İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JET GROUT KOLONA SOKETLİ FORE KAZIĞIN ÇALIŞMA PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serap KAYMAKCI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

MAYIS 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JET GROUT KOLONA SOKETLİ FORE KAZIĞIN ÇALIŞMA PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Serap KAYMAKCI
(501091328)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

MAYIS 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091328 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Serap KAYMAKCI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"JET GROUT KOLONA SOKETLİ FORE KAZIĞIN ÇALIŞMA PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Turgut ÖZTÜRK** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Erol GÜLER Boğaziçi Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **2 Mayıs 2014**
Savunma Tarihi : **27 Mayıs 2014**

Her daim yanımda olan aileme,

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 GEOTEKNİK A.Ş. kurumuna, tezimdeki sistemin fikir öncüsü olan İnş. Yük. Müh. Oral DOĞU' ya, desteklerini esirgemeyen AKTU GROUP mesai arkadaşlarıma ve her türlü konuda desteklerini her daim yanımda hissettiğim sevgili aileme teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs 2014 Serap Kaymakcı

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
SEMBOLLER ..... **xi**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **xiii**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xv**
ÖZET ..... **xvii**
SUMMARY ..... **xix**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı 1
2. ZEMİN İYİLEŞTİRME **3**
2.1. Zemin İyileştirmede Uygun Metotun Seçimi 4
2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri 4
2.3. Enjeksiyon İle İyileştirme 6
3. JET GROUTING **9**
3.1. Yöntemin Tarihsel Gelişimi 10
3.2. Jet Grouting Sistemleri 11
3.2.1. Tek akışkanlı sistem (JET-1) 11
3.2.2. Çift akışkanlı sistem (JET-2) 12
3.2.3. Üç akışkanlı sistem (JET-3) 13
3.3. Jet Grouting İmalat Parametreleri 14
3.4. Jet Grouting İmalatı 16
3.4.1. İmalat ekipmanları 17
3.4.1.1. Delici makine 17
3.4.1.2. Silo – Pompa – Karıştırıcı üniteleri 18
3.4.2. İmalat aşamaları 18
3.4.2.1. Delme aşaması 19
3.4.2.2. Püskürtme aşaması 19
3.4.3. Yöntemin avantajları ve sınırlamaları 21
3.5. Jet Grouting Tasarım Kriterleri 22
3.5.1. Taşıma kapasitesi 23
3.5.2. Oturma analizi 27
4. DERİN TEMELLER **31**
4.1. Tasarım Esaslarına Göre Kazık Çeşitleri 32
4.1.1. Uç kazıkları 33
4.1.2. Sürtünme kazığı (yüzen kazık) 34
4.2. Kazık Tipi Seçim Kriterleri 35
4.3. Fore Kazık İmalat Aşamaları 36
4.3.1. Delgi aşaması 36
4.3.2. Donatı indirilmesi ve betonlanma aşaması 37
4.4. Kazık Tasarım Kriterleri 38
4.4.1. Taşıma kapasitesi 38

4.4.1.1. Reese ve O' Neill (1988) 38
4.4.1.2. Kulhawy ve Phoon (1993) 39
4.4.1.3. Diğer ampirik yaklaşımlar 42
4.4.2. Kazık grup taşıma kapasitesi 43
4.4.2.1. Terzaghi blok yaklaşımı 44
4.4.3. Kazık grubunun konsolidasyon oturması 46
4.5. Kazık Yükleme Deneyleri 48
4.5.1. Statik kazık yükleme deneyi 49
4.5.1.1. Eksenel basınç deneyleri 50
4.5.1.2. Eksenel çekme deneyi 51
5. ZONGULDAK TERMİK SANTRALİ PROJESİNDE FORE KAZIK VE JET GROUT KOLON KULLANIMI 53
5.1. Proje Hakkında Genel Bilgiler 53
5.2. İnceleme Alanının Tanıtılması 55
5.3. Zemin Araştırmaları ve Özellikleri 56
5.3.1. Genel jeoloji 56
5.3.2. Yapısal jeoloji 56
5.3.3. Yapılan zemin etüd çalışmaları 58
5.3.3.1. Arazi çalışmaları 58
5.3.3.2. Laboratuvar çalışmaları 60
5.3.4. Zemin profili ve parametreleri 60
5.4. Tasarım Aşaması 63
5.5. İmalat Aşaması 68
5.6. Kazık Yükleme Deneyi 69
5.6.1. Deney hazırlık aşaması 70
5.6.2. Deneyin yapılışı 70
6. YURTDIŞINDA KONU İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR 79
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 81
KAYNAKLAR 85
EKLER 87
ÖZGEÇMİŞ 95

SEMBOLLER

$\mathbf{A_b}$: Kolon taban alanı
$\mathbf{q_b}$: Kumda (1+2Ko)*σ_{vo}*N_q*ξ
$\mathbf{q_b}$: Kohezyonlu zeminde 9*cu
$\mathbf{D_a}$: Kolon çapı
$\mathbf{N_q}$: Taşıma faktörü
$\boldsymbol{\sigma_{vo}}$: Düşey toprak basıncı
$\boldsymbol{\gamma}$: Zeminin birim hacim ağırlığı
Ko : Sükûnetteki zemin basıncı katsayısı
$\mathbf{K_s}$: Zemin basıncı katsayısı
$\boldsymbol{\delta}$: Zemin - kolon arasındaki sürtünme açısı
cu : Drenajsız kayma mukavemeti
z : Derinlik
$\boldsymbol{\xi}$: Uç taşıma kapasitesi azaltma faktörü
$\boldsymbol{\beta}$: Azaltım faktörü (kolon aralıklarına, kolon boyuna, zemine,… bağlı)
n : Yatay yöndeki sıra sayısı
m : Düşey yöndeki sıra sayısı
$\mathbf{P_{u(kolon)}}$: Herbir jet grout kolonun taşıma kapasitesi
$\mathbf{Q_b}$: H derinliğindeki uç taşıma kapasitesi
$\mathbf{Q_{12(ort)}}$: h_2 derinliği için ortalama yanal sürtünme değeri
$\mathbf{Q_{11(ort)}}$: h_1 derinliği için ortalama yanal sürtünme değeri
$\mathbf{h_1}$: Yumuşak tabaka kalınlığı
$\mathbf{h_2}$: Taşıyıcı tabaka
k : Yatak katsayısı
q : Zemine etki eden gerilme
y : Oturma koşulu göz önüne alınarak zeminde oluşması istenen oturma
$\mathbf{E_s}$: Herhangi bir derinlikteki zeminin elastisite modülü
$\mathbf{q_{ort}}$: Ortalama gerilme değeri
B : Temel genişliği
$\mathbf{k_s}$: Herhangi bir derinlikteki yatak katsayısı
C : Sabit
$\mathbf{A_{ıslah}}$: Islah edilen alan
$\mathbf{A_{jet}}$: Islah edilecek alan içerisindeki jet grout kolonların alanı
$\mathbf{E_{jet}}$: Jet grout kolonlarının elastisite modülü
$\mathbf{q_u}$: Kaya tek eksenli basınç dayanımı
Ds : Kazık çapı
Ls : Kazık soket boyu
$\boldsymbol{\alpha}$: Adhezyon faktörü
$\boldsymbol{\sigma_c/2P_a}$: Normalize edilmiş kayma dayanımı
$\mathbf{P_a}$: Atmosfer basıncı
$\boldsymbol{\varphi}$: Katsayı (1 – 3 arasında değişir)
$\mathbf{q_{max}}$: Uç taşıma kapasitesi

τ_{max} : Çevre taşıma kapasitesi
s : Kazık bloğunu çevreleyen zeminin ortalama kayma mukavemeti
L : Zemin içerisinde kalan kazık boyu
P : Kazık grubunun plan görünümündeki toplam çevre uzunluğu
A : Kazık grubunun plan görünümündeki alanı
σ : Ortalama gerilme miktarı
B_g **ve** L_g : Kazık grubu boyutları
Q_g : Yapı yükü
S_c : Kazık grubunun oturma miktarı
Δe : Boşluk oranı
e_o : Başlangıç boşluk oranı
H_c : Tabaka kalınlığı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Zemin cinsine göre stabilizasyon metotları (Hunts) [1] 6
Çizelge 3.1 : Jet grout imalat parametreleri [1]. 15
Çizelge 3.2 : Kohezyonlu zeminlerde jet grout kolon tasarımında kullanılan değerler 25
Çizelge 3.3 : Granüler zeminlerde jet grout kolon tasarımında kullanılan değerler. 26
Çizelge 4.1 : Zeminler için yaklaşık çevre sürtünmesi değerleri (Terzaghi ve Peck) 35
Çizelge 4.2 : Birim uç kapasitesini öneren ampirik yöntemler [23] 42
Çizelge 4.3 : Birim çevre kapasitesini öneren ampirik yöntemler [23] 43
Çizelge 5.1 : Sondaj listesi 58
Çizelge 5.2 : Sondaj kuyularında gözlenen birimler ve derinlikleri 60
Çizelge 5.3 : Zonguldak Çatalağzı sahası zemin hesap parametreleri 61
Çizelge 5.4 : Siltli-kumlu kil birim için taşıma gücü değerleri 63
Çizelge 5.5 : Siltli-kumlu kil birim için oturma değerleri 63
Çizelge 5.6 : Emniyetli kazık taşıma gücü değerleri 65
Çizelge 5.7 : Islah öncesi ve sonrası kazık taşıma gücü değerleri 65
Çizelge 5.8 : Çatalağzı Termik Santrali sahada bulunan ekipmanlar ve adetleri 69
Çizelge 5.9 : Teknik şartnamede belirtilen standart yükleme/boşaltma süreleri ve yük yüzdeleri 71
Çizelge 5.10 : Yükleme testi sonunda elde edilen değerler 73

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Zemin cinsine göre enjeksiyon sınırları [2]. 8
Şekil 3.1 : Dane dağılımına göre enjeksiyon çeşitleri [1]. 9
Şekil 3.2 : Jet grout sistemleri [2]..... 11
Şekil 3.3 : Tek akışkanlı jet grout sistemi [1]..... 12
Şekil 3.4 : Çift akışkanlı jet grout sistemi [1]..... 13
Şekil 3.5 : Üç akışkanlı jet grout sistemi [1] 13
Şekil 3.6 : Jet grouting sistemi ekipmanları [4]……16
Şekil 3.7 : Jet grouting delgi ekipmanı [11] … 17
Şekil 3.8 : Jet grouting silo – pompa ve karıştırıcı üniteleri [12]…….18
Şekil 3.9 : Jet grouting imalat aşamaları [2]..... 20
Şekil 3.10 : Jet grout kolon görünümü [13]..... 20
Şekil 3.11 : Jet grout kolonun muhtemel kayma yüzeyi [14]..... 24
Şekil 3.12 : Jet grout kolonlarının blok analizi şematik gösterimi [14] 27
Şekil 3.13 : Jet grout kolon imal edilen zemindeki oturma durumları. 28
Şekil 3.14 : Jet grout kolonlar ile ıslah edilmiş zemin alanı..... 30
Şekil 4.1 : Tasarım kriterlerine göre kazık tipleri [18]..... 33
Şekil 4.2 : Uç kazığı şematik görünümü [16]..... 34
Şekil 4.3 : Sürtünme kazığı şematik görünümü [16] …..... 34
Şekil 4.4 : Fore kazık imalat aşamaları [20]..... 36
Şekil 4.5 : Fore kazık delici makinası [21]..... 37
Şekil 4.6 : Ortalama zemin verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki ilişki (Kulhawy ve Phoon, 1993). 40
Şekil 4.7 : Özel test verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki eşitlik (Kulhawy ve Phoon, 1993)..... 40
Şekil 4.8 : Kayma dayanımı ve nokta yük indisi arasındaki ilişki (Kulhawy ve Phoon, 1993). 41
Şekil 4.9 : Kazık grup etkisi (Terzaghi ve Peck, 1967)..... 44
Şekil 4.10 : Kazık grup davranışı [18]..... 46
Şekil 4.11 : Kazık grubunun konsolidasyon oturması..... 47
Şekil 4.12 : Kazık yükleme deneyi deney düzeneği (ASTM D-1143/D1143M, 2007). 50
Şekil 4.13 : Eksenel basınç deneyi düzeneği (ASTM D-1143/D1143M, 2007) … .. 51
Şekil 4.14 : Eksenel çekme deneyi düzeneği ASTM D-3689 (2007)..... 52
Şekil 5.1 : Zonguldak/Çatalağzı 600 MW Kömür Santrali şantiye sahasının genel görünüşü..... 54
Şekil 5.2 : İnceleme sahasından görünüm 54
Şekil 5.3 : ZETES2 ünitelerine ait yer bulduru haritası [25] …..... 55
Şekil 5.4 : Zonguldak iline ait stratigrafi haritası..... 57
Şekil 5.5 : Çatalağzı Termik Santrali sondaj vaziyet planı 59
Şekil 5.6 : Sinir hücresi, Çetin (2003)'ten uyarlanmıştır..... 62
Şekil 5.7 : Fore kazık altında imal edilen jet grout kolonları bir kısım yerleşim planı..... 66

Şekil 5.8 : Jet grout kolonlara soketli fore kazık kesit görünümü. 67
Şekil 5.9 : Jet grout konumları şematik görünümleri. 67
Şekil 5.10 : Çatalağzı Termik Santrali saha görünümü 68
Şekil 5.11 : Çatalağzı Termik Santrali şantiye görünümü 69
Şekil 5.12 : Kazık yükleme deney düzeneği 70
Şekil 5.13 : KSS/159 no'lu fore kazıkta yapılan kazık yükleme deneyinden bir görünüş … 72
Şekil 5.14 : KSS/159 numaralı kazık yük-zaman grafiği 75
Şekil 5.15 : KSS/159 numaralı kazık yük-deformasyon grafiği …..... 76
Şekil 5.16 : KSS/159 numaralı kazık zaman-deformasyon grafiği. 77
Şekil A.1 : S10 sondaj logu. 88
Şekil A.2 : S11 sondaj logu. 89
Şekil A.3 : S12 sondaj logu … 90
Şekil A.4 : S13 sondaj logu. 91
Şekil A.5 : S14 sondaj logu … 92
Şekil A.6 : S18 sondaj logu. 93

JET GROUT KOLONA SOKETLİ FORE KAZIĞIN ÇALIŞMA PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

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 60 yıldır teknolojinin de gelişimiyle farklı makine ve ekipman tasarımlarıyla istenilen derinliklerde ve amaçta çeşitli derin temel sistemi uygulamaları 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, derin temel sistemlerinden biri olan kazıkların tasarım kriterleri üzerinde durulmuş, imalat aşamaları açıklanmış ve kazıklı temellerin tercih edilme nedenleri irdelenmiştir. Aynı zamanda zemin ıslah yöntemlerinden biri olan jet grouting yönteminin işletim parametreleri, imalat aşamaları, yöntemin avantajları ve sınırlamaları üzerinde durulmuştur.

Tezin uygulama kısmında ise imalatı 2009-2011 yılları arasında tamamlanmış Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali projesi imalatları üzerinde durulmuş olup; imalatta uygulama sırasında karşılaşılan anakayanın farklı derinliklerde olması ve üstteki yumuşak birimin borusuz kazık imalatına müsaade etmemesi nedeniyle kazık ve anakaya arasındaki mesafeye jet grout kolonu imalatı yapılması ile problemin çözülmesi anlatılmıştır. Jet grout kolona soketlenen fore kazık performansını değerlendirmek için KSS/159 nolu kazık üzerinde kazık yükleme deneyi yapılmış ve sonuçlar tez kapsamında verilmiştir.

Bu tez kapsamında zemin ıslah yöntemlerinden biri olan jet grout yöntemiyle bir derin temel sistemi olan kazık temelin birlikte çalışma prensibi irdelenmiş; bu kombine sistemin seçilmesine sebep olan nedenler, sistemin imalat aşamaları anlatılmıştır. Sistemin uygulanabilirliğinin ve performansının anlaşılması için Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali projesi incelenmiştir. Bu kapsamda mühendislik çözümlerinde farklı sistemlerin birlikte kullanılabilirliğinin düşünülmesi amaç edinilmiştir.

THE INVESTIGATION OF PERFORMANCE OF BORED PILE THAT IS SOCKETED JET GROUT COLUMN

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 have been made desired depth and purpose with different machine and equipment since 60 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 proses more strength and new soilcrete is occured 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 distrubitions. There are three fluid systems and can make coulums in any soils. The advantages of jet grouting systems can be listed below:

- It is more economical and efficient than the other injection methods.
- Je 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 methos of improvement methods.

The purpose of pile foundations is to transfer the loads that are from superstructure to lower levels which are capable the sustaining the loads with factor of safety without setting and has bearing capacity.

Pile foundations are used when the soil under the foundation has not bearing capacity and/or not capable the loads with factor of safety with setting. During this situations, mat foundation and spread footings can not be used with factor of safety on this soils. There are four type piles which are listed below:

- Frictions piles
- End – bearing piles
- Compactions piles
- Anchor piles

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 pile foundations, construction phases and the reasons what designer uses pile foundation are explained. Additionaly, 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 thesis, Zonguldak Catalagzi Power Plant project was given for an example. Site investigations and labrotary works were completed before the design phase. Totally 11 pieces boreholes were done and from these application disturbed and undisturbed samples collected. At the end of the site investigation phase of design were completed.

During the construction of Coal Stock Area, some problems were occurred. The problems that are bedrock is different depth in area and the soil on the bedrock is weak, during the drilling can be use casing. So this problem was solved with jet grouting that was constructed between bedrock and end of pile. After the construction of jet grout columns (dia. 80cm), pile (dia. 100cm) was applied in jet grout column which is socketed in 3 meters in improvement area that was made with jet grout columns. Jet grout columns under the pile was constructed 9 columns with intersects 10cm to create a unit improvement area. Hereby an improvement area was created to socketed the pile foundations. Then the pile load test performed on the pile

that is named KSS/159 and the results were given in thesis to determine the bearing capacity of pile and setting value.

During the pile load test on number of KSS/159 test pile, the pile was installed on 150% of the service load of pile. According to results of static load test amount of displacement was measured at 4mm.

In this thesis, jet grouting which is a soil improvement method and pile foundation, which is a deep foundation method, are investigated and told construction phases of two methods. For understanding of applicability and performance of combined system, Zonguldak Catalagzi Power Plant project is investigated. The purpose of the thesis, different systems can be used together.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Kentlerdeki nüfusun giderek artması birçok mühendislik yapısının yapılmasına neden olmuştur. Artan nüfus ve kentleşme nedeniyle yapılaşmalar eski yerleşim alanlarından dere yatakları, bataklık alanları, döküm sahaları, yapay dolgu sahaları, vb. gibi alanlara kaymıştır. Mühendislik yapılarının temel sistemleri tasarlanırken temelin yükünü intikal ettireceği zeminin durumuna göre temel sistemi seçilmektedir. Yapı temelinden zemine aktarılacak yükü, taşıma gücü, oturma ve/veya deprem anında ortaya çıkacak sıvılaşma problemleri olmadan taşıyabilecek olan zeminlerde yüzeysel temel sistemleri; problemli zeminlerde ise derin temel sistemleri seçilmektedir.

Son 60 yıldır teknolojinin de gelişimiyle farklı makine ve ekipman tasarımlarıyla istenilen derinliklerde ve amaçta çeşitli derin temel sistemi uygulamaları yapılmaktadır. Özellikle derin temel sistemleri içerisinde sıkça kullanılan kazık temeller, pek çok mühendislik yapısının elverişsiz zeminde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Teknolojinin gelişmesi, derin temel sistemlerinin yeterli kalmadığı durumlarda zeminlerin iyileştirilmesine/ıslah edilmesine de olanak sağlamıştır.

Son yıllarda artan zemin ıslah çalışmaları ile daha ekonomik maliyetlerle temel zeminini güçlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu tez kapsamında zemin ıslah yöntemlerinden biri olan jet grout yöntemiyle bir derin temel sistemi olan kazık temelin birlikte çalışma prensibi irdelenmiş; bu kombine sistemin seçilmesine sebep olan nedenler, sistemin imalat aşamaları anlatılmıştır. Sistemin uygulanabilirliğinin ve performansının anlaşılması için Eren Enerji Zonguldak Kömür Santrali Projesi incelenmiştir. Bu kapsamda mühendislik çözümlerinde farklı sistemlerin birlikte kullanılabilirliğinin düşünülmesi amaç edinilmiştir.

2. ZEMİN İYİLEŞTİRME

Mühendislik yapıları, bünyelerindeki yükleri temeller vasıtasıyla zemine intikal ettirirler. Zeminin istenilen taşıma gücüne sahip olduğu ve oturmaları tolere edebildiği durumlarda iletilen yükler yeterli güvenlikle taşınmakta ve herhangi bir mühendislik problemi oluşmamaktadır. Ancak zeminin yeterli taşıma gücüne sahip olmadığı ve oturmaları tolere edemediği problemli zeminlerde, bu zeminler üzerinde ıslah çalışmaları yapılarak istenilen özelliklere getirilebilmektedirler.

Mühendislik yapısının yapılacağı zeminin problemli bir zemin olması durumunda geoteknik mühendisi ya problemli olan zemine hiçbir işlem yapmadan yapısını yapar; ya problemli olan zemini değiştirir ya da problemli olan zemini ıslah eder. Mühendisin vereceği karar yapının ömrüne ve harcanacak maliyetleri doğrudan etkilemektedir.

Zemin stabilizasyonu, genel olarak zemini daha stabil hale getirmek için yapılan işlemlerdir. Zeminin bir takım olumsuz özelliklerinin uygun bir stabilizasyon tekniği ile iyileştirilmesi mümkündür [1].

Zemin ıslahı metotları kullanılarak zeminlerin fiziksel özellikleri iyileştirilmekte ve zemin, istenilen özelliklere sahip olmaktadır. Kullanılan ıslah yöntemleri ile zeminin mukavemeti artar, sıkışabilirliği azalır, permeabilitesi azalır, hacimsel stabilizasyonu sağlanır (killi zeminlerin şişme ve büzülme problemleri), sıvılaşma potansiyeli azalır ve zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişimler olur. Böylece zemin, üzerine yapılması düşünülen mühendislik yapısına uygun hale getirilmiş olur.

Zemin iyileştirilmesindeki temel ilke, zemin içerisindeki mevcut boşlukların mekanik araçlarla azaltılması, zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması, yeraltı su seviyesinin düşürülmesi veya zeminin su içeriğinin azaltılması ya da çeşitli elemanların kullanılması suretiyle mevcut zeminin güçlendirilmesidir [2].

2.1. Zemin İyileştirmede Uygun Metotun Seçimi

Zemin iyileştirmesine ihtiyaç olup olmadığı zayıf ve problemli zeminlerin tanımlanması ve özelliklerinin yapının tasarım ve yapım gereksinimleriyle birlikte değerlendirilmesiyle belirlenir. Mevcut iyileştirilmemiş zemine ilişkin geoteknik veriler baz alınarak ön tasarım gerçekleştirilir. Herhangi bir problem belirmemişse yüzeysel temeller tasarlanır. Bu tasarım sonucunda varsa, yapıdan kaynaklanan problemler ortaya çıkar [3].

Söz konusu problemler aşağıdakilerden herhangi biri olabilir [3]:

- Temel zemininin sıvılaşma potansiyeli olması,
- Yetersiz taşıma gücü,
- Yapım esnası veya sonrasında belirebilecek aşırı toplam oturmalar,
- Yapının eğilmesine, zarar görmesine veya yıkılmasına yol açabilecek farklı oturmalar,
- Temel kazısı ile ilgili problemler,
- Şev duraysızlığı,
- Kazı sonucu kabarmalar,
- Problemli zeminlerin varlığı (çökebilen, şişen, organik vb. zeminler),

Problem belirlendikten sonra, problemin ortadan kaldırılması için gerekli olan yöntem, yöntemin uygulanabilirliği, yöntemin uygulama süresi ve bu yöntemin maliyetleri ortaya çıkarılır. Yönteme karar verilirken dikkat edilmesi gereken hususların başında sistemin uygulama şekli (istenilen derinlikte ve alanda etkili olabilesi, yeraltı suyu etkisi, zemin tipi, vb.) ve mevcut yapılara etkileri gelir. Geniş perspektifle bakılmayan zemin iyileştirme çalışmalarıyla hem mevcut yapılara zarar verilebilmekte hem de yapılan ıslah çalışmaları yeterli kalmamaktadır. Bu nedenle yöntemin belirlenesi sırasında ıslah çalışmasının hangi derinlikte ve ne kadarlık bir etki alanında yapılacağının, yapılması düşünülen mühendislik yapısının kullanım amacının ve ayrılan bütçenin iyi analiz edilmesi gerekmektedir.

2.2. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Gelişen teknolojiyle birlikte günümüzde pek çok zemin iyileştirme teknikleri yer almaktadır. Zeminin stabilizasyon teknikleri zeminin mekanik özelliklerini daha

stabil hale getirdiğinden dolayı zemin stabilizasyonları “Mekanik Stabilizasyon” olarak da anılmaktadır. Zemin stabilizasyon teknikleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [1].

- Kompaksiyon,
- Drenaj,
- Stabilizör kullanımı,
- Enjeksiyon,
- Stabilizasyon kazıkları, ankraj, çivi, vb.,
- Diğer metotlar.

Bazı metotlar bazen tek zemin tipi için uygun olurken bazıları geniş aralıktaki zeminlere uygulanabilmektedir [3]. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için zemin türüne göre iyileştirme yöntemleri sıralanmıştır (**Çizelge 2.1**).

Çizelge 2.1 : Zemin cinsine göre stabilizasyon metotları (Hunts) [1].

Zemin Cinsi	Stabillizasyon Metotları	Zemin Cinsi	Stabillizasyon Metotları
Çeşitli Dolgular		*Gevşek Kumlar*	
Sığ	Kazı/Geri Dolgu	Sığ	Çimento Stabilizasyonu
Derin	Dinamik Kompaksiyon		Bitüm Stabilizasyonu
	Kum Kolonları		Dinamik Kompaksiyon
Organik Zeminler		Derin	Vibraflatasyon
Sığ	Kazı/Geri Dolgu		Vibrakompaksiyon
	Geotekstil		Dinamik Kompaksiyon
Derin	Sürşarj		Taş kolonlar
	Geotekstil		Enjeksiyon
	Kum Kolonları		Drenaj kuyuları
Tabakalı	Sürşarj		Termal (Dondurma)
	Patlatma Tekniği	*Sıvılaşabilen Zeminler*	
	Dinamik Kompaksiyon	Sığ, Derin, Tabakalı	Dinamik Kompaksiyon
	Kompaksiyon Enjeksiyonu		Taş Kolonlar
	Kum Kolonları, Taş Kolonları		Drenaj
Killer			Enjeksiyon
Sığ, Derin, Tabakalı	Mekanik Stabilizsyon	*Şişebilen Zeminler*	
	Kireç Stabilizasyonu	Sığ, Derin, Tabakalı	Kireç Stabilizasyonu
	Termal (Dondurma)		Drenaj
	Elektro-Osmos, Drenaj		Enjeksiyon
	Geosentetik		Çimento Stabilizasyonu
	Kireç veya Çimento Kolonları		Uçucu Kül
Gevşek Siltler			Tuz Katkısı
Sığ	Kazı/Geri Dolgu		Kimyasal Katkılar
	Tuz Katkısı	*Çatlaklı Kayalar*	
	Dinamik Kompaksiyon	Sığ, Derin, Tabakalı	Enjeksiyon
Derin	Sürşarj		Ankraj
	Taş Kolonlar		Şatkrit
	Elektro-Osmos, Vakum Kuyuları		Yüzeyaltı Yatay Drenajı

2.3. Enjeksiyon İle İyileştirme

Zemin enjeksiyonu temel olarak akışkan malzemelerin basınç altında zemin içerisindeki boşluklara enjekte edilmesidir. Buradaki amaç zeminin ya da kaya kütlesinin mühendislik özelliklerini iyileştirmektir. Nitekim bu iyileştirme zeminin

gerilme-deformasyon ve dayanım gibi mekanik özellikleri ile geçirimlilik gibi hidrojeolojik özellikleri değiştirilerek elde edilir [4].

Enjeksiyon yöntemi, zorlu zemin koşullarında çok yönlü uygulanabilen bir zemin iyileştirme yöntemidir. Zemin içerisine enjekte edilen şerbet, boşluklarda jel veya katı oluşturarak boşlukları doldurur. Enjeksiyonun temel amacı enjekte edildiği zeminin dayanımını ve dayanıklılığını artırmak ve/veya geçirgenliğini azaltmaktır [5].

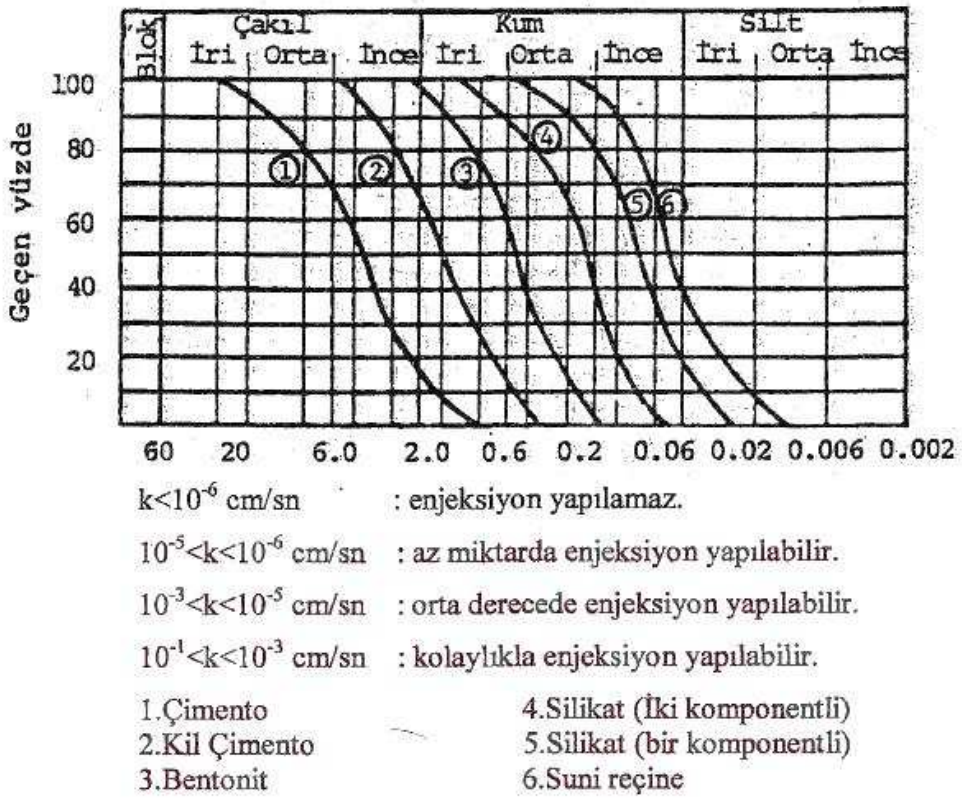
Temel olarak özel olarak hazırlanmış farklı bileşimlerdeki akışkan, yarı akışkan veya katı kıvamda malzemelerin (şerbet ve benzeri maddeler) basınç yoluyla zemine enjekte edilmesidir [6]. Enjeksiyonda kullanılan akışkan, enjeksiyonun amacına göre değişkenlik göstermektedir. Başlıca amaçlarına ve imalat yöntemlerine göre enjeksiyon çeşitleri aşağıdaki gibidir [6].

- Amaçlarına Göre Enjeksiyonlar
  - Perde enjeksiyonu
  - Konsolidasyon enjeksiyonu
  - Dolgu enjeksiyonu
- Kullanılan Karışım Malzemelerine Göre Enjeksiyonlar
  - Çimento enjeksiyonu
  - Kil enjeksiyonu
  - Kimyasal enjeksiyon
- Zemin İçerisine Yerleştirilmelerine Göre Enjeksiyonlar
  - Emdirme (Permeasyon) enjeksiyonu
  - Kompaksiyon enjeksiyonu
  - Çatlatma enjeksiyonu
  - Jet enjeksiyonu

Bu yöntemlerin her biri farklı amaçlar içermekte ve farklı ekipmanlar kullanılmaktadır. Tüm yöntemler geçirimlilik katsayısı 10^{-1} cm/sn den küçük olan zeminlerde çatlamaya neden olmaktadır [5].

Enjeksiyon karışımının cinsi, enjeksiyonun amacı ve ıslah edilecek zeminin dane çapı ile ilgilidir. Çimento, kireç ve bentonit gibi daneli karışımlar çakıl dane boyutundan orta kum boyutuna kadar olan zeminlerde kullanılabilmektedir. İnce kum ve siltlerin enjeksiyonunda kimyasal eriyikler kullanılmaktadır. En çok

kullanılan kimyasal maddeler silikatlar, krom-lignin, reçine, akrilamid ve poliüretandır. Kil zeminlerin ise klasik enjeksiyon teknikleri ile ıslahı mümkün değildir. Sadece, kil içerisindeki belli başlı fissürler ve kuruma çatlakları doldurulabilir. Zemin cinsine göre enjeksiyon sınırları **Şekil 2.1**' de verilmiştir [2].



Şekil 2.1 : Zemin cinsine göre enjeksiyon sınırları [2].

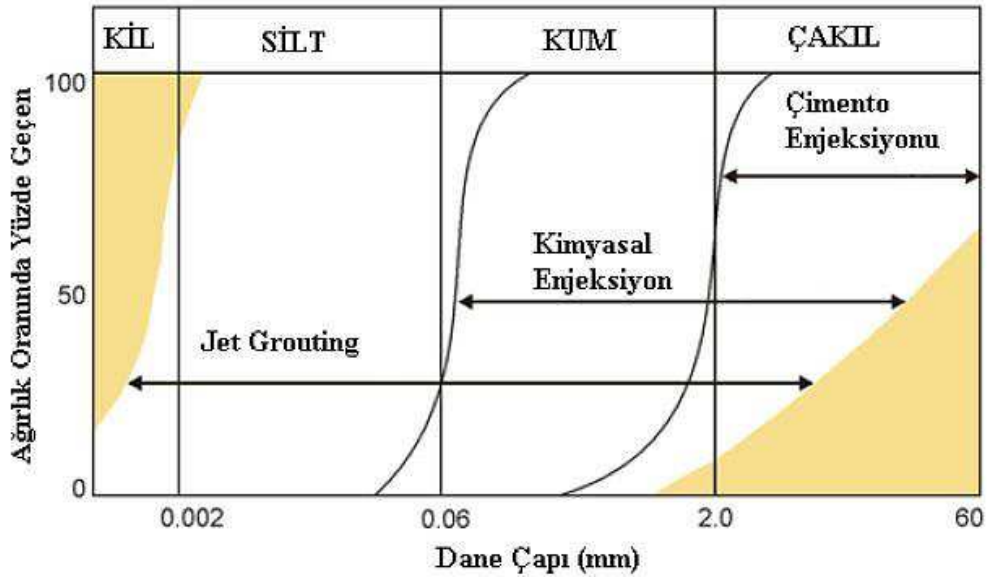
Enjeksiyon malzemesinin zemin formasyonuna penetre olabilmesi için enjeksiyon karışımında kullanılan malzemenin dane çapının, enjeksiyon yapılacak zemin içerisindeki mevcut boşluklardan daha küçük olması gerekmektedir [2].

3. JET GROUTING

Jet grouting 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 dahildir [2].

Jet grouting yönteminin belirgin karakteri bu yöntemi diğer klasik yöntemler ile karşılaştırdığımızda ortaya çıkmaktadır. Klasik enjeksiyon yöntemleri zemin özelliğini büyük çapta değiştirememekte; bunlara karşılık jet grouting yöntemi zemini çimento şerbeti ile karıştırmak suretiyle uygulanmaktadır. Bu durumda zeminin bir kısmı çimento şerbeti ile yer değiştirmektedir [2].

Diğer enjeksiyon yöntemlerine nazaran jet grouting yöntemi ile kil veya kum-çakıl gibi çeşitli karakter ve farklı türlerdeki zeminlerin (sınırlı alanlar da dahil) ıslahı mümkün olabilmektedir (**Şekil 3.1**).



Şekil 3.1 : Dane dağılımına göre enjeksiyon çeşitleri [1].

3.1. Yöntemin Tarihsel Gelişimi

Yüksek hızla zemine basılan karışımla zemini kesme işlemleri ile iyileştirme düşüncesi ve bu konudaki çalışmalar ilk olarak 1965 de Yamakado kardeşler tarafından Japonya' da uygulanmaya başlamış olup 1970' li yılların başında iki farklı jet enjeksiyonu tekniği geliştirilmiştir [6].

Nakanishi ve şirketi (N.T.I) tarafından geliştirilen jet enjeksiyonu tekniğinde, kimyasal ve çimento karışımları kullanılmış olup bir delgi tijinin enjeksiyon siboblarından çok yüksek basınçta enjekte edilmektedir. Karışımın enjeksiyonu sırasında tijin kendi etrafında döndürülmesi ve yukarı çekilmesi ile kazık gibi zemin çimento kolonları oluşturulmaktadır. Bu sebeple bu tip jet enjeksiyonu tekniği "CCP Jet grouting" (Chamical Churning Pile) Kimyasal Çalkalama Kazığı olarak adlandırılmaktadır [6].

Hemen hemen aynı zamanda Yahiro ve arkadaşları, "Jet Grout" yöntemi adıyla yeni bir geliştirme yapmıştır. Daha sonraları bu ve benzer yöntemler hep jet grout yöntemi olarak anılmıştır. Bu yöntem de yüksek hızlı bir su jeti kullanılarak zeminde bir yarı açılmakta sonra bu yarık aşağıdan başlanarak çimento harcı jeti ile taşlaştırılmaktadır [1].

Diğer uygulama teknikleri 1970' li yılların ortalarında Japonya' da kullanılmıştır. CCP jet enjeksiyon sistemi havanın birlikte kullanılmasıyla "JSG" olarak adlandırılan Jumbo Jet Special Grout geliştirilmiştir. Bu kolonlar CCP kolonlardan 1.5 – 2 kat daha büyüktür. Bundan sonra, Yahiro ve Arkadaşları jet enjeksiyon kolonlarını, benzer prensip kullanarak hava jetiyle sarılmış bir su jeti sistemine eklemişlerdir. Örselenmiş zemin, hava jetiyle kopar ve oluşan boşluklar enjeksiyonla doldurulup karıştırılır [6].

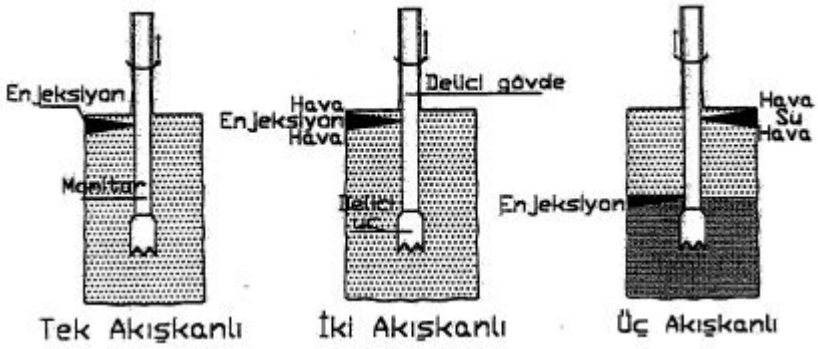
1980 yılında, CCP grubu tarafından süper zemin stabilizasyon yöntemi "Super Soil Stabilization Management (SSM-MAN)" geliştirilmiştir. Bu sistemde amaçlanan, çok geniş çaplı kolonların teşkil edilmesidir. Açılan boşluk süpersonik dalga tekniği ile ölçülür ve enjeksiyonla doldurulur. SSM-MAN tekniği ile büyük hacimler 4.0 m çapına kadar katılaşmış yapılar özellikle kohezyonsuz zeminlerde oluşturulabilmektedir [6].

Jet grouting yönteminin Japonya' da ortaya çıkmasından sonra bu teknoloji hızla Batı Avrupa' ya, özellikle İtalya, Almanya ve Brezilya' ya yayılmıştır. Kuzey Amerika' da ise 1980' li yıllarda uygulanmaya başlanmıştır [2].

Son yıllarda teknolojinin de gelişmesiyle ekipmanlar da gelişmiş ve yüksek basınç ve hızlarda akışkan püskürten pompalar üretilmiştir.

3.2. Jet Grouting Sistemleri

Jet grout yöntemi zemin içerisine enjekte edilen akışkanlara göre tek akışkanlı, çift akışkanlı ve üç akışkanlı olmak üzere üçe ayrılmaktadır (**Şekil 3.2**). Kullanılacak olan sisteme zemin cinsine, imal edilecek kolonun çapına ve ıslah edilecek zeminin hacmine göre karar verilmektedir.



Şekil 3.2 : Jet grout sistemleri [2].

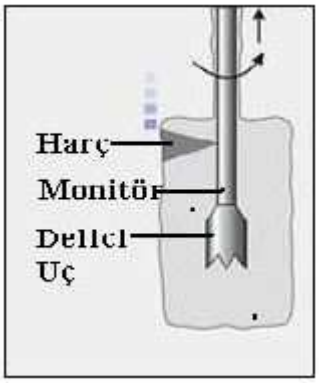
3.2.1. Tek akışkanlı sistem (JET-1)

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 iletildiği ve üzerinde alt uca yakın 2.0 – 4.0 mm çapında bir veya birkaç püskürtme ağzı bulunmaktadır [2].

Çimento enjeksiyonu sistem ile 90° lik açı yapacak şekilde püskürtülür ve böylece zemin bir taraftan sökülürken, aynı anda sökülen zemin ile çimento enjeksiyonu yer değiştirmiş olur. Prosesin devamında püskürtme ağızlarının bulunduğu monitör, zemin tabakalarına bağlı olarak sabit hızlarla (gerekirse döndürülerek) geri çekilir ve böylece sökülmüş 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 [2].

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 [1]. Yöntemin şematik gösterimi **Şekil 3.3'** de gösterilmektedir.



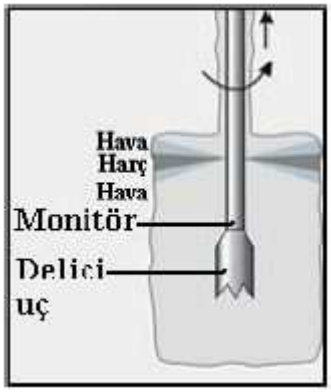
Şekil 3.3 : Tek akışkanlı jet grout sistemi [1].

3.2.2. Çift akışkanlı sistem (JET-2)

Çift akışkanlı jet grouting sistemi tek akışkanlı sisteme göre daha karmaşık ve ileri bir sistemdir. Çift akışkanlı jet grouting sisteminin en belirleyici özelliği, yüksek hıza sahip enjeksiyon jetinin 2 – 15 barlık sıkıştırılmış ve enjeksiyonu çevreleyen hava konisi ile 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 [2].

- 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.

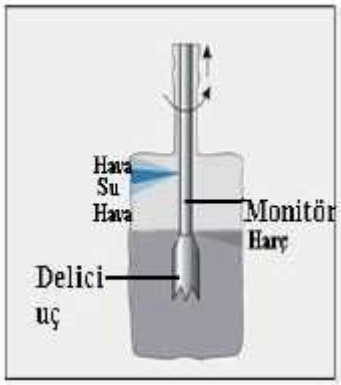
- Sıkıştırılmış hava, jet akımı ile mevcut yer altı suyu arasında tampon işlevi görmektedir. Dolayısıyla jet akımı, sıkıştırılmış havanın kullanılmadığı sisteme göre, iki kat daha uzun mesafede kesme ve aşındırma gerçekleştirebilmektedir.
- Çift akışkanlı sistemde, enjeksiyon püskürtme ağızları ile sıkıştırılmış hava jetinin çıkış ağzı aynı eksenli olacak şekilde düzenlenmiştir [2]. Yöntemin şematik gösterimi **Şekil 3.4**' de verilmiştir.



Şekil 3.4 : Çift akışkanlı jet grout sistemi [1].

3.2.3. Üç akışkanlı sistem (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 [2]. Yöntemin şematik gösterimi **Şekil 3.5**' de verilmektedir.



Şekil 3.5 : Üç akışkanlı jet grout sistemi [1].

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 [2].

3.3. Jet Grouting İmalat Parametreleri

Jet grouting yöntemi tüm zemin tiplerinde uygulanabilen, zemin içerisine çimento enjeksiyonu enjekte edilen ve problemli olan zeminin özelliklerini ıslah eden bir zemin iyileştirme yöntemidir.

Yöntemin ilk bulunduğu yıllardan itibaren yapılan çalışmalar göstermiştir ki, zemin içerisine 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 grouting sistemine göre seçilmektedir. Jet grouting yönteminde kullanılan imalat parametreleri aşağıdaki gibidir [7].

- Jet grouting sistemi (JET-1, JET-2, JET-3)
- Enjeksiyon basıncı (bar)
- Nozzle sayısı ve çapı
- Tij dönme hızı (rpm)
- Tij çekme hızı (cm/dak)
- Su/Çimento oranı
- Pompa kapasitesi (lt/dak)

olarak sıralanabilir.

Jet grouting yönteminin imalat parametreleri ve yönteme göre kullanım aralıkları **Çizelge 3.1**’ de görülmektedir.

Çizelge 3.1 : Jet grout imalat parametreleri [1].

PARAMETRELER		JET GROUTİNG SİSTEMLERİ		
		TEK AKIŞKANLI	ÇİFT AKIŞKANLI	ÜÇ 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				
Çakıllı/Kumlu Zeminler	(m)	0.6-1.0	1.0-2.0	1.5-2.5
Kili 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				
Islah Edilen Zeminin Birim Hacim Ağırlığı	kg/m³	400-800	400-800	400-800
ZEMİN ELEMANININ MUKAVEMETİ				
Çakıllı/Kumlu Zeminler	kg/cm²	100-300	75-250	75-200
Kili Zeminler	kg/cm²	15-100	15-85	15-75
NOT : ÖY = Ön Yıkama				

Jet grouting yönteminin fizibilitesini ve parametrelerini etkileyen faktörler Cippo ve Tornaghi tarafından aşağıdaki gibi sıralanmıştır [8].

- Zemin profili ve hidrojeolojik bilgiler
- Zeminin kohezyon ve yoğunluk değerleri ve bunların temin edilmesi için yapılan CPT ve SPT sonuçları

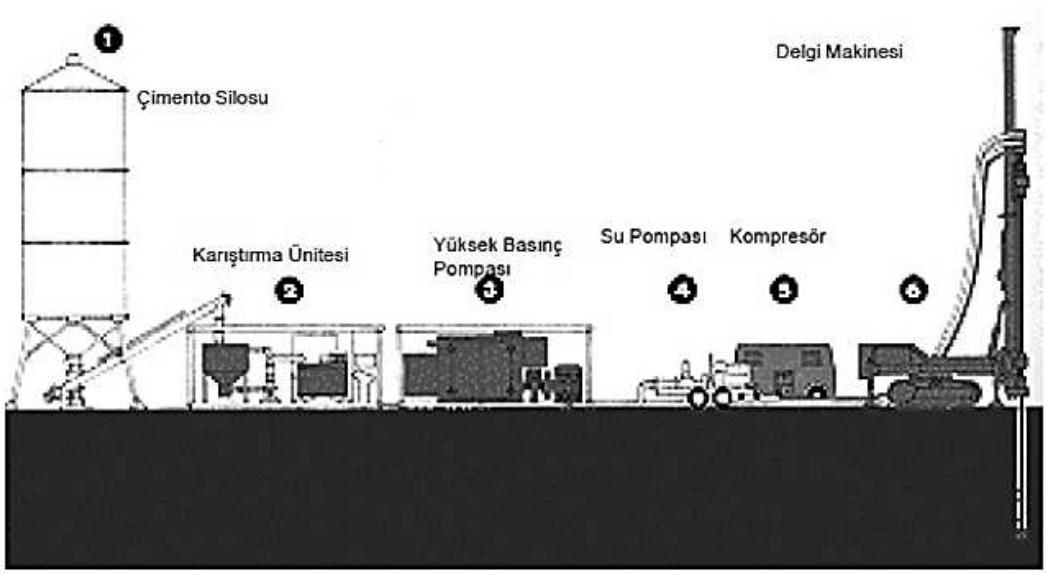
- Kohezyonsuz zeminlerin su muhtevası ve dane çapı dağılımı; kohezyonlu zeminlerde Atterberg limitleri
- Enjeksiyon karışımı ve zemin – enjeksiyon karışımının permeabilite, mukavemet, … belirlenmesi amacı ile yapılan deney sonuçları
- İmal edilen kolonların kontrolleri için yapılan arazi deneyleri ve kontrol sonuçları

3.4. Jet Grouting İmalatı

Sistem, prensip olarak hazırlanan çimento şerbetinin, yüksek basınç altında zemin içerisine püskürtülerek çevrede bulunan zeminin basılan şerbet ile karıştırılması 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 3.6**' de gösterilmektedir.



Şekil 3.6 : Jet grouting sistemi ekipmanları [4].

3.4.1. İmalat ekipmanları

3.4.1.1. Delici makine

Teknolojinin gelişmesiyle beraber zemin iyileştirme çalışmalarında kullanılan makine ve ekipmanlar da çeşitlilik kazanmıştır. Kullanılan ekipmanların çeşitliliği sahadaki ihtiyaca göre şekillenmektedir. Jet grout imalatlarında kullanılan delici makine görünümü **Şekil 3.7**' da görülmektedir.

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



Şekil 3.7 : Jet grouting delgi ekipmanı [11].

3.4.1.2. Silo – Pompa – Karıştırıcı üniteleri

Jet grouting yöntemin en önemli kısım, püskürtme işlemini gerçekleştiren monitör kısmıdır. Makinanın delici gövdesinin üzerinde bulunan ve üzerinde püskürtme ağızlarının er aldığı kısma "monitör" denilmektedir. Püskürtme ağızlarının adedi seçilen yönteme göre değişiklik göstermekte olup; ağızlardan çıkan malzeme (su, çimento, hava) monitöre dik olacak şekilde püskürtülür. Püskürtme ağızlarının çapları 1.5 – 8 mm arasında değişmektedir.

Karıştırıcılar ve enjeksiyon püskürtülmesinde kullanılan ekipmanlar, jet grouting yönteminde harcın hazırlanması ve bağlantılar yoluyla delici makinaya aktarılmasında kullanılmaktadır. Sistem genel olarak santralden gelen çimentonun basıldığı silo ile başlamakta olup; karıştırıcı ünitede enjeksiyonun hazırlanacağı kazan içerisine istenilen miktarda çimento basılması için elektronik tartı yardımıyla enjeksiyon tankına alınmaktadır. Kazanda istenilen oranda çimento ve su karışımı hazırlanıp, delici makineye aktarılmaktadır. Bu aktarım için de kullanılan yönteme göre yüksek ve düşük basınçlı pompalar kullanılmaktadır. Jet grouting yöntemine ait silo, pompa ve karıştırıcı ünitelerine ait görsel **Şekil 3.8**' da görülmektedir.



Şekil 3.8 : Jet grouting silo – pompa ve karıştırıcı üniteleri [12].

3.4.2. İmalat aşamaları

Yöntem, genel itibari ile karışım ünitelerinde projesinde belirtilen oranlarda hazırlanan çimento şerbetinin yüksek basınç altında zemin içerisine püskürtülerek zeminin ıslah edilmesine dayanmaktadır. Bu yöntem ile ıslah edilen zeminin taşıma kapasitesi ve elastisite modülü artırılmakta olup; aynı zamanda geçirimliliği ve sıkıştırılabilirliği azaltılmaktadır.

Yöntem temel olarak iki aşamadan oluşmaktadır.

- Delme Aşaması
- Püskürtme Aşaması

3.4.2.1. Delme aşaması

Klasik yöntemlerde olduğu gibi delgi, delinen zemin özelliğine bağlı olarak rotari delgi yöntemlerinden biriyle delinir. Delgi sırasında kullanılan akışkanlar, seçilen jet grouting yöntemine göre belirlenir (su, hava, çimento şerbeti). Yüksek basınçlı enjeksiyona dayanıklı olan tijler ile istenilen derinlikten başlanıp istenilen derinliğe kadar inilir. Bu tijler birleşim yerlerinden 500 – 600 bar basınca dayanabilmektedirler.

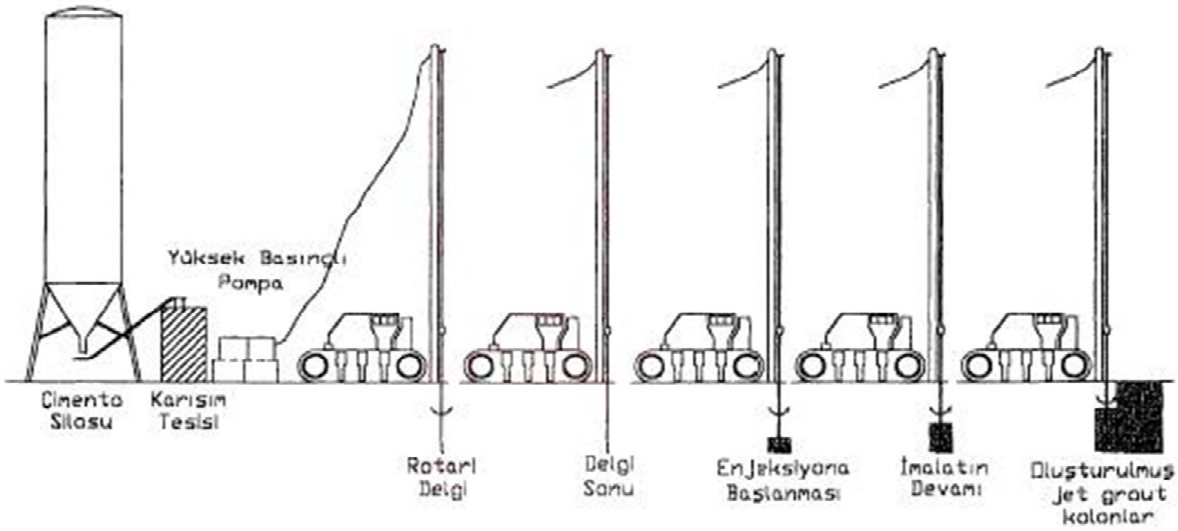
3.4.2.2. Püskürtme aşaması

Yüksek basınç altında kontrollü olarak verilen enjeksiyon malzemesi, püskürtme ağzından çıkarak zemini keser ve karıştırır. İstenilen derinliğe inen tijin ucundaki delik, çelik küre yardımıyla ya da otomatik valf ile kapatılıp enjeksiyonun monitördeki püskürtme ağızlarından çıkması sağlanır. Parçalanan zemin ile birlikte karışan çimento enjeksiyonu karıştırılarak yukarıya doğru hem döndürülen hem de yukarı çekilen tijle kolon oluşturulmuş olur. Oluşturulan kolonların çapı ve boyu, tijlerin dönme hızına, enjekson basıncına, tijin yukarı çekilme hızına ve püskürtme ağızlarına bağlı olmaktadır.

Genel olarak tüm jet grouting sistemleri, benzer imalat aşamalarına sahiptirler. Bu imalat aşamaları (**Şekil 3.9**);

- İstenilen delme açısı ile jet grouting ekipmanının kurulması,
- İstenilen derinliğe kadar hidrolik rotary yöntemi ile delgi yapılması,
- Dizayn derinliğinin en alt noktasından jet grouting işlemine başlanması ve üniform şekilde oluşturulacak jet grout kolonunun en üst noktasına kadar (gerekirse döndürülerek) yukarı doğru çıkılması,

şeklinde sıralanabilir [2].



Şekil 3.9 : Jet grouting imalat aşamaları [2].

Delme işlemi sonunda (istenilen derinliğe ulaşıldığında) zeminin parçalanarak kesilmesi ve yerinde karıştırma işlemi (zemin ile enjeksiyon karışımının karıştırılması), delici gövdenin dolayısıyla monitörün belirli bir hızla döndürülerek geri çekilmesi ile birlikte başlar. Zemini kesen akışkan jeti, çimento karışımı (tek akışkanlı sistem) veya buna ek olarak su ve hava jeti (iki ve üç akışkanlı sistem) dir. Böylece kesilen zemin kısmi olarak enjeksiyon karışımı ile karıştırılmış ve zemin içinde kolon şeklinde bir eleman oluşmuş olur (**Şekil 3.10**).



Şekil 3.10 : Jet grout kolon görünümü [13].

3.4.3. Yöntemin avantajları ve sınırlamaları

Yaklaşık olarak her türlü zeminde kullanılabilen bir enjeksiyon yöntemi olan jet grouting yönteminin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Kullanılan ekipmanlar diğer yöntemlere göre kısmen hafif ve küçük elemanlardır.
- En yumuşak zemin ortamlarından kaya ortamlara kadar tüm uygulamalarda ve zemin koşullarında aynı ekipmanlar kullanılmaktadır.
- Kullanılan su jetinin aşındırma etkisi sayesinde metod, klasik enjeksiyon yöntemlerine göre daha verimli ve ekonomik olmaktadır.
- Küçük boyutlu makinalar kullanılarak, mevcut binaların bodrum katından veya iki bitişik bina arasındaki dar saha enjeksiyon yapılabilir.
- Yöntemin uygulanışı sırasında herhangi bir gürültü, titreşim ve kirlilik problemi olmamaktadır. Çimento, bentonit ve su karışımı kullanıldığı için, kimyevi enjeksiyonlar gibi çevre kirlenmesi söz konusu değildir. Zararlı vibrasyon etkisi yaratmadığı için hassas ve tarihi yapılar yakınında kullanılabilmektedir. Temel takviyesi sırasında yapının deformasyonu çok az ya da hiç olmaz.
- Malzeme sarfiyatları önceden belirlenebilmektedir.
- Klasik enjeksiyon yöntemlerine göre kontrolü daha kolaydır.
- Islah edilecek zemindeki permeabilite ve mukavemet istenilen oranda tasarlanabilir.
- Yüksek riskli inşaatlarda güvenlikli bir yöntemdir.
- Arazi şartlarına bağlı olarak diğer yöntemlere göre daha kısa sürelidir.
- Hemen hemen tüm zemin tiplerinde uygulanabilmektedir.
- İstenilen derinlikten başlanarak istenilen derinliğe kadar kolon imalatı yapılabilmektedir.

Tüm bu avantajlarının yanında yöntemin belli sınırlamaları da mevcuttur.

- Yük taşıyan kolonlarının çapının mümkün olduğu kadar aynı olması istenmektedir. Bu nedenle kolon imalatları sırasında azami dikkat edilmeli; iyileştirmeye daha az cevap veren zeminler geçilirken dikkatli ve kontrollü olunmalıdır.

- İşe başlamadan önce maliyetler belirlenmelidir. Yöntem henüz gelişme aşamasında olup; teknolojinin gelişimiyle değişik çalışma prensiplerinde ekipmanlar üretilmektedir. Bu ekipmanların kullanımına ve yedek parça sarfiyatları iyi analiz edilmelidir.
- Tasarımlar sırasında henüz teorik kurallar gelişmemiş olup; tecrübelere ve yapılan uygulamalara dayalı sonuçlar kullanılmaktadır. Bu eksiklik nedeniyle "ilerledikçe tasarla" kriteri uygulanmaktadır.
- Zemin içerisinde enjeksiyonun dağılımının ve oluşturulan kolon boyutlarının bilinmesi zordur. Bazı zemin türlerinde çok yüksek basınçlar kullanıldığında kimi zaman zeminde çatlamalar ve komşu yapılarda oturmalar meydana gelebilmektedir.

3.5. Jet Grouting Tasarım Kriterleri

Jet grouting uygulamalarının artmasıyla sadece kohezyonsuz zeminlerde başarılı olacağı öngörülen bu uygulamanın kohezyonlu zeminlerde de başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Yöntem tasarımında esas mesele güvenli, ekonomik ve tatminkar bir çözüme ulaşmak için uygulanacak metodun iyi seçilmesi, prosedür ve detayların adım adım hesaplanmasıdır [9]. Buna göre,

- Zemin profili çıkarılmalı ve zemin özellikleri iyi belirlenmelidir.
- Zemin modeli gerçeğe uygun şekilde (araziyi yansıtacak şekilde) modellenmelidir.
- Modele yükleme durumu arazideki şekline en yakın şekilde yansıtılmalıdır.
- Model analizi yapılmalıdır. Analiz sırasında imalat kademeleri sahadaki uygulama sırasına göre yapılmalıdır.
- Islah edilmiş zeminin malzeme seçimi yapılmalıdır.

Yapılacak olan zemin iyileştirme uygulamasının ne amaçla yapılacağı tasarımcı tarafından doğru bir şekilde belirlenmelidir. Eğer kolonlar taşıyıcı elemanlar olarak kullanılacak ise, kolonların kapasite hesaplamalarında tekil kazık taşıma gücü hesapları kullanılır; toplam güvenli taşıma kapasitesi uç ve çeper sürtünmesi ile belirlenir [9]. Hesaplama yönteminde grup şeklindeki taşıyıcı elemanların toplam taşıma kapasitesinin (basınç cinsinden) tüm tekil kazıkların toplam taşıma kapasitelerine eşit olacağı göz önüne alınmaktadır.

3.5.1. Taşıma kapasitesi

Jet grouting yönteminde düşey tekil elemanlar kazık gibi düşünülerek hesaplamalar yapılmaktadır. Kolonlar, yapısal yükleri zayıf zemin tabaklarından geçirerek daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarmaktadırlar. Jet grout kolonların toplam taşıma gücü, uç direnci ve çevre sürtünmesi olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır.

$$q_u = q_{uç} + q_{çev} \quad \textbf{(3.1)}$$

Kohezyonsuz zeminler için;

$$q_u = A_b * q_b + \pi * D_a * \int \gamma * z * K_s * tan\delta * dz \quad \textbf{(3.2)}$$

Kohezyonlu zeminler için;

$$q_u = A_b * q_b + \pi * D_a * \int \alpha * cu * dz \quad \textbf{(3.3)}$$

Burada;

A_b = kolon taban alanı

q_b = kumda (1+2Ko)*σ_{vo}*N_q*ξ

q_b = kohezyonlu zeminde 9*cu

D_a = kolon çapı

N_q = taşıma faktörü

σ_{vo} = düşey toprak basıncı

γ = zeminin birim hacim ağırlığı

Ko = sükûnetteki zemin basıncı katsayısı

K_s = zemin basıncı katsayısı

δ = zemin - kolon arasındaki sürtünme açısı

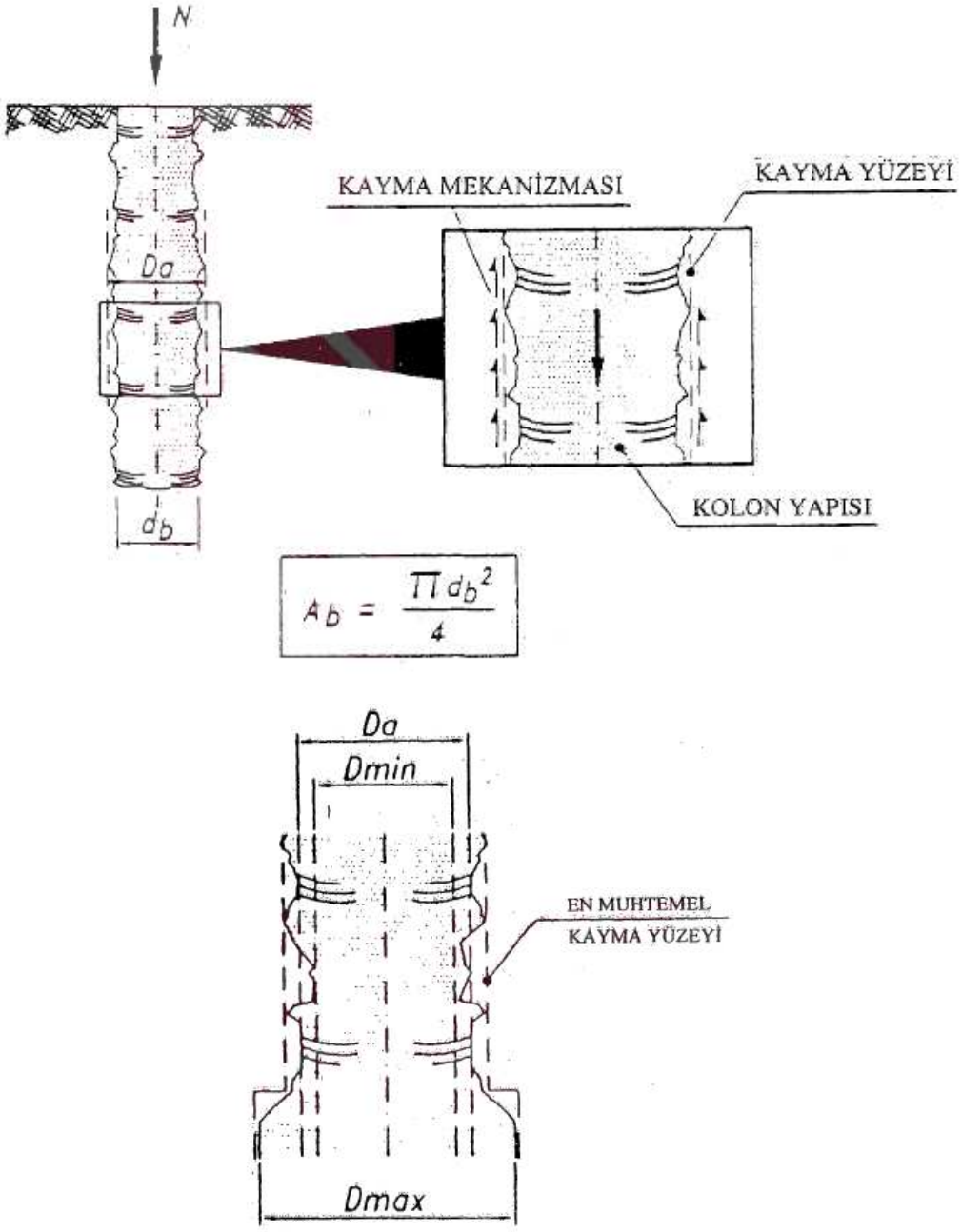
α = adhezyon için azaltma faktörü

cu = drenajsız kayma mukavemeti

z = derinlik

ξ = uç taşıma kapasitesi azaltma faktörü

Jet grout kolonların kayma yüzeyi **Şekil 3.11**' de verilmiştir.



Şekil 3.11 : Jet grout kolonun muhtemel kayma yüzeyi [14].

Kayma yüzeyi ile ilgili olarak adhezyon azaltma faktörü,

- Kohezyonlu zeminlerde α=1 (normal konsolide olmuş zeminlerde)
  α=0.45 (aşırı konsolide olmuş zeminlerde)
- Granüler zeminlerde K_s>1

Şekil 3.11' de görülen kolon ortalama çapının dikkatli bir şekilde tayin edilmesi gerekmektedir. Aynı zamanda kayma silindirinin gerçek çapı, tahmin edilenden daha büyük olmaktadır.

Adhezyon katsayısının 0.45 – 1 değerleri arasında veya zemin basınç katsayısının 1 – 1.4 arasında seçilmesiyle oluşturulan kolonların ortalama tahmini çapı, gerçekte oluşturulan kolonlar ile benzer olabilmektedir [1].

Jet grout kolon tasarımında kohezyonlu ve granüler zeminler için kullanılan limit değerler **Çizelge 3.2** ve **Çizelge 3.3**' de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Kohezyonlu zeminlerde jet grout kolon tasarımında kullanılan değerler.

Kazık Tipi	Sürtünme kapasitesi azaltma faktörü		Birim çeper sürtünmesi için limit değerler	Uç kapasitesi azaltma faktörü
	α (Normal konsolide)	α (Aşırı konsolide)	τ (kPa)	ξ
Fore kazık	0.9	0.35	275	0.66
Çakma kazık (açık uç) (e: dış, i: iç)	0.95e 0.80i	0.40e 0.35i	200	0.7
Çakma kazık (kapalı uç)	0.95	0.45	200	0.8
Jet grout kolon	1	0.45	280	1

Çizelge 3.3 : Granüler zeminlerde jet grout kolon tasarımında kullanılan değerler.

Kazık Tipi	Sürtünme kapasitesi azaltma faktörü		Birim çeper sürtünmesi için limit değerler	Uç kapasitesi azaltma faktörü
	δ/φ	K_s	τ (kPa)	ξ
Fore kazık	0.6	0.5 – 0.65	100 – 200	0.33 – 0.5
Çakma kazık (açık uç)	2/3	0.65 – 0.95	120	0.7 – 0.8
Çakma kazık (kapalı uç)	0.75	1.0 – 1.5	120 – 180	1.0
Jet grout kolon	1	1.0 – 2	≥ 180	1.0

Grup kapasitesinde taşıma kapasitesi her bir kolonun tekil taşıma kapasitelerinin toplamı ile belirlenmektedir.

$$q_{u(grup)} = \beta * n * m * P_{u(kolon)} \quad \textbf{(3.4)}$$

Burada,

β = azaltım faktörü (kolon aralıklarına, kolon boyuna, zemine,… bağlı)

n = yatay yöndeki sıra sayısı

m = düşey yöndeki sıra sayısı

$P_{u(kolon)}$ = herbir jet grout kolonun taşıma kapasitesi

Blok analizlerinin yapılabilmesi için grup etkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Blok taşıma kapasitesi şematik gösterimi **Şekil 3.12**' de gösterilmektedir.

$$q_{u(grup)} = B * L * \ Q_b + 2(B + L) * (h_2 * Q_{12(ort)} - h_1 * Q_{11(ort)}) \quad \textbf{(3.5)}$$

Burada,

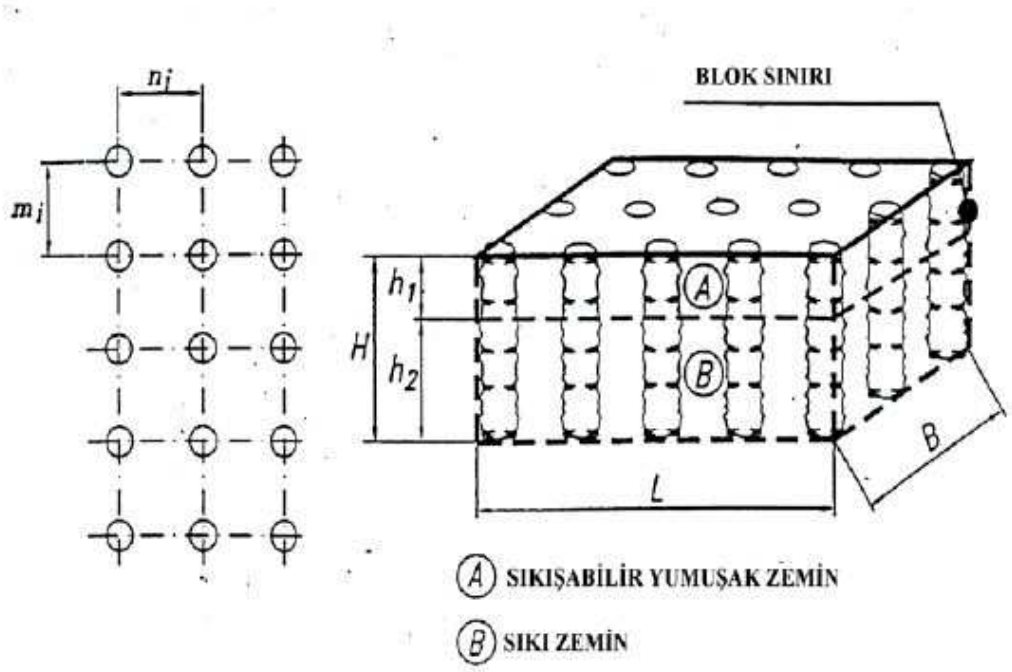
Q_b = H derinliğindeki uç taşıma kapasitesi

$Q_{12(ort)}$ = h_2 derinliği için ortalama yanal sürtünme değeri

$Q_{11(ort)}$ = h_1 derinliği için ortalama yanal sürtünme değeri

h_1 = yumuşak tabaka kalınlığı

h_2 = taşıyıcı tabaka

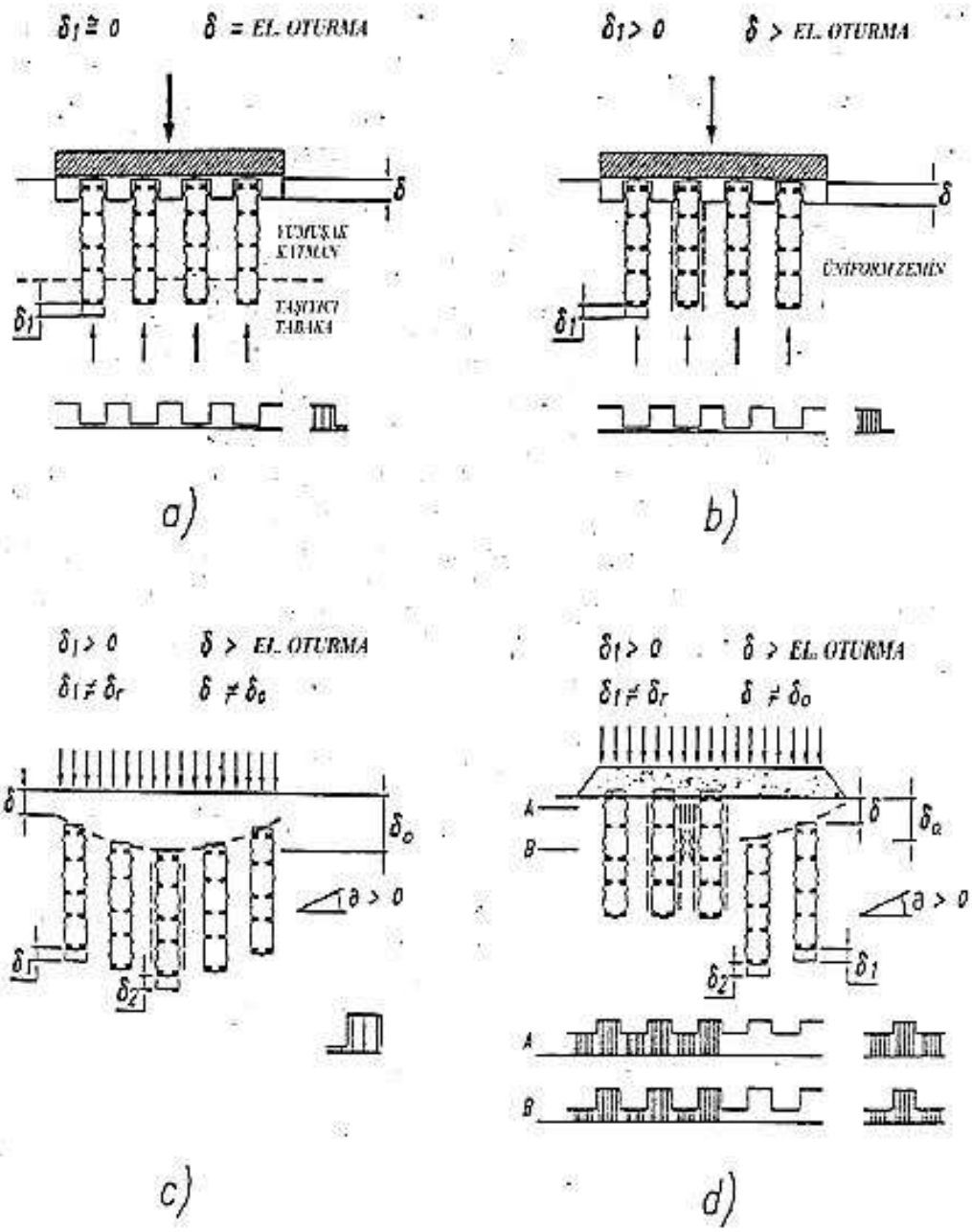


Şekil 3.12 : Jet grout kolonlarının blok analizi şematik gösterimi [14].

3.5.2. Oturma analizi

Yapısal yük, rijit bir kütle tarafından kolonlara aktarılıyorsa ve kolon uçları taşıyıcı tabaka içerisinde bulunuyorsa, tüm yük kolonlara aktarılır ve her bir kolonda elastik oturma meydana gelir (**Şekil 3.13a**). Şayet yük, rijit bir gövde ile taşıyıcı olmayan bir zemin içerisinde yüzen kolonlarla taşıtılıyor ve kolonlar taşıyıcı tabakaya girmiyorsa, yükün büyük bir kısmı kolonlara aktarılmakla beraber yükün bir kısmı zemine intikal eder. Bu durumda reel oturma, kolonların elastik oturma değerinden daha büyük bir değerde gerçekleşir (**Şekil 3.13b**).

Yükle temel arasında yeterli kalınlıkta granüler bir tabaka konulursa, yükün bir kısmının kolonlarla taşınması gerçekleşirken; önemli bir kısmı da zemin tarafından taşınır. Granüler dolgu malzemesi jet grout kolonların davranışını daha üniform yapar.



Şekil 3.13 : Jet grout kolon imal edilen zemindeki oturma durumları.

Islah edilen zeminin ortalama elastisite modülünün, oturma koşulu göz önüne alınarak hesaplanan elastisite modülünden büyük ya da eşit olmalıdır [1].

$$k = \frac{q}{y} \qquad (\mathbf{3.6})$$

Burada,

k = yatak katsayısı

q = zemine etki eden gerilme

y = oturma koşulu göz önüne alınarak zeminde oluşması istenen oturma

Zeminde oluşması istenen oturma değerinden yola çıkılarak istenilen derinlikteki elastisite modülü bulunabilir. Genişliği B olan bir temelin ortalama B/2 derinliği için gerilme değerinin $q_o/2$ olduğu kabul edilebilir. Bu durumda herhangi bir derinlik için yatak katsayısına bağlı elastisite modülü,

$$E_s = \frac{\mathrm{q_{ort}}/2}{\mathrm{y/B}} \tag{3.7}$$

Herhangi bir D derinliği için,

$$E_s = C * \left(D + \frac{B}{2}\right) = \frac{CB}{2} * \left(\frac{2D}{B} + 1\right) \tag{3.8}$$

Elastisite modülü C sabitine bağlı yazılırsa,

$$C = \frac{ks'}{\left(\frac{2D}{B}+1\right)} \tag{3.9}$$

D=0 için yatak katsayısına ks'' olarak yazılırsa,

$$E_s = \frac{B*ks''}{2} \tag{3.10}$$

Zeminin elastisite modülü C sabitine bağlı olarak yazılırsa,

$$E_s = C * z \tag{3.11}$$

Burada,

E_s = Herhangi bir derinlikteki zeminin elastisite modülü

q_{ort} = Ortalama gerilme değeri

B = Temel genişliği

k_s = Herhangi bir derinlikteki yatak katsayısı

C = sabit

z = derinlik

Jet grout kolonları ile ıslah edilecek zeminin elastisite modülü, herhangi bir derinlikteki oturma koşulunu sağlayacak elastisite modülünden yola çıkılarak bulunabilir (**Şekil 3.14**).

$$E_{ort} = \frac{A_{jet}}{A} * E_{jet} + \frac{A_{ıslah} - A_{jet}}{A} * E_s \qquad (\mathbf{3.12})$$

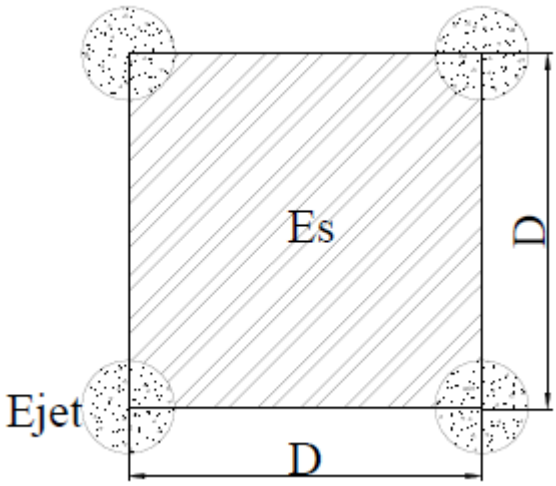
Burada,

$A_{ıslah}$ = Islah edilen alan

A_{jet} = Islah edilecek alan içerisindeki jet grout kolonların alanı

E_s = Zeminin elastisite modülü

E_{jet} = Jet grout kolonlarının elastisite modülü



Şekil 3.14 : Jet grout kolonlar ile ıslah edilmiş zemin alanı.

4. DERİN TEMELLER

Genellikle kazıklar, üst yapı yüklerinin yüzeysel temeller ile güvenilir bir biçimde zemine aktarılamadığı durumda yükleri, taşıyıcı özelliği yüksek olan ve zemin profilinde zemin yüzeyinden daha derinde yer alan tabakalara aktarmada kullanılan yapı elemanlardır.

Kazıklar yükleri genellikle eksenel basınç ile taşısalar da açık deniz platformları, iksa duvarları, şev stabilitesi gibi bazı mühendislik yapılarında yanal toprak basıncı gibi yatay kuvvetlerin karşılanmasında da kullanılmaktadırlar.

Bir temelin derin temel kategorisine girmesi için gereken kriter, D/B>1 (temel derinliğinin genişliğinden fazla olması) koşulunu sağlamasıdır. Derin temeller; kazık, ayak ve keson şeklinde olabilirler. Bunlar içerisinde en yaygın olarak kullanılanı kazıklardır. Kazıklı temellerin projelendirilmesinde göçmeye karşı güvenliğin sağlanması gerektiği gibi aynı zamanda servis yüklerinin meydana getireceği oturmaların da kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir.

Yüzeysel temel çözümlerine göre daha pahalı olmalarına karşın değişik nedenlerle kullanıldıkları bazı durumlar şöyle sıralanabilir [19]:

- Üstteki zemin tabakalarının üst yapı yükleri için yeterli taşıma güçlerinin olmayışı veya çok sıkışabilir nitelikleri nedeniyle yüklerin daha sağlam zemin veya anakayaya aktarıla zorunluluğu doğabilir. Sağlam tabakanın çok derinde olması halinde yükün büyük kesimini kazık çevresinden aktarılacak şekilde düzenleme yapılabilir.
- Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin, rüzgar ve deprem yükü gibi yanal etkilerin karşılanması amacı ile düzenlenebilirler (Büyük yatay ve eğimli yük aktaran yapılarda).
- Suyla temasa geçtiğinde kabaran veya ani çökem gösteren zeminlerde üst yapı yüklerinin aktif zon diye tariflenebilecek bir bölgenin dışına aktarmak gerekebilir

- Kuleler, deniz platformları ve yer altı suyu altındaki radyeler kaldırma kuvvetleri etkisindedirler. Bu kuvvetlerin karşılanmasında kazıklı temeller düzenlenebilir.
- Köprü kenar ve orta ayakları erozyon nedeniyle temel altının oyulmasına karşı kazıklı olarak düzenlenebilir.
- Kazıklar bazı durumlarda zemin hareketini kontrol amacıyla kullanılabilir.
- Gevşek granüler zeminlerin sıkı hale getirilerek iyileştirilmesi amacıyla kullanılabilirler.
- Üniform olmayan küçük alanlara yoğunlaşmış yük aktaran yapılarda kullanılabilir.
- Zemin yüzü veya zeminde tabakalaşmanın fazla eğimli olması durumunda kullanılabilir.

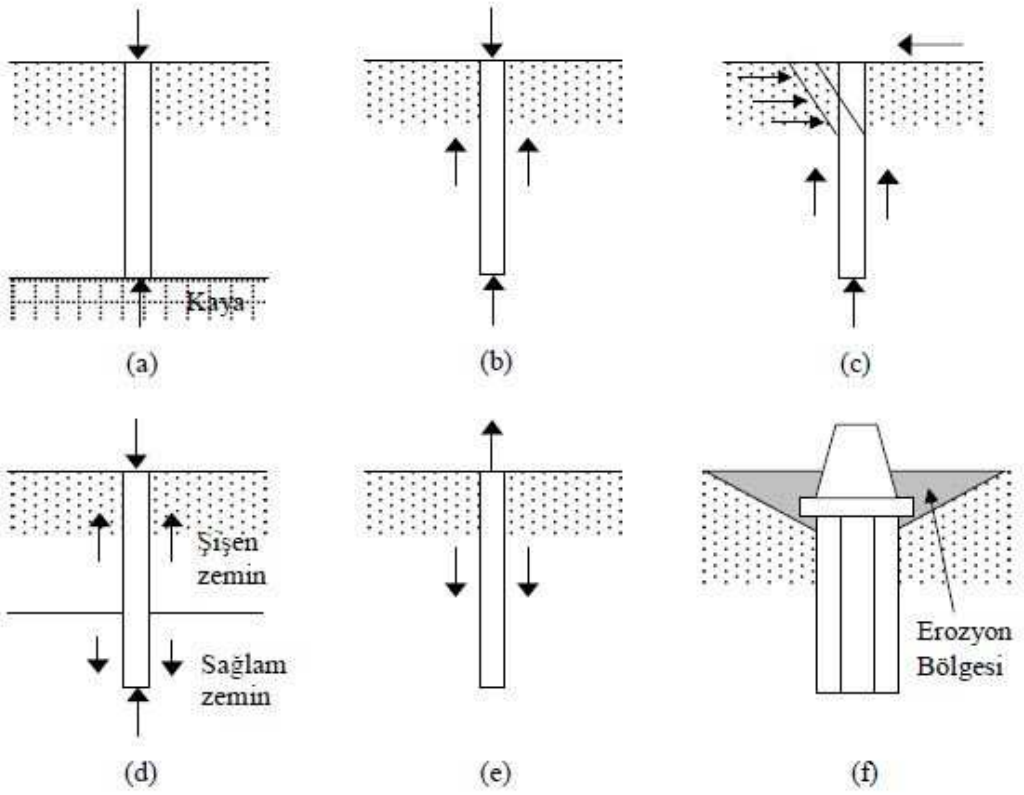
Statik sistemleri veya fonksiyonları bakımından farklı oturmalara hassas yapılarda kullanılabilir.

4.1. Tasarım Esaslarına Göre Kazık Çeşitleri

Kazıkların çalışma mekanizması bulundukları ortamın özelliklerine, imalat şekline ve yüklenme şekillerine göre değerlendirilmelidir. Zayıf zemin tabakalarının altında ulaşılabilir mesafede kaya gibi sağlam tabaka varsa kazıklar bu sağlam tabaka içerisine soketlenirler. Bu durumda tüm mukavemetlerini uç direncinden alırlar. Bu tip kazıklar, uç kazığı olarak adlandırılmaktadırlar (**Şekil 4.1a**).

Eğer kaya tabakası ulaşılabilecek mesafede değilse orta sıkılıkta ve sert bir zeminde kazık mukavemetini, kısmen çevre sürtünmesinden kısmen de uç direncinden alır. Kazıkların düşey yüklere ilave olarak yatay yükleri de taşıması gerekebilir. İstinat yapıları ve yüksek binaların temellerine deprem ve rüzgar yüklerinin etkisi ile yatay yük nakledilebilir (**Şekil 4.1c**).

Kazıklar üst seviyelerde şişen veya göçen zemin olması durumunda ve kaldırma yüklerinin etkisi altında kalacak yapılarda temel olarak kullanılabilir (**Şekil 4.1d,e**). Köprü kenar ayakları gibi yapıların altındaki kazıklar da yüzey erozyonu sebebiyle temeli kaybetmemek için inşaa edilebilir (**Şekil 4.1f**).



Şekil 4.1 : Tasarım kriterlerine göre kazık tipleri [18].

Aynı zamanda kazıklar, yapım şekillerine göre şu şekilde sıralanabilirler:

- Çakma kazıklar (ahşap, betonarme, çelik)
- Yerinde dökme – çakma kazıklar (beton, betonarme, kılıflı veya kılıfsız)
- Yerinde dökme sondaj kazıkları (fore kazık)
- Konbine kazıklar (kısmen sondaj, kısmen çakma kazık)
- Burgu kazıklar

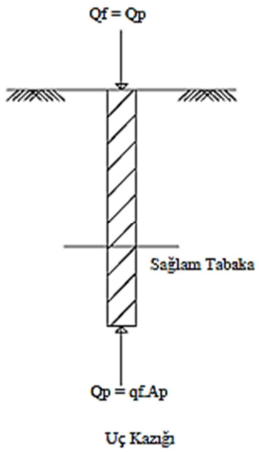
Ayrıca bazı araştırmacılar yapım şekillerine göre kazıkları aşağıdaki gibi sınıflandırmaktadırlar:

- Geniş yer değiştirme kazıkları
- Küçük yer değiştirme kazıkları
- Yer değiştirmeyen kazıklar

4.1.1. Uç kazıkları

Yapı yükerini zayıf zemin altındaki sağlam tabakaya aktarmak için kullanılan kazıklardır. Kazık yükü, kazık ucu vasıtasıyla temel zeminine aktarılır. Çevre sürtünmesi rol oynamaz.

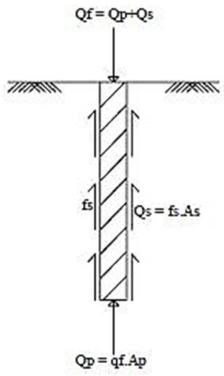
Uç kazıklarının tasarımında zemin yüzeyine yeni dolgu yapılması, yer altı suyunun inmesi gibi nedenler dolayı sağlam tabaka üzerindeki zeminde oturmalar meydana gelebilir. Meydana gelecek bu oturmaların büyük negatif çevre sürtünmeleri oluşturabileceği hesaba katılmalı ve bu sebeple kazığa etkiyece artı düşey yükler göz önüne alınıp tasarım yapılmalıdır (**Şekil 4.2**).



Şekil 4.2 : Uç kazığı şematik görünümü [16].

4.1.2. Sürtünme kazığı (yüzen kazık)

Yapı yüklerinin kazık çevresinde oluşan zemin sürtünmesi ile kısmen veya tamamen taşıtılması için kullanılan kazıklardır. Bu tipteki kazıklar kum-çakıl gibi granüler zeminlerde çakılırsa bu kazıklara sıkıştırma kazığı da denilmektedir (**Şekil 4.3**).



Şekil 4.3 : Sürtünme kazığı şematik görünümü [16].

Zeminler için yaklaşık çevre sürtünmesi değerleri Terzaghi ve Peck tarafından şu şekilde verilmektedir [15].

Çizelge 4.1 : Zeminler için yaklaşık çevre sürtünmesi değerleri (Terzaghi ve Peck).

Gevşek Kum	25 kN/m^2
Sıkı Kum	100 kN/m^2
Yumuşak Kil-Silt	10 – 20 kN/m^2
Kumlu Silt	20 - 50 kN/m^2
Katı Kil	40 - 100 kN/m^2

Kohezyosuz zeminlerde çakılan sürtünme kazıklarının ana kullanım amacı, zeminlerin mukavemetini kompaksiyonla artırmak içindir. Çakım sırasında meydana gelen titreşim kumu sıkıştırır ve yeterince sıkışma sağlanınca da kazıklarla kum zemin bir blok halinde birlikte davranırlar [15].

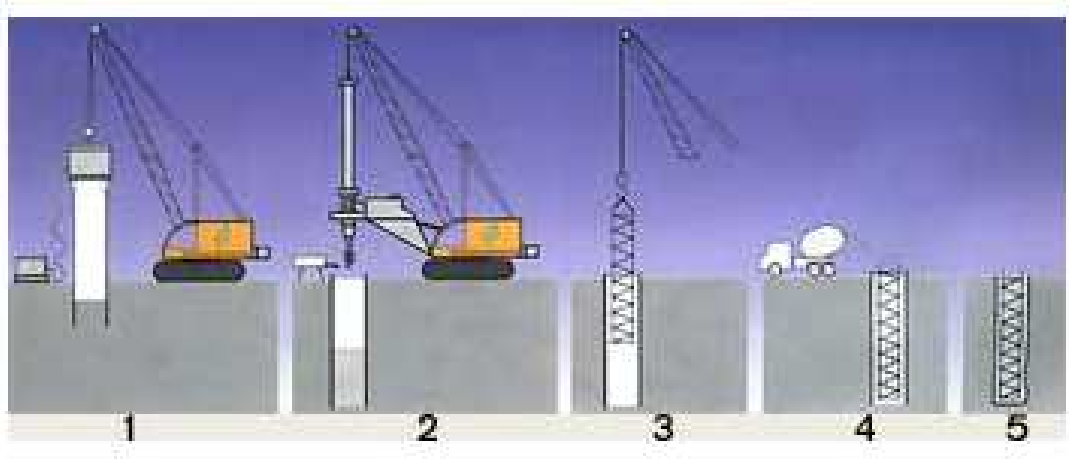
4.2. Kazık Tipi Seçim Kriterleri

Sahada uygulaması yapılacak olan kazık tipi belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Her bir kazık için belirlenen taşıma gücü değeri
- Kazık tasarım kriteri
- İmalat hızı ve kolaylığı
- Kazıkların kullanım amaçları
- Karşılaştırmalı maliyetler
- Gerekli olması durumunda metrajların arttırılabilmesi
- Gerekli olması durumunda kazık boylarının arttırılabilme kolaylığı
- Kazık boyutları
- Kullanılacak olan ekipman için sahanın boyutları
- İmalat sonrasında kazığın zarar görme olasılığı
- Kazık malzemesinin temin kolaylığı ve maliyetleri
- Kazık sürekliliğinin güvenilirliği
- Zemin parametreleri
- Zemin içerisinde kimyasal madde olması durumu
- Kazık imalat açısı
- Yeraltı suyu durumu
- Tasarımı yapan mühendisin daha önceki tecrübeleri
- Müteahhidin elinde belli türde bir kazığın yapımı için hazırda ekipman bulunması

4.3. Fore Kazık İmalat Aşamaları

Betonarme kazıklar, günümüzde yaygın olarak kullanılan kazık tipidir. Yer altı suyundan etkilenmedikleri için ve istenilen boyda yapılabildikleri için diğer kazıklara göre daha çok tercih edilmektedirler. En basit şekliyle fore kazık yapım aşaması **Şekil 4.4**' de verilmiştir.



Şekil 4.4 : Fore kazık imalat aşamaları [20].

4.3.1. Delgi aşaması

İmalatların yapılacağı inşaat sahası ve yolları, makinaların çalışacağı şekilde hazırlanır. Saha hazırlıkları yapıldıktan sonra delgi makinesi için 10 cm' den fazla batma yapmadan çalışabilmesi için yüzeyin düzeltilip sıkıştırılması, gerekli görülürse stabilize malzeme ile doldurulması gerekmektedir.

Yerinde dökme betonarme kazıklar için gereken kazık kuyusunun açılmasında kullanılacak metoda göre, kazık imalatı yapılırken zeminin rotatif ekipmanla delinmesi sırasında kazık kuyusuna indirilecek veya ucu açık olarak zemine çakılacak çelik muhafaza borularının malzeme mukavemet veya et kalınlığı, dış ve iç çapları gerek çakma gerekse çekme işlemleri sırasında gereken performansı gösterecek yeterlilikte olmalıdır.

Delme işlemi, zemin şartlarına uygun delici ekipmanlar ile yapılmalıdır (**Şekil 4.5**).



Şekil 4.5 : Fore kazık delici makinası [21].

4.3.2. Donatı indirilmesi ve betonlanma aşaması

Fore kazıklarda kullanılacak donatıların TSE normlarına uygun STIII kalitesinde projesinde verilen sınıfında olmalıdır. Hazırlanan donatı kafesleri kazık lokasyonuna yakın yerde ve gerekli şablonlar kullanılarak, kaldırma esnasında dağılmaması için iç halkaları bağlanmış şekilde hazırlanmalıdır. Donatı kafeslerinin hazırlandığı sahanın donatıların kirlenmemesi için temiz tutulmasına özen gösterilmesi gerekmektedir.

Projesine göre hazırlanan donatı kafesi pas payları ile teçhiz edilip gerekmesi halinde servis vinci ya da delgi makinası ile kafesin dağılmaması için doğru yerinden kaldırılarak kuyu içerisine yerleştirilir.

Delgisi tamamlanmış ve donatı kafesi indirilmiş kuyunun projesinde belirtilen sınıfında beton dökümü yapılması için kuyu içerisine tiremi borusu indirilir. Betonlama işlemi betonda segregasyonun olmaması için tremi borusu yardımıyla dökülür. Tremi borusu aşağıdaki şartları sağlamalıdır.

a) Boru çeperleri temiz, eğilme ve burkulmalara dayanabilecek mıkavemette olmalı.
b) Ek yerleri sızdırmaz olmalı ve kalın dişli manşonlar kullanılmalı.
c) Betonlama başlamadan önce tremie borusu 1m kadar kuyu tabanından yukarı çekilmeli.

4.4. Kazık Tasarım Kriterleri

Kazıkların taşıma gücü belirlenirken tıpkı sığ temellerde olduğu gibi kırılma hipotezine göre belirlenmektedir (Meyerhof ve De Beer). Şerit temellerde olduğu gibi kazık ucunda rijit plastik ortamda kayma yüzeylerinin meydana geldiği kabul edilmektedir. Bu varsayıma göre kazığın uç direnci ve çevre sürtünmesi ayrı ayrı hesaplanarak kazık taşıma gücü bulunur.

4.4.1. Taşıma kapasitesi

Bir kazığın çevre zemini açısından toplam taşıma gücü genellikle iki bileşenden oluşmaktadır. Bunlar uç direnci ve çevre sürünmesi bileşenleridir. Sürtünme kazıklarındaki taşıma gücü yaklaşımları bu tezin 3.5.1. nolu kısmında açıklanmıştır. Kayaya soketlenen kazıkların taşıma gücü çeşitli ampirik yöntemlerle hesaplanabilmektedir.

4.4.1.1.Reese ve O' Neill (1988)

Kayaya soketlenmiş kazıklı temellerde Reese ve O' Neill tarafından önerilen yöntem uygulanabilir. Bu yöntemde çevre direnci ile uç direncinin toplamı yerine ya kaya ile kazık arasındaki çevre direnci ya da uç direncinden biri hesaplanıp taşıma gücü olarak kabul edilmektedir [16].

Birim çevre direnci,

$$f(1b/in^2)=2.5 \text{ x } q_u^{0.5} =< 0.15 \text{ x } q_u \text{ (Oturma miktarı < 10.2mm için)} \quad (\mathbf{4.1})$$

$$Q_u = \pi \; x \; Ds \; x \; Ls \; x \; f \quad (\mathbf{4.2})$$

Burada,

q_u = kaya tek eksenli basınç dayanımı

Ds = kazık çapı

Ls = kazık soket boyu

$$f(1b/in^2)=2.5 \text{ x } q_u^{0.5} =< 0.15 \text{ x } q_u \text{ (Oturma miktarı > 10.2mm için)} \quad (\mathbf{4.3})$$

$$Q_u = 3 \; x \; A_p x \; q_u x \; \left\{(3 + (C_s/D_s))/(10 \; x \; (1 + \frac{300\delta}{Cs})\text{^}0.5\right\} \quad (\mathbf{4.4})$$

Burada,

C_s = süreksizlik aralığı (D_s ile aynı birimde olmalıdır)>12in için geçerlidir.

δ = süreksizlik kalınlığı (D_s ile aynı birimde olmalıdır)<0.2in için geçerlidir.

q_u = temel altındaki kayacın ya da şaft betonunun tek eksenli basınç dayanımı

4.4.1.2. Kulhawy ve Phoon (1993)

Kulhawy ve Phoon (1993), zemin ve kaya içine soketli fore kazıklar için geniş kapsamlı bir yükleme deneyi veri tabanı oluşturmuşlar ve verilerini tekil şaft yükleme deneyleri ve ortalama arazi verileri şeklinde sunmuşlardır. Bu sonuçlara göre çevre taşıma gücü yaklaşımı yapılmıştır (**Şekil 4.6** ve **Şekil 4.7**).

Ortalama arazi verilerine bağlı olarak, kayaya soketli fore kazıklar için Kulhawy ve Phoon (1993) aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir.

$$\text{Ortalama davranış: } \alpha = 2x\left(\frac{\sigma_c}{2P_a}\right)^{-0,5} \quad (\mathbf{4.5})$$

$$\text{Üst Sınır (çok pürüzlü): } \alpha = 3x\left(\frac{\sigma_c}{2P_a}\right)^{-0,5} \quad (\mathbf{4.6})$$

$$\text{Alt sınır} \quad : \alpha = 1x\left(\frac{\sigma_c}{2P_a}\right)^{-0,5} \quad (\mathbf{4.7})$$

Yukarıdaki eşitliklerden genel bir eşitlik çıkarılarak;

$$\alpha = \varphi x\left(P_a x \frac{\sigma_c}{2}\right)^{-0,5} = \tau_{max}/\left(\frac{\sigma_c}{2}\right) \quad (\mathbf{4.8})$$

Buradan en büyük çevre direnci için aşağıdaki eşitlik elde edilebilir.

$$\tau_{max} = \varphi x\left(P_a x \frac{\sigma_c}{2}\right)^{-0,5} \quad (\mathbf{4.9})$$

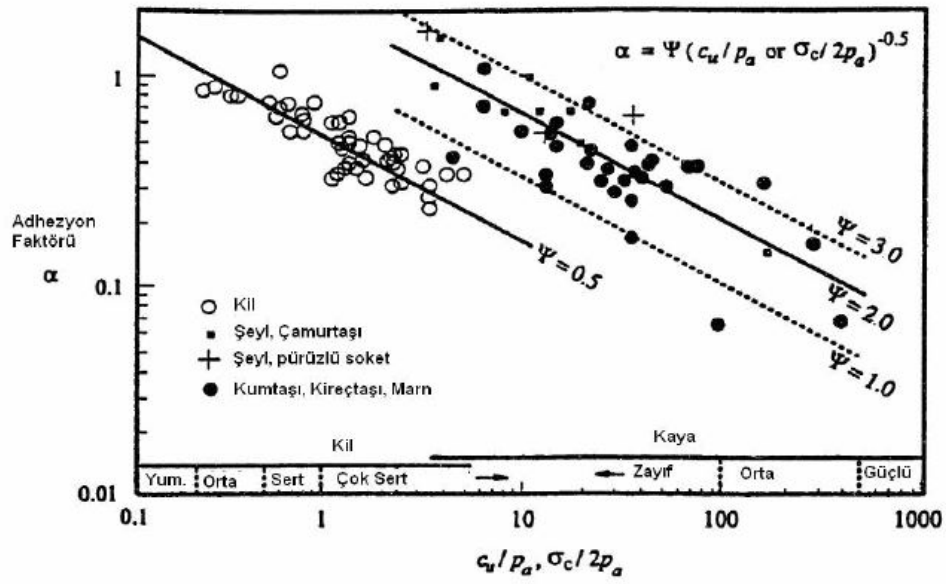
Bu eşitliklerde,

α = adhezyon faktörü

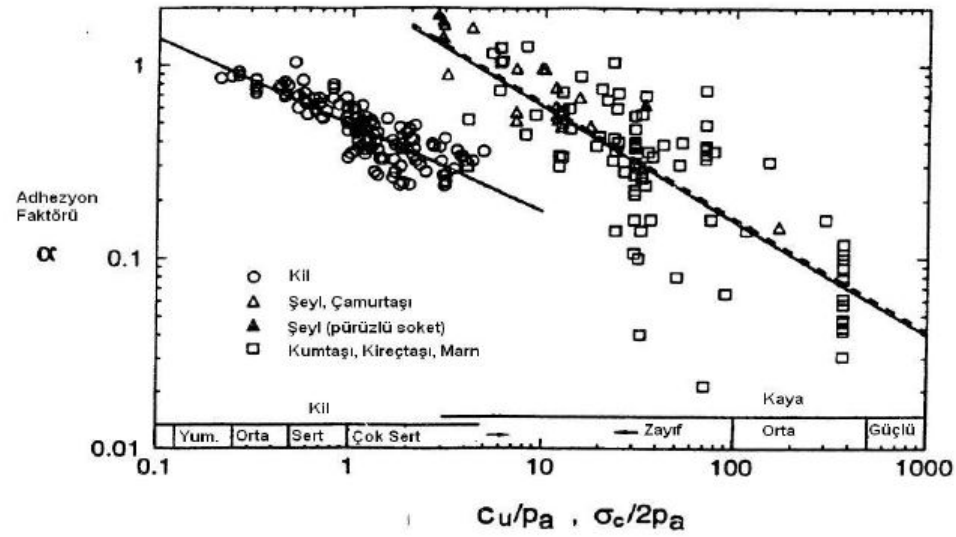
$\sigma_c/2P_a$ = normalize edilmiş kayma dayanımı

P_a = atmosfer basıncı

φ = katsayıdır ve 1 – 3 arasında değişir

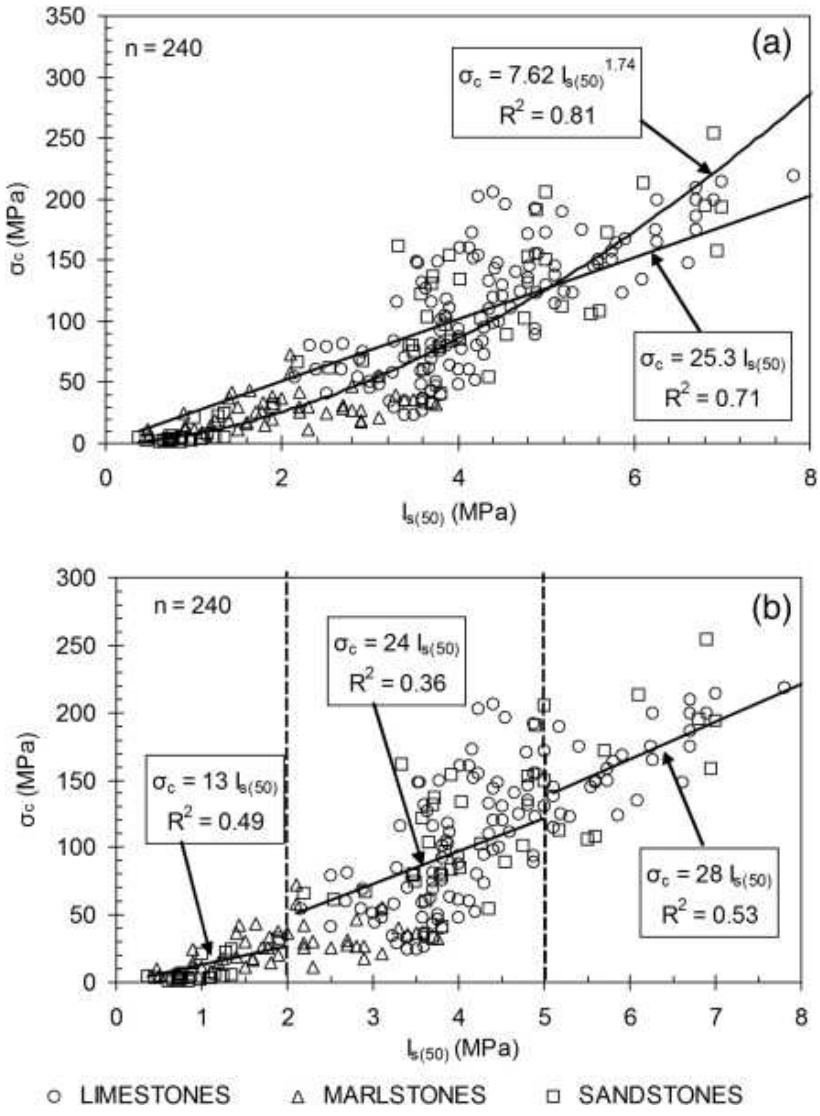


Şekil 4.6 : Ortalama zemin verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki ilişki (Kulhawy ve Phoon, 1993).



Şekil 4.7 : Özel test verileri için normalize edilmiş kayma dayanımı ve adhezyon faktörü arasındaki eşitlik (Kulhawy ve Phoon, 1993).

Kayma dayanımı ile nokta yük indisi arasındaki ilişkisi **Şekil 4.8**' de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Kayma dayanımı ve nokta yük indisi arasındaki ilişki (Kulhawy ve Phoon, 1993).

Kayaya soketli kazıklarda uç taşıma kapasitesi pek çok ampirik yöntemlerle hesaplanabilmektedir. Bu yöntemler,

- RMR yaklaşımı
- SPT-N değerine göre
- Vesic (1972) yaklaşımı
- AASHTO yöntemi
- Presyometre deney sonuçlarına göre
- Canadian Foundation Engineering Manuel yöntemi
- Yükleme Deneyleri Sonuçları yöntemi

4.4.1.3. Diğer ampirik yaklaşımlar

Kayaya soketli kazıkların taşıma gücü kapasiteleri bazı ampirik yaklaşımlarla belirlenebilir. Bu yaklaşımlar kazık yükleme deneylerinin geri çözümlemesi ile elde edilmişlerdir. Hesaplarda çoğunlukla dikkate alınan zemin parametresi kayanın serbest basınç mukavemetidir. Ampirik yöntemler, genel olarak çevre ve uç kapasitesini ayrı ayrı dikkate almaktadır. Bu yaklaşımlar, aşağıdaki denklemde genelleştirilmiş olup; birim uç ve birim çevre kapasitesini öneren yöntemler **Çizelge 4.2** ve **Çizelge 4.3**' de sırasıyla verilmiştir [23].

$$q_{max}; \tau_{max} = Ax(\sigma_c)^{B} \quad (\mathbf{4.10})$$

Burada,

q_{max} = Uç taşıma kapasitesi (MPa)

τ_{max} = Çevre taşıma kapasitesi (MPa)

A ve B = Taşıma gücü katsayıları

Çizelge 4.2 : Birim uç kapasitesini öneren ampirik yöntemler [23].

Yöntem	A	B	Açıklama
Coates, 1967	3	1	
Rowe & Armitage, 1987	2,7	1	
Argema, 1992	4,5	1	≤10 Mpa
Nam, 2004	2,14	0,66	3 adet yükleme deneyi
Vipulanandan vd., 2007	4,66	0,56	21 adet yükleme deneyi
Zhang, 2008	4,93	0,5	50 adet yükleme deneyi

Çizelge 4.3 : Birim çevre kapasitesini öneren ampirik yöntemler [23].

Yöntem	A	B	Açıklama
Rosenberg & Journeaux, 1976	0,375	0,515	
Rowe & Armitage, 1987	0,45	0,5	R1, R2 ve R3 pürüzlülük [18]
Rowe & Armitage, 1987	0,6	0,5	R4 pürüzlülük [18]
Horvath v.d., 1983	0,2-0,3	1	0,25 alınabilir
Meigh & Wolshi, 1979	0,22	0,6	
Gupton & Logan,1984	0,2	1	
Reynolds & Kaderabek, 1980	0,3	1	
Toh v.d., 1989	0,25	1	
Carter & Kulhawy, 1988	0,2	0,5	
Zhang & Einstein, 1998	0,4	0,5	Düz Soket
Zhang & Einstein, 1998	0,8	0,5	Pürüzlü Soket

4.4.2. Kazık grup taşıma kapasitesi

Kazıklar bir yapı elemanı olarak çok ender tek olarak kullanılırlar. Genellikle en az üç kazıktan meydana gelen gruplar teşkil edilir. Böylece eksantrik yüklerin daha iyi olarak karşılanması mümkün olur. Bu nedenle kazık gruplarının çeşitli yükler altındaki davranışlarının incelenmesi gerekir [15].

Kazık grubunun taşıma gücü, kazıkların grup halinde davranışları düşünülerek hesaplanır. Grup içerisindeki bir kazık ve çevre zemin, diğer kazıklardan iletilen gerilmelerin etki alanı içerisinde kalabilir ve grup içerisindeki kazıkların taşıma güçlerinde azalma meydana gelebilir [19]. Bu problemin çözümü için ampirik ve yarı ampirik yaklaşımlar vardır.

- Converse – Labarre formülü
- 1/8 etkileşim kuralı

Mevcut bu yaklaşımlarda kazık – kazık etkileşimi düşünülmüş olup; zemin özellikleri dikkate alınmamıştır. Terzaghi ve Peck (1967), ampirik ve yarı ampirik yaklaşımların zemin özelliklerini dikkate almaması nedeniyle yeni bir hesap yöntemi geliştirmişlerdir.

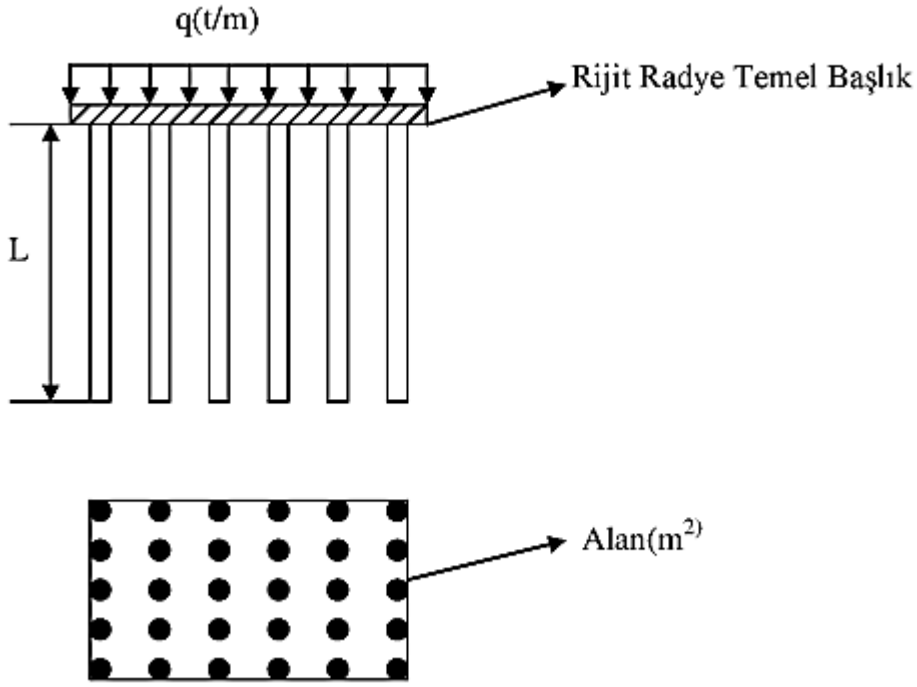
2.4.2.1.Terzaghi blok yaklaşımı

Terzaghi ve Peck (1967), kazıklı bir temelin aynen "Blok Derin Temel" olarak davranacağı varsayımından yola çıkarak zemin özelliklerini de dikkate alan bir hesap yöntemi geliştirmişlerdir. Kazıklı bir temelin blok halinde davranması, her zaman olası bir durum olmamakta ve bu özelliğini çoğunlukla kazık aralığı etkilemektedir.

Bu yaklaşımda iki kabul yapılmaktadır.

1. Kazık başlığı rijittir.
2. Kazık grubu içerisindeki zemin, kazıklarla beraber bir blok olarak davranmaktadır.

Terzaghi ve Peck (1967) yaklaşımında kazık grubu derin bir temel gibi düşünülerek toplam taşıma gücü bulunmaktadır (**Şekil 4.9**).



Şekil 4.9 : Kazık grup etkisi (Terzaghi ve Peck, 1967).

Blok çevresi ve tabandaki kuvvetlerin dengesi dikkate alınarak,

$$Q_s = PxLxs + Axq_f - AxLx\gamma \qquad (\mathbf{4.11})$$

Burada,

s = kazık bloğunu çevreleyen zeminin ortalama kayma mukavemeti

L= zemin içerisinde kalan kazık boyu

P = kazık grubunun plan görünümündeki toplam çevre uzunluğu

A= kazık grubunun plan görünümündeki alanı

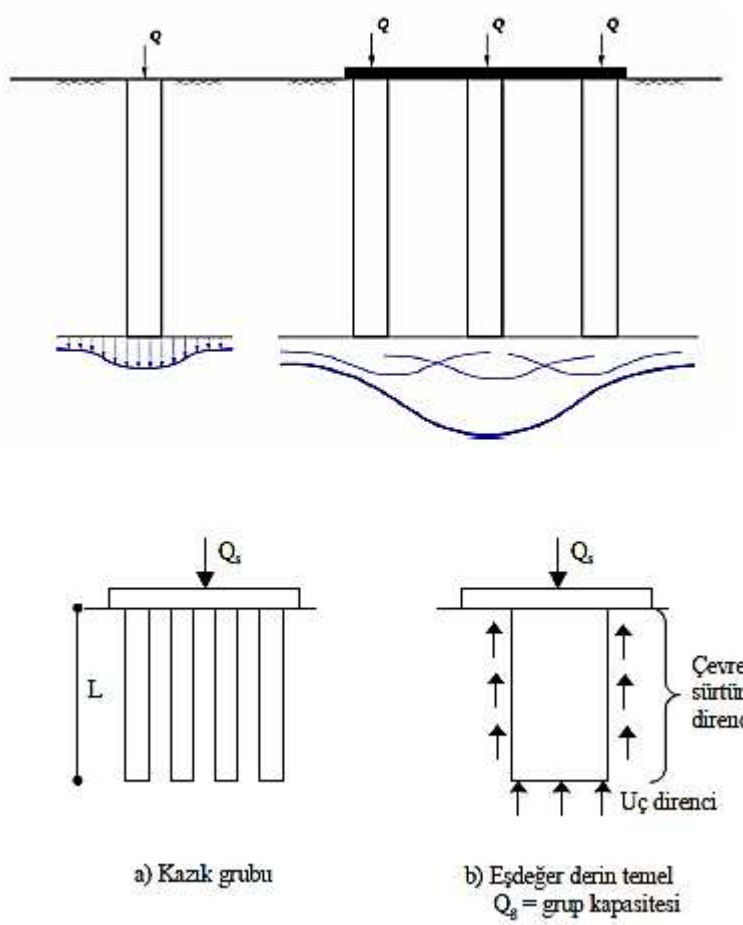
γ = zeminin birim hacim ağırlığı

Killi zeminlerde q_f (kazığın oturduğu derinlikteki taşıma gücü);

$$q_f = 1.3xcxNc + \gamma xL \qquad (\mathbf{4.12})$$

olarak alınabilir.

(4.11) eşitliğinden elde edilen taşıma gücü değeri, grup içerisindeki n sayıda kazığın tekil taşıma güçlerinin toplamı olan değer ile karşılaştırılır ve küçük olan değer kazık grubunun taşıma gücü değeri olarak kabul edilir. Grup içerisindeki kazıklar birbirlerine yakınsa kazık grup kapasitesi adı altında tüm kazık sisteminin tek bir temelmiş gibi zemine yük naklettiği ve temel zemininin bu gerilmeleri karşıladığı anlayışına dayalı hesap yapılır. Grup kapasitesi genellikle tek tek kazıkların kapasitelerinin toplamından çok daha küçüktür. Tekil kazığın ve kazık grubunun davranışı **Şekil 4.10**' da görülmektedir [18].

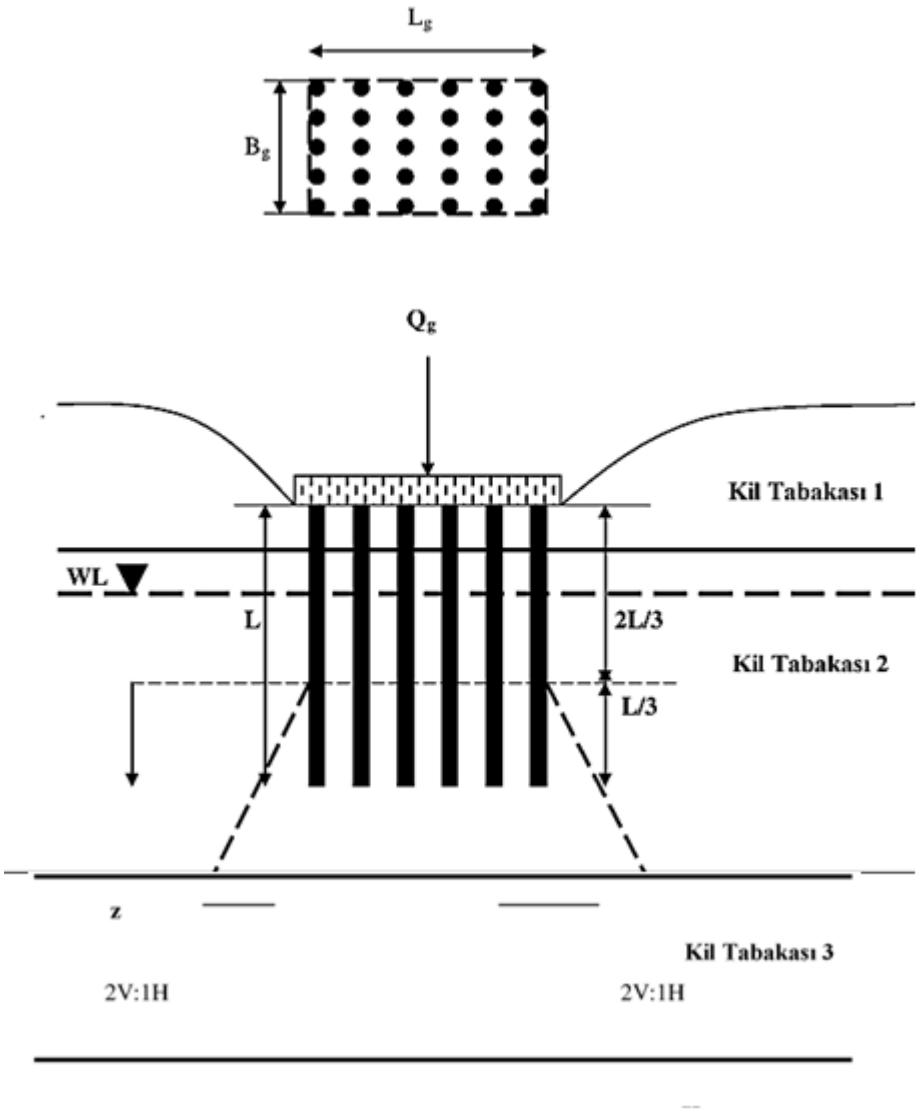


Şekil 4.10 : Kazık grup davranışı [18].

2.4.3. Kazık grubunun konsolidasyon oturması

Killi bir zeminde imal edilmiş kazık grubunun konsolidasyon oturması 2:1 gerilme dağılımı metodu yaklaşımıyla belirlenebilmektedir. Bu yaklaşıma ait izlenecek yöntem adımları aşağıdaki gibidir.

- L boyundaki kazık grubunun Q_g toplam yüke maruz kaldığı düşünüldüğünde; kazık başlığı zemin yüzeyinden aşağıda ise yük, toplam yükten kazılan zeminin efektif ağırlığının çıkarılmasıyla bulunur (**Şekil 4.11**).
- Toplam yapı yükünün **Şekil 4.11**' deki gibi bir gerilmeye maruz kaldığı kabul edilir.



Şekil 4.11 : Kazık grubunun konsolidasyon oturması.

- Her tabaka ortasındaki gerilme artışı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\Delta\sigma = \frac{Q_g}{(B_g+z).(L_g+z)} \qquad \textbf{(4.13)}$$

Burada,

σ = ortalama gerilme miktarı

B_g ve L_g = kazık grubu boyutları

Z = tabaka derinliği

Q_g = yapı yükü

Boşlu oranı hesap edilir.

$$\Delta e = C_c x log \frac{(\sigma_o + \Delta\sigma)}{\sigma_o} \quad \textbf{(4.14)}$$

Kazık grubunun toplam konsolidasyon oturması bulunur.

$$S_c = \frac{\Delta e}{1+e_o} x H_c \quad \textbf{(4.15)}$$

Burada,

S_c = kazık grubunun oturma miktarı

Δe = boşluk oranı

E_o = başlangıç boşluk oranı

H_c = tabaka kalınlığı

4.5. Kazık Yükleme Deneyleri

Kazık yükleme deneyleri, zeminlerde ya da kayalarda inşaa edilen veya inşaa edilmesi tasarlanan kazıkların taşıma kapasitesini belirlemek için uygulanan bir yöntemdir. Kazık temellerin taşıma kapasitelerini belirlemek kolay değildir. Kazıklı temellerin tasarımı, kazık – zemin ilişkisini basitleştiren teorik hesaplara ve ampirik bağıntılara dayanmaktadır. Analizlerde kullanılan verilerdeki kabuller yanında tasarım yöntemlerinin farklı sonuçlar vermeleri ve hassasiyetinin istenilen seviyede olmamasından dolayı, kazıklı temel tasarımı için kazık yükleme deneyi yapılması önerilmektedir [24].

Her yapılan deney gibi kazıklı yükleme deneyleri de çeşitli amaçlar içermektedir (Birand, 2007). Bu amaçlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kazık kapasitesini teorik yollarla belirlemek.
- Öngörülen kazık servis yükünün kazık imalatından sonra kontrolünü yapmak.
- Kazık temelin yük-yer değiştirme ilişkisini saptamak.

Kazık yükleme deneyinin ne zaman gerçekleştirileceği yapım amacı ile ilişkilidir. Eğer kazık tasarımı amaçlı yapılacak ise imalat aşamasından önce, öngörülen servis yükünün kabulü için yapılacak ise imalat başında ve sonunda gerçekleştirilebilir.

Kazık yükleme deneyi sırasında dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıdaki gibi sıralanabilir (Ferruhoğlu, 1996):

- Deney kazığı merkezi ile yükleme sisteminin ağırlık merkezi çakışmalıdır. Böylelikle kazığa eksenel yük uygulanması sağlanıp kazık başına ek moment gelmesi önlenmiş olur.
- Çakma kazıkta, çakma işleminden dolayı kazık başında zedelenmeler olabilir. Bu nedenle yükleme sistemi ve şekil değiştirmeleri ölçme sistemi düzgün bir şekilde yerleştirilemeyebilir. Bu durumu önlemek için deney kazığına üst başlık yapılmalıdır.
- Yükleme esnasında meydana gelecek dönmeler kazıkta ilave gerilmeler oluşturur. Bunu engellemek amacıyla yükleme sistemi ile kuvvet ölçme aletleri arasında küresel mafsal yerleştirilmesi gerekir.
- Yükleme deneyinin hassaslığı için kuvvet şekil değiştirme ölçüm aletleri yağmur, rüzgar, ısı değişimi gibi dış etkilere karşı branda (çadır bezi) ile etrafı ve üzeri örtülerek korunmalıdır.
- Kazık imalatı ile yükleme deneyi arasında belli bir süre geçmelidir. Bu süre granüler zeminler için 3-4 gün, killi zeminler için 1 ay civarındadır. Bu süre çevre zeminin çakma sırasındaki örselenmeyle kaybettiği mukavemeti yeniden kazanması için gereklidir. Beton kazıklarda kazık malzemesinin mukavemetinin gelişebilmesi için de minimum bir sürenin geçmesi gerekmektedir [18].
- Kazık yükleme deneyi için seçilen nokta kazık temellerin yapılacağı arazinin genel özelliklerini yansıtacak bir nokta olmalıdır. Çoğu mühendisler bu konuda en düşük mukavemeti elde edecekleri noktayı seçerler [18].
- Yükleme deneyi yapılacak kazığın boyu, çapı ve imalat yöntemi daha sonrasında yapılacak kazıkları yansıtmalıdır [18].

4.5.1. Statik kazık yükleme deneyi

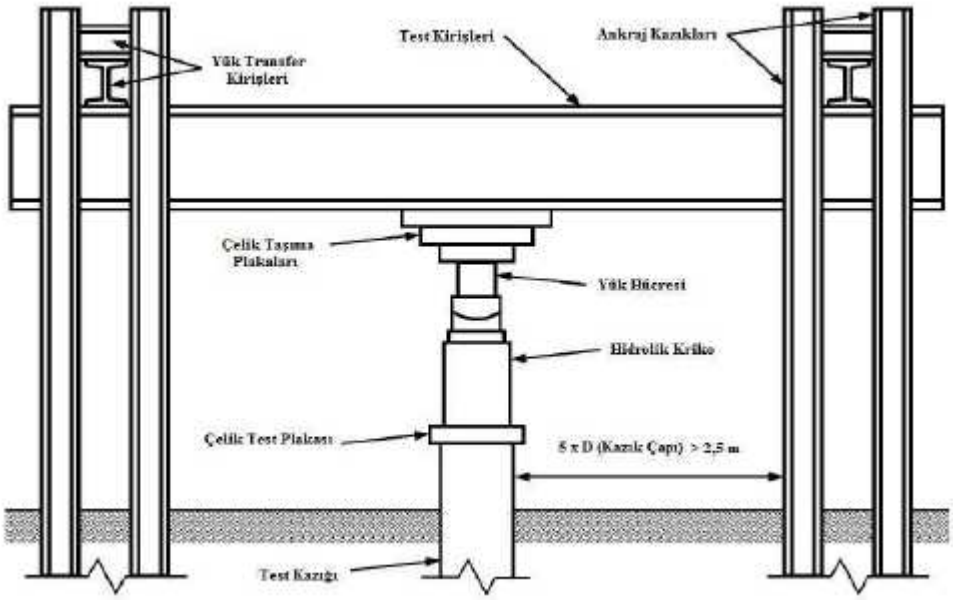
Statik yükleme deneyi iki amaçla yapılmaktadır. Bunlardan ilki kazık temelin taşıma gücünü belirlemek için yapılan göçme deneyleridir. Bu deney, kazık göçmesi olarak tabir edilen yük artırımı olmadan ya da çok az ek yük uygulamasıyla aşırı yer değiştirmelerin meydana gelmesi sonucu dneyin tamamlanması esasına dayanır. İkinci amaç ise tasarım yükünün sağlanıp sağlanmadığını kanıtlama amacını taşımaktadır. Bir başka ifade ile kazık temelin belirlenen servis yükündeki

performansını belirlemek için yapılmaktadır. Kanıtlama amaçlı yapılan deneylerde üst yapıdan aktarılacak yük 1.5 – 2.0 katı kadar yüklenmektedir [24].

Yük uygulanış biçimine göre eksenel yükleme deneyleri dört teknikle uygulanabilmektedir (Yıldırım, 2004).

- Yavaş adımlı yükleme deneyi (SML)
- Hızlı adımlı yükleme deneyi (QML)
- Sabit penetrasyon ile yükleme deneyi (CRP)
- Çevrimli yükleme deneyi (SC)

Yükleme deneyi sonunda kazık kapasitesi öngörülenden farklı ise kazık boyutlarını imkanı olduğu gibi, bunun yanında kazık uygulaması yapılacak zeminin önceden kestirilemeyen özellikleri tespit edilmiş olur. Kazık yükleme deney düzeneği **Şekil 4.12**' da verilmiştir.



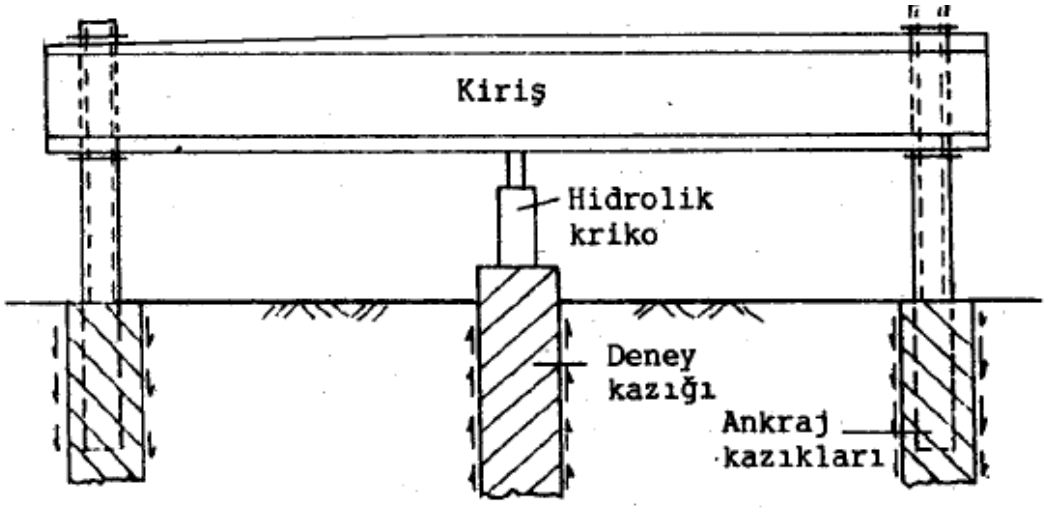
Şekil 4.12 : Kazık yükleme deneyi deney düzeneği (ASTM D-1143/D1143M, 2007).

4.5.1.1. Eksenel basınç deneyleri

Basınç deneyi kazık temellerin düşey yük taşıma kapasitesinin belirlenmesi için uygulanan yöntemdir. Projedeki kazık kalitesinin ve tasarım yükünün tahkik edilmesi amacıyla yükleme deneyi yapılır.

Deney düzeneği ve uygulama şekli ilgili standart olan (ASTM D-1143/D1143M, 2007) standardında detaylarıyla açıklanmaktadır (**Şekil 4.13**). Kısaca bahsedecek olunursa [18];

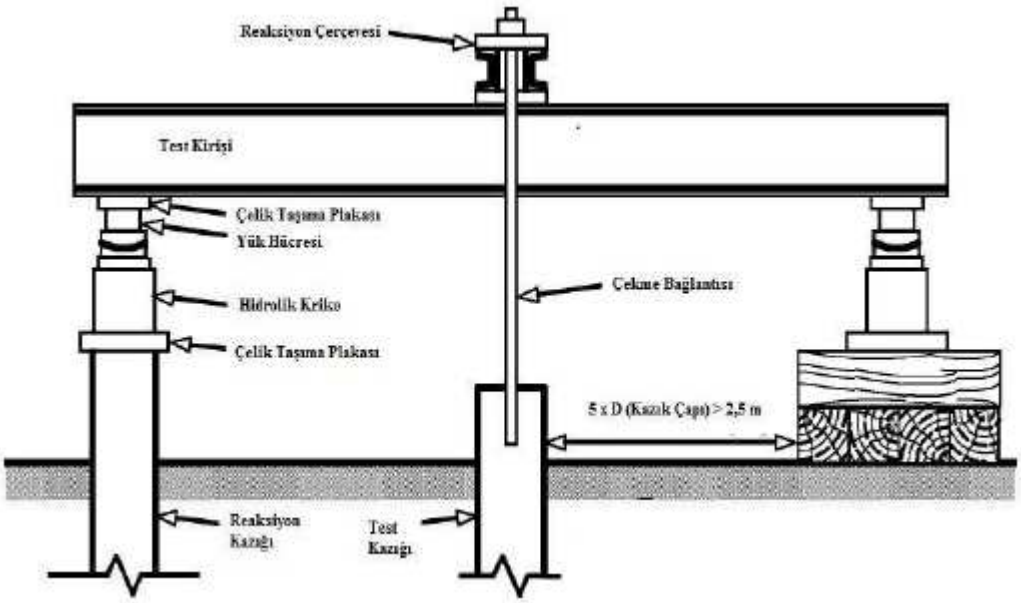
- Yük, kademeler halinde ve her kademe tasarım yükünün %20 - %25 i mertebesinde olacak şekilde uygulanır. Bu kademeler ya belirli zaman aralıkları ile ya da belirli bir oturma hızına ulaşıncaya kadar zemin üzerinde tutulur ve son yük arttırılır.
- Nihai yük miktarı tasarım yükünün 2 katı olarak tanımlanır. İlk yükleme devresinde bu seviyeye (%200 tasarım yükü) ulaşıldıktan sonra ikinci devrede yükleme göçme yüküne ulaşıncaya kadar devam ettirilir.
- Tasarımda kullanılan yük, genellikle tanımlanan belli bir oturma seviyesine tekabül eden yükün yarısıdır. Bu oturma değeri de çoğunlukla 25mm olarak seçilir.



Şekil 4.13 : Eksenel basınç deneyi düzeneği (ASTM D-1143/D1143M, 2007).

4.5.1.2. Eksenel çekme deneyi

Yüksek devrilme momenti etkisindeki kuleler veya suyun kaldırma kuvveti etkisinde kalan deniz platformu gibi yapılarda inşaa edilen kazıklı temeller çekme yükünü karşılarlar [24]. Deney düzeneği ve uygulama şekli ilgili standart olan ASTM D-3689 (2007) standardında detaylarıyla açıklanmaktadır (**Şekil 4.14**).



Şekil 4.14 : Eksenel çekme deneyi düzeneği ASTM D-3689 (2007).

5. ZONGULDAK TERMİK SANTRALİ PROJESİNDE FORE KAZIK VE JET GROUT KOLON KULLANIMI

Bu bölümde jet grouting yöntemi ile derin temel sistemi olan kazıkların birlikte çalışma prensibi araştırılmış olup; sistemin uygulanabilirliğinin ve performansının anlaşılabilmesi için 2009-2011 yılları arasında Zonguldak ilinde yapılan termik santral uygulaması incelenmiştir. Araştırma sırasında bu kombine sistemin seçilmesine sebep olan nedenler irdelenmiş ve sistemin imalat aşamaları anlatılmıştır.

Jet grout kolona soketli fore kazıklı sistemin performansını değerlendirmek amacıyla sahada kazık yükleme deneyi yapılmış olup; uygulamanın sonucu olarak kazığın tasarımdaki taşıma gücü ile gerçekte sahip olduğu taşıma gücü değeri ortaya konulmuştur.

5.1. Proje Hakkında Genel Bilgiler

Zonguldak Çatalağzı 2x615 MW Kömür Santrali Projesi Zonguldak ilinin, Merkez ilçesine bağlı Çatalağzı beldesinde yer almaktadır. ZETES2 olarak anılan bu santral, mevcut santral sahasının güney kısmında bulunan ünitelere verilen isimdir (**Şekil 5.1**).

Çatalağzı Termik Santral Tesisi, Türkiye' nin Zonguldak ilinin şehir merkezine 17 km uzaklıkta bir bölgede yer almaktadır. Bu proje Zonguldak bölgesinin büyük bir kısmına enerji sağlamak amacıyla yapılmakta olup, enerjinin kalan miktarı güç iletim hatları aracılığıyla İstanbul' a aktarılmaktadır. Tesis, kömür enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm tiplerinin en büyüğüdür. Aynı zamanda 170.000 DWT gemilerinin elektrik santralinin kömür ihtiyacını sağlamaları amacıyla Karadeniz' in en büyük limanı inşa edilmiştir.

Santralin toplam üç adet ünitesi vardır. Bunlardan ilki 160 MW kapasiteli olanı 2009'un ilk çeyreğinde işletmeye alınmış; diğer üniteler ise 600 MW kapasiteye

sahip olup 209 ve 2011 yıllarında tamamlanmıştır. Proje, 200000 hektarlık bir alana yayılıdır (**Şekil 5.2**).



Şekil 5.1 : Zonguldak/Çatalağzı 600 MW Kömür Santrali şantiye sahasının genel görünüşü.

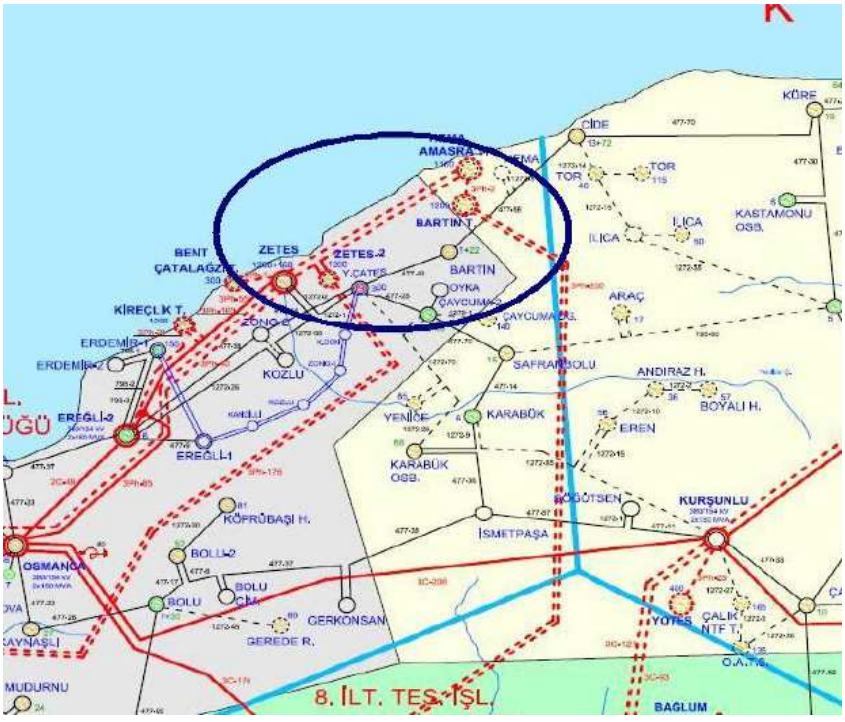


Şekil 5.2 : İnceleme sahasından görünüm.

5.2. İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı; Zonguldak İli, Merkez İlçesi, Çatalağzı Beldesi' nde imarı "Sanayi Alanı-Termik Santral" olan 120 dekarlık bir alanı kapsamaktadır. Proje sahasının kuzeyinde Doğancılar Mahallesi, batısında Kuzyaka Mahallesi ve Muslu Beldesi; güneyinde Cumayanı Mahallesi; batısında Hacıoğlu ve Yaka Sazlık Mahalleleri bulunmaktadır. Proje sahası Zonguldak İl merkezine 17 km, Çatalağzı merkezine ise 1,5-2 km mesafede bulunmakta olup; proje alanına en yakın yerleşim birimi yaklaşık 250 m uzaklıktaki Doğancılar Mahallesi ve yaklaşık 100 m mesafedeki Kuzyaka Mahallesi' dir. İnceleme alanının yer bulduru haritası **Şekil 5.3**' de gösterilmiştir.

Çalışma sahasının yer aldığı Karadeniz kıyıları genellikle dört mevsim yağışlı ve ılıman geçer. İç bölgelerde, güneye doğru gidildikçe iklim sertleşerek yağış azalır ve yüksek bölgelere çıkıldıkça sıcaklık düşer. Yıllık ortalama sıcaklıklarda il genelinde önemli bir farklılaşma olmamakta, deniz sıcaklığa da ortalama 20°C düzeyindedir. Yıllık yağış ortalamasının 1234,96 mm olduğu Zonguldak' ta en çok yağışlı aylar 148,65 mm ile Aralık ve 141,72 mm ile Ocak aylarıdır. Yağışlar, kıyılardan iç kesimlere doğru gidildikçe hem azalmakta hem de yağmurdan kara dönüşme özelliği göstermektedir. Zonguldak' ta en düşük nispi nem oranı % 70 olup, ortalama nispi nem oranı % 75' dir.



Şekil 5.3 : ZETES2 ünitelerine ait yer bulduru haritası [25].

5.3. Zemin Araştırmaları ve Özellikleri

5.3.1. Genel jeoloji

Zonguldak ilinde Prekambriyen - Kuvaterner yaş aralığında gelişmiş birimler yüzeylenir. Bölgede Prekambriyen yaşlı Yedigöller formasyonu ve Bolu granitoyidi temeli oluşturur. Bunların üzerinde uyumsuz olarak Kurtköy formasyonu ve onu izleyen birimler yer alır. Kurtköy formasyonu ve üzerinde bulunan Aydos formasyonu, Alt Ordovisiyen yaşlıdır. Aydos formasyonu üzerinde Orta Ordovisiyen-Alt Devoniyen yaşlı Ereğli formasyonu, Orta Devoniyen-Alt Karbonifer yaşlı Yılanlı formasyonu, Namuriyen yaşlı Alacaağzı ile Westfaliyen yaşlı Kozlu ile Karadon formasyonları ile temsil edilir. Bunların üzerinde Üst Jura-Alt Kretase yaşlı İnaltı formasyonu Alt Kretase yaşlı Kilimli formasyonu ileÜst Kretase yaşlı Yemişliçay formasyonu, Üst Kampaniyen-Alt Eosen yaşlı Akveren formasyonu, Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma formasyonu, Yığılca formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yer alır [25].

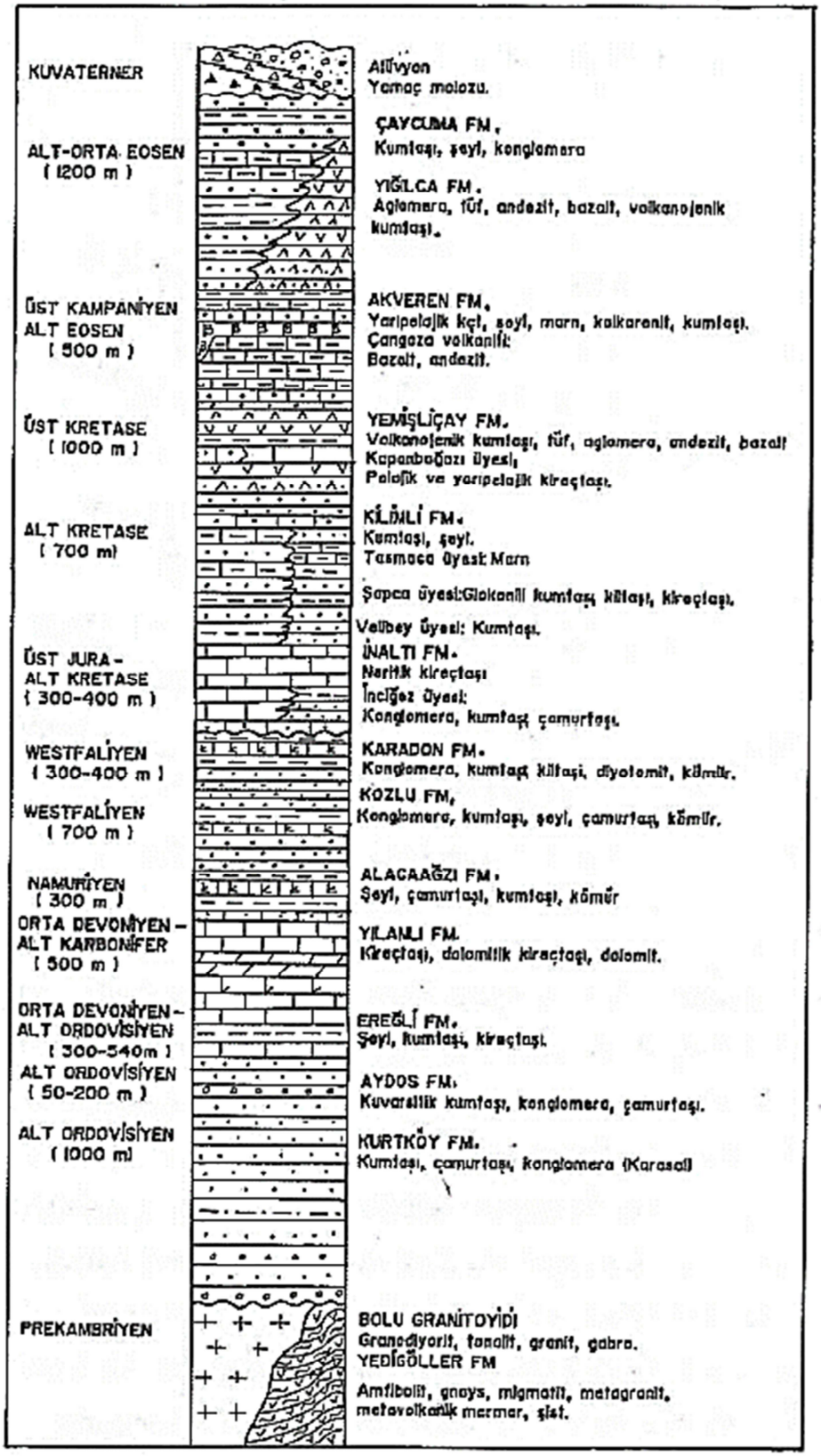
5.3.2. Yapısal jeoloji

Neotetis okyanusunun yakınsaması ile kuzeye dalma-batma yani sıkışma rejimi başlamış ve buna bağlı olarakta ada yayı ürünleri gelişmiştir. Üst Kretase de başlayan sıkışma rejimi Orta Eosen sonlarına kadar devam etmiştir. Yemişliçay ve Yığılca formasyonlarına ait volkanik ürünler sıkışma tektoniği ürünleridir. Bölgede sıkışma rejimine bağlı olarak kuzeydoğu, güneybatı istikametli kıvamlanmalar ve küçük ölçekli faylar gözlenmektedir. Ayrıca Kuzey Anadolu Fayı'nın gelişimiyle ana fay sistemine uygun küçük faylar görmek de mümkündür [25].

Zonguldak ili için değişik zamanlarda yapılmış sismik risk analizleri sonucunda, 1881-1983 yılları arasında, M>4.2 olan depremler için analizler yapılmış ve en sık yaşanan olayların M = 4.5-5.0 olduğunu görülmüştür. Tarihsel süreçte, bölgede kayıt edilmiş 6.5 magnitüdünden büyük olan 7 deprem gözlenmiştir.

İnceleme alanı, zemin Grubu D2, D3 olup, yerel zemin sınıfı Z4 olarak tanımlanmıştır. Bu yerel zemin sınıflamasına göre, Spektrum Karakteristik Periyotları TA=0.2 sn. ve TB=0.90 sn’ dir.

Zonguldak iline ait stratigrafik kesit **Şekil 5.4**’ de verilmiştir.



Şekil 5.4 : Zonguldak iline ait stratigrafi haritası.

5.3.3. Yapılan zemin etüd çalışmaları

İnceleme alanı, Karadeniz kıyısında, Zonguldak' ın doğusunda Batı Karadeniz Dağları' nın önünde Çatalağzı alanında bulunmaktadır. Burada kıyıya koşut uzanan birkaç sıra dağ doğuya doğru uzantılarında güneye dönmekte ve yay biçimli bir doku oluşturmaktadır..

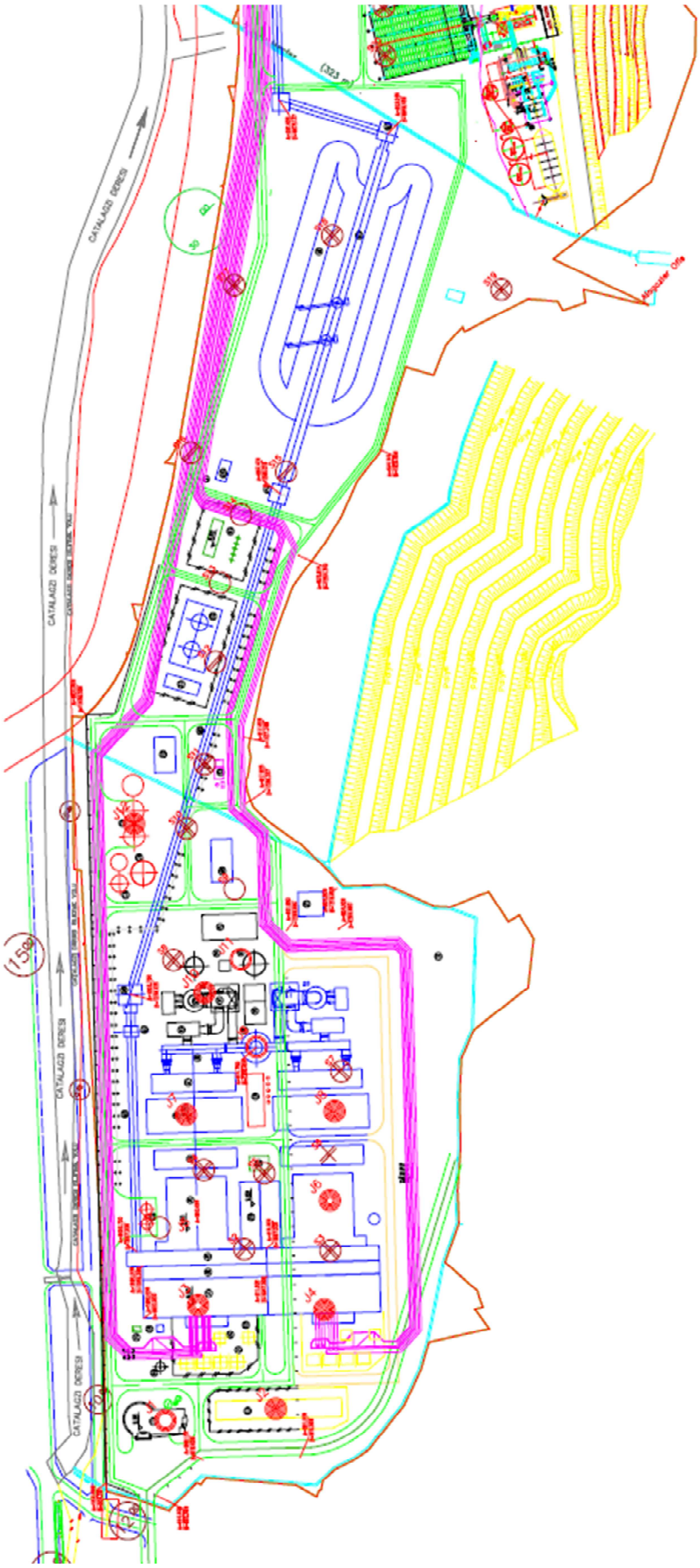
İnceleme alanı, bölgedeki bir vadinin tabanında yer almaktadır. Anakayanın üzerinde yalnızca vadi tabanlarında birikmiş olan güncel çok yumuşak alüvyon dolguları bulunmaktadır. İnceleme alanında GEOTEKNİK A.Ş. firması tarafından toplam metrajı 334,00m olan 11 adet araştırma sondajı yapılmıştır.

5.3.3.1. Arazi çalışmaları

İnceleme alanı, zemin cins ve karakterlerinin tanımlanması amacıyla **Şekil 5.5**' deki vaziyet planında görülen lokasyonlarda araştırma sondajları yapılmıştır. Sondajlarda Rotary Atlas Copco Mustang A-32C sondaj makinesi kullanılmıştır. Yapılan sondaj çalışmaları kapsamında mevcut zemin durumun ve zeminlerin mühendislik parametrelerini belirlemek amacı ile 11 adet toplam 334,00m araştırma sondajı yapılmıştır. Arazide yapılan sondajlara ait liste **Çizelge 5.1**' de verilmiştir. İnceleme alanında yapılan araştırma sondajları sırasında yeraltı su seviyelerinin 2,00 – 3,70 m arasında değiştiği görülmüştür.

Çizelge 5.1 : Sondaj listesi

SONDAJ NO	KOORDİNATLAR			SONDAJ DERİNLİĞİ	YERALTI SU SEVİYESİ
	x	y	z	(m)	(m)
S-8	4598248	408187.9	1.0	20.50	2.0
S-9	4598301	408318.4	3.0	44.50	3.5
S-10	4598324	408375.9	2.0	20.50	3.0
S-11	4598378	408512.0	2.0	44.50	2.3
S-12	4598419	408545.5	2.0	20.50	2.8
S-13	4598484	408669.8	2.0	45.0	3.5
S-14	4598568	408731.2	4.0	20.50	3.4
S-15	4598573	408767.0	5.0	41.0	3.4
S-16	4598646	408928.2	4.0	20.0	3.1
S-17	4598695	408963.0	4.0	43.0	3.7
S-18	4598755	408993.8	3.0	14.50	2.5



Şekil 5.5 : Çatalağzı Termik Santrali sondaj vaziyet planı.

5.3.3.2. Laboratuvar çalışmaları

Arazi çalışmaları sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler, laboratuvar ortamına getirilip zemin özelliklerini belirleyici deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda zeminin indeks ve fiziksel özellikleri ortaya çıkarılmış ve zeminin geoteknik parametreleri tespit edilmiştir.

5.3.4. Zemin profili ve parametreleri

İnceleme alanında S8, S9, S10, S11 ve S13 no' lu sondajlarda 2,00 m derinliklere kadar mıcır ve farklı boyutlarda kil ve kum ağırlıklı heterojen dolgu malzemesi; S12, S14 ve S18 no' lu sondajlarda 1,00m derinliklere kadar bitkisel toprak; S15, S16 ve S17 no' lu sondajlarda 2,00 ve 4,00m derinliklere kadar dolgu malzeme yer almaktadır. Bu birimlerin altında; 13,00 -41,00m değişen derinliklerde alüvyon birim (organik kalıntılı yer yer kumlu ve siltli killi seviyeler içeren siltli - kumlu kil, ince çakıllı yer yer killi, bol kavkılı siltli kum, farklı kökenden taşınmış yarı yuvarlak çakıllar içeren kumlu çakıl) yer almaktadır.

En altta ise S9, S11, S13, S15 ve S17 sondajlarında, 41,00 – 45,00m değişen derinliklere kadar 1,50 – 2,00m kalınlığında, üst kısımları çatlaklı, çatlaklar arası killi malzeme ile dolmuş gri-yeşilimsi kumtaşı birimi bulunmakta iken, S18 sondajında ise 13,00 – 14,50m derinlikler arasında üst kısımları ayrışmış laminalı ve kalsit damarlı yeşilimsi kiltaşı birimi yer almaktadır. İnceleme alanında yapılan sondajlara göre gözlemlenen birimler **Çizelge 5.2**' de gösterilmektedir.

Çizelge 5.2 : Sondaj kuyularında gözlenen birimler ve derinlikleri.

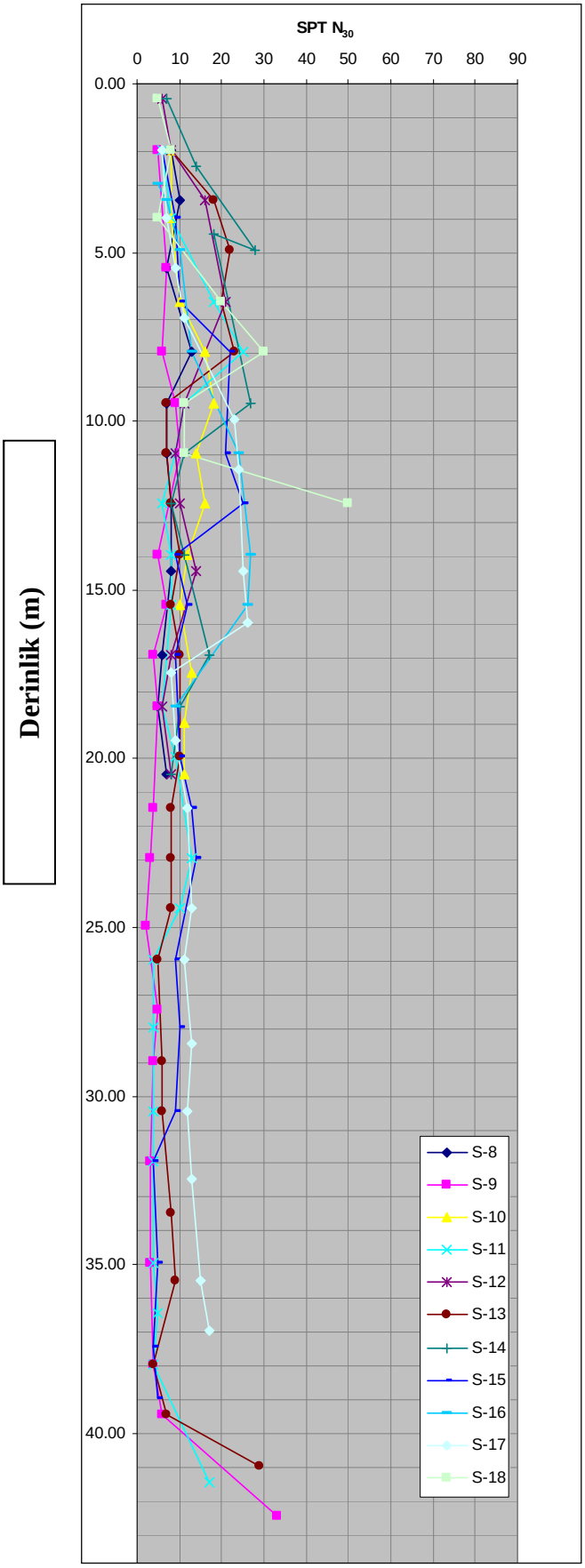
Sondaj No	Başlangıç Kotu (m)	Bitiş Kotu (m)	Derinlik (m)	Üst Birim	Alt Birim	Formasyon
S-8	1.0	-19.50	20.50	Alüvyon	-	
S-9	3.0	-41.50	44.50	Alüvyon	Kumtaşı	Gökçetepe
S-10	2.0	-18.50	20.50	Alüvyon	-	
S-11	2.0	-42.50	44.50	Alüvyon	Kumtaşı	Gökçetepe
S-12	2.0	-18.50	20.50	Alüvyon	-	
S-13	2.0	-43.0	45.0	Alüvyon	Kumtaşı	Gökçetepe
S-14	4.0	-16.50	20.50	Alüvyon	-	
S-15	5.0	-36.0	41.0	Alüvyon	Kumtaşı	Gökçetepe
S-16	4.0	-16.0	20.0	Alüvyon	-	
S-17	4.0	-39.0	43.0	Alüvyon	Kumtaşı	Gökçetepe
S-18	3.0	-11.50	14.50	Alüvyon	Kiltaşı	Gökçetepe

Sondajlar ilk olarak ince ve kaba daneli bir alüvyon içinde devam etmiş ve bölgenin anakayasını oluşturan kumtaşı içerisinde tamamlanmıştır. İnceleme sahasının denize yakın kesiminde dolgu yapılmıştır; ancak bu dolgu kontrollü bir dolgudur. Anakayayı oluşturan kumtaşı, her yönde çok çatlaklı, genelde oksitli, yer yer kalsit dolgulu, iyi çimentolu, üst düzeylerde açık kahverengi, derinlerde ise yeşilimsi-mavimsi gri renklidir. Söz konusu bölgede yapılan sondaj bilgilerine dayanılarak oluşturulan idealize zemin modeli ve seçilen zemin parametreleri **Çizelge 5.3**' de özetlenmiştir.

Çizelge 5.3 : Zonguldak Çatalağzı sahası zemin hesap parametreleri.

Tabaka	**Tabaka Derinliği (m)**	**Birim Hacim Ağırlığı (kN/m3)**	**Sürtünme Açısı (°)**	**Kohezyon Değeri (kPa)**
Dolgu	0 – 2.00	18	0	0
Kumlu Birim (Gevşek)	2.00 – 4.00	19	28	0
Kumlu Birim (Orta Sıkı – Çok Sıkı)	4.00 – 21.50	19	35	0
Killi Birim (Katı - Çok Katı)	21.50 - 34.00	18	0	100
Kum (Sıkı)	34.00 - 37.00	19	35	0
Ayrışmış Kumtaşı	37.00 - 39.50	19	35	0
Kumtaşı (Çok Zayıf Kaya)	39.50 -			

Sondajlar sırasında örselenmemiş temsili numuneler alındığı gibi; yerinde zemin mukavemetini ölçmek üzere de Standart Penetrasyon Testleri (SPT) yapılmış ve temsili numune alınmıştır. SPT' ler, 63,50 kg ağırlığındaki tokmağın 75 cm yüksekten düşürülmesi suretiyle 2" çapında penetrasyon çubuğunun beher 15 cm uzunluğundaki kısmının zemine girmesi için gereken darbe adedinin (N) sayılması şeklinde yapılmıştır. İlk kısım (0-15 cm arası) için sayılan darbe adedi dikkate alınmamıştır. Orta (15-30 cm arası) ve son (30-45 cm arası) kısımların penetrasyonu için gerekli toplam darbe sayısı N_{30} değerlendirmeye alınmıştır. SPT N_{30} değerlerinin derinlikle değişim grafiği **Şekil 5.6**' de, SPT sonuçları ve sondajlara ait bilgiler de detaylı olarak sondaj loglarında gösterilmiştir (**EK-A**).



Şekil 5.6 : SPT sonuç grafiği.

Laboratuvar sonuçlarına göre yapılan taşıma gücü hesaplarında, bitkisel toprak altında kalan siltli-kumlu kil birim için emniyetli taşıma gücü değeri **Çizelge 5.4**' de verilmiştir.

Çizelge 5.4 : Siltli-kumlu kil birim için taşıma gücü değerleri.

Araştırmacılar		Terzaghi	Skempton	Hansen – Vesic
σ_{emn}	**kg/cm^2**	**0.50**	**0.45**	**0.45**
	kPa	**50**	**45**	**45**

İnceleme sahasında siltli-kumlu kil birimler altında yer alan kum birimlerde, oturmanın bir bölümü inşaat safhasında ani oturmalar şeklinde gerçekleşmesi beklenir. Ani oturmalar inşaat süresi içinde meydana geldiği için üzerindeki yapıya zararlı etkileri daha az olmakla beraber, özellikle granüler zeminlerin üzerine oturan temellerin boyutlandırılmasında temel zemininin taşıma gücü, oturmaları sınırlayacak şekilde seçilir.

Bununla birlikte inceleme alanında yaklaşık ortalama 6.00 m kalınlığında yer alan suya doygun kum tabakasında sıvılaşma potansiyelinin mevcudiyeti dikkate alındığında; dinamik yükler altında büyük ölçekte ani oturmalar beklenmelidir. Farklı temel genişlikleri için farklı derinliklerde hesaplanan oturma değerleri **Çizelge 5.5**' de verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Siltli-kumlu kil birim için oturma değerleri.

B (m)	**D_f = 1.5 m.**	**D_f =4.0 m.**
	Konsolidasyon Oturması (cm)	
1.0	1.1	1.5
2.0	3.0	3.5
3.0	4.5	4.8

5.4. Tasarım Aşaması

Çatalağzı Termik Santral Tesisi, kömür enerjisinden elektrik enerjisine dönüşüm tiplerinin en büyüğüdür. Santralin toplam üç adet ünitesi vardır. Bunlardan ilki 160 MW kapasiteli diğerleri ise 600 MW kapasiteye sahiptirler.

Etüt çalışmaları kapsamında sahanın genelinde yapılan delgilerde, ana kaya topoğrafyasının dağ tarafında sığ derinliklerde, sahanın orta ve dere tarafına doğru olan kesimlerinde keskin bir dalımla değişen derinliklerde olduğu tespit edilmiştir. Vadinin doğu yamaç dibinden vadi talveğine doğru kalınlaşan, yaklaşık ortalama

30m kalınlığındaki alüvyon birimleri kil silt kum karışımlarından oluşmuş, düşeyde ve yatayda anizotropik özellikte, taşıma gücü yetersiz bir durumdadır.

Proje genelinde yapılan birçok mühendislik yapısı temellerinde farklı kombinasyonlarda fore kazık ve jet grout kolon ile zemin iyileştirilmesi yapılmıştır. Bu kombinasyonlar;

- Taşıma gücü bakımından yetersiz olan alüvyon zemin, hafif üst yapı yüklerinin olduğu kesimlerde sadece jet grouting yöntemi ile iyileştirilmiştir.
- Bazı yapıların altında büyük yapı yükleri nedeniyle yüzeysel temeller istenilen performansı veremediği için temel altında fore kazıklar taban kayasına soketlenmiştir. Ancak, olası bir deprem sırasında arazide taban kayası üzerinde yer alan yumuşak killi zeminin kazıklara yeterli yanal destek sağlayamayacağı düşünülerek zemin yüzünden belirli bir derinliğe (depremler sırasında zeminde büyük yer değiştirmelerin meydana gelmesi beklenilen derinliğe) kadar kazıklar arasındaki zeminin iyileştirilmesi gerektiği düşünülmüş ve Ø100cm çapındaki fore kazıklar arasına Ø80cm çapında jet grout kolonlar imal edilmiştir.

Fore kazık imalatlarına başlandığında stok sahasında yapılan ilk delgide 18 metrede anakayaya ulaşılmış ve imalat bu kaya içerisine 3m soketlenerek tamamlanmıştır. Sahanın genelinde yapılan delgilerde, ana kaya topoğrafyasının dağ tarafında sığ derinlikte çıkmasına karşın, sahanın orta ve dere tarafına doğru keskin bir dalımla değişen derinlikler tespit edilmiştir. Bu durumda zayıf zemin örtüsü içerisinde delgilerin muhafaza borulu yapılıp bu derinlikten sonra ulaşılacak kaya içerisinde 3m kadar ilerlemek herhangi bir sistemle kazık imalatının yapılmasını imkansız kılmıştır. Yapılan tasarımlar sırasında Ø100cm çapında sürtünme kazığı için yapılan hesaplamalar **Çizelge 5.6**' da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Emniyetli kazık taşıma gücü değerleri.

KAZIK ÇAPI (cm)	KAZIK BOYU (m)	KAZIK ÇEVRE TAŞIMA GÜCÜ (kN)	GÜVENLİK KATSAYISI (F.S.)	EMNİYETLİ KAZIK DÜŞEY TAŞIMA YÜKÜ (kN)
100	20.00	5504.00	3.00	1835.00

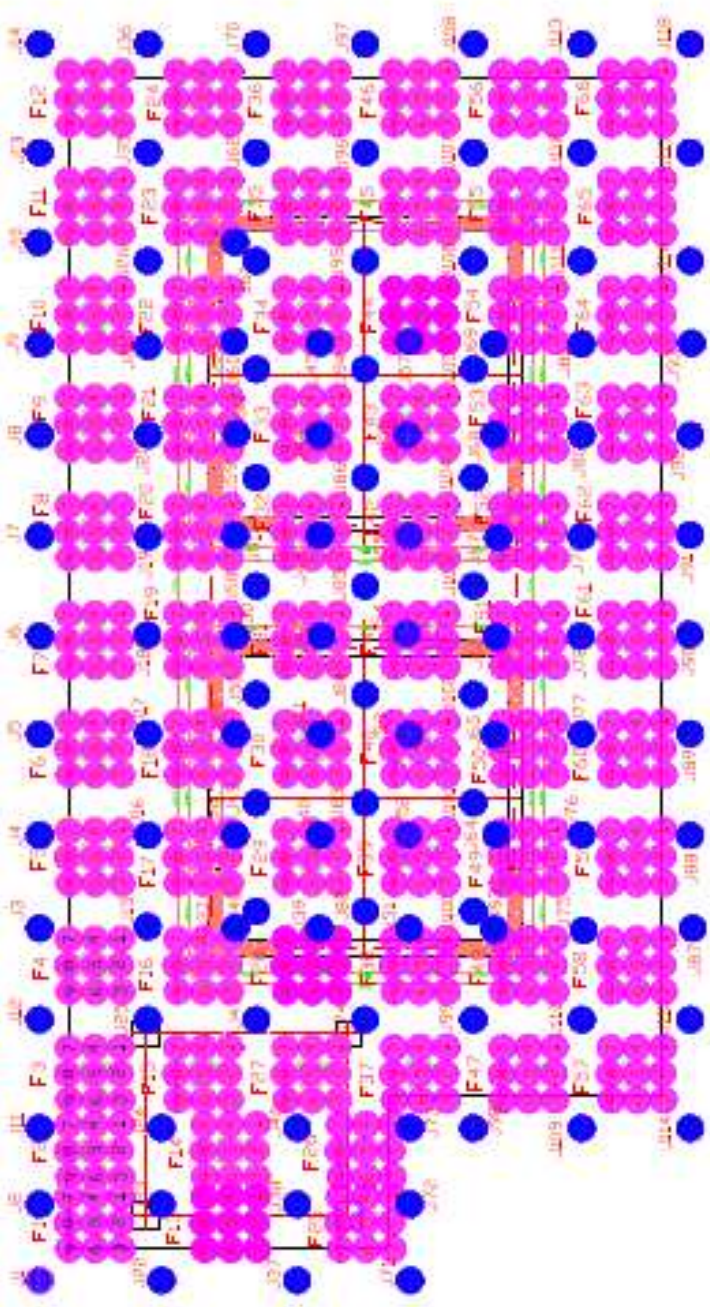
Üst yapıdan gelen yükler, alüvyon birim içerisinde tasarlanan sürtünme kazıkları ile güvenlikle taşınamadığından farklı bir tasarıma gidilmesi ihtiyacı doğmuştur. Böylelikle 20m‘ lik fore kazıklar 23m’ lik jet grout kolonlarına 3m soketlenerek imal edilmişlerdir. Fore kazıklar altında yapılan ıslah sonrasında, kazık taşıma kapasitesi **Çizelge 5.7**’ de verilmiştir.

Çizelge 5.7 : Islah öncesi ve sonrası kazık taşıma gücü değerleri.

KAZIK ÇAPI (cm)	KAZIK BOYU (m)	KAZIK ÇEVRE TAŞIMA GÜCÜ (kN)		GÜVENLİK KATSAYISI (F.S.)	EMNİYETLİ KAZIK DÜŞEY TAŞIMA YÜKÜ (kN)	
		Islah Öncesi	Islah Sonrası		Islah Öncesi	Islah Sonrası
100	20.00	5504.00	8250.00	3.00	1835.00	2750.00

Sahada önce jet grout kolonların imal edilmesi öngörülmüş olup; jet grout kolonların priz alması beklendikten sonra kazıklar imal edilerek, jet grout ile ıslah edilmiş olan zemine 3m soketlenmiştir.

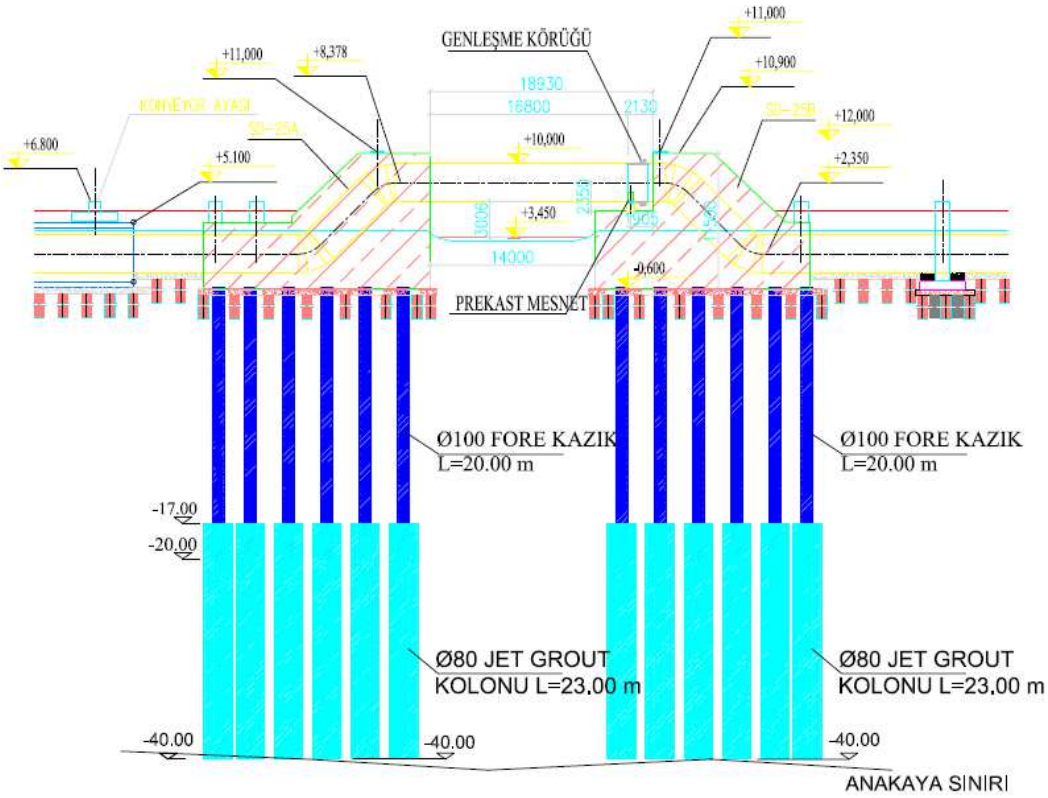
Sahada imalatı yapılan jet grout kolon ve fore kazıkların yerleşim planının bir kısmı **Şekil 5.7**’ de verilmiştir.



Şekil 5.7 : Fore kazık altında imal edilen jet grout kolonları bir kısım yerleşim planı.

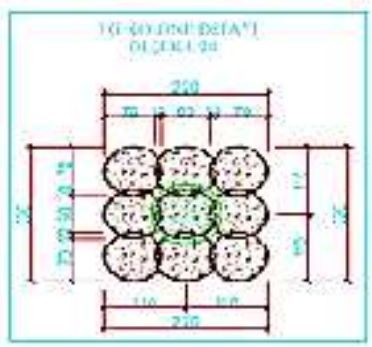
Şekil 5.7' de görüldüğü üzere, 1 adet Ø100cm çapındaki fore kazık altına 9 adet Ø80cm çapında jet grout kolon imalatı yapılmış ve kazıklar jet grout ile iyileştirilmiş olan birim içerisine 3,00m soketlenmişlerdir. Farklı bir yapı altında (Ana boru hattı 6.kısım dere geçiş bölümü) ise yine aynı sistem kullanılmıştır. Aynı zamanda yine olası bir deprem sırasında arazide taban kayası üzerinde yer alan yumuşak killi zeminin kazıklara yeterli yanal destek sağlayamayacağı düşünülerek Ø100cm

çapındaki fore kazıklar arasına Ø80cm çapında jet grout kolonlar ilave olarak imal edilmiştir. Sistemin kesit görünümü **Şekil 5.8**' de görülmektedir.



Şekil 5.8 : Jet grout kolonlara soketli fore kazık kesit görünümü.

Jet grout kolonlara soketli Ø100cm çapında 20m boyunda fore kazık emniyetli eksenel taşıma gücü tasarımda Q_{all} = 275 ton olarak hesaplanmıştır. Anakaya sınırına kadar yaklaşık 23,00m boyunda imal edilen Ø80cm çapındaki jet grout kolonların fore kazık altındaki konumlanmaları **Şekil 5.9**' da verilmiştir. Jet grout kolonlar 10cm kesişmeli olarak imal edilmişlerdir.



Şekil 5.9 : Jet grout konumları şematik görünümleri.

5.5. İmalat Aşaması

Çatalağzı Termik Santral Tesisi, uygulama sorumluluğu ve uygulanması GEOTEKNİK A.Ş. nin taahhütlüğünde yapılmıştır. Proje kapsamında güç üniteleri ve diğer yapı birimleri ile birlikte sahada zemin iyileştirme amacı ile yaklaşık 400.000,00 m jet grout kolonu ve 200.000,00 m de fore kazık imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu rakamların yanında ilave yapılan yapılarda ilave metrajlar da çıkmıştır.

İmalatlar sırasında hava muhalefeti nedeniyle çalışma zorlukları ile karşılaşılmış olup; imalatlar belirlenen zamanda tamamlanmıştır. **Şekil 5.10**' da **ve Şekil 5.11**' de imalat görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.10 : Çatalağzı Termik Santrali saha görünümü.



Şekil 5.11 : Çatalağzı Termik Santrali şantiye görünümü.

İmalatlar sırasında sahada bulunan ekipman listesi **Çizelge 5.8**' de verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Çatalağzı Termik Santrali sahada bulunan ekipmanlar ve adetleri.

Makine Cinsi	**Markası**	**Modeli**	**Sayısı**
Jet grout Pompa ve Mikser	TW400,352	2004-2007	5
Delici Makine	SM 401,SM 14	2004-2007	5
Fore Kazık Makinesi	SR60,SR70,R621,R416	2005-2007	4
Fore Kazık Makinesi	R625,Bauer BMG24	2006-2003	2
Vibro	ICE 44-50,815 C	2007	3
Vinç	Senabogen,Demag	2007-2000	3
Servis vinci	Ruston,American	1990	2
Back- hoe	Daweo	2000	1
Looder	Kawasaki 80	2005	1
Kamyon	AS 950	2003	1
JCB	Hidromec,JCB	2007 2006	3

5.6. Kazık Yükleme Deneyi

Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. Zonguldak/Çatalağzı 600 MW Kömür Santrali Projesi Zemin Islah İşleri kapsamında yapılan fore kazık imalatı işi ile ilgili, KSS/159 numaralı fore kazıkta kazık yükleme deneyi yapılmıştır. Deney sırasında TS–3168 EN 1536-Kasım 2001 tarihli standardında belirtilen deney yöntemi uygulanmıştır.

5.6.1. Deney hazırlık aşaması

Test yükünü kazık kesitinin tümüne yayabilmek için 1.00m x 1.00m x 1.00m boyutlarında kazık başlık betonu dökülmüş ve bu betonun yüzeyine 30 mm kalınlığında çelik plaka yerleştirildikten sonra 500 ton kapasiteli kriko merkezi kazık merkeziyle çakışacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu krikonun piston yüzeyi ve test kirişinin alt yüzeyi arasına da ayrıca 30mm kalınlığında çelik plaka yerleştirilmiştir.

Hidrolik pompanın çıkışına ve pompanın üzerine de 700 kg/cm²' lik manometreler bağlanmıştır. 4 adet basınç kazığına ve birer adet de reaksiyon kazıklarına olmak üzere toplam 8 adet 0.01 mm hassasiyetle çalışan komparatör saatleri kazık aksından 3 m uzakta zemine mesnetlenen yatay referans kirişlerinin üzerindeki cam plakaların üzerine dikey olarak yerleştirilmiştir (**Şekil 5.12**).

412,50 tonluk test yükünü güvenli bir şekilde reaksiyon kazıklarına aktarmak için reaksiyon kazıkların filizleri referans kirişlerine kaynatılmıştır.



Şekil 5.12 : Kazık yükleme deney düzeneği.

5.6.2. Deneyin yapılışı

Kazık yükleme deneyinin yapılacağı kazıkta (Kömür Stok Sahası, KSS/159 no'lu kazık) deney düzeneği hazırlanmış ve deney yapım aşamasına geçilmiştir. Yükleme pistonu ve krikosu birbirine bağlandıktan sonra komparatörler test kazığının etrafına

karşılıklı olacak şekilde yerleştirilmiş ve akabinde komparatörler sıfırlanıp veya mevcut değer başlangıç kabul edilerek deney formuna yazılmıştır.

Yük kademeleri teknik şartnamede belirtildiği şekilde proje yükünün %25' i kadar arttırılarak okumalar alınıp; deney formuna kaydedilmiştir. Yükleme programında belirtildiği gibi ilk olarak proje yükünün %75' ine kadar yükleme yapılıp, yükler yine aynı oranda boşaltılıp okumalar alınarak deney formuna yazılmıştır. Teknik şartnamede yükleme programında belirtilen standart yükleme/boşaltma süreleri ve yük yüzdeleri **Çizelge 5.9**' da belirtilmiştir.

Çizelge 5.9 : Teknik şartnamede belirtilen standart yükleme/boşaltma süreleri ve yük yüzdeleri.

Yük Yüzdesi (%)	Minimum Bekleme Süresi
0,25	1 saat
0,50	1 saat
0,75	1 saat
0,50	1 saat
0,25	1 saat
0,00	1 saat
0,25	1 saat
0,50	1 saat
0,75	1 saat
1,00	1 saat
1,25	1 saat
1,50	12 saat
1,25	1 saat
1,00	1 saat
0,75	1 saat
0,50	1 saat
0,25	1 saat
0,00	1 saat

Tekrar yüklemeye geçilip, bu sefer yük proje yükünün %150' sine kadar yani 1,5 katına kadar %25' er aralıkta arttırılarak maksimum yüke ulaşılıp bu yükte 12 saat beklenmiştir. Her saatte bir okuma alınarak değerler deney formuna yazılmıştır.

KSS/159 no'lu fore kazıkta yapılan kazık yükleme deneyinden bir görünüş **Şekil 5.13**' de verilmiştir.

Her deformasyon okumasının yanında cer kazıklarına yerleştirilen komparatörler de beraberinde okunarak reaksiyon kazıklarındaki hareket de beraberinde izlenmiştir. Maksimum yük okumalarından sonra tekrar yükü boşaltmaya geçilmiş ve her kademede okumalar alınmıştır.

Burada dikkat edilecek olan nokta, yükleme sırasında her yük kademesinde 1' er saatlik okumalarda deformasyonların sürekli izlenip oturma hızının 0,25 mm/saat' in altına düşmesinin beklenmesidir. Aksi halde deformasyon istenilenden fazla ise 1 saat kadar daha aynı yük kademesinde okumalar alınıp sonra bir üst yük kademesine geçilmelidir.



Şekil 5.13 : KSS/159 no'lu fore kazıkta yapılan kazık yükleme deneyinden bir görünüş.

Teknik şartnamede verilen test prosedürüne göre yük kademeleri %25 artırılarak servis yükü 275 ton olarak belirlenen kazığın üzerine servis yükünün %150'si olan 412,50 tona kadar yükleme yapılmıştır.

1. kademe yüklemede servis yükünün %75'ine kadar (206,25 ton) yükleme yapılmıştır. Bu yüklemede test kazığında 0,70 mm deplasman kaydedilmiştir. Bu nedenle 1 saatlik periyotta 0,25 mm/sa' lik deformasyonu aştığı için, standartta belirtildiği gibi aynı yükte bir saat daha beklenmiş ve son deformasyon 0,80 mm

olarak kaydedilmiştir. Yükleme tamamen boşaltıldığında ise kalıcı deformasyonun 0,07 mm ye geri geldiği gözlemlenmiştir. Reaksiyon kazıklarında ise 0,06 mm gibi bir hareketlenme meydana gelmiştir.

2. kademe yüklemesinde ise test kazığı proje yükünün %150'si olan 412,5 tona kadar yüklenmiştir. Bu yükleme değerinde 12 saat beklenmiş olup ölçülen düşey deplasman değeri yüklemenin başlangıcında 2,53 mm ve yüklemenin sonunda ise 4,03 mm' dir. Reaksiyon kazıklarında çekme 0,58 mm olarak gerçekleşmiştir. Testin sonunda ise yük tamamen boşaltıldığında kazıkta 1,49 mm kalıcı deformasyon tespit edilmiştir.

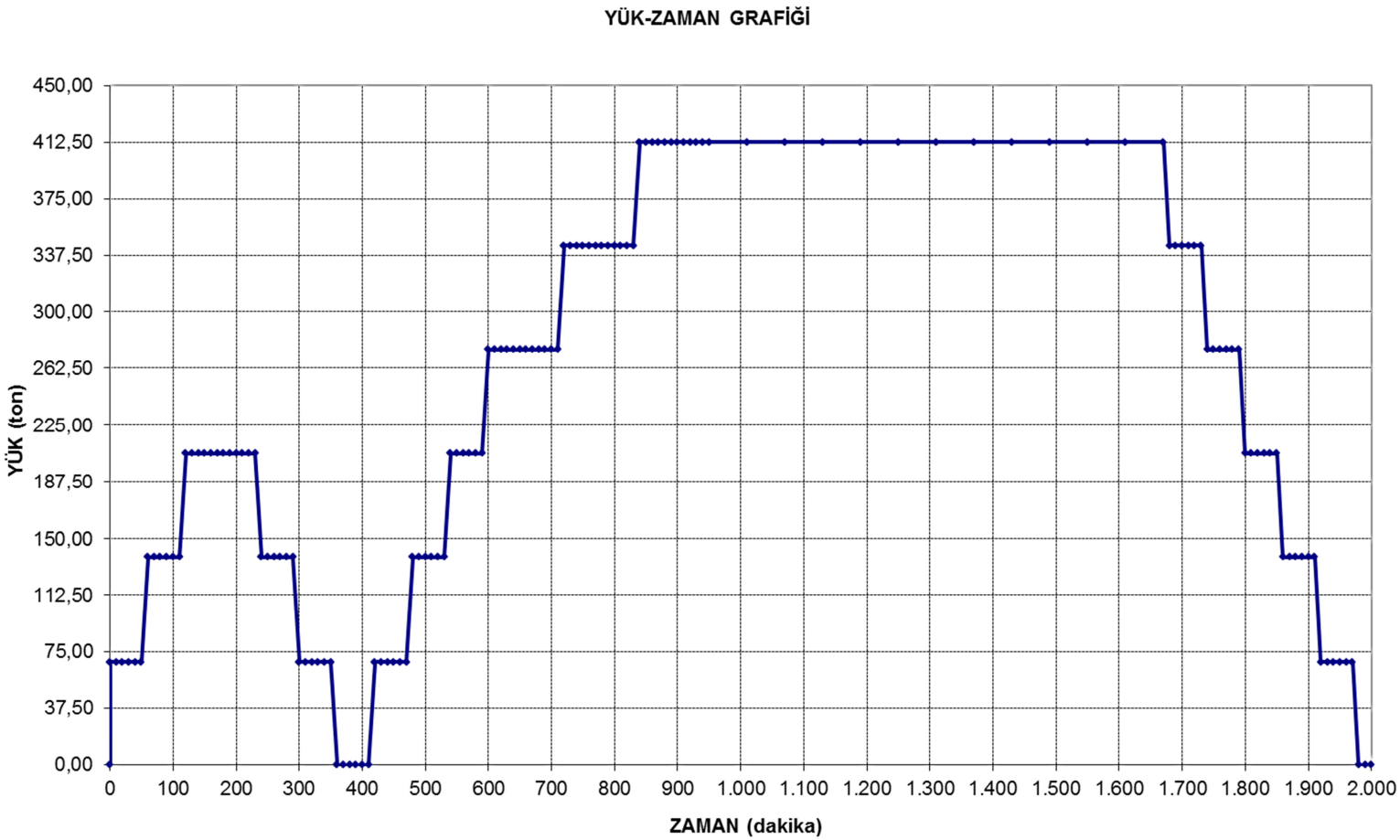
Test süresince, proje yükünün %75-100-125-150 değerlerinde şartnamenin öngördüğü 0.25mm/saat oturma hızını aştığı gözlenmiştir. Bu nedenle standartlarda belirtildiği gibi bu yük kademlerinde artı bir saat daha beklenilmiştir. Belirtilen bu değerler **Çizelge 5.10**' da gösterilmektedir.

Çizelge 5.10 : Yükleme testi sonunda elde edilen değerler.

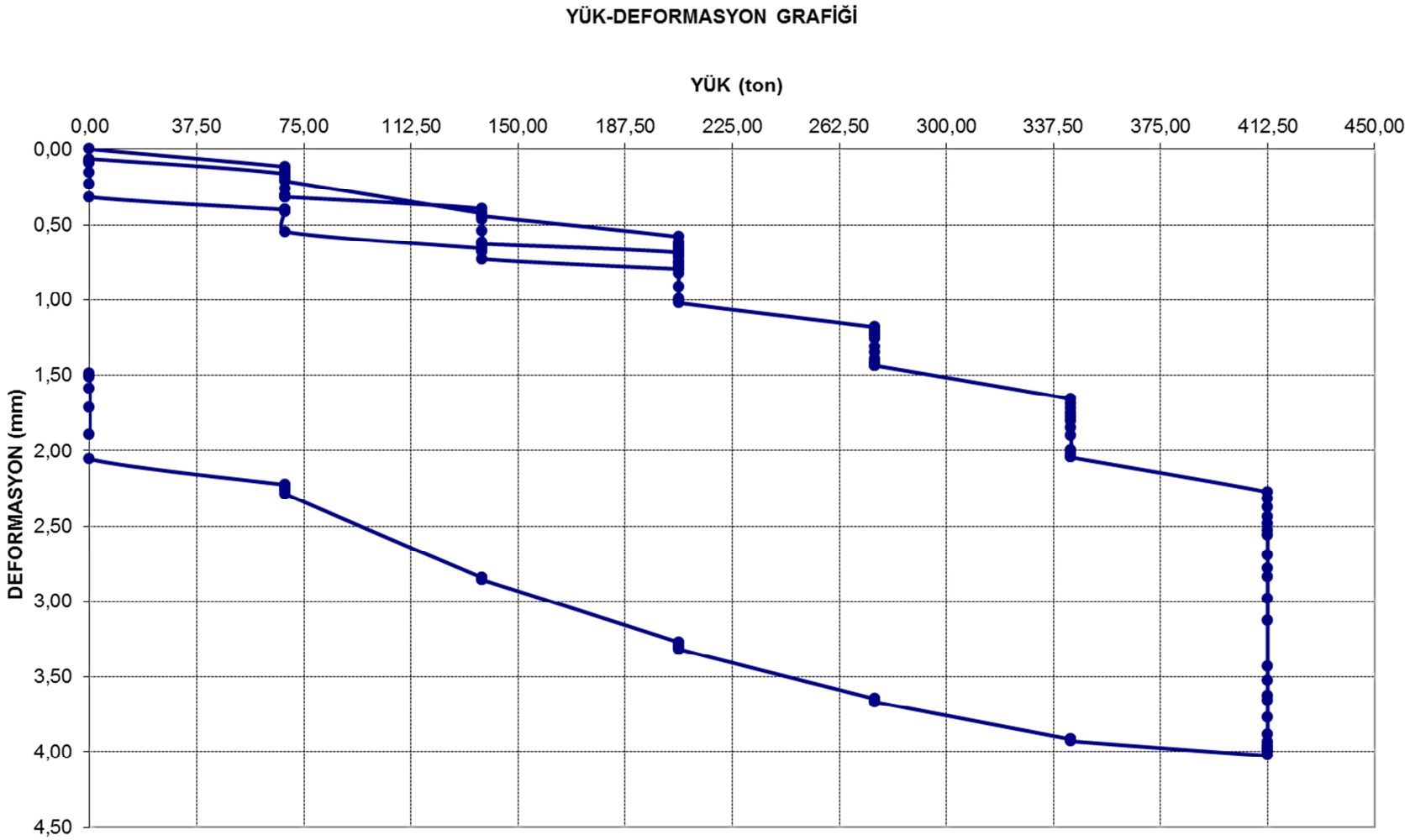
Proje yükü %	**Manometre (kg/cm^2)**	**Uygulanan Yük (ton)**	**Oluşan Deformasyon (mm)**
25	95,80	68,75	0,21
50	189,91	137,50	0,44
75	284,01	206,25	0,70
75 (1 sa. bekleme)	284,01	206,25	0,80
100	378,12	275,00	1,31
100 (1 sa. bekleme)	378,12	275,00	1,44
125	472,22	343,75	1,80
125 (1 sa. bekleme)	472,22	343,75	2,05
150 ilk okuma	566,33	412,50	2,53
150 (1 sa. bekleme)	566,33	412,50	3,43
150 son okuma	566,33	412,50	4,03

Test sonucunda elde edilen deformasyon sonuçları kabul edilebilir sınırlar arasındadır. Delme kazıklarda 2 cm, çakma kazıklarda ise kazık çapının %2,5'i kadar bir kalıcı deformasyon meydana getiren yük sınır yükü olarak kabul edilir. KSS/159 numaralı fore kazıkta yapılan kazık yükleme deneyinde elde edilen maksimum deformasyon 4,03 mm' dir ve kabul sınırları içinde kalmaktadır.

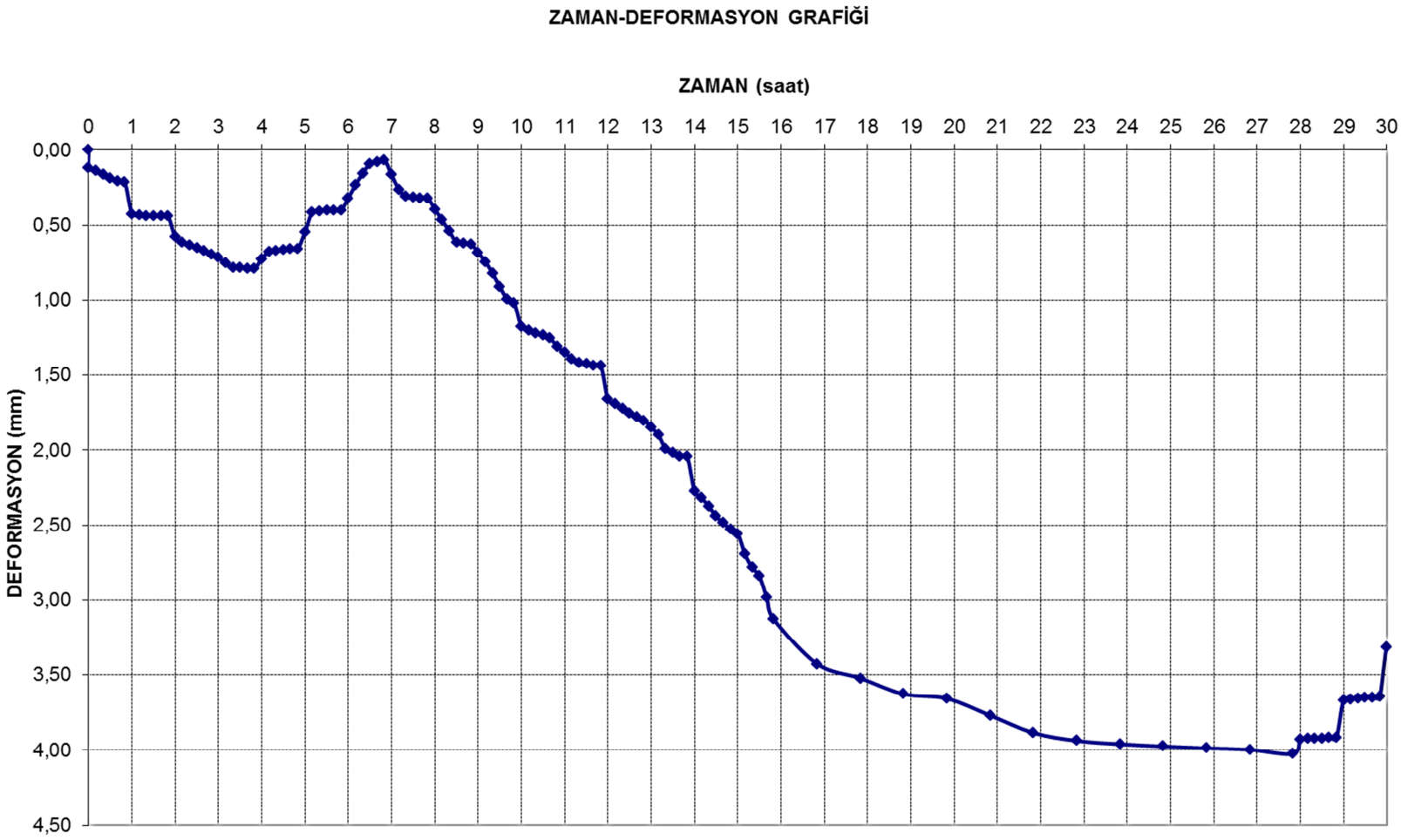
KSS/159 no' lu kazıkta yapılan kazık yükleme testi başarıyla tamamlanmış ve yük-zaman, yük-deformasyon, zaman-deformasyon grafikleri elde edilmiştir. Yük-zaman grafiği **Şekil 5.14**' de, yük-deformasyon grafiği **Şekil 5.15**' de ve zaman-deformasyon grafiği **Şekil 5.16**' da verilmiştir.



Şekil 5.14 : KSS/159 numaralı kazık yük-zaman grafiği.



Şekil 5.15 : KSS/159 numaralı kazık yük-deformasyon grafiği.



Şekil 5.16 : KSS/159 numaralı kazık zaman-deformasyon grafiği.

6. YURTDIŞINDA KONU İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

1999 yılında Imperial College‘ da yapılan Offshore Technology Conference‘ da, Jardine ve diğ. (1999) tarafından GOPAL (Grouted Offshore Piles for Alternating Loading) isimli bir araştırma yayınlanmıştır. Bu çalışma, çakma kazıkların dizaynının geliştirilmesi amaçlanan uzun soluklu bir araştırmadır. Çalışmada jet grout kolonuna soketlenmiş çakma kazık kapasitesi araştırılmış ve kumlardaki kazık taşıma kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma ile - devam eden bir araştırma olarak – “Geotechnics in the New Millennium” isimli sempozyum tarafından düzenlenen yarışmaya katılmışlardır. Çalışma, henüz sonuçlandırılmamış ve gelişmeye açık bırakılmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, son dönemde sıkça kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemi olan jet grouting yöntemi ile derin temel sistemlerinden biri olan fore kazıkların birlikte kullanımı hakkında bilgi vermek, sistemlerin ayrı ayrı çalışma prensiplerini açıklamak ve bu sistemlerin uygulanabilirliğini irdelemektir.

Çalışmada zemin iyileştirme yöntemleri, bu yöntemlerin gerekliliği, bu yöntemler içerisinde son yıllarda kullanım alanları artan jet grouting yöntemi detayları, jet grouting yönteminin işletim parametreleri ve yöntemleri, zemin iyileştirme yöntemlerinin yanında derin temel sistemlerinin kullanılma amaçları, bu yöntemler içerisinde kazık temellerin kullanımı, kazık temellerin hesap kriterleri incelenmiştir. İrdelenen yöntemlerin kullanım avantajları ve dezavantajları üzerinde durulmuş ve bu yöntemlerin hangi tip zeminlerde ve hangi durumlarda kullanılacağı; aynı zamanda bu iki sistemin birlikte de kullanılabileceği üzerinde durulmuştur.

Bu tez kapsamında zemin ıslah yöntemlerinden biri olan jet grout yöntemiyle bir derin temel sistemi olan kazık temelin birlikte çalışma prensibi irdelenmiş; bu kombine sistemin seçilmesine sebep olan nedenler, sistemin imalat aşamaları anlatılmıştır. Sistemin uygulanabilirliğinin ve performansının anlaşılması için GEOTEKNİK A.Ş. tarafından 2007 - 2010 yılları arasında uygulaması yapılan Zonguldak Çatalağzı Termik Santrali projesi örnek proje olarak incelenmiştir. Bu kapsamda mühendislik çözümlerinde farklı sistemlerin birlikte kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Örnek olarak incelenen proje kapsamında zeminin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için zemin etüd çalışmaları GEOTEKNİK A.Ş. tarafından yapılmış ve yapılan çalışmalar sonucunda zemin, temel mühendisliği açısından analiz edilmiştir. Söz konusu analizler sonucunda 6.00m’ lik suya doygun kum tabakasında sıvılaşma mevcudiyetinin olması ve zeminin taşıma gücü yetersizliği nedeniyle dinamik yükler altında büyük ölçekte ani oturmalar oluşacağı sonucuna varılmış ve bu nedenle derin

temel sistemleri ile yapı yüklerinin, daha derinlerdeki taşıyıcı zemin ve/veya anakaya üzerine intikal ettirilmesine karar verilmiştir.

İmalatlar sırasında, fore kazık imalatlarına başlandığında stok sahasında yapılan ilk delgide 18 metrede anakayaya ulaşılmış ve imalat bu kaya içerisine 3m soketlenerek tamamlanmıştır. Sahanın genelinde yapılan delgilerde, ana kaya topografyasının dağ tarafında sığ derinlikte çıkmasına karşın, sahanın orta ve dere tarafına doğru keskin bir dalımla değişen derinlikler tespit edilmiştir. Bu durumda zayıf zemin örtüsü içerisinde delgilerin yapılıp bu derinlikten sonra ulaşılacak kaya içerisinde 3m kadar ilerlemek herhangi bir sistemle kazık imalatının yapılmasını imkansız kılmıştır. Böylelikle 20m‘ lik fore kazıklar 23m’ lik jet grout kolonlarına 3m soketlenerek imal edilmişlerdir. Sahada önce jet grout kolonlar imal edilmiştir. Jet grout kolonların priz alması beklendikten sonra kazıklar imal edilerek, jet grout ile ıslah edilmiş olan zemine 3m soketlenmiştir. 1 adet Ø100cm çapındaki fore kazık altına 9 adet Ø80cm çapında jet grout kolon imalatı yapılmış ve kazıklar jet grout ile iyileştirilmiş olan birim içerisine 3,00m soketlenmişlerdir.

Tasarım sırasında yapılan analizlerde, jet grout kolonlar ile iyileştirilmiş alana soketlenen Ø100cm çapında 20m boyunda fore kazıkların emniyetli eksenel taşıma gücü tasarımda Q_{all} = 275 ton olarak hesaplanmıştır.

Sahada imalatı yapılan KSS/159 nolu kazık üzerinde kazık yükleme deneyi yapılmış olup; teknik şartnamede verilen test prosedürüne göre yük kademeleri %25 artırılarak servis yükü 275 ton olarak belirlenen kazığın üzerine servis yükünün %150’si olan 412,50 tona kadar yükleme yapılmıştır. Test sonucunda elde edilen deformasyon sonuçları kabul edilebilir sınırlar arasında kaldığı görülmüştür. Delme kazıklarda 2 cm, çakma kazıklarda ise kazık çapının %2,5’i kadar bir kalıcı deformasyon meydana getiren yük sınır yükü olarak kabul edilmektedir. KSS/159 numaralı fore kazıkta yapılan kazık yükleme deneyinde elde edilen maksimum deformasyon 4,03 mm’ dir ve kabul sınırları içinde kalmaktadır.

Jet grouting yöntemi çok farklı zemin koşullarında ve alanlarda diğer yöntemlere göre daha düşük maliyetlerle çözülebilmektedir. Gerek kullanılacak olan malzemenin miktarının önceden tespit edilebilmesi gerekse zaman açısından diğer yöntemlere göre tercih sebebi olmaktadır.

Jet grouting yönteminin başarısı, imalatlar sırasında kullanılan imalat parametrelerine bağlıdır. Amaca ve zemine uygun parametrelerin tayin edilmesi dikkat ve deneyim gerektiren bir konudur. Aynı zamanda sistemin kesin bir hesap yöntemi olmaması ve tasarımda yapılan kabullerin tasarımcıya kalması yöntemin dezavantajları olarak kabul edilebilir.

Kazık temellerin maliyetleri yüzeysel temellere göre daha fazla olmaktadır. Bu sebeple kazık temellerin tasarımında yapılan analizlere dikkat edilmesi, alınan parametrelerin sahadaki durumu bire bir yansıtmasına dikkat edilmelidir. Aynı zamanda temel yapımına başlanmadan önce sahada problem iyi analiz edilmeli ve amaca uygun kazık çeşidi, çapı, uzunluğu ve adedi belirlenmelidir. Bu nedenle bu çalışma kapsamında; kazık çeşitleri, kazık hesaplamaları ve sınıflandırmaları, grup taşıma etkilerine yer verilmiştir.

Birbiri ile kombine kullanılan sistemlerde, her sistemin kendi içinde çalışma prensibi irdelenmeli; sistemlerin birbirlerine etkileri göz önünde bulunarak tasarımlar yapılmalıdır. İmalatlar sırasında tasarımda verilen detayların uygulanmasına dikkat edilmelidir.

1999 yılında Imperial College‘ da yapılan Offshore Technology Conference‘ da, Jardine ve diğ. (1999) tarafından jet grout kolonuna soketlenmiş çakma kazık kapasitesi araştırılmış ve kumlardaki kazık taşıma kapasitesinin artırılması amaçlanmıştır. Yapılan bu çalışma gelişmeye açık bırakılmıştır. Konu ile ilgili dünyada yapılan çalışmaları takip ederek kombine çalışan sistemlerin geliştirilmesi amaçlanmalıdır.

KAYNAKLAR

[1] **Doğu, O.** (2005). Jet Grouting Tekniği İle Zemin Islahı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.

[2] **Fırat, A. T.** (2001). Jet Grouting Yöntemi İle Temel Takviyesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.

[3] **Ergun, U., Özkan, Y., Önalp, A. ve Keçeli, A.** (2005). Parsel Bazında Zemin - Temel Etüdleri ve Zemin İyileştirme İşleri Hakkında Yönetmelik Taslağı Ön Raporu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.

[4] **Altun, S.** (2010). Zemin İyileştirme Yöntemleri, Derin Temeller ve Uygulama Örnekleri Sunumu, İMO, İzmir Şubesi, İzmir.

[5] **Balkıs, A. P.** (2009). Enjeksiyon Yöntemleriyle Zemin İyileştirilmesi, Üçüncü Geoteknik Sempozyumu, Adana, 3-4 aralık 2009.

[6] **Yılmaz, Y.** (t.y.). Enjeksiyon Tekniğiyle Zemin İyileştirme – Jet Enjeksiyonu Sunumu, Gazi Üniversitesi İnşaat Anabilim Dalı, Ankara.

[7] **Ergun, U.** (2007). Temel Enjeksiyonu Yöntemleri Sunumu, ODTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.

[8] **Cippo, P. A., Tornaghi, R.** (t.y.). Soil Improvement by Jet Grouting, Rodio&p.a., Brochure Technical Paper.

[9] **Küsin, C. C.** (2009). Jet Grout Yöntemi İle İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

[10] **Moseley, M. P.** (1993). Ground Improvement, Blackie A & P, Maryland, U.S.A

[11] **Url-1** <*http://www.dunelm.co.uk/drilling.shtml*>, alındığı tarih: 10.04.2014.

[12] **Url-2** <*http://www.zetas.com.tr*>, alındığı tarih: 10.04.2014.

[13] **Url-3** <*http://menard.com.au/jet_grouting.php*>, alındığı tarih: 10.04.2014.

[14] **Melegari, C. and Garassiho, A. L.** (1997). Seminar on Jet Grouting, CI-Premier Pte. Ltd., Singapore.

[15] **İnan, Ç.** (1993). Kazıklı Temeller Ve Kazıklı Temellerin Bilgisayar Programları İle Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., İstanbul.

[16] **Dağıstan, l., Yıldız, R.** (1995). Kazıklı Temeller, Mensoy Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti., Mensoy Geoteknik Bölümü, İzmir.

[17] **Alkaya, D.** (t.y.). Kazıklı Temeller Sunumu, Pamukkale Üiversitesi.

[18] **Çinicioğlu, S. F.** (2005). Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, İMO Seminer, İstanbul, 19.02.2005.

[19] **Umulu, İ.** (2008). Kazıklı Radye Temel Tasarımı, Lisans Tezi, T.C. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.

[20] **Url-4** <*http://e-meslek.com/insaat-muhendisi/forumlar/geoteknik/forekazik-palplanj-ankraj-jetgrout-yapimi-393fk.html*> alındığı tarih: 10.04.2014.

[21] **Url-5** <*http://www.yapsaninsaat.com.tr/images/anemonotel-forekazik-04.jpg*>, alındığı tarih: 10.04.2014.

[22] **Yüksel Proje** (2007). Geoteknik Tasarım Esasları, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı, Genel Müdürlüğü, Ankara.

[23] **Akgüner, C., Kirkit, M.** (2009). Kayaya Soketli Kazıkların Yükleme Deneyi ve Ampirik Yöntemlerle Belirlenen Kapasitelerinin Karşılaştırılması, İMO Teknik Dergi, 2011 5713-5723, Yazı 366, Teknik Not.

[24] **Kirkit, M.** (2009). Kayaya Soketli Kazıkların Yükleme Deneyi ve Ampirik Yöntemlerle Belirlenen Kapasitelerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2009.

[25] **TEİAŞ** (2013). Zonguldak ZETES ÇED Raporu.

[26] **GEOTEKNİK Etüd Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş**. (2009). Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. 2x600 MW Kömür Santrali Projesi Zemin Etüd Raporu, İstanbul.

[27] **Url-6** <*http://www.eren-enerji.com.tr*>, alındığı tarih: 10.04.2014.

[28] **GEOTEKNİK Etüd Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş**. (2009). Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. 2x600 MW Kömür Santrali Projesi Kazık Yükleme Deney Raporu, İstanbul.

[29] **GEOTEKNİK Etüd Müşavirlik ve Mühendislik A.Ş**. (2009). Eren Enerji Elektrik Üretim A.Ş. 2x600 MW Kömür Santrali Projesi Geoteknik Raporu, İstanbul.

[30] **Jardine, R. J. and Standing, J. R. (2000).** Pile Load Testing Performed for HSE Cyclic Loading Study at Dunkirk, France. Volume 1. Report OTO 2000 007; Health and safety Executive, London. 60.p.

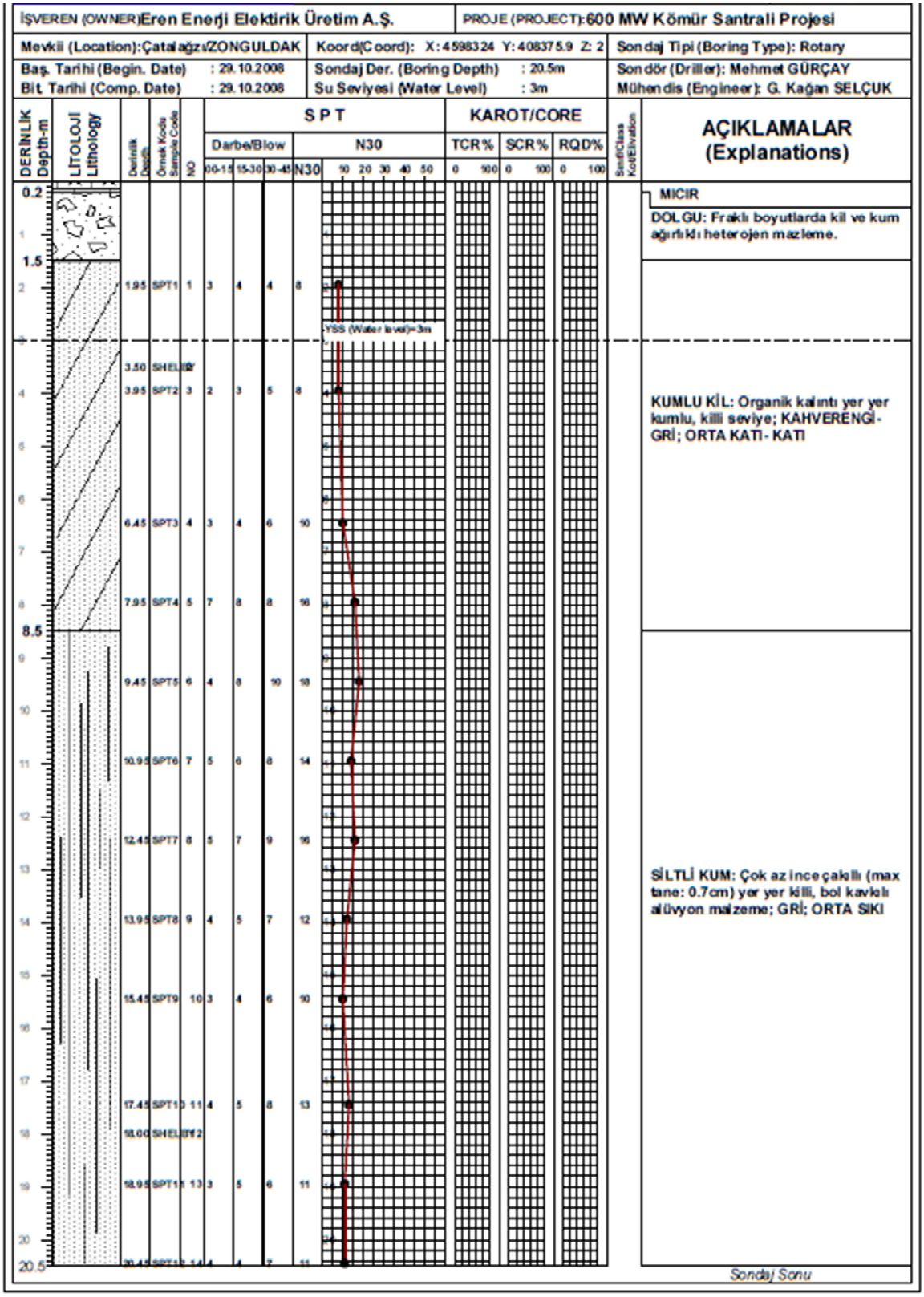
[31] **Jardine, R. J. and Standing, J. R. (2000).** Pile Load Testing Performed for HSE Cyclic Loading Study at Dunkirk, France. Volume 2. Report OTO 2000 007; Health and safety Executive, London. 200.p.

[32] **Parker, E. J., Jardine, R. J., Standing, J. R. And Xavier, J. (1999).** Jet Grouting to Improve Offshore Pile Capacity, Offshore Technology Conference Houston, OTC 10828.

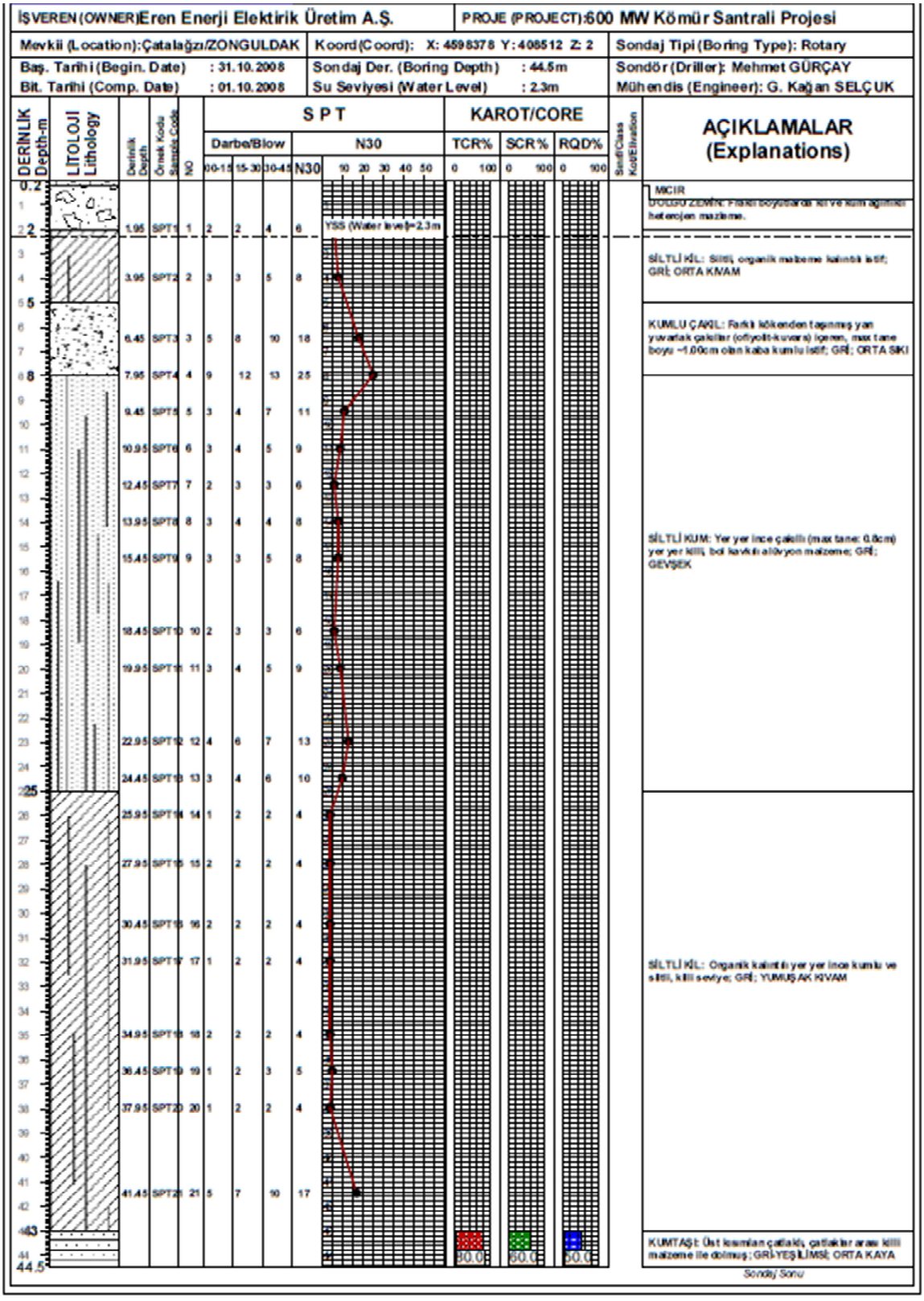
EKLER

EK A: Sondaj logları

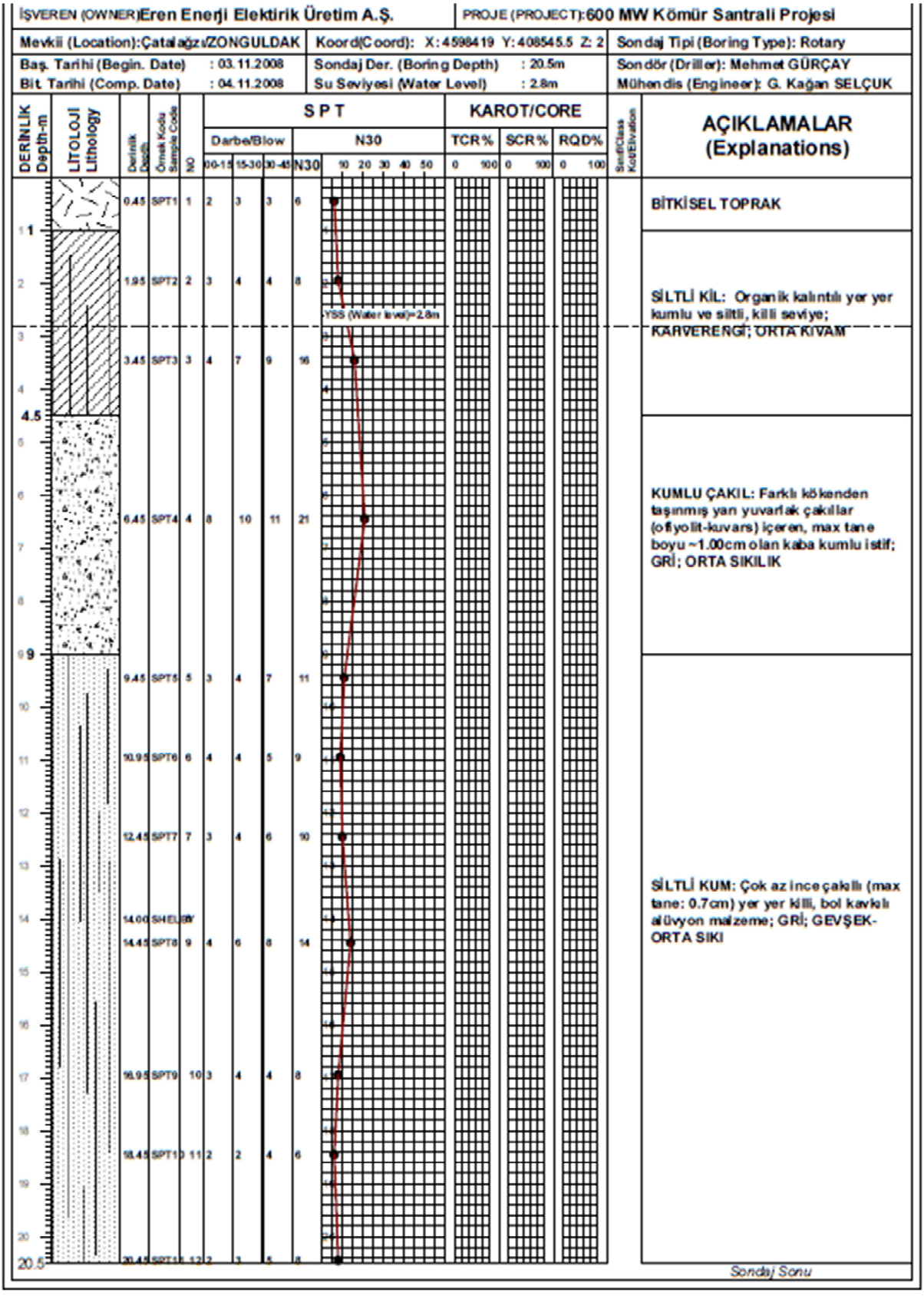
EK A



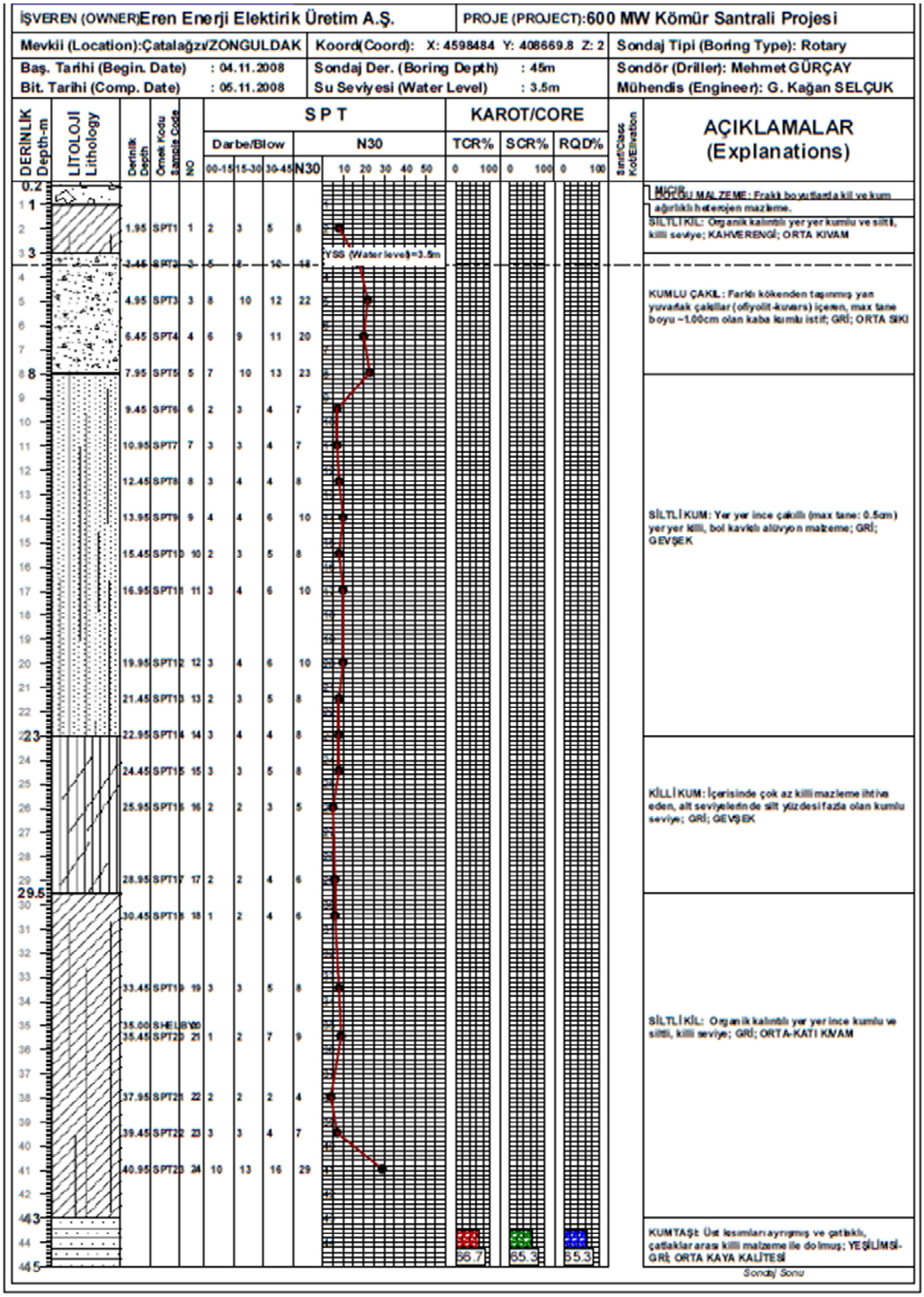
Şekil A.1 : S10 sondaj logu.



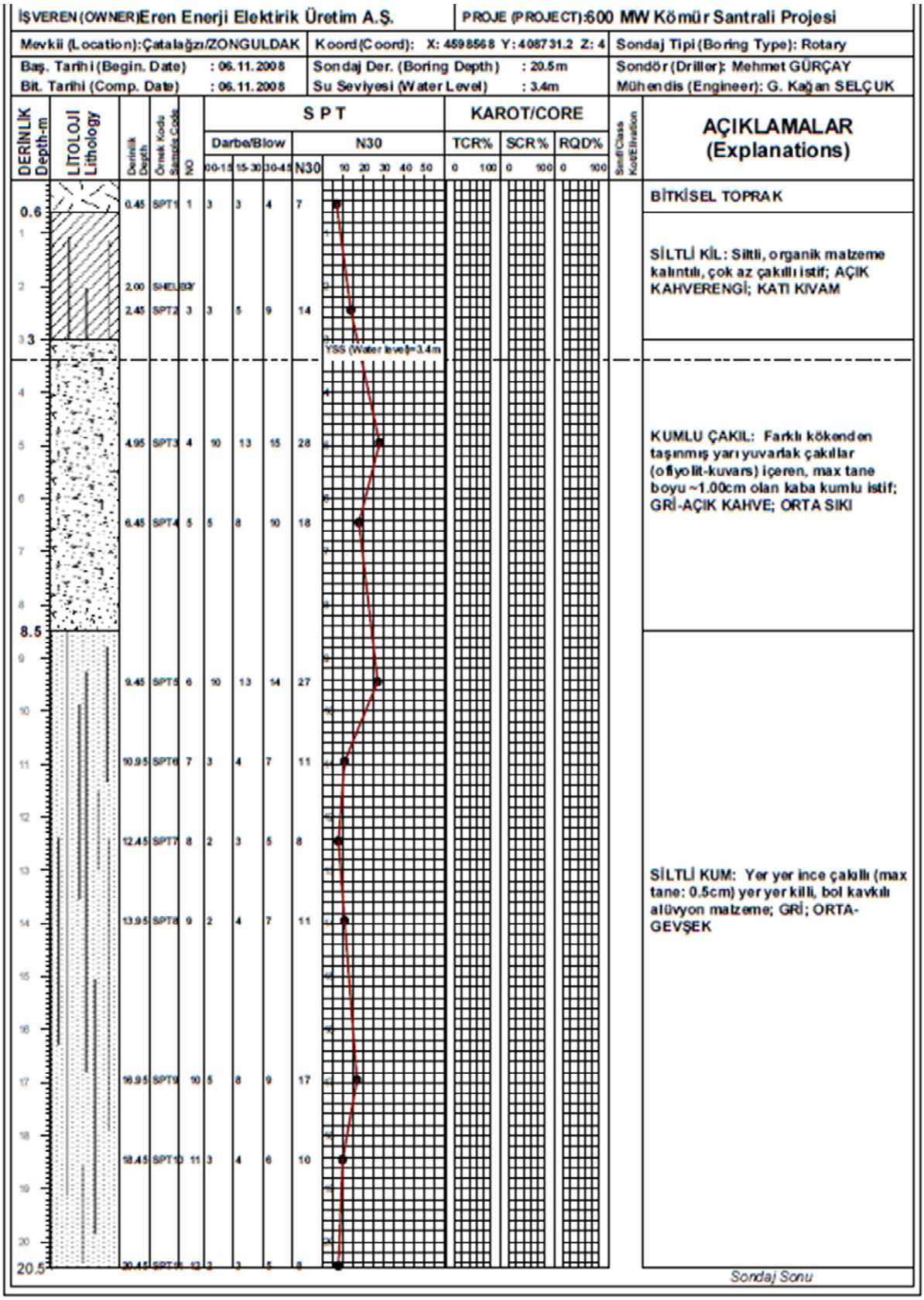
Şekil A.2 : S11 sondaj logu.



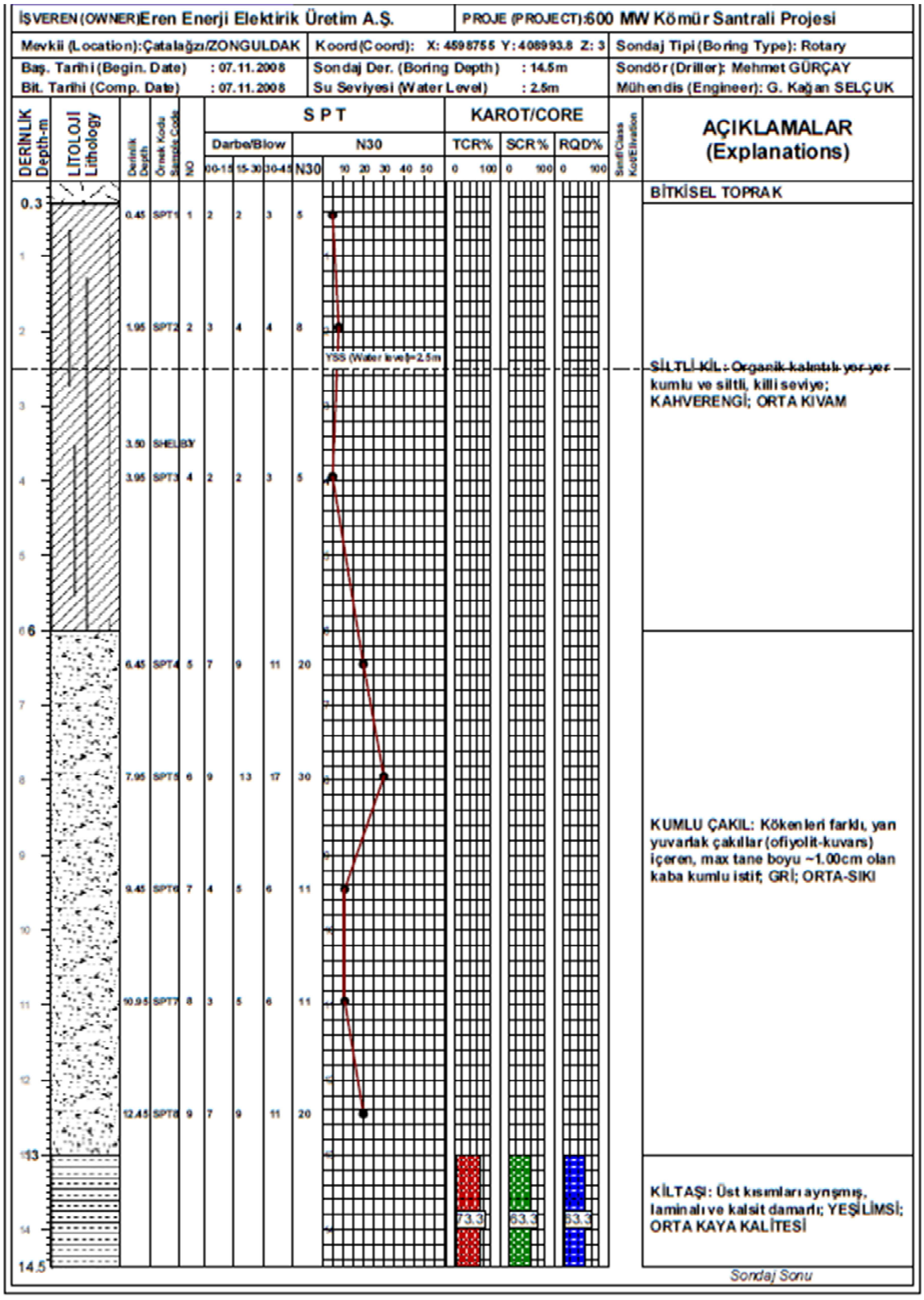
Şekil A.3 : S12 sondaj logu.



Şekil A.4 : S13 sondaj logu.



Şekil A.5 : S14 sondaj logu.



Şekil A.6 : S18 sondaj logu.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Serap KAYMAKCI

Doğum Yeri ve Tarihi: Üsküdar/28.06.1986

E-Posta: serapkaymkci@gmail.com

Lisans: Kocaeli Üniversitesi

Yayın Listesi:

- Yıldırım, H., **Kaymakcı, S.,** Ekşioğlu, İ., Mungan, A. (2011). Soyak Mavişehir Vaka Analizi, Dördüncü Geoteknik Sempozyumu, Adana, 1-2 Aralık 2011.
- Yıldırım, H., Mungan, A., Akyılmaz, C., **Kaymakcı, S.** (2012). Aslancık Barajı (HES) Geçirimsizlik Perdesi Vaka Analizi, Ondördüncü Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ulusal Kongresi, Isparta, 4-5 Ekim 2012.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR

- **Kaymakcı, S.,** Yıldırım, H., Doğu, O. (2014). Jet Grout Kolona Soketli Fore Kazığın Çalışma Performansının Araştırılması, Onbeşinci Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ulusal Kongresi, Ankara, 16-17 Ekim 2014.