

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK ZEMİN SIVILAŞMASI
GÖZLENEN ALANDA ZEMİN İYİLEŞTİRME UYGULAMA ÖRNEĞİ



İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALTAN ARSLAN

OCAK 2020

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK ZEMİN SIVILAŞMASI
GÖZLENEN ALANDA ZEMİN İYİLEŞTİRME UYGULAMA ÖRNEĞİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Altan ARSLAN

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER

ZONGULDAK

Ocak 2020

KABUL:

Altan ARSLAN tarafından hazırlanan “Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Zemin Sıvılaşması Gözlenen Alanda Zemin İyileştirme Uygulama Örneği” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/oyçokluğuyla kabul edilmiştir. .../.../2020

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Utkan MUTMAN
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

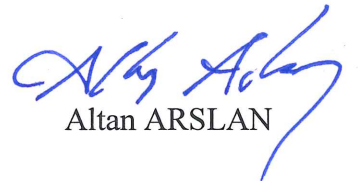
Üye: Dr. Öğr. Üyesi Tuna ÜLGER
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./.../2020


Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”


Altan ARSLAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK ZEMİN SIVILAŞMASI GÖZLENEN ALANDA ZEMİN İYİLEŞTİRME UYGULAMA ÖRNEĞİ

Altan ARSLAN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER

Ocak 2020, 49 sayfa

Toplumların gelişmesiyle hızlı bir şekilde artan kentsel nüfus ve sanayileşme sonucu, şehir merkezlerindeki yerleşim alanlarını azaltmaktadır. Azalan alanlar ve ihtiyaçların artmasıyla, sağlam temel zemin özelliği göstermeyen zeminler üzerine yapı inşa edilmesi mecburu hale gelmiştir. Üst yapı inşaatlarının yapımı ve yapı kullanım ömrü boyunca oluşabilecek sorunları önceden tespit edip, yapı ömrü boyunca problem yaşamamak amacıyla çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında; 2 katı bodrum olmak üzere toplamda 6 katlı bir yapı yerel zemin koşullarında inşa edilmek zorundadır. İnşaat alanı deprem riski açısından 1. Derece deprem bölgesinde yer almakta ve zemin koşulları açısından temel zemininde sivilaşma potansiyeli mevcuttur. Bu durumdaki temel zemini için, en uygun zemin iyileştirme metodları seçilerek ardından yapı inşa edilecektir. Yapının inşa edileceği arazide, zemin etüt raporu düzenleyen özel firma tarafından 3 adet derin sondaj çalışması yapılmıştır. Söz konusu yapının sayısal

ÖZET (devam ediyor)

analizleri arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerle korele edilmiştir. Uygulama alanı farklı senaryolar altında sonlu elemanlara dayalı bir programda sayısal modellenerek değerlendirilmiştir. Analiz sırasında sayısal modelde ve temel kazısında elde edilen deformasyon değerine göre, daha önceki çalışmalarda yer alan zemin iyileştirme yöntemlerinden; Jet Grout Kolonları zemin iyileştirme tekniği olarak önerilmiştir. Jet Grout Kolonları, zemin malzemesi ve çimentonun karışımından oluşan yüksek dayanımlı kolon imalatına dayanır. Literatürde zemin sıvılaşması gerçekleşen alanlar için; zemin iyileştirme yöntemi jet grout kolonları uygulanarak zemin sıvılaşma potansiyeli olan zeminde sıvılaşma etkileri bertaraf edilebilmektedir. Sonlu elemanlara dayalı yazılım kullanılarak sayısal model oluşturulmuş, gerilim deformasyon ilişkisi, oturma ve yer değiştirme analizleri yapılarak sonuçlar bu çalışma kapsamında sunulmuştur. Zeminde iyileştirme öncesi ve sonrası elde edilen geoteknik parametreler kıyaslanarak, yapıda meydana gelen düşey yer değiştirme değerlerinde, jet grout kolonu uygulaması sonrası azalma tespit edilmiştir. Sayısal modelde, yapı temel altına uygulanan jet grout kolonu zemin iyileştirme tekniği ile kazı sırasındaki kabarma ve deprem sırasında olması muhtemel oturmalar %20 oranında azaltılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Zemin iyileştirmesi, Jetgrout kolonu, Zemin sıvılaşması, Sonlu elemanlar yöntemi

Bilim Kodu: 624.01.00

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

SOIL LIQUIDATION USING THE FINITE ELEMENT METHOD APPLICATION SAMPLE

Altan ARSLAN

**Zonguldak Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER

January 2020, 49 pages

Rapid increase in urban populations with the development of societies, industrialization and the distribution of new urban centers caused the reduction of the settlement areas. In developing cities, the places that are appropriate for construction/housing are decreasing. Due to this decrease in construction areas and increasing needs of the population, engineering structures have to be constructed over the soils which do not have good foundation characteristics. Before construction phase, by determining the problems that may occur during the construction and service life of the superstructures, studies are carried out to avoid any problems during the service life of the structure.

In this study, the 6-story building, of which 2 stories are the basement, must be built under local soil conditions. The construction site is in the category of first-degree seismic zone and has the potential of liquefaction on the foundation ground. In this case, the best soil improvement methods for this foundation will be chosen and then the structure will be constructed. Three deep drilling works have been carried out in the construction by the private

ABSTRACT (continued)

company that prepared a ground survey report. By correlating the results of numerical analysis of the structure and the data obtained from field and laboratory experiments, and it is evaluated by numerical modeling in a program based on finite elements for different scenarios. According to the deformation value obtained during the foundation excavation, Jet-Grout columns, as one of the soil improvement methods in the literature, were proposed as a soil improvement technique. Jet-Grout soil improvement technique is based on the production of a high strength column consisting of ground material and cement mixtures. In the literature, Jet-Grout columns, as also one of the soil improvement methods for soil liquefaction areas, can be applied to avoid the liquefaction effects. A numerical model was created by using finite element-based software and stress-deformation relation and settlement-displacement analyses were performed and the results were presented in this study. The geotechnical parameters obtained before and after soil improvement were compared, it is found that the vertical displacement of the structure decreased after Jet-Grout application. It is found that swelling during the excavation and the expected settlements due to the earthquake decreased by 20% with the Jet-Grout application under the structure foundation in the numerical model.

Key Word: Soil improvement, Jet-Grout Columns, Soil Liquefaction, Finite Element Methods

Science Code: 624.01.00

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bana yardımlarını esirgemeyen, Tez çalışmam sürecince yapmış olduğu katkılarından dolayı danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü Sünbül GÜNER'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her türlü teknik bilgi ve tecrübelerini aktaran Öğretim Görevlisi Hüseyin MUNGAN'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca aldığım kararlara saygı duyan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen Babam Haydar ARSLAN ve Annem Sevgi ARSLAN'a teşekkür ederim.

Üniversite hayatım boyunca yanımda olan ve beni her konuda destekleyen değerli eşim Gonca ARSLAN'a ve aramıza yeni katılan Oğlum Alp ARSLAN'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 KONUNUN ÖNEMİ.....	1
1.2 TEZİN AMACI VE KAPSAMI	2
BÖLÜM 2 KONUYLA İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR.....	3
BÖLÜM 3 İNCELEME ALANI VE PROJE TANITIMI	5
3.1 ÇEVRESEL BİLGİLER.....	5
3.2 JEOMORFOLOJİK BİLGİLER.....	6
3.3 ZEMİN ÇALIŞMALARI	7
3.3.1 Genel Jeoloji	10
3.3.2 Jeoloji.....	10
3.3.3 İnceleme Alanın Mühendislik Jeolojisi	10
3.3.4 Sondaj Kuyuları	12
3.4 ARAZİ DENEYLERİ.....	12
3.4.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	12
3.4.2 Yeraltı ve Yerüstü Suları	13

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
3.5 LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER.....	14
3.5.1 Zeminlerin İndeks Ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	14
3.5.2 Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	15
3.6 ZEMİN PROFİLİNİN YORUMLANMASI	18
BÖLÜM 4 MATERYAL METHOD	19
4.1 ZEMİN SIVILAŞMASI	19
4.1.1 Zemin Sıvılaşması Tanımı	19
4.1.2 Zemin Sıvılaşmasını Belirleyen Faktörler	21
4.1.3 Zemin Sıvılaşmasının SPT Yöntemi İle Tayini	22
4.2 SIVILAŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ	26
BÖLÜM 5 YAPILAN ÇALIŞMALAR	29
5.1 ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ	29
5.2 JET GOUT KOLON UYGULAMASI.....	31
5.2.1 Jet Grout Uygulama Tekniği.....	31
5.2.1.1 Jet 1 Tekniği.....	32
5.2.1.2 Jet 2 Tekniği.....	33
5.2.1.3 Jet 3 Tekniği.....	33
5.2.1.4 Süper Jet Tekniği.....	34
5.3 SONLU ELEMANLAR METODU	35
5.3.1 Zemin Modelleri	35
BÖLÜM 6 MODEL VE ANALİZ	37
BÖLÜM 7 SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR.....	47
ÖZGEÇMİŞ	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 Zonguldak İli Haritası.	5
Şekil 3.2 İnceleme Alanı Google Earth Uydu Ölçeksiz Görüntüsü.	6
Şekil 3.3 Zonguldak İli ve Çevresinin Genel Eğim Haritası.	6
Şekil 3.4 Zonguldak İli ve Çevresinin Jeomorfoloji Haritası.	7
Şekil 3.5 Sondaj Kuyuları.	8
Şekil 3.6 Sondaj Logu SK 1.	8
Şekil 3.7 Sondaj Logu SK 2.	8
Şekil 3.8 Sondaj Logu SK 3.	9
Şekil 3.9 SK-2 Numunesine ait Karotlar.	9
Şekil 3.10 Enine Jeolojik Kesit.	11
Şekil 4.1 Zemin Sıvılaşması Sonucu Ortaya Çıkan Hasarlar.	20
Şekil 5.1 Temel Enjeksiyon Teknikleri.	31
Şekil 5.2 Jet Grout Yöntemi.	32
Şekil 5.3 Jet 1 Tekniği.	33
Şekil 5.4 Jet 2 Tekniği.	33
Şekil 5.5 Jet 3 Tekniği.	34
Şekil 5.6 Süper Jet Tekniği.	34
Şekil 6.1 Yapı Modeli.	38
Şekil 6.2 Toplam Yerdeğiştirme 25.79 cm (Kazı Alanı).	39
Şekil 6.3 Toplam Yerdeğiştirme 26.13 cm (Duvar deformasyon).	40
Şekil 6.4 Toplam Yerdeğiştirme 59,76 mm Farklı Oturma.	41
Şekil 6.5 Jet Grout Kolon Yerleşim Planı.	42
Şekil 6.6 İyileştirilmiş Sonuç 49.35 mm Oturma.	43
Şekil 6.7 İyileştirilmiş Sonuç 49.35 mm Oturma.	44



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Sondaj Litolojisi.....	12
Çizelge 3.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).....	12
Çizelge 3.3 Yeraltı Su Durumu.....	13
Çizelge 3.4 Laboratuvar Deney Sonuçları.....	14
Çizelge 3.5 Deneylere ait Kohezyon ve İçsel Sürtünme Değerleri.....	15
Çizelge 3.6 Zemin Grupları.....	16
Çizelge 3.7 Homojen Zeminlerin Sınıflaması.....	17
Çizelge 3.8 Spektrum Karakteristik Periyotları.....	17
Çizelge 3.9 Etkin Yer İvme Katsayısı (A _o).....	17
Çizelge 3.10 Deney Sonuçlarına Göre Zemin Sınıflaması.....	18
Çizelge 3.11 SPT-N ile ϕ' (°) Efektif Kayma Mukavemeti Açısı arasındaki ilişkiyi korelasyon denklemleri.....	18
Çizelge 4.1 SPT düzeltme katsayıları.....	25
Çizelge 4.2 Sıvılaşma Analiz Verileri.....	26
Çizelge 4.3 Sıvılaşma Analiz Sonuçları.....	27
Çizelge 5.1 Zemin İyileştirme Yöntemleri Ve Kullanım Amaçları.....	30
Çizelge 6.1 Malzeme Parametreleri.....	37
Çizelge 6.2 Üst Yapı Parametreleri.....	38
Çizelge 6.3 Jet Grout Kolonu Parametreleri.....	42



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

γ	: Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
γ_s	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_w	: Suyun birim hacim ağırlığı
γ_{sat}	: Suya Doygun Birim Hacim Ağırlık
W_n	: Su Muhtevası
c	: Zeminin kohezyonu
Φ	: İç sürtünme açısı
ϕ'	: Efektif Kayma Mukavemeti Açısı
g	: Yerçekimi ivmesi
σ	: Gerilme
K_σ	: Örtü Basıncı Düzeltme Faktörü
E	: Elastisite Modülü
ν	: Poisson Oranı
Φ_r	: Yoğrulmuş kilin efektif (drenajlı) iç sürtünme açısı.
ψ	: Dilatasyon açısı
ρ	: Zemin birim hacim ağırlığı
A_0	: Etkin Yer İvme Katsayısı
a_{max}	: Deprem maksimum yer ivmesi

KISALTMALAR

ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
CB	: Kuyu Çap Düzeltme Katsayısı
Cko	: Kozlu Formasyonu
C_N	: Üst Tabaka Yüğü Düzeltme Katsayısı
C_R	: Tij Boyu Düzeltme Katsayısı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

CRR	: Tekrarlı Direnç Oranı
CSR	: Depremden Kaynaklanan Tekrarlı Gerilme Oranı
Dr	: Rolatif Sıklık
Jki	: İnaltı Formasyonu
K_σ	: Örtü Basıncı Düzeltme Katsayısı
N	: Ölçülen Spt Darbe Sayısı
OCR	: Aşırı Konsolidasyon Oranı
PGA	: Deprem Sırasındaki Pik Değer
PI	: Plasite İndisi
Qal	: Alüvyonlar
SC	: Killi Kum, Kum-Kil karışımı
SM	: Siltli Kum, Kum-Silt karışımı
SP	: Kötü derecelendirilmiş Kum, Çakıllı kum, ince malzeme çok az veya hiç yok
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UD	: Örselenmemiş Numune
USCS	: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
V_p	: Ölçülmüş kayma dalgası hızı
W_n	: Su muhtevası
WSDOT	: Washington State Department of Transportation
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi
z	: Derinik

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 KONUNUN ÖNEMİ

Toplumların gelişmesiyle hızlı bir şekilde artan kentsel nüfus, sanayileşme ve yeni şehir merkezlerinin dağılımı sonucu yerleşim alanları azaltmaktadır. Azalan alanlar ve ihtiyaçların artmasıyla sağlam temel zemin özelliği göstermeyen bölgeler üzerinde de yapılaşmalar zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde meydana gelen depremlerde oluşan hasarların birçoğu yapısal kusurlar ve malzeme kalitesizliğinin yanında zemin özelliklerinin iyi bilinmemesinden kaynaklanmaktadır.

Ülkemizde meydana gelmiş olan Kocaeli ve Düzce depremlerinde, yapısal hasarlardaki en önemli etkinin zemin sıvılaşması olduğu görülmektedir. Sıvılaşmanın meydana gelmesiyle; taşıma gücünü yitirmiş zemin içindeki hafif boru hattı gibi yapıların zemin yüzeyine çıkması ve zemin üzerinde inşa edilmiş yapıların zemine gömülmesi ve/veya yanal deplasman yapmasına neden olmaktadır (Kramer 1996).

Sıvılaşma sonucu oluşan can ve mal kayıplarının önlenmesi için hasara yol açacak zeminlerde iyileşmeye gidilmelidir. Bu iyileştirme yöntemlerinden biride jet grout kolon metodunun sıvılaşma olasılığı olan zeminlerde uygulanmasıdır. Jet Grout Kolonları örselenmiş zemin malzemesi ve çimento karışımından oluşan kolondur ve imalatı aşamasında zemin sıkıştırılarak konsolide olması sağlanır (Sağlamer 2000).

Bu çalışmada; Jet Grout Kolon tekniği sıvılaşma olasılığı yüksek zemin gruplarında kullanılmıştır. Zemin ıslahı öncesinde zeminde sıvılaşmaya neden olacak sismik bir hareketin, zemin ıslahı yapıldıktan sonra Jet Grout kolon tekniği ile zemin içinde oluşturulan jet grout kolonlarının sıvılaşma olasılığı üzerindeki azaltıcı etkisini saptamak amacı ile sayısal analizler yapılmıştır.

1.2 TEZİN AMACI VE KAPSAMI

Bu çalışma; Zonguldak ili Merkez ilçesi sınırları içinde bulunan 2 katı bodrum olmak üzere toplam 6 katlı bir yapı inşa edilecektir. İnşaat alanı deprem riski açısından 1. Derece deprem bölgesinde yer almakta ve yapılan zemin inceleme çalışmalarında zemin koşulları açısından temel zemininde sıvılaşması potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Bu durumda yapı inşaat aşamasında yapı temelleri altında en uygun zemin iyileştirme metodları seçilerek ardından yapı inşa edilmesi planlanmaktadır. Yapının inşa edileceği arazide zemin etüt raporu düzenleyen özel firma tarafından 3 adet derin sondaj çalışması yapılmıştır. Yapının sayısal analizleri arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerle ile korele edilerek uygulama alanı farklı senaryolar altında sonlu elemanlara dayalı bir programda sayısal modellenerek değerlendirilmiştir. Sonlu eleman model analizlerinde iki bodrumlu zemin kazıldığında, zeminde kabarma görülmüş, kabarmaya önlem olarak, diğer çalışmalarda yer alan zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan Jet Grout Kolonları zemin iyileştirme tekniği uygulanmıştır. Jet Grout Kolonları zemin malzemesinden ve çimento karışımından oluşan dayanımı oldukça yüksek kolonlardır. İmalatı aşamasında zemin sıkıştırılarak konsolide olması sağlanır.

Sonlu elemanlar yazılımı kullanarak hazırlanan sayısal model üzerinde düşey yerdeğiştirme ve toplam oturma analizleri yapılmıştır. Zeminde iyileştirme öncesi ve sonrası elde edilen geoteknik parametreler kıyaslanarak, yer değiştirme değerlerinin, jet grout kolon uygulaması ardından azaldığı tespit edilmiştir.

BÖLÜM 2

KONUyla İLGİLİ GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Jet grout yöntemi ilk olarak Japonya'da ortaya çıkmıştır. Daha sonrasında Amerika ve Avrupa'daki diğer ülkeler tarafından kullanılmıştır. Modern jet grout tekniklerinin gelişmesinde, yapı temelleri konusunda tecrübeli ülke İtalya, önemli bir rol oynamıştır. Jet Grout tekniği çok yönlü olması sebebiyle hızlı gelişmeler katetmiştir. Jet grout tekniğinin, ilk akla gelen zemin iyileştirme yöntemi olmasının nedeni; yöntem sayesinde zemini konsolide etmesi, temel yapılması için kullanılan bir çok yöntemin yetersiz kaldığı alanlarda kolay çözüm oluşturması ve temel zemininde geçirimsizliği arttırmasıdır.

"Chemical Churning Plant" (CCP) yöntemini geliştirmişlerdir (Nakanishi 1970). Bu yöntemde, yüksek dayanımlı çimento harcı yatay olarak püskürtmekte aynı zamanda harcın püskürtüldüğü boru kendi etrafında döndürülerek yukarı çekilmektedir.

Yakın zamanlarda Yahiro vd. (1970) "Jet Grout" yöntemi adını kullanmaya başlamışlardır. Daha sonraları kullanılan aynı yöntemler jet grout yöntemi olarak anılmıştır. Bu yöntem de çok hızlı bir su jeti kullanılarak örselenmiş zeminde bir yarık açılmakta sonra bu yarık aşağıdan başlanarak çimento harcı jeti ile taşlaştırılmaktadır.

1972'de CCP grubu "Jumbo jet special grout" yöntemini ortaya atmıştır. Bu yöntemde çimento jetinin hızı arttırılmış, ayrıca çimento jeti bir hava kılıfı içine alınmıştır. Böylece CCP yöntemi ile el edile 0.40-0.70 m'lik kolonlar yerine 0.80-1.60 m'lik kolonlar yapılmaya başlanmıştır.

Jet Grout yöntemini kullanan Yahiro ve diğ, ince diyafram duvarları yaparken rekabet için kolon yapımına başlamıştır. Böylece, imal eden firma izafen "Kajima" veya "Jet grout kolonu" yöntemini olarak piyasa çıkmıştır. Yöntemin ana unsuru delmenin hızlı su püskürtmesi ile yapılması, çimento harcının sonrasında verilmesidir. Su jetinin yayılma hızı

daha büyük olduğu için etkisi çok uzağa gidememektedir. Oysa kullanılan hava jet kılıfı ile daha dar bir açı uygulanarak yayılan hava ile suyun etkisini daha uzağa taşımak mümkün olmaktadır (Yahiro vd. 1973).

1980'de CCP grubu daha büyük çaplı kolonlar imal etmek amacıyla "Super Soil Stabilisation Management" (SSS-MAN) yöntemini geliştirilmiştir (Kauschinder ve Welsh 1989). Basıncılı hava ile zarflanmış yüksek hızlı su jeti zeminin örselenmesi amacıyla kullanılmakta, örselenen zemin bir sirkülasyon devresi ile dışarı alınıp, zeminde meydana gelen boşluklar çimento harcı ile doldurulmaktadır. Yöntemin kullanımı, özellikle kohezyonsuz zeminlerde büyük çaplı kolonlar imal edilebilmiştir. (Yahiro vd. 1973).

Gümüş (2002), Jet Grout yöntemi son yıllarda hızlı gelişme kaydettiği ve çoğu geoteknik probleme karşı etkin çözümler sağladığını belirtmektedir. Bu yöntem yüksek basınç altında çimento/su karışımının zemine enjekte edilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Şeflek (2012) çalışmasında; Adana ili, Ceyhan ilçesinde inşa edilen Ceyhunkent toplu konutlarının zemin iyileştirme çalışmalarına katkılarda bulunmuştur. İlçenin zemin koşullarının, toplu konut projesi olumsuz etkileyeceğini belirtmiş ve zemin iyileştirme yöntemlerine gidilmiştir. Zemin iyileştirme yöntemlerinden birisi olan Jet Grout kolonu yöntemi ile zeminin iyileştirilmesine karar vermiştir. Daha sonra temel zemininden ve jet grout kolonu iyileştirilmiş zeminden örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alarak deneyler yapmış ve sonuçları değerlendirmiştir.

Günümüzde bu yöntem geliştirilmeye devam edilmektedir. Bu konuda iyileştirilen zeminin çapı ve kolonların verimliliği oldukça mesafe alınmıştır. Hız, debi, harcın yoğunluğu ve pompa basıncıyla yapılan çalışmalar, teknolojinin ilerlemesine bağlı değişmektedir. Özetle bu gelişmeler, kullanılan araçların güvenilirliğini büyük ölçüde arttırmış, yapımda insan gücünün gereksinimini azaltmış, jet grout kolonu imalatında gerekli yan çalışma ve hazırlıkların daha çabuk yapılabilmesini sağlamıştır.

BÖLÜM 3

İNCELEME ALANI VE PROJE TANITIMI

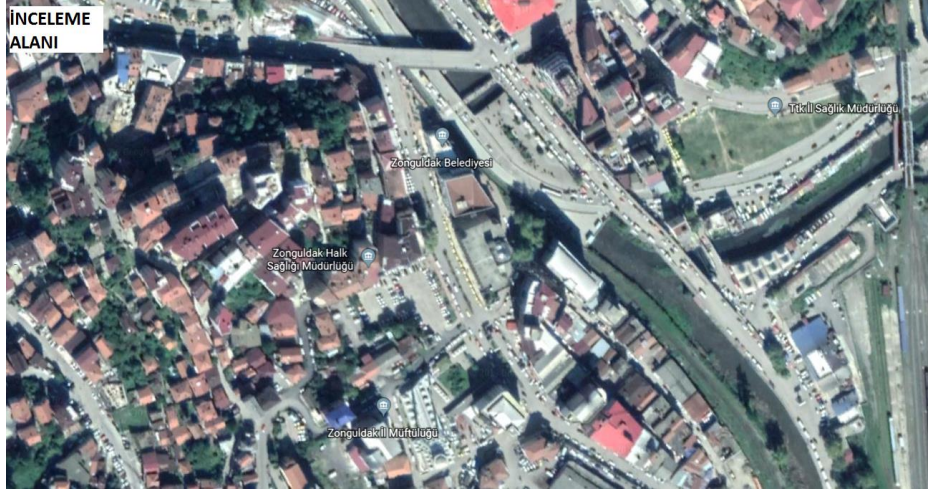
Bu bölümde, çalışma kapsamında incelenecek yapının inşaat alanına ait jeomorfolojik, çevresel bilgiler ve inceleme alanının mühendislik jeolojisinin genel yapısı ve işin ön projesi anlatılmaktadır.

3.1 ÇEVRESEL BİLGİLER

İnceleme alanı; Zonguldak Merkezi On Temmuz mahallesinde bulunmaktadır. Zonguldak il Merkezi Çaycuma arası 47 km, Gökçebey arası 44 km, Devrek arası 56 km ve Ereğli arası 49 km'dir. Çalışma alanının yerbulduru haritası Şekil 3.1 Zonguldak İli Haritasında, İnceleme alanı Google Earth Ölçeksiz görüntüsü 3.2'te verilmiştir.



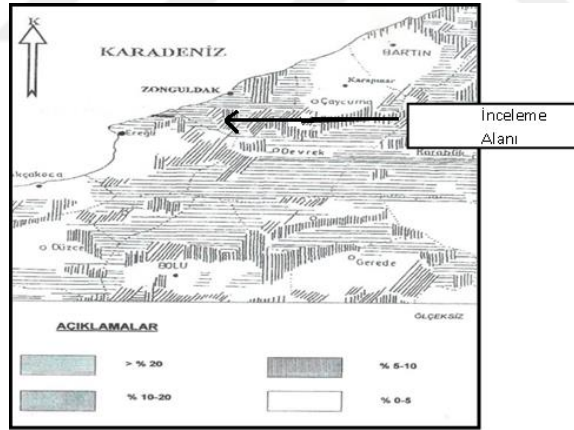
Şekil 3.1 Zonguldak İli Haritası.



Şekil 3.2 İnceleme Alanı Google Earth Uydu Ölçeksiz Görüntüsü.

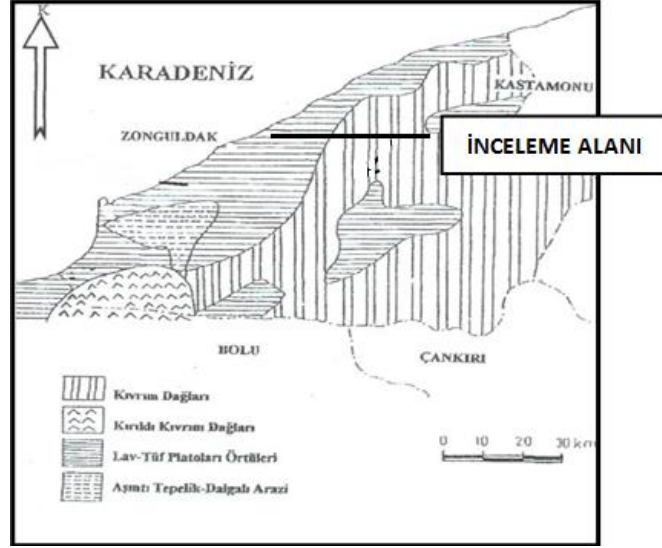
3.2 JEOMORFOLOJİK BİLGİLER

İnceleme alanı, Şekil 3.3'te verilen Zonguldak İli ve çevresinin Genel Eğim Haritası Anonim (1987) göre; > % 20 eğimli alanlar içerisinde yer almaktadır. Lokal olarak incelendiğinde alan; % 0-5 topoğrafik eğime sahip alanlar içerisinde kalmaktadır.



Şekil 3.3 Zonguldak İli ve Çevresinin Genel Eğim Haritası (Anonim 1987).

İnceleme alanı, Şekil 3.4'te verilen Zonguldak ve dolayının genelleştirilmiş jeomorfoloji haritasında Anonim (1987) Kıvrım Dağları içerisinde kalmaktadır.

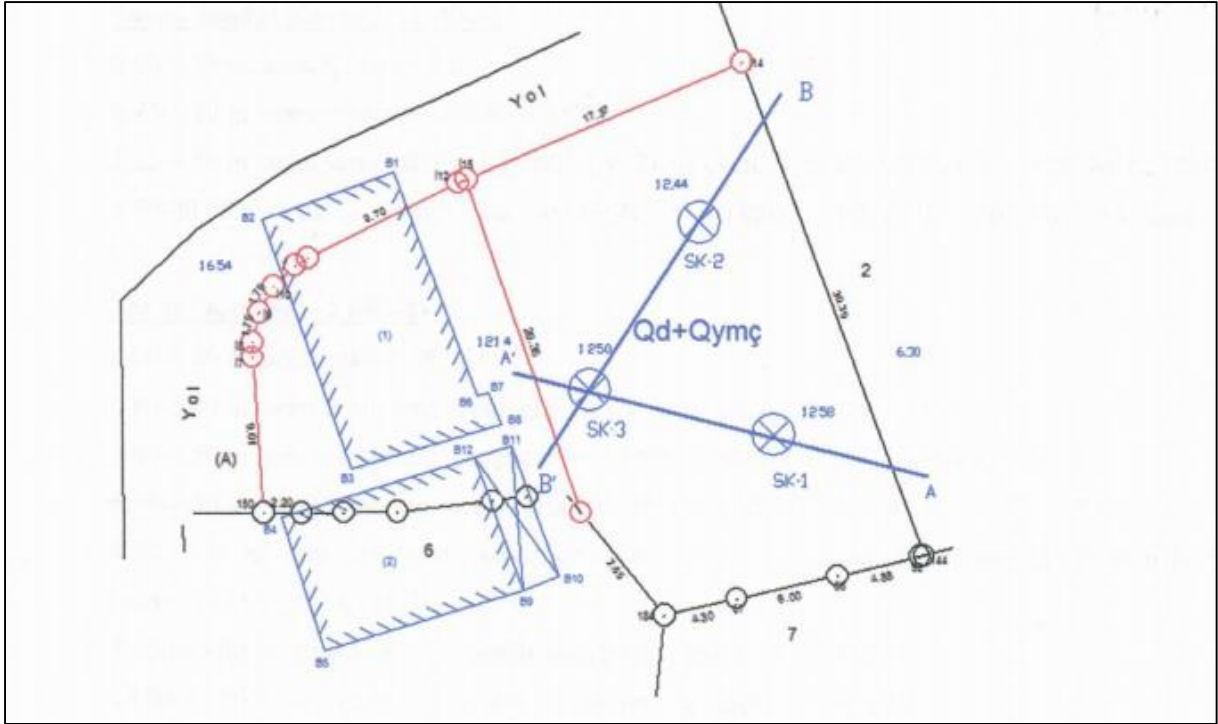


Şekil 3.4 Zonguldak İli ve Çevresinin Jeomorfoloji Haritası (Anonim 1987).

Zonguldak ilinde Karadeniz iklimi görülmektedir. Dört mevsimi yağışlı ve ılık olan Zonguldak'ta kurak mevsim yaşanmamaktadır. Zonguldak ilinde; gece gündüz arasında önemli bir sıcaklık farkı bulunmamaktadır. İç kesimlerde, iklim biraz sertleşmektedir. Yıllık yağış ortalamasının 1220,7 kg/m² ile Ekim ayıdır. Yağışlar iç kesimlerde azalmakta hemde yağmurdan kara dönüşmektedir.

3.3 ZEMİN ÇALIŞMALARI

Zemin çalışmaları arazi, laboratuvar deneyleri ve büro olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması için jeoteknik amaçlı sondaj kuyuları açılmıştır (Şekil 3.5). Zeminden alınan; SK-1 (20.00m), SK-2 (19.00 m) ve SK-3 (20.00 m) olmak üzere 3 adet ve toplam 59.00 m derinlikte sondaj logları Şekil 3.6, Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 gösterilmiştir. Sondaj çalışmaları esnasında çeşitli seviyelerde numuneler alınarak Zemin ve Kaya mekaniği Laboratuvarlarında deneyler yapılmıştır.



Şekil 3.5 Sondaj Kuyuları.

SK 1		
SONDAJ LOGU DERİNLİĞİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA	ZEMİN PROFİLİ
0.75	0.00-0.75 ÇAKIL DOLGU	
1.20	0.75-1.20 GRİ-SİYAH RENKLİ DOLGU	
1.50	KILLI KUM (SC)	
2.00		
2.50		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00		
6.00	SARI RENKLİ ORTA SIKI İRİ ÇAKILLI, SİLTİLİ KUM (SM)	
6.50		
7.00		
7.50		
8.50		
8.50		
9.00		
9.50		
10.00		
10.50		
11.00		
12.00		
13.00		
14.00		
15.00		
17.00		
18.00		
19.00		
20.00		
KUYU SONU :20.00 m		

Şekil 3.6 Sondaj Logu SK 1.

SK 2		
SONDAJ LOGU DERİNLİĞİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA	ZEMİN PROFİLİ
0.80	0.00-0.80 ÇAKIL DOLGU	
1.20	0.80-5.00 SİYAH RENKLİ, ÇOK GEVŞEK, KILLI KUM (SC)	
1.50		
2.00		
2.50		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00	5.00-6.50 SARI RENKLİ, GEVŞEK KILLI KUM (SM)	
6.00		
6.50	6.50-8.50 SİYAH SARI RENKLİ, ORTA SIKI SİLTİLİ KUM (SM)	
7.00		
7.50		
8.50	8.50-10.50 SİYAH SARI RENKLİ, ORTA SIKI SİLTİLİ KUM (SM)	
8.50		
9.00		
9.50		
10.00	10.50-19.00 KUM TAŞI	
10.50		
11.00		
12.00		
13.00		
14.00		
15.00		
17.00		
18.00		
19.00		
KUYU SONU :19.00 m		

Şekil 3.7 Sondaj Logu SK 2.

SK 3		
SONDAJ LOGU DERİNLİĞİ	JEOTEKNİK TANIMLAMA	ZEMİN PROFİLİ
0.20	0.00-0.20 BETON	
1.20	0.20-4.50 SARI RENKLİ, ÇOK GEVŞEK, KILLI KUM (SC)	
1.50		
2.00		
2.50		
3.00		
3.50		
4.00		
4.50		
5.00	4.50-6.50 SARI RENKLİ, ORTA SIKI KILLI KUM (SP)	
6.00	6.50-20.00 KAHVE RENKLİ, SİLTİLİ KUM (SP)	
6.50		
7.00		
7.50		
8.50		
9.00		
9.50		
10.00		
10.50		
11.00		
12.00		
13.00		
14.00		
15.00		
17.00		
18.00		
20.00		
KUYU SONU: 20.00 m		

Şekil 3.8 Sondaj Logu SK 3.

Sondajda geçilen seviyelerde, yüzeyden itibaren aşağı doğru TSE ve ASTM standartlarına uygun olarak zemin tabakalarının profili, sıklık, kıvam durumu ve fiziksel zemin özelliklerini belirlemek için her 1.5m'de bir Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmıştır. Sondaj kuyularında geçilen birimlerden Şekil 3.9 da ki örselenmemiş numune (UD), SPT ve karot numuneleri alınmıştır.



Şekil 3.9 SK-2 Numunesine ait Karotlar.

3.3.1 Genel Jeoloji

İnceleme alanında eğimi % 10'dan büyük, jeolojisini Jura yaşlı İnaltı Formasyonuna (Jki) ait kireç taşları ve Karbonfiber yaşlı Kozlu Formasyonu (Cko) rezidüeline ait kumlu Silt Kil ve kaya ortamına ait Kumtaşı-kiltaşı-silttaşı ar dalanmasına ait birimlerin oluşturduğu alanlar olduğu görülmektedir. Bu alanlarda arazi gözlemlerinde heyelan, akma, kayma, kaya düşmesi vb. kütle hareketi gözlenmemiştir.

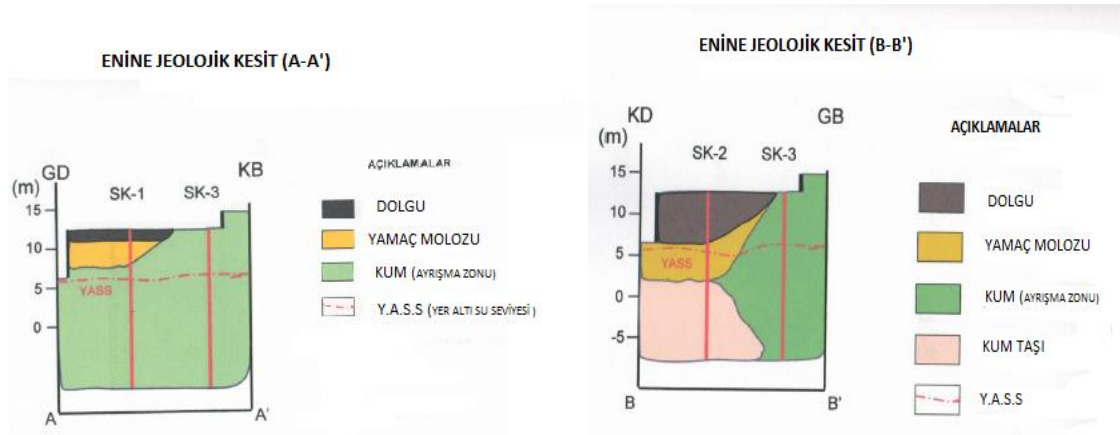
3.3.2 Jeoloji

Bölgede Silüriyen mavimsi-siyah renkli kireçtaşları ile ardamanlı olarak, siyah şeyllerden oluşmakta ve alt birimleri açıs al uyumsuzluk ile örtmektedir. Devoniyen serileri, tabanda kuvars kumtaşı egemen olan çamurtaşı, fosilli kireçtaşı bandları ve üstlere doğru oolitik demir içeren katmanlardan oluşmaktadır. Karbonfiber; çört yumurtaları ve arabandları içeren gri renkli, düzgün tabakalı genellikle dolamitik, makro mercan fosilli Vizeyen kireçtaşları ve Namuriyen yeşil şeyl, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı ve kömür ar dalanması, Westfaliyen A yaşlı konglemera, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı kömürlü şeyl, kömür ar dalanması ve Westfaliyen B.C.D yaşlı konglemara, kumtaşı, silttaşı, kiltaşı kömürlü şeyl, kömür ve şiferton ar dalanmasından oluşmaktadır. Bölgedeki Permo-Triyas yaşlı birimler, karasal ve sığ denizel ortamda çök elmiş olup kendisinden yaşlı birimler üzerine açıs al uyumsuzluk ile gelmektedir.

3.3.3 İnceleme Alanın Mühendislik Jeolojisi

İnceleme alanında yapılan sondajlarda Westfaliyen A-B yaşlı Kozlu Formasyonundan (Cko) oluşan birimler görülmüştür. Birimler kiltaşı, silttaşı, kumtaşı, konglemera, kömür ar dalanması şeklinde istiflenmiştir.

İnceleme alanında açılan sondaj kuyuları bazında yüzeyden itibaren geçilen zemin profili ve enine jeolojik kesitler aşağıda Şekil 3.10 verilmiştir.



Şekil 3.10 Enine Jeolojik Kesit.

Sondaj Kuyusu – 1 (SK-1) (0.00-20.00 metre)

0.00-0.75 mt. Arası Çakıl Dolgu

0.75-1.20 mt. Arası Gri-Siyah Renkli Dolgu

1.20-4.50 mt. Arası sarı renkli, çok gevşek (N=2), az Çakıllı Killi Kum (SC)

4.50-20.00 mt. Arası Sarı Renkli, Orta Sıkı ($11 \leq N \leq 28$), İri Çakıllı, Siltli Kum (SM)

Sondaj Kuyusu – 2 (SK-2) (0.00-19.00 metre)

0.00-0.80 mt. Arası Çakıl Dolgu

0.80-5.00 mt. Arası Siyah Renkli, Çok Gevşek (N=3,4), Killi Kum (SC)

5.00-6.50 mt. Arası Sarı Renkli, Gevşek (N=7), Killi Kum (SC)

6.50-8.50 mt. Arası Siyah-Sarı Renkli, Orta Sıkı (N=11), Siltli Kum (SM)

8.50-10.50 mt. Arası Siyah-Sarı renkli, Orta Sıkı (N=24), Ağaç Parçalı, Kumtaşı Çakıllı Siltli Kum (SM)

10.50-13.00 mt. Arası Kahverengi-Gri Renkli, Orta Kırıklı, Parçalı Kumtaşı

13.00-17.00 mt. Arası Sarı Renkli, Orta Kırıklı, Yer Yer Parçalı Kumtaşı

17.00-19.00 mt. Arası Gri Renkli, Parçalı, Seyrek Kırıklı Kumtaşı

Sondaj Kuyusu – 3 (SK-3) (0.00-20.00 metre)

0.00-0.20 mt. Beton

0.20-2.50 mt. Arası Sarı Renkli, Çok Gevşek (N=3), Siltli Kum (SM)

2.50-6.00 mt. Arası Sarı-Kahverengi Renkli, Çok Gevşek (N=4), Orta Sıkı (N=12) Killi Kum(SC)

10.50-13.00 Mt. Arası Kahverengi Renkli, Kumlu, İri Çakıllı, Siltli Kum (SP)

3.3.4 Sondaj Kuyuları

İnceleme alanında bulunan birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması için her biri 19.00-20.00 m aralığında olan ve toplamda 59.00 m derinliğindeki sondaj kuyularına ait derinlikler Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Sondaj Litolojisi.

Kuyu No	Derinlik (m)	YASS (m)	Litoloji	Formasyon
SK-1	20	5.70	Kumlu Kil	Qal
SK-2	19	5.60	Kumlu Kil	Qal
SK-3	20	6.10	Kumlu Kil	Qal

3.4 ARAZİ DENEYLERİ

3.4.1 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

İnceleme alanında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sırasında, kuyuların her birinden belli aralıklarla alınan numuneler sonucunda fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacıyla ASTM D 1586 göre Standart Penetrasyon testleri yapılmıştır. İnceleme alanında Doğal birim hacim ağırlığı (γ_n) = 18.00 kN/m³ kabul edilerek düzeltilmiş SPT hesaplanarak Çizelge 3.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT).

Sondaj Kuyusu No	SPT NO	DERİNLİK (mt)	SPT DEĞERİ			SPT-N
			N15	N30	N45	
SK-1	SPT-1	1.50-1.95	1	1	1	2
	SPT-2	4.50-4.95	3	4	7	11
	SPT-3	7.00-7.45	50/10	-	-	R
	SPT-4	10.00-10.45	5	9	13	22
	SPT-5	11.50-11.95	18	10	13	23
	SPT-6	13.00-13.45	10	12	12	24
	SPT-7	14.50-14.95	7	8	8	16
	SPT-8	16.00-16.45	12	13	15	28
	SPT-9	17.50-17.95	50/10	-	-	R
	SPT-10	19.00-19.45	50/4	-	-	R

Çizelge 3.2 (devam ediyor)

Sondaj Kuyusu No	SPT NO	DERİNLİK (mt)	SPT DEĞERİ			SPT-N
			N15	N30	N45	
SK-2	SPT-1	1.50-1.95	1	1	2	3
	SPT-2	3.00-3.45	1	2	2	4
	SPT-3	5.50-5.95	3	3	4	7
	SPT-4	7.00-7.45	5	5	6	11
	SPT-5	8.50-8.95	15	50/1	-	R
	SPT-6	10.00-10.45	5	12	12	24
	SPT-7	11.50-11.95	50/2	-	-	R
	SPT-8	13.00-13.45	12	17	50/1	R
	Kuyu No					
SK-3						3
	SK-1	20	5.70	Kumlu Kil	Qal	4
	SK-2	19	5.60	Kumlu Kil	Qal	12
	SK-3	20	6.10	Kumlu Kil	Qal	R
	SPT-5	10.00-10,45	17	50/1	-	R
	SPT-6	11.50-11.95	19	50/2	-	R
	SPT-7	13.00-13.45	23	50/1	-	R
	SPT-8	14.50-14.95	50/10	-	-	R
	SPT-9	17.50-17.95	23	50/2	-	R
	SPT-10	19.00-19.45	50/5	-	-	R

3.4.2 Yeraltı ve Yerüstü Suları

İnceleme alanında yapılan sondajlarda yer altı suyu seviyelerine ait derinlikler Çizelge 3.3'te verilmiştir. İnceleme alanının doğusundan Çaydamar deresi akmaktadır.

Çizelge 3.3 Yeraltı Su Durumu.

Sondaj No	Yeraltı suyu Durumu (mt)
SK-1	5.70 mt
SK-2	5.60 mt
SK-3	6.10 mt.

3.5 LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme yapılan alanda; jeoteknik amaçlı 3 adet sondaj kuyusu açılmıştır. 3 adet sondaj toplam 59 metre derinliğindedir. Sondajlar da geçilen seviyelerde, zeminden aşağıya doğru zemin tabakalarının profili, sıklık, kıvam durumu ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla SPT testi (SPT) deneyi yapılmış, uygun zemin koşullarında SPT, UD ve karot numuneleri alınmıştır. Örselenmiş numuneler su içerikleri korunacak şekilde çift naylon torbaya konulmuştur. Alınan numuneler su içerikleri korunacak şekilde çift naylon torbaya konulmuştur.

3.5.1 Zeminlerin İndeks Ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Çalışma alanında açtırılan sondaj kuyularından alınan UD ve SPT numunelerine ait laboratuarda belirlenen Su Muhtevası, Atterberg Limitleri ve Elek Analizi deney sonuçları çizelge 3.4'te, yapılan sondaj çalışmalarına ait loglar ise Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'te verilmiştir. SPT numuneleri üzerinde yapılan Atterberg Limitleri tayini deneyinde 9 adet numune non-plastik diğer 6 tanesi ise plastik çıkmıştır.

Çizelge 3.4 Laboratuar Deney Sonuçları.

SK No	Num. No.	Derinlik (mt)	W _n (%)	Atterberg Limitleri			Elek Analizi		Zemin Sınıfı
				LL (%)	PL(%)	PI (%)	4	200	USC
SK-1	UD	3.00-3.50	21.8	30.7	15.9	14.8	4.1	48.1	SC
SK-1	SPT	4.50-4.95	20.0	-	N.P	-	0.6	43.4	SM
SK-1	SPT	10.00-10.45	18.30	-	N.P	-	20.5	19.5	SM
SK-1	SPT	14.50-14.95	23.10	-	N.P	-	6.8	13.9	SM
SK-1	SPT	16.00-16.45	26.00	-	N.P	-	0.2	11.8	SP-SM
SK-2	UD	4.50-4.95	62.9	32.3	15.7	16.7	2.4	46.6	SC
SK-2	SPT	5.50-5.95	30.1	32.6	16.5	16.1	0.4	49.7	SC
SK-2	SPT	7.00-7.45	24.4	-	N.P	-	7.0	39.9	SM
SK-2	SPT	10.50-10.95	20.1	-	N.P	-	0.2	33.1	SM
SK-2	SPT	13.00-13.45	18.6	38.5	16.7	21.9	17.2	48.8	SC
SK-3	SPT	1.50-1.95	18.6	-	N.P	-	3.2	49.1	SM
SK-3	SPT	3.00-3.45	20.5	29.0	17.5	11.5	10.5	47.7	SC
SK-3	SPT	4.50-4.95	18.8	28.2	17.4	10.8	4.3	37.8	SC
SK-3	UD	6.00-6.45	18,3	-	N.P.	-	0.9	4.1	SP
SK-3	SPT	8.50-8.95	19.2	-	N.P.	-	1.5	28.7	SM

SM: Siltli Kum, Kum-Silt karışımı

SC: Killi Kum, Kum-Kil karışımı

SP: Kötü derecelendirilmiş Kum, Çakıllı kum, ince malzeme çok az veya hiç yok

3.5.2 Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında zeminin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, SK-1 (3.00-3.45), SK-2 (4.50-4.95)'den alınan UD numuneleri üzerinde kesme kutusu deneyi uygulanmış sonuçlar çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5 Deneylere ait Kohezyon ve İçsel Sürtünme Değerleri.

SK No	Numune No	Numune Alınan Derinlik (m)	Zeminde Üç Eksenli Sıkışma	
			Kohezyon (c) (kPa)	İçsel sürtünme açısı (Φ) derece
SK-1	UD	3.00-3.45	52.69	6
SK-2	UD	4.50-4.95	73.58	8

1) İnceleme alanını oluşturan alüvyon birim;

C-2 grubu zemin sınıfına girdiği Çizelge 3.6'da görülen numunenin yerel zemin sınıfı **Z₃**'dür (Çizelge 3.7).

Spektrum Karakteristik Periyotlar **T_A=0.20 sn. T_B=0.60 sn** (Çizelge 3.8).

Etkin yer ivme katsayısı **A₀= 0.30** (ikinci Derece Deprem Bölgesi) (Çizelge 3.9).

Çizelge 3.6 Zemin Grupları.

Zemin Grubu	Zemin Grubu	Stand.	Relatif	Basınç	Dalgası
		Penetr.	Sıklık	Direnci	Hızı
		(N/30)	(%)	(kPa)	(m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrılmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortulkayalar.	—	—	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	>50	85-100	—	>700
	3. Sert kil ve siltli kil	>32	-----	>400	>700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar,süreksizlik düzlemleri bulunan ayrılmış çimentolu tortul kayalar			500- 1000	700-1000
	2. Sıkı kum,çakıl	30-50	65-85	-----	400- 700
	3. Çok katı kil ve siltli kil	16-32	-----	200-400	300- 700
(C)	1.Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrılmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	-----	-----	<500	400- 700
	2. Orta sıkı kum.çakıl	10-30	35- 65	—	200- 400
	3. Katı kil ve siltli kil	8- 16	-----	100-200	200-300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları				
	2. Gevsek kum	< 10	< 35	-----	
	3. Yumuşak kil, siltli kil	< 8	—	<	

Çizelge 3.7 Homojen Zeminlerin Sınıflaması (TSE – 2519 - Nisan 1977).

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Grubu ve Tabaka Kalınlığı
Z1	(A) Grubu Zeminler $H_1 < 15$ m. (B)
Z2	$H_1 > 15$ m. (B) Grubu Zeminler $H_1 < 15$ m. (C)
Z3	15 m. $< H_1 < 50$ m. (C) Zeminler $H_1 < 10$ m. (D)
Z4	$H_1 > 50$ m. (C) Grubu Zeminler $H_1 > 10$ m. (D)

Çizelge 3.8 Spektrum Karakteristik Periyotları.

Yerel Zemin Sınıfları	T_A (sn)	T_B (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Çizelge 3.9 Etkin Yer İvme Katsayısı (A_0).

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

İnceleme alanında açtırılan sondaj kuyularından alınan UD numunelere ait Su Muhtevası, Atterberg Limitleri ve Elek Analizi deney sonuçları aşağıda verilmiştir. Atterberg Limitleri kullanılarak yüzeyden itibaren temel zemini hakkında şu sonuçlara varılmıştır.

İnceleme alanında killi kum seviyelerinde (SC) şişme potansiyeli çok yüksek olarak bulunmuştur.

Birim gri renklidir. Su muhtevaları (W_n) % 18,3 ile % 62,9 arasında değişmektedir. Bu birime ait Atterberg limitleri yukarıdaki tabloda verilmiştir. İnceleme alanındaki sondaj kuyuları bazında geçilen SPT-N değerlerine bakıldığında zeminin plastik özellikte olup orta derece kuru dayanıma sahiptir.

Çizelge 3.10 Deney Sonuçlarına Göre Zemin Sınıflaması.

SPT-N	Rolatif Sıklık (Dr)	Sıklık
0-4	0.00-0.15	Çok Gevşek
4-10	0.15-0.35	Gevşek
10-30	0.35-0.65	Orta Sıkı
30-50	0.65-0.85	Sıkı
> 50	0.85-1.00	Çok Sıkı

3.6 ZEMİN PROFİLİNİN YORUMLANMASI

İnceleme alanındaki 3 adet sondaj kuyusundan çıkan sonuçlara göre; zeminin ilk 0.80 m'lık kısmı dolgu malzemesi geriye kalan 0.80-20.00 m'lık kısmı killi kum ve siltli kum ardalanması bulunduğu tespit edilmiştir. SPT-N ile ϕ' (°) Efektif Kayma Mukavemeti açısı arasındaki ilişki korelasyon denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır.

SPT sonuçları üzerinden plaxis programına veri girişi sağlamak ve analizlerde kullanılmak üzere ihtiyaç duyulan bazı geoteknik parametrelerin elde edildiği korelasyon denklemleri Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 SPT-N ile ϕ' (°) Efektif Kayma Mukavemeti Açısı arasındaki ilişkiyi korelasyon denklemleri (Toğrol 2009).

Zemin Türü	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (derece)	Referans
Köşeli ve iyi boyalanmış zemin tanecikleri	$\Phi=(12N)^{0.5}+25$	Dunham(1954) #1
Yuvarlak ve iyi boylanmış veya köşeli ve uniform boylanmış zemin tanecikleri	$\Phi=(12N)^{0.5}+20$	Dunham(1954) #2
Uniform boylanmış zemin tanecikleri	$\Phi=(12N)^{0.5}+15$	Dunham(1954) #3
Kumlu ve kumlu ince çakıl zemin	$\Phi=28^{\circ}+(N/4)$	Peck ve diğerleri
Kumlu zemin	$\Phi=(20N)^{0.5}+15$	Ohsaki ve diğerleri (1959)
Granüler (Tanecikli-Çakıllı)	$\Phi=20+3.5(N)^{0.5}$	Muromachi ve diğerleri (1974)
Kumlu zemin	$\Phi=(15N)^{0.5}+15 \leq 45 (N>5)$	Japan ve Uchida (1996)
Kumlu zemin	$\Phi=(20N)^{0.5}+0.5$	Hatanaka ve Uchida (1996)

BÖLÜM 4

MATERYAL METHOD

4.1 ZEMİN SIVILAŞMASI

4.1.1 Zemin Sıvılaşması Tanımı

Zeminde meydana gelen sismik hareketler sonucu, kötü derecelendirilmiş granüler zeminlerde, yeraltı suyunun zemine yakın olduğu durumlarda boşluk suyu basıncında artışa ve zemine yüzeyine doğru olan su akışı, kum zeminde geçici mukavemet kaybına yol açar. Bu duruma sıvılaşma denir.

Sıvılaşma meydana geldiği durumda; efektif gerilme sıfır olur ve zemin danelerini bir arada tutan kuvvet yok olur. Bu durumda zemin daneleri serbest duruma geçer. Zemin yüzeyine doğru su çıkışı meydana gelir. Yüzeyde çamur fışkırması veya kum kaynaması olarak gözlemlenebilir.

Sıvılaşma meydana gelebilmesi için; zeminin cinsinin, jeolojik ve hidrojeolojik koşullarının uygun olması gerekir. Genellikle zemin; jeolojik olarak genç ve gevşek çökellerin aynı zamanda kum ve silt danelerin bulunduğu yeraltı suyunun sık olduğu zeminler sıvılaşma için uygundur. Ayrıca yeraltı su tabyasının zemin yüzeyine yakın olduğu koşullarda sıvılaşma meydana gelebilirliği yüksek olduğu kabul edilmektedir (Sünbül 2004).

Sıvılaşma ilk olarak Casagrande tarafından 1930 yıllarda belirlenmiştir (Kramer 1996). Zemin sıvılaşmasının geçmişte en bilinen örneği Japonyada meydana gelen 1964 Nigita depreme görülmüştür. Sıvılaşmaya dünyadan örnek olarak 1920 California Calveras, 1938 Montana Fort Peck, 1971 California San Fernando depreminde Lower San Norman barajlarında gözlenen dolgu gövde akmaları gösterilmektedir (Celep ve Kumbasar 2000). Ülkemizde ise meydana gelen depremler sonucunda sıvılaşma gözlenen depremler; 1992 Erzincan, 1998

Adana-Ceyhan ve 1999 Marmara depremlerinde sıvılaşmaya bağlı gözlenmiş yapısal hasarlar sonucunda, sıvılaşma tehlikesi konusunda duyarlılığı artırmıştır. Şekil 4.1’de Zemin sıvılaşması sonucu yapılarda ortaya çıkan hasarın boyutu görülmektedir. Deprem esnasında zeminlerin sıvılaşma hassasiyetinin tespiti ve olası etkilerin bertaraf edilmesi konuları oldukça önemli hale gelmiştir.

Zeminlerin sıvılaşma hassasiyetini tespit için sık olarak kullanılan gerilme esaslı yöntemlerde, depremden kaynaklanan tekrarlı kayma gerilmeleri ile zeminin sıvılaşmaya karşı tekrarlı kayma gerilmeleri ile zeminin sıvılaşmaya karşı tekrarlı kayma direnci karşılaştırılmakta ve zeminin sıvılaşmaya karşı güvenliği değerlendirilmektedir. Günümüzde diğer ülkelerde olduğu gibi Türkiyede’de yaygın olarak kullanılan ve 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TDBY)’nde de sıvılaşma analizleri için önerilen bir yöntem olmuştur.



Şekil 4.1 Zemin Sıvılaşması Sonucu Ortaya Çıkan Hasarlar (Gölcük 1999).

4.1.2 Zemin Sıvılaşmasını Belirleyen Faktörler

Mühendislik yapısı inşa edilecek zeminin, sıvılaşma potansiyeli olan siltli, killi, kumlu ve çakıllı zemin katmanlarının sismik hareketler sonucunda nasıl davranacağı önceden bilinmelidir. Deprem açısından riskli olan yerlerde, deprem esnasında oluşabilecek sıvılaşma sırasında zemin bir sıvı gibi davranacağından; yapı temellerinde taşıma gücü kaybına, dönmelere ve devrilmelere yol açabilecektir.

18 Mart 2018 tarihinde resmi gazetede yayımlanan ve 1 Ocak 2019 tarihi itibari ile yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018)'de, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği (DBYBHY 2007) üzerine çeşitli eklemeler yapılmasının yanı sıra kayda değer değişiklikler de yapılmıştır. Bu değişikliklerden bir kısmı sıvılaşma analizinde gerçekleştirilmiş ve bir yöntem tanımlanmıştır. TBDY 2018'de sıvılaşma için özellikle bir bölüm oluşturulmuş ve dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir. Buna göre, bir zeminde sıvılaşma analizinin uygulanması için bazı ön şartlar belirlenmiştir. Bunlar;

- Yer altı su seviyesinin 20 m'den yüksek olması ve deprem etkisinin var olması gerekmektedir (TBDY 2018).
- Zemin profillerinin sıvılaşabilir zemin profili tanımlamasına uyması gerekmektedir. Sıvılaşabilir zeminler kohezyonsuz veya düşük kohezyonlu ($PI < 12$) zeminler olarak tabir edilen siltli kum, çakıllı kum, kum, plastik olmayan silt ve silt kum karışımları olan zeminlerdir (TBDY 2018).

Sıvılaşmanın gerçekleştiği zeminde, meydana gelen deformasyonlar, sıvılaşan tabakanın kalınlığına, yüzeyin eğimine ve yükleme durumuna bağlıdır. Bundan dolayı sıvılaşma potansiyeli olan bölgeler önceden tespit edilmeli, mühendislik yapıları bu bölge dışına yapılmalı veya yapılar sıvılaşma durumuna göre dizayn edilmelidir.

Sıvılaşabilirliğini belirleyen birçok parametre mevcuttur. Bu parametreler laboratuvar ve arazide yapılan gözlem ve deneylere dayanır. Bunları belirleyen yöntemler;

- Örselenmiş numunenin arazide test edilmesi
- Arazi davranışları ve test parametrelerine dayalı amprik bağlantıların kullanılmasıdır.

Laboratuvalarda yapılan testlerin kullanılması numune alımı ve numunenin arazideki gerilmelere konsolidasyon sırasında örselenmeler sebebiyle oldukça zordur. Bu yüzden arazi testleri güvencibilirlik açısından daha doğru sonuçlar vermektedir. Günümüzde arazi testlerinin mühendislik uygulamalarında kullanımını oldukça yaygındır.

Arazi testlerinin yaygın olarak kullanılanlarını sıralarsak;

- Standart Penetrasyon Deneyi,
- Koni Penetrasyon Deneyi,
- Sismik deney metotlarıdır.

Bu testler arasında en eski ve en yaygın olanı Standart Penetrasyon deneyidir ve detaylı olarak ele alınacaktır.

4.1.3 Zemin Sıvılaşmasının SPT Yöntemi İle Tayini

Standart Penetrasyon deneyi ülkemizde ekonomik ve hızlı sonuçlanmasından dolayı yaygın kullanım alanına sahiptir. Geçmişten bu zamana kadar sıvılaşma ile SPT-N arasında pek çok depremden toplanmış zengin veri tabanı bulunmaktadır. (Ichihashi vd. 1992). Geçmiş yıllarda gerçekleşmiş depremlere maruz kalmış zemin davranışları incelenerek, SPT-N darbe sayısına bağlı olarak sıvılaşma potansiyeli araştırmacılar tarafından tahmin edilebilen bir yöntem haline gelmiştir.

İlk olarak Seed ve Idriss (1982) tarafından sıvılaşma hassasiyetinin değerlendirilmesi için basit prosedür çalışmaları yapılmıştır. Sıvılaşma analizi açısından temel olan çalışma zamanla diğer çalışmacılar tarafından geliştirilerek, sıvılaşma hassasiyetinin belirlenmesi için yaygın bir yöntem haline gelmiş ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde de yer almaktadır.

Bu yöntemde, deprem sırasında zeminde sıvılaşmaya karşı güvenliği, zeminin tekrarlı direnç oranının (CRR), depremden kaynaklanan tekrarlı gerilme oranı (CSR) ile kıyaslanmaktadır.

Deprem sırasında oluşan tekrarlı gerilme oranı, Seed ve Idriss (1971) tarafından;

$$CSR = 0,65 \times \frac{PGA}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \times r_d \quad (4.1)$$

Burada; PGA, deprem sırasındaki zemin yüzeyindeki pik yatay yer ivmesi olup inşaat alanındaki beklenen değeri sismik tehlike analizlerine dayalı olarak belirlenmektedir. Bu değer, yeni TBDY’nde sismik tehlike haritasından inşaat alanının koordinatları ve tasarımda seçilen tekerrür aralığına göre elde edilebilmektedir. Yer çekimi ivmesi (g); σ_v ve σ'_v sırasıyla, sıvılaşma değerlendirmesinin yapıldığı derinlikteki (z) toplam ve efektif gerilme; r_d ise gerilme azalım katsayısı olup Denklem 4.2’de verilen derinliğe bağlı ifadelerden belirlenmektedir (Liao ve Whitman 1986).

$$r_d = \begin{cases} 1.0 - 0.00765z & z \leq 9.15m \\ 1.174 - 0.0267z & 9.15 < z < 23m \end{cases} \quad (4.2)$$

Zeminlerin tekrarlı direnç oranının (CRR) belirlenmesinin en makul yöntemi, araziden alınan örselenmemiş numuneler üzerinde tekrarlı üç eksenli, tekrarlı basit kesme, tekrarlı burulmalı kesme deneyleri gibi laboratuvar deneyleri gerçekleştirmektir.

Ancak, numune alımı sırasındaki örselenmeler, cihaz gereksinimleri, zaman ve maliyet gibi faktörlerden dolayı çok özel mühendislik yapıları dışında tekrarlı direnç oranı (CRR) arazi deneylerine dayalı olarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Türkiye’de gerçekleştirilen uygulamalarda ise özellikle SPT’ye dayalı sıvılaşma analizlerinin daha çok tercih edilen bir yöntem olduğu görülmektedir.

Sondaj esnasında yapılan standart penetrasyon deneyinde arazide ölçülen darbe sayısı (SPT-N); enerji oranı, örtü basıncı, tij boyu, sondaj kuyusu çapı ve numune alıcı türü gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle, SPT’ye dayalı hesaplamalarda kullanılacak olan SPT-N değerlerinin öncelikle düzeltilmesi gerekmektedir. 100 kPa’lık örtü basıncı ve % 60 enerji verimliliği için düzeltilmiş SPT-N değerleri, $(N_1)_{60}$, Denklem 4.3’den elde edilebilir. Yeni TBDY’nde farklı SPT ekipmanları için önerilen düzeltme faktörleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

$$(N_1)_{60} = N C_N C_E C_B C_R C_S \quad (4.3)$$

N = Ölçülen Spt Darbe Vuruş Sayısı

C_N = Üst Tabaka Yüğü Düzeltme Katsayısı

C_E = Enerji Oranı Düzeltme Katsayısı

C_B = Kuyu Çap Düzeltme Katsayısı

C_R =Tij Boyu Düzeltme Katsısı

C_S = Numune Alma Metodu Düzeltme Katsayısı

$$C_N = 9,78\sqrt{(1/\sigma'v_0)} \quad (C_N \leq 1.7) \quad (4.4)$$

$$N_{1,60} = N_{60} * C_N \quad (4.5)$$

$$\text{İçsel Sürtünme Açısı} = 27,10 + N_{60} * 0,3 - 0,00054 * N_{60}^2 \quad (4.6)$$

İnce dane oranı %5'den az olan temiz kumlar ($FC \leq \%5$) için $M_w = 7.5$ büyüklüğündeki depremler için sıvılaşmanın yaşandığı bölgeleri ayıran eğri, Youd vd. (2001) tarafından temiz kum eğrisi olarak tanımlanmakta ve bu durum için tekrarlı direnç oranı ($CRR_{7.5}$) Denklem 4.7'deki gibi formüle edilmektedir:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60,cs}} + \frac{(N_1)_{60,cs}}{135} + \frac{50}{[10 \cdot (N_1)_{60,cs} + 45]^2} - \frac{1}{200} \quad (4.7)$$

Kum içerisindeki ince dane miktarı artışı zeminin tekrarlı kayma direncini artırmaktadır. 100 kPa'lık örtü basıncı ve 7.5 büyüklüğündeki deprem için, ince dane oranının %5'den fazla olması durumunda düzeltilmiş $(N_1)_{60}$ değerleri Denklem 5 kullanılarak eşdeğer temiz kum değerlerine $(N_1)_{60,cs}$ dönüştürülmektedir. Burada α ve β ifadeleri ince dane oranına bağlı olarak Denklem 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.

Deprem büyüklüğünün $M_w = 7.5$ 'den farklı olması, örtü basıncının 100 kPa'dan fazla olması ve zeminin deprem öncesinde başlangıç statik kayma gerilmelerine maruz kalması durumları için, tekrarlı direnç oranı Denklem 4.11'deki gibi geliştirilebilir.

$$(N_1)_{60,cs} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (4.8)$$

$$\alpha = \begin{cases} 0 & ; FC \leq \%5 \\ \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] & ; \%5 \leq FC \leq \%35 \\ 5 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (4.9)$$

$$\beta = \begin{cases} 0 & ; FC \leq \%5 \\ 0.99 + \left(\frac{FC^{1.5}}{1000} \right) & ; \%5 \leq FC \leq \%35 \\ 1.2 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (4.10)$$

Deprem büyüklüğünün $M_w = 7.5$ 'den farklı olması, örtü basıncının 100 kPa'dan fazla olması ve zeminin deprem öncesinde başlangıç statik kayma gerilmelerine maruz kalması durumları için, tekrarlı direnç oranı Denklem 4.11'deki gibi genişletilebilir.

Çizelge 4.1 SPT düzeltme katsayıları (Youd vd. 2001).

SİMGE	DEĞİŞİM	DEĞER
C_E	Emniyet tipi-USA	0.60-1.17
	Simit Tipi-USA TR	0.45-1.00
	Otomatik -UK	0.90-1.60
C_B	65-115mm	1.00
	150mm	1.05
	200mm	1.15
C_S	Standart kaşık	1.00
	Numune tüpsüz kaşık	1.10-1.30
C_R	3-4 m	0.75
	4-6 m	0.85
	6-10 m	0.95
	>10 m	1.00

$$CRR_{M,0v}' = CRR_{7.5} \times C_M \times K_\sigma \times K_S \quad (4.11)$$

Burada; C_M , Denklem 4.12'de tanımlanan deprem magnitudü düzeltme faktörüdür. K_σ örtü basıncı düzeltme faktörü olup Denklem (4.13)'de verilmiştir. Denklem 4.13'deki f ifadesi zeminin rölatif sıkılığına bağlı 0.6 ile 0.8 arasında bir değerdir (Youd vd. 2001). K_S düzeltme faktörü ise başlangıç statik kayma gerilmesinin etkisini hesaba katan bir parametre olup günümüzde genellikle ihmal edilmektedir.

$$C_M = (M_w / 7.5)^{-2.56} \quad (4.12)$$

$$K_\sigma = (\sigma_v' / 100)^{f1} \quad (4.13)$$

Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı ise Denklem 4.1 ve 4.11’de tanımlanan gerilme oranlarına bağlı olarak Denklem 4.14’deki gibi tanımlanmaktadır. Literatürde güvenlik sayısının genellikle 1.1’in altında olması durumu, zeminin sıvılaşma hassasiyetinin varlığını işaret etmekte olup yeni TBDY’nde de bu değer aynen kullanılmıştır.

$$FS = CRR_{M,\sigma_v'} / CSR \quad (4.14)$$

4.2 SIVILAŞMANIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu ($PI < 12$) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış olarak tanımlanmaktadır. Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı su tablasının altında yer alan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımlarıdır (TBDY 2018, Madde16.6).

M=7,5 senaryo depremine göre Youd vd. (2001) metodu ile sıvılaşma analizi yapılmış sıvılaşma analiz sonuçları Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

Sıvılaşma Analizi Sonuçları:

Çizelge 4.2 Sıvılaşma Analiz Verileri

M	S _{ds}	Yoğ. (kN/m ³)
7,5	0,874	18,45

Çizelge 4.3 Sıvılaştırma Analiz Sonuçları.

Son. No	Der. (m)	YASS (m)	N	İnce Mlz (%)	Yoğ. kN/m ³	Topl. Gerl. (kPa)	Efek. Gerl. (kPa)	rd	C _N	C _R	C _S	C _B	C _E	N _{1,60}	N _{1,60f}	τ _{deprem}	τ _R	Ham GS	İDO Düz.	GS	Sıvılaştırma
SK1	1,73	5,9	2	48,1	18,45	31,92	31,92	0,99	1,70	0,75	1	1	1	2,55	8,06	7,16	3,08	0,43	0,43	1,20	YOK
SK1	4,73	5,9	11	43,4	18,45	87,27	87,27	0,96	1,05	0,85	1	1	1	9,79	16,75	19,11	15,54	0,81	0,81	1,20	YOK
SK1	7,23	5,9	R	19,5	18,45	133,39	120,35	0,94	0,89	0,95	1	1	1	R	R	28,64	34,36	1,20	1,20	1,20	YOK
SK1	10,23	5,9	22	19,5	18,45	188,74	146,27	0,90	0,81	1,00	1	1	1	17,79	22,67	38,64	36,83	0,95	0,95	0,95	VAR
SK1	11,73	5,9	23	19,5	18,45	216,42	159,23	0,86	0,78	1,00	1	1	1	17,83	22,71	42,33	40,18	0,95	0,95	0,95	VAR
SK1	13,23	5,9	24	19,5	18,45	244,09	172,19	0,82	0,75	1,00	1	1	1	17,8	22,78	45,53	43,63	0,96	0,96	0,96	VAR
SK1	14,73	5,9	16	13,9	18,45	271,77	185,15	0,78	0,72	1,00	1	1	1	11,50	14,16	48,21	28,07	0,58	0,58	0,58	VAR
SK1	16,23	5,9	28	11,8	18,45	299,44	198,11	0,74	0,69	1,00	1	1	1	19,46	21,53	50,40	46,63	0,93	0,93	0,93	VAR
SK1	17,73	5,9	R	11,8	18,45	327,12	211,07	0,70	0,67	1,00	1	1	1	R	R	52,08	62,50	1,20	1,20	1,20	YOK
SK1	19,23	5,9	R	11,8	18,45	354,79	224,03	0,66	0,65	1,00	1	1	1	R	R	53,26	63,91	1,20	1,20	1,20	YOK
SK2	1,73	6,2	3	46,6	18,45	31,92	31,92	0,99	1,70	0,75	1	1	1	3,83	9,59	7,16	3,49	0,49	0,49	1,20	YOK
SK2	3,23	6,2	4	46,6	18,45	59,59	59,59	0,98	1,27	0,75	1	1	1	3,80	9,56	13,21	6,51	0,49	0,49	1,20	YOK
SK2	5,73	6,2	7	49,7	18,45	105,72	105,72	0,96	0,95	0,85	1	1	1	5,66	11,79	22,97	13,66	0,59	0,59	1,20	YOK
SK2	7,23	6,2	11	39,9	18,45	133,39	123,29	0,94	0,88	0,95	1	1	1	9,20	16,05	28,64	21,04	0,73	0,73	0,73	VAR
SK2	8,73	6,2	R	33,1	18,45	161,07	136,25	0,93	0,84	0,95	1	1	1	R	R	34,16	40,99	1,20	1,20	1,20	YOK
SK2	10,23	6,2	24	33,1	18,45	188,74	149,21	0,90	0,80	1,00	1	1	1	19,22	27,57	38,64	52,98	1,37	1,37	1,37	YOK
SK2	11,73	6,2	R	48,8	18,45	216,42	162,17	0,86	0,77	1,00	1	1	1	R	R	42,33	50,80	1,20	1,20	1,20	YOK
SK2	13,23	6,2	R	48,8	18,45	244,09	175,13	0,82	0,74	1,00	1	1	1	R	R	45,53	54,63	1,20	1,20	1,20	YOK
SK3	1,73	6,1	3	49,1	18,45	31,92	31,92	0,99	1,70	0,75	1	1	1	3,83	9,59	7,16	3,49	0,49	0,49	1,20	YOK
SK3	3,23	6,1	4	47,7	18,45	59,59	59,59	0,98	1,27	0,75	1	1	1	3,80	9,56	13,21	6,51	0,49	0,49	1,20	YOK
SK3	4,73	6,1	12	37,8	18,45	87,27	87,27	0,96	1,05	0,85	1	1	1	10,68	17,81	19,11	16,55	0,87	0,87	1,20	YOK
SK3	8,73	6,1	R	28,7	18,45	161,07	135,27	0,93	0,84	0,95	1	1	1	R	R	34,16	40,99	1,20	1,20	1,20	YOK
SK3	10,23	6,1	R	28,7	18,45	188,74	148,23	0,90	0,80	1,00	1	1	1	R	R	38,64	46,37	1,20	1,20	1,20	YOK
SK3	11,73	6,1	R	28,7	18,45	216,42	161,19	0,86	0,77	1,00	1	1	1	R	R	42,33	50,80	1,20	1,20	1,20	YOK
SK3	13,23	6,1	R	28,7	18,45	244,09	174,15	0,82	0,74	1,00	1	1	1	R	R	45,53	54,63	1,20	1,20	1,20	YOK
SK3	14,73	6,1	R	28,7	18,45	271,77	187,11	0,78	0,71	1,00	1	1	1	R	R	48,21	57,86	1,20	1,20	1,20	YOK
SK3	17,73	6,1	R	28,7	18,45	327,12	213,03	0,70	0,67	1,00	1	1	1	R	R	52,08	62,50	1,20	1,20	1,20	YOK
SK3	19,23	6,1	R	28,7	18,45	354,79	225,99	0,66	0,65	1,00	1	1	1	R	R	53,26	63,91	1,20	1,20	1,20	YOK



BÖLÜM 5

YAPILAN ÇALIŞMALAR

5.1 ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMİ

Dünya nüfüsü artışı ve buna bağlı olarak kentleşmenin planlı olarak artması, barınma alanlarının artmasına, yapı boyutları ve yapı yüksekliklerinin artışıyla beraberinde getirmektedir. Bununla birlikte yapıların problemleri olan; dere yataklarına, döküm sahalarına, yapay dolgu alanlarına yapılaşma zorunluluğunu doğurmaktadır. Ayrıca inşası planlanan yapı, her zaman sağlam zemin özelliklerine sahip olmayabilir. Tüm bunların sonucunda, geoteknik çalışmaların tamamına yakını zeminden kaynaklanan problemlere çözüm bulma amaçlıdır.

Temel sistemleri yüzeysel ve derin olmak üzere iki türden oluşmaktadır. Yüzeysel temel seçilirken, yapı temelinden zemine aktarılacak olan yükün; taşıma gücü yetersizliği, izin verilen oturma miktarının geçilmesi ve/veya sismik etkilerden ortaya çıkan dinamik etkiler altında meydana gelebilecek sıvılaşma ve yumuşama problemleri olmadan taşıyabilecek zeminler seçilmelidir. Derin temel seçilirken, zayıf zemin olarak nitelendirilen problemleri zeminlerde, problemlerin cinsine göre belirlenecek zemin iyileştirme yöntemi kullanılmalıdır. Zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanılmasıyla; zemin kayma direncinde artışı, iri daneli zeminlerde sıklığın artışı, daneli zeminlerde kıvam artışı olmaktadır. Zemin permeabilitesinde azalma görülmektedir. İri daneli zeminin sıklığı artması, ince daneli zeminin kıvamının artması tüm zemin gruplarında kayma direncinin artması ve geçirimsizliğin azalması zemin iyileştirme yöntemi olarak tanımlanmaktadır (Sağlamer 1985).

Zemin iyileştirmelerde uygun yöntemde izlenmesi gereken bazı aşamalar;

- a) İyileştirmenin maliyet analizi
- b) İyileştirme alanına yapılacak yapının türü, geometrik özellikleri ve yük dağılımının incelenmesi;

c) Zeminin jeolojik yapısı, mekanik özellikleri (kayma direnci, geçirimsizlik) ve yer altı su seviyesi şeklinde sıralanabilir.

Çizelge 5.1’de zemin iyileştirme yöntemleri ve kullanım amaçları Anonim (2007) gösterilmiş olup, uygun yöntemlerin kullanımıyla; zeminde kayma dayanımı ve gerilme deformasyon modülü artarken, sıkışabilirliği, şişme ve büzülme potansiyeli, geçirimsizliği ve sıvılaşma potansiyeli azalmaktadır. Tez içeriği kapsamında detaylı olarak jet grout kolonları anlatılacaktır (Kurtoglu 2014).

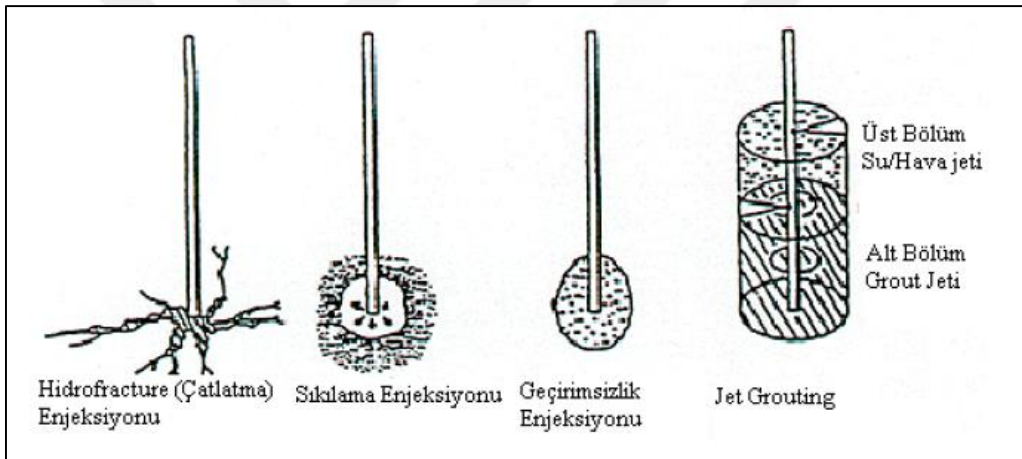
Çizelge 5.1 Zemin İyileştirme Yöntemleri Ve Kullanım Amaçları (Anonim 2007).

ANA YÖNTEMLER	YÖNTEMLER	ZEMİN TÜRÜ		ZEMİN İYİLEŞTİRME AMACI						
		Daneli	Kohezyonlu	Taşıma Gücü	Oturma Kontrolü	Stabilite	Çevresel Nedenler	Sıvılaşma	Su Akımı Kesme	
SIKIŞTIRMA	TITREŞİMLİ SIKIŞTIRMA İŞLEMLERİ	Vibro Sondalar	**		*	*			**	
		Kum Sıkıştırma Kazıkları	**		*	*			**	
		Vibroflasyon	**		*	*			**	
		Sıkıştırma Kazıkları	**	**	**	**			**	
	STATİK VEYA DİNAMİK ŞOK	Dinamik Kompaksiyon	**	*	**	**		*	*	
		Patlatma	**		*	*			**	
YAPAY DRENLER KULLANILARAK/ KULLANILMADAN ÖNYÜKLEME İLE KONSOLİDASYON	Aşırı Dolgu ile Önyükleme		*	*	*					
	Yer altı su seviyesinin düşürülmesi ile Ön Yükleme		*	*	*					
ZEMİN GÜÇLENDİRME	Taş Kolonlar	*	**	**	**	**	*	**		
	Kireç Kolonlar		*	**	**	**	*	**		
	Derin Karıştırma	*	*	**	**	**	*	**	*	
ZEMİN ENJEKSİYON TEKNİKLERİ (ZEMİN GÜÇLENDİRME)	Permeasyon Enjeksiyonu	*		*	*	*	*	*	*	
	Çatlatma Enjeksiyonu		*	*	**		*			
	Kompaksiyon Enjeksiyonu	*	*	*	**			**		
	Jet Enjeksiyon	**	*	**	**	*	*	**	*	

5.2 JET GROUT KOLON UYGULAMASI

Jet Grout ilk olarak Yamakado vd. (1965) tarafından kullanılmıştır. Daha sonraki yıllarda hassas yapıların inşasına mümkün kılan bu teknik 1973'ten beri evrensel olarak kullanılmaktadır. Yöntemdeki amaç; kesilen zeminin enjeksiyon malzemesi ile mekanik karıştırıcılar yardımıyla yer değiştirme işleminin gerçekleşmesidir. Jet grout tekniği kabaca dörde ayrılan teknikler arasındadır (Şekil 5.1). Bu teknikler;

1. Hydrofracture (Çatlatma) enjeksiyonu,
2. Sıkılama enjeksiyonu,
3. Geçirimsizlik enjeksiyonu,
4. Jet Grout Kolonu Yöntemidir.

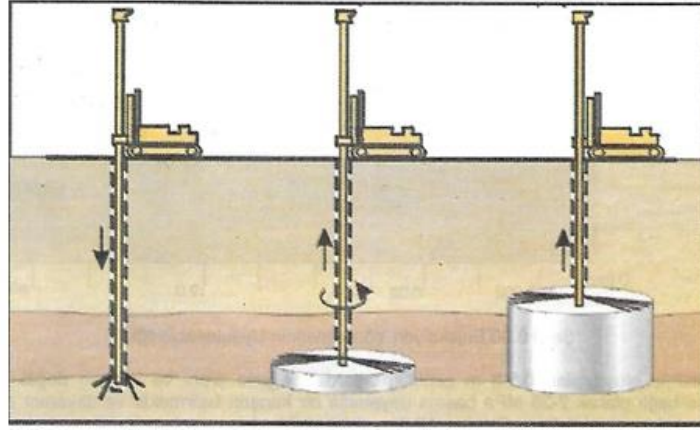


Şekil 5.1 Temel Enjeksiyon Teknikleri.

5.2.1 Jet Grout Uygulama Tekniği

Zeminlerin iyileştirilmesi ve yapıdan zemine iletilen yüklerin dayanıklı zemine aktarılması jet enjeksiyonlarıyla (Yüksek Modüllü Kolon) sağlanır. Kolonlar imal edilirken çimento ile mevcut zemin mekanik karıştırıcılar yardımıyla işlem yapılırsa derin karıştırma (deep mixing) olarak adlandırılır. Kolonların imalat şekillerinden biride Jet Grouttur. Bu uygulama yapılırken delgi işleminden sonra 300-600 bar basınçta çimento içeren şerbet zemine enjekte edilir ve zeminle karışması sağlanır. Bu işlem tamamlandıktan sonra tij ve monitör yüzeye alınır (Dursunoğlu 2004) .

Jet Grout uygulanasına ilk olarak proje belirtilen seviyeye kadar sondaj delgisi yapılarak başlanır. Projeden belirtilen seviyeye kadar inildikten sonra örselenmiş zemine yüksek basınçla su/çimento oranını 1/1 olan su ve çimento enjekte edilir ve örselenmiş zeminle karışması sağlanır. Ardında jet tiji ve monitör yüzeye alınır (Şekil 5.2).



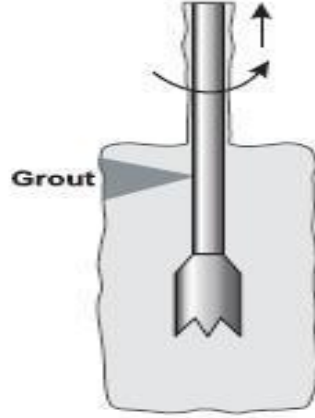
Şekil 5.2 Jet Grout Yöntemi (Önalp ve Sert 2010).

Jet grout yöntemleri; Jet 1, Jet 2, Jet 3 ve Süper Jet yöntemleri olarak adlandırılan 4 teknikle uygulanır. Bu teknikler; amaçlarına, kullanım şeklin, zemin yapısına ve jet grout kolon özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir.

5.2.1.1 Jet 1 Tekniği

Jet grout teknikleri arasında en çok kullanılanıdır. Enjeksiyon malzemesinin bir veya birkaç nozzleden yaklaşık 190-200 m/s ve 350-600 bar basınçla zemine basılmasıdır. Bu teknik kullanılırken kolonların çapı ve zeminin özelliklerine göre farklılıklar göstermektedir. Kil içerikli zemin 60-80 cm, kum çakıl 100-120 cm çaplarında kolonlar imal edilmektedir.

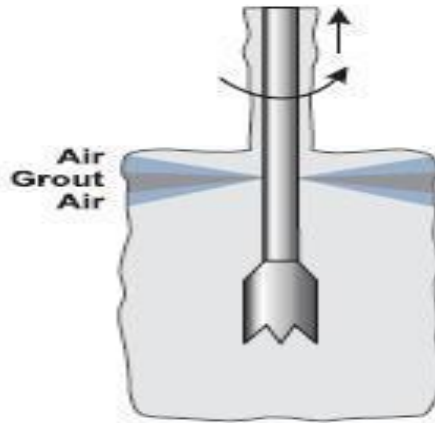
Şekil 5.3’de Jet 1 yöntemi şeması gösterilmiş olup yöntem çakıllı zeminlerde yaygın olarak kullanılmaktadır (Akan 2013).



Şekil 5.3 Jet 1 Tekniği (Stark ve diğ. 2009).

5.2.1.2 Jet 2 Tekniği

Jet 2 tekniğinde Jet 1 tekniğine ek olarak hava jeti kullanılmaktadır. Sistemdeki orta borudan grout, dış borudan ise basınçlı hava (8–12 bar) geçer. Basınçlı hava yardımıyla, kinetik enerji sürtünme kayıplarını azalttığından kolon çapları jet 1'e kıyasla % 60 - 80 daha büyük olur. Jet 2 yöntemi kohezyonlu zeminlerde daha kullanışlıdır. Bu tekniğin kullanımı ile kolon çapları orta sıkı zeminlerde 1.0 m'den gevşek zeminlerde ise 1.8 m'den fazla kalınlığa ulaşabilmektedir. Şekil 5.4'de Jet 2 yöntemi şeması gösterilmiştir.

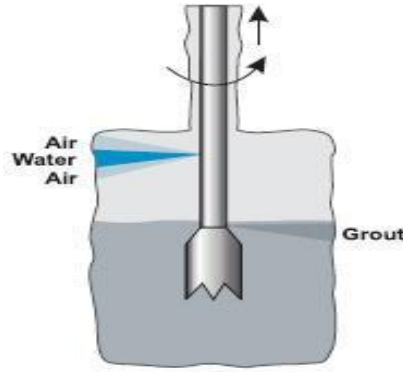


Şekil 5.4 Jet 2 Tekniği (Stark ve diğ. 2009).

5.2.1.3 Jet 3 Tekniği

Jet 3 tekniği yüksek enerjili su jeti ile zemini parçaladığı, aynı zamanlı olarak enjeksiyon karışımının başka bir noktadan püskürtülerek elde edildiği jet enjeksiyon işlemidir. Bu

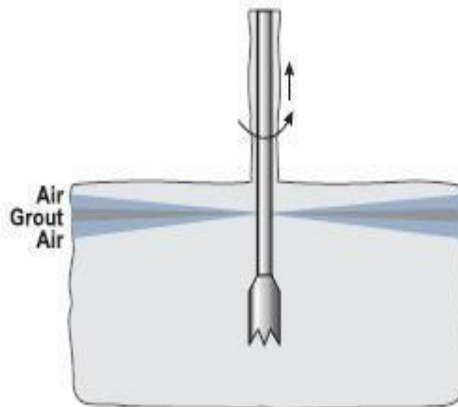
metotta üç borunun iç içe kullanılması ile borudan 400–600 bar basınçlı su, ara borudan da 8-12 bar basınçlı hava nozzlelerden çıkış yapmaktadır. En dış borudan su - hava karışımı içine 30-80 bar basınçlı jet grout ise ayrı bir nozzleden enjekte edilmektedir. Böylelikle grout kolonları boyutları 2 metre çapa kadar imal edilebilmektedir. Jet 3 tekniği kohezyon içerikli zeminler için en etkili yöntemdir. Jet 3 yöntemi şeması Şekil 5.5'te gösterilmiştir (Yağızaltı 2012).



Şekil 5.5 Jet 3 Tekniği (Stark ve diğ. 2009).

5.2.1.4 Süper Jet Tekniği

Bu teknikte kolon çapları diğer yöntemlere göre çok hızlı sürede ve daha ekonomik olarak imal edebilmek için geliştirilen yöntemdir. Bu yöntemde kolon imalatı yapılırken tijler (15 cm çapta) projede belirtilen seviyeye kadar indirilir ve tijlerin ucunda yer alan büyük çaplı nozzlelerden çimento ile hava karışımı yüksek basınçta püskürtülür ve zemin örselenerek Şekil 5.6'te gösterildiği gibi zemin - çimento karışımı kolonlar oluşur.



Şekil 5.6 Süper Jet Tekniği (Küsin 2009).

Süper jet yönteminde tijlerin çekme ve dönme hızları diğer jet grout yöntemindekine göre daha azdır. Süper jet kolonları imal edilirken; 7mm/dakika çekme hızı, 3 – 4 devir / dakika dönüş hızı uygulanır. Jet Grout harcı 40MPa enjeksiyon basıncı ile 4m çapa kadar kolon boyutu olabilmektedir (Bell vd. 2003).

5.3 SONLU ELEMANLAR METODU

Sonlu elemanlar yöntemi mühendislik alanlarının birçoğunda kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi geoteknik problemlerin çözümünde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar yöntemi ilk kez Zienkiewicz tarafından 1977 yılında kullanılmıştır (Potts ve Zdravkovic 1999).

Plaxis 2D programı statik ve dinamik yükler altında elastik ve elastoplastik şekil değiştirmelerin analizini yapabilmektedir. Programda zemin ortamı katı ve sıvı olmak üzere iki fazlı olarak ele alınmaktadır. Drenajlı ve drenajsız zeminler için çözüm üretebilmektedir (Plaxis Manuel 7 1997).

Bu çalışmada plaxis programının 2016 versiyonu kullanarak jet grout kolonları ile iyileştirilmiş bir zeminin deprem etkisi altındaki davranışı incelenmiştir.

5.3.1 Zemin Modelleri

Plaxis yazılımında, zeminin modellenmesinde 6 farklı model kullanılmaktadır. Bu modeller ve modellerde kullanılan parametreler kısaca özetlenmiştir.

- Lineer Elastik Model: Zeminin modellenmesinin dışında rijit yapıların modellenmesinde de kullanılmaktadır. Rijit yapı modelleri tasarlanırken; izotropik lineer elastik malzemelerin Hooke kanunu referans alınır. Elastisite modülü (E), ve Poisson oranı (ν) değerleri girilir.
- Mohr–Coulomb Model: Zemin modeli tanımlamasında sıklıkla kullanılmaktadır. Zemin davranışının tanımlamasında 5 parametreye ihtiyaç vardır. Kullanılan parametreler; Elastisite modülü (E), Poisson oranı (ν), kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ)'dir.

- Jointed-Rock Model: Plastik kaymanın, sınırlı sayıda kayma doğrultularından oluştuğu tabakalı veya birleşik kayaların davranışını modellemede kullanılan anizotropik elasto-plastik modeldir. Modelde giriş parametreleri olarak kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) ile Elastisite modülü (E), Poisson oranı (ν) değerleri girilmektedir.

4) Soft Soil Model: Aşırı konsolidasyon oranı (OCR) 2'den küçük olan; killi siltler, normal konsolide killer, yumuşak zemin olarak kabul edilen zeminleri modellemede kullanılır. Model parametreleri olarak kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ), modifiye sıkışma ve kabarma indekslerine de ihtiyaç duyulur.

5) Soft Soil Creep Model: Yumuşak zeminlerin zaman bağlı değişiminin modellenmesinde kullanılır. SSM deki parametrelere ek olarak modifiye sünme indeksine ihtiyaç duyulur.

6) Hardening Soil Model: Model kullanımıyla kum, çakıl, kil ve silt gibi modeller tanımlanabilir. Mohr Coulomb modeline göre çok fazla kullanılan hiperbolik ve elastoplastik zemin modelidir. Mohr Coulomb modelinde olduğu gibi gerilme seviyesi kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) ile sınırlandırılmıştır.

BÖLÜM 6

MODEL VE ANALİZ

Çalışma alanında daha önceden yapılmış olan detaylı sondaj raporları incelenmiş ve arazi topoğrafik ölçümleri ve bazı parametrelere ulaşılmıştır. Analizlerde kullanılan geoteknik parametreler Çizelge 6.1’ de verilmiştir.

Proje verileri ışığında bölgede yapılan zemin etütleri ve geoteknik raporlardan yeraltı su seviyesi yeryüzünden 5.7m-6.2 m aşağıda olup sırasıyla kum dolgu, kil kum, siltli kum ve kum taşı olmak üzere 4 farklı zemin sınıfı bulunmaktadır. Kazık tasarımına esas zemin profili, kuyu logları ve deney sonuçları baz alınarak aşağıdaki şekilde idealize edilmiştir.

Analizlerde zemin Mohr Coulomb modeliyle tanımlanmıştır. Çizelge 6.1’de temel ve yapı yükü olarak beton malzeme tanımlanmıştır. Zemin yüzeyinde mevcut yapı yükleri modele yapı yükünü temsilen 120 kPa yayılı yük tanımlanmıştır.

Çizelge 6.1 Malzeme Parametreleri.

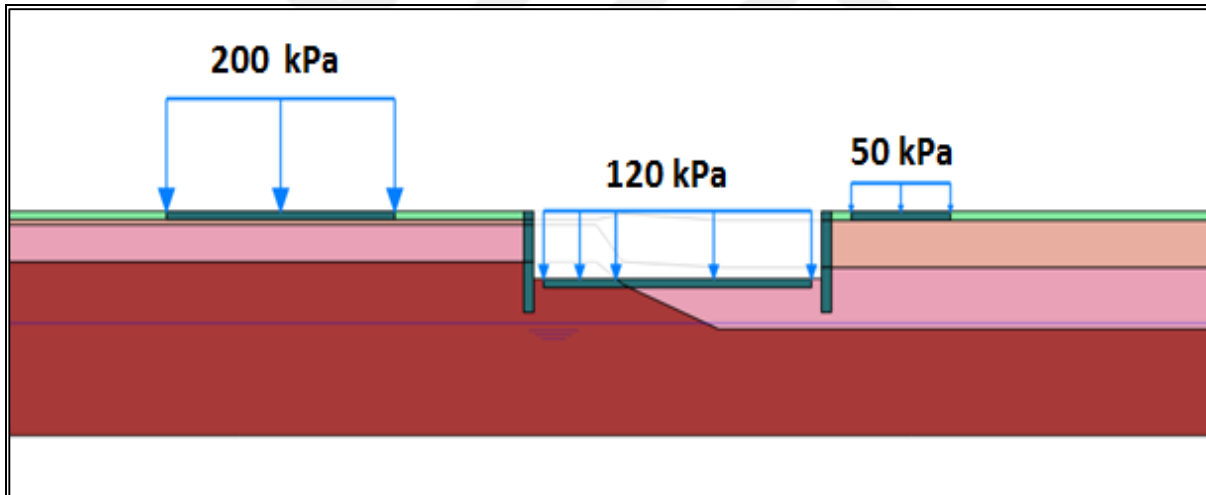
	Dolgu	Kil Taşı	Killi Kum	Siltli Kum
Malzeme Modeli	MC	Lineer Elastik	MC	MC
Drenaj Durumu	Drenajlı	Geçirimsiz	Drenajlı	Drenajlı
γ_n (kN/m ³)	17	21	18	18
γ_{sat} (kN/m ³)	20	21	19	19
E (kPa)	30000	350000	2700	5500
ν	0.3	0.4	0.3	0.3
c' (kPa)	0		5	15
ϕ' (°)	34		20	25
Ψ (psi)	4		0	0

Modelde üst yapı parametreleri için temel malzemesi olarak beton tanımlanmıştır. Çizelge 5.2’de analize kullanılan üst yapı parametreleri ayrıntılı olarak belirtilmiştir.

Çizelge 6.2 Üst Yapı Parametreleri.

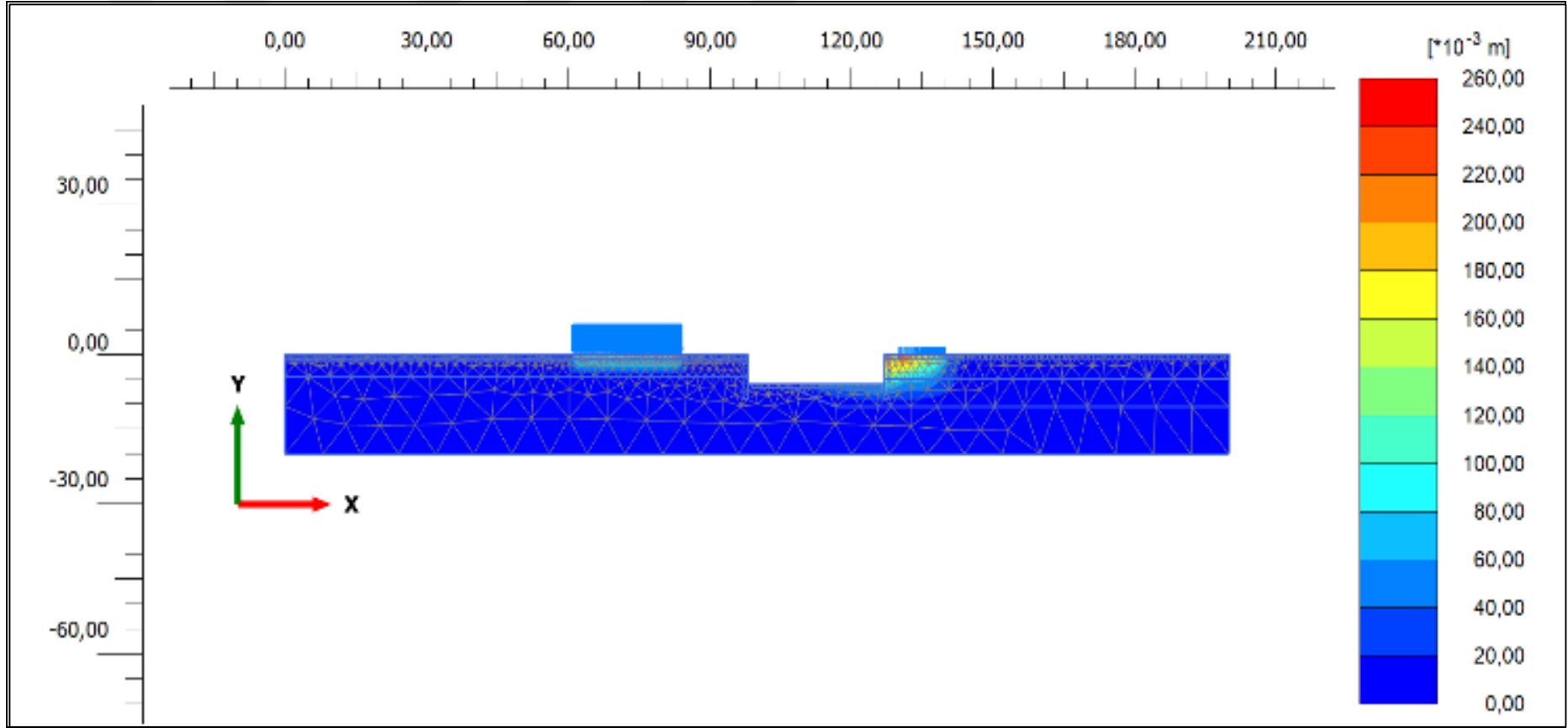
Malzeme	Malzeme Modeli	Drenaj Durumu	$\rho(kN/m^3)$	E (GPa)	v
Yayılı Temel	Linear Elastik	Geçirimsiz	24	30	0.2

Yapının inşa edileceği alanının Plaxis programında modeli Şekil 6.1’de gösterilmiştir. Yapının sol tarafındaki 10 katlı yapı 200 kPa ve Sağ tarafındaki yapı 50 kPa zemin iletilen yükü olarak hesaplanmıştır. 2 katı bodrum toplamda 6 katlı yapı inşa edilecek alanda öncelikle 6 m kazı yapılmıştır. Kazı alanı sağ ve sol tarafta olmak üzere 1 m genişliğinde beton perde duvarlarla desteklenmiştir. Radye temel kalınlığı 80 cm olarak modellenmiştir.

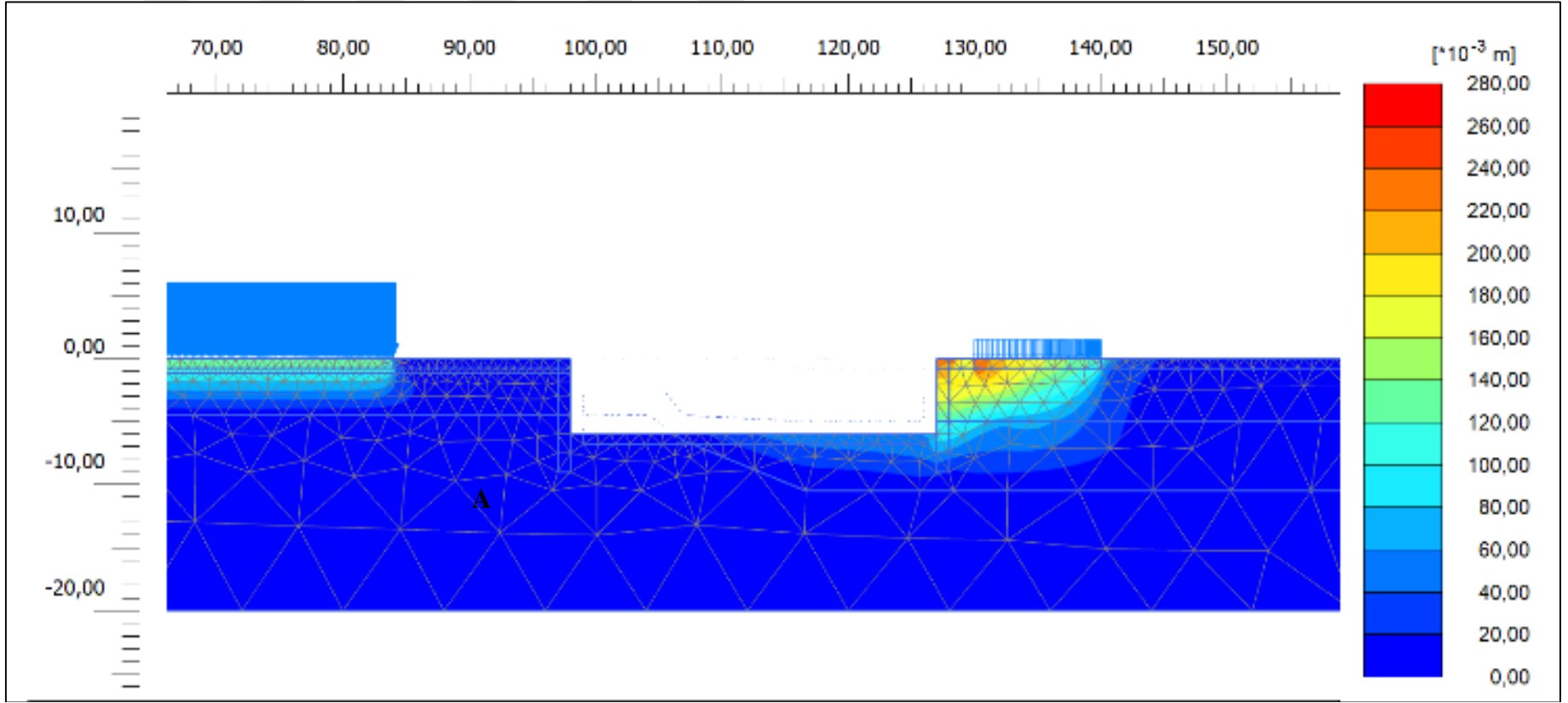


Şekil 6.1 Yapı Modeli.

Kazı alanı Şekil 6.2’de görülmek üzere, uzun dönem analizinde en fazla deformasyon 25.79 cm görülmektedir.



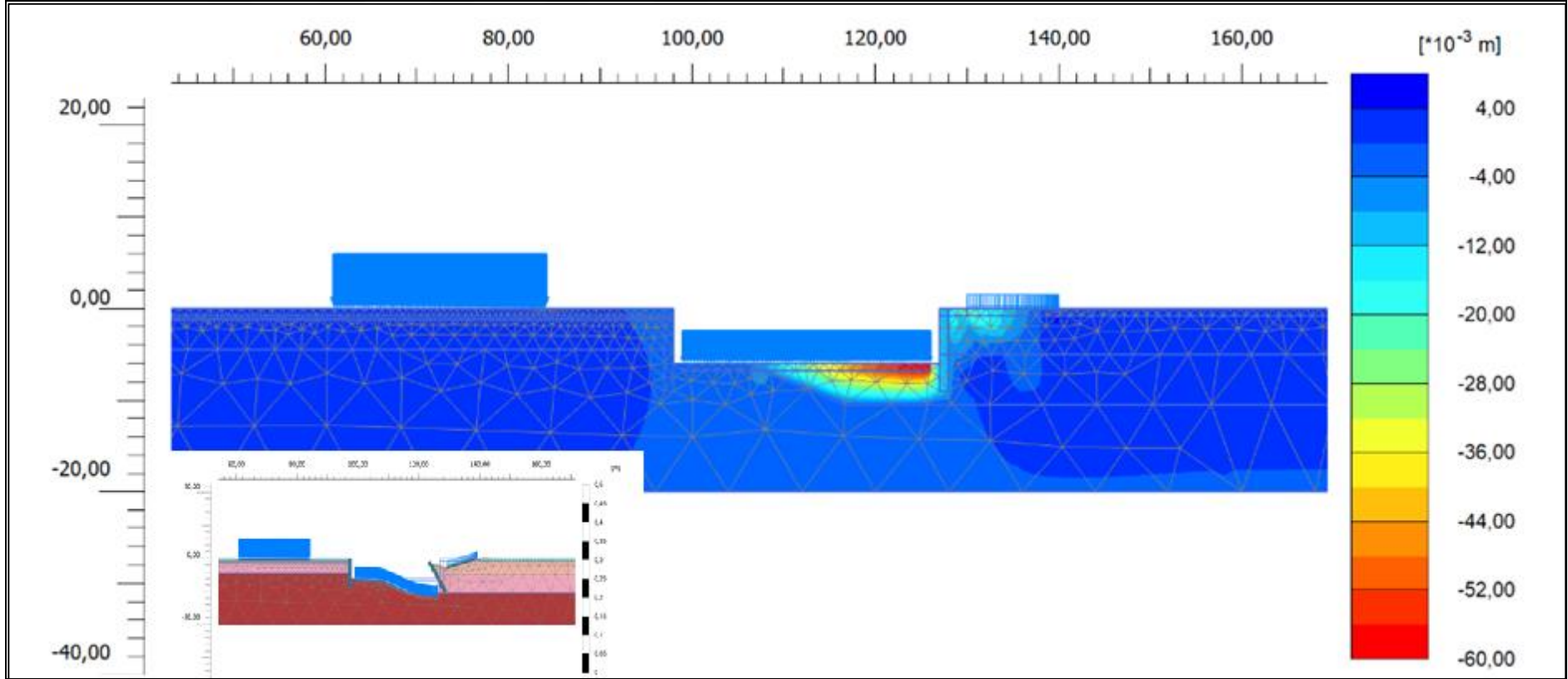
Şekil 6.2 Toplam Yerdeğistirme 25.79 cm (Kazı Alanı).



Şekil 6.3 Toplam Yerdeğiştirme 26.13 cm (Duvar deformasyon).

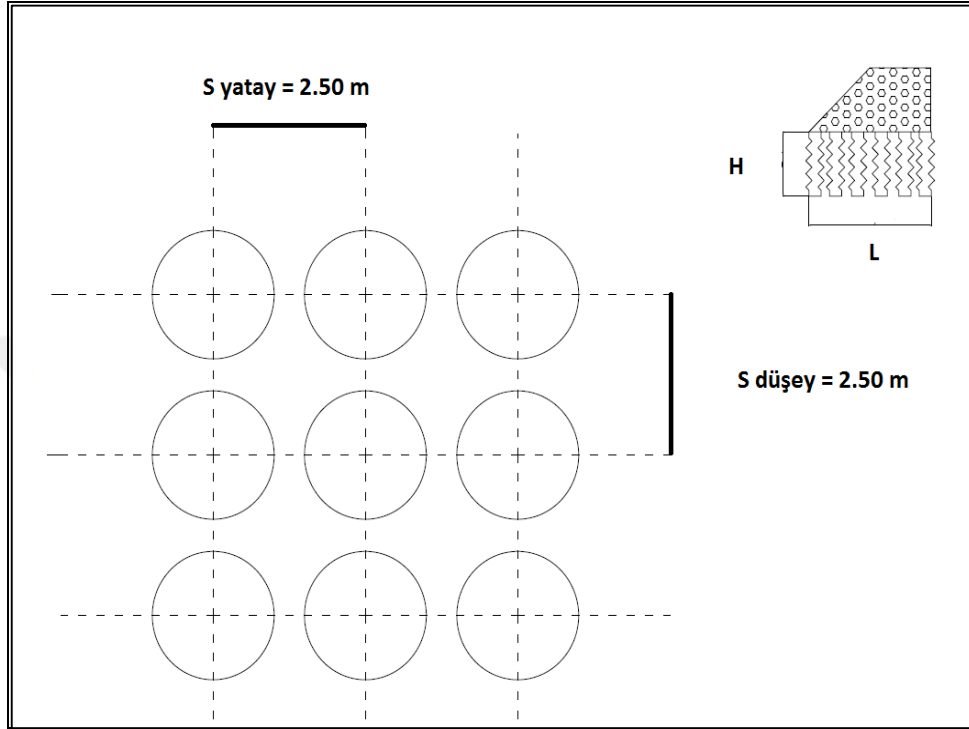
İyileştirmesiz durum için şekil 6.3’de görülmek üzere uzun dönem analizinde sağ taraf duvarda en fazla oturma 26.13 cm görülmektedir.

Üst yapı inşaatı tamamlandığında yaklaşık 6 cm farklı oturma görülmektedir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4 Toplam Yerdeğiştirme 59,76 mm Farklı Oturma.

Farklı oturmadan dolayı temel altı zemin iyileştirmeye gidilmiş ve jet grout kolonu uygulanmıştır. Temel altında uygulanan zemin iyileştirmesi, maksimum kolon açıklığı 2.50*2.50 m, kolon çapı 1 m, yatay ve düşey kolon aks aralığı 2.50 m olarak Şekil 6.5’de verilen kolon yerleşimiyle analiz edilmiştir.

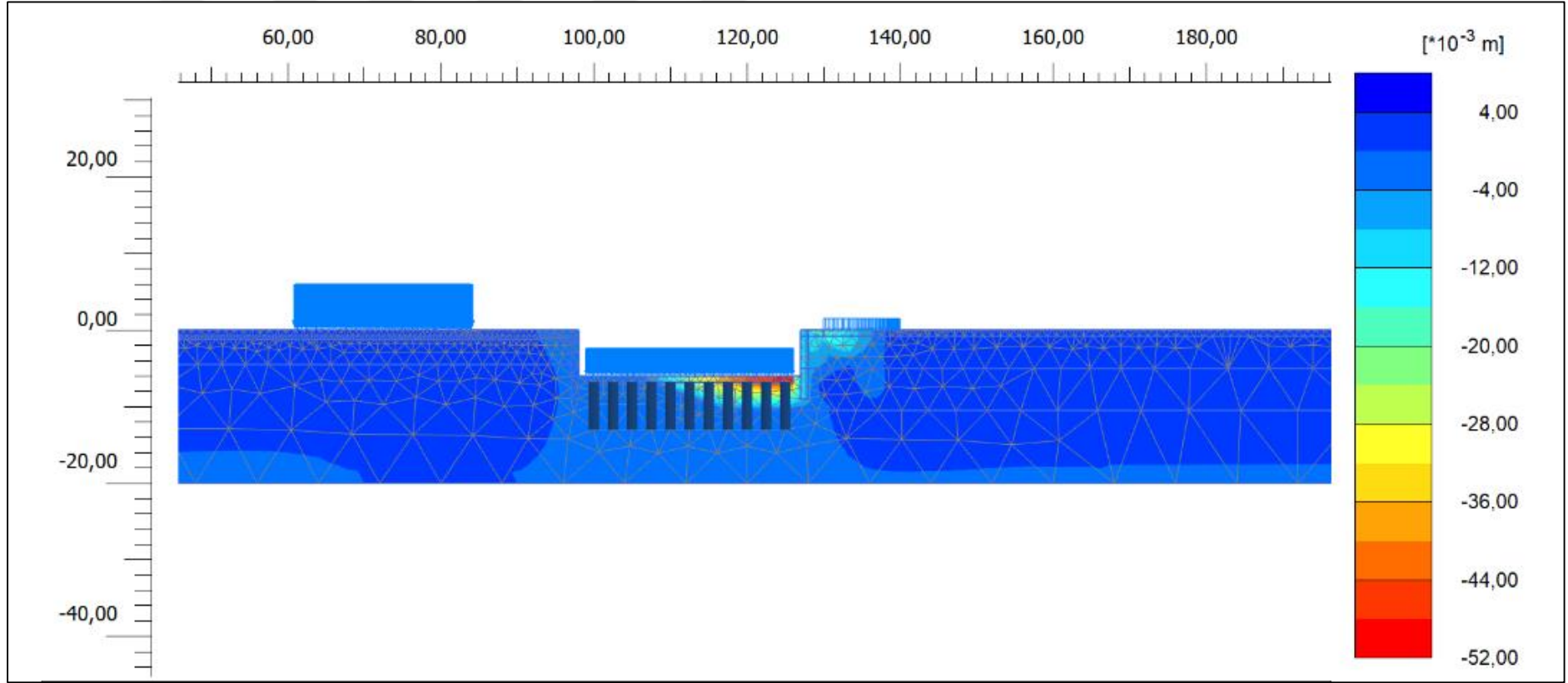


Şekil 6.5 Jet Grout Kolon Yerleşim Planı.

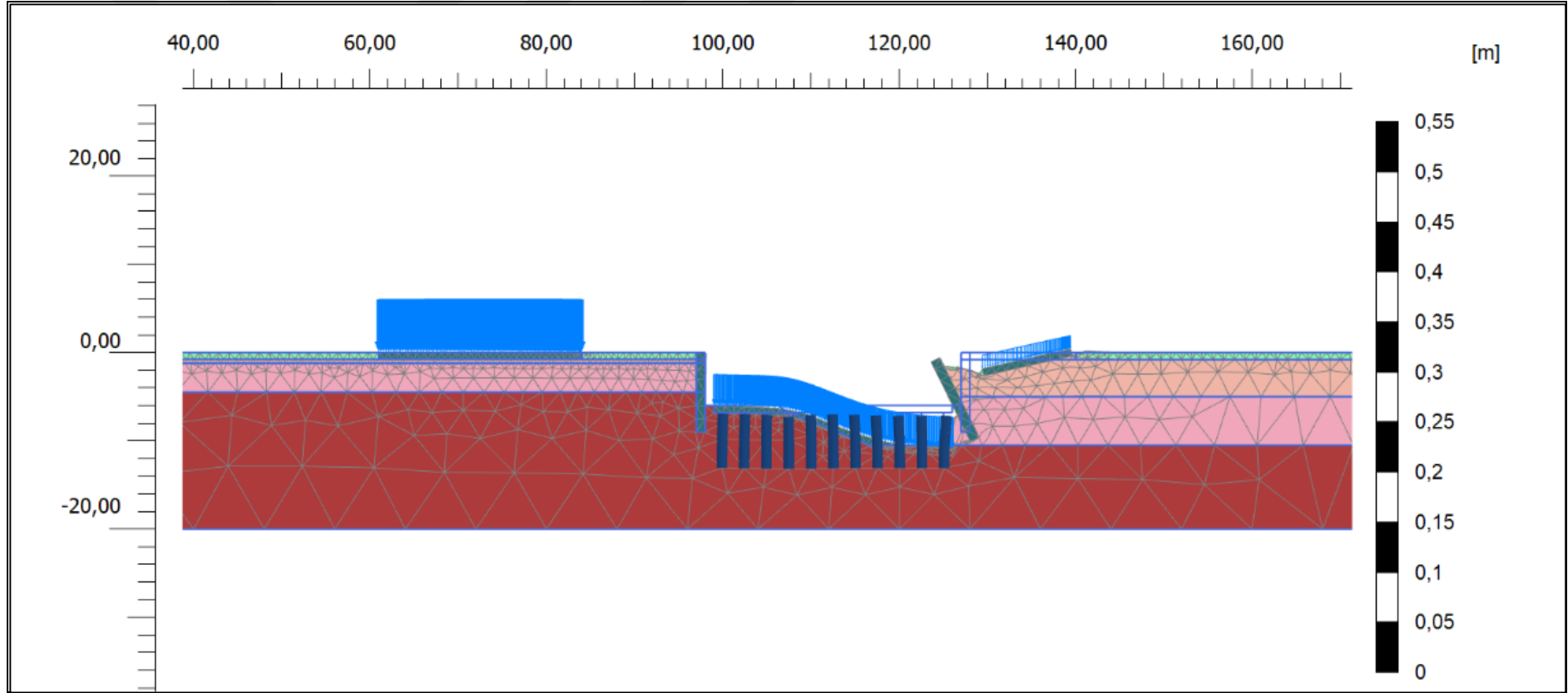
Şekil 6.6’da Jet Grout kolonları modellenerek uzun dönem analizinde en fazla oturma 4.935 cm temel altında görülmektedir. Çizelge 6.3’de temel altına modellenen Jet Grout kolonlarının parametreleri görülmektedir.

Çizelge 6.3 Jet Grout Kolonu Parametreleri.

Malzeme	E (MPa)	ρ (kN/m ³)	Çap(m)	Sürtünme Direnci f_s (kN/m)	Uç Direnci Q_g (kN)
Jet Grout	300	22	1	500	1000



Şekil 6.6 İyileştirilmiş Sonuç 49.35 mm Oturma



Şekil 6.7 İyileştirilmiş Sonuç 49.35 mm Oturma.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

Bu çalışmada, Zonguldak ilinde yerel zemin koşullarında inşası düşünülen 2 katı bodrumlu 6 katlı yapının, deprem sırasında dinamik yükler altında zemin sıvılaşması ve taşıma gücü kayıpları yaşayacağı ön görülmüştür. Yapıda oluşması muhtemel bu problemlerinin önlenmesi için, zemin iyileştirme yöntemi olarak jet grout kolonları ile temel zemininde iyileştirmeye gidilmesidir. Bu sebeple arazi ve laboratuvar deneyleri sonuçlarının ardından, statik ve dinamik durum için sonlu elemanlar modelinde analiz edilmiştir.

Analizlerin ardından, arazide uygulaması tamamlanmış kolonlar kolon test deneylerine tabi tutulmuştur. Jet grout kolonlarının imalatı sonrası, kolon başları ve radye temel tabanı altında en az 30 cm kalınlıkta oluşturulacak granüler dolgu tabakası imal edilmiştir. Bu sistemin yapı yüklerini, jet grout kolonlara üniform dağıtılmasında ve zemindeki suyun temel tabanı altında kontrolü ve olası boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesine katkı sağladığı görülmüştür.

Uygulama alanı; zeminde iyileştirme yapılmadan önce ve sonrası kıyaslanarak, bu zemin iyileştirme yöntemin yer değiştirme değerlerinde gözle görülür iyileştirme sağladığı kanıtlanmıştır.

4 farklı zemin tabakası üzerine oturmuş olup, yayılı temel üzerindeki yapıda ilk durumda farklı oturma görülmüştür. Jet Grout kolonu iyileştirme yöntemi uygulandığında, temel altında oturmalar yaklaşık %20 oranında azalmıştır.

Yapı da oluşabilecek farklı durumlar modellenerek, olası durumların sonuçları analiz edilmiştir. Analizdeki sonuçlar ile gerçek arazideki veriler karşılaştırılmalı ayrıca bölgenin 1. Derece deprem bölgesi olmasından dolayı deprem etkisinde göz önüne alınması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Akan R** (2013) Jet Grout Yönteminin Zemin İyileştirmesine Katkısının ve Bu Yöntemde Kullanılan Parametrelerin Etkilerinin İrdelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Ana Bilim Dalı, Isparta, 101 s.
- Anonim** (1987) Genelleştirilmiş Jeomorfoloji ve Genel Eğitim Haritaları, Kaleoğlu Köprüsü Sondaja Dayalı Zemin Etüdü Raporu, Karadeniz Mühendislik İnşaat Ltd. Şti. Kdz Ereğli, Eylül 2014, 41 s.
- Bell Kenneth R, Clemente Jose LM, Gularte Francis B and Lopez Roberto A** (2003) Superjet Grouting Reduces Foundation Settlement for La Rosita Power Plant in Mexicalli Mexico, *Third International Conference on Grouting and Ground Treatment*, 10 February 2003, New Orleans, United States of America, American Society of Civil Engineers, ISBN: 0784406634 9780784406632, e-book, 120-127.
- Celep Z ve Kumbasar M** (2000) *Deprem Mühendisliğine giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı*, Kitap, İstanbul,737s.
- Coduto D P** (2001) *Foundation Design Principles And Practices*. 2nd. Edition, ISBN-13: 978-0135897065, Prentice Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey, 816 pp.
- Das Braja M** (1999) *Principles of Foundation Engineering*. 4th Edition, ISBN13: 9780534954031, PSW Kent publishing, Boston,750 pp.
- Durgunoğlu H T, Chinchelli M, İkiz S, Emrem C, Hurley T and Catalbas F** (2004) Improvement with Jet-Grout Columns, A Case Study From the 1999 Kocaeli Earthquake. *Fifth International Conference on Case histories in Geotechnical Engineering*, 13 April 2004, Newyork, United States of America, University of Missouri-Rolla, ISBN:1887009086,e-book, 13-17.
- Durgunoğlu H T** (2004) Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*,16 Eylül 2004, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 39-52.
- Gümüş G** (2002) Jet Grouting Techmique and Strength Properties of Jet Grout Columns, *Master Thesis*, Boğaziçi University, Institute of Science, Civil Engineering, İstanbul, 15-25.
- Ichihashi Y, Shibazaki M, Kubo H, Lji M and Mori A** (1992) Jet Grouting at Airport Construction. *Proc. ASCE Conference. Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics*, 25-28 February 1992, New Orleans, Louisiana, United States,182 - 193.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kurtoğlu M R** (2014) Killi Kum Zeminlerde Taş Kolonların Davranışının Model Deneyle İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, İstanbul, 114 s.
- Küsin C C** (2009) Jet Grout Yöntemi ile İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Anabilim Dalı, Adana, 157 s.
- Liao S and Whitman R V** (1986) Overburden correction factors for SPT in sand. *J. Geotech. Engrg, ASCE*, 112(3); 373–377.
- Önalp A** (1983) *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi Cilt 2*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınevi, No: 3, Trabzon, 1225 s.
- Önalp A ve Sert S** (2010) *Geoteknik Bilgisi-III, Bina Temelleri*, Genişletilmiş Baskı, ISBN: 9755114653, Birsan Yayınevi, İstanbul, 445 s.
- Potts D M and Zdravkovic L T** (1999) *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering Theory*. 1st. Edition, ISBN: 0-7277-2753-2, Transport Research Laboratory, London, 440 pp.
- Sünbül A B** (2004) Adapazarı Zeminlerinde Sıvılaşma Unsurlarının Belirlenmesi Ve Sıvılaşmanın Önlenmesi için Çözümler Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 95 s.
- Smoltczyk U** (2003) *Geotechnical Engineering Handbook*. 1 st Edition, ISBN:34330 14515, Ernst & Sohn series on Geotechnical Engineering Press, Berlin, 3:666.
- Terzaghi K and Peck R** (1967) *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition, John Wiley, New York, 729 pp.
- Toğrol E ve Sivrikaya O** (2009) *Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları*. Baskı No:1, ISBN:9789755115276, Birsan Yayınevi, İstanbul, 350 s.
- TS EN-12716** (2002) Özel Jeoteknik Uygulamaları, Jet Enjeksiyon, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Tunçdemir F** (2004) Temel Zeminlerinin Enjeksiyon Tekniğiyle İyileştirilmesi. *Türkiye Mühendislik Haberler*, Sayı:430 İMO, Ankara, 59-64.
- URL -1** <www.plaxis.com/?plaxis_download=PLAXIS_MoDeTo_Manual.pdf>, Ziyaret tarihi: 20.01.2019.
- Uzuner B A** (2006) *Temel Mühendisliğine Giriş*. Baskı No:3, ISBN: 9789758053865, Derya Kitabevi, Trabzon, 396 s.

ÖZGEÇMİŞ

Altan ARSLAN 1988 yılında Ankara’da doğdu. İlkorta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamladı. 2008 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ne girdi ve 2013 yılında mezun oldu. 2013-2014 yıllarında Azerbaycan Heydar Aliyev Uluslararası Havalimanı İnşaatında Saha Mühendisi olarak görev aldı. 2014-2015 yıllarında vatani görevini tamamlamak üzere Ağrı Doğubeyazıt Asteğmen olarak görev aldı. 2015-2016 yıllarında Balıkesir Şehir hastanesi İnşaatından Saha Mühendisi olarak görev aldı. 2016 yılı Eylül ayında Zonguldak İl sağlık Müdürlüğüne İnşaat Mühendisi olarak atandı ve hala görevini sürdürmektedir. 2018 yılı Bahar Döneminde Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstütüsü İnşaat Mühendisliği ABD (Geoteknik) yüksek lisans eğitimine başladı. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

İLETİŞİM BİLGİLERİ:

E-posta: altanarslan88@hotmail.com