KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEÇİLEN BİR SAHADA TAŞ KOLON ve FORE KAZIK İLE YAPILAN İYİLEŞTİRMENİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖMER AYHAN

KOCAELİ 2016

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEÇİLEN BİR SAHADA TAŞ KOLON VE FORE KAZIK İLE YAPILAN İYİLEŞTİRMENİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖMER AYHAN

Doç.Dr. Utkan MUTMAN
Danışman, Kocaeli Üni. .....

Prof.Dr. Safa Bozkurt ÇOŞKUN
Jüri Üyesi, Kocaeli Üni. .....

Yrd.Doç.Dr. Erdinç KESKİN
Jüri Üyesi, Kırklareli Üni. .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 29.06.2016

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmamız da Kocaeli ilinde zemin özellikleri açısından birbirine çok yakın özelliklerde olan iki köprülü kavşağın zemininde yapılan iyileştirmeler incelenmiştir. Çalışmada uygulanan bu taş kolon ve fore kazıklar yerinde yapılan deneylerle ve elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Öncelikle uygulanan Fore kazıklar plaxis programı ile tekrar hesaplanmış ve çıkan sonuçlar arazide bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır. Aynı çap ve uzunlukta taş kolon yapsaydık elde edeceğimiz oturma ve deplasman değerleri karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmalarım süresince ve hayatımın her anında eksik yanımı tamamlayan dostum, kardeşim Cihan Dirlik' e, yüksek lisans eğitimim boyunca bize bir abi gibi davranan, birlikte çalışmaktan ve öğrencisi olmaktan onur duyduğum Sayın Doç. Dr. Utkan Mutman hocama ve tüm hayatım boyunca gücünü hep arkamda hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2016 Ömer AYHAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET ix
ABSTRACT x
GİRİŞ 1
1. FORE KAZIK VE TAŞ KOLON İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR 2
1.1. Taş Kolon Metodu 2
1.2. Taş Kolon İmalatı 6
1.2.1. Delme aşaması 6
1.2.2. Kolon oluşturulması 7
1.2.3. Kolonun sıkıştırılması 7
1.2.3.1. Vibrokompaksiyon yöntemi 7
1.2.3.2. Vibro yer değiştirme yöntemi 8
1.2.3.3. Vibro öteleme yöntemi 9
1.2.3.4. Darbeli yöntem 10
1.3. Taş Kolon Hesap Yöntemi 11
1.4. Fore Kazık Metodu 14
1.5. Fore Kazık Hesap Yöntemi 16
1.5.1. Düşey yükler altında kazık taşıma gücü hesabı 16
1.5.2. Statik kazık formülleri 17
1.5.3. α yöntemi 22
1.5.4. λ yöntemi 23
1.5.5. β yöntemi 23
2. SEÇİLEN BİR ARAZİDE FORE KAZIK VE TAŞ KOLON UYGULAMASI 25
2.1. İyileştirme Öncesinde Yapılan Deneyler 25
2.1.1. Zemin türlerinin sınıflandırılması 26
2.1.2. Yüzeysel temel taşıma gücü hesabı 26
2.1.3. Derin temel mühendislik parametreleri 27
2.2. İyileştirme Yöntemlerinin Arazide Uygulanması 29
2.2.1. Fore kazık 29
2.2.1.1. Çalışma sahasının hazırlanması 29
2.2.1.2. Yeraltı ve yerüstü engellerin kaldırılması 29
2.2.1.3. Kazıkların yerleştirilmesi ve imalatı 29
2.2.1.4. Delgi işleri 30
2.2.1.5. Donatı kafesi hazırlanması ve indirilmesi 32
2.2.1.6. Kazıkların betonlanması 33
2.2.2. Taş kolon 34
2.3. İyileştirme Sonrasında Yapılan Kontrol Deneyleri 36

2.3.1. Kazık yükleme testi 36
2.3.1.1. Düşey kazık yükleme deneyi 37
2.3.1.2. Yük uygulama yöntemleri 37
2.3.1.3. Deformasyon (oturma-kalkma) ölçüm, cihaz ve yöntemleri 38
2.3.1.4. Standart yükleme prosedürü 38
2.3.1.5. Çevrimli yükleme prosedürü 38
2.3.2. Kazık süreklilik testi 39
2.3.3. Plaka yükleme testi 40
2.4. Arazi Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar 41
2.4.1. Arazide yapılan fore kazık yükleme testi 41
2.4.2. Arazide yapılan fore kazık süreklilik testi 44
2.4.3. Arazide yapılan plaka yükleme testi 49
2.5. Taş Kolon ve Fore Kazık İçin Maliyet Analizi 52
3. FORE KAZIK ve TAŞ KOLONUN PLAXIS PROGRAMI YÖNTEMIYLE HESABININ YAPILMASI 54
3.1. Plaxis Programı 54
3.2. Bilgisayar Analizlerindeki Kabuller 54
3.3. Bilgisayar Analizlerinin Sonuçları 55
3.4. Elde Edilen Sonuçlara Göre Taş Kolon ve Fore Kazık Yöntemlerinin Karşılaştırılması 71
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 72
KAYNAKLAR 74
KİŞİSEL YAYIN ve ESERLER 76
ÖZGEÇMİŞ 77

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Vibro kompaksiyon yöntemi imalat adımları 8
Şekil 1.2. Vibro yer değiştirme imalat adımları 9
Şekil 1.3. Alttan beslemeli yöntem imalat aşamaları 10
Şekil 1.4. Darbeli taş kolon yöntemi imalat aşamaları 10
Şekil 1.5. Oturma azalma faktörü 12
Şekil 1.6. Oturma azalma faktörü, n 12
Şekil 1.7. Kohezyonsuz zeminler için taş kolon sonrası iyileşme miktarı 13
Şekil 1.8. İnce-orta taneli siltli kumlar (200 nolu elekten geçen <%15) için taş kolon sonrası iyileşme miktarı 13
Şekil 1.9. Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı değerini FL = 1,0 değerine ulaştırmak için gerekli alan oranı 14
Şekil 2.1. Muhafaza borusu ile delme işlemi 30
Şekil 2.2. Donatı kafesinin indirilmesi 33
Şekil 2.3. Betonlama işlemi 34
Şekil 2.4. Taş kolon uygulama yöntemi 35
Şekil 2.5. Taş kolon sahada uygulaması 35
Şekil 2.6. Taş kolon sahada uygulaması 36
Şekil 2.7. Kazık yükleme deney şeması 36
Şekil 2.8. Kazık süreklilik testi şeması 39
Şekil 2.9. Plaka yükleme deneyi şeması 40
Şekil 2.10. Kazık yerleşim planı 42
Şekil 2.11. Yük – zaman grafiği 43
Şekil 2.12. Yük – oturma grafiği 43
Şekil 2.13. Oturma – zaman grafiği 44
Şekil 2.14. 15 nolu kazık süreklilik grafiği 45
Şekil 2.15. 16 nolu kazık süreklilik grafiği 46
Şekil 2.16. 17 nolu kazık süreklilik grafiği 46
Şekil 2.17. 13 nolu kazık süreklilik grafiği 46
Şekil 2.18. 14 nolu kazık süreklilik grafiği 47
Şekil 2.19. 18 nolu kazık süreklilik grafiği 47
Şekil 2.20. 19 nolu kazık süreklilik grafiği 47
Şekil 2.21. 20 nolu kazık süreklilik grafiği 48
Şekil 2.22. 21 nolu kazık süreklilik grafiği 48
Şekil 2.23. 22 nolu kazık süreklilik grafiği 48
Şekil 2.24. 23 nolu kazık süreklilik grafiği 49
Şekil 2.25. Plaka yükleme testinin sahada uygulaması 49
Şekil 3.1. Fore kazık için x yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği 56
Şekil 3.2. Taş kolon için x yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği 56
Şekil 3.3. Fore kazık için y yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği 57

Şekil 3.4. Taş kolon için y yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği 57
Şekil 3.5. Taş kolon için A ve B noktalarında güvenlik katsayısı deplasman grafiği 58
Şekil 3.6. Fore kazık için A ve B noktalarında güvenlik katsayısı deplasman grafiği 58
Şekil 3.7. Fore kazık için yy yönündeki efektif gerilme 59
Şekil 3.8. Taş kolon için yy yönündeki efektif gerilme 59
Şekil 3.9. Fore kazık için xx yönündeki efektif gerilme 60
Şekil 3.10. Taş kolon için yy yönündeki efektif gerilme 60
Şekil 3.11. Fore kazık için zz yönündeki efektif gerilme 61
Şekil 3.12. Taş kolon için zz yönündeki efektif gerilme 61
Şekil 3.13. Fore kazık için xy yönündeki kesme gerilmesi 62
Şekil 3.14. Taş kolon için xy yönündeki kesme gerilmesi 62
Şekil 3.15. Fore kazık için xx yönündeki toplam gerilme 63
Şekil 3.16. Taş kolon için xx yönündeki toplam gerilme 63
Şekil 3.17. Fore kazık için yy yönündeki toplam gerilme 64
Şekil 3.18. Taş kolon için yy yönündeki toplam gerilme 64
Şekil 3.19. Fore kazık için zz yönündeki toplam gerilme 65
Şekil 3.20. Taş kolon için zz yönündeki toplam gerilme 65
Şekil 3.21. Fore kazık için deformasyon ağları 66
Şekil 3.22. Taş kolon için deformasyon ağları 66
Şekil 3.23. Fore kazık için efektif asal gerilmeler 67
Şekil 3.24. Taş kolon için efektif asal gerilmeler 67
Şekil 3.25. Fore kazık için asal gerilmeler 68
Şekil 3.26. Taş kolon için asal gerilmeler 68
Şekil 3.27. Fore kazık için toplam asal gerilmeler 69
Şekil 3.28. Taş kolon için toplam asal gerilmeler 69
Şekil 3.29. Fore kazık için toplam şekil değiştirme 70
Şekil 3.30. Taş kolon için toplam şekil değiştirme 70

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Terzaghi taşıma gücü katsayıları 18
Tablo 1.2. Kazık tipine göre K değerleri 20
Tablo 1.3. Geostatik katsayıya oranla K değerleri 21
Tablo 1.4. Kazık – zemin sürtünmesi değerleri 21
Tablo 1.5. Adhezyon katsayısı 22
Tablo 1.6. Kazık yükleme deneylerinden elde edilmiş adhezyon katsayıları 24
Tablo 2.1. Laboratuvar deneyi sonuçları 25
Tablo 2.2. Zemin emniyet gerilmesi hesabı 27
Tablo 2.3. A1-P1-P2-P3-P4-P5 ayaklarında yapılan SK-4, SK-5, SK-6 sondaj verilerine göre 27
Tablo 2.4. P5-P6-P7-P8-P9-A2 ayaklarında yapılan SK-1, SK-2, SK-3 sondaj verilerine göre 28
Tablo 2.5. Üstgeçit köprüsü birleştirilmiş zemin parametreleri 28
Tablo 2.6. Plaka yükleme testi yük - deplasman ve deplasman – zaman tablosu 50
Tablo 3.1. Plaxis programına girilen zemin parametreleri 55

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α_i : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısı

$\sigma_v^{'}$: Toplam kazık uzunluğu boyunca hesaplanan ortalama düşey efektif gerilme

$\sigma_v^{'}$: Düşey efektif gerilme

ϕ_r' : Yoğrulmuş kilin efektif (drenajlı) iç sürtünme açısı

$\overline{\emptyset}$: Kayma direnci açısı

$\bar{c}$: Kompozit zeminin kohezyonu

ΔLi : Kazığın değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğu

Ac : Tek kolonun desteklediği kil yüzey alanı (kolon etki alanı)

Ap : Kazık ucundaki en kesit alanı

As : Kazık sürtünme alanı

B : Kazık çapı veya kenar uzunluğu

C : Zeminin kohezyonu

Ci : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma direnci

c_u : Ortalama drenajsız dayanım (ø = 0 hali).

d : Kazık çapı

fi : Kazığın her bir zemin tabakası içindeki birim çevre sürtünmesi değeri

F_L : Güvenlik sayısı

fs : Birim sürtünme direnci

G_r : Taş kolon kayma modülünün orijinal zemin kayma modülüne oranı

GS : Güvenlik sayısı

İ : Kazık derinliği boyunca kazığı çevreleyen değişik özellikteki zemin tabakaları

K : Yanal itki katsayısı

Ki : Zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı

Ko : Zeminin birim taşıma kapasitesi

Koi : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının sükunetteki yatay toprak basıncı katsayısı (Geostatik katsayı)

L′ : Gevşek kumlar için 10d

L′ : Orta sıklıktaki kumlar için 15d

L′ : Sıkı kumlar için 20d

n : Taş kolon /kil gerilme dağılımı oranı

Nc, Nq, Nγ : Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları

OCR : Kil tabakasının aşırı konsolidasyon oranı

p : Kazık enkesidinin çevre uzunluğu

Q_nem : Emniyetli taşıma gücü

Qf : Tek kazığın nihai taşama gücü

qf : Kazık ucundaki zeminin birim nihai taşıma kapasitesi

Qp : Kazığın uç taşıma kapasitesi

Qs : Kazığın sürtünme direnci

s_c : İyileştirilmemiş kildeki oturma

s_t : Taş kolonla iyileştirilmiş kompozit zemindeki oturma

B : İyileştirme faktörü $U(s_t/s_c)$
γ’ : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
δi : Zemin tabakasında kazık – zemin arası sürtünme açısıdır
η : Bir kat sayı; dairesel kesitlerde 0,3 , karesel kesitlerde 0,4
λ : Kazık boyuna bağlı bir katsayı
σo’ : Kazığın ucundaki düşey efektif geostatik gerilme
σvi′ : Kazığın içinde geçtiği zemin tabakasındaki ortalama düşey efektif gerilme
Φc : Kayma direnci açısı

Kısaltmalar

SPT N : Standart Penetrasyon Deneyi N Değeri
USCS : Unified Soil Classifaction System

SEÇİLEN BİR SAHADA TAŞ KOLON VE FORE KAZIK İLE YAPILAN İYİLEŞTİRMENİN KARŞILAŞTIRILMASI

ÖZET

Kocaeli İli Başiskele İlçesinde seçilen bir sahadaki yol çalışmasında gerekli zemin iyileştirme amacıyla taş kolon ve fore kazık yapılmıştır. Bu çalışmada sahada yapılan taş kolon ve fore kazık sonrasında zemindeki iyileşme dereceleri gözlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda iyileştirme öncesi ve sonrasında zemin incelemesi yapılmış ve elde edilen değerler sonlu eleman yöntemi ile çözüm yapan plaxis programı ile analizi yapılmıştır. İyileştirilmesi yapılan zeminde, imal edilen fore kazıkların kontrolü amacıyla kazık süreklilik ve kazık yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca taş kolonların da proje de belirtilen kapasitede yükleme testi yapılmıştır. Testler sonucunda zemin iyileştirmesinin başarılı olduğunu gözlenmiş olup, plaxis programında elde edilen sonuçlar ile sahada elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fore Kazık, Plaxis, Taş Kolon, Zemin İyileştirme.

COMPARISION OF IMPROVEMENT WITH BORED PILING AND STONE COLUMN IN A SELECTED AREA

ABSTRACT

In highway work in a field that is selected in Başiskele district to the ground improvement and piling is done. In this study, the degree of improvement was observed on the ground after the columns made of stone and bored piles in the field and compared. In this context, improving the ground before and after analysis and solution analysis made with values obtained by the finite element method, which was made Plaxis program. On the improved ground, in order to control of manufactured bored piles, continuity of bored piles and pile load tests were carried out. In addition, the test of load capacity specified in the project is made of stone columns. Test results of the soil improvement was observed to be successful, the results obtained in the field and the results obtained from Plaxis program were compared.

Keywords: Bored Piling, Plaxis, Stone Columns, Soil Improvement.

GİRİŞ

Günümüzde yüzeysel temellerin yetersiz olduğu zeminler de genellikle derin temel yöntemi olarak fore kazık metodu kullanılmaktadır. Taş kolonlar ise genellikle zemin ıslahında ve köprü imalatlarının yaklaşım dolgularının altında dolgunun yükünü karşılamak için kullanılmaktadır. Bu çalışmamız da Kocaeli ilinde zemin özellikleri açısından birbirine çok yakın özelliklerde olan iki köprülü kavşağın zemininde yapılan iyileştirmeler incelenmiştir. İki projemizde de derin temel olarak fore kazık yöntemi seçilmiştir. Bir projemizde yaklaşım dolgularının zemininde taş kolon yöntemi ile güçlendirme yapılmıştır. Çalışmamızda uygulanan bu taş kolon ve fore kazıklar yerinde yapılan deneylerle ve elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Öncelikle uygulanan Fore kazıkları plaxis programı ile tekrar hesaplandı ve çıkan sonuçlar arazide bulduğumuz değerlerle karşılaştırılmıştır. Aynı çap ve uzunlukta taş kolon yapsaydık elde edilecek oturma ve deplasman değerleri karşılaştırılmıştır.

1. FORE KAZIK VE TAŞ KOLON İLE İLGİLİ DAHA ÖNCE YAPILAN ÇALIŞMALAR

1.1. Taş Kolon Metodu

Zemin iyileştirmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları ön yükleme, kompaksiyon, su uzaklaştırma şeklinde sıralanabilir. Bununla birlikte derin iyileştirme yapılacak alanlarda jet grout, derin karıştırma, vibro yerdeğiştirme gibi yaklaşımlar daha uygun olmaktadır. Taş kolonlar, ekonomik ve pratik olmalarından dolayı diğer yöntemlere alternatif olmuşlardır. İlk olarak 1830 yılında Avrupa'da uygulanan taş kolonlar, son yüzyılın ortalarından itibaren popülaritesi gittikçe artan ve günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan bir yöntemdir. Bu bölümde mevcut tez çalışmasıyla benzer nitelikte olan çalışmalar hakkında bilgi verilecektir.

Taş kolonlar yumuşak ve orta yumuşak killerde oturmaları azaltmak ve kayma dayanımını arttırmak amacıyla kullanılır. Zemin davranışındaki iyileşme zemine etkiyen yükün kil ve taş kolon tarafından paylaşılmasından kaynaklanır. Kil zeminlerde taş kolonlar düşey dren olarak da işlev görürler. Taş kolonlar kohezyonsuz veya düşük kohezyonlu ince daneli zeminlerde zemin sıkılığını arttırmak ve/veya sıvılaşmaya karşı önlem olarak kullanılır.

(Han ve Ye 2002), kil zePmin içerisine inşa edilen taş kolon nedeniyle oluşan sistemin davranışını analitik olarak araştırmışlardır. Bu çalışmada, taş kolonun direnci ve yüksek geçirgenliği nedeniyle konsolidasyona etkisi birlikte değerlendirilerek teorik bir çözüm geliştirmiştir. Bu hesaplamalarda bazı kabuller yapılmıştır:

- Taş kolon ve kil zeminden oluşan problemde deformasyonlar sadece düşey doğrultuda gelişir (bir boyutlu),
- Taş kolon ve zemin davranışı lineer elastiktir,
- Taş kolon, etrafını saran zemine göre daha yüksek elastisite modülüne sahiptir.

Hesaplamalarda kolon rijitlik etkisini dikkate almak için modifiye edilmiş konsolidasyon katsayısı tanımlanarak taş kolon ile zemin arasındaki gerilme paylaşımı hesaplanmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada, konsolidasyon hızı üzerindeki altı önemli faktörün etkisi araştırılmıştır. Bu faktörler, taş kolonun etki alanı, taş kolonun permabilitesi, gerilme dağılım oranı, kolon etrafında oluşan örselenmiş bölgenin büyüklüğü ve permabilitesi, zeminin kalınlığı olarak belirtilmektedir.

Gautray ve arkadaşları (2013), santrifüj model deneylerle yumuşak killerde uygulanan taş kolonların taşıma kapasitesini incelemişlerdir. 200 kPa düşey yük altında konsolide edilen kilin derinlik boyunca drenajsız kayma mukavemeti değişimini belirlemek için T-Bar testi uygulanmıştır**.** Bu test sonucunda derinlik boyunca drenajsız kayma mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca kolon oluşumu ve yükleme aşamasında boşluk suyu basınç değişimlerini belirlemek amacıyla kolon merkezinden farklı uzaklıklara boşluk suyu basınç ölçerler konularak, kolon boşluk suyu basınç değişimlerini gözlemlemişlerdir.

Kolon oluşturma aşamasında kolon aleti zemine girmeye başladığında boşluk suyu basınçlarında artış meydana geldiği, prob sensör derinliğine geldiğinde ise artışın en büyük değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir.

Yükleme aşamasında ise boşluk suyu basınçlarının arttığını, kolonda göçme meydana geldikten sonra ise boşluk suyu basınçlarında azalmaların meydana geldiği belirlenmiştir.

Wissmann ve arkadaşları (2002), darbeli kırma taş kolonların oturma ve genel stabilite yönünden şev ve dolgu zeminlerde kayma direncini artırarak göçmeye karşı güvenlik sayısını arttırma miktarlarını belirlemek için arazi ve laboratuar ortamlarında çeşitli deneyler yapmışlardır. Arazide kırma taş kolonları üzerinde yapılan kesme deneyleri ile laboratuar ortamında yapılan üç eksenli deneyler neticesinde kolonların yüksek kesme dayanımına sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Liew ve Tan (2007), yumuşak zemin içinde inşa edilen taş kolon elemanlarının davranışlarını yükleme deneyleri ile incelemiştir. Proje kapsamında uygulanması planlanan 10 m yüksekliğinde toprakarme duvarın düşey ve yatay stabilitesinin

sağlanması amacıyla teknik ve ekonomik sebeplerden dolayı taş kolon uygulamasına karar verilmiştir.

Söz konusu yapının desteklenmesi amacıyla 100 cm çaplı taş kolonların merkezden merkeze 2 m karelaj ile uygulanması kararlaştırılmıştır. Taş kolonların projelendirilmesi (kolonun yanal genişleme kontrolü, kolon ve zemin arasındaki gerilme dağılımı, zeminin ve kolonun taşıma kapasitesi, iyileştirme sonrası oturma durumu vb.) literatürde belirtilen tasarım yöntemleri dikkate alınarak gerçekleştirilmiş olup, tasarımın performansını incelemek amacıyla 1,0 m x 1,0 m boyutlarındaki plaka üzerinde yükleme testleri yapılmıştır.

900 kN maksimum yük altında oturma miktarı 110 mm olarak ölçülmüştür. İyileştirme olmadan önce tahmin edilen oturma miktarı 650 mm mertebelerinde iken, taş kolonlar ile iyileştirilmiş bölgede tahmin edilen oturma miktarı 250-280 mm mertebelerindedir. Yapının inşaatından sonra da devam eden oturma miktarlarının ölçümü yapılmış olup, 4 aylık bir zaman diliminde oturmaların halen 115 mm mertebelerinde olduğu gözlenmiştir. Ayrıca en kritik iki kesimdeki oturma oranının yıl sonunda 0,2 mm/gün olduğu görülmüştür. Toprakarme duvarın imalatından 6 hafta sonra yumuşak kil birimlerde gözlemlenen bu sıkışmanın taş kolonların etkin bir drenaj sistemi olarak da çalıştığını göstermektedir.

White ve arkadaşları (2002), Des Moines, Iowa'daki bir otoyol genişletme inşaatında komşu iki dolgu sahasından birinin taş kolonlar (TK) ile diğerinin de darbeli kırmataş kolonlar (DKK) ile iyileştirilmesini araştırmışlardır. Bu çalışma ayrıca taş kolon uygulaması ve darbeli kırmataş kolon uygulamasının karşılaştırılması adına ilk proje olma özelliğini taşımaktadır.

Komşu iki dolgu sahasının zemini taşıyabilmesi için, birinde taş kolonlar kullanılarak sıkışabilirliği azaltmak ve kayma dayanımını arttırmak hedeflenmiş; diğerinde ise oturma hızının arttırılarak oturmaların azaltılması amaçlanmıştır. Bunun için de her iki sahada da uygulanan metotların ne kadar yararlı olduğunu ortaya çıkarmak için Standart Penetrasyon Testi (SPT), Kuyu Kesme Testi (BST) ve yükleme deneyleri yapılmıştır.

Taş kolon elemanları ile darbeli kırmataş kolon elemanlarının inşa edildiği sahalarda zemin özellikleri büyük oranda benzerlikler göstermektedir. Taş kolonlar büyük çaplı ve uzun elemanlar olarak seçilmişlerdir. Darbeli kırmataş kolon elemanlar ise küçük çaplı ve kısa fakat yüksek rijitlikte seçilmişlerdir. Dolgu yerleştirilmeden önce arazi deneyleri ve tam ölçekli yükleme deneyleri yapılarak tasarım için gerekli zemin parametreleri belirlenmiştir.

Taş kolon ve darbeli kırmataş kolon yapılan bu sahalarda yükleme deneyleri yapılmış, yükleme deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-deformasyon eğrisinin eğimi olarak rijitlik değerleri gösterilmiştir. Buna göre darbeli kırmataş kolonda meydana gelen oturma miktarı taş kolondaki oturma miktarının 1/3'ü oranındadır. Taş kolon yapılan zeminde meydana gelen oturmalar, kırmataş kolon uygulanan zeminde meydana gelen oturmalara göre karşılaştırıldığında oturmaların çok daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. Kolonlar arası yapılan SPT sonuçlarına göre darbeli taş kolonun ortalama N değeri, taş kolon ortalama N değerinin 1,5 katı mertebelerindedir. İnşaat sonrası yanal gerilmeler, darbeli kırmataş kolon yapılan zeminde, taş kolon yapılan zeminin iki katı olarak hesaplanmıştır.

Namal (2011), aynı drenajsız kayma mukavemeti değerine sahip zeminler içerisinde oluşturulan standart ve geotekstil kaplı taş kolonların davranışını model deneylerle incelemiştir. 90 cm uzunluğa 110 cm çapa sahip dairesel tank içerisinde, 10 cm çapında 60 cm uzunluğunda standart taş kolon oluşturulmuştur. Bu deney çalışmasında farklı derinliklere yerleştirilen gerilme ölçerler kullanılarak çevre zeminde meydana getirdiği gerilme artışları incelenmiştir. Taş kolon üretimi sırasında model deney tankı içinde bulunan gerilme ve boşluk suyu basıncı ölçümleri göz önüne alındığında basınçların sensör seviyesine kadar arttığı, üretimin bu seviyeyi geçmesinden sonra sürsarj etkisi ile basınçların belirli bir miktar azaldığı ve daha sonra sabitlendiği gözlenmektedir.

Ayrıca taş kolonla iyileştirilen zeminde, kolon çapından 30 cm uzaklıktan sonra çevre zemine olan iyileştirme oranının düştüğü gözlenlenmiştir.

Ambily ve Gandh, (2009), farklı drenajsız kayma mukavemetine sahip zeminler içerisinde oluşturulan tekil taş kolonların davranışını deneysel ve nümerik modellerle analiz etmişlerdir. Bu çalışmanın deneysel programı için 500 mm yükseklikte çapları

210 mm'den 420 mm'ye değişen tanklar içerisinde üç farklı kayma dayanımına sahip (30 - 12 - 6,5 kPa) kil yatağı hazırlanmış 100 mm çapında tekil taş kolonlar imal edilmiş ve kolon üzerinde limit eksenel gerilmeyi bulmak için yükleme deneyi yapılmıştır.

Yumuşak kil yatağının hazırlanması esnasında kil ve tank yüzeyi arasındaki sürtünmenin azaltılması için tank duvarına yağ sürülmüştür. Taş kolonlar yerdeğiştirme metodu ile üretilmiştir.

Standart taş kolon davranışının nümerik model analizi için Plaxis programı kullanılmıştır. Plaxiste kolon aksisimetri özelliği seçilerek modellenmiştir. Modelleme yapılırken 15 düğümlü ağ elemanı kullanılarak daha hassas bir çözüm ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda, kolon tek başına yüklendiğinde kolon çapının 0,5 katında maksimum şişme olduğu gözlemlenmiştir. Aynı drenajsız kayma mukavemetine sahip, fakat zemin alanı/kolon alanı (s/d) oranının farklı olduğu durumlardaki deneylerin yük taşıma kapasitesi verilmiştir. Buna göre s/d oranı arttıkça taş kolonun taşıma kapasitesinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca laboratuvar ortamında yapılan deney sonuçları ile nümerik analiz sonucu elde edilen verilerin çok yakın olduğu belirtilmiştir.

Kousik (2008), laboratuvar model deneyleri ile tekil taş kolonların davranışını, taş kolonlarla iyileştirilmiş zeminlerin üzerine farklı kalınlıklarda kum tabakaları serilerek ve geogrid konularak taş kolonlar üzerinde nasıl bir etkiye sahip olacağını görmek için bu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Genişliği 525 mm yüksekliği 300 mm olan tank içerisine 50 mm çapında 300 mm yüksekliğinde taş kolon oluşturulmuştur. Daha sonra taş kolonla iyileştirme yapılan zeminde farklı koşullarda yükleme yapılarak yük taşıma kapasitesi hakkında fikirler elde edilmiştir. Yükleme plakası 100 mm genişliğindedir.

1.2. Taş Kolon İmalatı

1.2.1. Delme aşaması

Zemin içinde vibroflot aleti, burgu vb, delgi aletleri kullanılarak veya ucu kapalı bir borunun çakılması ile istenilen kolon alt ucu derinliğine kadar kuyu şeklinde bir boşluk

oluşturulur. Zemin özelliklerine göre bazı durumlarda muhafaza borusu kullanılması gerekebilir. Kuyu açılması sırasında çevre zeminin yer değiştirmeye zorlanması iyileştirme açısından tercih nedenidir.

1.2.2. Kolon oluşturulması

Kuyu tabanından itibaren kademeler halinde granüler malzeme yerleştirilir ve sıkıştırılır. Bu aşamada kuyu çevresindeki zeminde gevşeme oluşmaması, sıkıştırma uygulanırken çevre zeminin yanal yer değiştirmeye zorlanması ve her geri dolgu kademesinin sabit ve kontrollü enerji uygulanarak sıkıştırılması önemli olmaktadır (Özaydın 2012).

Taş kolonlar, zemin koşullarına, ekipmana ve inşa yöntemine bağlı olarak 0,6- 1,0 m çapında ve genellikle 20 m derinliğe kadar imal edilebilirler. Bu yöntem için kullanılabilecek malzemeler 20-75 mm arası taş parçaları, agrega veya kum-çakıl karışımıdır. Delme aşamasında zemin özelliklerine göre bazı durumlarda boru çakma ve doldurularak çekme yöntemi de uygulanmaktadır. Kuyu tabanından itibaren kademeler halinde granüler malzemenin dökülmesi ve sıkıştırılması önemlidir. Yapılacak taş kolonların merkezlerinden olan mesafesi 1,5-3,5 m arasında olması tavsiye edilir (Altun, 2010).

1.2.3. Kolonun sıkıştırılması

1.2.3.1. Vibrokompaksiyon yöntemi

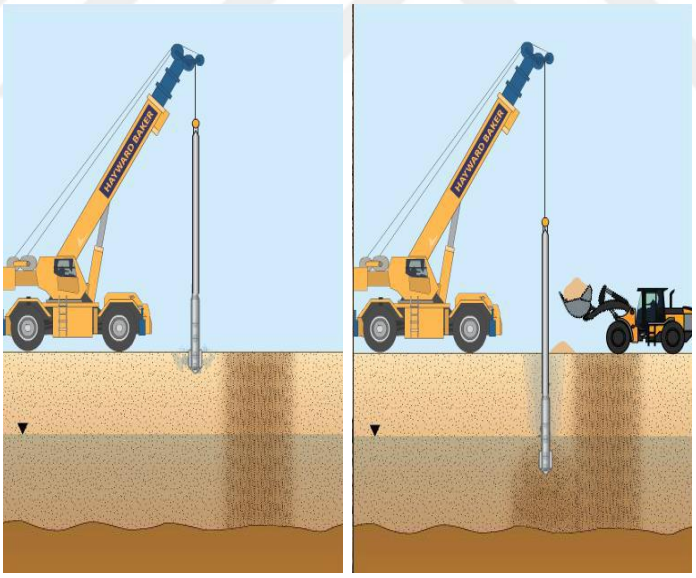
Vibro kompaksiyon, ince dane oranı %10'dan az olan (kohezyonsuz) zeminlerde derinlik vibratörleri yardımı ile sıkılığın arttırılmasında kullanılır (Şekil 1.1). Vibratör, genelde su veya hava jetleri yardımı ile istenilen derinliğe indirildikten sonra tabakalı şekilde (0,50 m aralıklarla) geri çekilmeye başlar. Vibro kompaksiyon yöntemi tepeden veya yerinde yapılan geri dolgu ile sonlandırılır. Vibro kompaksiyon ile %70-80 civarında rölatif sıkılık elde edilebilir.

Kompaksiyon su seviyesi altında ve üstünde başarılı olabilir. İyileştirilen zemin özellikleri, zemin tipine ve derecelendirilmesine, penetrasyon mesafesine ve kompaksiyon için geçen zamana bağlıdır. Genellikle merkez ile arasındaki mesafe 1,8

m ile 4,3 m arasında değişen değerlerde ve dizilimi eşkenar üçgen veya kare oluşturacak şekilde uygulanır.

Vibratör bir kez istenilen derinliğe indikten sonra önceden ayarlanmış derinlik aralıklarında işleme başlanır. Kompaksiyon sırasında kompaksiyondan dolayı zemin hacminde meydana gelen azalmayı dengelemek amacıyla yüzeyden temiz kum eklenir. Bu yolla arazi seviyesi korunmuş olur. Buna rağmen çalışma sonunda arazide planlanan temel kotunun altında bir kot değeri elde edilebilir. Uygulamalarda kompaksiyon sırasında zemin yüzeyinin çökmesine izin verilir. Bazen yüzeye yakın zeminler geri dolgu malzemesi olarak kullanılabilir.

Vibro kompaksiyon, tasarım taşıma basıncı genellikle 240 kPa ile 480 kPa arasında değişen ekonomik sürekli temel kullanımına olanak verir. Oturma ve sıvılaşma potansiyellerini düşürür. İşlem derinliği 4,5 m ile 15 m arasında değişir fakat uygulamada en fazla 36,5 m derinliğe kadar inilmiştir (Keller, 2010). Şekil 1.1 de tipik bir vibro kompaksiyon makinesi gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Vibro kompaksiyon yöntemi imalat adımları

1.2.3.2. Vibro yer değiştirme yöntemi

Vibro yer değiştirme yöntemi (ıslak yöntem), karışık kohezyonlu ve tabakalı zeminlerin istenildiği gibi sıkıştırılma yapılamadığı bölgelerde uygulanır. Şekil 1.2 de gösterildiği gibi titreşim ve yüksek basınçlı su jeti yardımıyla bir kuyu açılır. Prob etrafındaki bölge basınçlı su jeti ile yıkanır ve taş kolon yüzeyden taş eklenerek

oluşturulur. Taş kolon imalatı bittikten sonra zemin silindir ile düzeltilir. Vibro yer değiştirme yöntemindeki en önemli etken, ince danelerin kuyu çevresinde taş kolonun geçirimsiz olmasını engelleyen ve kuyunun inşası sırasında stabilitesini sağlayan su jetidir. Yumuşak ile katı kıvamlı zemin koşullarında (cu=15 ile 50 kPa arasında), yeraltı suyunun yüksek olduğu bölgelerde etkili kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir.

Vibro yer değiştirme aynı zamanda uygun maliyetli bir derin vibrasyon tekniğidir. Vibro taş kolonlar zemin cinsi, istenilen şartlar ve yükleme şartlarına göre değişik şekillerde projelendirilebilirler. Kolonlar arası mesafeler 1,8 ile 3 metre arasında değişebilir. Güçlendirilmiş zeminlerde zemin durumu ve performansa bağlı olarak izin verilebilir yükler değişiklik gösterebilir.



Şekil 1.2. Vibro yer değiştirme imalat adımları

1.2.3.3. Vibro öteleme yöntemi

Vibro öteleme yönteminde (kuru yöntem), taş kolon uygulaması yapılacak bölgede istenilen derinliğe kadar probun zemini yanal olarak ötelemesi ile bir kuyu oluşturulur. Kuyu dibine indirilen prob çıkarılır ve içine tabakalar halinde taş doldurulur. Tabakalar halinde doldurulan kuyu içine tekrar prob indirilerek oluşturulan tabakalara kuvvet uygulanır. Uygulanan bu kuvvetle taşın düşey ve kuyu çeperine doğru sıkışması sağlanır.

Sıkışmış bir taş kolon oluşturulan bu yöntemde kuyunun içine taş doldurulunca kadar zeminin kendini tutması ve göçmemesi gerekmektedir. Bu yöntem, vibro yer değiştirmeye göre daha mukavim (c_u=30-60 kPa) ve yeraltı su seviyesinin derinlerde olduğu bölgelerde uygundur.

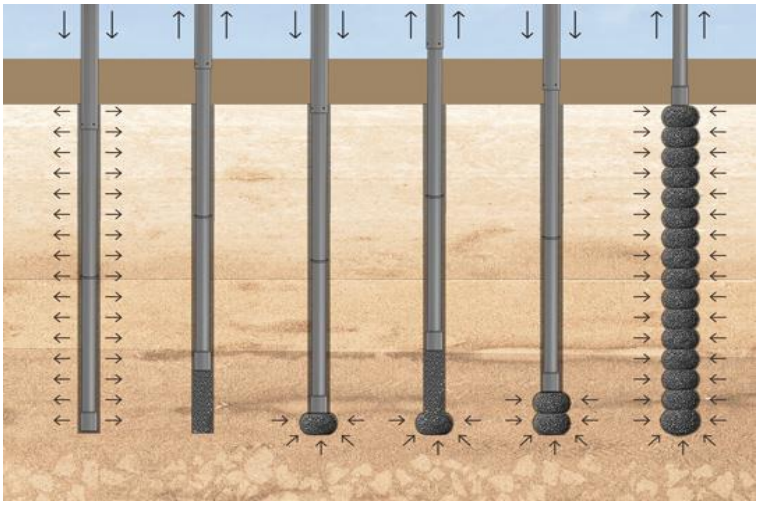
Probun kuyu içerisinden çekilmeden önce taş kolon malzemesinin, taş kolon içine doldurulması işlemine dayanan ve bu yöntem ile kuyunun çökme ve stabilitesini koruma problemlerini ortadan kaldıran alttan beslemeli yöntem olarak adlandırılan bir diğer yöntemde vibro öteleme yönteminin bir modifikasyonudur (Kurt, E. 2011). Bu yöntemin üretim aşamaları Şekil 1.3. te gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Alttan beslemeli yöntem imalat aşamaları

1.2.3.4. Darbeli yöntem

Darbeli yöntemde, ucu açık veya kapalı bir boru zemine itilerek ya da bir burgu yardımıyla kuyu açılır. Açılan bu kuyu içine tabakalı şekilde kolon malzemesi doldurulur her tabakanın doldurulmasından soru boru düşük hızla geri çekilerek, tabakanın üstüne düşen borunun etkisi ile boru altında kalan zeminin sıkışması sağlanır.



Şekil 1.4. Darbeli taş kolon yöntemi imalat aşamaları

1.3. Taş Kolon Hesap Yöntemi

Kil zeminlerde teşkil edilen tek kolonun emniyetli taşıma yükü yaklaşık:

$$Q_{nem} = \frac{25c_u}{GS} As \tag{1.1}$$

bağıntısından hesaplanabilir. Burada Cu =kilin drenajsız kayma mukavemeti, As: taş kolon kesit alanı ve GS: güvenlik sayısıdır. Uygulamada GS = 3 değerinin alınması önerilmektedir. Kil ve taş kolonların oluşturduğu kompozit zemin kütlesinin kayma dayanımı parametreleri aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir.

$$\tan\bar{\emptyset} = m \tan\emptyset_s + (1-m) \tan\emptyset_c \tag{1.2}$$

$$\bar{c} = (1-m).c \tag{1.3}$$

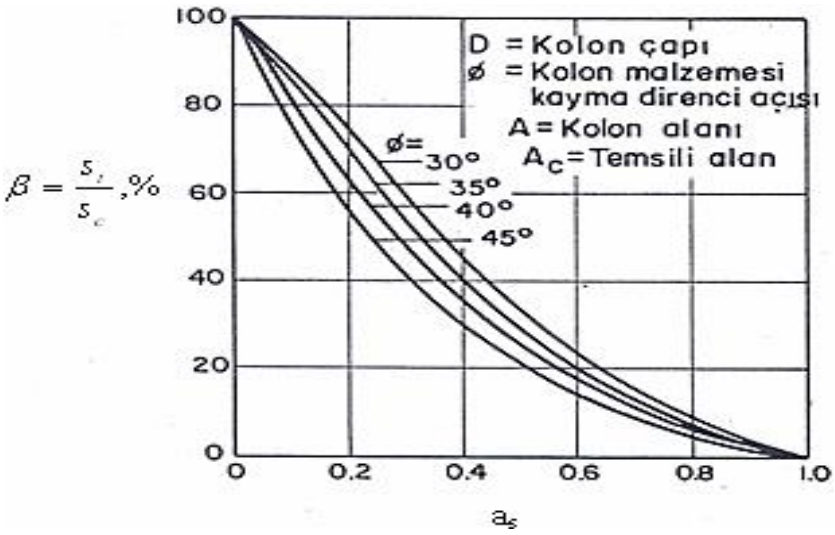
Burada $\bar{c}$ ve $\bar{\emptyset}$: kompozit zeminin kohezyonu ve kayma direnci açısı; Øs : taş kolonun kayma direnci açısı; c ve Øc : kilin kohezyonu ve kayma direnci açısı ve m: taş kolona etkiyen gerilme oranını belirleyen katsayıdır ve aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanabilir :

$$m = \frac{a_s n}{[1+(n-1)a_s]} \tag{1.4}$$

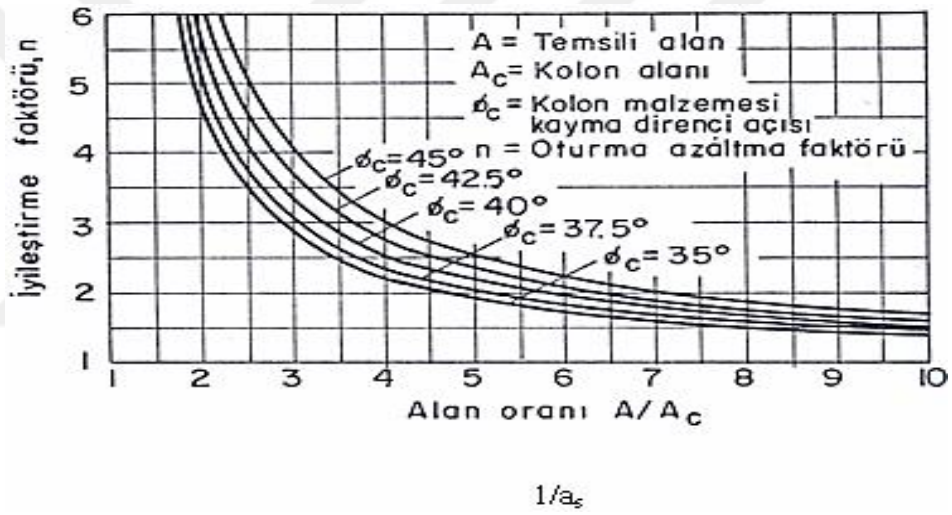
Burada;

$$a_s = \frac{A_s}{A_c+A_s} = \text{alan oranı} \tag{1.5}$$

Taşkolon uygulaması sonrasında oturmalardaki azalma miktarı Şekil 1.5 (Van Impe ve De Beer, 1983) ve Şekil 1.6'da (Priebe, 1976) gösterilen abaklar yardımıyla belirlenebilir. Bu şekillerde;

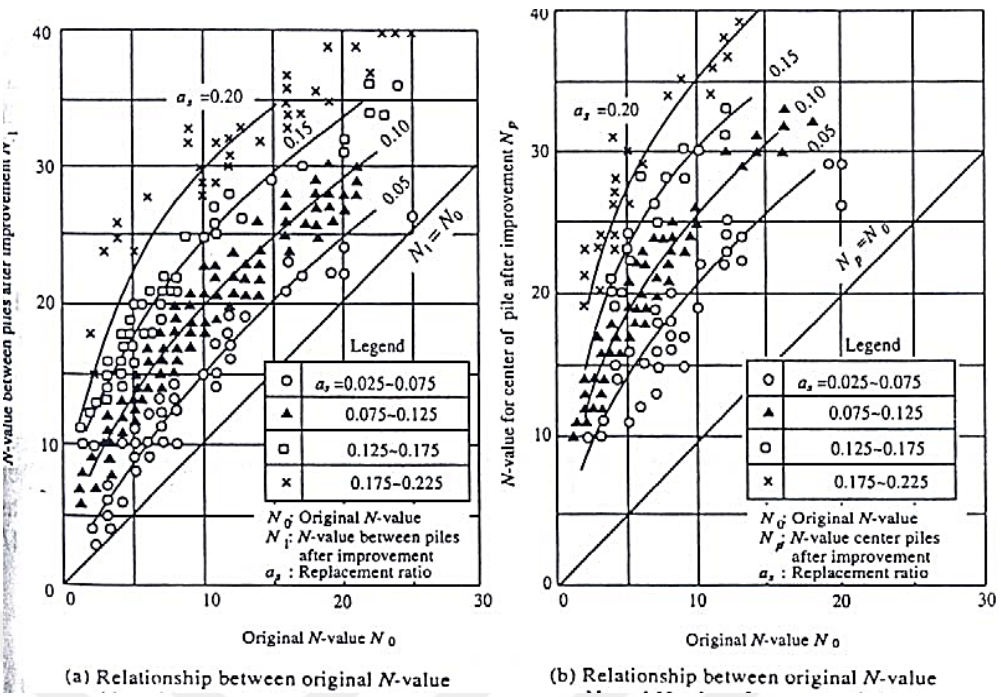


Şekil 1.5. Oturma azalma faktörü

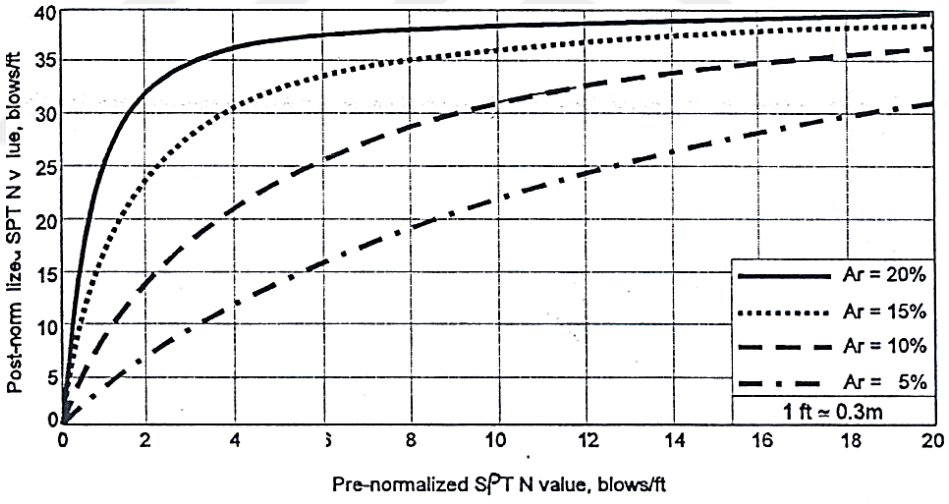


Şekil 1.6. Oturma azalma faktörü, n

Literatürde kohezyonsuz zeminlerde taş kolon uygulaması sonrası iyileşme miktarı orijinal zeminin SPT N değerindeki artışa bağlı olarak ifade edilmektedir. Uygulamada iyileştirilecek zemin için hedef bir iyileşme sonrası N_1 değeri belirlenir; zeminin iyileşme öncesi temsili No değerinden ve hedef N_1 değerinden Şekil1-7'da verilen tasarım abağı kullanılarak alan değiştirme oranı, a_s belirlenir tarafından geliştirilmiş olan alternatif bir tasarım abağı Şekil 1.8'de gösterilmektedir (JGS, 1988).

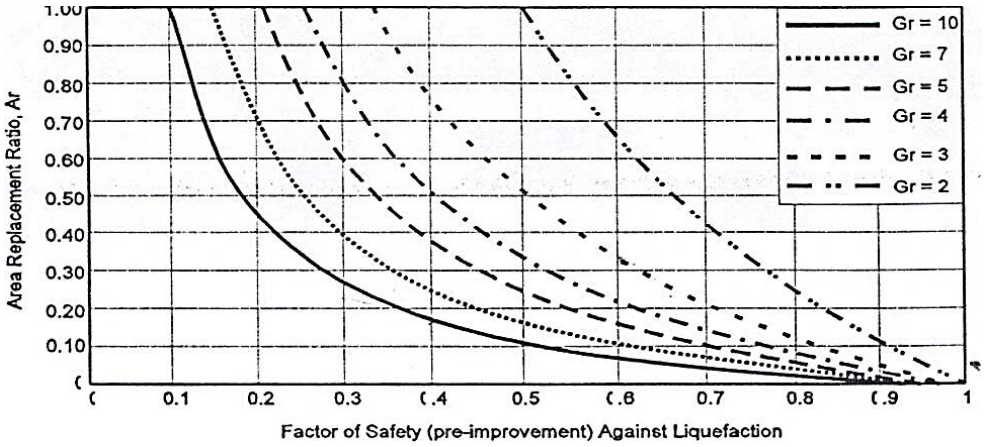


Şekil 1.7. Kohezyonsuz zeminler için taş kolon sonrası iyileşme miktarı



Şekil 1.8. İnce-orta taneli siltli kumlar (200 nolu elekten geçen <%15) için taş kolon sonrası iyileşme miktarı

Taş kolonların zemin sıvılaşmasını önleme amacıyla kullanıldığı durumda bir ön yaklaşım olarak Şekil 1.9'de verilen tasarım abağı kullanılabilir. Bu yöntemde önce zeminin iyileşme öncesi sıvılışmaya karşı güvenlik sayısı F_L hesaplanır. (Sıvılaşan zeminde F_L<1,0). Sıvılaşmanın önlenmesi için (F_L = 1,0) gerekli taş kolon alan oranı Şekil 5 yardımıyla belirlenir. Bu abakta tanımlanan 2 ila 10 değerleri arasında tanımlanmış olan G_r taş kolon kayma modülünün orijinal zemin kayma modülüne oranıdır.



Şekil 1.9. Sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı değerini FL = 1,0 değerine ulaştırmak için gerekli alan oranı

1.4. Fore Kazık Metodu

Kazıklı temeller; düşey doğrultudaki yükler ile rüzgar, deprem ve benzeri üst yapıya etkiyen yanal yüklerin temel zeminine aktarılmasında kullanılmaktadır (Kulaç ve Durgunoğlu, 1992).

Yapı yükleri; taşıma gücünün yetersizliği yanında çoğu kez oturma şartlarının sağlanamamasından dolayı, derin temel sistemi kullanılarak zemine aktarılmaktadır. Böylece yüzeydeki zayıf tabakalar geçilerek, derindeki taşıyıcı tabakalara ulaşılmakta ve bu anlamda kullanılan yapı elemanları, kazık olarak nitelendirilmektedir. Temel sistemi de adını kullanılan yapı elemanından almakta ve kazıklı temel olarak nitelendirilmektedir (Özkan ve Sağlamer, 1995).

Kazıklar, üst yapı yüklerini zemin profilinin derinliklerinde yer alan taşıyıcılık özelliği yüksek tabakalara aktarmak amacıyla kullanılan ahşap, beton, çelik veya kompozit yapı elemanlarıdır (Alkaya, 2013).

İnan (1993), yayınladığı yüksek lisans çalışmasında kazıkların bazı özellikleri incelenmiş, bu özelliklerden bazıları; kazık tipinin seçimi, kazık temellerin yatay yük altındaki davranışları, grup kazıkların grup içindeki davranışlarını incelemiştir.

Yılmazoğlu (1993), yayınladığı yüksek lisans çalışmasında ise kazıkların değişik zeminlerde farklı davranış gösterdiklerini, kazıklı temellerde üst yapı yüklerinin kazık sınır yükünü aştığı durumlarda oturma hesabı yapmak gerektiğini belirtmektedir.

Laman ve arkadaşları (1999), kısa kazıklı temellerin moment taşıma kapasiteleri üzerinde durmuşlardır. Üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle zemin ve kazık yapısını modellemişlerdir. Gevşek ve kohezyonlu zeminler üzerinde çalışmışlardır. Bilgisayarda elde ettikleri değerlerle, deneysel sonuçları karşılaştırmışlardır. Zemin basınç değeri olan Ko değerinin çok hassas değerler aldığını göstermişlerdir.

Sadek (2005), çalışmasında kazık uç ve tabanındaki durumları sismik yüklemeyle göstermiştir. Modellemede üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanmıştır. Üst yapı tek serbestlik dereceli ve yoğunlaştırılmış kütle ve kolon olarak, zemin ise lineer elastik kabul edilerek modellenmiştir. Çalışmada düşey ve eğimli kazıklar kullanılmıştır. Kazıklarda iki eksenel kuvvet ve eğilme momenti değerleri elde edilmiştir. Ayrıca kazıklardaki iç kuvvet değerleri incelenmiştir. Özellikle küçük kazıkların sismik bölgelerdeki katı zeminlerde kullanılmaması gerektiği ve sismik yüklemenin zemin kazık sistemindeki plastikliği azalttığı belirtilmiştir. Ayrıca, kazık zemin modellerinde, zeminin elasto plastik olarak analiz edilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Toraman (2005), yayınladığı yüksek lisans çalışmasında grup kazıklarını araştırmış, kazık grubunun tasarımında en önemli etken olan kazık grubu açıklığını incelemiştir.

Ordu ve Özkan (2006), yaptıkları çalışmalarında kayma modülleri arasında belirgin fark olan zemin tabakalarındaki zeminlerin doğrusal olmayan davranışlarının incelenebilmesi amacıyla deprem yükleri altındaki kazıklı temellerin doğrusal olmayan bir dinamik analiz işlemi başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın yardımıyla, deprem sarsıntıları sırasında kazıklarda meydana gelen gerilmelere, diğer yapısal ayrıntılar aynı kalırken, zemin şartlarında değişik koşulları temsil eden basitçe iki durum göz önünde bulundurularak, zemin tabakasının etkisinin çok belirgin olduğu gösterilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar, zayıf zemin koşullarındaki kazık tasarımlarında, yerin deformasyon davranışının etkilerini yeterince göz önünde bulundurulmasına gereksinim duyulduğunu göstermişlerdir.

Uzuoka ve arkadaşları (2007), yaptıkları çalışmalarında sıvılaşmış bir zeminde grup kazıkların dinamik davranışını incelemişler ve grup kazıkları 3 boyutlu zemin-kazık modeli ile modellemişlerdir. 1995 Kobe depremi sırasında ortaya çıkan kazık zararlarından dolayı beş katlı bir yapı ele alınarak analizi yapılmış ve sıvılaşmadan

hemen sonra kazıklarda akmalar oluştuğunu ve yatay yer değiştirmenin 10 cm'ye ulaştığı belirtmişlerdir. Sıvılaşmadan hemen sonra, atalet etkisinin kazık ucu ve zemin tabakasının alt kısmında, kinematik etkinin ise tabaka dibinde görüldüğünü belirtmişlerdir.

Gören (2010), yayınladığı yüksek lisans çalışmasında Adana ili Karaisali ilçesi Topalak köyü civarından geçen Çatalan içme suyu isale hattının dolgu menfez geçişinde, oturma ve kaymadan dolayı hasar meydana gelmiş ve yapılan Jeolojik-Jeofizik çalışmalarından çıkan verilere göre kazıklı temel yapılması uygunluğunu araştırmıştır.

1.5. Fore Kazık Hesap Yöntemi

Kazık davranışı ve kazığın taşıma gücü konusunda günümüze kadar çok araştırma yapılmıştır, ancak hala belirsizlikler mevcuttur. Kazık tasarım ve imalatı konusundaki geniş birikime göre kazık taşıma gücünün belirlenmesi için geçerli belli başlı yaklaşımlar şunlardır:

Mühendislik analizi-Statik taşıma gücü formülleri: Temel zemin etüt verileri ve laboratuar deneyleri sonuçları ile uygun parametreler tayin edilir ve kazık davranış mekanizmasına göre geliştirilmiş genel kabul görmüş taşıma gücü denklemleri kullanılır. Bu yaklaşım yüzeysel temeller için uygulanan yaklaşıma benzerdir.

Arazi yükleme deneyleri: Tüm kazık temel sisteminin inşa edilmesinden önce, farklı zemin özellikleri gösteren noktalarda deney kazıkları öngörülen boyutta ve yöntemle inşa edilerek yükleme deneyine tabi tutulur.

Kazık akma direncini esas alan dinamik kazık formülleri uygulanarak taşıma gücü, elde edilir. Uygulama standartları ve tecrübe doğru tasarımın önemli bileşenlerindendir.

1.5.1. Düşey yükler altında kazık taşıma gücü hesabı

Kullanılma amaçları çok çeşitli olabilen kazıkların projede öngörülen servis yüklerini güvenlikle taşımaları beklenir. Kazıklı temeller en az 3-4 kazıktan oluşan kazık gruplarından teşkil edilirler. Bu bakımdan pratik açıdan önemli olan kazık gruplarının taşıma gücünün tespit edilmesidir. Kazık gruplarının taşıma gücünün belirlenebilmesi

belirlenebilmesi için de tek bir kazığın taşıma gücüne etkiyen faktörlerin bilinmesi gereklidir. Kazık taşıma gücü, kazığın göçmeden ve aşırı oturmalar göstermeden taşıyabileceği en büyük yük olarak tanımlanmaktadır. Kazık yükleme deneylerine ilişkin olarak taşıma gücüne nihai-sınır yük de denilebilir. Proje yükü nihai yükün bir güvenlik sayısına bölünmesi ile bulunabilir. Servis yükü ise tekil bir kazık için bulunan proje yükünün kazıkların grup etkisi göz önüne alınarak küçültülmesi ile elde edilmektedir. Düşey yükler etkisinde kalan bir kazığın düşey taşıma kapasitesi veya kazık taşıma gücü kazığı oluşturan maddenin malzeme özelliklerine ve kazığın içinde bulunacağı zeminin çeşitli mühendislik özelliklerine bağlı olarak hesaplanabilir. Taşıma kapasitesi olarak bu değerlerden küçük olan seçilir. Eksenel yüklü kazıkların taşıma gücü aşağıda sıralanan yöntemlerle belirlenebilmektedir;

- Statik yöntemler
- Dinamik yöntemler
- Arazi deneylerinin sonuçlarına dayalı amprik yöntemler
- Kazık yükleme deneyi sonuçlarına dayalı amprik yöntemler (Alkaya 2013)

1.5.2. Statik kazık formülleri

Bir kazığın çevre zemini açısından toplam taşıma gücü genellikle iki bileşenden oluşur. Bunlar uç direnci ve çevre sürtünmesi bileşenleridir. Uç direnci kazık ucundaki zeminin birim taşıma kapasitesi (q_f) ve kazık en kesit alanı (A_p) kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q_p = q_f \cdot A_p \tag{1.6}$$

Sürtünme direnci, kazık boyunca yer alan tabakanın birim sürtünme dirençleri(fs) ve kazığın bu tabakalardaki çevre alanları (As) ile hesaplanabilir.

$$Q_s = f_s \cdot A_s \tag{1.7}$$

Kazığın toplam taşıma kapasitesi ise;

$$Q_f = Q_p + Q_s \tag{1.8}$$

$$Q_f = (q_f \cdot A_p) + (f_s \cdot A_s) \tag{1.9}$$

Uç Direnci kazık kapasitesini oluşturan iki unsurdan biri olan kazık uç direncinin hesaplanması için var olan belli başlı yöntemler aşağıda incelenecektir.

Uç kazıklarının uçları sert bir taşıyıcı zemin içine tespit olunurlar. Genellikle bu taban zeminin taşıma gücü kazığın yapıldığı malzemenin basınç mukavemetinin üstündedir. Bu nedenle bir uç kazığının toplam taşıma gücü kazığın yapısal kesit direncine eşittir.

Bu direncin hesaplanması için yapılmış olan çalışmalara kronolojik bir sıra içinde bırakılırsa bunların; kazık ucunu bir yüzeysel temelin zeminle dokunma yüzeyi olarak kabul edilen yaklaşımlardan başlayarak aynı ilkeye dayanan çeşitlemelere devam ettikleri söylenebilir. Bu direnç Terzaghi (1967) taşıma gücü teorisi kullanılarak kazık uçları için aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$qf = 1{,}3\ .c.Nc + \sigma o'.\ Nq + \eta.\gamma'.B.N\gamma \qquad (1.10)$$

Tablo 1.1. 'de zeminin içsel sürtünme açısına bağlı Terzaghi taşıma gücü katsayıları verilmiştir.

Tablo 1.1. Terzaghi taşıma gücü katsayıları

Zeminin içsel sürtünme açısı ø	Nc	Nq	Nγ
0	5,7	1,0	0,0
5	7,3	1,6	0,5
10	9,6	2,7	1,2
15	12,9	4,4	2,5
20	17,7	7,4	5,0
25	25,1	12,7	9,7
30	37,2	22,5	19,7
34	52,6	36,5	35,0
35	57,8	41,4	42,4
40	95,7	81,3	100,4
45	172,3	173,3	297,5
48	258,3	287,9	780,1
50	347,5	415,1	1153,2

Kohezyon sıfır alınarak uç direnci ;

$$q_f = \sigma o'.N_q + \eta\ .\ \gamma'.\ B\ .\ N\gamma \qquad (1.11)$$

Genellikle ikinci terim ilkinin yanında ihmal edilebilecek mertebededir. Bu durumda;

$$q_f = \ \sigma o'.\ N_q \qquad (1.12)$$

Kazık boyu yaklaşık 15-20 B derinliğini (kritik derinlik) aştığı hallerde σo' değeri en çok 15-20 B derinliğe karşılık gelen değer olarak alınmalıdır. Daha kısa kazıklarda ise kazık ucunun oturduğu derinlikteki efektif yük alınmalıdır.

Kohezyonlu zeminlerde inşaat sonrası durum taşıma gücü yönünden daha kritik olduğundan drenajsız durumda Ø = 0 olup, uç direnci;

$$q_f = cu.Nc \quad (1.13)$$

Dairesel kesitli ve zemin içindeki kısmı yeterli uzunlukta olan kazıklarda Nc 'nin değeri 9 olarak alınır.

$$q_f = 9.cu \quad (1.14)$$

Birim alana gelen çevre sürtünmesi kilin kayma direncinden küçük olabilir; fakat hiçbir zaman daha büyük olamaz.

Granüller zeminlerde zemin ile kazık arasında fiziksel sürtünme, killi zeminlerde ise adhezyon hareketlenmesi nedeni ile çevre sürtünmesi direnci oluşur. Çevre zemini ile kazık çeperi arasındaki çevre sürtünmesinden doğan bu taşıma gücü bileşeni; kazığın içinde bulunduğu her tabakanın çevre sürtünmesi ayrı ayrı hesaplanıp toplanmak suretiyle bulunur.

Bu anlatım aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir:

$$Q_ç = \sum_p .\Delta L_i . f_i \quad (1.15)$$

denklemden anlaşılacağı üzere kazığın çevre sürtüne direncini hesaplamak için zeminin birim çevre sürtünmesi değeri olan (f_i) nin bilinmesi gerekmektedir.

Kohezyonsuz zeminlerde bu değerin hesaplanması sırasında göz önünde tutulması gereken bazı özellikler vardır.

Çakma kazıklarda zemin sıkışacağından içsel sürtünme açısının değeri artar.

(f_i) değeri kritik bir L′ derinliğine kadar doğrusal şekilde artar ve bu derinlikten sonra sabit kalır. Bu L′ değerleri d kazık çapı olmak üzere aşağıdaki gibi alınabilir:

Eşdeğer derinliklerde gevşek kumların bünyesinde aşırı yer değiştirmeye neden olan bir kazığın çevresinde oluşan birim sürtünme değeri az yer değiştirmeye neden olan bir kazığın çevresinde oluşan değerlerden fazladır.

Eşdeğer derinliklerde fore kazıkların çevresinde, çakma kazıklara nazaran daha düşük sürtünme değerleri oluşur.

Bu özellikler dikkate alınmak kaydı ile birim çevre sürtünmesi için derinlik (z) boyunca aşağıdaki hesap kriterleri verilebilir:

$L' > z$ için;

$$f_i = K_i \cdot \sigma_{vi}' \cdot \tan \delta_i \quad (1.16)$$

$L > z > L'$ için;

$$f_i = (f_i)_z \quad (1.17)$$

Tablo 1.2. Kazık tipine göre K değerleri

KAZIK TİPİ	K
Fore kazıklar	≈ Ko = 1-sinø
Az deplasman yapan çakma kazıklar	≈ Ko ila 1,4 Ko
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	≈ Ko ila 1,8 Ko

Yüksek deplasman yapan kazıklar için ayrıca aşağıdaki formüller önerilmektedir:

$$K \cdot \tan\delta = 0{,}18 + 0{,}0065\ D_r \quad (1.18)$$

$$K = 0{,}5 + 0{,}008\ D_r \quad (1.19)$$

Tablo 1.3. Geostatik katsayıya oranla K değerleri

KAZIK TİPİ	K	Ko
Yüksek Deplasmanlı Çakma Kazıklar	1	2
Alçak Deplasmanlı Çakma Kazıklar	0,75	1,75
Fore Kazık	0,71	1
Su Jeti ile Çakılan Kazık	0,5	0,7

$$Qç = \sum \pi \, d \, . \, \Delta Li \, . \, Koi \, . \, \sigma vi' \, . \, \tan \delta i \qquad (1.20)$$

Tablo 1.4. Kazık – zemin sürtünmesi değerleri

Kazık - Zemin Temas Durumu	Kazık - Zemin Sürtünme Açısı, δ
Pürüzsüz ve Kaplanmış Çelik-Kum	0,5ø′ - 0,7ø′
Kaba (Ondüleli) Çelik-Kum	0,7ø′ - 0,9ø′
Önceden Dökülmüş Beton-Kum	0,8ø′ - 1,0 ø′
Yerinde Dökülmüş Beton- Kum	1,0ø′
Ahşap- Kum	0,8ø′ - 0,9ø′
Zemin İçinde Boru Bırakılan Kazıklar	0,7ø′ - 0,85ø′

Geostatik durumda yatay toprak basıncı katsayısı K_{oi} kumlarda içsel sürtünme açısının (ø′) bir fonksiyonu olup yaklaşık olarak:

$$K_{oi} = (1 - \sin\varphi') \qquad (1.21)$$

alınabilir (Jaky,1948). Bazı araştırmalara göre bu katsayının daha kesin ifadesi:

$$K_{oi} = (1 - \sin\varphi')(OCR)_i^{0,5} \qquad (1.22)$$

şeklindedir. Burada OCR, kil tabakasının aşırı konsolidasyon oranıdır. Toplam çevre sürtünme direnci; yukarıdaki (1.4.) bağıntısı kullanılarak, ΔLi kalınlığındaki her ayrı (i) tabakası için hesaplanır ve kazık boyunca toplamı alınır.

Kohezyonlu zeminlerde ; Bu direnç genelde kilin drenajsız direnci, efektif düşey gerilme, kazık kesitinin şekli, kazık uzunluğu, kazık malzemesi gibi, etkenlerin bir

fonksiyonudur. Killi zeminlerde yüzeysel sürtünme rolü, adhezyon tarafından üstlenilmektedir. Bu tür zeminler için denklemlerin benzeri aşağıdaki gibidir:

$$Q_ç = \Sigma\, \pi d.\Delta L_i.\alpha_i.c_i \quad (1.23)$$

Bu halde de toplam çevre sürtünmesi direncinin hesabında yukarıdaki bağıntı kullanılarak ΔLi kalınlığındaki her ayrı (i) tabakası için hesaplanır ve kazık boyunca toplamı alınır.

Killi zeminlerde yer alan çakma kazıklarda birim çevre sürtünmesi için öneriler üç grup altında toplanabilir.

1.5.3. α yöntemi

Birim çevre sürtünmesini, drenajsız kayma mukavemetini amprik bir adhezyon faktörü ile çarparak tatmin etme yöntemidir.

Adhezyon katsayısı α_i aşağıda görülebileceği gibi çoğu kez drenajsız kayma direncinin bir fonksiyonu olmaktadır.

$$f_{si} = \alpha_i.c_{ui} \quad (1.24)$$

adhezyon katsayısı kohezyonun (c_{ui}); 25 > c_{ui} > 90 (kN/m²) sınırları içinde kalan değerleri için aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir:

$$\alpha_i = 1 \quad 0{,}00615 \times (c_{ui} - 25) \quad (1.25)$$

kohezyonun sınır değer üstündeki; (c_{ui} >90 kN/m²) değerleri için aşağıdaki Tablo 1.5. den bulunan adhezyon katsayısı kullanılabilir.

Tablo 1.5. Adhezyon katsayısı

Cui Değeri	αi Değeri
90	0,60
100	0,58
150	0,42
200	0,35

1.5.4. λ yöntemi

Kazık çakılmasının neden olduğu yer değiştirmenin pasif itkinin doğması için yeterli olduğu varsayılarak aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$f_{av} = \lambda\left(\sigma'_v + 2c_u\right) \tag{1.26}$$

λ yönteminin hem normal hem aşırı konsolide killerde yinelenebilir ve güvenilir sonuçlar verdiği belirtilmektedir.

1.5.5. β yöntemi

Kazıklar suya doygun killerle çakıldıklarında kazık çevresinde boşluk suyu basıncı normal konsolide killerde (4-6) cu değerine çıkabilir. Bu fazla boşluk suyu basıncı zamanla sönümlendiğinde kil- kazık arasında birim çevre sürtünmesi kilin yoğrulmuş efektif gerilme parametreleriyle bulunabilir. Diğer yandan sert, fissürlü killerde drenajlı parametreler ile tahmin edilebilecek çevre taşıma gücü daha kritik olabileceğinden bu tür analiz daha doğru olabilir.

Buna göre birim sürtünme;

$$f = \sigma'_v.\beta \tag{1.27}$$

$$\beta = K\tan\varphi'_r \tag{1.28}$$

Yanal itki katsayısı olarak kabul edilen K değeri, önceki denklemler kullanılarak yerine konulursa normal konsolide killer için;

$$f = \left(1 - \sin\varphi'_r\right).\tan\varphi'.\sigma'_v \tag{1.29}$$

Aşırı konsolide killer için;

$$f = \left(1 - \sin\varphi'_r\right).\tan\varphi'.\sqrt{OCR}.\sigma'_v \tag{1.30}$$

bağıntıları elde edilir.

Tablo 1.6'da bu katsayı için verilen bazı değerler yer almaktadır. Bu değerler arazi kazık yükleme deneyleri sonuçlarının geriye dönük analizleri yapılarak elde edilmişlerdir.

Tablo 1.6. Kazık yükleme deneylerinden elde edilmiş adhezyon katsayıları

	Su içeriği	(PI)	Direnç(kpa)	α
Katı Kil	23	35-55	120	0,44
Katı Kil	25	20-60	120	0,62
Masif Şeyl	15	7_16	500	0,64
Katı Kil	-	-	110	0,52
Katı Kil	19	36-46	140	0,30

2. SEÇİLEN BİR ARAZİDE FORE KAZIK VE TAŞ KOLON UYGULAMASI

2.1. İyileştirme Öncesinde Yapılan Deneyler

Laboratuvar çalışmaları alınan numunelerin mühendislik özelliklerinin belirlenerek projelendirmede gerekli fiziksel ve jeolojik parametrelerinin saptanmasını içermektedir. Bu çalışma kapsamında araştırma çukurundan alınan numunelerin özelliklerine göre birim hacim ağırlık, kıvam limitleri, dayanım deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar da yapılan deneylerin sonucunda elde edilen değerler Tablo 2.1. de verilmiştir

Yapılan deney sonuçlarına göre birimin su içeriği % 29-33, Doğal birim hacim ağırlıkları, 18,4-19,1 KN/m^3 arasında bulunmuştur. USCS sınıflamasına göre zemin sınıfı CH dir. Yapılan deneylere göre birimin kil+silt yüzdesi % 92-98, kum yüzdesi % 2-8 dir. Üç eksenli basınç deneylerine göre kohezyon (c) 84-114 kPa ve içsel sürtünme açısı 6-7 olarak bulunmuştur.

Tablo 2.1. Laboratuvar deneyi sonuçları

Sondaj No		Derinlik (m)	Zeminde Üç Eks. Sıkışma c kpa	ϕ (^{0})	Şişme Basıncı (kg/cm^2)	Şişme Yüzdesi (%)
SK-1	UD	10,0	84,57	7,85	1,335	1,39
SK-1	UD	20,0	98,52	6,55	-	-
SK-2	UD	8,00	107,32	6,33	1,401	1,62
SK-2	UD	22,0	97,69	7,51	-	-
SK-3	UD	7,50	100,48	7,63	-	-
SK-3	UD	19,0	94,39	7,97	-	-
SK-4	UD	9,00	81,86	7,79	-	-
SK-4	UD	18,0	88,34	7,83	-	-
SK-5	UD	6,00	94,44	7,46	-	-
SK-5	UD	21,0	96,25	7,90	-	-
SK-6	UD	4,50	104,89	6,21	1,503	1,51
SK-6	UD	17,0	108,79	6,68	-	-
SK-7	UD	9,00	84,67	6,36	-	-
SK-7	UD	19,0	90,14	6,92	-	-
SK-8	UD	6,50	109,04	6,61	-	-
SK-8	UD	21,0	114,26	7,13	-	-

2.1.1. Zemin türlerinin sınıflandırılması

İnceleme sahasında yapılan 8 adet zemin etüt sondajından alınan numunelerin makro incelemeleri sonucunda zeminin durumu, zemin profili ve zemin profilini oluşturan tabakaların mühendislik parametreleri tespit edilmiştir.

İnceleme alanında yapılan araştırma sondaj sonuçlarına göre elde edilen zemin profilinde ayırtlanan birimler yüzeyden itibaren sırası ile,
- Dolgu Zemin
- Kahverengi Çakıllı Kumlu Kil

Yapılan sondajlarda sırası ile geçilen birimler aşağıdaki gibidir:

SK-1 sondajında elde edilen Zemin Profili;
0,0–3,0 m, arası yol dolgusu, 3,0–30,0 m, arası Gri-bej renkli kumlu siltli kil
SK-2 sondajında elde edilen Zemin Profili;
0,0–3,0 m, arası yol dolgusu, 3,0–30,0 m, arası Gri-bej renkli kumlu siltli kil
SK-3 sondajında elde edilen Zemin Profili;
0,0–1,5 m, arası yol dolgusu, 1,5–30,0 m, arası Gri-bej renkli kumlu siltli kil
SK-4 sondajında elde edilen Zemin Profili;
0,0–1,5 m, arası yol dolgusu, 1,5–30,0 m, arası Gri-bej renkli kumlu siltli kil
SK-5 sondajında elde edilen Zemin Profili;
0,0–1,5 m, arası yol dolgusu, 1,5–30,0 m, arası Gri-bej renkli kumlu siltli kil
SK-6 sondajında elde edilen Zemin Profili;
0,0–1,0 m, arası yol dolgusu, 1,0–30,0 m, arası Gri-bej renkli kumlu siltli kil

2.1.2. Yüzeysel temel taşıma gücü hesabı

Zemin Ortamlarda Taşıma Gücü Hesabı (Terzaghi 1943)

Sürekli bir temel için;

$$Qu = K1\ c\ Nc + \gamma 1\ Df\ Nq + K2\ N\gamma\ B\gamma \quad (2.1)$$

kg/cm^3

K1, K2 : Temel tabanı geometrisine bağlı katsayılar

Kumlu Siltli Kil Birimi İçin Taşıma Gücü Taşıma gücü; Terzaghi formülünden yararlanılarak hesaplanmıştır.

Tablo 2.2. Zemin emniyet gerilmesi hesabı

Qu = K1cNc+γ1DfNq+K2NγBγ2 kg/cm2	Sk-6
K1 (temel tabanı geometrisine bağlı katsayılar)	1,15
K2 (temel tabanı geometrisine bağlı katsayılar)	0,43
c (temel zeminin görünür kohezyonu	4,50 ton/m^2
İçsel sürtünme açısı	6,21 derece
Df temel derinliği	1 m
γ1 (Birim hacim ağırlık)	1,857 ton/m^3
γ2 (Birim hacim ağırlık)	1,857 ton/m^3
B temel genişliği	9,6 m
Nc taşıma gücü faktörleri	7,5
Ny taşıma gücü faktörleri	0,7
Nq taşıma gücü faktörleri	1,8
qs güvenlik katsayısı	3
qd taşıma gücü	47,33 ton/m^2
Güvenli taşıma gücü	1,57 kg/cm^2

2.1.3. Derin temel mühendislik parametreleri

Yapılan 8 adet sondaj, sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri, alınan karotların incelenmesi ve yapılan yeraltı suyu seviyesi ölçümleri neticesinde, zeminin durumu, karakteristikleri ile zemin ve mühendislik parametreleri belirlenmiştir.

Birim karakteristik özellikleri göz önüne alınarak birim katı - çok katı kil olarak kabul edilerek mühendislik parametreleri bu şekilde tayin edilerek aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 2.3. A1-P1-P2-P3-P4-P5 ayaklarında yapılan SK-4, SK-5, SK-6 sondaj verilerine göre

Derinlik	SPT-N	c (kpa)	ϕ(°)	LL %	PL %	PI %	Kum %	Silt+Kil %
0,0-12,0 m	10	80-100	6	53,9 - 65,7	25,4 - 28,8	28,5 - 36,9	4,23 - 13,85	86,15 - 95,77
12,0-30,0 m	35	100-120	7					

Tablo 2.4. P5-P6-P7-P8-P9-A2 ayaklarında yapılan SK-1, SK-2, SK-3 sondaj verilerine göre

Derinlik	SPT-N	c(kpa)	$\phi(^0)$	LL %	PL %	PI %	Kum %	Silt+Kil %
0,0-21,0m	10	80 -100	6	53,9-65,7	25,4-28,8	28,5-36,9	4,23-13,85	86,15-95,77
21,0-30,0m	30	100 - 120	7					

Tablo 2.5. Üstgeçit köprüsü birleştirilmiş zemin parametreleri

Derinlik	SPT-N	c(kpa)	$\phi(^0)$	Adhezyon	D.Yk.(Kd) KN/m^3	Y.Yk.(Ky) KN/m^3
0,00 - 9,00	10	80-90	6	0,5	18000	12000
9,00 - 21,00	20	90-100	6	0,5	24000	18000
21,00 - 30,00	30	100-120	7	0,5	30000	20000

Seçilen bir arazide yapılacak olan köprülü kavşağın temellerinin oturduğu zeminler göz önünde bulundurulduğunda temellerin derin temel olarak tasarlanması uygun görülmüştür. Derin temel olarak seçilmesinde şu değerlendirmeler göz önüne alınmıştır.

Köprü temellerinin yüzeysel temel olarak tasarlanması düşünüldüğünde, kil birimine oturan temellerin yükleri karşılamadığı görülmüştür.

Proje alanının üst seviyelerinde 1,50 – 3,00 m arasında değişen kalınlıkta yapay bir dolgu tabakasının bulunması,

Temel birimin oturduğu zeminlerin farklı taşıma gücüne sahip olmasından dolayı statik ve deprem yüklerine karşı bir bütünlük oluşturmak,

Zemin üzerinde oluşacak yükler karşısında farklı noktalarda oluşacak oturmaları en aza indirgemek ve aynı miktarda oturmanın gerçekleşmesini sağlamak,

İnceleme alanının 1. Derece deprem bölgesinde bulunması,

Köprünün tamamında rijitlik ve geometri bakımından farklılıkların olmaması ve yüklerin daha düzgün dağılmasını sağlamak.

Yukarıda belirlenen koşullar göz önüne alındığında temellerin kazıklı temel olarak tasarlanması uygun bulunmuştur.

2.2. İyileştirme Yöntemlerinin Arazide Uygulanması

2.2.1. Fore kazık

2.2.1.1. Çalışma sahasının hazırlanması

İnşaat sahasında makine ve personelin verimli çalışarak planlanan günlük imalat miktarlarının yapılabilmesi ve imalat kalitesine ulaşılabilmesi için yollar düzgün ve kuru tutulur. Delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve ağır iş makineleri inşaat sahasında batmadan çalışmalarına imkân sağlayacak biçimde düzeltilip, sıkıştırılır. Dolgular delme işini zorlaştırmayacak uygun malzemelerle yapılır.

Çalışma sahasında drenaj sistemi tesis edilerek platformun kuru kalması sağlanır. Foraj artığı malzemeler ve yer altı suyu sürekli olarak sahadan uzaklaştırılarak çalışma sahasının bozulması önlenilir. Çalışma sahasına gerekli enerji kaynakları emniyet tedbirleri alınarak ulaştırılır. İnşaat sahasında fore kazık ekibinin kalacağı yer güvenli ve yapılacak işe hakim bir mekana seçilir.

2.2.1.2. Yeraltı ve yerüstü engellerin kaldırılması

Yer altında ve üstündeki altyapı kanalları, PTT, elektrik kurumlarına ait kablolar ve metro ve petrol hatları gibi delmeyi zorlaştıran beton ve çelik gibi engellerin için resmi kuruluşlara yazılı tespit yaptırılarak işveren tarafından kaldırılması sağlanılır.

2.2.1.3. Kazıkların yerleştirilmesi ve imalatı

Kazıkların zemine işaretlenmesi işverenin uzman ölçüm ekibi tarafından yapılır. Kazıkların planda, düşeyde ve eğimindeki sapma miktarları toleransları aşamaz Bu amaçla. Kesişen kazık uygulamalarında muhakkak kazık şablonu kullanılmalıdır. Bir kazık bitiminden en az 24 saat geçmeden zayıf zeminde 3 çap, muhafaza borusuna gerek duyulmayan sıkı zeminde 1 çap çevresinde delgi yapılmayarak, imalat atlamalı olarak sürdürülür.

2.2.1.4. Delgi işleri

Genel Delme, yerinde dökme, betonarme, Ø65-150cm çaplarında kazıkların delme işlemi, yüksek tork kapasitesine sahip kendi boru sürebilen, teleskobik kuleli hidrolik delgi makineleri ile yapılır.

Delme kil matkabı ile yapılacak, sert tabakaların geçilmesinde kaya matkabı ve gevşek sulu zeminlerde gerekirse muhafaza boruları kullanılır. Kayadaki soket boyu için projesinde standartlara uygun olarak belirlenmiş gelen yükleri taşıyabilecek soket boyu kontrol edilerek uygulanır. Proje müellifinin öngördüğünden daha zayıf veya daha sert, farklı bir zeminle karşılaşılması durumunda, zemin sınıflarının derinliğe göre değişimini gösteren kuyu logu doldurulacak ve gerekli düzeltmeler yapılır. Delmeye, gerekli proje derinliğine ulaşıncaya dek, seçilen yöntemlerle devam edilir.



Şekil 2.1. Muhafaza borusu ile delme işlemi

Kendini tutabilen zeminlerde kaplama borusuz delgi işlemi tamamlanır. Donatı kafesi kuyuya indirilir ve tremi borusu yardımıyla beton dökümü yapılır. Kendini tutamayan ve bentonit ile beton dökümünde sakınca görülmeyen yerlerde kuyu bentonitle sıvanır ve muhafaza borusuz delgi işlemi tamamlanır. Bentonitli kuyularda beton dökümünde bentonitin tamamen kuyudan çıkartılması sağlanır. Muhafaza borularının, aşağıda belirtilen durumlarda kullanılması gereklidir.

- Yeraltı suyunda akıntı bulunuyorsa veya artezyen (hareketli su) yapıyorsa, betonun yıkanması ve agregasından ayrılma tehlikesi olduğunda; Kazıkların yumuşak ve çökme tehlikesi olan zemin katmanlarının içinde bulunduğu durumlarda;

- Zemin özelliklerine ve zeminin kendini tutabilme yeteneğine göre gerekmediği takdirde veya alternatif delme yöntemleri seçilerek muhafaza borusu kullanılmaz. Kullanılan beton miktarının hesabında, muhafaza borularının iç ve dış çap (Ø670/750mm, Ø800/880mm, Ø920/1000mm) ölçüleri dikkate alınmalıdır.

Muhafaza borularının zemine indirilmesi ve geriye çekilmesi delme işlemi, yer altı su seviyesinin üstünde bile olsa, çelik boruların zemine inişi, boru içi malzemenin dışarı çıkarılmasından önde gidecektir ve boru alt ucu her zaman delme kotu altında bulunacaktır. Geçici muhafaza boruları dökülen betonun işlenebilirliğini kaybetmeden önce çıkartılır, ancak betonla boru arasında "sarılma (necking)" ya meydan verilmemesi için muhafaza borusu çekilirken betonun eklenmesine de devam edilir. Her an boru içinde yaklaşık 2m yüksekliğinde taze beton kalmalıdır. Ancak muhafaza borulu çalışmada "sarılma" ya izin verilmemesi kaygısıyla kuyu boyunca beton doldurulup daha sonra muhafaza borularının çekilmesi yoluna kesinlikle gidilmez. Muhafaza boruları her biri içinde yaklaşık 2m yüksekliğinde beton kalacak şekilde birer birer çekilerek zeminin muhafaza borusunu sıkması dolayısıyla makinenin muhafaza borusunu çekme zorluğu yaşamasına izin verilmez.

Yeraltı su seviyesi altında delgi yapılırken, delgi içindeki su seviyesi devamlı olarak yüksek tutularak, kuyudan boşaltılan zeminin basıncı yer altı su seviyesinin üzerinde tutulan su basıncıyla karşılanır. Özellikle ince kumlu ve milli zeminlerde, delgi aletleri kuyunun dışında iken, kuyudaki su seviyesi yeraltı su seviyesinin yaklaşık 2m üstünde olacaktır ve bu farklı su seviyesi bütün delgi süresince temin edilir.

Delgi işi yapılırken basınçlı yer altı suyu tabakası delinmesi bekleniyorsa, muhafaza borusu, bu tabakaya ulaşmadan önce en yüksek artezyen basıncını karşılamaya yeterli basınçtaki su ile doldurulacaktır. Artezyen su basıncının olup olmadığı konusunda herhangi bir tereddüt varsa delme yüksek su sütunu ile yapılacaktır. Artezyen üst seviyelerde ise, o bölüm muhafaza borusu ile geçilebilir. Ayrıca bentonitli delgi yapılabilir.

Bentonit Çamuru kendini tutamayan zeminlerde ,Bentonit tozu, su ile tamamen karıştırılacak ve 12 saat bekletilecektir ve ayrı bir yerde dinlendirilir. Bentonit çamurunda kullanılacak bentonit tozu, kazık deliği çeperinin duraylığını sağlayacak miktarda ve tercihen ağırlıkça %5 nispetinde olmalıdır. Gerekli görüldüğü takdirde katkı maddeleri de kullanılabilir

Bentonit çamurunun kalitesi, viskozitesi ve aşağıda belirtilen parametreler deneyler ile kontrol edilir. Kullanılmamış Bentonit Çamuru: Yeni karıştırılmış bentonit çamurunun yoğunluğu her iş günü ölçülür. Ölçümler 0,01 kg/m^3 hassasiyetle yapılacaktır. Taze karıştırılmış bentonit çamurunun yoğunluğu en fazla 1,08 kg/m^3 olacaktır. Kazık Deliği İçine Pompalanan Bentonit: Delik içine doldurulan bentonit çamurundan alınan numuneler üzerinde gerekli kalite kontrol deneyleri gerçekleştirilir. Mursh hunisinde 35-41s viskozite iyi bir değerdir. Kuyudan çıkan bentonitin iki havuzda çökeltilmesi veya kum ayrıştırıcısından geçirilerek arındırılması yararlı olmaktadır.

Bentonitin ve çalışma esnasında oluşan çamurun, şantiyenin geneline yayılmaması ve imalat yapılan alanda tutulması için tüm önlemler alınır. Tekrar kullanılmayacak bentonit çamuru şantiyeden derhal uzaklaştırılır.

2.2.1.5. Donatı kafesi hazırlanması ve indirilmesi

Betonarme demirlerin üretici firmasından üretim ve çekme deney sertifikası alınır.

Demirler kazık lokasyonlarına yakın bölgede gerekli şablonlar kullanılarak, kaldırma esnasında dağılmaması için iç halkaları ile kafes haline getirilir.

Donatı kafesinin kirlenmemesi için donatı montaj sahası ve foraj sahası temiz tutulur.

12 m'yi geçen kafeslerin eklenmesi için bağ teli kullanılacak, donatı kafesinin çok ağır ve uzun olması halinde bağlantı kaynakla veya gerekirse klemens gibi bağlantı elemanıyla yapılır.

Hazırlanan donatı kafesi beton pas payı takozları ile teçhiz edilip, servis vinci kullanılarak, kafesin dağılmaması için doğru yerinden yavaşça kaldırılıp taşınacak ve kuyulara indirilir.

Kuyulara indirilen donatının, üst yapı için gerekli filiz boyu kadar dışarıda kalmasına dikkat edilecek, donatı kaçmasına hiçbir şekilde izin verilmez.



Şekil 2.2. Donatı kafesinin indirilmesi

2.2.1.6. Kazıkların betonlanması

Delme işlemi biter bitmez hemen donatı yerleştirilerek kısa sürede, en geç aynı gün beton dökümüne geçilir. Hemen betonlanmaya imkân bulunmadığı durumlarda geçen süre içinde kazık tabanında bir şişme olur ve donatı kafesini zemin yukarı iterse, donatı çıkarılarak, yeniden delik içi tarama ve kazık içi temizliği yapıldıktan sonra beton dökümü gerçekleştirilecektir. Şişme riski olması halinde tabanın, şişme derinliği kadar fazla delinebilir.

Donatı kafesinin kuyulara indirilmesini takiben 20cm çapındaki, hunili betonlama borusu servis vinciyle kuyu içine indirilecek ve betonlama, boru yardımıyla yapılarak betonun ayrışması önlenecektir.

Betonlama borusu aşağıdaki şartları sağlanır:

· Boru çeperleri temiz, eğilme ve burkulmalara dayanabilecek mukavemette olur.

· Ek yerleri su sızdırmaz olacak ve kalın dişli manşonlar kullanılır.

- Betonlama başlamadan önce tremi borusu 1 m kadar kuyu tabanında yukarı çekilir.

Betonlama borusu ile çalışmada kuyu başında betonun yüksek slamplı olması (katkılı betonda 16-18 cm değerine sahip) ve prize başlama süresi ise minimum 3 saat olmalıdır.

Betonlama, beton pompası veya doğrudan boşaltma ile sürekli bir şekilde yapılır. Döküm hızı en az 15 m^3/saat olacak şekilde deliğe doldurulur. Daha düşük hızlarda dökülen beton boruda birikinti yapacağından beton hızının sabit tutulmasına özen gösterilir. Yeraltı suyunun veya bentonit çözeltisinin betonla karışmasını önlemek için betonlama borusu sürekli ve en az 1 m beton içinde kalır.

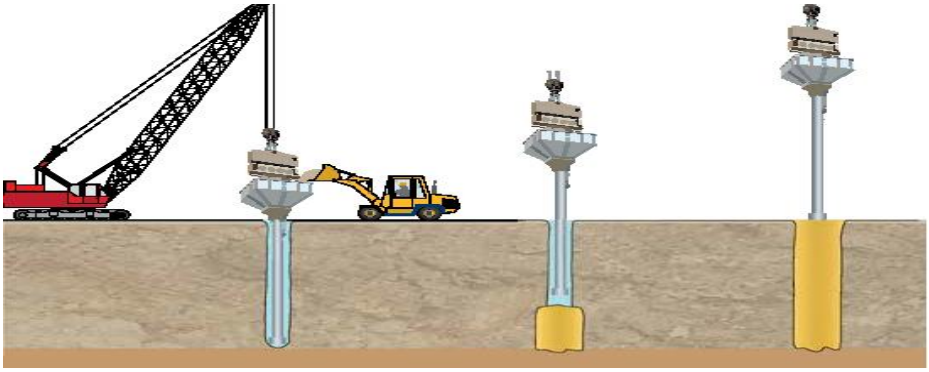
Beton kuyu içinde yükseldikçe, betonlama borusu parça parça kısaltılacak ve betonlama işlemi kuyu ağzından temiz beton gelene dek devam ettirilir. Betonlama bittikten sonra, beton taze iken kazık üst kotuna göre tesviye edilir.



Şekil 2.3. Betonlama işlemi

2.2.2. Taş kolon

Bu sistemde kullanılan çakıl boyutu vibro flot'a kullanılan çakıla göre daha kaba olabilir. Kaba ince malzeme karışık kullanılabilir. Malzemeden dolayı tıkanma ya da akış problemleri yaşanmaz. Temel olarak zemine kapalı boru sürüldüğünden zeminde yanal sıkışma sağlanır. Sistem bir boru, besleme kovası ve vibrodan oluşur. Bu yöntemde, alt ucu klepe veya zincir ile kapatılmış olan boru, zemin içine itilerek sokulur.



Şekil 2.4. Taş kolon uygulama yöntemi



Şekil 2.5. Taş kolon sahada uygulaması

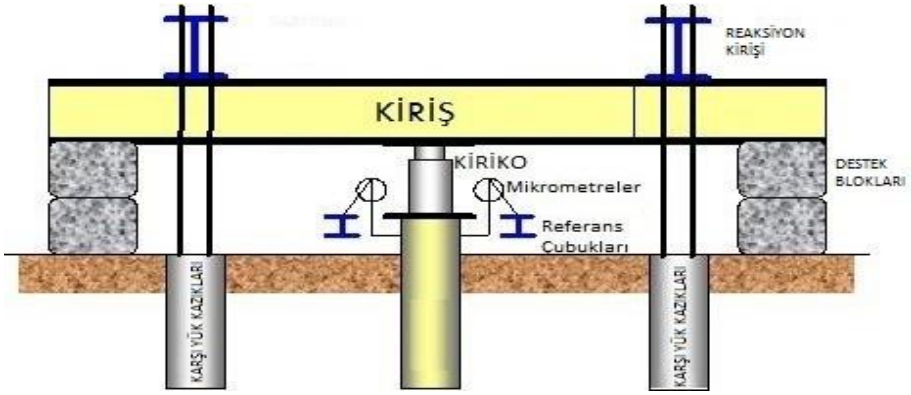
Proje kolon boyuna göre boru uzunluğu ayarlanır. Boru, sadece alt ucunda 25-30 cm yüksekliğinde ikinci bir halka ile genişletilir. Sistemin en üstünde çakıl besleme kovası vardır. Tüm bu sistem bir vibro çakıcıya bağlanarak, dikey doğrultuda zemine itilir. İstenen derinliğe inildikten sonra ya da boru itme aşamasındayken kovaya çakıl doldurulur. Boru yukarı çekildiğinde, borunun alt kapağı açılarak çakıl akışı başlar. Yukarı aşağı hareketler ile çakıl zemin içinde yatay olarak sıkıştırılır ve istenilen çapa ulaşana kadar işlem devam ettirilir. Bu işlem kolon boyunca yukarı doğru devam ettirilir. Kovaya çakıl ilavesi sürekli olarak yapılabilir. İstenilen çap oluşturulduğu, kalite kontrol ve kullanılan çakıl miktarı dikkate alınarak kontrol edilir. Boru çapından dolayı çap oluşma problemleri minumumdadır. Çok zayıf taşıma drenci düşük zeminlerde, taşıma direncini yükseltmek amacıyla belirli özelliklerde çakıl veya kırma taş ile kolon oluşturma tekniği kullanılır. Taş kolonlar zemin içine taş malzemenin dik olarak yerleştirilmesi ve sıkıştırılması ile oluşturulur.



Şekil 2.6. Taş kolon sahada uygulaması

2.3. İyileştirme Sonrasında Yapılan Kontrol Deneyleri

2.3.1. Kazık yükleme testi



Şekil 2.7. Kazık yükleme deney şeması

Kazık yükleme deneyleri, kazıkların taşıma kapasitesini ve yük-oturma davranışını belirlemek amacıyla yerinde yapılan bir uygulamadır.

Deney sistemi:

Test Kazığı, Karşı yük (Reaksiyon kazıkları), Hidrolik kriko, Kiriş, ve komparatör (mikrometre) den oluşmaktadır.

2.3.1.1. Düşey kazık yükleme deneyi

Kazık yükleme deneyi ASTM-D 1143'e uygun olarak yapılır. Deneyin amacı; uygulanan statik yüklere karşı verilen tepkinin belirlenmesidir.

2.3.1.2. Yük uygulama yöntemleri

Uygulanacak düşey basınç yükleri, yük miktarına bağlı olarak iki sistemle yapılabilir.

a-) Ölü yük (beton blok, inşaat demiri vb.) kullanılarak

b-) Çekme kazıkları kullanılarak,

bahsedilen yöntemlerden biriyle elde edilen düşey deney yükü hidrolik kriko veya krikolarla deney kazığına eksentrisite meydana getirmeyecek şekilde uygulanır. Hidrolik kriko, elektrikli pompa ve manometreden oluşan yük uygulama sistemi kalibre ettirilir.

Deney kazığı imalattan sonra üst kısmında zayıf beton varsa kırılıp temizlenir ve yeni bir betonarme kazık kafası oluşturulur. Kazık kafası üstüne yükü eşit dağıtmak için uygun kalınlıkta sac plaka ve uygulanacak yüke göre yeterli sayıda hidrolik kriko konulur.

Deneyde kullanılan tüm reaksiyon kirişleri, çekme kazığı kiriş bağlantı elemanlarının, uygulanan basınç ve çekme yüklerini karşılayabilecek ebatlarda olmasına dikkat edilmelidir.

Çekme kazıklarında uygun yeterli sayıda donatı kullanılır. Bu donatılarla reaksiyon kirişleri arasındaki bağlantı yeterli kaynak yapılarak oluşturulur.

Ölü yük kullanılarak test yapıldığında kullanılan ölü yük, deney yükünün %10 fazlası olup, deney yükünün uygulanması sırasında sistemin stabilitesine dikkat edilir.

2.3.1.3. Deformasyon (oturma-kalkma) ölçüm, cihaz ve yöntemleri

Deney kazığının deformasyonları, kazığın iki tarafına yerleştirilen ve kazıktan en az 2,50m mesafeye mesnetlenen referans kirişlerinden ölçülür. Referans kirişleri, rijit çelik kirişler olup kirişin bir ucu sıcaklık değişimlerinden dolayı oluşacak uzunluk değişimi nedeniyle hareketli mesnet yapılır.

Deney kazığının deformasyonları kazığın iki tarafındaki referans kirişlerine yaslanan 2 veya 4 adet hassas mikrometreler ile ölçülür. Mikrometrelere ilave olarak deney kazığına ve çekme kazıklarına cetvel yerleştirilip optik ölçüm yapılabilir.

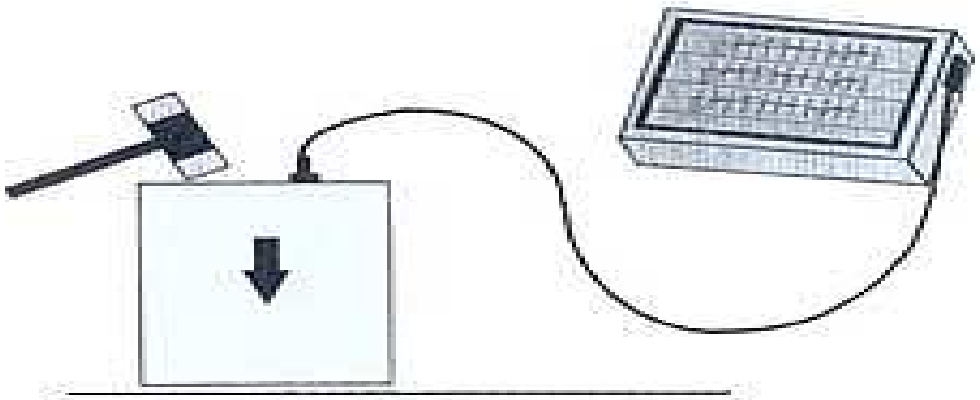
2.3.1.4. Standart yükleme prosedürü

Göçme durumu oluşmazsa tekil kazıklar beklenen kazık dizayn yükünün %200'üne kadar, kazık grupları ise %150'sine kadar yüklenir. Yük kademeleri dizayn yükünün %25'i kadardır. Her yük kademesinde oturma hızı 0,25mm/saat 'in altına düşene kadar fakat 2 saatten fazla olamamak üzere yük sabit tutulur. Kazık veya kazık grubunda göçme meydana gelmemesi ve bir saatlik oturmanın 0,25mm'den fazla olmaması durumunda toplam yük 12 saat sonra kaldırılır, bu durum gerçekleşmezse toplam yük 24 saat kazık veya kazık grubuna uygulanır. Gerekli bekleme zamanından sonra, %25'lik kademeler ve 1'er saatlik beklemelerle toplam yük boşaltılır. Kazıkta göçme olması durumunda göçmenin oluştuğu yük kademesinde kazık ortalama çapının %15'i kadar oturmalara izin verilir ve boşaltmaya geçilir.

2.3.1.5. Çevrimli yükleme prosedürü

Deney yüklerinin ilk uygulaması 2.3.1.2.'deki gibi olmalıdır. Tekil kazıklar için uygulanan yük toplam kazık dizayn yükünün %50, %100 ve %150'si; kazık grupları için %50 ve %100'ü kademelerinde yük 1 saat tutulur ve arttırma kademesiyle aynı oranda, her kademede 20dk beklenerek boşaltılır. Tüm yük boşaltıldıktan sonra %50 kademesine kadar, her kademede 20dk beklenerek tekrar yüklenir. Daha sonra ilave yük 2.3.1.2'e göre tekrar yüklenir. Gerekli toplam deney yükünün uygulanmasının ardından yük 2.3.1.2 'e göre tutulur ve boşaltılır.

2.3.2. Kazık süreklilik testi



Şekil 2.8. Kazık süreklilik testi şeması

Jet Grout kolonu fore kazık gibi yeraltı yapılarını bütünlük deneyi (Pile Integrity Test) sayesinde kontrol etmek mümkündür. Böylece zemini açmadan yeraltındaki imalatın konumu ve problemleri belirlenebilmektedir. Bütünlük deneyi, problemleri belirlemede hızlı ve daha az masraflı bir yöntemdir. Bütünlük deneyi karotlu sondaj, kazı araştırması gibi zaman alıcı ve masraflı yöntemlerle karşılaştırıldığında, çabuk ve daha az masraflı sonuçlar sunar.

Kazık süreklilik deneyinde, kazığın ya da jet grout kolonunun üst kesimine küçük bir çekiç ile vurarak yine kazık, ya da jet grout kolonu üstüne yerleştirilmiş olan ivme ölçerlebir yansıma sinyali kaydı esasına dayanır. Kazığın yanıtı hemen ekranda görüntülenebilir ve analiz için bellekte depolanabilir. Deney için gidilen şantiyede şantiye yetkilisinden kazık boyu, çapı, beton cinsi, zemin bilgileri,varsa çalışma sıkıntıları, imalat yapım yöntemi, muhafaza borusu, bentonit vb. gibi ön bilgiler alınır. Kazıkların birbirine ilintisiz yani tekil olması istenir.

Bütünlük deneyinde sistemin ilkesi gereği her kazık için üç ayrı kayıt alınır. Deneyden elde edilen sonuçların yorumunda; zemin yapısı, kazık tasarım özellikleri ve kazık imalat yöntemi göz önüne alınmalıdır.

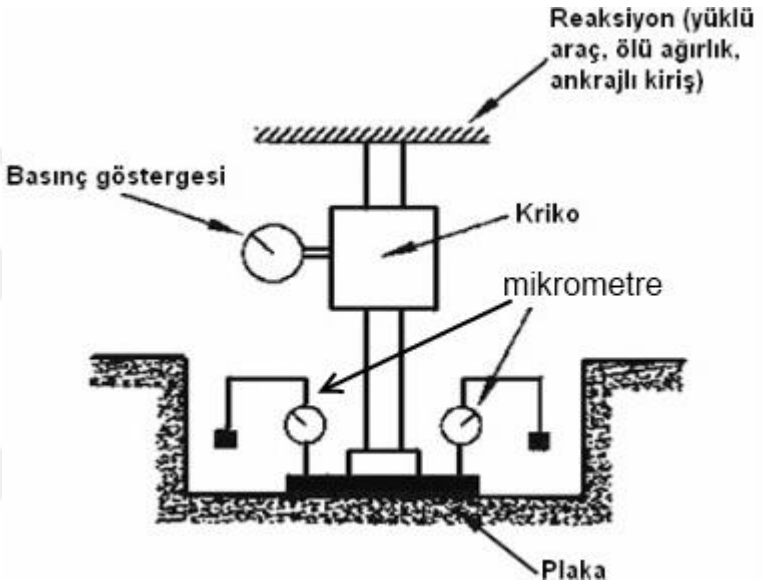
Bütünlük deneyinin genel avantajları:

- Uygulama kolay, hızlı ve ucuzdur. 100'lerce kazık bir günde test edilebiliyor
- Ulaşılan herhangi bir kazıkta test uygulanabilir.
- Bozukluklar ön safhalarda ve çabuk keşfedilebiliyor

Bütünlük deneyi ile belirlenemeyen konular:

- Taşıma kapasitesi tahmin etmez
- Küçük bozukluklar kolaylıkla görülmez (Çeliğin belli yerlerinde üst tabakada kayıp ve küçük katılımlar meydana gelmektedir.)
- Çok uzun ve çok yüksek sürtünme alanlı kazıklar için uzunluk zor belirlenir.
- Kazık ucundaki çöküntü belirlenemez.

2.3.3. Plaka yükleme testi



Şekil 2.9. Plaka yükleme deneyi şeması

Plaka yükleme deneyi zeminin taşıma gücü belirlemek için yapılan bir arazi deneyidir. Bu test temel olarak temel seviyesinde çapı 30-75 cm olan dairesel çelik levhayı yüklemek ve her bir yük artımına tekabül eden oturma miktarının belirlenmesinden ibarettir. Deney sonucunda elde edilen oturma-yük eğrisi yardımı ile zeminin taşıma gücü hesaplanır. Yük altında zeminin taşıma kapasitesi ve zemin davranışı hakkında bilgi verir. Uygulaması kolay ve hızlıdır.

Modellenen deneyin gerçek temel boyutundan çok küçük olması nedeniyle plakanın zeminde oluşturacağı gerilme zonu gerçek temelin oluşturacağı gerilme zonuna göre çok küçük olması beklenir buda çok katmanlı zemin tabakalarında sorun yaratabilir. Dikkat edilmesi gerekir.

Bir plaka uygulanan yük ile birlikte plakanın yapacağı oturmanın ölçülmesine dayanmaktadır. Deney hem sığ derinliklerde hem de bir şaft içerisinde veya sondaj tabanında uygulanabilir.

Plâkanın yüklenmesi için çeşitli düzekler kullanılabilir. Plâka ya doğrudan veya bir yerden hidrolik kriko (veren) ile tepki (reaksiyon) alınarak yüklenebilir. Plâka yatay olmalı ve zeminle teması İyi olacak şekilde oturtulmalıdır. Zeminle iyi teması sağlamak üzere, plakanın oturacağı alan dikkatlice düzeltilir ve üzerine ince bir kum tabakası serilir.

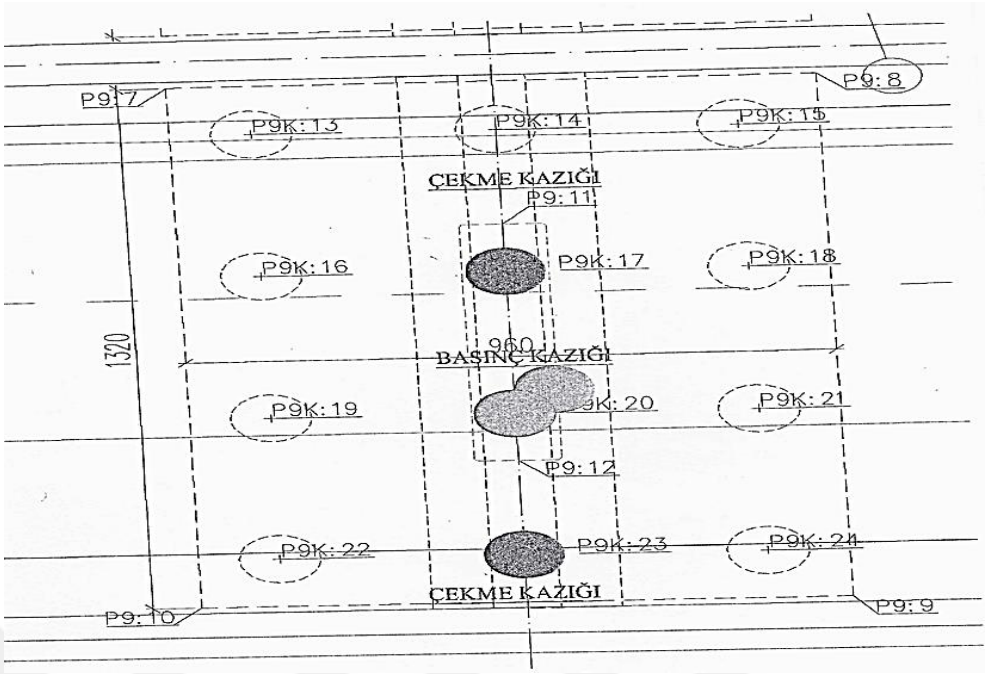
Yükleme adım adım yapılır. Bir adım, tahmin edilen plâka emin taşıma gücünün 1/5 i veya plâka sınır taşıma gücünün 1/10 u mertebesinde seçilebilir. Plakanın oturmaları, plâka yüklenmesinden etkilenmeyecek uzaklıktaki noktalara oturan bir kirişe takılan İki yer değiştirme veya deformasyon ölçme saati (mikrometre, komparametre, dial gauge) Üç ölçülün Yer değiştirme ölçme saatleri, plaka ortasına göre, simetrik ve karsı yerlere oturtulmalıdır. Böylece, deney sırasında plakanın yataya göre dönmesi de izlenebilir. Saatlerin okumalarının ortalaması plâka oturması olarak alınır. Saatler en az 0,02 mm duyarlıkta olmalıdır.

Her yükleme adımında 1,4,10,20,40,60 dakikalarda ve daha sonra birer saat ara ile oturma değerleri kaydedilir. Her adımda, oturmalar pratik olarak sona erinceye kadar (yaklaşık saate 0,02 mm den az) oturma gözlemlerine devam edilir. Bundan sonra diğer yük artışına geçilir. Böylece yüklemeye, sınır taşıma gücüne veya plâka emin taşıma gücünün 2-3 katına kadar devam edilir. Deney sonunda oturma-yük-zaman ilişkisi çizilir.

2.4. Arazi Çalışmasından Elde Edilen Sonuçlar

2.4.1. Arazide yapılan fore kazık yükleme testi

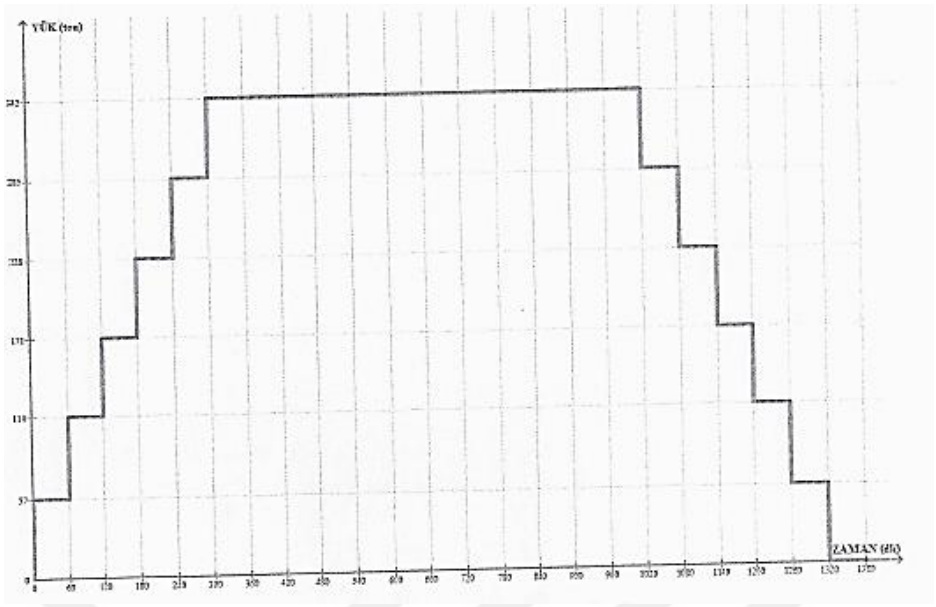
Ø 120 cm çapında 40 m boyundaki P9K20 nolu fore kazık üzerinde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kazıklar için proje yükü 228 ton'dur. Kazık yükleme deneyi proje yükünün % 150' si olan 342 ton olarak belirlenmiştir. Deney sırasında deney kazığının etrafında bulunan P9K17 ve P9K23 nolu kazıklar, çekme kazığı olarak kullanılmıştır. Bu kazıklardan alınan reaksiyon kuvveti ile deney kazığına basınç yükü aktarılmıştır. Çekme kazıkları da deney kazıklarıyla aynı boy ve çapta imal edilmiştir.



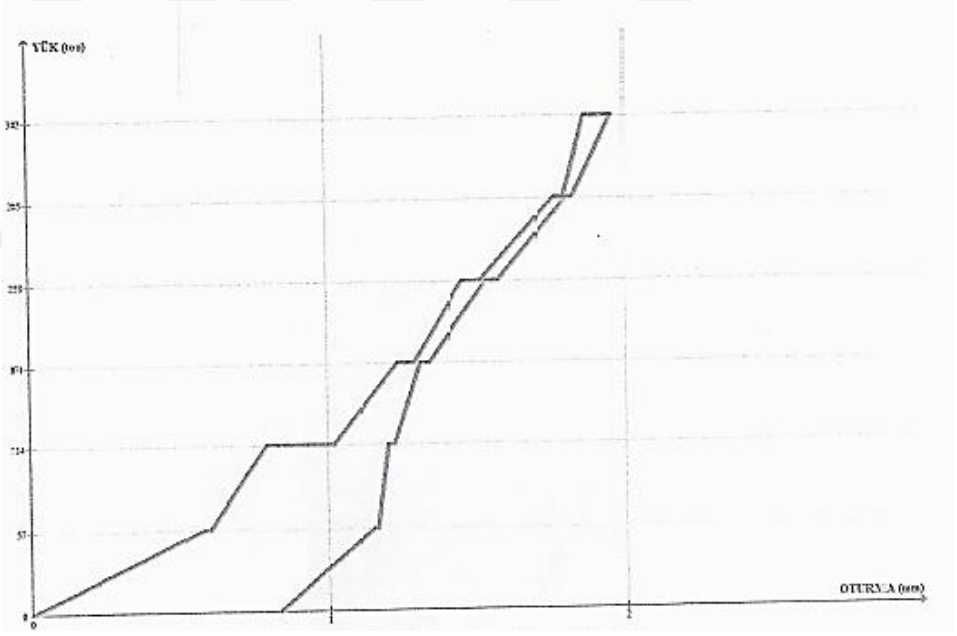
Şekil 2.10. Kazık yerleşim planı

Deney kazığına yük 6 kademe halinde ve her bir kademe 57 ton olarak tatbik edilmiştir. Her kademede 1 er saat beklenerek okumalar yapılmıştır. Deney yükü olan 342 ton yüke ulaşınca okumalar alınarak 12 saat beklenmiştir. Bundan sonra boşaltmaya geçilmiştir. Boşaltma işlemi için her bir kademede 1 saat beklenerek 6 kademede yük boşaltılmıştır. Yük sıfırlanmış iken 1 saat beklenerek okuma değeri alınmıştır. Ölçümlerin alındığı referans kirişi çekme kirişlerinin dışında ve 1 kenarı sabit 1 kenarı kayıcı olarak mesnetlendirilmiştir. Yükleme ve beklemeler sırasında standartlarda belirtilen aralıklarla okumalar alınmıştır. Deplasmanların 0,25 mm/saat oturma kriterini sağladığı da görülerek yük boşaltma işlemine geçilmiştir. Deney toplam 23 saat sürmüştür. Çekme kazıklarında hiçbir hareket oluşmamıştır.

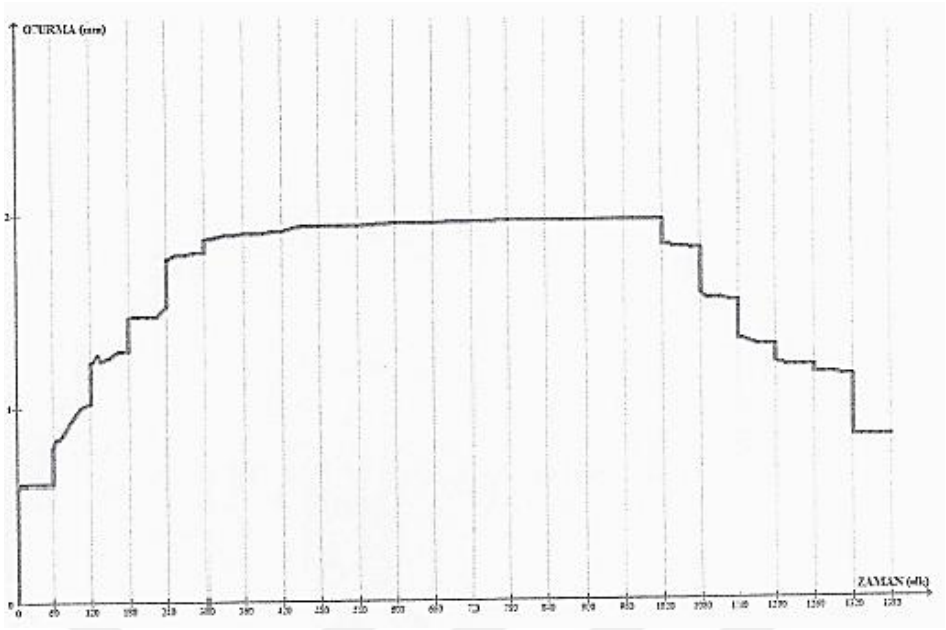
Yükleme deneyi sırasında alınan okumalar ve deney sonuçlarına göre çizilen yük-zaman, yük - deplasman ve deplasman – zaman grafikleri aşağıda verilmiştir. Buna göre maksimum yükte oluşan oturma değeri 1,96 mm ve yük boşaltımından sonra oluşan nihai kalıcı oturma değeri 0,83 mm olarak ölçülmüştür. Oturma kriteri olan 1 saatlik zaman diliminde 0,25 mm den az deplasman olması şartı sağlanmıştır.



Şekil 2.11. Yük – zaman grafiği



Şekil 2.12. Yük – oturma grafiği



Şekil 2.13. Oturma – zaman grafiği

2.4.2. Arazide yapılan fore kazık süreklilik testi

Seçilen arazide P7 aksında imal edilmiş olan Fore Kazıklar üzerinde kazık kesitinde çeşitli nedenlerle ortaya çıkabilen süreksizlikleri belirlemek amacı ile süreklilik deneyi yapılmıştır.

Süreklilik deneylerinden elde edilen sonuçlar imal edilen fore kazık boyu ve kazık taşıma kapasitesi hakkında çok açık bilgi vermemekle birlikte, süreklilik deneyi ile fore kazık kesitinde saptanabilen kesit değişimleri ve kırıklar, taşıma kapasitesini doğrudan etkileyen unsurlardır.

İmal edilen kazıklardan 12 adedi üzerinde kalite kontrol yapılması kazıklarda imalat esnasında meydana gelmiş olabilecek herhangi süreksizlik veya kesit değişimlerinin bulunup bulunmadığının tespiti amacıyla süreklilik deneyleri yapılmıştır. Deneyin yapıldığı her bir kazıktan kayıt alınmış, elde edilen kayıtlar incelenerek değerlendirmeler ve sonuçlar aşağıda grafik olarak verilmiştir.

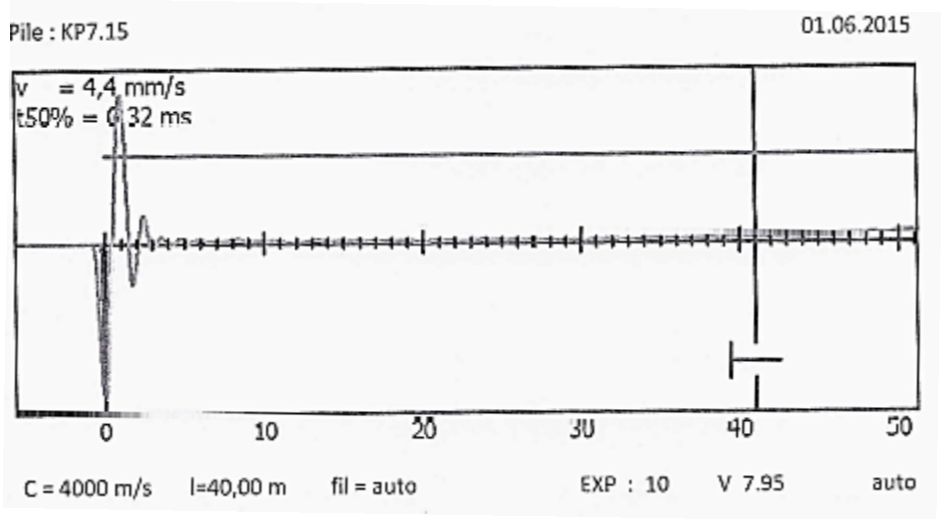
İmal edilen fore kazıkların 12 adedi üzerinde süreklilik deneyi yapılmıştır. Her deney kazığı üzerinde çok sayıda deney gerçekleştirilmiştir, bunlar sahada kaydedilmiş ve deney sonuçlarının değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen her bir kazığın grafiği toplu olarak verilmiştir.

Saha için bulunan ortalama sinyal her kazık için alınan kayıtlar ile karşılaştırıldığında; tüm kayıtların bölgenin karakteristik sinyali ile uyumlu olduğu görülmekte ve kazıklarda herhangi bir yapısal sorun görülmemektedir.

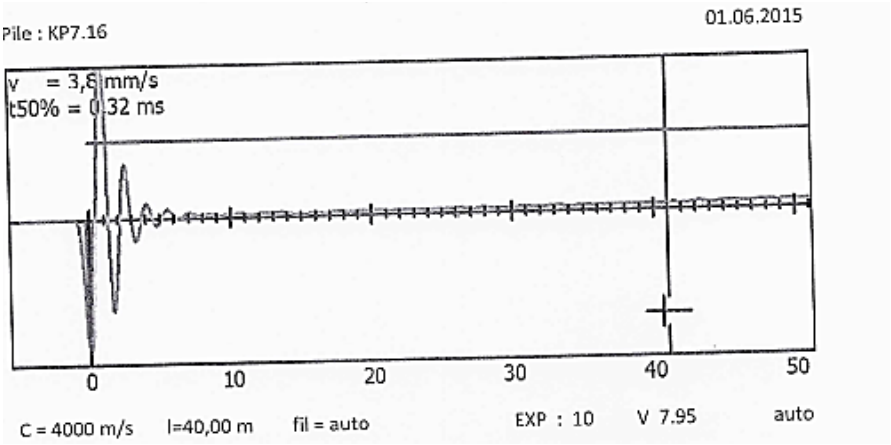
Sinyallerin incelenmesi sonucu sahadaki bazı kazıklarda özellikle kazık üst kısmında kazık kesitinde genişleme belirlenmiştir. Fore kazıklarda meydana gelen genişleme şeklindeki süreklilik taşıma kapasitesini olumlu şekilde etkileyen bir unsurdur. Bu durum kazık başlarındaki betonun tam olarak kırılıp zemin seviyesine getirilmemesinden ve üst kotlarda mevcut olan dolgu zeminden kaynaklanabilmektedir. Bununla beraber deney yapılan kazıklarda daralma şeklinde süreksizliğe rastlanmamıştır.

Derinlik boyunca zemin tabakalarında meydana gelen değişimlerin süreklilik sonuçlarında etkisi olduğu bilinmektedir. Bu sebeple, kayıtlarda görülen küçük sapmalar, bu metrelerde değişimi gösteren zemin yapısından kaynaklanmaktadır. Kazık boylarında görülen farklılıkların nedeni, kazık boylarının ölçülmesinde yararlanılan titreşim dalgasının, ilerleme hızının her bir fore kazık için kesin olarak belirlenememesinden, yaklaşık hız değeri kabul edilmesindendir.

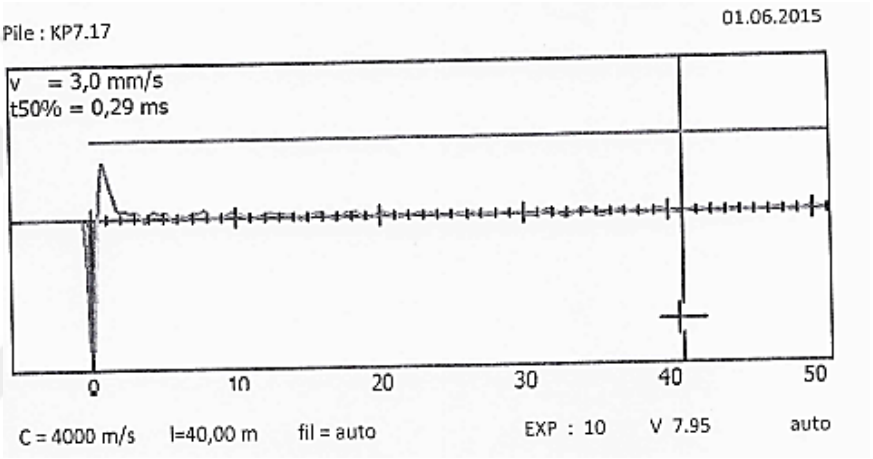
Sonuç olarak, test edilen 12 adet fore kazıkta kesitleri boyunca bir süreksizliğe rastlanmamış ve fore kazık boylarının ortalama olarak projeye uygunluğu tespit edilmiştir.



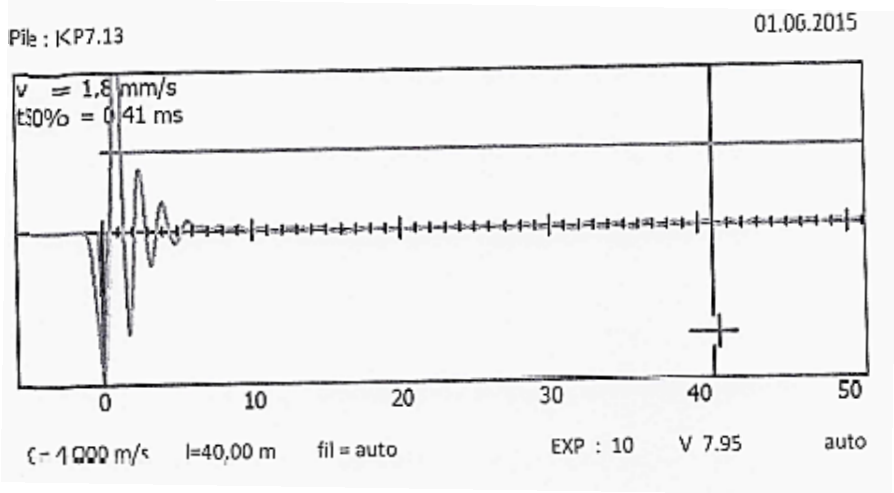
Şekil 2.14. 15 nolu kazık süreklilik grafiği



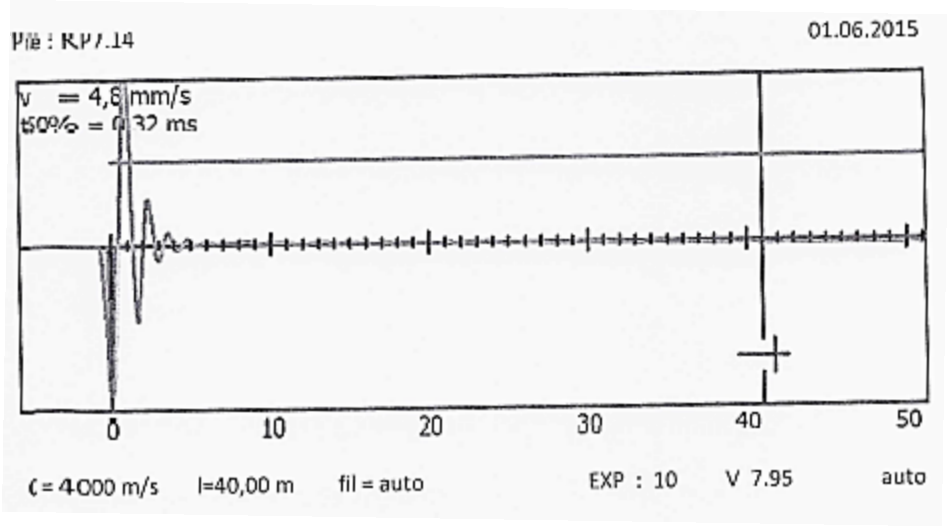
Şekil 2.15. 16 nolu kazık süreklilik grafiği



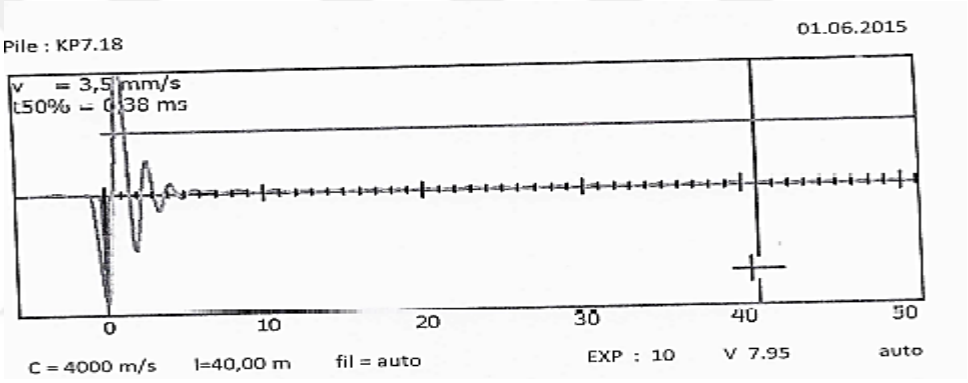
Şekil 2.16. 17 nolu kazık süreklilik grafiği



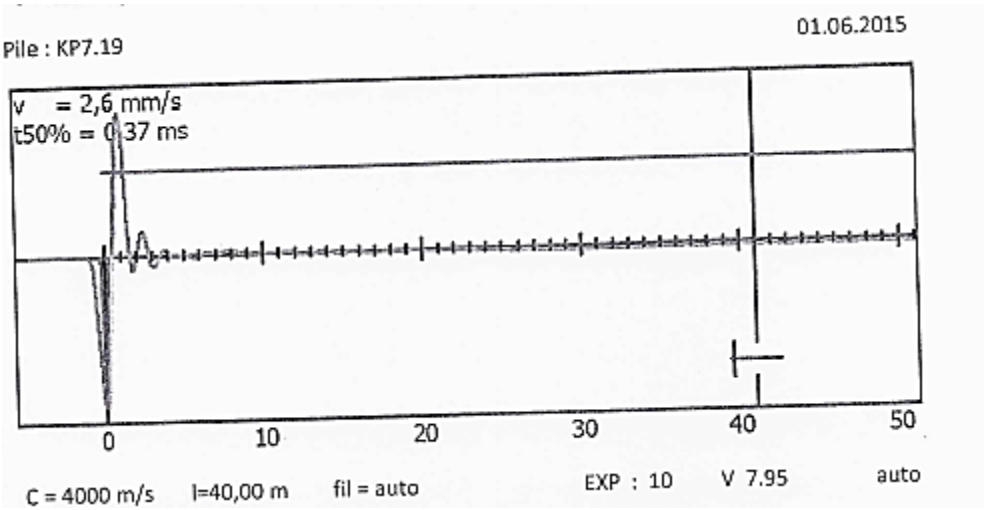
Şekil 2.17. 13 nolu kazık süreklilik grafiği



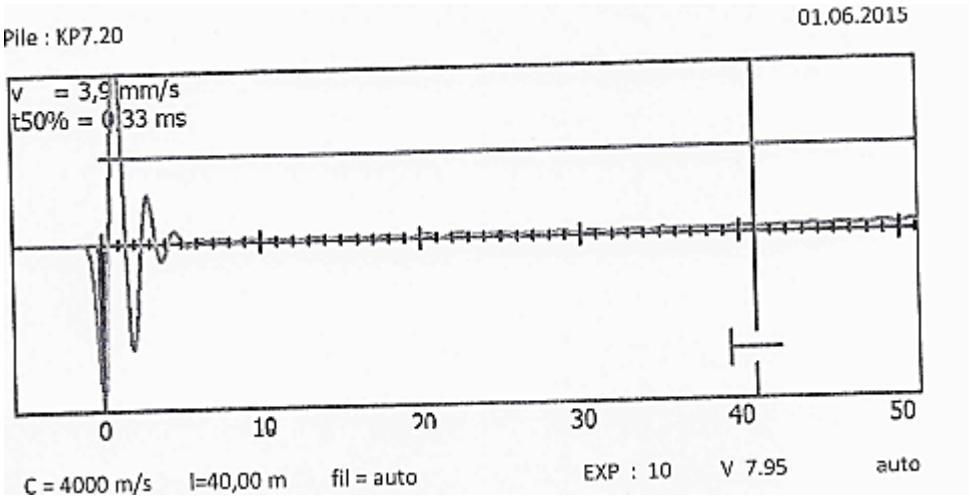
Şekil 2.18. 14 nolu kazık süreklilik grafiği



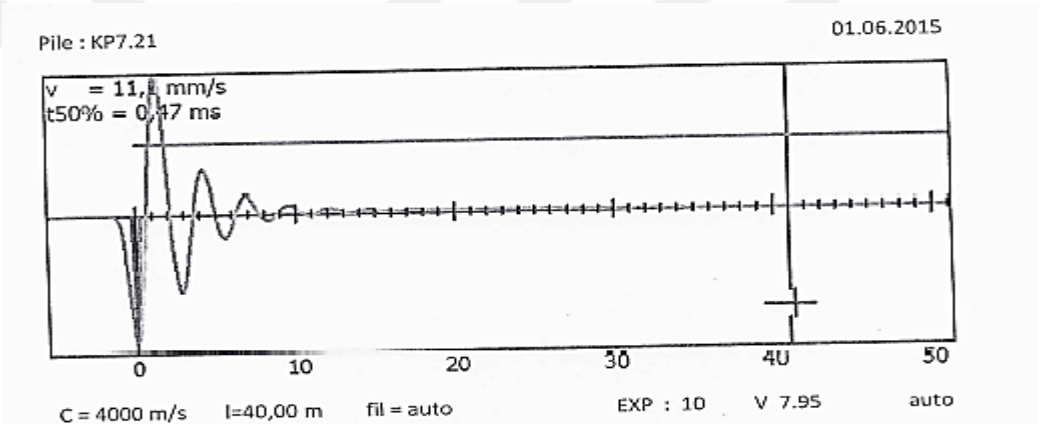
Şekil 2.19. 18 nolu kazık süreklilik grafiği



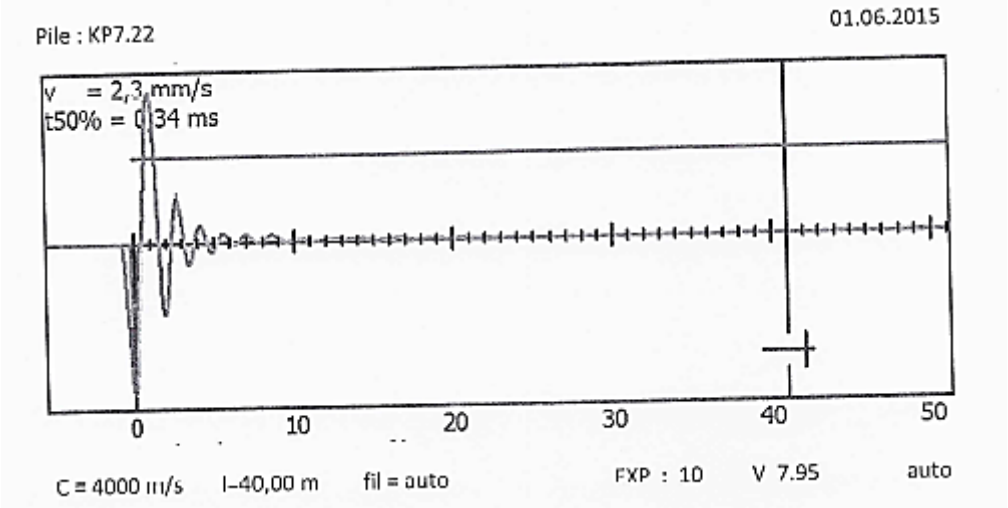
Şekil 2.20. 19 nolu kazık süreklilik grafiği



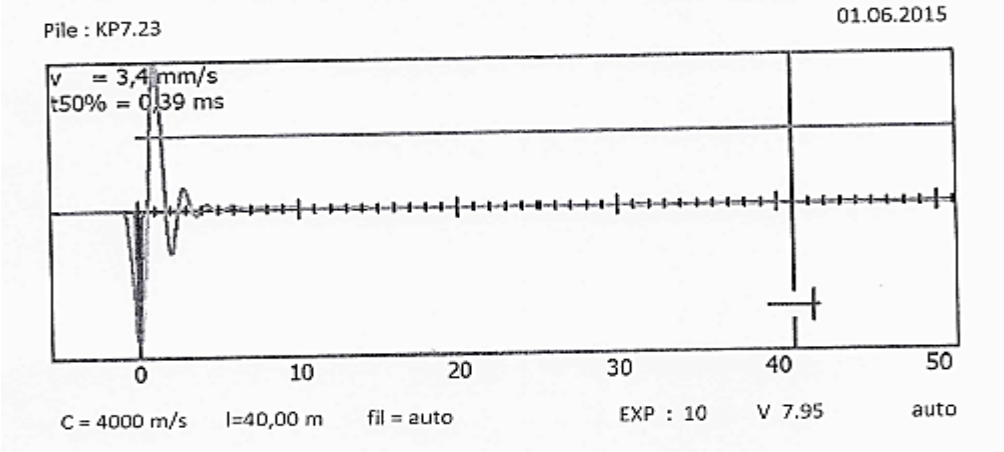
Şekil 2.21. 20 nolu kazık süreklilik grafiği



Şekil 2.22. 21 nolu kazık süreklilik grafiği



Şekil 2.23. 22 nolu kazık süreklilik grafiği



Şekil 2.24. 23 nolu kazık süreklilik grafiği

2.4.3. Arazide yapılan plaka yükleme testi

Ø 80 cm çapında 16 m boyundaki taş kolonlar üzerinde plaka yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kolon için proje yükü 20 ton'dur. Plaka yükleme deneyi proje yükünün % 150' si olan 30 ton olarak belirlenmiştir. Yükleme ve beklemeler sırasında standartlarda belirtilen aralıklarla okumalar alınmıştır. Deplasmanların 0,25 mm/saat oturma kriterini sağladığı da görülerek yük boşaltma işlemine geçilmiştir.

Yükleme deneyi sırasında alınan okumalar ve deney sonuçlarına göre çizilen yük-zaman, yük - deplasman ve deplasman – zaman tabloları aşağıda verilmiştir. Buna göre maksimum yükte oluşan oturma değeri 10,36 mm olarak ölçülmüştür. Oturma kriteri olan 1 saatlik zaman diliminde 0,25 mm den az deplasman olması şartı sağlanmıştır.



Şekil 2.25. Plaka yükleme testinin sahada uygulaması

Tablo 2.6. Plaka yükleme testi yük - deplasman ve deplasman – zaman tablosu

PROJE		KAZIK NO/Pile No.	
YÜKÜ/Design Load (Ton)	20	KAZIK BOYU-ÇAPI/Pile Length-Dia. (m)	
MAKSİMUM YÜK/Applied Load (Ton)	30	KAZIK CİNSİ/Type of Pile	386 16 m / 80 cm Φ TAŞ KOLON KAZIĞI

YÜKLEME DEĞERLERİ Loading Data			OTURMA OKUMALARI SETTLEMENT MEASUREMENTS					ZAMAN/TIME		345'
BASINÇ Pressure	YÜK Load Applying	YÜK YÜZDESİ Percent of Load	S1 mm	S2 mm	S3 mm	S4 mm	ORTALAMA AVERAGE	OKUMA SÜRESİ (dk)	TOPLAM SÜRE (dk)	SAAT Time
0	0,00	0%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	00:00	0	00:00
16	3,00	15%	0,40	0,47	0,49	0,54	0,48	00:00	0	13:00
16	3,00		0,35	0,44	0,57	0,63	0,50	00:05	5	13:05
16	3,00		0,35	0,44	0,64	0,68	0,53	00:05	10	13:10
16	3,00		0,34	0,43	0,67	0,72	0,54	00:05	15	13:15
27	5,00	25%	2,48	2,66	2,70	2,84	2,67	00:00	15	13:15
27	5,00		2,50	2,67	2,85	3,02	2,76	00:05	20	13:20
27	5,00		2,57	2,74	3,40	3,44	3,04	00:05	25	13:25
27	5,00		2,34	2,56	2,86	3,04	2,70	00:05	30	13:30
53	10,00	50%	3,22	3,59	3,65	3,93	3,60	00:00	30	13:30
53	10,00		3,25	3,62	3,67	3,96	3,63	00:05	35	13:35
53	10,00		3,27	3,64	3,71	4,01	3,66	00:05	40	13:40
53	10,00		3,28	3,65	3,73	4,03	3,67	00:05	45	13:45
88	15,00	75%	4,27	4,78	4,76	5,09	4,73	00:00	45	13:45
88	15,00		4,28	4,79	4,82	5,17	4,77	00:05	50	13:50
88	15,00		4,32	4,83	5,06	5,34	4,89	00:05	55	13:55
88	15,00		4,34	4,84	5,22	5,43	4,96	00:05	60	14:00
117	20,00	100%	5,41	6,07	6,68	6,62	6,20	00:00	60	14:00
117	20,00		5,52	6,13	6,90	6,69	6,31	00:05	65	14:05
117	20,00		5,54	6,18	7,06	6,82	6,40	00:05	70	14:10
117	20,00		5,58	6,32	7,11	7,00	6,50	00:05	75	14:15
117	20,00		5,70	6,50	7,32	7,27	6,70	00:15	90	14:30
88	15,00	75%	7,24	7,53	8,29	8,73	7,95	00:00	90	14:30
88	15,00		7,22	7,51	8,24	8,67	7,91	00:05	95	14:35

Tablo 2.6. (Devam) Plaka yükleme testi yük - deplasman ve deplasman – zaman tablosu

88	15,00		7,15	7,49	8,23	8,64	7,88	00:05	100	14:40
88	15,00		7,18	7,46	8,21	8,62	7,87	00:05	105	14:45
53	10,00	50%	7,10	7,29	8,11	8,52	7,76	00:00	105	14:45
53	10,00		7,06	7,26	8,10	8,45	7,72	00:05	110	14:50
53	10,00		7,05	7,24	8,10	8,42	7,70	00:05	115	14:55
53	10,00		7,05	7,23	8,08	8,40	7,69	00:05	120	15:00
27	5,00	25%	6,93	7,05	8,00	8,30	7,57	00:00	120	15:00
27	5,00		6,90	7,01	7,96	8,25	7,53	00:05	125	15:05
27	5,00		6,86	6,96	7,94	8,21	7,49	00:05	130	15:10
27	5,00		6,81	6,89	7,94	8,18	7,46	00:05	135	15:15
0	10,00	0%	5,17	5,92	7,88	7,96	6,73	00:00	135	15:15
0	0,00		4,67	5,43	6,68	6,76	5,89	00:05	140	15:20
0	0,00		4,55	5,32	6,52	6,65	5,76	00:05	145	15:25
0	0,00		4,46	5,28	6,41	6,54	5,67	00:05	150	15:30
53	10,00	50%	6,27	6,41	7,65	7,92	7,06	00:00	150	15:30
53	10,00		6,34	6,47	7,68	7,97	7,12	00:05	155	15:35
53	10,00		6,41	6,55	7,71	8,02	7,17	00:05	160	15:40
53	10,00		6,47	6,61	7,72	8,07	7,22	00:05	165	15:45
117	20,00	100%	7,38	7,89	8,09	8,66	8,01	00:00	165	15:45
117	20,00		7,54	8,07	8,17	8,79	8,14	00:05	170	15:50
117	20,00		7,51	8,11	8,26	8,89	8,19	00:05	175	15:55
117	20,00		7,47	8,15	8,34	9,00	8,24	00:05	180	16:00
153	25,00	125%	8,36	9,73	8,49	9,44	9,01	00:00	180	16:00
153	25,00		8,56	9,51	8,59	9,60	9,07	00:05	185	16:05
153	25,00		8,63	9,61	8,69	9,72	9,16	00:05	190	16:10
153	25,00		8,72	9,76	8,74	9,83	9,26	00:05	195	16:15
153	25,00		8,86	10,09	8,83	10,06	9,46	00:05	200	16:20
153	25,00		9,04	10,27	8,99	10,29	9,65	00:05	205	16:25
153	25,00		9,12	10,39	9,04	10,36	9,73	00:05	210	16:30
183	30,00	150%					0,00	00:00	210	
183	30,00						0,00	00:05	215	
183	30,00						0,00	00:05	220	

Tablo 2.6. (Devam) Plaka yükleme testi yük - deplasman ve deplasman – zaman tablosu

183	30,00						0,00	00:05	225	
183	30,00						0,00	00:15	240	
183	30,00						0,00	00:15	255	
183	30,00						0,00	00:15	270	
117	20,00	100%	9,05	10,24	9,03	10,27	9,65	00:00	270	16:30
117	20,00		9,05	10,22	9,05	10,27	9,65	00:05	275	16:35
117	20,00		9,04	10,21	9,06	10,27	9,65	00:05	280	16:40
117	20,00		9,04	10,20	9,06	10,27	9,64	00:05	285	16:45
88	15,00	75%	8,95	10,04	9,01	10,18	9,55	00:00	285	16:45
88	15,00		8,94	10,03	9,01	10,16	9,54	00:05	290	16:50
88	15,00		8,93	10,02	9,01	18,15	11,53	00:05	295	16:55
88	15,00		8,93	10,00	9,00	18,13	11,52	00:05	300	17:00
53	10,00	50%	8,71	9,62	8,88	9,93	9,29	00:00	300	17:00
53	10,00		8,68	9,56	8,86	9,90	9,25	00:05	305	17:05
53	10,00		8,68	9,53	8,84	9,87	9,23	00:05	310	17:10
53	10,00		8,67	9,51	8,84	9,86	9,22	00:05	315	17:15
27	5,00	25%	8,60	9,44	8,84	9,83	9,18	00:00	315	17:15
27	5,00		8,57	9,38	8,80	9,77	9,13	00:05	320	17:20
27	5,00		8,51	9,81	8,80	9,73	9,21	00:05	325	17:25
27	5,00		8,46	9,26	8,78	9,70	9,05	00:05	330	17:30
0	0,00	0%	6,67	6,98	7,58	8,18	7,35	00:00	330	17:30
0	0,00		6,18	6,51	7,40	8,01	7,03	00:05	335	17:35
0	0,00		6,01	6,34	7,34	7,95	6,91	00:05	340	17:40
0	0,00		5,93	6,22	7,30	7,89	6,84	00:05	345	17:45
0	0,00		5,91	6,17	7,28	7,86	6,81	00:15	360	18:00

2.5. Taş Kolon ve Fore Kazık İçin Maliyet Analizi

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı fiyatları ile maliyet analizi yaptığımız da;

- Fore kazık m birim fiyatı (donatı hariç) : 363,391 TL
- Donatı demir ton fiyatı (nakliye dahil) : 1920 TL
- Kırmataş m^2 birim fiyatı (nakliye dahil) : 39 TL
- Foraj m fiyatı (işçilik dahil) : 185 TL
- 40 m yüksekliğinde Ø 120 çapında taş kolon hacmi: $(\pi.r^2).h = 180,95\ m^3$

- Taş kolon toplam maliyeti : (39 x 180,95) + (40 x 185) = 14.457,05TL
- 40m yüksekliğinde Ø 120 çapında fore kazık donatı metrajı (projeden) : 5.780 ton
- Fore kazık toplam maliyeti : (40 x 363,391) + (5,780 x 1.920) = 25.663,24TL

3. FORE KAZIK VE TAŞ KOLONUN PLAXIS PROGRAMI YÖNTEMIYLE HESABININ YAPILMASI

3.1. Plaxis Programı

PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), değişik geoteknik problemleri için, sonlu elemanlar yöntemiyle, deformasyon ve stabilite analizleri gerçekleştirebilen bir bilgisayar programıdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda ise, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan, zemin-yapı etkileşimi, gerilme–şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilmekte ve pratikte uygulanabilir sonuçlar vermektedir (Keskin, 2009).

Bu çalışmada, PLAXIS 2D versiyonu kullanılmıştır. Versiyon, geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmiştir. Programda hem taş kolon hem de fore kazık için ayrı ayrı aynı zemin özelliklerine sahip iki model oluşturulmuştur. Programın yaptığı analizler mevcut değerlerle karşılaştırılıp taş kolon ve fore kazık yöntemi karşılaştırılmıştır.

3.2. Bilgisayar Analizlerindeki Kabuller

Seçilen sahadaki uygulamalar sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 2D AE programı ile modellenmiştir. Modelde zemin arazi çalışmaları sonucunda elde edilen iki farklı zemin tabakası modellenmiştir. Her iki zemin tabakası da kil olmasına rağmen kayma mukavemeti parametreleri ve elastik parametreleri farklıdır.

Tablo 3.1. Plaxis programına girilen zemin parametreleri

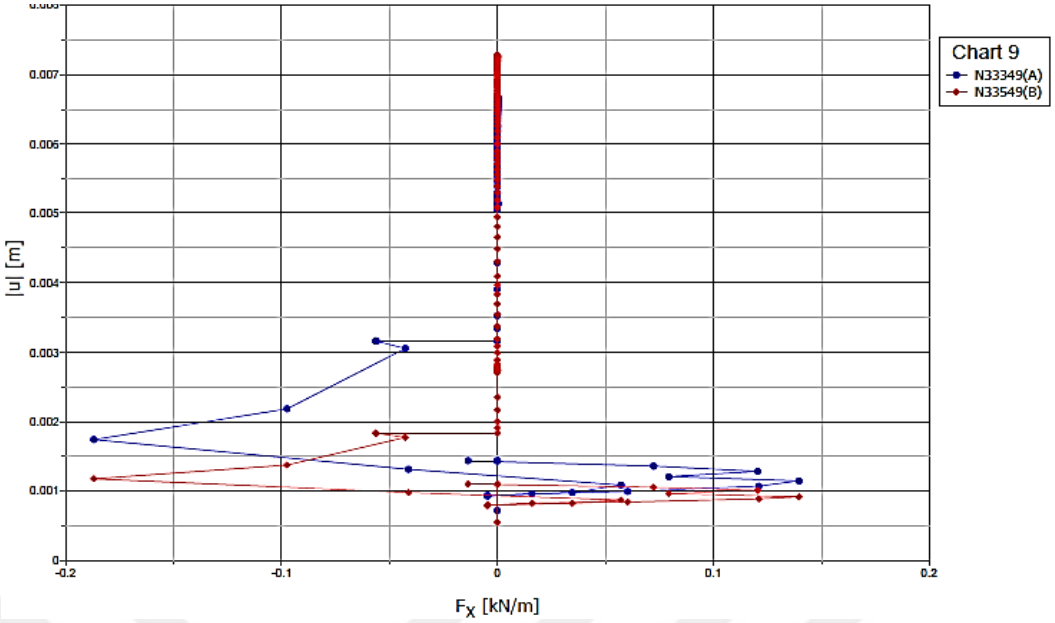
Tabaka No	1	2
γ_{unsat} (kN/m^3)	14	20
γ_{sat} (kN/m^3)	18	22
E (kPa)	200000	300000
ν	0,4	0,4
c (kPa)	100	200
ϕ(°)	8	12

Zemin tabakaları modellendikten sonra önce fore kazık sistemi sonra da taş kolon sistemi ayrı ayrı modellenmiştir. Her iki sistemde de kolon ve kazık çapları ile boyları çalışmanın amacı doğrultusunda eşit alınmıştır. Çaplar 1,2 m, boy 40 m olarak modellenen her iki sistemde de radye temel başlık olarak uygulanmıştır. Radye temele her iki sistem içinde aynı yapı yükü uygulanmıştır. Yapı yükü 500 kN/m olarak alınmıştır.

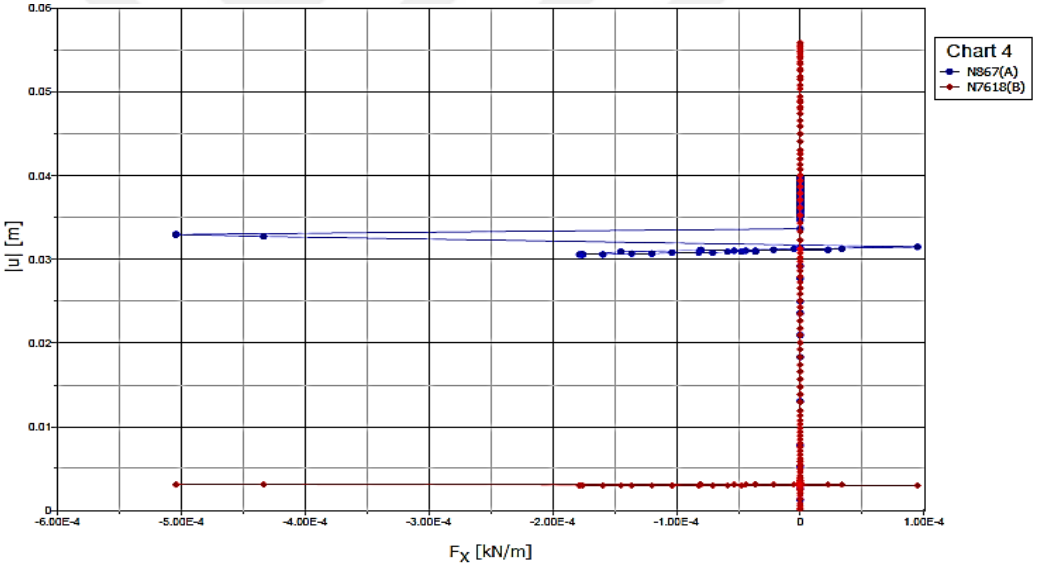
Analiz adımları olarak önce doğal zemin analizi yapılmıştır. Sonra sırasıyla kazıkların veya taş kolonların imalatı, temel gömme derinliğine kadar kazı, radye temel imalatı ve en son olarak yapı yükü uygulanmıştır. Sahada uygulanan yapım aşamalarının uygulanmasından sonra yapının göçme kapasitesinin belirlenmesi için güvenlik faktörü analizi yapılmıştır.

3.3. Bilgisayar Analizlerinin Sonuçları

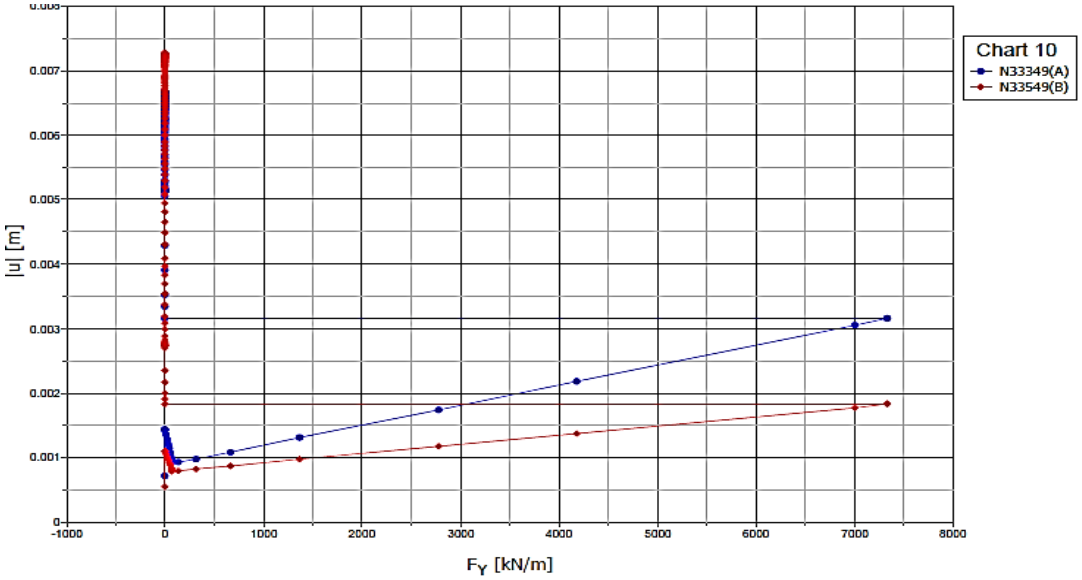
Bilgisayar analizlerinde en fazla deformasyonu yapacak olan radye temelin orta noktasındaki kazık ve taş kolonun üst bölgesinde bir A noktası ile alt bölgesinde bir B noktası seçilmiştir. Analizlerin son aşamasında yapılan güvenlik faktörü analizinde bu noktaların güvenlik sayıları diğer bir değişle analizde yüklenen yükün kaç katında yenildiği ve yenilme durumunda bu noktalardaki deformasyonların nasıl olduğunu görebilmek için grafikler elde edilmiştir (Şekil 3.1-3.6).



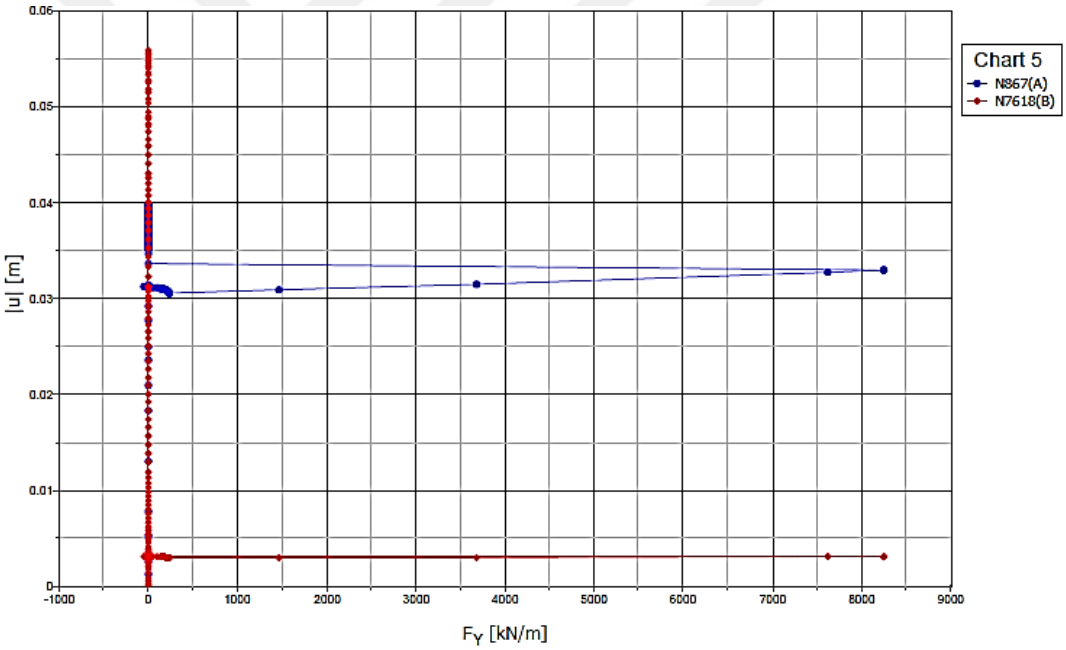
Şekil 3.1. Fore kazık için x yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği



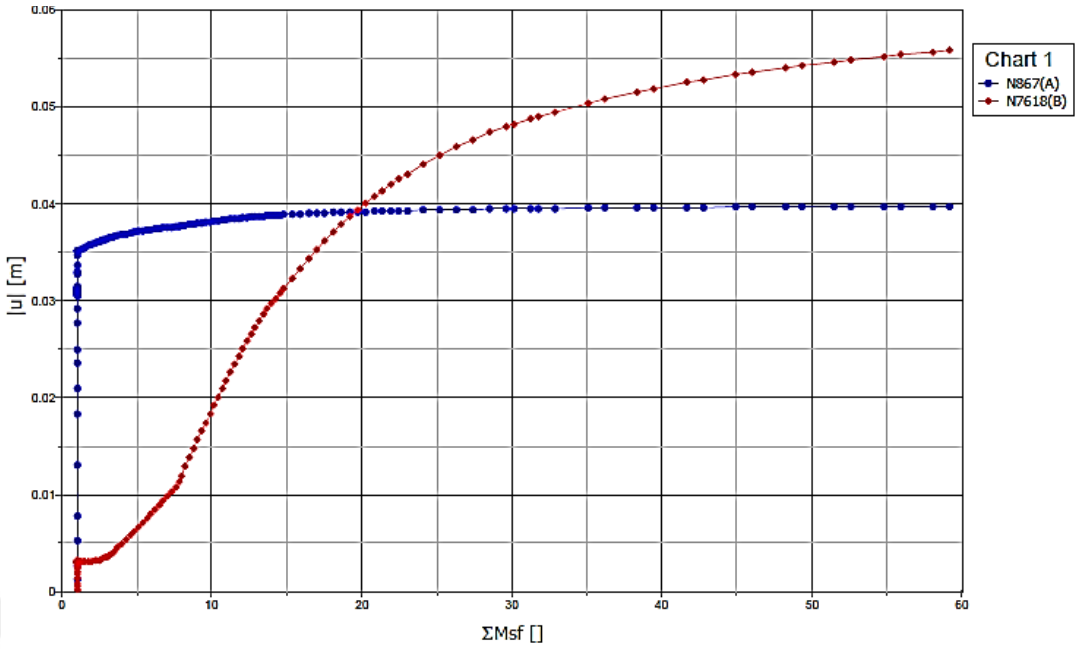
Şekil 3.2. Taş kolon için x yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği



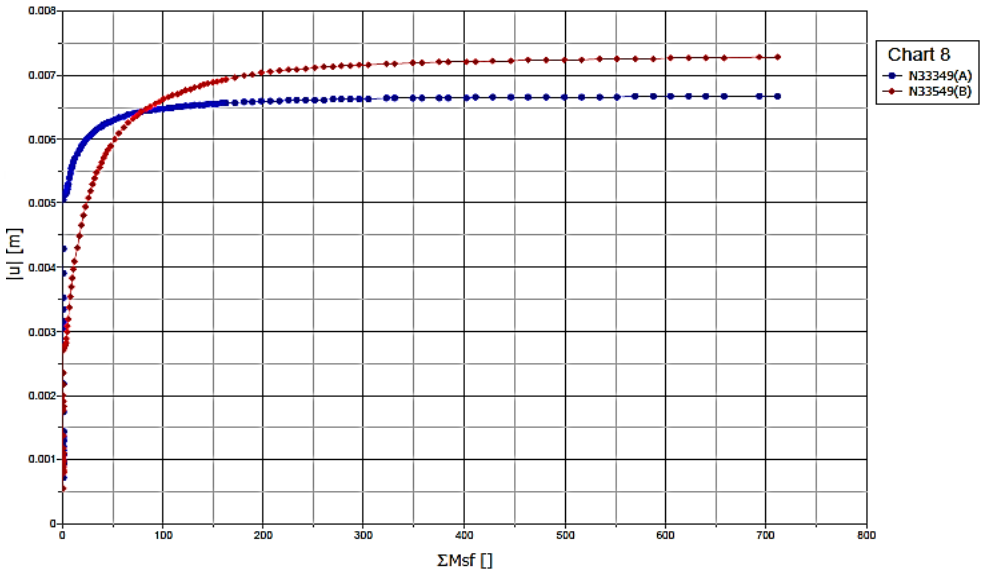
Şekil 3.3. Fore kazık için y yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği



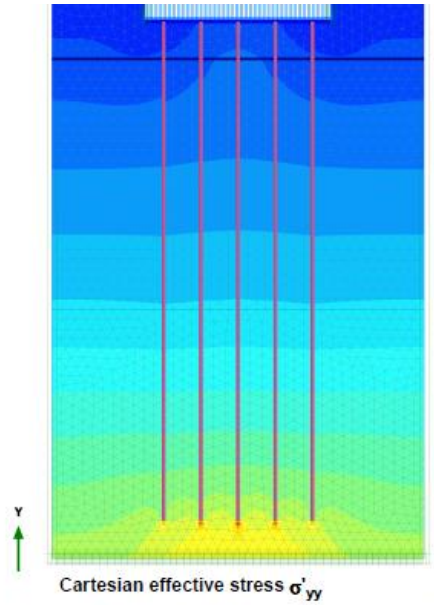
Şekil 3.4. Taş kolon için y yönünde A ve B noktalarında yük – deplasman grafiği



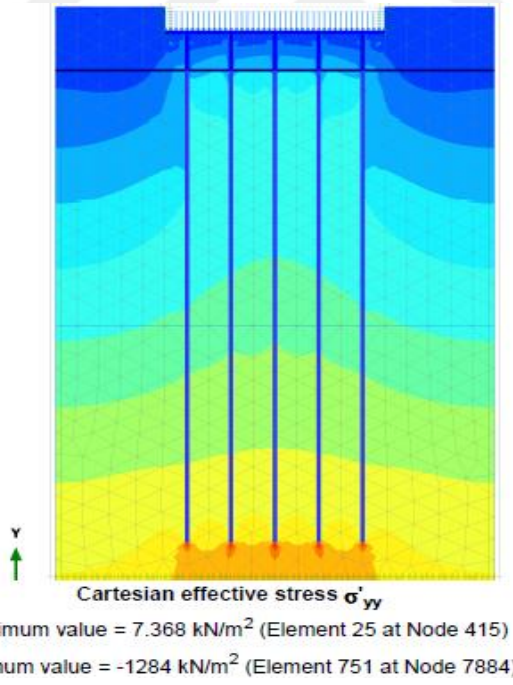
Şekil 3.5. Taş kolon için A ve B noktalarında güvenlik katsayısı deplasman grafiği



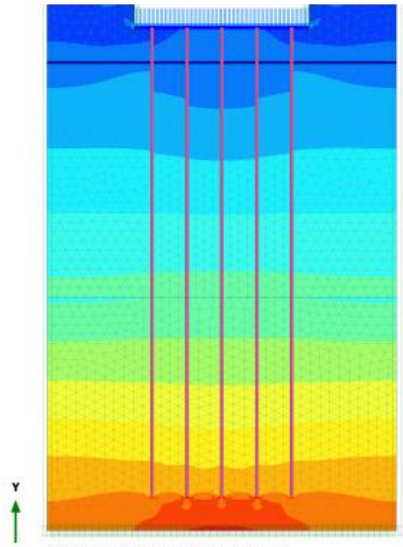
Şekil 3.6. Fore kazık için A ve B noktalarında güvenlik katsayısı deplasman grafiği



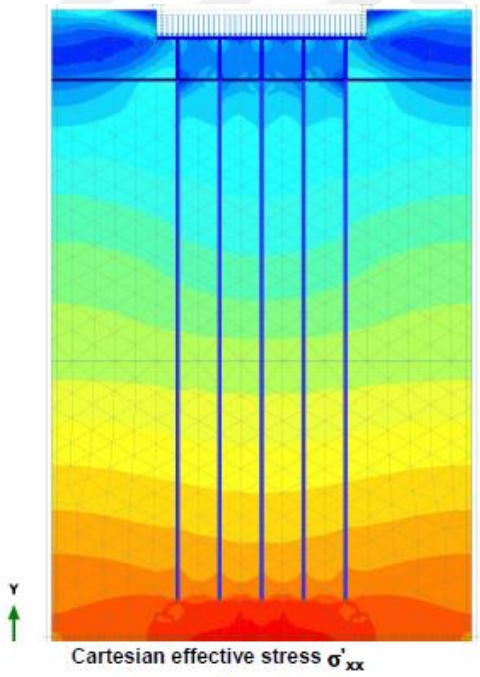
Şekil 3.7. Fore kazık için yy yönündeki efektif gerilme



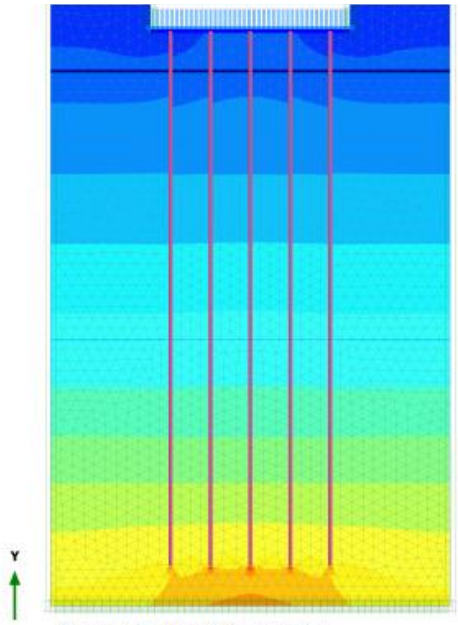
Şekil 3.8. Taş kolon için yy yönündeki efektif gerilme



Şekil 3.9. Fore kazık için xx yönündeki efektif gerilme



Şekil 3.10. Taş kolon için yy yönündeki efektif gerilme

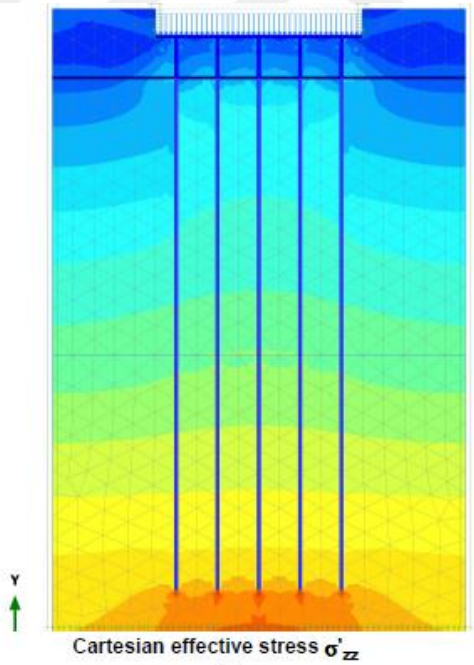


Cartesian effective stress σ'_{zz}

Maximum value = 0.1761 kN/m^2 (Element 111 at Node 379)

Minimum value = -601.9 kN/m^2 (Element 2649 at Node 30061)

Şekil 3.11. Fore kazık için zz yönündeki efektif gerilme

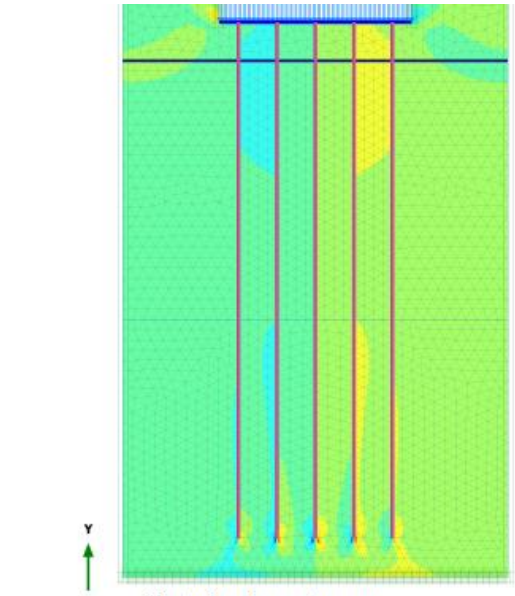


Cartesian effective stress σ'_{zz}

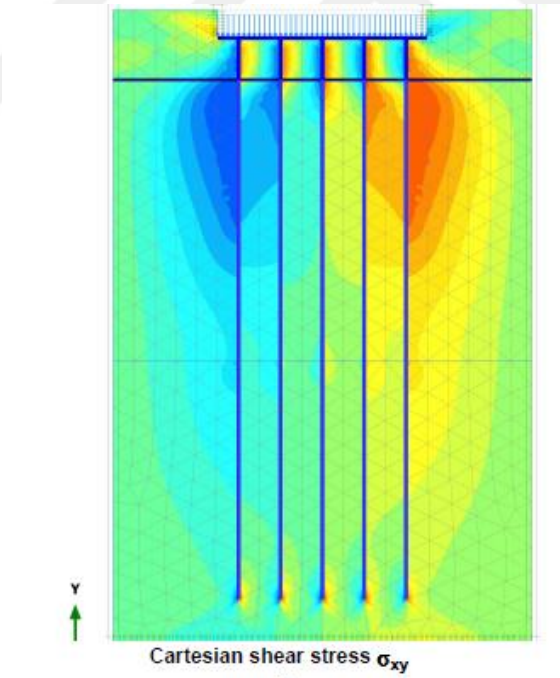
Maximum value = 1.225 kN/m^2 (Element 56 at Node 1196)

Minimum value = -809.2 kN/m^2 (Element 751 at Node 7884)

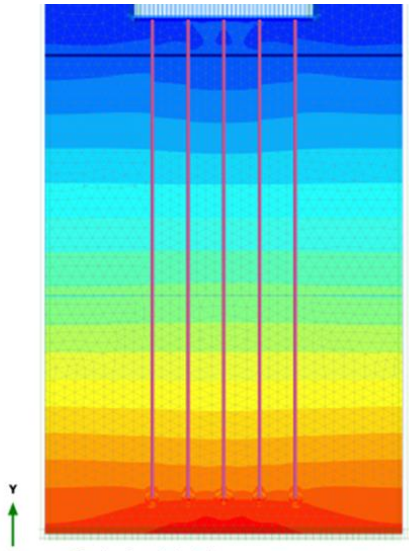
Şekil 3.12. Taş kolon için zz yönündeki efektif gerilme



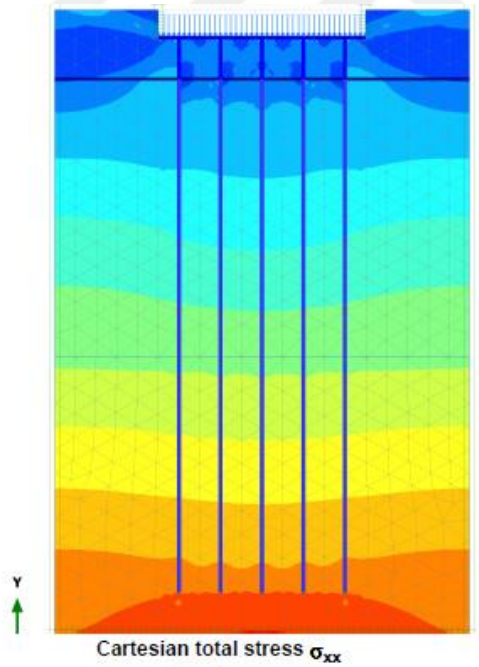
Şekil 3.13. Fore kazık için xy yönündeki kesme gerilmesi



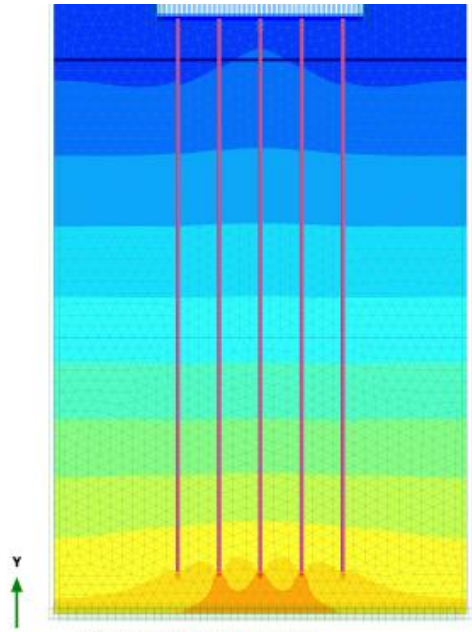
Şekil 3.14. Taş kolon için xy yönündeki kesme gerilmesi



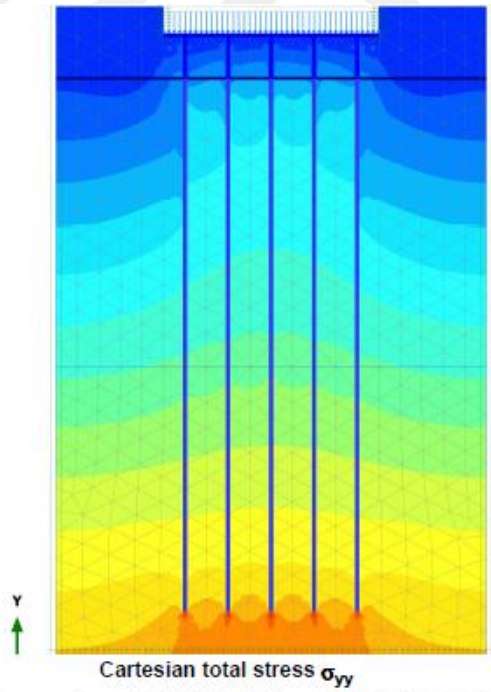
Şekil 3.15. Fore kazık için xx yönündeki toplam gerilme



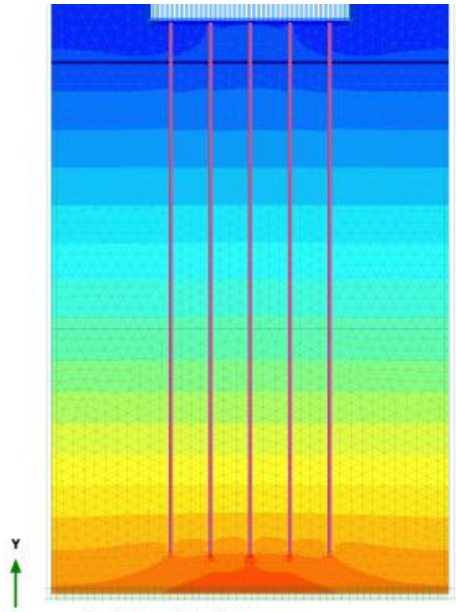
Şekil 3.16. Taş kolon için xx yönündeki toplam gerilme



Şekil 3.17. Fore kazık için yy yönündeki toplam gerilme



Şekil 3.18. Taş kolon için yy yönündeki toplam gerilme

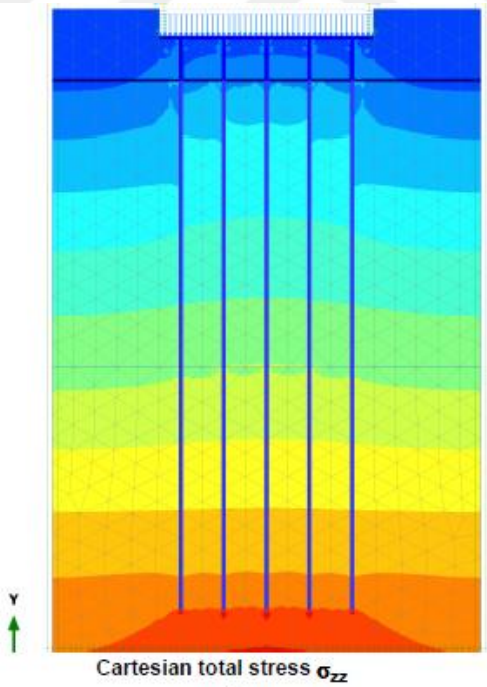


Cartesian total stress σ_{zz}

Maximum value = 0.1761 kN/m^2 (Element 111 at Node 379)

Minimum value = -973.6 kN/m^2 (Element 2649 at Node 30061)

Şekil 3.19. Fore kazık için zz yönündeki toplam gerilme

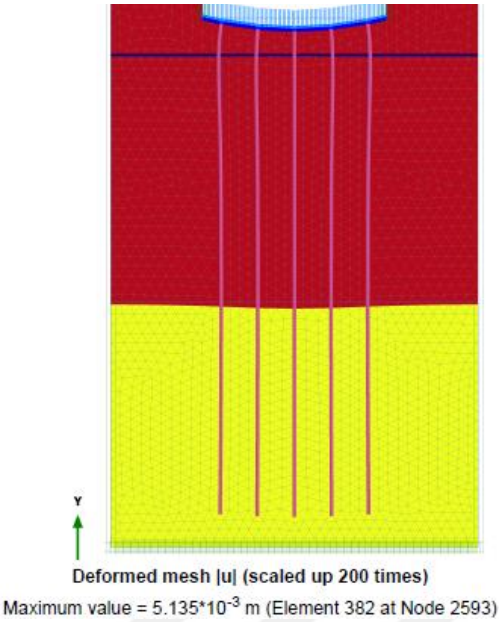


Cartesian total stress σ_{zz}

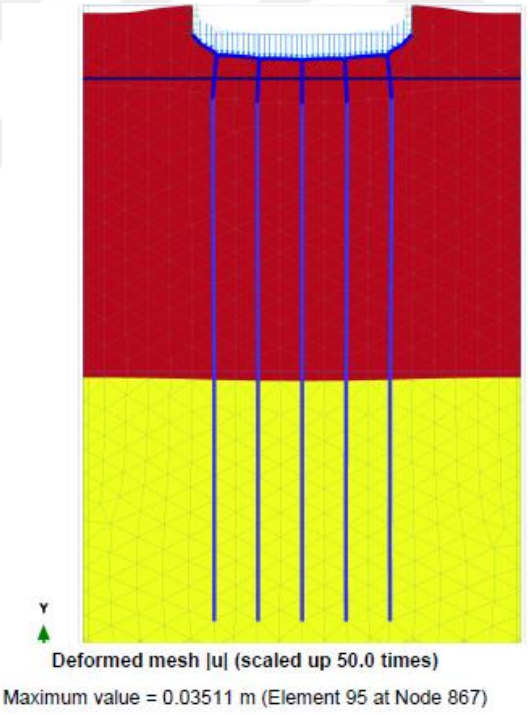
Maximum value = 1.225 kN/m^2 (Element 56 at Node 1196)

Minimum value = -1179 kN/m^2 (Element 751 at Node 7884)

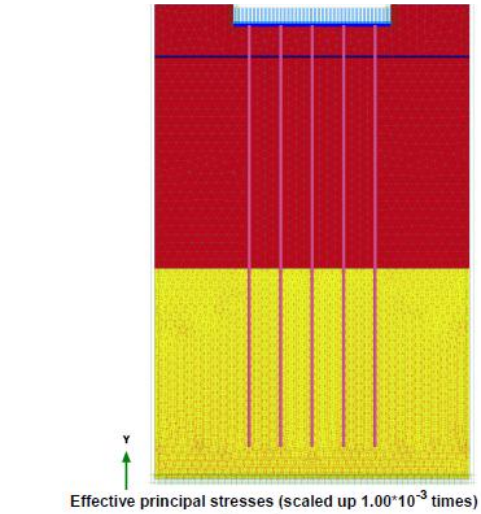
Şekil 3.20. Taş kolon için zz yönündeki toplam gerilme



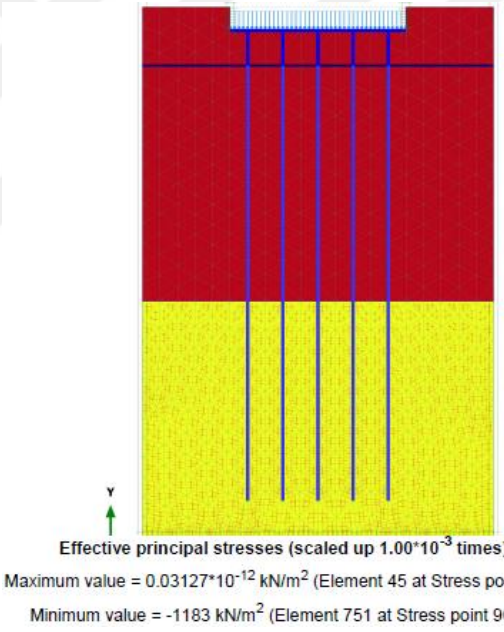
Şekil 3.21. Fore kazık için deformasyon ağları



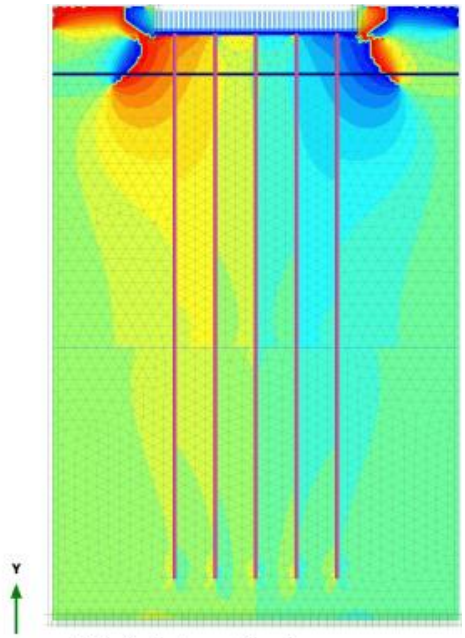
Şekil 3.22. Taş kolon için deformasyon ağları



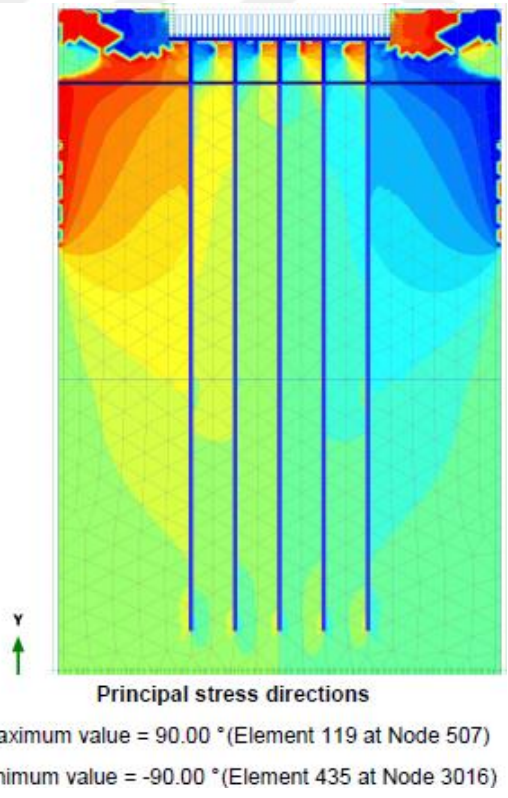
Şekil 3.23. Fore kazık için efektif asal gerilmeler



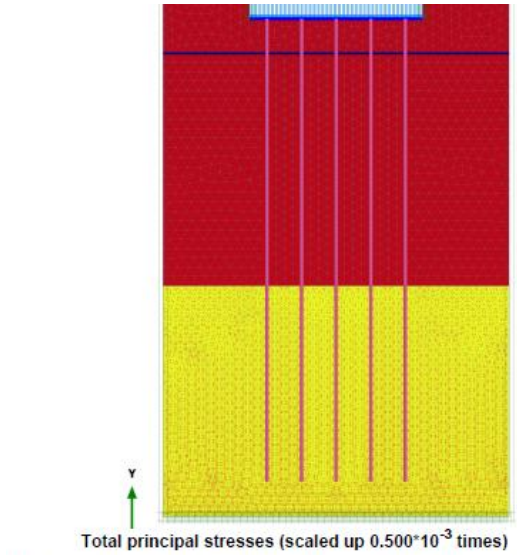
Şekil 3.24. Taş kolon için efektif asal gerilmeler



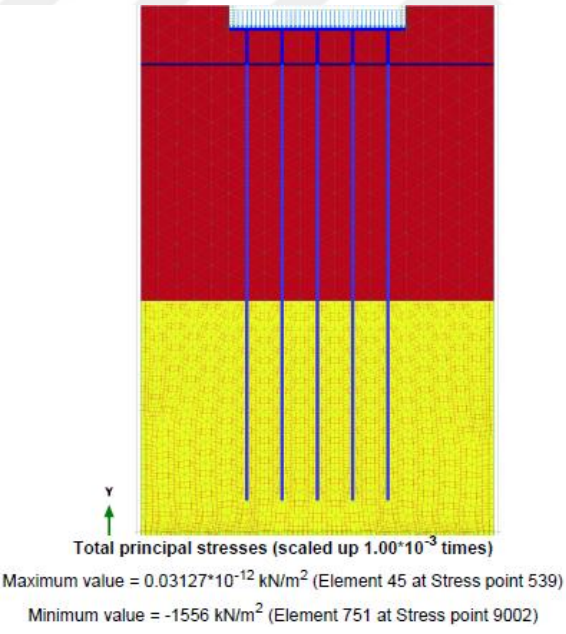
Şekil 3.25. Fore kazık için asal gerilmeler



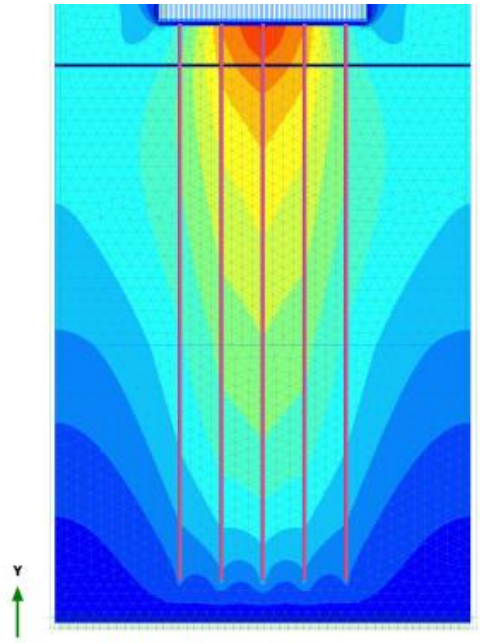
Şekil 3.26. Taş kolon için asal gerilmeler



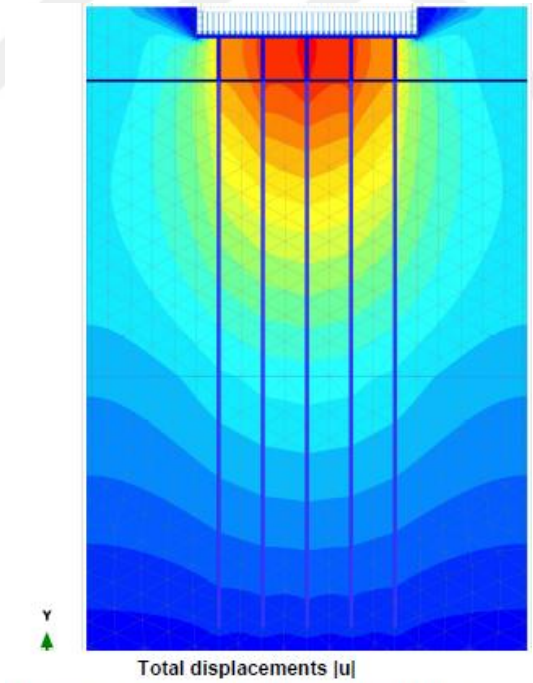
Şekil 3.27. Fore kazık için toplam asal gerilmeler



Şekil 3.28. Taş kolon için toplam asal gerilmeler



Şekil 3.29. Fore kazık için toplam şekil değiştirme



Şekil 3.30. Taş kolon için toplam şekil değiştirme

3.4. Elde Edilen Sonuçlara Göre Taş Kolon ve Fore Kazık Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Analizler sonucu taş kolon sisteminde toplam oturma miktarı 3,5 cm elde edilmişken fore kazık sisteminde toplam oturmalar 0,5 cm olarak elde edilmiştir. Fore kazık sisteminde büyük asal gerilme $0{,}01588.10^{-12}$ kPa, küçük asal gerilme -1636 kPa olarak elde edilmiştir. Taş kolon sisteminde büyük asal gerilme $0{,}03127.10^{-12}$ kPa, küçük asal gerilme -1556 kPa olarak elde edilmiştir.

Güvenlik faktörü analizinde elde edilen grafiklerden de görüldüğü üzere fore kazık sisteminde uygulanan yüke göre güvenlik faktörü 710 olarak elde edilmişken taş kolon sisteminde aynı yük için güvenlik faktörü 58 olarak elde edilmiştir.

Ayrıca taş kolon sisteminde kolonun üst bölgesindeki A noktasının göçme anındaki deformasyonu 4 cm elde edilmişken kolonun alt bölgesindeki B noktasında 5,5 cm edilmiştir. Buna karşın fore kazık sisteminde kazığın üst bölgesindeki A noktasının göçme anındaki deformasyonu 0,67 cm elde edilmişken kolonun alt bölgesindeki B noktasında 0,73 cm elde edilmiştir.

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Arazide yapılan kazık yükleme testi ve plaka yükleme testi sonuçlarını incelediğimizde taş kolonda nihai oturma 10 mm iken fore kazıklarda 1,91 mm dir.

Sonuç olarak aynı zemin özelliklerinde 25 m yüksekliğinde bir fore kazığın 40 m yüksekliğinde bir taş kolonla aynı taşıma gücünü elde ettiğini gördük Fore kazık m birim fiyatı (donatı hariç) : 363,391 TL, Donatı demir ton fiyatı (nakliye dahil) : 1920 TL, Kırmataş m^2 birim fiyatı (nakliye dahil) : 39 TL, Foraj m fiyatı (işçilik dahil) : 185 TL, 40 m yüksekliğinde Ø 120 çapında taş kolon hacmi: $(\pi.r^2).h = 180,95\ m^3$, 40 m yüksekliğinde bir taş kolon toplam maliyeti : (39 x 180,95) + (40 x 185) = 14.147,05TL, 25 m yüksekliğinde Ø 120 çapında fore kazık donatı metrajı (projeden) : 3,6125 ton , 25 m bir fore kazık toplam maliyeti : (25 x 363,391) + (3,6125 x 1920) = 16.020,775TL. Yapılan maliyet hesabına göre aynı taşıma gücüne sahip taş kolon ve fore kazıklardan fore kazık yönteminin %10 oranında daha maliyetli olduğu görülmüştür.

Bilgisayar analizleri sonucu taş kolon sisteminde toplam oturma miktarı 3,5 cm elde edilmişken fore kazık sisteminde toplam oturmalar 0,5 cm olarak elde edilmiştir.

Fore kazık sisteminde büyük asal gerilme $0,01588.10^{-12}$ kPa, küçük asal gerilme -1636 kPa olarak elde edilmiştir. Taş kolon sisteminde büyük asal gerilme $0,03127.10^{-12}$ kPa, küçük asal gerilme -1556 kPa olarak elde edilmiştir.

Güvenlik faktörü analizinde elde edilen grafiklerden de görüldüğü üzere fore kazık sisteminde uygulanan yüke göre güvenlik faktörü 710 olarak elde edilmişken taş kolon sisteminde aynı yük için güvenlik faktörü 58 olarak elde edilmiştir.

Plaxis programıyla yaptığımız hesaplarda en fazla deformasyonun olduğu ortadaki kazığın en uç ve en alt noktasında ki deformasyon değerlerini incelediğimizde, Taş kolon için A noktasının göçme anındaki deformasyonu 4 cm elde edilmişken kolonun alt bölgesindeki B noktasında 5,5 cm edilmiştir. Buna karşın fore kazık sisteminde

kazığın üst bölgesindeki A noktasının göçme anındaki deformasyonu 0,67 cm elde edilmişken kolonun alt bölgesindeki B noktasında 0,73 cm elde edilmiştir.

Taş kolon imalatının daha hızlı ve kolay olduğunu da hesaba katarsak, çok yüksek üst yapı yükü bulunmayan projelerde taş kolonların hem zeminde ki suyu drene etmesi özelliği hem de uygulama kolaylığı ve avantajlı maliyetiyle tercih edilmesi önerilir.

KAYNAKLAR

Alkaya D., Yeşil, B., Kazık Temellerin Bilgisayar Destekli Analizi, *Akademik Bilişim*, Akdeniz Üniversitesi, 23-25 Ocak 2013.

Ambily A. P., Gandhi, S. R., Behavior of Stone Columns Based on Experimental and FEM Analysis, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2007, **133**(4), 405-415.

Gautray J., Laue J., Springman S. M., Development of pore water pressure around a Stone column, *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, 2-6 September 2013.

Gören R., Çatalan İçme Suyu İletim Hattında Kazık Temel Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2010, 255691.

Han J., Ye S. L., A Theoretical Solution for the Rate of Consolidation of a Stone Column Reinforced Foundation Accounting for Smear and Well Resistance, *International Journal of Geomechanics*, 2002, **2**(2), 135-151.

İnan Ç., Kazıklı Temeller ve Kazıklı Temellerin Bilgisayar Programı İle Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993, 39338.

Keller, Deep Vibro Techniques, İngiltere, http://www.kellerholding.com/deep-vibro-techniques.html (Ziyaret Tarihi: 10 Mart 2016).

Kousik D., Modeling of Granular Bed-Stone Column- Improved Soft Soil, *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 2008, **32**(10), 1267-1288.

Kulaç F. H., Durgunoğlu H. T., Yatay yüklü kazık analiz yöntemlerinin karşılaştırılması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 3ncü Ulusal Kongresi*, İstanbul, 16-17 Ekim 1992.

Kurt E., Darbeli Kırmataş Kolon ve Taş Kolon Elemanlarına Ait Yükleme Testlerinin Sayısal Analizi ve Sonuçlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 324019.

Özaydın K., Zemin İyileştirme Teknikleri, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Ondördüncü Ulusal Kongresi*, Isparta, 3-5 Ekim 2012.

Laman M., King G. J. W., Dickin E. A., *Computer and Geotechnics*, 25th ed., Elsevier, Liverpool, 141-155, 1999.

Liew S. S., Tan, S. K. Performance of Reinforced Soil Wall Supported on Stone Columns, *Proc. 16th Southeast Asian Geotechnical Conferences*, Malaysia, 8-17 May 2007.

Namal H. E., Yumuşak Killi Zeminlerde Taş Kolonlarla Zemin İyileştirilmesinin Laboratuar Model Deneylerle Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011, 302581.

Ordu E., Özkan T., Kazıklı Temellerin Deprem Performanslarının Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi, *İTÜ Dergisi*, 2006, **5**(2), 27-34.

Özkan M. T., Sağlamer A., Kazıklı Temeller, *Dünya İnşaat*, 1995, **131**(7), 34-40.

Sadek M., Shahrour I., Influence of the head and tip connection on the seismic performance of micropiles, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2005, **26**(5), 461-468.

Altun S., Zemin İyileştirme Yöntemleri Derin Temeller Ve Uygulama Örnekleri, *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi* , İzmir, 30 Eylül 2010.

Toraman E., Kazıklı Temeller Hakkında Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2005, 166159.

Uzuoka R., Sento N., Kazama M., Zhang F., Yashima A., Oka F., Three dimensional numerical simulation of earthquake damage to group-piles in a liquefied ground, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, DOI : 10.1016/j.soildyn.2006.10.003.

White D. J., Wissmann K .J., Barnes, A. G., Gaul A. J., Embankment Support: Comprasion of Stone Column and Rammed Aggregate Pier Soil Reinforcement, Transportation Researh Board, Washington D.C., https://www.google.com.tr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0ahUKEwjihfOxpN3OAhUCSRoKHZoJAYcQFggfMAE&url=http%3A%2F%2Fgeosolv.ca%2Fwp-content%2Fuploads%2Fpdf%2Fdownload_file.php%3Fpdf%3DTP41-Embankment_SupportStone_Column_Compared_to_RAP.pdf&usg=AFQjCNECj_472kdAZTM0Qmlj3I76VJogiQ&sig2=HIdbj7IrHqYv0ZRmju2OcQ&bvm=bv.130731782,d.bGg&cad=rja (Ziyaret Tarihi: 14 Şubat 2016).

Wissmann K J., White D .J., FitzPatrick B. T., Lien B. H., Improving Global Stability and Controlling Settlement with Geopier Soil Reinforcing Elements, *Proceedings of the 4th International Conference on Ground Improvement Techniques*, Malaysia, 26-28 March 2002.

Yılmazoğlu İ., Betonarme kazıklı temellerin hesabı, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1993, 33658.

KİŞİSEL YAYIN ve ESERLER

[1] **Ayhan Ö.**, Mutman, U., Comprıson Of Improvement Wıth Bored Pılıng And Stone Column In A Selected Area In Kocaelı /Turkey, *International Conference on Civil and Geoteknical Engineering,* Venice Italy, July 18-19 2016.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Kocaeli ’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli ’de tamamladı. 2008 yılında girdiği İstanbul Kültür Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2013 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. 2013 yılında Kocaeli Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Daire Başkanlığında çalıştı. 2015 yılından beri kendi kurduğu Ayhan Dizayn Mimarlık Müh. İnş. Şirketinde çalışmalarına devam etmektedir.