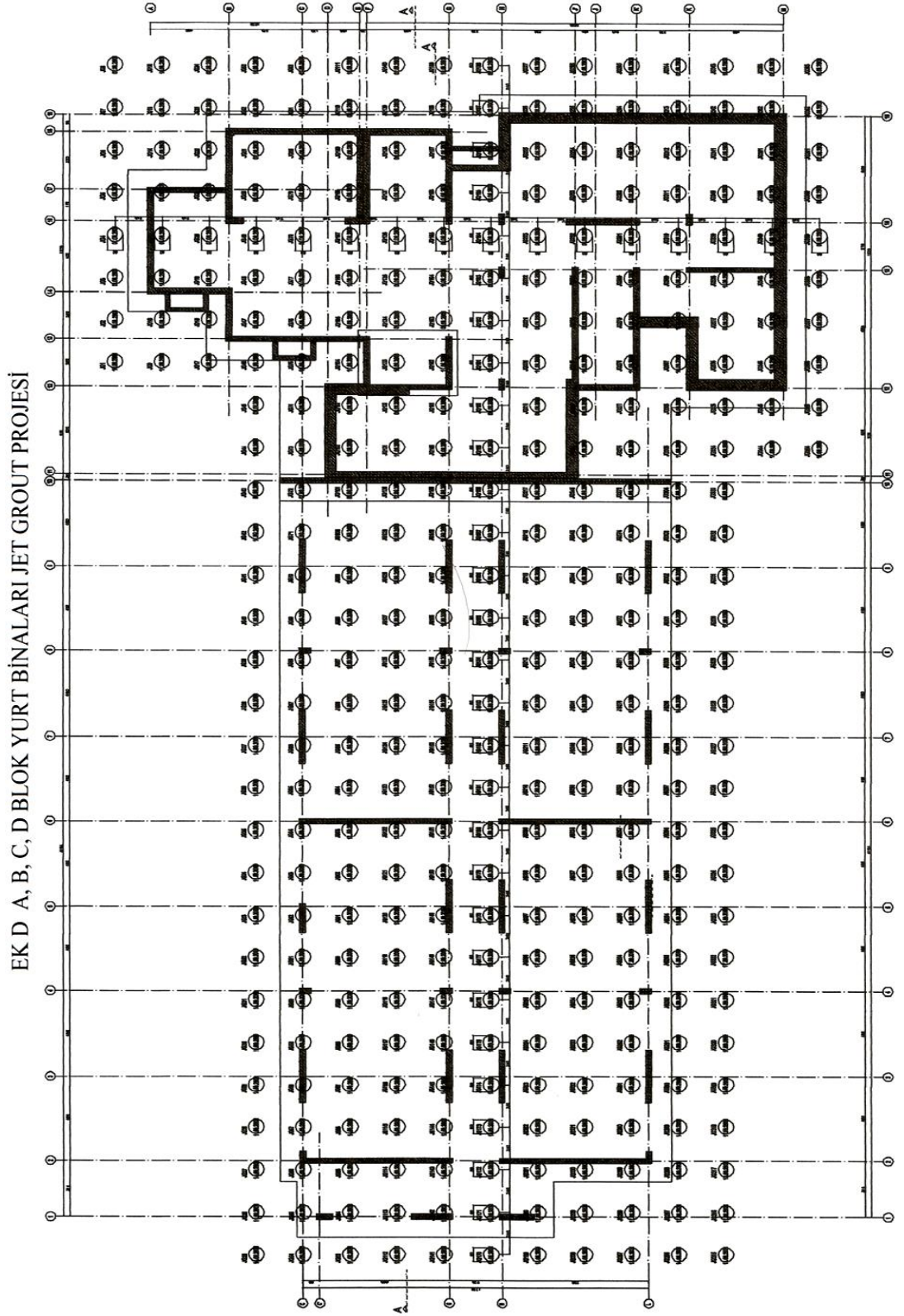
Şekil B: A-B-C-D Blok ve Sosyal Tesis Binası için sondaj yapılan yerler.

EK C.1 Jet grouting Projesi



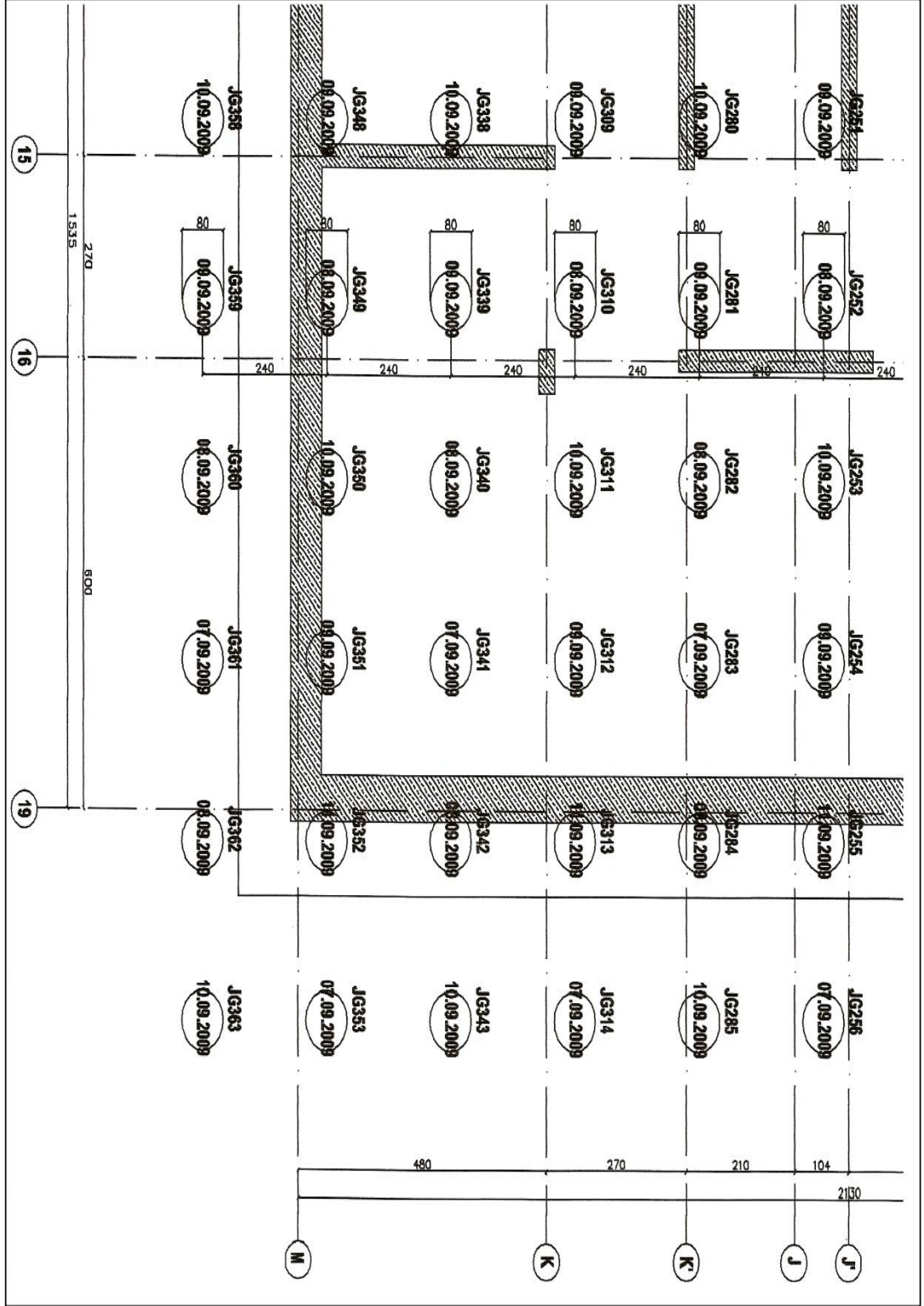
Şekil C.1: Sosyal Tesis Binası jet grouting projesi.

EK C.2 Jet grouting Projesi



Şekil C.2: A-B-C-D blokları jet grouting projesi.

EK D Kolon yerleşimi



Şekil D: Jet kolon yerleşimi örnek bir kesit.

EK E.2 Deney sonuçları özeti

NUMUNE SAMPLE		Wn	Yn	Gs	ATTERBERG LIMITLERİ ATTERBERG LIMITS		ELEK ANALİZİ SİZE ANALİZİNİN YÜZDE GEÇEN PERCENT PASSING				KESME KUTUSU DENEYİ DIRECT SHEAR TEST		ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ TRIAxIAL COMPRESSION TEST				SERBEST BASINÇ DENEYİ UNCONFINED COMP. TEST		KONSOLIDASYON DENEYİ CONSOLIDATION TEST			
SONDAJ BORING NO	NUMUNE SAMPLE NO	DERİNLİK DEPTH (m)	TS-1000-1- 1007	TS-1000-1- 1007	LL	PL	PI	4	10	40	200	C	Ø	C	Ø	C	Ø	q _u	q _t	Sigma Basınç Swell Press kPa	Sigma Swell (%)	
SK-6	UD-1	4,50-5,00	26,07	18,29	NP	NP	NP	100,00	96,68	97,78	29,15	SM	0	25								
SK-6	SPT-5	7,50-7,95	17,37	19,18	NP	NP	NP	85,50	79,74	59,77	21,74	SM	0	29								
SK-6	SPT-10	15,00-15,45	24,17	18,52	27,97	20,85	7,12	97,50	95,11	90,17	65,54	CL-ML	4	19								
SK-7	UD-1	4,50-5,00	28,62	18,17	NP	NP	NP	99,77	99,16	92,71	59,50	ML	4	20								
SK-7	SPT-5	7,50-7,95	17,64	18,40	NP	NP	NP	99,52	98,50	87,40	47,59	SM	0	23								
SK-7	SPT-9	13,50-13,95	17,18	19,12	NP	NP	NP	85,53	77,12	52,94	23,30	SM	0	28								
SK-8	UD-1	4,50-5,00	27,27	18,64	NP	NP	NP	100,00	99,65	98,44	62,87	ML	4	19								
SK-8	SPT-5	7,50-7,95	24,85	18,92	42,43	20,90	21,53	90,84	84,54	76,37	63,33	CL						106,20				
SK-8	SPT-10	15,00-15,45	25,54	18,72	NP	NP	NP	97,35	93,83	79,87	61,50	ML	4	19								
SK-9	UD-1	4,00-4,50	14,64	18,26	NP	NP	NP	94,40	88,12	71,86	34,35	SM	0	26								
SK-9	SPT-6	9,00-9,45	23,05	19,24	NP	NP	NP	96,00	91,81	70,86	29,25	SM	0	27								
SK-9	SPT-12	18,00-18,45	22,79	18,37	NP	NP	NP	100,00	99,83	96,83	67,03	ML	3	19								
SK-10	UD-1	4,00-4,50	13,91	18,89	NP	NP	NP	97,11	88,18	70,69	38,85	SM	0	26								
SK-10	UD-2	7,50-8,00	28,55	17,94	NP	NP	NP	99,70	98,09	96,27	76,88	ML	4	17								
SK-10	SPT-9	13,50-13,95	33,52	19,04	36,97	20,05	16,92	97,55	92,92	82,84	65,37	CL							151,97			

DENEY SORUMLUSU

TOLGA ARAĞAN

JEOLU MÜHENDİSİ

ONAYLAYAN

AHMET N. TEMREN

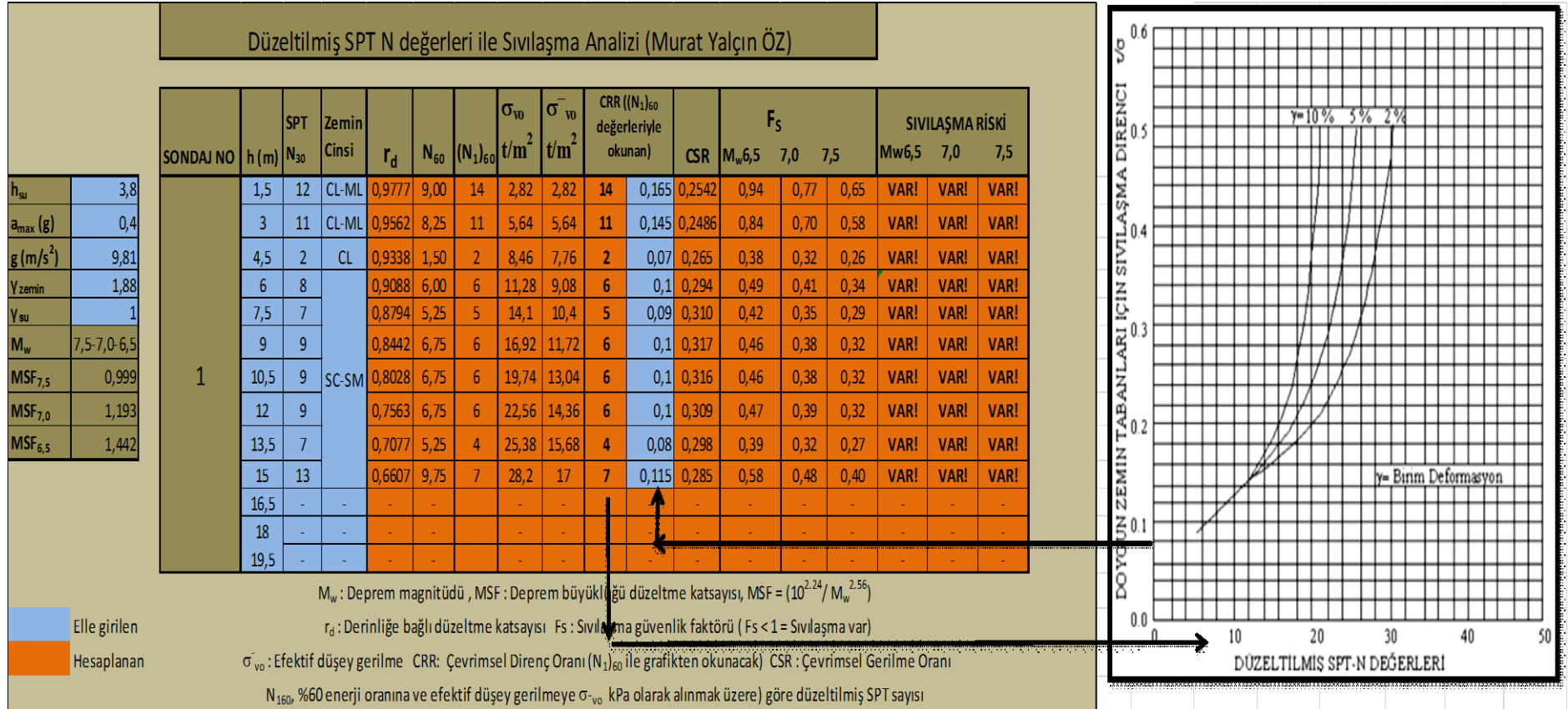
LAB. DENETÇİ MÜH.

AÇIKLAMALAR: SK SONDAJ KUYUSU AÇI ARAŞTIRMA ÇUKURU, SPT VE TORBA ÖRSELENMİŞ NUMUNE

BU RAPOR, SADECE DENEY YAPILMASI İÇİN MÜŞTERİ TARAFINDAN VERİLEN NUMUNELER İÇİN GEÇERLİDİR NUMUNEYE AIT BİLGİLER MÜŞTERİ BEYANINDIR İZİNİZİ COĞALTILMAZ

Şekil E.2: SK-6, SK-7, SK-8, SK-9, SK-10 sondaj kuyularından alınan numuneler için yapılan deney sonuçları özeti.

EK F.1 Sıvılaşma hesabı genel tablosu



Şekil F.1: SK-1 sondaj kuyusu için yapılan sıvılaşma analizi Excel tablosu.

EK F.2 Jet grouting projelendirme genel hesabı

Murat Yalçın Öz- 091131011- Yüksek Lisans Tez Çalışması

JET-GROUTING KOLON ÇAP VE ARALIK SEÇİMİ SONRASI KESME KUVVETİ KONTROLÜ

ZEMİN TÜRÜNE ÖNGÖRÜLEN KOLON BASINÇ DAYANIMINA GÖRE															KOLON Kesit/ Aralık	İYLEŞTİRME SONRASI	CRR	CSR	CSR (x S _n)	F _s (SON DURUM)			(SON D.) SIVILAŞMA RİSKİ								
SONDAJ	ZEMİN CİNSİ	f _{IG} (Mpa)	MIN f _s 'deki SPTN	İLGİLİ DERİNLİK (K (m))	F (KİL. L. İNCE KUM : 1,091)	V _s (m/sn)	G _s Mpa	E _g (Mpa)	G _g (Mpa)	Gr	Aralık (m)	KOLON ÇAP(m)	a _r	OKU- NAN S _n						%JG	a _{max} (R)	r _d	T _{max} (kN/m ²)	T _{avg} (kN/m ²)	V _g (kN)	V _{max} (kN)	Mw6,5	7,0	7,5	Mw6,5	7,0
SK1	ML-CL	3,92	2,0	4,5	1	102	20	6622	2207	112	2,4	0,8	0,09	0,09	0,91	0,4	0,934	31,61	20,54	211	108	YETERLİ	0,07	0,265	0,024	4,232	3,501	2,932	YOK	YOK	YOK
SK2	SM-CL	3,92	8,0	10,5	1,091	184	63	6622	2207	35	2,4	0,8	0,09	0,26	0,74	0,4	0,803	63,40	41,21	211	176	YETERLİ	0,09	0,316	0,082	1,580	1,307	1,094	YOK	YOK	YOK
SK3	SM-CL	3,92	5,0	12,0	1,091	171	55	6622	2207	40	2,4	0,8	0,09	0,225	0,78	0,4	0,756	68,22	44,34	211	198	YETERLİ	0,075	0,309	0,070	1,556	1,287	1,078	YOK	YOK	YOK
SK4	SM	3,92	7,0	9,0	1,091	172	56	6622	2207	40	2,4	0,8	0,09	0,225	0,78	0,4	0,844	57,12	37,13	211	166	YETERLİ	0,09	0,317	0,071	1,820	1,505	1,261	YOK	YOK	YOK
SK5	ML-CL	2,94	7,0	12,0	1	169	53	5735	1912	36	2,4	0,8	0,09	0,25	0,75	0,4	0,756	68,22	44,34	183	192	YETERSİZ!!!	0,08	0,309	0,077	1,493	1,235	1,035	YOK	YOK	YOK
SK6	ML-CL	2,94	10,0	6,0	1	155	45	5735	1912	42	2,4	0,8	0,09	0,215	0,79	0,4	0,909	41,01	26,66	183	121	YETERLİ	0,118	0,294	0,063	2,692	2,227	1,865	YOK	YOK	YOK
SK7	CL-SM	3,43	13,0	9,0	1,091	197	73	6194	2065	28	2,4	0,8	0,09	0,3	0,70	0,4	0,844	57,12	37,13	197	150	YETERLİ	0,13	0,317	0,095	1,971	1,631	1,366	YOK	YOK	YOK
SK8	CL-SM	3,43	11,0	15,0	1,091	214	86	6194	2065	24	2,4	0,8	0,09	0,34	0,66	0,4	0,661	74,56	48,46	197	184	YETERLİ	0,1	0,285	0,097	1,488	1,231	1,031	YOK	YOK	YOK
SK9	ML-CL	2,94	10,0	9,0	1	171	55	5735	1912	35	2,4	0,8	0,09	0,26	0,74	0,4	0,844	57,12	37,13	183	158	YETERLİ	0,115	0,317	0,082	2,012	1,665	1,394	YOK	YOK	YOK
SK10	ML-CL	2,94	8,0	10,5	1	168	53	5735	1912	36	2,4	0,8	0,09	0,25	0,75	0,4	0,803	63,40	41,21	183	178	YETERLİ	0,09	0,316	0,079	1,643	1,359	1,138	YOK	YOK	YOK

KOLONLARDAN YERİNDE ALINAN KAROTLARIN BASINÇ DAYANIMINA GÖRE															KOLON Kesit/ Aralık	İYLEŞTİRME SONRASI	CRR	CSR	CSR (x S _n)	F _s (SON DURUM)			(SON D.) SIVILAŞMA RİSKİ								
SONDAJ	ZEMİN CİNSİ	f _{IG} (Mpa)	MIN f _s 'deki SPTN	İLGİLİ DERİNLİK (K (m))	F (KİL. L. İNCE KUM : 1,091)	V _s (m/sn)	G _s Mpa	E _g (Mpa)	G _g (Mpa)	Gr	Aralık (m)	KOLON ÇAP(m)	a _r	OKU- NAN S _n						%JG	a _{max} (R)	r _d	T _{max} (kN/m ²)	T _{avg} (kN/m ²)	V _g (kN)	V _{max} (kN)	Mw6,5	7,0	7,5	Mw6,5	7,0
SK1	ML-CL	3,88	2,0	4,5	1	102	20	6588	2196	112	2,4	0,8	0,09	0,09	0,91	0,4	0,934	31,61	20,54	210	108	YETERLİ	0,07	0,265	0,024	4,232	3,501	2,932	YOK	YOK	YOK
SK2	SM-CL	3,88	8,0	10,5	1,091	184	63	6588	2196	35	2,4	0,8	0,09	0,26	0,74	0,4	0,803	63,40	41,21	210	176	YETERLİ	0,09	0,316	0,082	1,580	1,307	1,094	YOK	YOK	YOK
SK3	SM-CL	3,69	5,0	12,0	1,091	171	55	6425	2142	39	2,4	0,8	0,09	0,24	0,76	0,4	0,756	68,22	44,34	205	194	YETERLİ	0,075	0,309	0,074	1,458	1,207	1,010	YOK	YOK	YOK
SK4	SM	3,69	7,0	9,0	1,091	172	56	6425	2142	38	2,4	0,8	0,09	0,25	0,75	0,4	0,844	57,12	37,13	205	160	YETERLİ	0,09	0,317	0,079	1,638	1,355	1,135	YOK	YOK	YOK
SK5	ML-CL	3,91	7,0	12,0	1	169	53	6614	2205	41	2,4	0,8	0,09	0,23	0,77	0,4	0,756	68,22	44,34	211	197	YETERLİ	0,08	0,309	0,071	1,623	1,343	1,125	YOK	YOK	YOK
SK6	ML-CL	3,91	10,0	6,0	1	155	45	6614	2205	49	2,4	0,8	0,09	0,18	0,82	0,4	0,909	41,01	26,66	211	126	YETERLİ	0,118	0,294	0,053	3,215	2,660	2,228	YOK	YOK	YOK
SK7	CL-SM	5,1	13,0	9,0	1,091	197	73	7553	2518	34	2,4	0,8	0,09	0,255	0,75	0,4	0,844	57,12	37,13	241	159	YETERLİ	0,13	0,317	0,081	2,319	1,919	1,607	YOK	YOK	YOK
SK8	CL-SM	5,1	11,0	15,0	1,091	214	86	7553	2518	29	2,4	0,8	0,09	0,29	0,71	0,4	0,661	74,56	48,46	241	198	YETERLİ	0,1	0,285	0,083	1,745	1,443	1,209	YOK	YOK	YOK
SK9	ML-CL	4,8	10,0	9,0	1	171	55	7328	2443	45	2,4	0,8	0,09	0,2	0,80	0,4	0,844	57,12	37,13	233	171	YETERLİ	0,115	0,317	0,063	2,616	2,164	1,812	YOK	YOK	YOK
SK10	ML-CL	4,8	8,0	10,5	1	168	53	7328	2443	46	2,4	0,8	0,09	0,195	0,81	0,4	0,803	63,40	41,21	233	191	YETERLİ	0,09	0,316	0,062	2,106	1,742	1,459	YOK	YOK	YOK

Ele girilen değerler	
Okuma değerleri	
Hesaplanan değerler	
Sonuç Değerlendirmesi	
Öngörülen ve mevcut bas. Dayanımı	

f_{IG}= Jet grout kolonların tek eksenlik basınç deneyi mukavemeti F = Zemin kayma hızı için zemin tipine bağlı düzeltme faktörü
V_s= Zemin kayma hızı G_s= Zemin maksimum kayma modülü G_r= Zemin kayma modülü oranı
G_g= Jet grout kolonu kayma modülü E_g= Jet grout kolonu elastisite modülü a_r= Alan yer değiştirme oranı S_n= CSR azaltma faktörü (tablodan) %JG = Depremden doğan zemin kayma gerilmesinin jet grout kolonları tarafından karşılanacağı yüzde a_{max} = Maksimum yer ivmesi r_d= Deprem kaynaklı maksimum kayma gerilmesi derinlik etkili azaltma oranı
I_{max}= Deprem kaynaklı maksimum kayma gerilmesi T_{avg} = Ortalama eşdeğer kayma gerilmesi

Şekil F.2: Öngörülen ve mevcut kolon basınç dayanımlarına göre jet grouting projelendirilmesi tüm alan için genel hesabı.

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : MURAT YALÇIN ÖZ

Doğum Yeri ve Tarihi : TATVAN/ 20.05.1982

Lisans Üniversite : YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Elektronik posta : muratyalcinoz1982@gmail.com

İletişim Adresi : AYDIN ÇEVRE ve ŞEHİRCİLİK İL MÜD.

Yayın Listesi:

■ AlkayaD., BademT., Öz, M. Y., Bozkurt 2011: Sarayköy Devlet Hastanesi Temeli Güçlendirme Sistemi, Denizli, Türkiye.