

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JET GROUT UYGULAMASI SONRASI YAPILAN KALİTE KONTROL
TESTLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Arzu DOĞRU YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

MAYIS 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JET GROUT UYGULAMASI SONRASI YAPILAN KALİTE KONTROL
TESTLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Arzu DOĞRU YILMAZ
(501101300)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

MAYIS 2016

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501101300 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Arzu DOĞRU YILMAZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “JET GROUT UYGULAMASI SONRASI YAPILAN KALİTE KONTROL TESTLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. M. Şükrü ÖZÇOBAN**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Berrak TEYMUR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Mayıs 2016
Savunma Tarihi : 9 Mayıs 2016





Demir ile Dila'ya,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmam sırasında, değerli bilgi ve tavsiyeleri ile desteğini benden esirgemeyen değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM'a teşekkür ederim. Aynı zamanda çalışmamın büyük bir kısmını oluşturan verilere ulaşmamdaki yardımları için GEOSİSMİK A.Ş. kurumuna, desteklerini esirgemeyen OBS MÜHENDİSLİK'teki mesai arkadaşlarıma, çalışmam süresince her an yanımda olan hem teorik hem manevi açıdan yardımcı olan sevgili arkadaşım Serap KAYMAKCI'ya ve her türlü konuda her daim yanımda hissettiğim canım anneme, rahmetli babama ve dostlarıma teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2016

Arzu Doğru Yılmaz





İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	23
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı	23
2. JET GROUT YÖNTEMİ	25
2.1 Jet Grout Yöntemleri	25
2.1.1 Tek akışkanlı yöntem (JET - 1)	26
2.1.2 Çift akışkanlı yöntem (JET - 2)	27
2.1.3 Üç akışkanlı yöntem (JET - 3)	28
2.2 Uygulamada Kullanılan Parametreler	28
2.2.1 Enjeksiyon basıncı	30
2.2.2 Püskürtme ağzı (nozzle)	31
2.2.3 Enjeksiyon harcı	31
2.2.4 Monitörün döndürülme ve çekilme hızı	32
2.3 Jet Grout İmalatı	34
2.3.1 İmalat ekipmanları	35
2.3.1.1 Delici makine	35
2.3.1.2 Silo – pompa – karıştırıcı üniteleri	35
3. JET GROUT KALİTE KONTROL TESTLERİ	37
3.1 Karot Numunelerinin Alınması	37
3.2 Kazık Yükleme Testi	37
3.3 Kazık Süreklilik Testi	39
.....	39
.....	40
3.4 Çap Kontrolü	40
3.5 Proje Kriterlerinin Kalibrasyonu	40
.....	41
3.6 Toleranslar	41
4. BOLU HAMPTON BY HILTON OTEL PROJESİ KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	43
4.1 İnceleme Alanının Tanıtılması	43
4.2 Zemin Araştırmaları ve Özellikleri	44
4.2.1 Arazi çalışmaları	44
4.2.2 Laboratuvar çalışmaları	45
4.2.3 Zemin profili ve parametreleri	46
4.3 Jet Grout Uygulaması	49

4.4 Bolu Hampton by Hilton Otel Projesi Kapsamında Yapılan Kalite Kontrol Testleri.....	50
4.4.1 Jet grout kolonlarının mukavemet özellikleri.....	50
4.4.2 Jet grout kolonları ile birim alan oranı ve deprem kayma gerilmelerinin dağılımı.....	50
4.4.3 Çevrimsel gerilim azaltım faktörü.....	53
4.4.4 Bütünlük testi (Pile İntegrity Testi).....	54
4.4.4.1 Bütünlük (İntegrity) testinin değerlendirilmesi.....	55
4.4.4.2 İmpedans profilin üretilmesi	55
4.4.4.3 Bütünlük (İntegrity) testi sonuçları	56
4.4.5 Jet grout kolonları yükleme testi	56
4.4.5.1 Çekme kolonlu sistemler	57
4.4.5.2 Yükleme testinin değerlendirilmesi	58
4.4.5.3 Yükleme testi sonuçları	58
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER 63	
ÖZGEÇMİŞ.....	83

SEMBOLLER

θ	: Püskürtme ağızlığı açısı
D_0	: Püskürtme ağızlığı çapı
N	: SPT sayısı
E_{jG}	: Deformasyon modülü
X	: Yansıma derinliği
C	: Dalganın yayılma hızı
t	: Darbeden yansıma anına kadar geçen süre
q_{em}	: Emniyetli taşıma gücü
K_s	: Düşey yatak katsayısı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
θ	: Zeminin sürtünme açısı
c	: Zeminin kohezyon değeri
h	: Tabaka derinliği
V_p	: P dalgası hızı
V_s	: S dalgası hızı
ν	: Poisson oranı
f_{jG}	: Basınç deneyi mukavemet değeri
G_{jG}	: Kayma modülü
A_{jG}	: Yüksek modüllü kolon alanı
A	: Birim hücre alanı
a_r	: Alan yer değiştirme oranı
G_r	: Jet grout kolon kayma modülünün zemin kayma modülüne oranı
S_v	: Jet grout kolonu düşey aralığı
S_h	: Jet grout kolonu yatay aralığı
n	: Gerilme konsantrasyonu oranı
τ_{jG}	: Çimento – zemin karışımı kolonlara etkiyen kayma gerilme değeri
τ_s	: Kolonlar arasındaki zemine etkiyen kayma gerilme değeri
τ	: Birim alan üzerine etkiyen kayma gerilme değeri
S_R	: Azaltım faktörü
Q	: Deney yükü



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Jet grout imalat parametreleri [2].	29
Çizelge 2.2 : Püskürtme ağızlığı çapı ve akış oranı [8].	31
Çizelge 4.1 : Sondaj Listesi.....	44
Çizelge 4.2 : İnceleme alanı zemin parametreleri	47
Çizelge 4.3 : Jeofizik ölçüm sonuçları	49
Çizelge 4.4 : Serbest basınç dayanımları	50
Çizelge 4.5 : Jet grout kolonu elastisite modülü ve kayma modülü	54
Çizelge 4.6 : Yükleme testinin değerlendirilmesi	58





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Dane dağılımına göre enjeksiyon çeşitleri [2].	25
Şekil 2.2 : Jet grout sistemleri [1].	26
Şekil 2.3 : Tek akışakanlı jet grout sistemi [3].	26
Şekil 2.4 : Çift akışakanlı jet grout sistemi [3].	27
Şekil 2.5 : Üç akışakanlı jet grout sistemi [3].	28
Şekil 2.6 : Oluşturulan kolon çapı ve basınç arasındaki ilişki [6].	30
Şekil 2.7 : Tek delikli püskürtme ağızlığı (nozzle) [7].	31
Şekil 2.8 : Püskürtme gövdesinin çekilme hızının ıslah edilen hacime etkisi [9].	33
Şekil 2.9 : Zemin çeşidi ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki [6].	33
Şekil 2.10 : Tahmini kolon çapı ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki [9].	34
Şekil 2.11 : Jet grout sistemi ekipmanları [10].	34
Şekil 2.12 : Jet grout delgi ekipmanı [6].	35
Şekil 2.13 : Jet grout silo – pompa – ve karıştırıcı üniteleri [11].	36
Şekil 3.1 : Karot numunelerinin alınması [13].	37
Şekil 3.2 : Kazık yükleme testi [13].	38
Şekil 3.3 : Kazık Süreklilik Testi Şeması [13].	39
Şekil 3.4 : Kazık Süreklilik Testi Cihazı [13].	40
Şekil 3.5 : Jet Grout Kolonlarında Çap Kontrolü [13].	40
Şekil 3.6 : Proje Kriterlerinin Sahada Kalibrasyon ve Optimizasyonu [16].	41
Şekil 4.1 : Etüt alanının genel görünümü [17].	43
Şekil 4.2 : İnceleme alanının sondaj kuyuları vaziyet planı [17].	45
Şekil 4.3 : İnceleme alanının jeolojik kesiti 1 [17].	46
Şekil 4.4 : İnceleme alanının jeolojik kesiti 2 [17].	47
Şekil 4.5 : SPT sonuç grafiği [17].	48
Şekil 4.6 : Jet grout kolon uygulaması vaziyet planı [18].	49
Şekil 4.7 : Jet grout kolon uygulaması tip kesit [18].	50
Şekil 4.8 : Deprem kayma modeli ve birim hücrenin tanımlanması [12].	52
Şekil 4.9 : Birim alan ve kayma modülüne bağlı azaltım eğrileri [12].	53
Şekil 4.10 : Kolon bütünlük test düzeneği [19].	55
Şekil 4.11 : Tipik bir impedans profili çalışması [19].	56
Şekil 4.12 : Çekme kolonlu sistem ve ölçüm aletlerinin şematik gösterimi [20].	57
Şekil 4.13 : Sahada uygulanan yükleme testi düzeneği [19].	57
Şekil 4.14 : Mazurkiewicz yönteminin uygulanması [21].	58
Şekil A.1 : SK 1 sondaj logu	64
Şekil A.2 : SK 1 sondaj logu devamı.	65
Şekil A.3 : SK 7 sondaj logu	66
Şekil A.4 : SK 7 sondaj logu devamı.	67
Şekil A.5 : SK 8 sondaj logu	68
Şekil A.6 : SK 8 sondaj logu devamı.	69



JET GROUT UYGULAMASI SONRASI YAPILAN KALİTE KONTROL TESTLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZET

Zayıf zemin üzerine gelecek yüzeysel temellerin taşıma gücü yetersizliği, büyük oturmalar, vb... gibi nedenler ile zeminin yetersiz kaldığı durumlarda çözüm olarak derin temeller ve/veya zemin iyileştirme yöntemleri kullanılması düşünülür.

Son 70 yıldır teknolojinin de gelişimiyle farklı makine ve ekipman tasarımlarıyla istenilen derinliklerde ve amaçta çeşitli derin temel sistemi uygulanmaları yapılmaktadır. Özellikle derin temel sistemleri içerisinde sıkça kullanılan kazık temeller, pek çok mühendislik yapısının elverişsiz zeminde yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Kazıklı temellerin kullanılamaması durumunda zeminin ıslah edilmesi tercih edilebilir. Jet grout tekniği ile ıslah yönteminin amacı; yüksek basınçla zemine çimento şerbeti enjekte ederken, belli hızla yukarı çekilen enjeksiyon borusunun aynı zamanda belli hızla döndürülmesi ile bir çimento – zemin karışımı (soilcrete) oluşturmaktır. Bu işlem sonucunda herhangi bir donatı kullanılmadan daha dayanımlı ve yeni bir zemin kütlesi oluşturulmaktadır.

Tez çalışması sırasında zemin ıslah yöntemlerinden biri olan jet grout yönteminin işletim parametreleri, imalat aşamaları, yöntemin avantajları ve dezavantajları, uygulama sonrası yapılan kalite kontrol testleri, testlerin sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesi üzerinde durulmuştur.

Tezin uygulama kısmında, imalatı 2015 yılında tamamlanan Hampton by Hilton Bolu Otel ve Konferans Salonu Projesi jet grout imatları üzerinde durulmuş olup; uygulaması yapılan jet grout kolonlarının kalite kontrol testleri sonuçları irdelenmiştir. Proje kapsamında kalite kontrol testleri olarak; karot numune üzerinde basınç dayanımı, bütünlük testi ve yükleme testi yapılmıştır.

Bu tez kapsamında zemin ıslah yöntemlerinden biri olan jet grout yönteminin çalışma prensibi irdelenmiş; bu sistem sonrası yapılan kalite kontrol testleri açıklanmıştır. Sistemin uygulanabilirliğinin ve performansının anlaşılması için Hampton by Hilton Bolu Otel ve Konferans Salonu projesi incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan mühendislik uygulamalarının teorik hesapları desteklediğinin gösterilmesi amaç edinilmiştir.



QUALITY TEST METHODS AND EVALUATION REGARDING JET GROUTING

SUMMARY

When the ground is insufficient such as bearing capacity problems of shallow foundations on weak soils, large setting etc., deep foundations and/or soil improvement methods are considered for solving the problems.

Many constructions of deep foundation can be made desired depth and purpose with different machine and equipment last 70 years. Especially pile foundations commonly used the purpose of the main function is to transfer the load to lower levels in the ground which are capable of sustaining the load with an adequate factor of safety.

Soil improvement methods can be preferred to when pile foundations can not be used. The purpose of the jet grouting, uses a high-pressure jet of fluid to break up and loosen the soil at depth in a borehole and to mix it with a self-hardening grout to form columns in the ground. At the end of this process more strength and new soilcrete is occurred without reinforcement.

Jet grouting systems define that a special drill bit with horizontal and vertical high speed water jets to cut soils and constructed hard impervious columns by pumping grout through the nozzles. Jet grouting systems is not depend on grain size distributions. There are three fluid systems and can make columns in any soils. The advantages of jet grouting systems can be listed below:

- It is more economical and efficient than the other injection methods.
- Jet grout columns can be made different geometry.
- Jet grout columns can be made any depths which is desired.
- Application of columns are easier than other methods of improvement methods.

Jet grouting is a construction process using a high kinetic energy jet of fluid to break up and loosen the ground, and mix it with a thin slurry. It is not truly grouting but rather a hydrodynamic mix-in-place technique producing a soil-cement material. Jet grouting makes use of three physical processes, singly or in combination:

- the very high speed jet loosens the soil
- the jetting fluid washes some of the soil to the surface
- the slurry adds a binder to the soil mix

The methods most used to mitigate the problem of the ground-structure interaction consist of the employment of the before-seen isolation systems and of some ground brace techniques, which are adopted above all on the low-quality ones (categories D and E). The most diffused techniques are the jet-grouting technique and the pile work technique. The jet-grouting technique consists of injecting in the subsoil some liquid concrete by means of a drill. When this concrete hardens it forms a sort of column that consolidates the surrounding soil. This process is repeated on all areas of the structure. The pile work technique consists of using piles, which, once inserted in the ground, support the foundation and the building above, by moving the loads or the weights

towards soil layers that are deeper and therefore more compact and movement-resistant.

During this thesis; operating parameters, construction phases and advantages and disadvantages, quality control tests after construction, examination of test procedures of jet grouting which is a soil improvement methods are explained.

Different kind of piles have been discussed. Before choosing of pile types, economical situations and factor of safety of design use. According to material used in their installation can be classified below:

- Concrete piles
- Steel Piles
- Timber piles

During the design methods of pile foudation, pile loads can be divided in three groups. This loads are listed below:

- Dynamic formulas
- Static formulas
- Load tests

Pile load test method is the most certain method to determine the bearing capacity of piles. Testing a pile for failure make sure that valuable information about pile setting and bearing capacity to design engineer.

The static pile load test is common method of testing to considered capacity of piles. It is applicaple to all kind of pile types and it involves the direct measurement of pile heads displacement. Pile load test have three objectives:

- To establish load-deflections relationships in the pile-soil systems
- To determine capacity of the pile-soil system
- To determine load distrubition in the pile-soil system

Three types of loading for a static load tests are given below:

- The quick load test
- The incremental static load test
- The constant rate of penetration test

The static load test was conducted in general accordance with ASTM-D1143.

During the this thesis; design criteria of stone coulums, construction phases and the reasons what designer uses soil improvement are explained. Additionally, operating parameters of jet grouting which is a soil improvement methods, construction phases, advantages and limitations of the methods are explained.

In the application part of the thesis, Hampton by Hilton Bolu Hotel and Conference Hole Project on which was completed in 2015 was given for an case study and quality tests procedures and examination were given. Unconfined compression test, pile integrity test and load test were applied during this case study.

In this thesis, jet grouting which is a soil improvement method is investigated and told quality control test after application. For understanding of applicability and performance of the system, Hampton by Hilton Bolu Hotel and Conference Hole Project is investigated. The purpose of the thesis, teoritical and application results are support eachother.





1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Dünya nüfusunun giderek artması, yerleşim alanlarının eski yerleşim alanlarından bataklık sahalarına, erozyon sahalarına, eski hafriyat / döküm alanlarına, yapay şevli alanlara ve dere yataklarına kaymasına sebep olmuştur. Nüfus artışı ile eski yerleşim alanlarından bu bölgelere kayan mühendislik yapılarının temel sistemleri tasarlanırken, temelin yüklerini intikal ettireceği zeminin durumuna göre temel sistemlerinde farklılaşmalara gidilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu zorunlulukla birlikte; yüzeysel temellerin haricinde çeşitli derin temel sistemleri ve zemin iyileştirme sistemleri ortaya çıkmıştır. Bir zemin yapısı, üzerine yapılacak mühendislik yapısının temellerinden intikal ettirilecek yükleri güvenli bir şekilde taşımaları ve yapılacak yapıda oturmalarına sebebiyet vermemelidir.

Son yıllarda teknolojinin gelişimiyle birlikte gelişen ve değişen makine sistemleri, zemin iyileştirme yöntemlerinde de farklılaşmalara gidilmesine olanak sağlamıştır. Gelişen bu teknolojik değişimler ile birlikte derin temel sistemlerinin yeterli kalmadığı durumlarda zemin iyileştirilmesine / ıslah edilmesine gidilmiştir.

Bu tez kapsamında zemin iyileştirme yöntemlerinden her tip zemin yapısında kullanılabilen jet grout yönteminin çalışma prensibi irdelenmiş; yöntemin parametreleri ve kullanım şekli belirtilmiş ve sistemin uygulama aşamaları açıklanmıştır. Zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanılan jet grout uygulaması sonrası yapılan iyileştirmenin kanıtlanması amacıyla kalite kontrol testleri, bu testlerin irdelenmesi ve uygulama performansının değerlendirilmesi için Hampton by Hilton Bolu Otel ve Konferans Salonu projesi kapsamında test çalışmaları yapılmış ve bu tez kapsamında incelenmiştir. Bu kapsamda yapılan mühendislik uygulamalarının teorik hesapları desteklediğinin gösterilmesi amaç edinilmiştir.

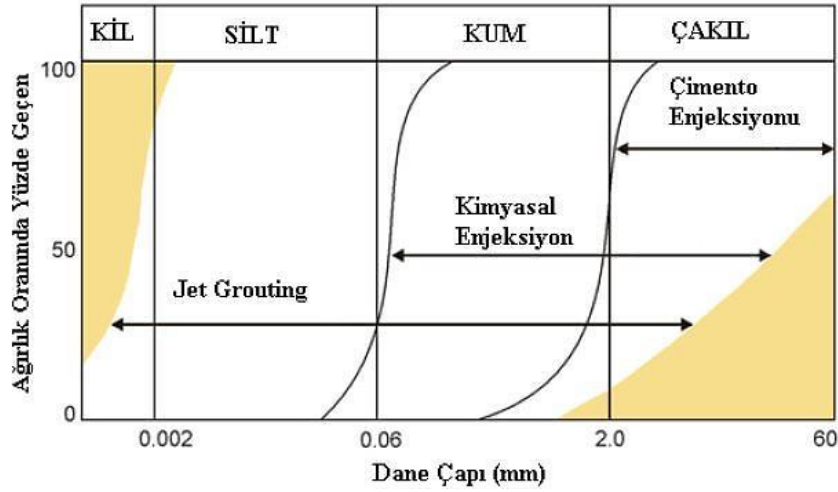


2. JET GROUT YÖNTEMİ

Jet grout yöntemi, zeminin iyileştirilmesi veya yapı yüklerinin daha derindeki tabakalara aktarılması amacı ile kullanılmaktadır. Bu teknik çok farklı zemin koşullarında ve çok geniş uygulama alanlarında büyük bir tasarım serbestisi getirmektedir. Bunlara her türlü güvenliğin önemli olduğu hassas yapıların civarında yapılan çalışmalar da dâhildir[1].

Jet grout yönteminin belirgin karakteri bu yöntemi diğer klasik yöntemler ile karşılaştırdığımızda ortaya çıkmaktadır. Klasik enjeksiyon yöntemleri zemin özelliğini büyük çapta değiştirememekte; bunlara karşılık jet grout yöntemi zemini çimento şerbeti ile karıştırmak suretiyle uygulanmaktadır. Bu durumda zeminin bir kısmı çimento şerbeti ile yer değiştirmektedir[1].

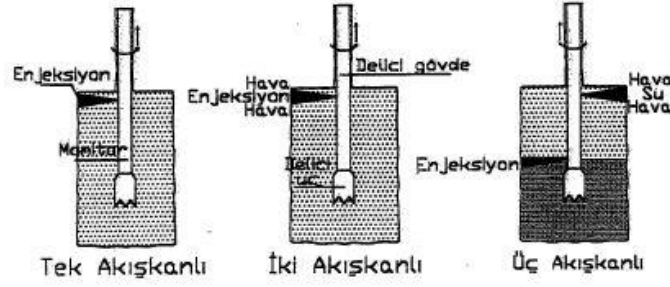
Diğer enjeksiyon yöntemlerine nazaran jet grout yöntemi ile kil veya kum-çakıl gibi çeşitli karakter ve farklı türlerdeki zeminlerin (sınırlı alanlarda da dahil) ıslahı mümkün olabilmektedir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Dane dağılımına göre enjeksiyon çeşitleri [2].

2.1 Jet Grout Yöntemleri

Jet grout yöntemi, zemin içerisine enjekte edilen akışkana bağlı olarak tek akışkanlı, çift akışkanlı ve üç akışkanlı olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Şekil 2.2). Kullanılacak olan sisteme, imal edilecek kolonun çapına, zemin cinsine ve ıslah edilecek olan zeminin hacmine göre karar verilmektedir.



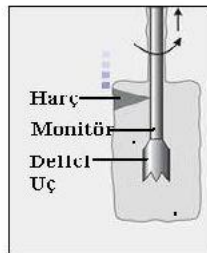
Şekil 2.2 : Jet grout sistemleri [1].

2.1.1 Tek akışkanlı yöntem (JET - 1)

Tek akışkanlı jet grout yöntemi, üç sistem arasında en basit olanıdır. Bu basitliğin sebebi zemini kesme, aşındırıp uzaklaştırma ve zemin ile enjeksiyonu karıştırma işlevlerini yerine getiren tek bir jet akımı olmasıdır. Sistemde, enjeksiyonun iletiildiği ve üzerinde alt uca yakın 2.0 – 4.0 mm çapında bir veya birkaç püskürtme ağzı bulunmaktadır[1].

Çimento enjeksiyonu sistem ile 90° lik açı yapacak şekilde püskürtülür ve böylece zemin bir taraftan sökülürken, aynı anda sökülün zemin ile çimento enjeksiyonu yer değiştirmiş olur. Prosesin devamında püskürtme ağzlarının bulunduğu monitör, zemin tabakalarına bağlı olarak sabit hızlarla (gerekirse döndürülerek) geri çekilir ve böylece sökülmiş zemin ile çimento enjeksiyonu karışımından (döndürülerek geri çekilmesi durumunda silindirik geometride) jet grout elemanı oluşmuş olur. Çimento enjeksiyonu ile zemin danelerinden oluşan bu karışımın özellikleri, iyileştirilmiş zemin özelliklerini belirler[1].

Zeminde oluşturulan kolonların çapları zemin özelliğine ve kolon oluşturmak için kullanılan parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Bu yöntem ile killerde 600 – 800 mm ve çakıllı zeminlerde 1000 mm çaplarında kolonlar oluşturulmaktadır[2]. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 2. 3' de gösterilmektedir.

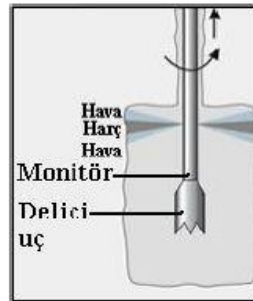


Şekil 2.3 : Tek akışkanlı jet grout sistemi [3].

2.1.2 Çift akışkanlı yöntem (JET - 2)

Çift akışkanlı jet grout sistemi tek akışkanlı sisteme göre daha karmaşık ve ileri bir sistemdir. Çift akışkanlı jet grout sisteminin en belirleyici özelliği, yüksek hıza sahip enjeksiyon jetinin 2 – 15 barlık sıkıştırılmış ve enjeksiyonu çevreleyen hava konisi le beraber püskürtülmesidir. İçerik olarak bu sistem, tek akışkanlı sistemin modifiye edilmiş şekli olarak değerlendirilebilir. Sisteme eklenmiş olan bu sıkıştırılmış hava jeti çimento enjeksiyonunun sahip olduğu aşındırıcı etkiyi oldukça artırır ve oluşturulan kolon tipi jet grout elemanlarının çaplarında tek akışkanlı sisteme göre neredeyse 2 kat artış olur. Oluşturulan elemanların boyutlarındaki bu artışın başlıca sebepleri şu şekilde sıralanabilir [1].

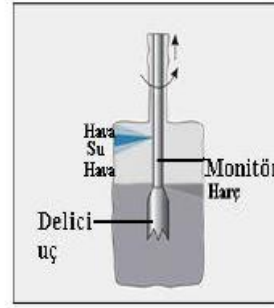
- Hava konisi sayesinde kesilen zeminin jet akımının içine düşmesi engellenmiş olur ki böylece türbülanslı jet akımında enerji kaybı minimuma indirilmiş olur.
- Kesilen zemin parçacıkları kabarcık etkisi ile kesme alanından daha verimli şekilde uzaklaştırılıp zemin yüzeyine kaldırılması, hava konisi sayesinde mümkün olmaktadır.
- Sıkıştırılmış hava, jet akımı ile mevcut yer altı suyu arasında tampon işlevi görmektedir. Dolayısıyla jet akımı, sıkıştırılmış havanın kullanılmadığı sisteme göre, iki kat daha uzun mesafede kesme ve aşındırma gerçekleştirebilmektedir.
- Çift akışkanlı sistemde, enjeksiyon püskürtme ağzları ile sıkıştırılmış hava jetinin çıkış ağzı aynı eksenli olacak şekilde düzenlenmiştir [1]. Yöntemin şematik gösterimini Şekil 2.4’ de verilmiştir.



Şekil 2.4 : Çift akışkanlı jet grout sistemi [3].

2.1.3 Üç akışkanlı yöntem (JET - 3)

Üç akışkanlı sistem, jet grout sistemleri içerisinde en karmaşık olanıdır. Sistemde zeminin sökülmesi, sıkıştırılmış hava konisi tarafından çevrelenmiş su jeti ile yapılmakta ve bu jetten bir miktar aşağıya (birkaç desimetre) aynı eksenli olacak şekilde yerleştirilmiş olan püskürtme ağzından da çimento enjeksiyonu tek başına püskürtülmektedir[1]. Yöntemin şematik gösterimi Şekil 2.5’ de verilmektedir.



Şekil 2.5 : Üç akışkanlı jet grout sistemi [3].

Üç akışkanlı sistem genellikle en büyük boyutlu elemanların oluşturulduğu sistemdir. Bu sistem ile kohezyonsuz zeminlerde 300 cm çapa kadar kolon tipi jet grout elemanlar, kohezyonlu zeminlerde ise 150 cm çapa kadar kolon tipi jet grout elemanlar oluşturulabilmektedir[1].

2.2 Uygulamada Kullanılan Parametreler

Jet grout yöntemi, zemin içeresine çimento enjekte edilen ve problemlili olan zeminin özelliklerini iyileştirme yöntemidir. Ayrıca yöntem, her zemine uygulanabilmektedir.

Yöntemin ilk bulunduğu yıllardan itibaren yapılan çalışmalar göstermiştir ki, zemin içeresine enjekte edilen akışkan ile oluşturulan kolonların çaplarını belli parametrelerin belirlediğini ve bu parametrelerin zemin dane çapına, zeminin bağlayıcılık oranına ve daha pek çok zemin özelliğine göre belirlendiğini ortaya koymuştur. Çalışma parametreleri; zemin özelliklerine, oluşturulmak istenen kolon çapına, istenen kolon taşıma kapasitesine ve seçilen jet grout sistemine göre seçilmektedir [4].

Jet grout yönteminin imalat parametreleri ve yöntemine göre kullanım aralıkları Çizelge 2.1’ de verilmektedir.

Çizelge 2.1 : Jet grout imalat parametreleri [2].

PARAMETRELER		JET GROUTING SİSTEMLERİ		
		TEK AKIŞKANLI	ÇİFT AKIŞKANLI	UÇ AKIŞKANLI
ENJEKSİYON BASINCI				
Su	(Bar)	ÖY(200-300)	ÖY(200-300)	300-500
Enjeksiyon Harcı	(Bar)	300-600	300-600	40-60
Sıkıştırılmış Hava	(Bar)	yok	8-12	8-13
AKIŞ ORANLARI				
Su	(lt/dak)	ÖY	ÖY	70-100
Enjeksiyon Harcı	(lt/dak)	60-150	100-150	150-250
Sıkıştırılmış Hava	(lt/dak)	yok	10-30000	10-30000
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞININ BÜYÜKLÜĞÜ				
Su	(mm)	ÖY(1.6-2.4)	ÖY(1.6-2.4)	1.8-2.5
Enjeksiyon Harcı	(mm)	1.6-3.0	2.0-4.0	3.5-6.0
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞININ SAYISI				
Su		ÖY(1)	ÖY(1)	1-2
Enjeksiyon Harcı		2-6	1-2	1
TİJİN DÖNME HIZI				
	(Devir/dak.)	10-30	10-30	10-30
TİJİN ÇEKİLME BİR ADIM İÇİN ÇEKİLME SÜRESİ (4 cm)				
	Sn.	8-15	10-20	15-25
KOLON ÇAPI				
Çakılı/Kumlu Zeminler	(m)	0.6-1.0	1.0-2.0	1.5-2.5
Kıli Zeminler	(m)	0.5-1.0	1.0-1.5	1.0-2.0
SU/ÇİMENTO ORANI				
	W/C	0.8:1 - 2:1		
TÜKETİLEN ÇİMENTO MİKTARI				
İslah Edilen Zeminin Birim Hacim Ağırlığı	kg/m ³	400-800	400-800	400-800
ZEMİN ELEMANININ MUKAVEMETİ				
Çakılı/Kumlu Zeminler	kg/cm ²	100-300	75-250	75-200
Kıli Zeminler	kg/cm ²	15-100	15-85	15-75
NOT : ÖY = Ön Yıkama				

Jet grout yönteminin fizibilitesini ve parametrelerinin etkileyen faktörler Cippo ve Tornaghi tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır [5].

- Zemin profili ve hidrojeolojik bilgiler
- Zeminin kohezyon ve yoğunluk değerleri ve bunların temin edilmesi için yapılan CPT ve SPT sonuçları
- Kohezyonsuz zeminlerin su muhtevası ve dane çapı dağılımı; kohezyonlu zeminlerde Atterberg limitleri

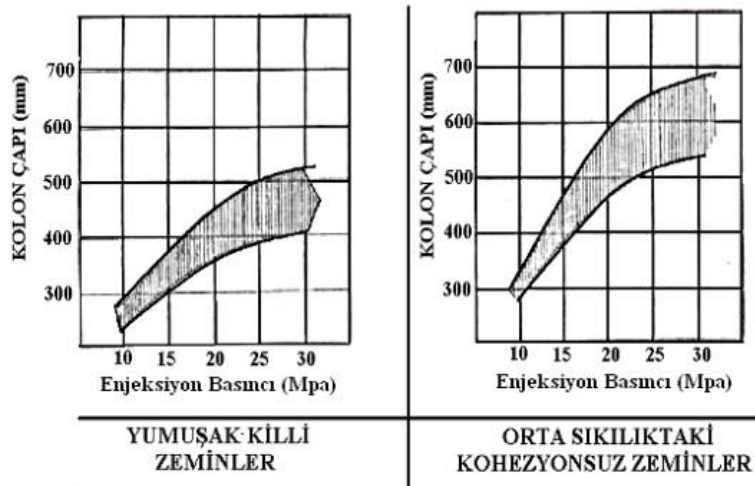
- Enjeksiyon karışımı ve zemin – enjeksiyon karışımının permeabilite, mukavemet, ... belirlenmesi amacı ile yapılan deney sonuçları
- İmal edilen kolonların kontrolleri için yapılan arazi deneyleri ve kontrol sonuçları.

2.2.1 Enjeksiyon basıncı

İstenilen kolon çapının elde edilmesi için gerekli olan en önemli parametre enjeksiyon basıncıdır. Enjeksiyon basıncı aşağıda gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.

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

Kolon çapı ile enjeksiyon arasında direkt bir bağlantı bulunmaktadır. Genel olarak yüksek basınçlarda daha büyük kolon çapları elde edilmektedir. Fakat her zaman basınç artışı ile istenilen çapa ulaşılmamaktadır. Elde edilen enerji ile kolon çapındaki artış sağlanamamaktadır. Bunun sebebi ise kolon çapının zamanın bir fonksiyonu olmasıdır. Kolonun oluşturulması için geçen zaman kolonun çapının homojen olmasını doğrudan etkilemektedir. Şekil 2.6' da çap ve enjeksiyon basıncı arasındaki ilişki gösterilmektedir.

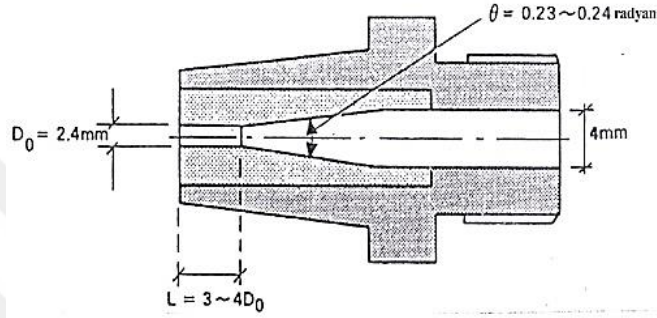


Şekil 2.6 : Oluşturulan kolon çapı ve basınç arasındaki ilişki [6].

2.2.2 Püskürtme ağız (nozzle)

Jet grout tekniğinin başarılı bir şekilde uygulanması için püskürtme ağızlığının tasarımı çok büyük önem taşımaktadır. Bunun sebebi ise püskürtülen harcı enerjisi ve debisinin püskürtme ağızlığı çapının ve enjeksiyon basıncının fonksiyonu olmasıdır.

Püskürtme ağızlıklarının çapları 1.5 – 8.0 mm arasında değişmektedir. Shizabaki ve Ohta'nın önerdiği ideal püskürtme ağızlığı, Şekil 2.7' de gösterilmiştir. Enjeksiyon harcının yayılması püskürtme ağızlığının çapı ile bağlantılıdır, çap küçüldükçe yayılma artmaktadır.



Şekil 2.7 : Tek delikli püskürtme ağızlığı (nozzle) [7].

Püskürtme ağızlığı çaplarına her bir püskürtme ağızlığı için akış oranı Çizelge 2.2'de gösterilmektedir

Çizelge 2.2 : Püskürtme ağızlığı çapı ve akış oranı [8].

SU/ÇİMENTO = 1 ENJEKSİYONUN ÖZGÜL AĞIRLIĞI = 1.52											
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞI ÇAPI											
	1.4	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8	3.0	3.2	3.5	4.0	4.5
PÜSKÜRTME AĞIZLIĞI İÇİN AKIŞ ORANI											
Basınc	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.	lt/dak.
300	18	24	30	37	53	73	83	95	114	148	188
350	20	26	32	40	58	79	90	103	123	160	203
400	21	27	35	43	62	84	96	110	131	171	217
450	22	29	37	45	65	89	102	116	139	182	230
500	23	31	39	48	69	94	106	123	147	192	242
550	25	32	41	50	72	98	113	129	154	201	254
600	26	34	42	52	76	103	118	134	161	210	266

2.2.3 Enjeksiyon harcı

Enjeksiyon harcı temelde su ve çimento karışımının 1:1 ve 1:1.5 oranlarında elde edilmesi ile oluşturulmaktadır. Oluşturulan enjeksiyon harcının özgül ağırlığı ise 1410 – 1570 kg/m³ arasında değişmektedir.

Enjeksiyon harcının oluşturulması için kullanılan oran birçok etkene göre belirlenmelidir. Bu etkenler uygulanacak jet grout sistemi, ıslahın çeşidi ve zeminde oluşturulacak elemanların mukavemetleridir.

Su/çimento oranı genellikle 0.7 değerinden aşağıda kullanılmamaktadır. Bu değer in aşağısındaki kullanımlar genellikle bentonitin enjeksiyon harcına katılması durumlarında ortaya çıkmaktadır. Bentonitin katılmasının sebebi ise genellikle akışkanlaştırıcılığı arttırmak ve geçirimsizlik perdelerinin imal edilmesine yardımcı olmak içindir. Bentonit miktarı ise çimento ağırlığının % 0.4 ile % 1 oranları arasında katılmaktadır.

Çimento miktarı 350 – 700 kg/m³ arasında değişmekte standart olarak 450 kg/m³ kullanılmaktadır. Zemin içinde belirli bir akış hızına sahip suyun bulunması ile standart harç malzemesinin yıkanmaya karşı koyması suyun akış hızı ile zorlaşmaktadır. Bu sebepten dolayı enjeksiyon harcı katkı malzemeleri ile tekrardan düzenlenmelidir. Bu katkı malzemeleri çimento ağırlığının % 0.03 ile % 0.04 arasındaki oranlarda enjeksiyon harcına katılmalıdır.

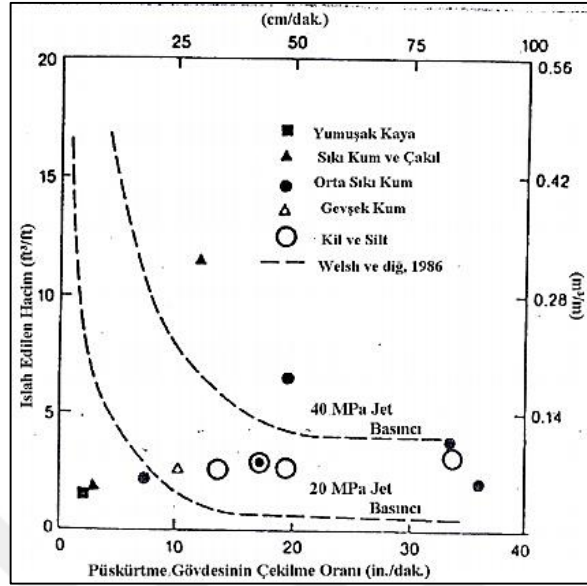
2.2.4 Monitörün döndürülme ve çekilme hızı

Zemin ile enjeksiyon harcının etkili bir şekilde karışması için döndürülme ve çekilme hızı çok önemlidir. Islah edilmesi gereken alanda homojen bir dağılımın sağlanabilmesi için püskürtme gövdesi yavaş bir hızda çekilmelidir.

Püskürtme gövdesinin çekilme zamanı çeşidi ve enjekte edilen malzemenin niteliğine bağlıdır. Genellikle kohezyonlu zeminlerde iyi bir karışımın sağlanması ve zeminde etkili bir parçalanmanın gerçekleştirilebilmesi için daha fazla zamana ihtiyaç vardır. Püskürtme gövdesinin çekilme miktarı adım halinde 2 – 8 cm arasında değişmektedir. Tecrübeler neticesinde en uygun çekme miktarının 4 cm olduğuna karar verilmiştir.

Döndürme ve çekilme hızı ayrıca kullanılacak jet grout sistemine ve ıslah edilecek hacmin büyüklüğüne de bağlıdır. Örneğin jet 1 sistemi ile jet 2 ve jet 3 sistemi karşılaştırıldığında iki ve üç akışkanlı sistemin tek akışkanlı sisteme göre daha çok zaman aldığı görülmektedir. Bunun sebebi ise daha büyük çaplarda kolon oluşturulması yani ıslah edilecek zeminin hacminin büyük olmasıdır. Döndürülme hızı genellikle 10 ile 20 rpm arasında değişmekte çok nadir olarak 30 rpm hızlarında döndürülmektedir.

Basıncın artırılması veya çekilme hızının azaltılması ile kolon çapında artış sağlanmaktadır. Şekil 2.8’de püskürtme gövdesinin çekilme hızı ile ıslah edilen hacim arasındaki bağlantı görülmektedir.



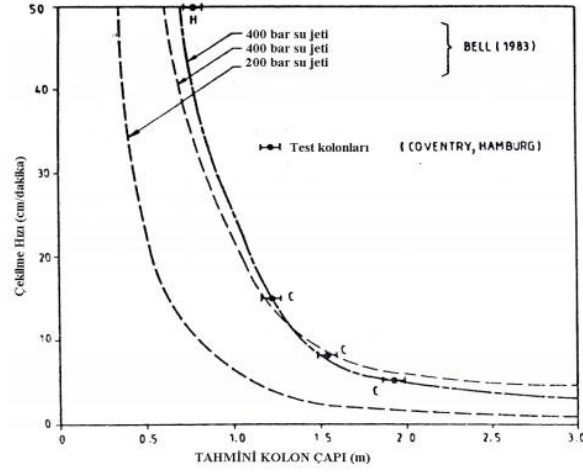
Şekil 2.8 : Püskürtme gövdesinin çekilme hızının ıslah edilen hacime etkisi [9].

Yoshida ve Yohiro, (1973) çeşitli zeminlerde yaptığı araştırmalar neticesinde temel bir görüş olarak Şekil 2.9’da çeşitli zeminlerden elde edilen SPT sayıları ile çekilme hızı arasındaki bağıntı gösterilmiştir.

Zeminin Tanımı	Çekilme Hızı				
	N = SPT Sayısı				
	10	20	30	40	50
Kil					N < 10
Silt					N < 10
Kum		N > 50	50 > N > 30	N < 30	
Kumlu ve Çakılı		N > 50	N < 50		
Kıtaşı		N > 50			

Şekil 2.9 : Zemin çeşidi ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki [6].

Şekil 2.10’da ise zeminde imal edilen kolon çapı ile monitörün döndürülme hızı arasındaki ilişki gösterilmektedir.



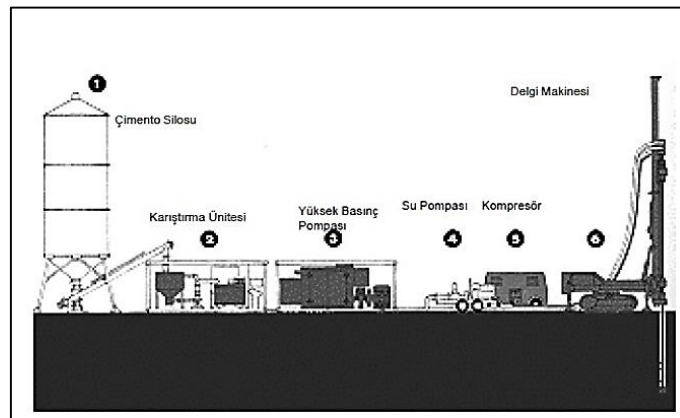
Şekil 2.10 : Tahmini kolon çapı ile püskürtme gövdesinin çekilme hızı arasındaki ilişki [9].

2.3 Jet Grout İmalatı

Sistem prensip olarak hazırlanan çimento şerbetinin, yüksek basınç altında zemin içerisine püskürtülerek çevrede bulunan zeminin basılan şerbet ile karşılaştırılması suretiyle ıslah edilmesine dayanmaktadır. Sistemin donanımı şu şekilde sıralanabilir.

- Delici Makine (6)
- Çimento Silosu (1)
- Su Pompası (4)
- Karıştırıcı Ünite (2)
- Yüksek Basınç Pompası (3)
- Hava Kompresörü (seçilen sisteme göre) (5)

Sistemin şematik görünümü Şekil 2.11’de gösterilmektedir.



Şekil 2.11 : Jet grout sistemi ekipmanları [10].

2.3.1 İmalat ekipmanları

2.3.1.1 Delici makine

Teknolojinin gelişmesiyle beraber zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılan makine ve ekipmanlar da çeşitlilik kazanmıştır. Kullanılan ekipmanların çeşitliği sahadaki ihtiyaca göre şekillenmektedir. Jet grout imalatlarında kullanılan delici makine görünümü Şekil 2.21’de görülmektedir.

Makinenin kısımlarından olan boom kısmı (delgi kulesi) zemine ve mevcut koşullara uygun olarak çalışabilmektedir. Makinanın boom kısmı tijn dönmesini ve ilerlemesini sağlayan bağlantı halatlarını da otomatik olarak ayarlamaktadır. Kohezyonlu zeminlerde delgi rotary yöntemiyle yapılırken; kohezyonsuz zeminlerde delgi darbeli yöntem ile yapılabilmektedir.



Şekil 2.12 : Jet grout delgi ekipmanı [6].

2.3.1.2 Silo – pompa – karıştırıcı üniteleri

Jet grout yöntemin en önemli kısmı, püskürtme işlemi gerçekleştiren monitör kısmıdır. Makinanın delici gövdesinin üzerinde bulunan ve üzerinde püskürtme ağzlarının yer aldığı kısma ‘monitör’ denilmektedir. Püskürtme ağzlarının adedi seçilen yöntemle göre değişiklik göstermekte olup; ağzlardan çıkan malzeme (su,

çimento, hava) monitöre dik olacak şekilde püskürtülür. Püskürtme ağızlarının çapları 1.5 – 8mm arasında değişmektedir.

Karıştırıcılar ve enjeksiyon püskürtülmesinde kullanılan ekipmanlar, jet grout yönteminde harcın hazırlanması ve bağlantılar yoluyla delici makinaya aktarılmasında kullanılmaktadır. Sistem genel olarak santralden gelen çimentonun basıldığı silo ile başlamakta olup; karıştırıcı ünite de enjeksiyonun hazırlanacağı kazan içerisine istenilen miktarda çimento basılması için elektronik tartı yardımıyla enjeksiyon tankına alınmaktadır. Kazanda istenilen oranda çimento ve su karışımı hazırlanıp, delici makinaya aktarılmaktadır. Bu aktarım için de kullanılan yöntemlere göre yüksek ve düşük basınçlı pompalar kullanılmaktadır. Jet grout yöntemine ait silo, pompa ve karıştırıcı ünitelerine ait görsel Şekil 2.22’ de görülmektedir.



Şekil 2.13 : Jet grout silo – pompa – ve karıştırıcı üniteleri [11].

3. JET GROUT KALİTE KONTROL TESTLERİ

Jet grout yöntemi ile yapılacak kolon inşa veya zemin ıslah işlemleri uygulamanın yapılacağı zemin ile ilgili tüm etüd ve testlerin yapılmış ve bunlarla ilgili değerlerin elde edilmiş olmasını gerektirir. Ayrıca, her uygulama öncesi sahada, test kolonları inşası ve bunların hesaplanmış değerleri karşılayıp karşılamadığı gözlemlenmeli, parametrelerde gerekli optimizasyonlar yapılmalıdır.

3.1 Karot Numunelerinin Alınması

Kolonlardan arazide alınan silindirik numuneler üzerinde laboratuvarında yapılan serbest basınç deneyi ile jet grout elemanının basınç dayanımı elde edilir. Numuneler, uygulama esnasında kolon yaş iken piston numune alıcı ile alınır. Prizini almış kolon üzerinde ise karot numune alınır [12]. Serbest basınç deneyinde tercihen deformasyonlarda ölçülerek deformasyon modülü, E_{JG} tayin edilir.

Şekil 3.1’de jet grout kolonundan karot numune alımı gösterilmektedir. Deneylerden ölçülen mukavemet değerlerinin servis yüklerini belli bir emniyet faktörü ile taşıdıkları ispat edilmelidir. Karot numuneleri imal edilen kolondan imal tarihinden 28 gün sonra, TS 10465’e göre (Beton Deney Metotları – Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini Yönetmeliği) uygun şekilde alınmalıdır.



Şekil 3.1 : Karot numunelerinin alınması [13].

3.2 Kazık Yükleme Testi

Projede jet grout kolon yüklerinin ve jet grout kolon imalatı kalitesinin tahkik edilmesi amacıyla tüm proje kapsamında imal edilen kolonlardan seçilecek bir adedi üzerinde

kolon yükleme deneyi yapılır. Yükleme deneyi için bir adet basınç kolonu ile iki adet çekme kolonu olarak kullanılacak kolonlar imal edilmelidir. Deney doğrultusunda basınç kolonuna statik eksenel basınç yükü yüklenerek yük – oturma, yük – zaman ve oturma – zaman grafikleri hazırlanır.

Jet grout kolonun toplam taşıma kapasitesi, kolonun çeperi ve ucu tarafından taşınan toplam kapasitesidir. Deney yükü için ise jet grout kolonun toplam kapasitesinin 1.5 katı dikkate alınmalıdır. Deneme kolonları, göçene kadar veya maksimum kabul edilebilir oturma meydana gelene kadar yüklenir. Göçme yükü;

1. Yük daha fazla artmadığı halde oturma devam etmesi halindeki yük
2. Kolon çapının %10'u kadar bir toplam oturmaya yol açan yük

tanımlamalarından birisine göre seçilir. Yükleme deneylerinde "ASTM D 1143 – 81" standart yükleme için uygun maddeleri kullanılabilir.

Yükleme deneyinde kolonda maksimum yüklemeye meydana gelen deformasyon servis yükünde meydana gelen deformasyonun 1.5 katını geçmemesi, deney yükü kaldırıldıktan sonra meydana gelen kalıcı deformasyonun ise toplam deformasyonun %50'sini geçmemesi ve kazık başlığında ölçülen toplam oturma değerinin 10 mm'yi geçmemesi gerekmektedir [14]

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

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



Şekil 3.2 : Kazık yükleme testi [13].

3.3 Kazık Süreklilik Testi

Uygulanan jet grout kolonların boyları, kazıklardakine benzer şekilde ülkemizde de yaygın olarak kullanılan integrity deneyi ile tespit edilebilmektedir.

Kazık çap ve boy sürekliliğinin denetlenmesi için uygulanan kazık süreklilik deneyinde kazıkların üst ucundan küçük bir çekiç darbesi verilmektedir. Bu darbenin ivme sinyali A, kazık üstüne geçici olarak yapıştırılan bir akselometre ile algılanarak sayısallaştırılıp bilgisayarda kaydedilir. Kazıktaki şekil / malzeme değişikliklerinden ve kazık ucundan yansıyan sinyaller de algılanarak hız sinyali olarak kaydedilir. Bu sinyal hıza bağlı bir değişken olup geçen zamanın tam olarak bilinmesinden faydalanılarak, alınan yansımaların yerini tespit için sinyal, derinliğe bağlı bir fonksiyona dönüştürülmektedir. Bu dönüşümde bilinmesi gereken dalganın yayılma hızı olup beton / jet grout kolon için ortalama $C = 3000 - 4500\text{m/sn}$ 'dir [15].

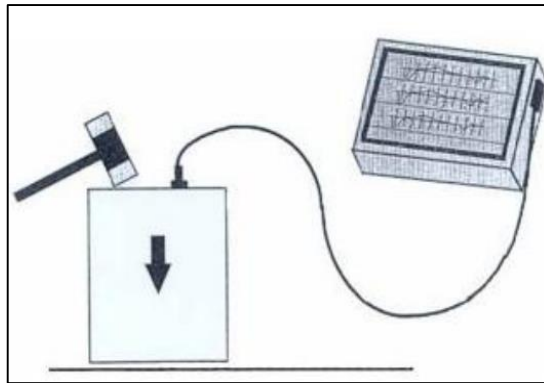
Formüle edilirse, yansıma derinliği X, (3.1) eşitliği ile bulunabilmektedir [15].

$$X = \frac{1}{2} Ct \quad (3.1)$$

t: Darbeden yansıma anına kadar geçen süre

C: Dalganın yayılma hızı

Bu şekilde derinliğe bağlı sayısallaştırılmış hız sinyali grafiği yorumlanarak kazıkta olası boy ve uç şekli değişiklikleri anlaşılabilir. Şekil 3.3'te kazık süreklilik testi şeması gösterilmektedir.



Şekil 3.3 : Kazık Süreklilik Testi Şeması [13].

Ancak bu deney taşıma kapasitesini tahmin etmek için kullanılmamalıdır. Bu deney karotlu sondaj, kazı araştırması, yükleme testleri gibi zaman alıcı ve masraflı yöntemlerle karşılaştırıldığında çabuk ve ucuz sonuçlar sunar. Kazık cevabı hemen ekranda görüntülenebilir ve yazdırılabilir veya detaylı analizler için aletin kendi

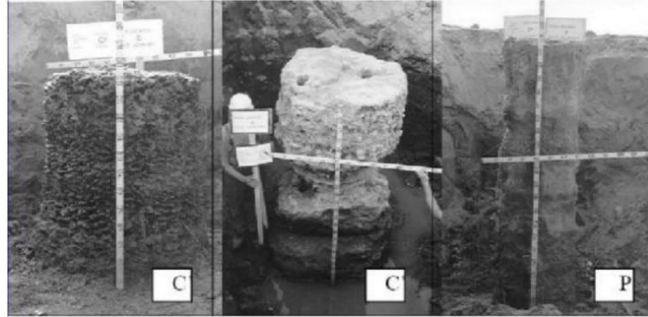
belleğinde depolanabilir. 1968'den beri tüm dünyada kullanılarak yapılan milyonlarca testte birçok kazıkta bozukluk ortaya çıkmıştır. Kazıkların üst seviyelerinde tespit edilen bozukluklardan dolayı, kazıklar daha detaylı inceleme için kazılır veya karotlu sondaj ile numune alınır. Şekil 3.4'de kazık süreklilik testi cihazı gösterilmektedir.



Şekil 3.4 : Kazık Süreklilik Testi Cihazı [13].

3.4 Çap Kontrolü

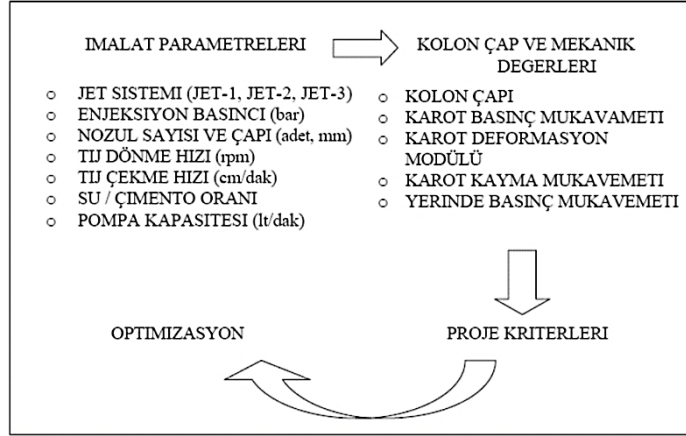
Çalışma platformundan seçilecek imalatı tamamlanan kolonlardan bazıları kazılarak kolon meydana çıkartılır ve kolon boyutları tahkik edilerek istenen çapın sağlanmadığı kontrol edilir. Şekil 3.5'te jet grout kolonlarında imalat sonrası çap kontrolü gösterilmektedir.



Şekil 3.5 : Jet Grout Kolonlarında Çap Kontrolü [13].

3.5 Proje Kriterlerinin Kalibrasyonu

Her önemli jet grout uygulamasında seçilen proje kriterlerinin, özellikle kolon çap ve mukavemet değerlendirilmesi önerilmektedir. İmalat parametrelerindeki değişiklikler, sonuç kolon özelliklerini belirleyeceğinden Şekil 3.6'da özetlenen yöntemlerin uygulanarak proje kriterlerini sağlayan sistem parametrelerinin optimum değerlerinin tespiti yapılabilmektedir [16].



Şekil 3.6 : Proje Kriterlerinin Sahada Kalibrasyon ve Optimizasyonu [16].

3.6 Toleranslar

- Tüm jet grout kolonlar, uygulanan projelerinde gösterilen konumlarından en fazla 75mm mesafe içinde kalacak şekilde oluşturulmalıdır.
- Jet grout kolon deliğinin oluşturulması esnasında, delgi ucu mümkün olduğunca düşey bir konumda tutulmalı ve düşeyden sapma 1/50'den daha fazla olmamalıdır.
- Su/Çimento karışımında, su çimento oranı kütlece 0.5 ila 1.5 arasında olmalıdır.
- Bir jet grout kolonu bitiminden en az 24 saat geçmeden 2 çap çevresinde delgi yapılmayacak, imalat atlamalı olarak sürdürülmelidir.



4. BOLU HAMPTON BY HILTON OTEL PROJESİ KAPSAMINDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Bolu Hampton by Hilton otel projesi kapsamında yapılan jet grout kolonların kalite kontrol testleri ile projeye uygunluğu incelenecektir.

Öncelikle yapılan zemin etüd çalışmaları ile elde edilen veriler kullanılarak bir zemin profili elde edilip, bu profile ve üst yapı yükleri belirlenerek yapılacak olan ıslah çalışmasına karar verilmiştir.

Uygulanacak olan zemin ıslah çalışması jet grout kolon sistemidir. Yapılan analiz sonucu toplam 245 adet jet grout, kolon çapı Ø80 grid aralığı 2x2 m olarak belirlenmiştir.

Bu uygulamanın sağlaması olarak; jet grout kolonlardan karot numunesi alınarak basınç dayanımı testi, bütünlük (pile integrity) testi ve yükleme testi yapılmıştır.

4.1 İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı; Bolu ili, Merkez ilçesi, Sandallar mahallesi, Kozluk mevki, 1804 ada, 4 parseldir.

Bolu ve çevresi morfolojisini, platolar, sekiler, taban arazileri, birikinti yelpazeleri, vadi ve yamaç sistemleri oluşturmaktadır. Bolu, dört tarafı dağlarla çevrili geniş bir ova şeklindedir.

İklim bakımından Bolu civarında, bol yağışlı Karadeniz iklimi hâkimdir, İlkbahar ve Sonbahar yoğun yağmurlu, kışlar ise soğuk ve kar yağışlıdır.

Etüt alanı, düz bir topoğrafyaya sahip olup, eğim % 0-5 arasındadır. Etüt alanının genel görünümü Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : Etüt alanının genel görünümü [17].

4.2 Zemin Araştırmaları ve Özellikleri

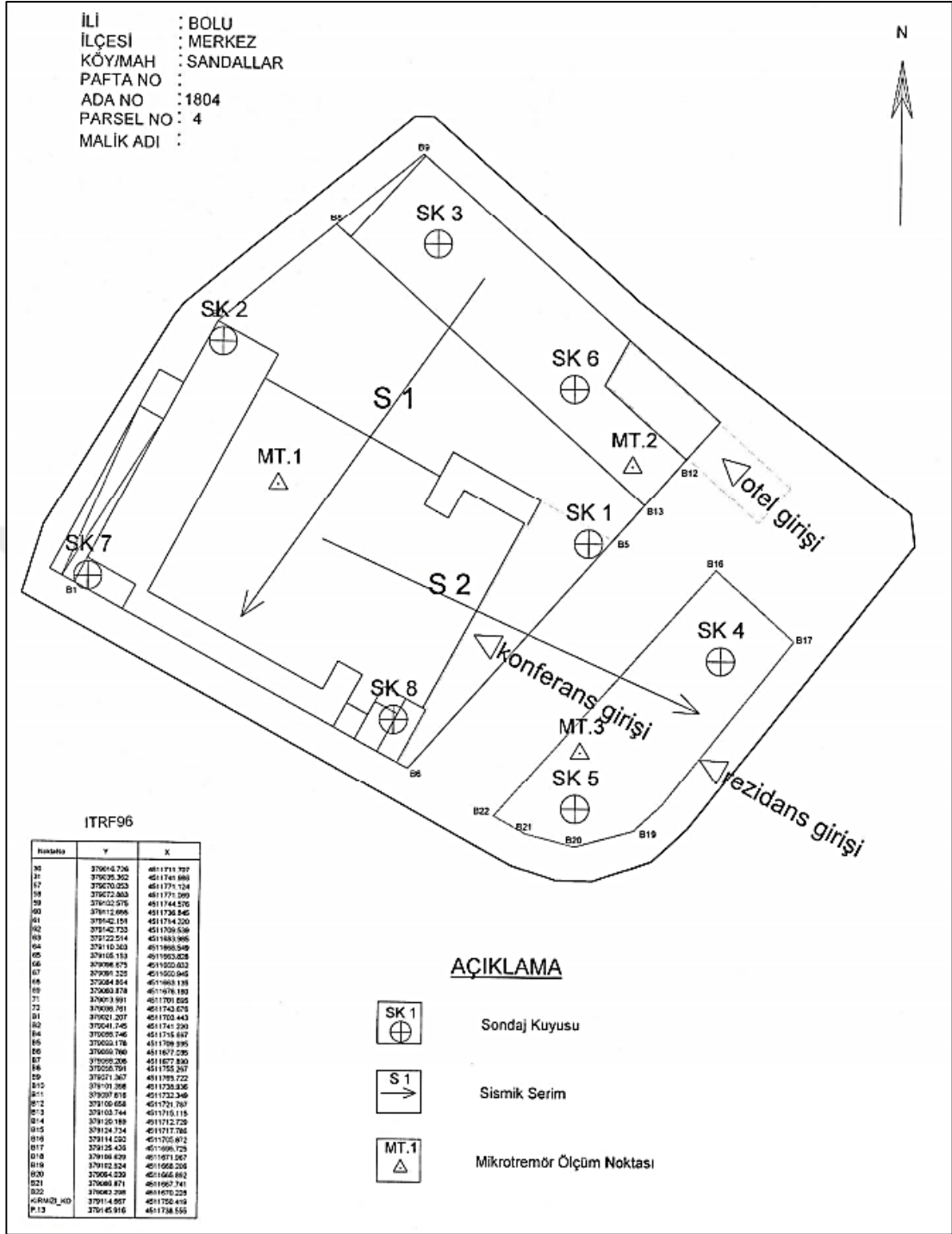
4.2.1 Arazi alışmaları

İnceleme alanı, zemin cins ve karakterlerinin tanımlanması amacıyla Şekil 4.2'deki vaziyet planında görölen lokasyonlar da araştırma sondajları yapılmıştır. Sondajlarda Crealius XCH – 90 sondaj makinası kullanılmıştır. Yapılan sondaj çalışmaları kapsamında mevcut zemin durumun ve zeminlerin mühendislik parametrelerini belirlemek amacı ile 8 adet toplam 201.60m araştırma sondajı yapılmıştır. Arazide yapılan sondajlara ait liste izelge 4.1'de verilmiştir. İnceleme alanında yapılan araştırma sondajları sırasında yeraltı su seviyelerinin 3.00m – 5.50m arasında değiştiği görölmüştür.

İnceleme alanı, zemin grubu C olup, yerel zemin sınıfı Z3 olarak tanımlanmıştır. Bu yerel zemin sınıflamasına göre, Spektrum Karakteristik Peryotları $T_a=0.15\text{sn}$ ve $T_b=0.60\text{sn}$ 'dir.

Çizelge 4.1 : Sondaj Listesi

Sondaj No	Derinlik (m)	Yeraltı Su Seviyesi (m)
SK1	21.45	5.50
SK2	19.95	4.00
SK3	30.45	4.00
SK4	24.45	4.00
SK5	30.45	4.00
SK6	30.45	4.00
SK7	24.45	4.50
SK8	19.95	3.00



Şekil 4.2 : İnceleme alanının sondaj kuyuları vaziyet planı [17].

Çalışmaya ait SK1, SK7 ve SK8 logları Ek A'da sunulmuştur.

4.2.2 Laboratuvar çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler, laboratuvar ortamına getirilip zemin özelliklerinin belirleyici deneyler yapılmıştır. Bu deneyler

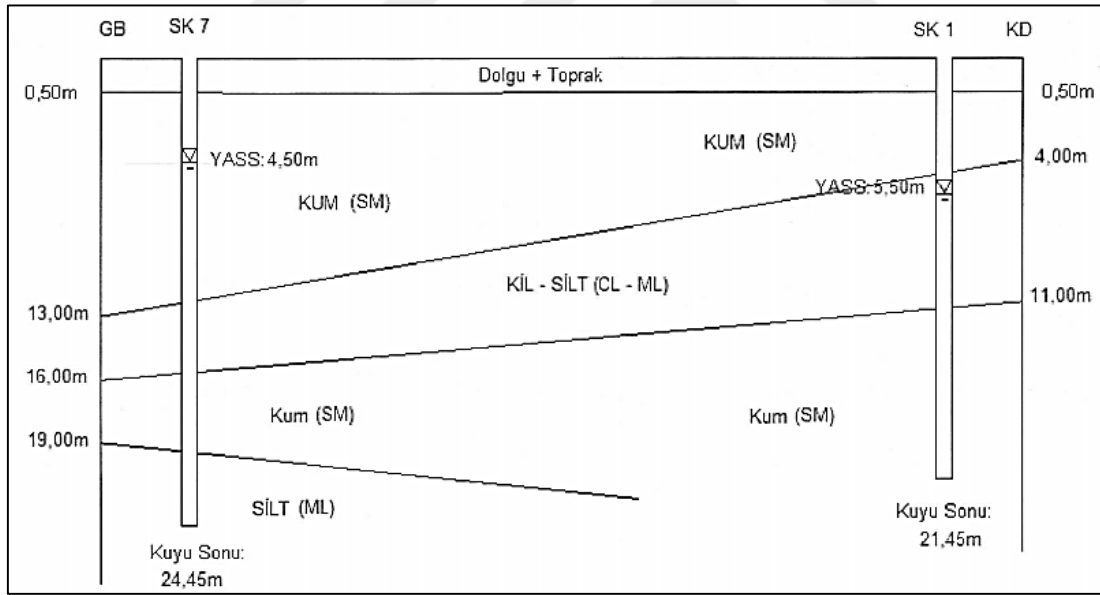
sonucunda zeminin indeks ve fiziksel özellikleri ortaya çıkarılmış ve zeminin geoteknik parametreleri tespit edilmiştir.

4.2.3 Zemin profili ve parametreleri

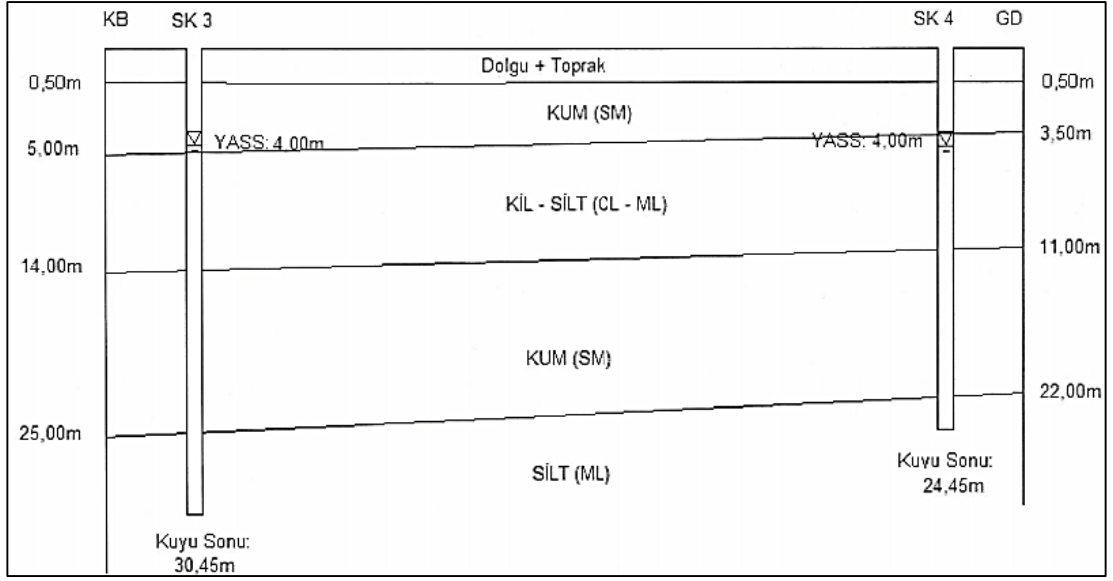
Söz konusu sahada yapılan sondajlarda ağırlıklı olarak granüler malzeme olarak tanımlanan alüvyonel istif kesilmiştir. Bu 8 adet sondaj kuyusundan yaptırılan elek analizi deney sonuçlarına göre, zemin profili 2 ana litolijiden oluşmaktadır. Bunlar;

- **SM; Siltli Kum**
- **ML; Düşük Plastisiteli Silt**

zemin sınıfına girmektedir. Ayrıca alüvyonel istif içinde yer yer lokal olarak SK1, SK3 ve SK5 sondajlarında 6.0 metreden sonra 4 – 5 m kalınlığında CL (Düşük Plastisiteli Kil) gözlenmiştir. Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te inceleme alanına ait jeolojik kesitler gösterilmiştir. Söz konusu bölgede yapılan sondaj bilgilerine dayanılarak oluşturulan idealize zemin modeli ve seçilen parametreler Çizelge 4.2'de özetlenmiştir.



Şekil 4.3 : İnceleme alanının jeolojik kesiti 1 [17].

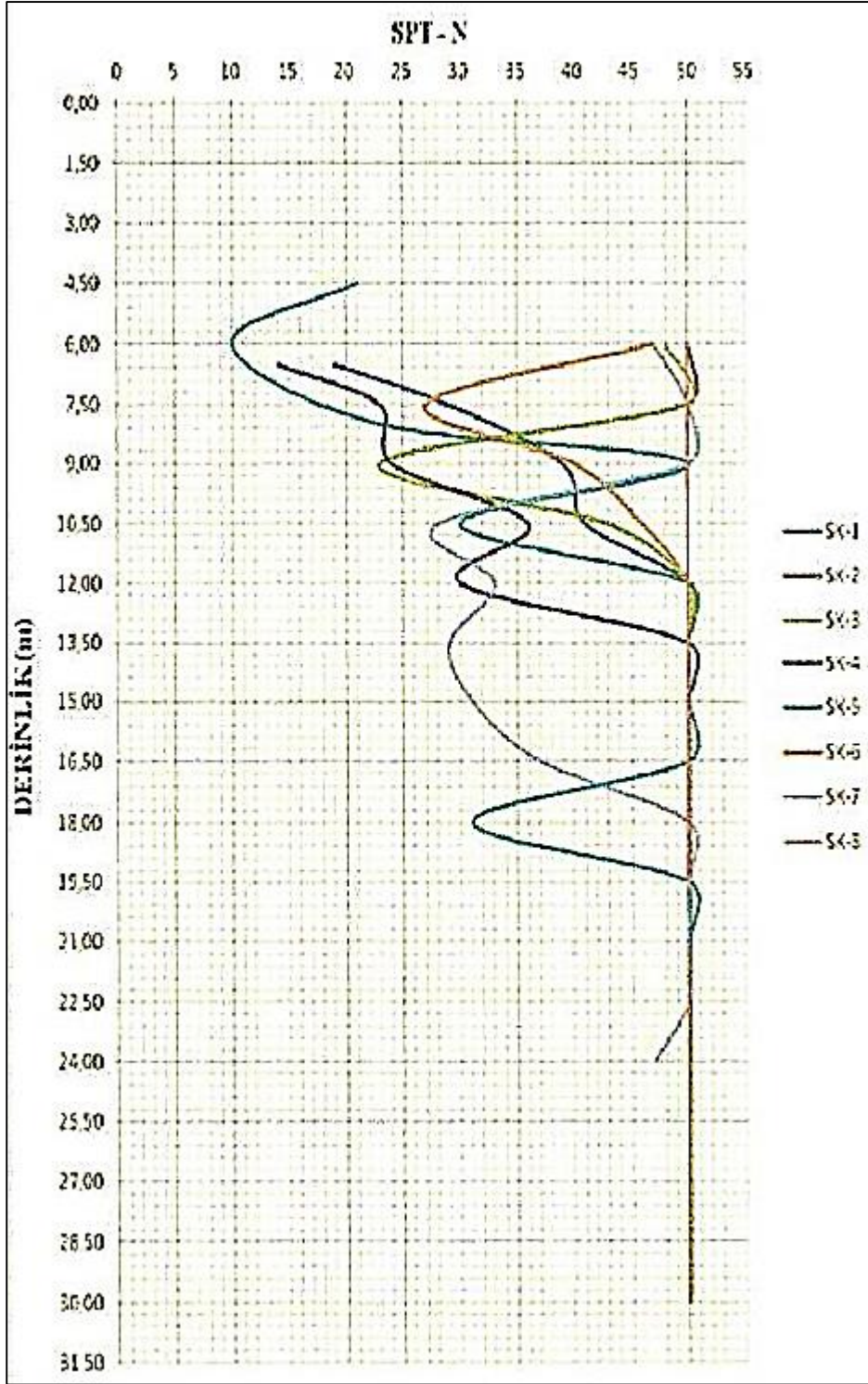


Şekil 4.4 : İnceleme alanının jeolojik kesiti 2 [17].

Çizelge 4.2 : İnceleme alanı zemin parametreleri

Zemin Tipi	Tabaka Derinliği (m)	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	Sürtünme Açısı (°)	Kohezyon Değeri (kPa)
Dolgu	0 – 0.50	18	0	0
Killi - siltli üst zon	0.50 – 8.00	19.00	0	64
Silt ve kum	>30.00	19.80	32	0

Ayrıca sahada yapılan sondajlarda 1.5m aralıklar ile SPT –N₃₀ deneyleri yapılmıştır. Bu tüm sondajlarda yapılan SPT –N₃₀ değerlerinin derinliğe bağlı değişimi Şekil 2’de verilmiştir. Sahada genel olarak 4.5 – 9.0 m ler arasında SPT değerleri <30 darbe olan orta sıkı – katı zeminler yer almaktadır. SPT –N₃₀ değerlerinin derinlikle değişim grafiği Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.5 : SPT sonuç grafiği [17].

İncelenen parsel alanında yapı yüklerinin oturacağı killi – siltli –kumlu üst zonun nispeten sıkı birimleri için;

Emniyetli taşıma gücü (q_{em}) = 2.00 kg/cm²

Düşey yatak katsayısı (K_s) = 24.000 kN/m³ olarak hesaplanmıştır.

İnceleme alanında genel olarak bakıldığında ilk 7 – 8 m lik kesimde nispeten farklı oturmalara sebep olabilecek kil, kum ve siltlerden oluşan bir litolojik birimler yer almaktadır. İnşaat esnasında oluşacağı muhtemel elastik oturmaların yaklaşık 5.5cm civarında oluşacağı hesaplanmıştır.

Ayrıca sahada yapılan jeofizik ölçümlerde de ilk 7.60 – 8.00m'lik kesim Vs dalga hızları 231 – 242m/s olan nispeten alt kesimlere göre daha zayıf zemin niteliği taşımaktadır. Çizelge 4.3'te jeofizik ölçüm sonuçları verilmiştir.

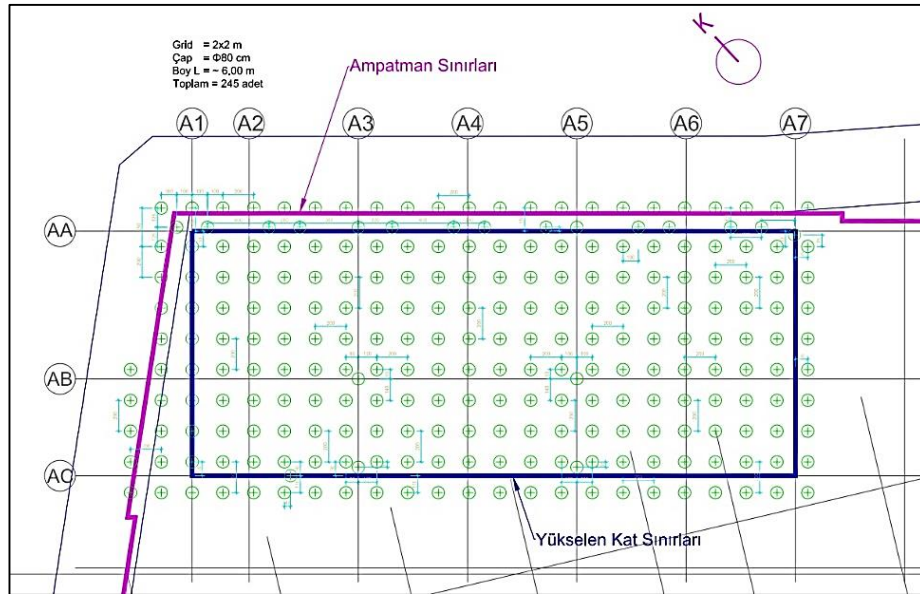
Çizelge 4.3 : Jeofizik ölçüm sonuçları

Ölçü No	Tabaka No	Vp (m/s)	Vs (m/s)	Kalınlık (m)	G	E (kg/cm ²)	Poisson Oranı	K
S -1	1	465	231	8.03	768	2053	0.336	2088
	2	1277	471	>15.0	4111	11686	0.421	24738
S -2	1	448	242	7.60	835	2162	0.294	1749
	2	1281	453	>15.0	3806	10873	0.429	25359

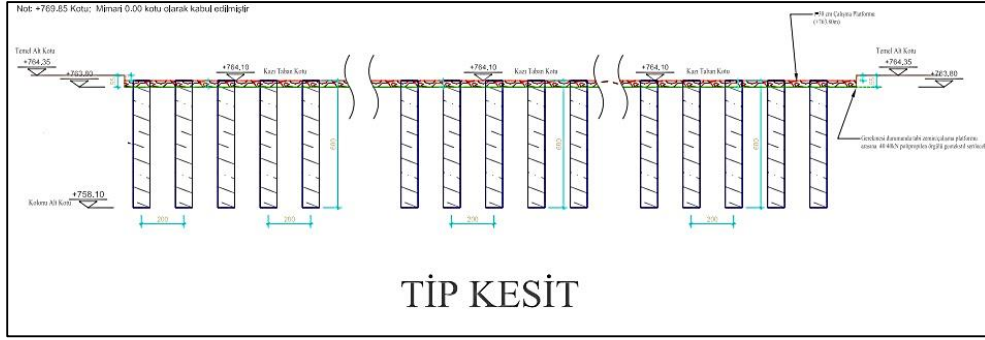
4.3 Jet Grout Uygulaması

Bolu Hampton by Hilton otel projesi kapsamında yapılan zemin çalışmaları sonucunda elde edilen zemin profiline göre ve üst yapı yüklerine ilişkili olarak yapılacak olan ıslah çalışmasına jet grout yöntemi olarak karar verilmiştir.

Yapılan analiz sonucu toplam 245 adet jet grout, kolon çapı Ø80cm, grid aralığı 2.0x2.0m olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6 : Jet grout kolon uygulaması vaziyet planı [18].



Şekil 4.7 : Jet grout kolon uygulaması tip kesit [18].

4.4 Bolu Hampton by Hilton Otel Projesi Kapsamında Yapılan Kalite Kontrol Testleri

4.4.1 Jet grout kolonlarının mukavemet özellikleri

Bolu Hampton by Hilton Otel Projesi bölgesinde yapımı tamamlanan jet grout kolonlarının, kalite kontrolünün yapılması için, karotiyer ile numuneler alınmış ve Tek Yapı Test Laboratuvarı'nda (Ankara) tek eksenli serbest basınç deneyi yapılmıştır. Jet grout kolonlarının tek eksenli serbest basınç dayanımları, 28 günlük bekleme süresinin tamamlamasından sonra, numunelerin kırılması ile elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4 : Serbest basınç dayanımları

KAROT NO	KAROT NUMUNESİNİN ALINDIĞI YAPI ELEMANIN ADI	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)
1	J 1 KOLONU	10.07
2	J 2 KOLONU	6.73
3	J 3 KOLONU	6.57
4	J 4 KOLONU	7.4
5	J 5 KOLONU	9.44
6	J 6 KOLONU	10.62

4.4.2 Jet grout kolonları ile birim alan oranı ve deprem kayma gerilmelerinin dağılımı

Kolonların kayma modülleri tercihen arazide yapılacak aplikasyon deneyleri veya başlangıç olarak müteahhit firmaların benzer sahalarda elde ettiği tek eksenli silindirik basınç deneyi mukavemetlerinin (f_{1G}) yorumlanması ile elde edilmektedir. Her türlü

koşulda bu verilerin inşaat aşamasında deneylerle doğrulanması gerekmektedir. Tercihen jet grout kolon karot numunelerinden alınacak örnekler tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmalı ve geçici yükleme durumlarında Poisson Oranı (ν) 0.5 kabul edilerek, aşağıda açıklandığı şekilde elastisite (E_{JG}) ve kayma (G_{JG}) modülleri bulunabilir[12].

$$E_{JG} = 4730 \sqrt{f_{JG}} \quad (4.2)$$

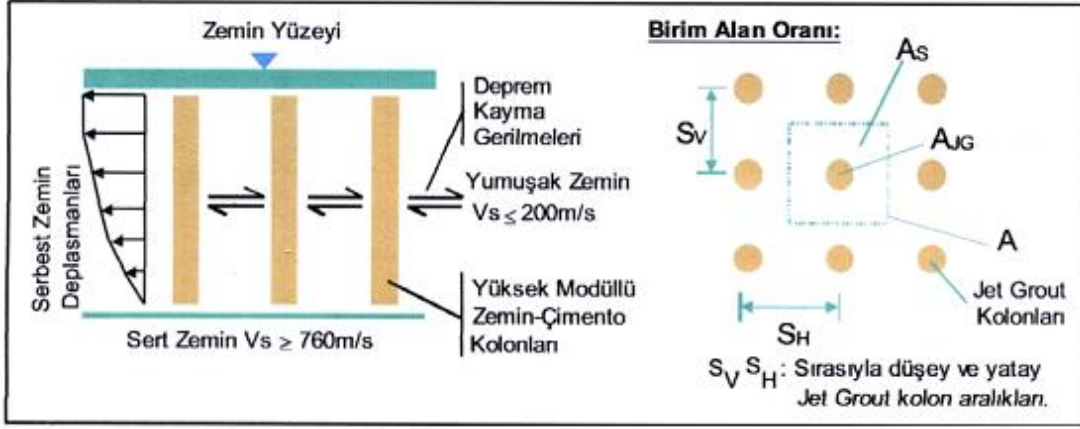
$$G_{JG} = \frac{E_{JG}}{2 \times (1 + \nu)} \quad (4.2)$$

Tek eksenli basınç deneyi sonuçlarına uygulanacak 2.0 mertebesinde bir güvenlik faktörü ile kayma modülünün alabileceği değer aralığının, daha önce elde edilen tecrübeler ışığında, 1,000MPa ila 4,000MPa mertebesinde olabileceği görülmektedir. Uygulamada gerçekleştirilen zemin değiştirme miktarını tanımlamak üzere yüksek modüllü kolon alanının (A_{JG}) Şekil 4.8’de gösterilen birim hücre alanına (A) oranı olan, Alan Yer Değiştirme Oranı (a_r) aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır[12].

$$a_r = \frac{A_{JG}}{A} \quad (4.3)$$

$$a_r = \frac{A_s}{A} = 1 - a_r \quad (4.4)$$

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



Şekil 4.8 : Deprem kayma modeli ve birim hücrenin tanımlanması [12]

Yukarıda yapılan tanımlamalar ışığında birim alan içerisindeki gerilme konsantrasyonu (n) aşağıdaki şekilde tanımlanabilecektir.

$$n = \tau_{JG} / \tau_s \quad (4.5)$$

Yukarıdaki ifadede, τ_{JG} çimento – zemin karışımı kolonlara ve τ_s ; kolonlar arasındaki zemine etkileyen 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 değişimi oranı (a_r)'ye bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır [12].

$$\tau = \tau_{JG} \cdot a_r + \tau_s \cdot a_s \quad (4.6a)$$

$$\tau = \tau_{JG} \cdot a_r + \tau_s \cdot (1 - a_r) \quad (4.6b)$$

Yukarıdaki eşitlikler gerilme konsantrasyon oranına (n) bağlı olarak yazılması durumunda aşağıdaki bağıntılar elde edilmektedir.

$$\tau_s = \frac{\tau}{1 + (n-1)a_r} \Rightarrow \frac{\tau_s}{\tau} = \frac{1}{1 + (n-1)a_r} \quad (4.7a)$$

$$\tau_{JG} = \frac{n\tau}{1 + (n-1)a_r} \Rightarrow \frac{\tau_{JG}}{\tau} = \frac{n}{1 + (n-1)a_r} \quad (4.7b)$$

4.4.3 Çevrimsel gerilim azaltım faktörü

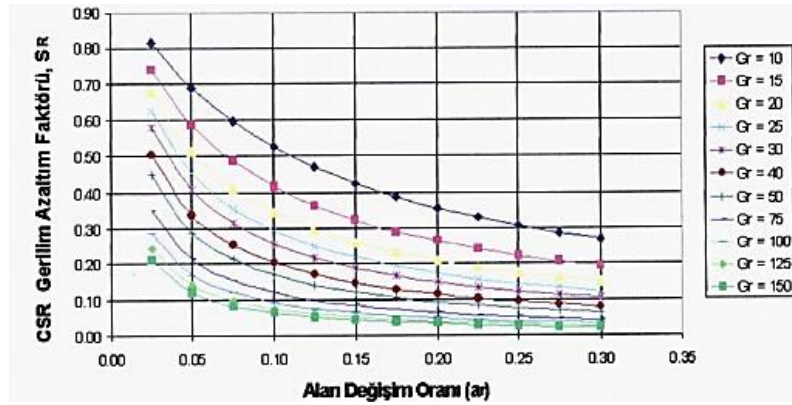
Zeminde çimento – zemin karışımı kolonların veya herhangi başka bir donatılı elemanın olmaması durumunda ortalama kayma gerilmeleri Seed ve İdris, (1971) çalışmasında açıklandığı şekliyle bulunabilecektir. Ortalama kayma gerilmesinin yukarıdaki formüllerdeki birim alan üzerine etki eden kayma gerilmesi yerine kullanılmasının sebebi, oluşacak şekil değiştirmelerin genelde bu gerilme seviyelerinde ortaya çıkmasından ileri gelmektedir. Bu durumda kolonlar ve onları çevreleyen zemin arasındaki gerilme paylaşımı kolon çapı ve aralığının bir fonksiyonu haline gelecektir.

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

$$S_R = \frac{\tau_s}{\tau} = \frac{\tau_s}{\tau_{ort}} = \frac{1}{(1 + (G_r - 1)xa_r)} = \frac{1}{G_r} x \left[\frac{1}{a_r + \frac{1}{G_r}(1 - a_r)} \right] \quad (4.8)$$

Bu formülde verilen S_R değeri, Seed ve İdris, (1971) çalışmasında bulunan çevrimsel gerilme oranını azaltmakta ve dolayısıyla güvenlik faktörünün artırımında kullanılacaktır. Yukarıdaki formülasyonların daha önceki tecrübeler ışığında uygun tasarım aralıklarında çözümü durumunda Şekil 4.9'da ifade edilen tasarım eğrileri ortaya çıkmaktadır[12].

$$F_S = \frac{\tau_s}{\tau_o x S_R} \quad (4.9)$$



Şekil 4.9 : Birim alan ve kayma modülüne bağlı azaltım eğrileri [12]

İnceleme alanında yapılan zemin etüd çalışmaları kapsamında zeminin elastisite modülü değeri ortalama 686.95 N/mm² olarak verilmiştir. Zemin iyileştirme projesi kapsamında yapılan Ø80cm çapında 2.0 x 2.0m kareli jet grout kolon uygulamasında bu tez kapsamındaki Bölüm 4 denklem 4.1 ve 4.2 eşitlikleri dikkate alındığında, test kolonlarından alınan karot numuneler üzerindeki basınç dayanımlarından elde edilen elastisite modülü ve kayma modülü değerleri Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Jet grout kolonu elastisite modülü ve kayma modülü

KAROT NO	KAROT NUMUNESİNİN ALINDIĞI YAPI ELEMANIN ADI	Jet grout Kolon Elastisite Modülü (E_{jg}) (N/mm²)	Jet grout Kolon Kayma Modülü (G_{jg}) (N/mm²)
1	J 1 KOLONU	15009.83	5003.27
2	J 2 KOLONU	12270.68	4090.22
3	J 3 KOLONU	12123.94	4041.31
4	J 4 KOLONU	12866.99	4288.99
5	J 5 KOLONU	14532.72	4844.24
6	J 6 KOLONU	15414.28	5138.09

Yapılan hesaplamalar sonucunda test numuneleri üzerinde yapılan karot testi sonuçlarına göre ortalama elastisite modülü değeri 13703.07 N/mm² ve ortalama kayma modülü değeri 4567.69 N/mm²’dir. Sahada yapılan jeofizik çalışmalar sonucunda 1. tabakada ortalama 160 N/mm² kayma modülü hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar sonucunda kayma modülü oranı yaklaşık 29 bulunmaktadır. Alan yer değiştirme oranı (a_r) ise; denklem (4.3) kullanılarak 0.125 (%12.5) olarak bulunmuştur.

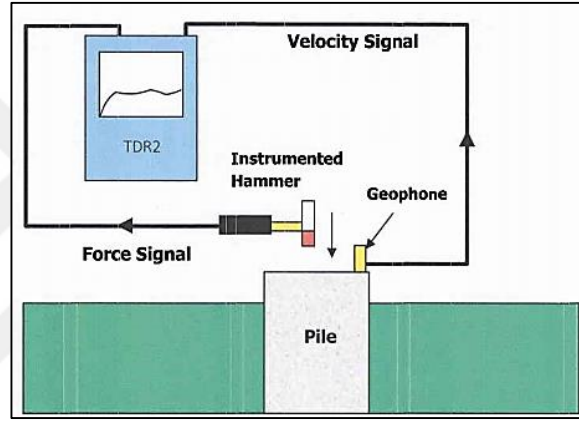
4.4.4 Bütünlük testi (Pile İntegrity Testi)

Kolon bütünlük testleri önemli süreksizliklerin materyal eksikliklerinin belirlenmesinde ve kolon boylarının tespitinde kullanılan bir yöntemdir. Bu testten elde edilen bulgularla kolon cidarı boyunca ortaya çıkan süreksizlikler tespit edilir ve kolon kalitesinin kontrolü sağlanır. Bütünlük testi kolon başına 0.5 kg ağırlığında özel bir çekiçle oluşturulan darbenin yine kolon başına yerleştirilen bir ivme ölçerle

(geophone) kaydedilmesi, esasına dayanmaktadır. İvmeölçerle kaydedilen sinyal, belirli büyütme değerleri kullanılarak dijital hale çevrilir.

Sahada portatif bir bilgisayar (data logger) vasıtasıyla alınan kayıtlar bu iş için özel olarak geliştirilen yazılımlar kullanılarak analiz edilmekte ve sonuçlar grafik olarak elde edilmektedir.

Bütünlük testi kolon betonu dökümünden en az beş gün sonra yapılmalıdır. Bütünlük testinde her kolon için dört ayrı kayıt alınarak test süresince ortamdaki çevresel değişikliklerin etkisi en aza indirilmelidir. Elde edilen sonuçların yorumunda zemin yapısı, kolon tasarım özellikleri, kolon imalat yöntemi ve imalat yönteminin kolon formuna olası etkileri göz önüne alınmalıdır.



Şekil 4.10 : Kolon bütünlük test düzeneği [19]

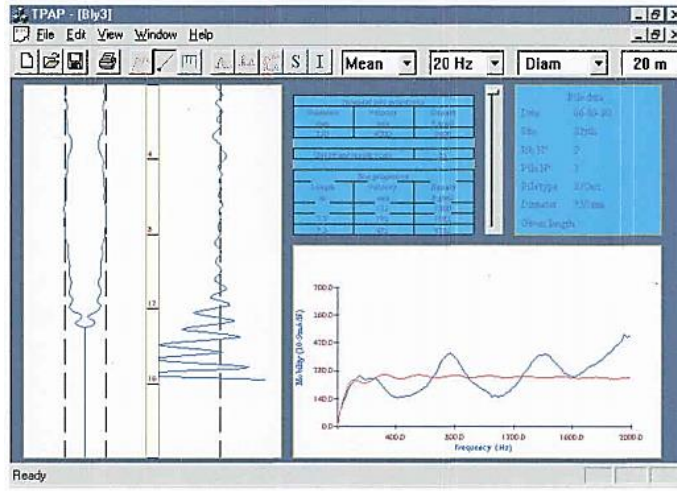
4.4.4.1 Bütünlük (İntegrity) testinin değerlendirilmesi

İmal edilen 8 adet jet kolonu üzerinde bütünlük testi yapılmıştır. Uygulamada her kolon için dört ayrı kayıt alınmıştır. Kolon boylarının ölçülmesinde titreşim dalgasının kolon içerisinde ilerleme hızından yararlanılmaktadır. Derinlik boyunca zemin yapısında meydana gelen değişimlerin ve kolon tasarım özelliklerinin test sonuçlarına etkisi olduğu bilinmektedir. Kayıtlarda görülen küçük sapmaların nedeni bu metrelerde zemin yapısının değişim göstermesidir. Elde edilen test kayıtları operatörden kaynaklanan \pm % 2 hata payları göz önüne alınmalıdır.

4.4.4.2 İmpedans profilin üretilmesi

Kolon bütünlük testinden elde edilen sonuçları değerlendirmek için impedans modül yöntemi kullanılır. Bu yöntemde, derinliğin bir fonksiyonu olarak kolon yüzeyi özel reflectogramını ve yerel karakteristik impedansının değişim profilini üretmek için

kolon üst kısmından elde edilen hareket (mobility) eğrisi ile kolonu çevreleyen zemin özellikleri birleştirilir. Şekil 4.11’de tipik bir impedans profil çalışması verilmiştir.



Şekil 4.11 : Tipik bir impedans profili çalışması [19]

4.4.4.3 Bütünlük (İntegrity) testi sonuçları

Bütünlük testi (Pile Integrity Test); Hampton by Hilton Bolu Otel ve Konferans Salonu inşaatının zemin iyileştirme amaçlı jet kolonları kapsamında; imal edilen kolonlarda çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilecek değişimleri belirlemek ve yapılan imalatlarla istenilen çapta ve boyda kolonlar oluştuğundan emin olmak amacıyla yapılmıştır.

Bu çalışmada, Ø80cm çapında ve 6m boyunda toplam 8 adet jet kolonunda bütünlük (Pile Integrity) testi ASTM – D -5882 standartlarına uygun olarak uygulanmıştır. Test edilen toplam 8 adet kolonda, kolon kesitleri ve boylarını olumsuz yönde etkileyecek bir süreksizliğe rastlanmamıştır. Test sonuçları Ek B’da verilmiştir.

4.4.5 Jet grout kolonları yükleme testi

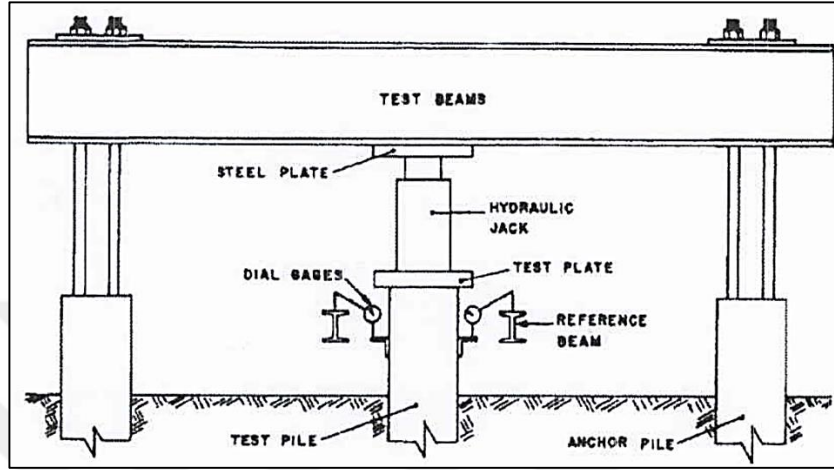
Zemin koşulları ve sistemin taşınma bedeline bağlı olarak değişen yükleme düzeni;

- i. Çekme kolonlu sistemler
- ii. Ölü yükleme

olarak başlıca iki grupta toplanmaktadır. Hampton by Hilton Bolu Otel ve Konferans Salonu inşaatının zemin iyileştirme projesi kapsamında yürütülen deneyde çekme kolonlu sistem yöntemi uygulanmıştır.

4.4.5.1 Çekme kolonlu sistemler

Bu sistemde test yapılacak kolon etrafında inşa edilmiş olan kolonlar çelik kirişler kullanılarak yapılan düzenlemeler ile çekme elemanı olarak kullanılırlar. Yükleme deneyi sırasında iki adet çekme elemanının kullanılması uygun olacaktır. Bu sistemin tipik görünümü Şekil 4.12’de verilmektedir.



Şekil 4.12 : Çekme kolonlu sistem ve ölçüm aletlerinin şematik gösterimi [20]

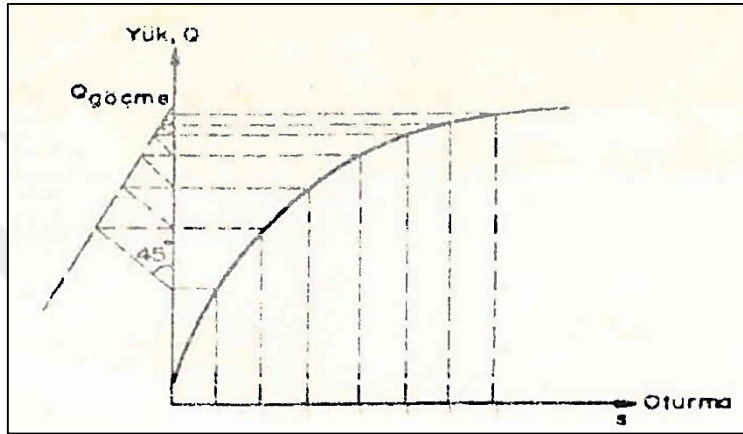
Yükleme testinde; 1 adet test kazığı ve 2 adet çekme kolonu olmak üzere 3 adet kolon kullanılmıştır. 300 ton kapasiteli 1 adet hidrolik kriko ve yüklemeden dolayı fore kazıkta oluşan hareketler, kolon başlığına bağlanmış ve test konumundan bağımsız referans kirişlere oturtulan, 100 mm kapasiteli ve 0.01 mm hassasiyetle 2 adet komparatör ile ölçülmüştür. Komparatörlerin uçlarının temas edeceği yüzeylerin temiz ve pürüzsüz olması sağlanmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13 : Sahada uygulanan yükleme testi düzeni [19]

4.4.5.2 Yükleme testinin değerlendirilmesi

Mazurkiewicz yönteminde, yük – oturma diyagramının oturma eksenini eşit aralıklarla noktalanır. Bu noktalardan yük eksenine paralel çizilir. Bu paralel çizgilerin yük – oturma eğrisini kestiği yerlerden, oturma eğrisine paralel doğrular çizilir. Bu doğruların yük eksenini kestiği noktalardan, yük eksenini 45 derece açı yapan doğrular çizilir ve oturma eksenine paralel çizilmiş olan bir sonraki doğru ile kesiştirilir. Bu kesişme noktalarını birleştirerek elde edilen doğrunun yük eksenini kestiği yer ‘‘taşıma kapasitesi’’ olarak anılır. Bu yöntem Şekil 4.14’de sunulmaktadır.



Şekil 4.14 : Mazurkiewicz yönteminin uygulanması [21]

4.4.5.3 Yükleme testi sonuçları

Yükleme deneyi sonuçlarına göre servis yükü 50 ton verilen bir adet Ø80cm jet kolonunda test sonunda ‘‘yük – oturma’’ grafiğine göre test kazığında 62.50 ton yük altında 2.32mm toplam oturma ve 0.79mm kalıcı oturma gerçekleşmiştir.

Yükleme ve boşaltma kademeleri okuma verileri kullanılarak Mazurkiewicz yöntemine göre taşıma kapasitesi (göçme yükü) 137 ton olarak bulunmaktadır.

Çizelge 4.6 : Yükleme testinin değerlendirilmesi

Kolon Tipi	Servis Yükü (ton)	Maksimum Yük (ton)	Yöntem	Taşıma Kapasitesi (ton)	Güvenlik Katsayısı (Gs)
Ø80cm Jet Kolonu	50.00	62.50	Mazurkiewicz	137.00	2.74

Bu test için istenilen servis ve maksimum yüklere göre düzenlenmiş ‘‘yük – zaman’’ , ‘‘zaman – oturma’’ ve taşıma kapasitesi tayini için gerekli olan ‘‘yük – oturma’’ grafikleri EK C’de sunulmuştur.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, son dönemde sıkça kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemi olan jet grout yönteminin uygulama sonrası yapılan kalite kontrol test prosedürlerinin açıklanması ve yapılan bu kalite kontrol testlerinin sonuçlarının değerlendirilmesidir.

Bu tez kapsamında sistemin uygulanabilirliğinin ve performansının anlaşılması için GEOSİSMİK A.Ş. tarafından 2015 yılında uygulaması yapılan Hampton by Hilton Bolu Otel ve Konferans Salonu projesi örnek proje olarak incelenmiştir. Bu proje kapsamında uygulama sonrası yapılan kalite kontrol testleri anlatılmış ve test sonuçları verilmiştir.

Örnek olarak incelenen Hampton by Hilton Bolu Otel ve Konferans Salonu projesi kapsamında zeminin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için zemin etüd çalışmaları 2015 yılında Burak Mühendislik Zemin Etüdü, Su Sondajı, Jeolojik – Jeoteknik Araştırma firması tarafından yapılmıştır. Proje kapsamında yapılan zemin iyileştirme çalışmaları sonucunda Ø80cm çapında 2.0 x 2.0m karelajlı 6.00m boyunda toplamda 245 adet temel altı jet grout kolonu yapılmıştır.

Uygulama sonrasında 6 adet kolondan test numuneleri alınmış olup; Tek Yapı Test Laboratuvarı (Ankara)'nda tek eksenli serbest basınç deneyi yapılmış ve 6.57 – 10.62 N/mm² aralığında tek eksenli basınç değerleri alınmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda test numuneleri üzerinde yapılan karot testi sonuçlarına göre ortalama elastisite modülü değeri 13703.07 N/mm² ve ortalama kayma modülü değeri 4567.69 N/mm²'dir. Sahada yapılan jeofizik çalışmalar sonucunda 1. tabakada ortalama 160 N/mm² kayma modülü hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar sonucunda kayma modülü oranı yaklaşık 29 bulunmaktadır. Alan yer değiştirme oranı (a_r) ise; denklem (3.3) kullanılarak 0.125 (%12.5) olarak bulunmuştur.

Buradan Şekil 3.4 yardımıyla %12.5 alan değişim oranı ve kayma modülü oranı 29'a karşılık gelen çevrimsel gerilim azalım oranı (S_R) 0.24 mertebesinde beklenmektedir. Bu durumda depremden doğan zemin kayma gerilmelerinin %76'nının 'Jet Grout' kolonlarda yoğunlaşacağı ve ancak %24'ünün kolonlar arası zemine aktarılacağı sonucu çıkmaktadır.

Proje kapsamındaki toplam 245 kolon içerisinde rastgele seçilen 8 adet jet grout kolonu üzerinde Kolon bütünlük testi (Pile Integrity Test) yapılmıştır. Uygulamada test kolonu için 4 ayrı kayıt alınmış olup; kolon boylarının ölçülmesinde titreşim dalgasının kolon içerisinde ilerleme hızından yararlanılmıştır. Test edilen toplam 8 adet kolonda kolon kesitleri ve boylarını olumsuz yönde etkileyecek bir süreksizliğe rastlanılmamıştır. Kolonlar, proje boylarında imal edilmiştir.

Seçilen bir adet test kolonu üzerinde yükleme deneyi yapılmıştır. Yükleme deneyi sonuçlarına göre servis yükü 50 ton olarak belirlenen Ø80cm çapındaki jet grout kolonunda, test sonucunda elde edilen yük – oturma grafiğinde 62.50 ton yükleme altında oluşan toplam oturma miktarı 2.32mm; kalıcı oturma miktarının ise 0.79mm olduğu görülmüştür. Yükleme testi sonucunda elde edilen deformasyon sonuçlarının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Yükleme ve boşaltma kademeleri okuma verileri kullanılarak Mazurkiewicz yöntemine göre taşıma kapasitesi (göçme yükü) 137 ton 'dur.

Jet grout yönteminin başarısı, imalatlar sırasında kullanılan imalat parametrelerine bağlıdır. Zemine ve amaca uygun parametrelerin tespit edilmesi dikkat ve uzmanlık gerektiren bir konudur. Bununla birlikte sistemin kesin bir hesap algoritmasının olmaması ve analizler sırasında yapılan kabullerin projeciye kalması, yöntemin dezavantajları olarak kabul edilebilir. İmalatlar sırasında tasarımda verilen detayların ve uygulama prosedürlerinin doğru uygulandığına emin olunmalıdır.

Uygulama sonrası yapılan kalite kontrol testlerinin amaca uygun olanlarının seçilip yapıldığına emin olunmalıdır. Sahada yapılan testlerin değerlendirmelerinin uzman mühendisler tarafından yapılması gerekmekte olup; test sonuçlarının teorik verileri destekleyip desteklemediği karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Fırat, A. T.** (2001). Jet Grouting Yöntemi İle Temel Takviyesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- [2] **Doğu, O.** (2005). Jet Grouting Tekniği İle Zemin Islahı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- [3] **Kaymakçı, S.** (2014). Jet Grout Kolona Soketli Fore Kazığın Çalışma Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.
- [4] **Ergun, U.** (2007). Temel Enjeksiyonu Yöntemleri Sunumu, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [5] **Cippo, P. A., Tornaghi, R.** (t.y.). Soil Improvement by Jet Grouting, Rodio&p.a., Brochure Technical Paper.
- [6] **Xanthakos, P. P., Abramson, L. W. and Bruce D. A.,** (1994). Ground Control and Improvement, John Wiley, Newyork.
- [7] **Shibazaki, M., Ohta, S.,** (1982). A Unique Underpinning of Soil Solidification Utilising Super – High Pressure Liquid Jet, *Proceedings of the Conference on Grouting in Geotechnical Engineering*. New Orleans, s. 680 – 693
- [8] **Melegari, C. and Garassio, A. L.** (1997). Seminar on Jet Grouting, CI – Premier Pte. Ltd., Singapore.
- [9] **Moseley, M. P.,** (1993). Ground Improvement, Chapman and Hall, Boca Raton.
- [10] **Altun, S.** (2010). Zemin İyileştirme Yöntemleri, Derin Temeller ve Uygulama Örnekleri Sunumu, İMO, İzmir Şubesi, İzmir.
- [11] **Url-2** <<http://www.zetas.com.tr>>, alındığı tarih: 10.04.2014.
- [12] **Özsoy, B., Durgunoğlu T.,** (2003). Sıvılaşma Etkilerinin Yüksek Kayma Modüllü Zemin – Çimento Karışımı Kolonlarla Azaltılması, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Kongresi*, İstanbul, 26 – 30 Mayıs 2003.
- [13] **Küsin, C. C.** (2009). Jet Grout Yöntemi İle İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [14] **Düzceer, R.,** (2004). Sakhalin Doğalgaz ve Petrol İşleme Tesisi Kazık İşleri, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İ.T.Ü., İstanbul.
- [15] **Rausche, F., Goble G., Likings G.,** (1998). Recent WEAP Developments Proceedings of the Third International Seminar on the Application of Stress Wave Theory of Piles, Ottawa.
- [16] **Durgunoğlu T.,** (2004). Yüksek Modüllü Kolonların Temel Mühendisliğinde Kullanımı, *Altıncı Ord. Prof. Dr – Ing. Hamdi Peynircioğlu Konferansı*, İ.T.Ü., İstanbul.
- [17] **BURAK Mühendislik,** (2015). Bolu İli, Merkez İlçesi, Sandallar Mahallesi, Kozluk Mevkii, Bolu Taşıt Muayene İstasyonları İşletim Ticaret A.Ş. Bolu

- [18] **GEOSİSMİK A.Ş.**, (2015). Hampton by Hilton – Bolu Projesi Geoteknik Değerlendirme Raporu. İstanbul.
- [19] **İKSA Mühendislik Müş. İnş. San, ve Tic. Ltd. Şti.** (2015). Hampton by Hilton – Bolu Projesi Bütünlük Testi ve Yükleme Deneyi Raporu, Ankara.
- [20] **ASTM D1143.** (2013). Standart Test Methods for Deep Foundations under Static Axial Compressive Load.
- [21] **Birand, A.**, (2001). Kazıklı Temeller, ODTÜ, Ankara.



EKLER

EK A: Sondaj logları

EK B: Bütünlük (Pile Integrity) test sonuçları

EK C: Yükleme testi grafikleri



EKA

Proje Adı		1804 Ada, 4 Parsel										
İli	Bolu	Kuyu Derinliği		21.45m	Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun	Sondaj No	SK-1			
Yeri	Sandallar Mah.	Yer Altı Suyu Durumu		5.50m	Dış Çap		Dış Çap					
Baş. Tarihi	2.5.2015	Koordinat - Y		379095.69	İç Çap		İç Çap		Logu Hazırlayan			
Bitiş Tarihi	2.5.2015	Koordinat - X		4511709.49	Tokmak Ağ.		Tokmak Ağ.					
Sondaj Metodu	Rotary	Düşüş Yük.			Düşüş Yük.		Düşüş Yük.		Sondür			
Koordinat									Ibrahim Uğur			
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune			SPT					Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	
		Çısalenmiş	Örselenmiş	No	SPT Grafiği							
					N/30 cm					Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	
					10	20	30	40	50			Zemin Sınıfı
1												
2												Kahverenkli, Çakıllı - Killi - Siltli KUM (SM)
3												
4												
5												
6	6.00-6.50	UD		1								Kahverenkli, Kumlu - Siltli KİL (CL)
7	6.50-6.95		SPT	1	6	8	11	19				
8	7.50-7.95		SPT	2	13	13	16	29				
9	9.00-9.45		SPT	3	8	13	26	39				Kahverenkli, Killi - Kumlu SİLT (ML)
10	10.50-10.95		SPT	4	10	17	24	41				
11												
12	12.00-12.45		SPT	5	30	50+	50+					Kahverenkli, Çakıllı - Siltli KUM (SM)
13												
14	13.50-13.95		SPT	6	34	50+	50+					
15	15.00-15.45		SPT	7	50+	50+	50+					
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ SPT				KAYA NİTELİĞİ-RD(%)					AYRIŞMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)	
İnce taneli (Kohezyonlu)		İri taneli (Kohezyonsuz)			0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1		Masiif	
N: 0-2 Çok Yumuşak		N: 0-4 Çok Gevşek			25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3		Az çatlaklı - Kırıklı	
N: 3-4 Yumuşak		N: 5-10 Gevşek			50-75 Orta		W3 Orta deracede Ayr.		3-10		Kırıklı	
N: 5-8 Orta Kati		N: 11-30 Orta Siki			75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50		Çok Çatlaklı - Kırıklı	
N: 9-13 Kati		N: 31-50 Sıkı			90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50		Parçalanmış	
N: 14-30 Çok Kati		N: >50 Çok Siki										
N: >30 Sert												

Şekil A.1 : SK 1 sondaj logu

Proje Adı	1804 Ada, 4 Parsel																			
İli	Bolu		Kuyu Derinliği	24.45m		Numune alıcısının	Muhafaza Borusunun	Sondaj No	SK-7											
Yeri	Sandallar Mah.		Yer Altı Suyu Durumu	4.50m		Dış Çap	Dış Çap	Logu Hazırlayan												
Baş. Tarihi	8.5.2015					İç Çap	İç Çap													
Bitiş Tarihi	9.5.2015					Tokmak Ağ.	Tokmak Ağ.													
Sondaj Metodu	Rotary		Koordinat - Y	379023.19		Düşüş Yük.	Düşüş Yük.	Sondör												
Koordinat			Koordinat - X	4511704.40				İbrahim Uğur												
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune		SPT					Zemin Sınıfı	Çep Pent. g-kg/cm ²	KAROT	TCR %	RQD %	Zemin Cinsi						
		Çrselenmiş	No	SPT Grafiği																
		0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N ₃₀	N/30 cm														
								10	20	30	40	50								
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				
6	6.00-6.45		SPT 1	12	17	30	47													
7	7.50-7.95		SPT 2	50+			50+													
8																				
9	9.00-9.45		SPT 3	50+			50+													
10																				
11	10.50-10.95		SPT 4	11	13	15	28													
12	12.00-12.45		SPT 5	16	15	18	33													
13																				
14	13.50-13.95		SPT 6	10	12	17	29													
15	15.00-15.45		SPT 7	9	14	17	31													
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ SPT															KAYA NİTELİĞİ- RQD(%)		AYRIŞMA DERECESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)	
İnce taneli (Kohezyonlu)				İri taneli (Kohezyonsuz)				0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif								
N : 0-2 Çok Yumuşak				N : 0-4 Çok Gevşek				25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıklı								
N : 3-4 Yumuşak				N : 5-10 Gevşek				50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıklı								
N : 5-8 Orta Katı				N : 11-30 Orta Sıkı				75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok Çatlaklı - Kırıklı								
N : 9-13 Katı				N : 31-60 Sıkı				90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış								
N : 14-30 Çok Katı				N : >50 Çok Sıkı																

Şekil A.3 : SK 7 sondaj logu

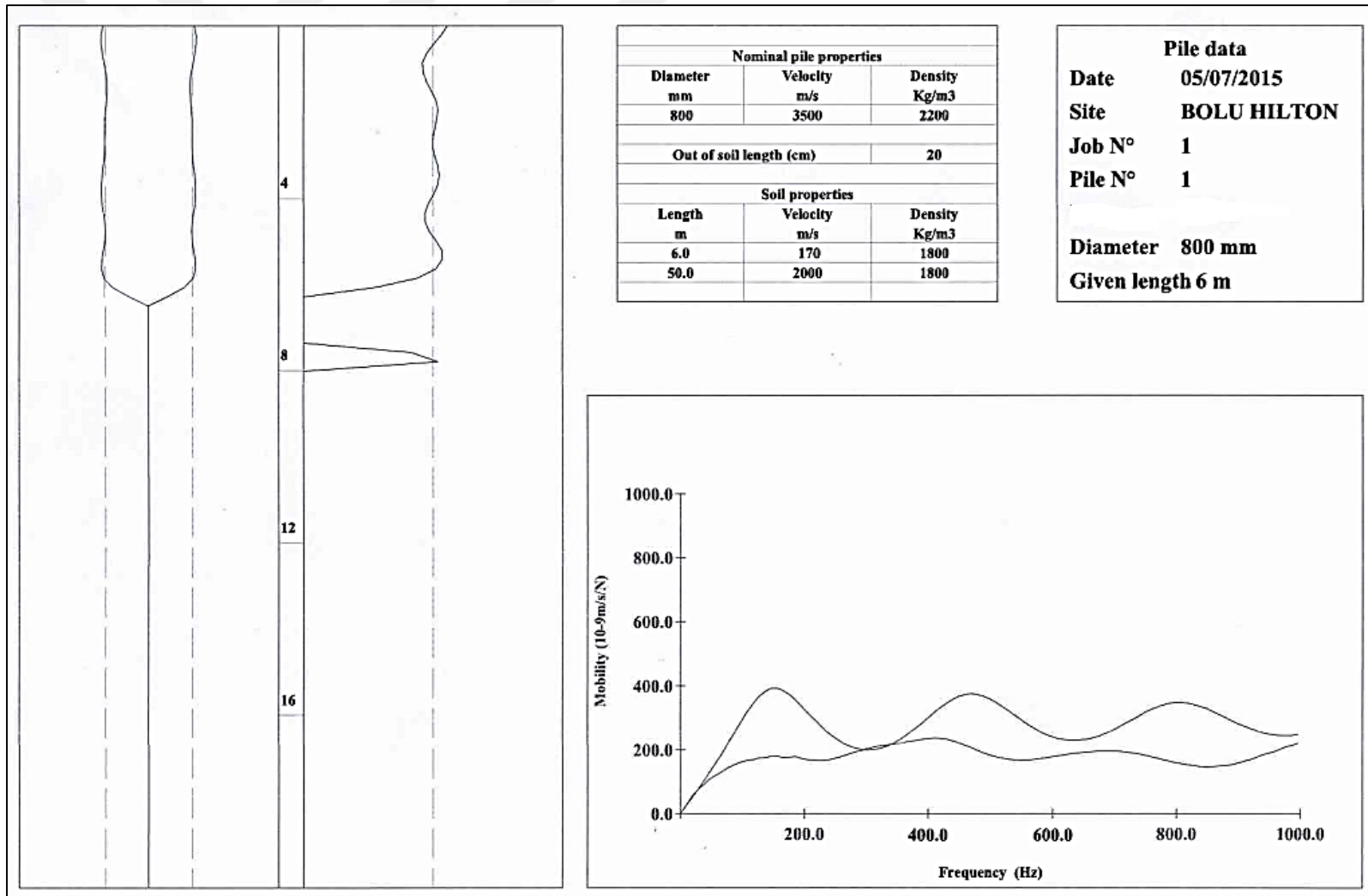
Proje Adı		1804 Ada, 4 Parsel																
İli	Bolu	Kuyu Derinliği	19.95m			Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun		Sondaj No	SK-8							
Yeri	Sandallar Mah.	Yer Altı Suyu Durumu	3.00m			Dış Çap	Dış Çap		Logu Hazırlayan									
Baş. Tarihi	11.5.2015	Tokmak Ağ.	Tokmak Ağ.		Düşüş Yük.		Düşüş Yük.		Sondör									
Biriş Tarihi	11.5.2015	Koordinat - Y	379067.67			KAROT	TCR %		RQD %									
Sondaj Metodu	Rotary	Koordinat - X	4511684.07			Zemin Sınıfı	Çeç. Pent. q- kg/cm ²		Zemin Cinsi									
Koordinat		SPT	SPT Grafiği <th>TCR %</th> <td colspan="2">RQD % <td colspan="2">Zemin Cinsi</td> </td>					TCR %	RQD % <td colspan="2">Zemin Cinsi</td>		Zemin Cinsi							
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune Örneklendiği	No	SPT			SPT Grafiği					Zemin Sınıfı	Çeç. Pent. q- kg/cm ²	KAROT	TCR %	RQD %	Zemin Cinsi	
				0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N/30 cm											
							10	20	30	40	50							
1																		Nebati Toprak
2																		
3																		
4																		
5																		
6	6.00-6.45	SPT 1	14	9	10	19												Kahverenkli, Siltli - Kumlu ÇAKIL (GM)
7	7.50-7.95	SPT 2	16	37	50+	50+												
8																		
9	9.00-9.45	SPT 3	50+			50+												
10	10.50-10.95	SPT 4	50+			50+												
11																		
12	12.00-12.45	SPT 5	50+			50+												
13																		
14	13.50-13.95	SPT 6	50+			50+												Kahverenkli, Siltli - Çakıllı KUM (SM)
15	15.00-15.45	SPT 7	50+			50+												
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ SPT												KAYA NİTELİĞİ- RQD(%)		AYRIŞMA DERECESESİ W		ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)		
İnce taneli (Kohezyonlu)				İn taneli (Kohezyonsuz)				0-25 Çok Zayıf		W1 Taze Ayrışmamış		< 1 Masif						
N : 0-2 Çok Yumuşak				N : 0-4 Çok Gevşek				25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı - Kırıklı						
N : 3-4 Yumuşak				N : 5-10 Gevşek				50-75 Orta		W3 Orta derecede Ayr.		3-10 Kırıklı						
N : 5-8 Orta Kalı				N : 11-30 Orta Sıkı				75-90 İyi		W4 Ayrışmış		10-50 Çok Çatlaklı - Kırıklı						
N : 9-13 Kati				N : 31-50 Sıkı				90-100 Çok İyi		W5 Tamamen Ayrışmış		> 50 Parçalanmış						
N : 14-30 Çok Kati				N : >50 Çok Sıkı														
N : >30 Sert																		

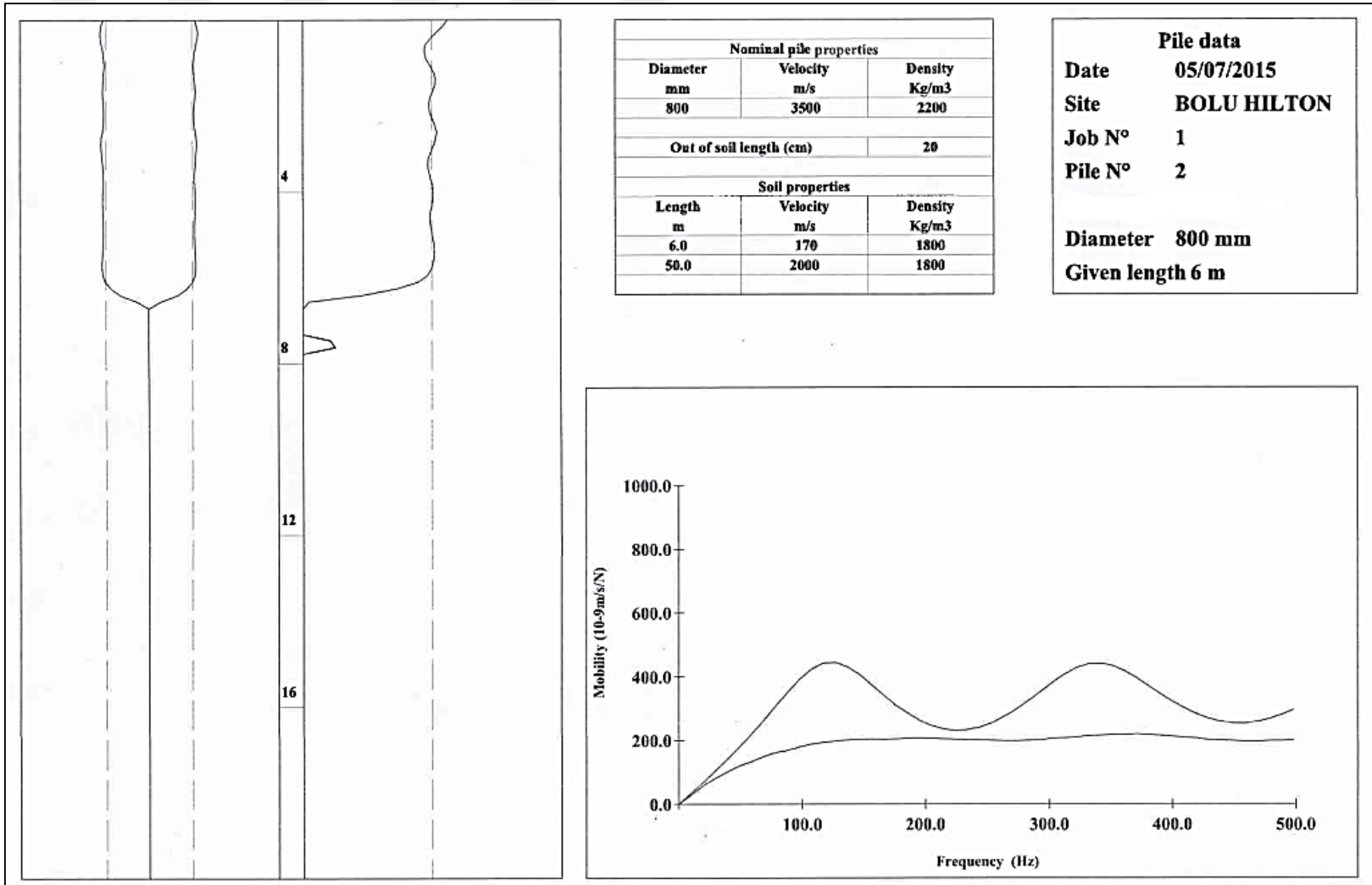
Şekil A.5 : SK 8 sondaj logu

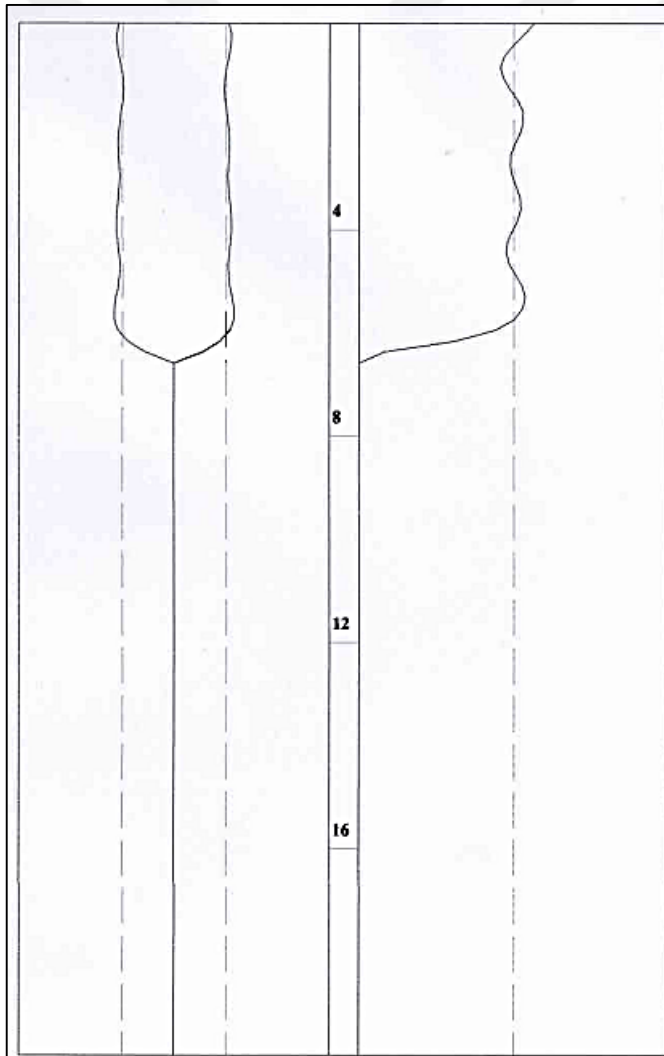
Proje Adı		1804 Ada, 4 Parsel																						
İli	Bolu	Kuyu Derinliği	19.95m	Numune alıcısının		Muhafaza Borusunun	Sondaj No	SK-8																
Yeri	Sandallar Mah.	Yer Altı Suyu Durumu		3.00m	Dış Çap	Dış Çap	Logu Hazırlayan																	
Baş. Tarihi	11.5.2015	Koordinat - Y		379067.67	İç Çap	İç Çap	Sondör																	
Bitiş Tarihi	11.5.2015	Koordinat - X		4511684.07	Tokmak Ağ.	Tokmak Ağ. <td colspan="2">Sondör</td>	Sondör																	
Sondaj Metodu	Rotary	Düşüş Yük.			Düşüş Yük.		Sondör																	
Koordinat		Düşüş Yük.			Düşüş Yük.		Sondör																	
Derinlik (m)	Zemin Profili	Numune			SPT					SPT Grafiği					Zemin Cinsi									
		Örselenmiş	Örselenmiş	No	0 - 15 cm	15 - 30 cm	30 - 45 cm	N ₃₀	N/30 cm					Zemin Sınıfı	Cep Fent. q _v - kg/cm ²	KAROT	TCR %	RQD %						
									10	20	30	40	50											
16	16.50-16.95		SPT	8	50+		50+												Kahverenkli, Siltli - Çakıllı KUM (SM)					
17																								
18	18.00-18.45		SPT	9	50+		50+																	
19																								
20	19.50-19.95		SPT	10	50+		50+												Kuyu Sonu: 19.50m					
21																								
22																								
23																								
24																								
25																								
26																								
27																								
28																								
29																								
30																								
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ SPT										KAYA NİTELİĞİ-RQD(%)					AYRIŞMA DERECESESİ W					ÇATLAK SIKLIĞI (m-1)				
İnce taneli (Kohezyonlu)					İri taneli (Kohezyonsuz)																			
N : 0-2	Çok Yumuşak	N : 0-4	Çok Gevşek	0-25	Çok Zayıf	W1	Taze Ayrışmamış	< 1	Masif															
N : 3-4	Yumuşak	N : 5-10	Gevşek	25-50	Zayıf	W2	Az Ayrışmış	1-3	Az çatlaklı - Kırıklı															
N : 5-8	Orta Katı	N : 11-30	Orta Sıkı	50-75	Orta	W3	Orta derecede Ayr.	3-10	Kırıklı															
N : 9-13	Katı	N : 31-50	Sıkı	75-90	İyi	W4	Ayrışmış	10-50	Çok Çatlaklı - Kırıklı															
N : 14-30	Çok Katı	N : >50	Çok Sıkı	90-100	Çok İyi	W5	Tamamen Ayrışmış	> 50	Parçalanmış															

Şekil A.6 : SK 8 sondaj logu devamı

EK B





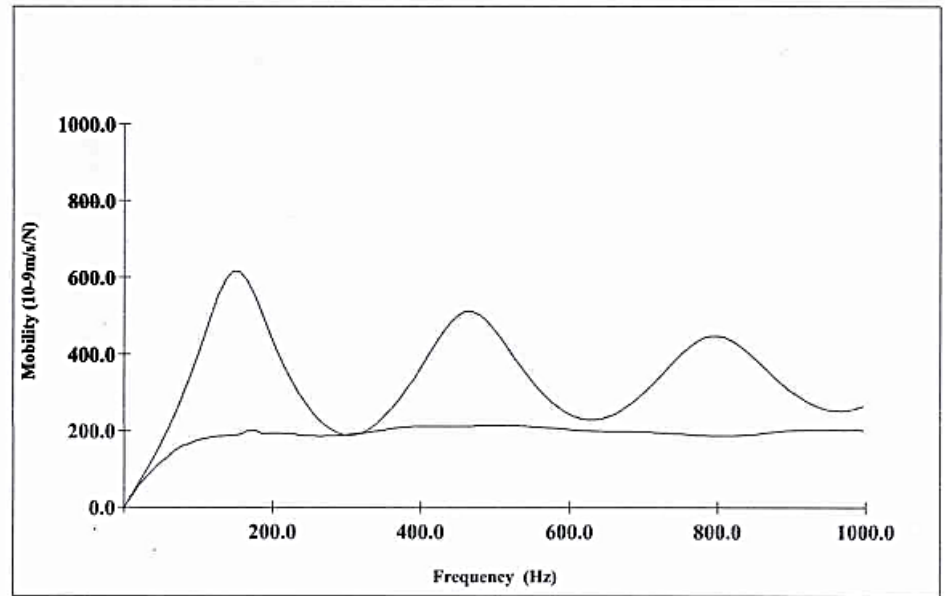


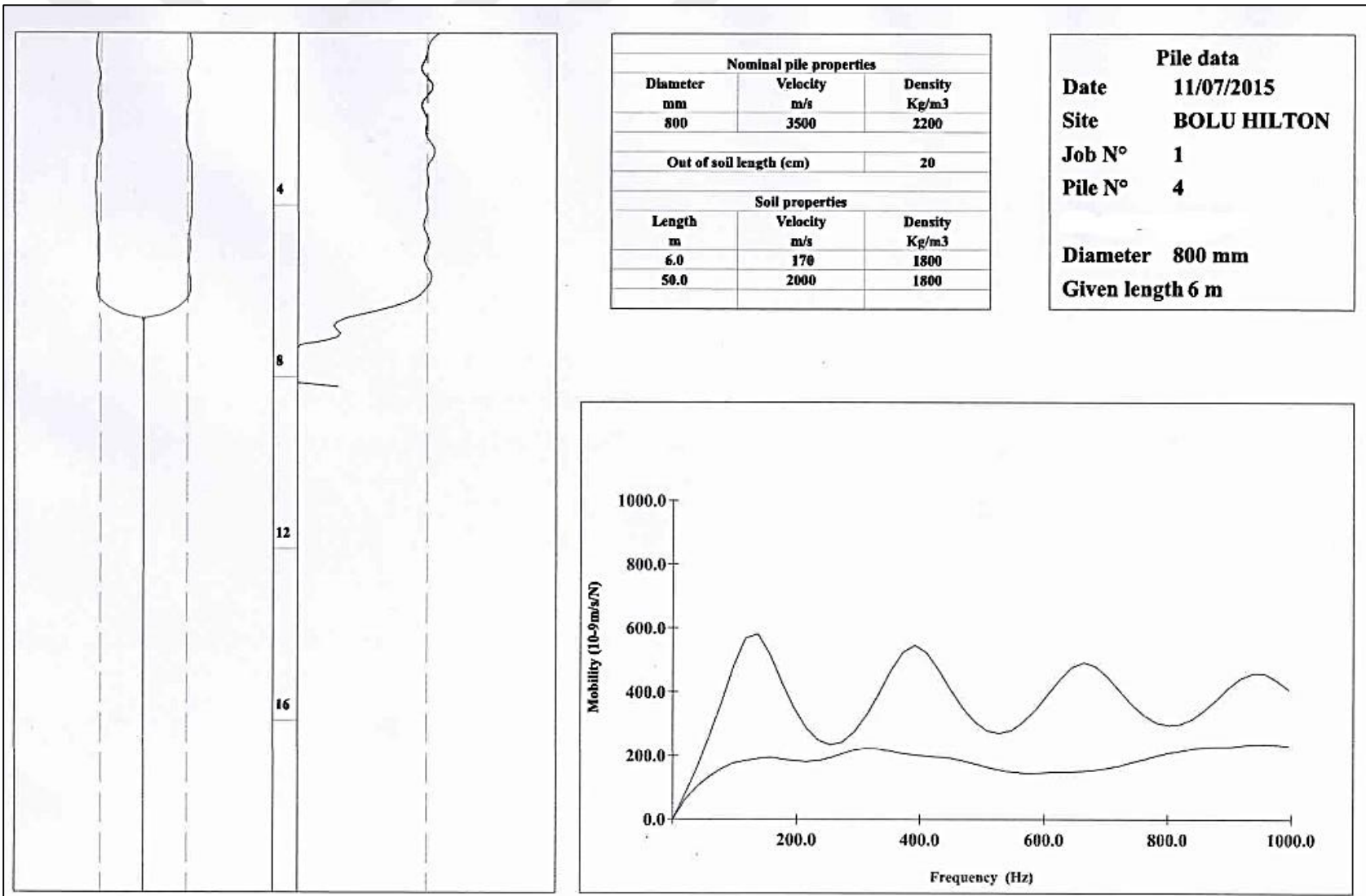
Nominal pile properties		
Diameter	Velocity	Density
mm	m/s	Kg/m ³
800	3500	2200
Out of soil length (cm)		20
Soil properties		
Length	Velocity	Density
m	m/s	Kg/m ³
6.0	170	1800
50.0	2000	1800

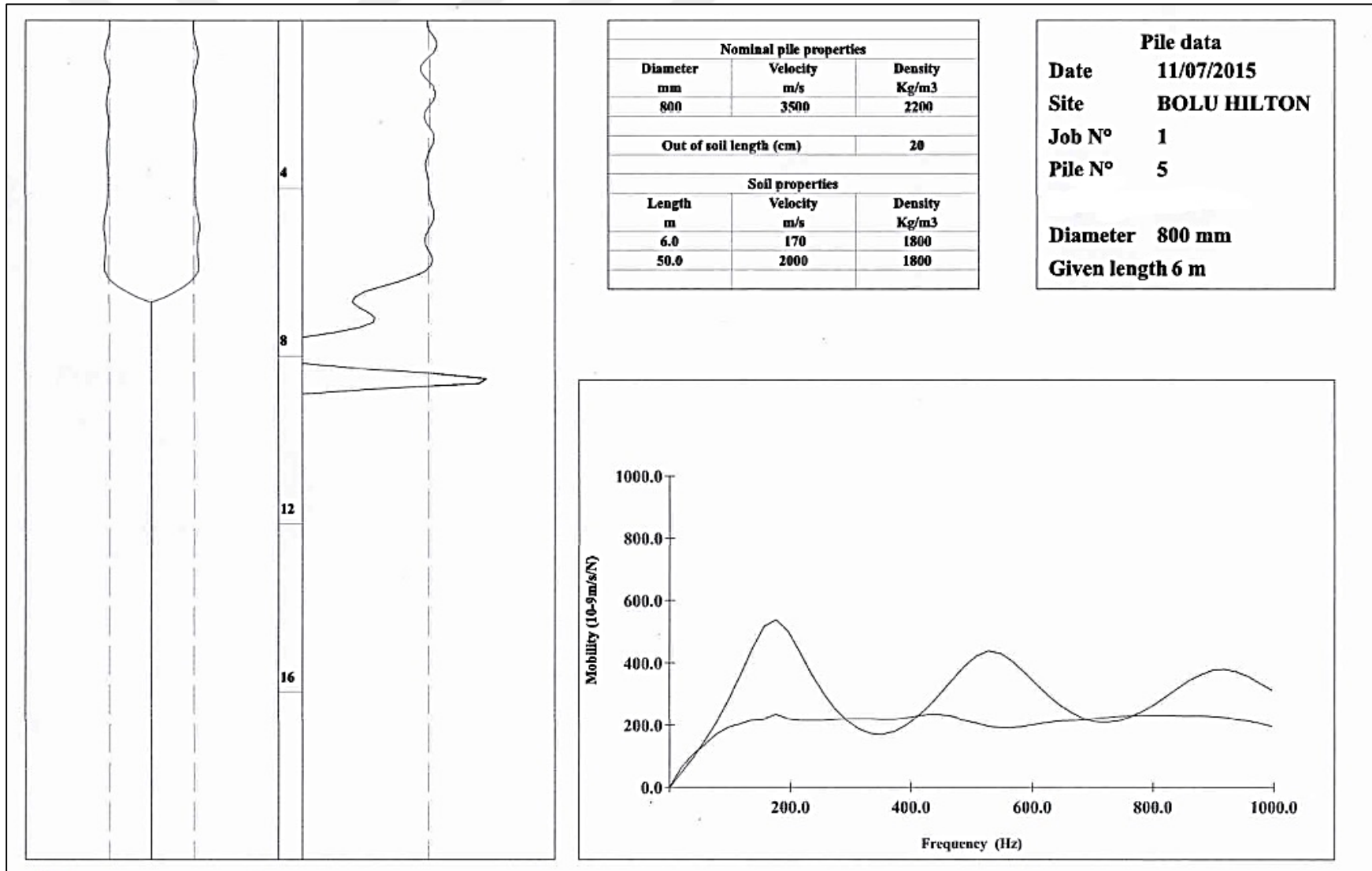
Pile data

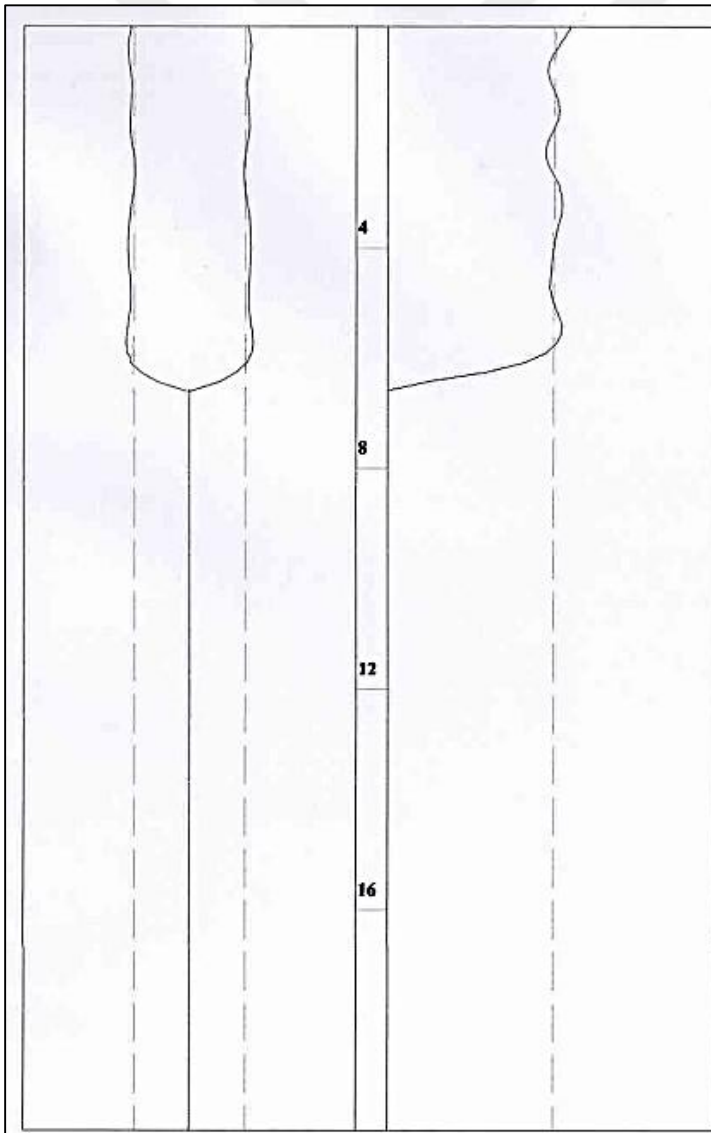
Date 05/07/2015
 Site BOLU HILTON
 Job N° 1
 Pile N° 3

Diameter 800 mm
 Given length 6 m



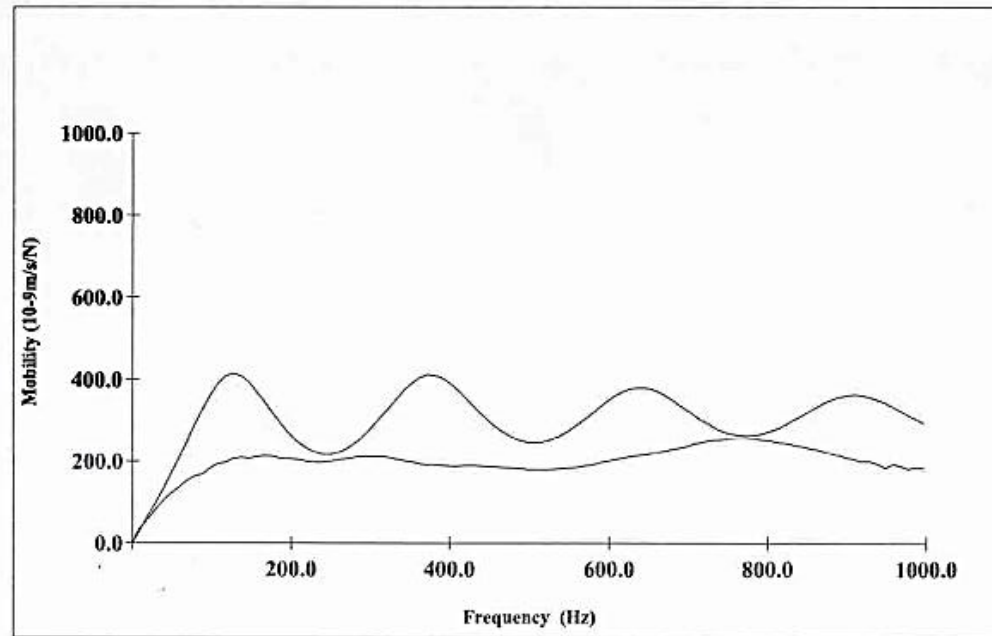


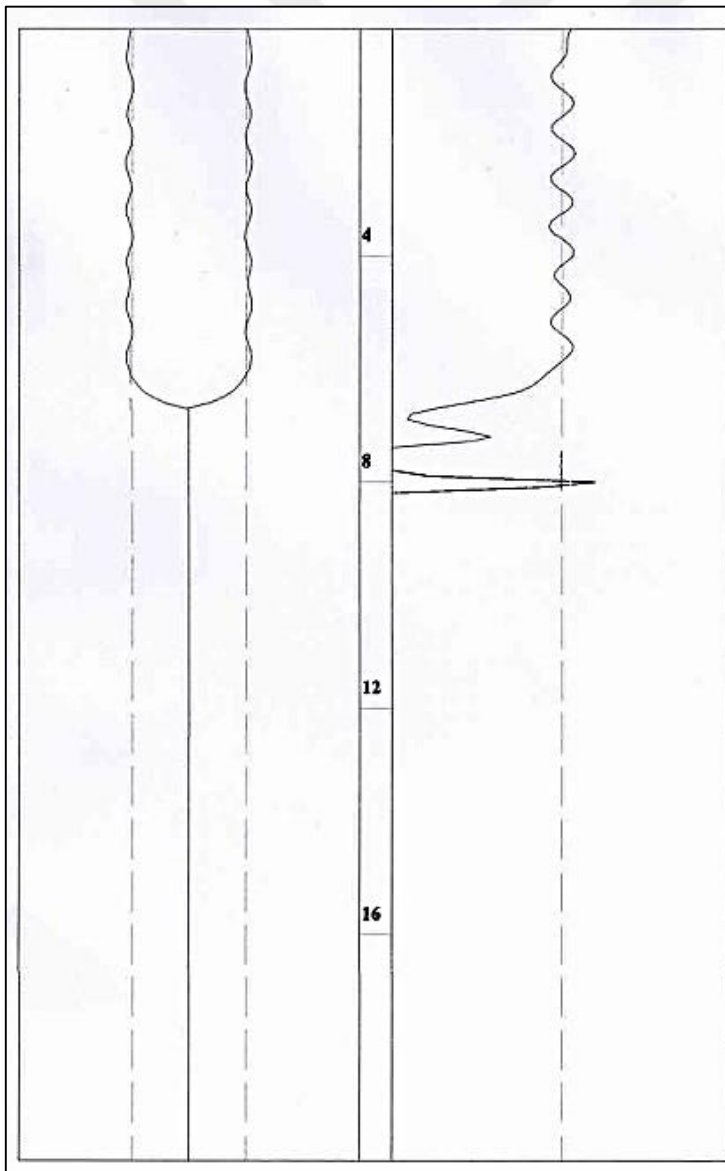




Nominal pile properties		
Diameter mm	Velocity m/s	Density Kg/m ³
800	3500	2200
Out of soil length (cm)		20
Soil properties		
Length m	Velocity m/s	Density Kg/m ³
6.0	170	1800
50.0	2000	1800

Pile data	
Date	11/07/2015
Site	BOLU HILTON
Job N°	1
Pile N°	6
Diameter	800 mm
Given length	6 m



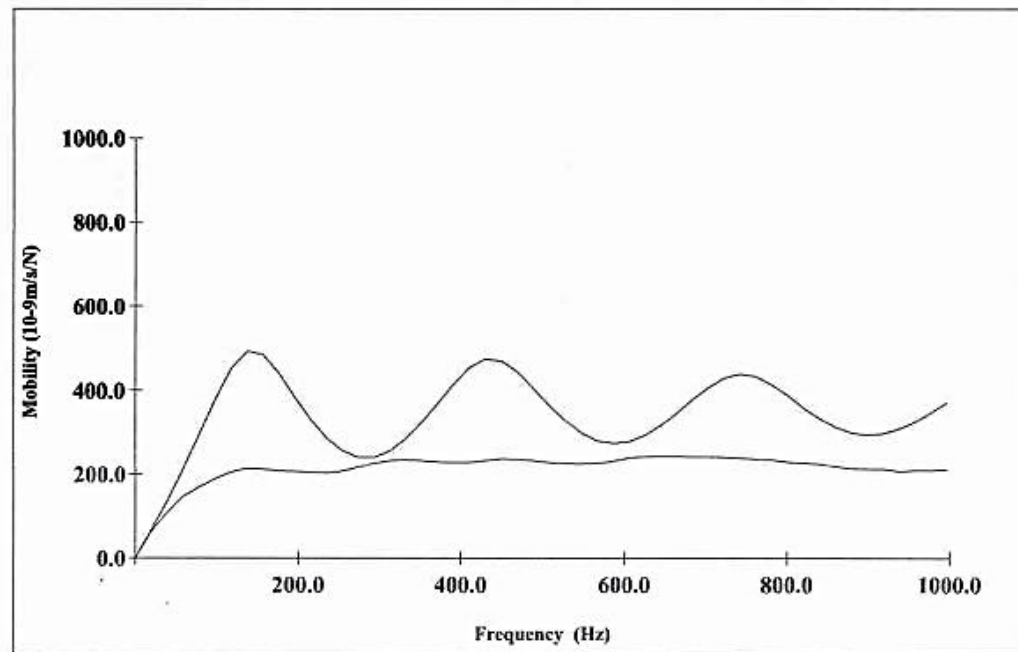


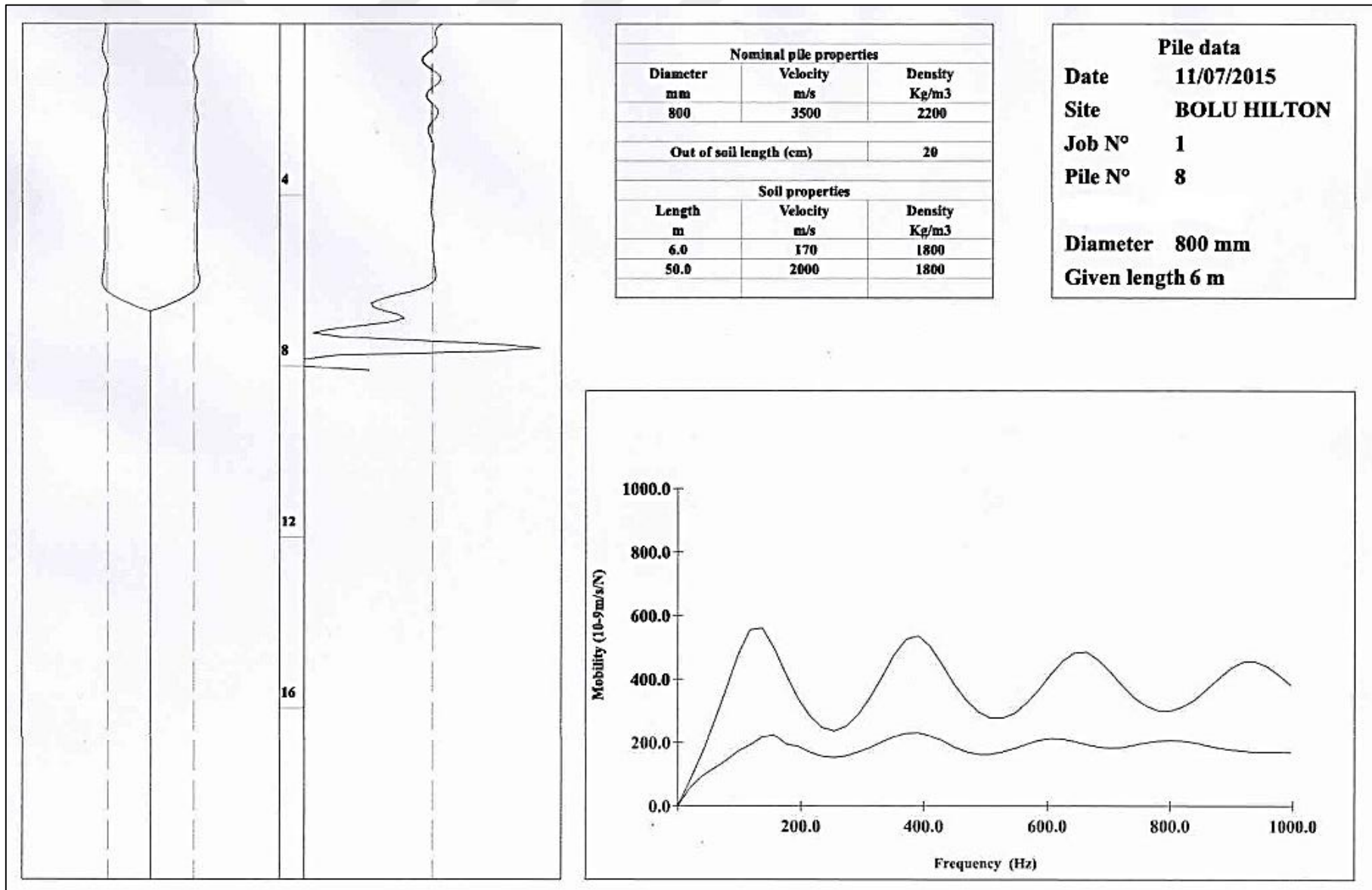
Nominal pile properties		
Diameter mm	Velocity m/s	Density Kg/m ³
800	3500	2200
Out of soil length (cm)		20
Soil properties		
Length m	Velocity m/s	Density Kg/m ³
6.0	170	1800
50.0	2000	1800

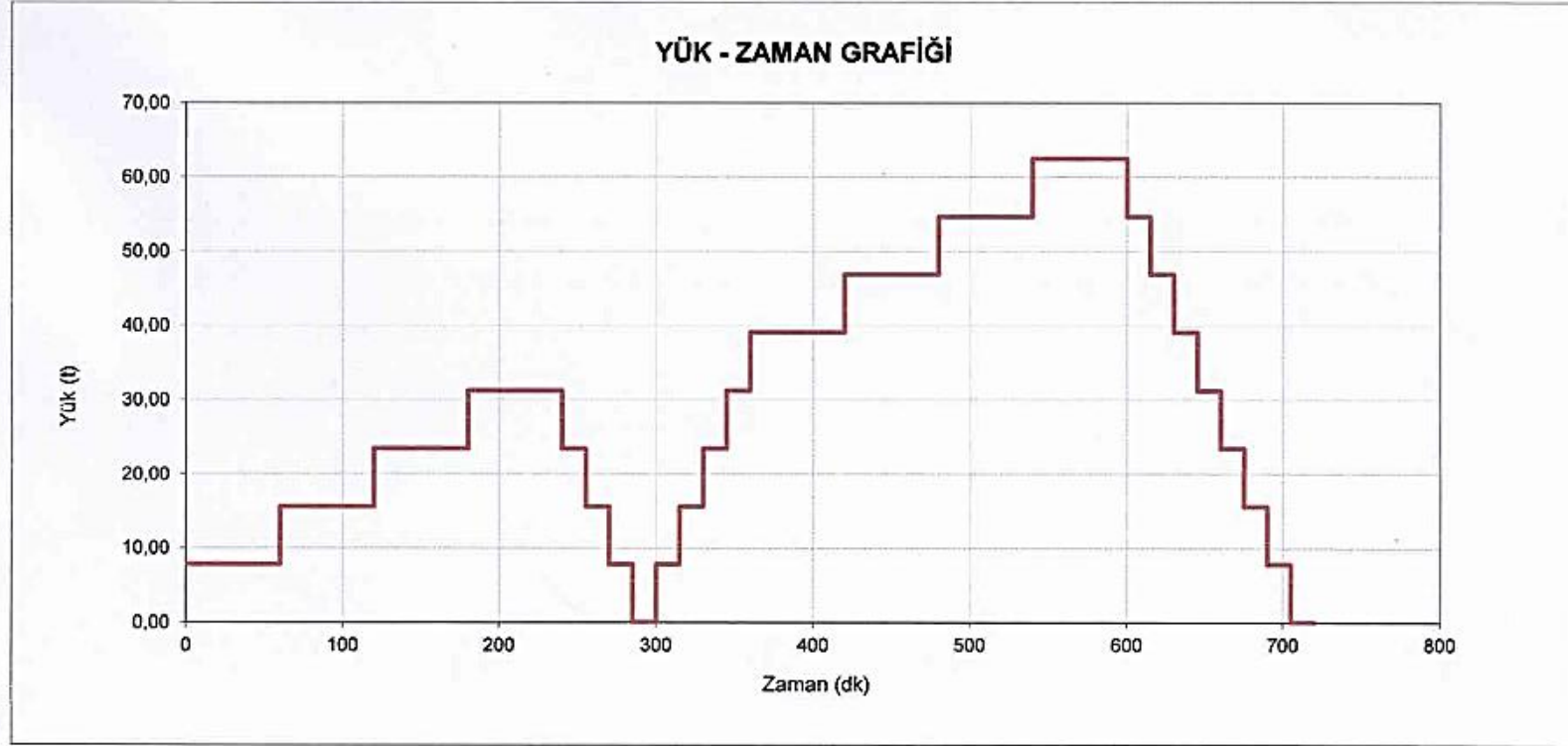
Pile data

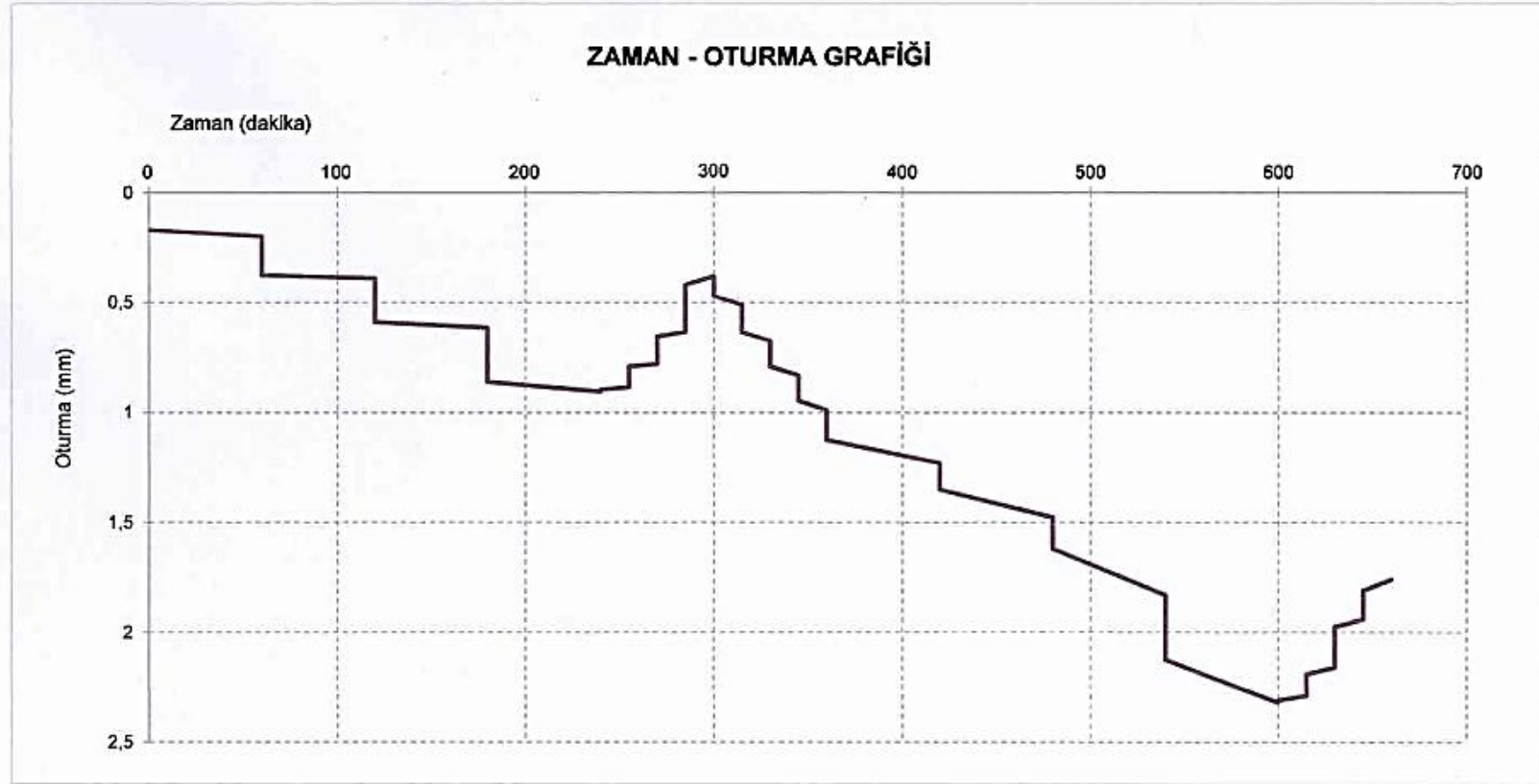
Date 11/07/2015
Site BOLU HILTON
Job N° 1
Pile N° 7

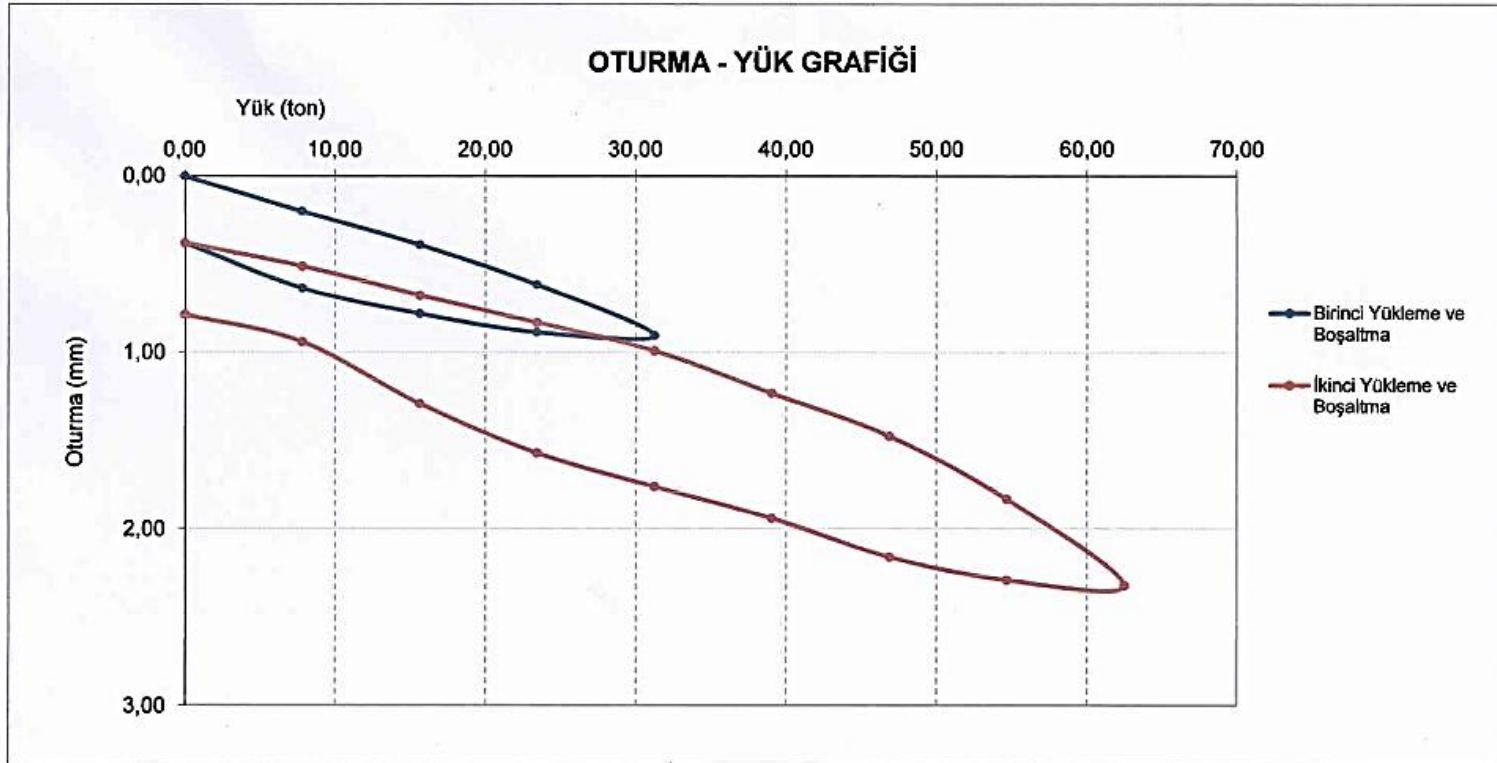
Diameter 800 mm
Given length 6 m

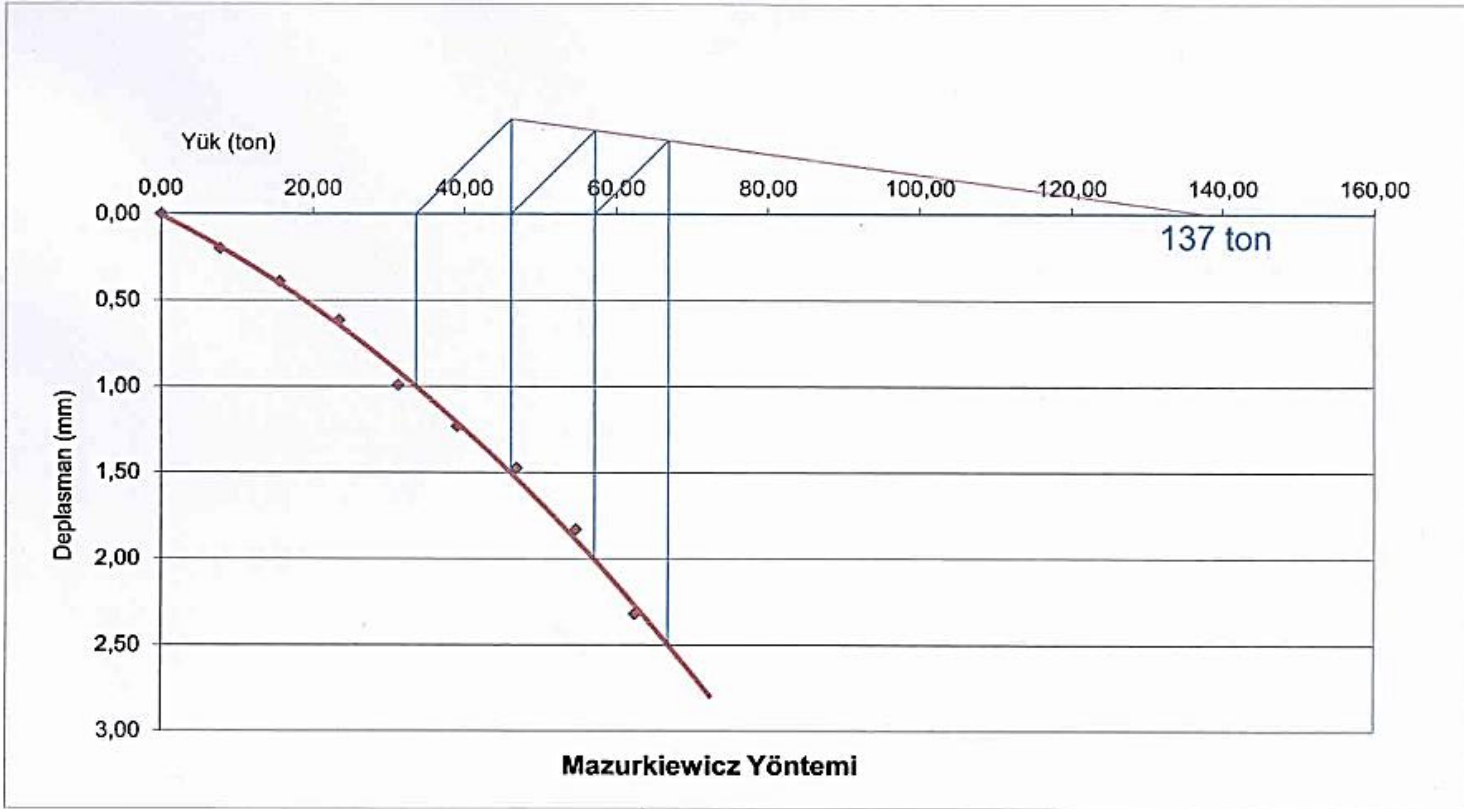














ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Arzu DOĞRU YILMAZ
Doğum Tarihi ve Yeri : 01.01.1984 / SİNOP
E-posta : arzumdogru@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü
2010, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

