KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEÇİLMİŞ BİR SAHADA GEOGRİDLİ VE GEOGRİDSİZ FORE KAZIK UYGULAMASININ KARŞILAŞTIRILMASI

CİHAN DİRLİK

KOCAELİ 2016

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEÇİLMİŞ BİR SAHADA GEOGRİDLİ VE GEOGRİDSİZ FORE KAZIK UYGULAMASININ KARŞILAŞTIRMASI

CİHAN DİRLİK

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

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarıma yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım, meslektaşım, abim Doç.Dr. Utkan MUTMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca görüşleri ile yaşamıma ve çalışmalarıma yön veren ve katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta manevi, maddi desteğini ve zamanını esirgemeyen Sayın Meslektaşım Babam Ahmet Osman DİRLİK'e minnetimi sunarım.

Hayatım boyunca bana güç veren destekçim, sıkıntılarımı ve mutluluklarımı paylaşan sevgili, Annem Hatice DİRLİK'e şükranlarımı sunarım.

Hayatım boyunca rol model aldığım, attığı adımda peşinden takip ettiğim kendisiyle gurur duyduğum Elektrik Yüksek Mühendisi Abim Caner DİRLİK'e şükranlarımı sunarım.

Lisans eğitimimi aynı evde beraber tamamladığım ve yine bir eğitim maceramda yoldaşlık ettiğim kardeşim, arkadaşım, dostum, İnşaat Yük. Mühendisi Ömer AYHAN'a teşekkür ediyorum.

Çalışma arkadaşlarıma ve amirlerime desteklerinden ve göstermiş oldukları hoşgörüden dolayı teşekkür ediyorum.

Temmuz – 2016 Cihan DİRLİK

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
ÖZET x
ABSTRACT xi
GİRİŞ 1
1. FORE KAZIK YÖNTEMİYLE DAHA ÖNCE YAPILAN ARAŞTIRMALAR 2
1.1. Fore Kazık Metodu 4
1.1.1. Çalışma sahasının hazırlanması 5
1.1.2. Fore kazık yönteminde kullanılan makine – ekipman 5
1.1.3. Delgi işleri 6
1.1.4. Donatı kafesinin hazırlanması ve kuyulara indirilmesi 6
1.1.5. Betonlama 6
1.1.6. Kalite kontrol 7
1.1.7. Kayıtların tutulması 7
1.2. Kazıkların Taşıma Gücü Hesabı 7
1.2.1. Statik kazık formülleri 7
1.2.2. Uç direnci 8
1.2.2.1. Uç kazıklarında uç direnci 8
1.2.2.2. Sürtünme kazıklarında uç direnci 8
1.2.3. Birim sürtünme direnci 10
1.2.3.1. Kohezyonsuz zeminlerde 10
1.2.3.2. Kohezyonlu zeminlerde 13
1.3. Kazıklarda Grup Etkisi ve Grup Taşıma Gücü 15
1.3.1. Verimlilik formülleri 15
1.3.1.1. Converse-Labarre formülü 15
1.3.1.2. 1/8 etkileşim kuralı 16
1.3.1.3. Terzaghi blok yaklaşımı 16
1.3.2. Arazi deney sonuçlarından kazık taşıma gücü tahmini 18
1.4. Standart Penetrasyon Deneyi 19
1.4.1. Standart penetrasyon deneyinin yapılması 19
1.4.2. SPT darbe sayısının derinlik düzeltilmesi 20
1.4.3. SPT darbe sayısının yer altı su seviyesine göre düzeltilmesi 20
1.4.4. SPT verileriyle kazık taşıma gücü hesabı 21
1.5. Çevre Sürtünmesi Taşıma Gücü Hesabı 21
2. GEOGRİD MALZEMESİYLE DAHA ÖNCE YAPILAN ARAŞTIRMALAR 23
2.1. Geoteksil Metodu 25
2.2. Geogrid 26
2.2.1. Üretim 27

2.2.1.1. Ekstrüde yöntemi ile üretilen geogridler 27
2.2.1.2. Dokuma ile üretilen geogridler 28
2.2.1.3. Yapıştırma yöntemi ile üretilen geogridler 28
2.2.2. Geogridlerin nihai çekme mukavemeti hesabı 28
2.2.3. Sünme etkisi 29
2.2.4. Uygulama hasarlarının etkisi 30
2.2.5. Çevresel etkiler 32
2.2.6. Tasarım güvenlik faktörü 32
2.2.7. Kullanım alanları 32
2.2.8. Yumuşak zeminlerde kullanımı 33
2.2.9. Geogrid-zemin etkileşimi 34
3. SEÇİLEN BİR ARAZİDE FORE KAZIK VE GEOGRİD UYGULAMASI 36
3.1. Arazi Araştırmaları ve Deneyler 36
3.1.1. İnceleme alanının jeolojisi 36
3.1.2. Arazi, laboratuvar ve büro çalışma yöntemlerinin kısaca tanıtılması ve kullanılan ekipman 36
3.1.3. Sondaj kuyuları 37
3.2. Arazi Deneyleri 39
3.2.1. Yeraltı ve yerüstü suları 39
3.2.2. Sismik kırılma 40
3.2.2.1. Kullanılan cihaz ve teknik özellikleri 40
3.2.2.2. Sismik kırılma etüdünün değerlendirilmesi 40
3.2.2.3. Kayma modülü 41
3.2.2.4. Poisson oranı 42
3.2.2.5. Elastisite modülü 43
3.3. Laboratuar Deneyleri ve Analizler 43
3.3.1. Zeminlerin indeks/fiziksel özelliklerinin belirlenmesi 43
3.3.2. Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi 44
3.4. Fore Kazık İmalatı 44
3.4.1. Arazinin hazırlanması 45
3.4.2. Delgi işleri 45
3.4.3. Donatıların hazırlanması 47
3.4.4. Donatı kafeslerinin kuyuya indirlmesi 47
3.4.5. Betonlama 48
3.4.6. Kazı ve düzeltmeler 48
3.4.7. Blokaj serilmesi 49
3.4.8. Süreklilik testi 49
3.4.9. Fore kazık üzerinde yapılan eksenel kazık yükleme deneyi 49
3.4.9.1. Deney kazıkları 50
3.4.9.2. Yükleme deney düzeneği 50
3.4.9.3. Yükleme deneyi metodu 51
3.4.9.4. Deney sonuçları 51
3.5. Geotekstil-Geogrid İmalat Aşamaları 51
3.5.1. Geotekstillerin serilmesi 51
3.5.2. Geogridlerin serilmesi 52
3.5.3. Sıkışma testleri 53
3.5.4. Grobetonun dökülmesi 54
4. FORE KAZIK VE GEOGRİD DONATILI ZEMİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ 56

4.1. Fore Kazık ve Geogrid Donatılı Zemin Modellemesi 56
4.2. Fore Kazık ile Zemin Modellemesi 62
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 68
KAYNAKLAR 69
EKLER 72
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER 92
ÖZGEÇMİŞ 93

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Fore kazık yapım aşamaları 4
Şekil 1.2. Kazıklarda grup etkisi 17
Şekil 1.3. Verim formülasyonu 18
Şekil 2.1. Ekstrüde tek yönlü geogrid 27
Şekil 2.2. Ekstrüde çift yönlü geogrid 28
Şekil 2.3. Dokuma geogrid 28
Şekil 2.4. Yapıştırma geogrid 28
Şekil 2.5. Sünme testi laboratuarı 29
Şekil 2.6. Sünme deneyinin zemin içinde uygulaması 30
Şekil 2.7. Ekstrüde geogridde uygulama türüne göre uygulama hasarları 31
Şekil 3.1. Sondaj lokasyon haritası 37
Şekil 3.2. Sondaj numune örnekleri 38
Şekil 3.3. Jeofizik lokasyon haritası 40
Şekil 3.4. Sismik ölçme 41
Şekil 3.5. Çalışma sahası 45
Şekil 3.6. Fore kazık muhafaza boru çakımı 45
Şekil 3.7. Auger başlığı ile foraj imalatı 46
Şekil 3.8. Fore kazık bagebaşlığı 46
Şekil 3.9. Fore kazık donatı imalatı 47
Şekil 3.10. Fore kazık donatı indirme imalatı 47
Şekil 3.11. Fore kazıkbetonlama imalatı 48
Şekil 3.12. Kazı imalatı ve kazık üst kot düzeltmeleri 48
Şekil 3.13. Blokaj imalatı 49
Şekil 3.14. PIT (Süreklilik) testi 49
Şekil 3.15. Kazık yükleme deneyi 50
Şekil 3.16. Propilen örgülü geotekstil donatı malzemesinin imalatı 52
Şekil 3.17. Stabilize dolgu imalatı 52
Şekil 3.18. Çift yönlü geogrid malzemenin serilmesi 53
Şekil 3.19. Kum konisi yöntemiyle stabilize dolgu sıkışma kontrolü 53
Şekil 3.20. Nükleer yöntemiyle stabilize dolgu sıkışma kontrolü 54
Şekil 3.21. Grobeton dökülmesi 54
Şekil 3.22. Tamamlanan zemin ıslahının kesiti 55
Şekil 4.1. Deformasyon ağı 57
Şekil 4.2. Toplam asal gerilme 57
Şekil 4.3. Efektif asal gerilme 58
Şekil 4.4. X-X yönündeki toplam gerilme 58
Şekil 4.5. Y-Y yönündeki toplam gerilme 58
Şekil 4.6. Z-Z yönündeki toplam gerilme 59
Şekil 4.7. X-Y doğrultusundaki kesme kuvveti 59
Şekil 4.8. X-X yönüneki efektif gerilme 59
Şekil 4.9. Y-Y yönüneki efektif gerilme 60
Şekil 4.10. Z-Z yönüneki efektif gerilme 60
Şekil 4.11. Toplam şekil değiştirme 60

Şekil 4.12. Asal gerilme yönleri 61
Şekil 4.13. Güvenlik katsayısı 61
Şekil 4.14. Deformasyon ağı 62
Şekil 4.15. Toplam asal gerilme 63
Şekil 4.16. Efektif asal gerilme 63
Şekil 4.17. X-X yönündeki toplam gerilme 63
Şekil 4.18. Y-Y yönündeki toplam gerilme 64
Şekil 4.19. Z-Z yönündeki toplam gerilme 64
Şekil 4.20. X-Y doğrultusundaki kesme kuvveti 64
Şekil 4.21. X-X yönüneki efektif gerilme 65
Şekil 4.22. Y-Y yönüneki efektif gerilme 65
Şekil 4.23. Z-Z yönüneki efektif gerilme 65
Şekil 4.24. Toplam şekil değiştirme 66
Şekil 4.25. Asal gerilme yönleri 66
Şekil 4.26. Güvenlik katsayısı 67

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Terzaghi taşıma gücü katsayıları 9
Tablo 1.3. Geostatik katsayıya oranla K değerleri 12
Tablo 1.4. Kazık – zemin sürtünmesi değerleri 12
Tablo 1.5. Adhezyon katsayısı 14
Tablo 1.6. S1 Sürtünme direnci katsayısı 21
Tablo 1.7. S2 Uç direnci taşıma gücü katsayısı 22
Tablo 2.1. Sünmeden ötürü oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı 30
Tablo 2.2. Uygulamada oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı 31
Tablo 2.3. Kimyasal etkiler ve bunların geogrid hammaddelerine etkisi 32
Tablo 3.1. İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları 36
Tablo 3.2. İnceleme alanında yapılan laboratuar deneyleri 37
Tablo 3.3. Sondaj çalışmaları bilgileri 38
Tablo 3.4. Sondajlarda yapılan SPT deneyleri 39
Tablo 3.5. Vs, Vp hızları tablosu 41
Tablo 3.6. İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarından eldeedilen elastik parametre değerleri 41
Tablo 3.7. Kayma modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı 42
Tablo 3.8. Poisson sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması 42
Tablo 3.9. Elastisite modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı 43
Tablo 3.10. Sondaj kuyularında geçilen zeminlerin indeks fiziksel özellikleri tablosu 43
Tablo 3.11. Direkt kesme deneyi laboratuar test sonuçları 44
Tablo 3.12. Üç eksenli basınç dayanımı deneyi laboratuar test sonuçları 44
Tablo 3.13. Konsalidasyon deneyi laboratuar test sonuçları 44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

γ' : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı
η : Bir kat sayı; dairesel kesitlerde 0,3 , karesel kesitlerde 0,4
ΔLi : Kazığın değişik zemin tabakaları içindeki uzunluğu
$\sigma vi'$: (i) Zemin tabakasında efektif düşey gerilme
δi : (i) Zemin tabakasında kazık – zemin arası sürtünme açısı
ΔLi : Kazık boyunca kazığın içinden geçtiği her bir zemin tabakasının kalınlığı
$\sigma vi'$: Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasındaki ortalama düşey efektif gerilme
δi : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının kazık – zemin arasındaki sürtünme açısı
α_i : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısını
λ : Kazık boyuna bağlı bir katsayı
σ'_v : Düşey efektif gerilme
ϕ'_r : Yoğrulmuş kilin efektif (drenajlı) iç sürtünme açısı
θ : arctg (d/s),(°)
γ : Zeminin birim hacim ağırlığı
σ'_0 : Efektif Zemin Gerilmesi
A : Kazık grubunun plan görünümündeki alanı
Ap : Kazık ucundaki en kesit alanı
As : Kazık sürtünme alanı
B : Kazık çapı veya kenar boyu
c : Zeminin kohezyonu
ci : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma dirençlerini
C_N : Düzeltme faktörü
c_u : Ortalama drenajsız dayanımdır (ø = 0 hali)
D : Kazık çapı
D_b : Taşıyıcı granüler zemindeki kazık ankastre boyu,
Dr : Rölatif sıkılık derecesi, (%)
fi : Kazığın her bir zemin tabakası içindeki birim çevre sürtünmesi değeridir
f_s : Birim sürtünme direnci
İ : Kazık derinliği boyunca kazığı çevreleyen değişik özellikteki zemin tabakaları
K : Yanal itki katsayısı
K_i : (i) Zemin tabakasının efektif yanal toprak basıncı katsayısı
K_{oi} : Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının sükunetteki yatay toprak basıncı katsayısı (Geostatik katsayı)
L : Zeminin içinde kalan kazık boyu
m : Gruptaki kazık sırası sayısı
n : Bir sıradaki kazık sayısı
N : Deneyde belirlenmiş standart penetrasyon direnci

N'	: Düzeltilmiş standart penetrasyon direnci
Nc, Nq, Nγ	: Zeminin içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları
OCR	: Kil tabakasının aşırı konsolidasyon oranı
P	: Kazık grubunun plan görümündeki toplam çevre uzunluğu
Qf	: Tek kazığın nihai taşama gücü
Qp	: Kazığın uç taşıma kapasitesi
Qs	: Kazığın sürtünme direnci
qc	: Konik uç direnci
qc1	: 0,7D – 0,4D arasındaki derinlikteki ortalama uç direnci
qc2	: Kazık uç bölgesi üzerindeki 8D yükseklikteki ortalama uç direnci
q_f	: Kazık ucundaki zeminin birim nihai taşıma kapasitesi
q_s	: Sürtünme direnci
s	: Kazık aralığıdır
S	: Kazık bloğunu çevreleyen zeminin ortalama kayma mukavemeti
S1	: Kazık tipine bağlı sürtünme direnci katsayısı
S2	: Kazık tipine bağlı uç direnci katsayısı

Kısaltmalar

ASTM	: American Society for Testing and Materials
FHWA	: Federal Highway Administration
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
TCK	: Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
TS	: Türk Standartı
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü

SEÇİLMİŞ BİR SAHADA GEOGRİDLİ VE GEOGRİDSİZ FORE KAZIK UYGULAMASININ KARŞILAŞTIRMASI

ÖZET

Kocaeli'nde bulunan atıksu arıtma tesisinde yapılacak olan havalandırma havuzunun zeminin iyileştirilmesi için kazık üzerinde geogrid dolgu tabakası yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan bu iyileştirme yöntemi incelenmiş olup geogrid dolgu tabakası olmadan nasıl bir iyileştirme elde edilebileceği analizlerle araştırılmıştır. Bu kapsamda, önce sahada yapılan çalışmalar incelenmiş kazık yükleme deneyleri ve geogridlerin özellikleri ve iyileştirme dereceleri araştırılmıştır. Bir sonraki bölümde sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar analiz programı Plaxis ile sahadaki çalışmalar modellenmiştir. Bilgisayar analizi sonucunda elde edilen sonuçlarla sahadaki uygulamalar sonrası verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca bilgisayarda geogrid dolgu olmadan yapılan kazık temel analizlerinde elde edilen sonuçlar ile geogridli dolgu ile yapılan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Geogrid dolgu olmadan yapılan kazık temel analizinde daha yüksek taşıma kapasitesi elde edilmiş ve oturma miktarları daha düşük oluşmuştur.

Anahtar kelimeler: Fore Kazık, Geogrid, Plaxis, Zemin İyileştirme.

ANALYSIS OF BORED PILES WITH AND WITHOUT GEOGRID IN A SELECTED AREA IN KOCAELI/TURKEY

ABSTRACT

Geogrid embankment layer has been applied on the pile to ensure ground improvement in aeration tank of waste water treatment plant of Kocaeli. In this study, this improvement method is examined and analyses are performed to identify what type of improvement can be conducted without geogrid embankment layer. Within this context, in-situ analyses have been evaluated; pile load test, properties of geogrids and their improvement degree have been primarily analysed. In the following section, in-situ studies have been modelled with computer analysis program Plaxis which employs finite elements method. The results obtained from computer analyses have been compared with the data derived after in-situ applications. Furthermore, the results of the analyses for pile foundation without geogrid embankment have been compared with the results relating to geogrid embankment. A higher beraing capacity is ensured in pile foundation analysis without geogrid embankment, while settlement rates are lower.

Keywords: BoredPiling, Geogrid, Plaxis, Soil Improvement.

GİRİŞ

Kocaelinde yapılan atıksu arıtma tesisinde havalandırma havuzunun zemininin iyileştirmesi amacıyla yapılan uygulama bu çalışmada incelenmiştir. Bu kapsamda sahada yapılan uygulamalar incelenmiş olup bilgisayarda sonlu elemanlar yöntemi kullanan zemin analiz programı ile analizi yapılıp, gerçek verilerle karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın amacı doğrultusunda ilk olarak 1m çapında 30m derinliğinde fore kazıklar imal edilmiş olup devamında kazık üstlerine 20'şer cm tabaklar halinde 60kN x 60kN çekme dayanımına sahip geogridli zemin iyileştirmesi yapılmış sonrasında grobeton dökülüp radye temel imalatına geçilmiştir.

Sahadaki bu çalışmalar bilgisayar programında analiz yapılmış olup elde edilen sonuçlar sahadaki elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında bilgisayarda sahada yapılan geogridli dolgu tabakası olmadan kazıklı radye temel analizi yapılarak, sahadaki uygulama ile geogridsiz kazıklı temel analizi sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan çalışmada, fore kazık ile geogrid bir arada kullanıldığında oturmanın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Fore kazıkığı zemin ıslah yöntemi olarak kullanmak yerine derin temel olarak değerlendirip daha fazla taşıma gücü elde edilmesi mümkündür. Bu bağlamda sadece fore kazık kullanılması uygundur.

1. FORE KAZIK YÖNTEMİYLE DAHA ÖNCE YAPILAN ARAŞTIRMALAR

Kazıklar ve kazıklı temeller çok eski zamanlardan beri kullanılmaktadır. İsviçre'nin neolitik insanının günümüzden 12.000 yıl önce sığ göl tabanlarında ahşap kazık çakarak üzerlerine barınak inşa ettikleri belirlenmiştir (Sowers, 1979).

Türkiye'nin bir deprem ülkesi olduğu gerçeğini kabullenerek bu gerçekle yaşamak ve bu gerçeğe uygun yapılar yapmak mecburiyeti doğmuştur. Depremin yarattığı yıkımlardan görüldüğü üzere zemin sıvılaşması büyük tehlikeleri beraberinde getirdiği görülmektedir. Bundan dolayı da zeminin ıslah edilmesi büyük önem kazanmıştır. Zemin iyileştirmesi bir ihtiyaç olmaktan çıkmış, neredeyse bütün yapılar için uygulanması zorunlu hale gelmiştir (Toprak, 2005).

Son yıllarda dünya da sık kullanılan iyileştirme yöntemlerinden birisi de fore kazık ile zemin iyileştirmesidir. Fore kazıklar genellikle ulaşım yapılarında köprüler, köprülü kavşaklar, istinat duvarları gibi yerlerde kullanılırlar. Ayrıca büyük yapıların yapımında daha az oturmalara sebebiyet vermek için genellikle kazıklı temeller yapılırlar. Kazıklı temeller bir deprem sırasında temel hareketlerini azaltmanın en etkin yöntemlerden biridir. Kazıklı temellerin deprem esnasında en yaygın kullanılan çeşidi fore kazık temelleridir. Kazık boyutu, zemin cinsi, yüzeye yakın zemin profili, kazığın imalat şekli, kazık başlığının durumu, tekrarlı yükler, kazık aralıkları vb. kazığın taşıma gücünü etkileyen faktörlerdir (Çimen ve diğ., 2009).

Üst yapıları taşıyamayacak halde kötü ve zayıf olan zeminler mekanik, dinamik ve fiziksel zemin iyileştirme yöntemleri ile mukavemetlerini ve taşıma güçlerini arttırarak yeni yapı alanları için uygun hale getirilebilir. Zemin iyileştirme yöntemlerinde temel amaç, çeşitli yöntemlerle zemin boşluk oranının azaltılması ya da zemin boşluklarının çeşitli bileşimdeki karışımlarla doldurulması ve yeterli taşıma kapasitesine ulaşılması işlemidir (Öntürk, 2011).

(Chow ve Teh, 1992), çalışmalarında homojen olmayan zemin profillerinde, her bir kazıktaki yük taşıma yüzdeleri artmasına rağmen, kazık başlığının yük taşımasında önemli azalma olduğunu göstermişlerdir.

(Nikoloaou ve diğ., 2001), çalışmalarında zemin içinde yer alan bir kazığa ait yer değiştirme değerlerini kinematik burulma momentleri üreterek elde etmişlerdir. Bu momentlerin, yumuşak ve katı zemin tabakalarının yüzeyinde yoğunlaştığını göstermişlerdir. Çalışmalarını, a) Kinematik olarak kazığın yüklenmesi b) homojen ve tabakalı zeminlerdeki kazıkların analitik çözümü ve c) Arazi deneyleri şeklinde üç grup olarak ele almışlardır. Çalışmada Winkler temel modeli (BDWF) uygulanarak özellikle kazıklara gelen sismik tepkiler belirlenmiştir. Kazığın sabit ve hareketli uç kısımlarında farklı sınır şartları gözlenmiştir. Kinematik momentlerin büyüklüğünün zemin tabakaları arasındaki rijitliğe bağlı olduğu belirtilmiştir. İki kazık arasındaki altı noktada burulma ve eksenel gerilmeler elde edilerek arazi test sonuçları ve bilgisayar çözümleri karşılaştırılmıştır.

(Bartolomei ve Omel'chak, 2003), yaptıkları çalışmalarında kazıkların bulunduğu zeminin yüksek plastisiteli kil olması durumunda aynı yük kademesinde oturma miktarının düşük plastisiteli orta sert kil olması durumundan daha fazla olacağını göstermişlerdir.

(Yao ve diğ., 2004), çalışmalarında sarsma tablası deneyini, sıvılaşan zemindeki kazık-zemin-üstyapı davranışını anlayabilmek için 4m uzunluğunda, 2m genişliğinde ve yüksekliğinde bir laminar kutu yardımıyla yapmışlardır. Çalışmada; sıvılaşma anında, eğilme momenti ve zeminin kazığa uygulayacağı basınç maksimum değere ulaşabileceği için sıvılaşmadan önceki geçiş halini dikkate alınması gerektiğinden bahsetmişlerdir.

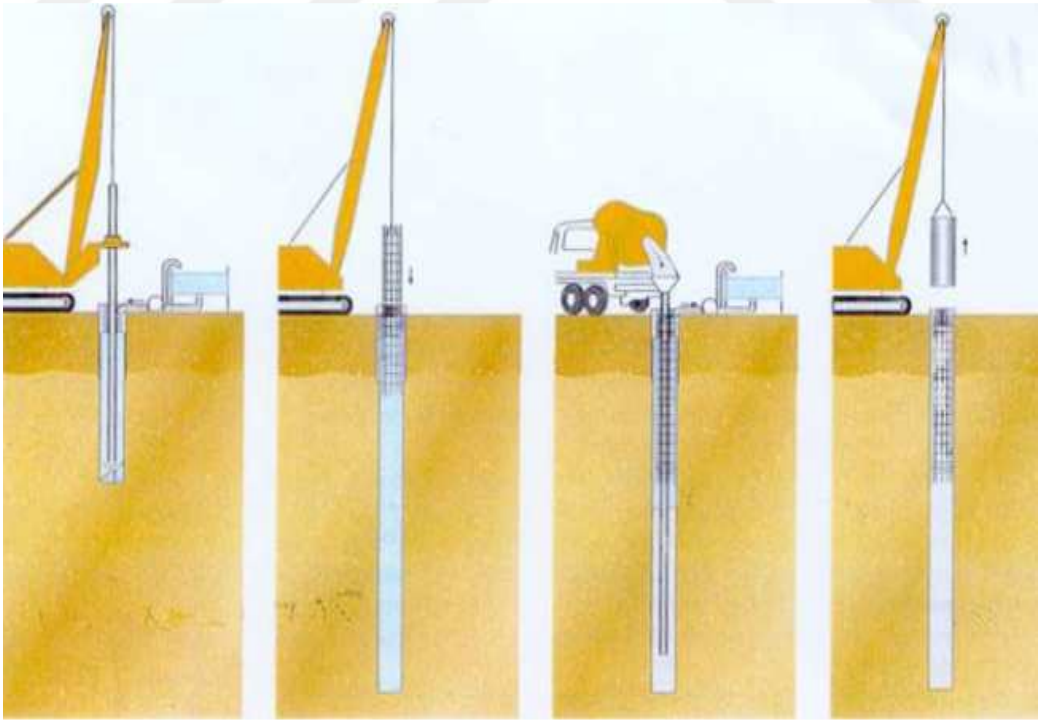
(Sadek ve Isam, 2004), yaptıkları çalışmalarında sismik yüklemeler altında kazıkların davranışlarını incelemişlerdir. Modeller üç boyutlu olarak sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Zemin elastik, yapı yoğunlaşmış kütle kolon ve tek serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Kazıkların dinamik etkiler ve sismik atalet kuvvetleri etkisi altındaki davranışlarını incelemişlerdir. Sismik yük etkisiyle kesme kuvvetlerinde ve burulma momentlerinde azalma olduğunu göstermişlerdir.

(Özen ve Özkan, 2004), çalışmalarında tabakalı bir zemin profilinde, üst tabakadaki zeminin sıkılığı ve sıkı zemin kalınlığı arttıkça yer değiştirmelerin önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir.

1.1. Fore Kazık Metodu

Kazıklar, yapı yüklerini zeminin derin tabakalarına taşıtmak amacı ile kullanılan bir temel çeşididir. Zemin yüzeyine yakın tabakaların yumuşak ve taşıma kapasitesinin düşük olması, şişen killerin yapıya olan etkilerinin ortadan kaldırılması, köprü yüklerinin taşıtılması ve çok katlı yapı ve kulelerin dönmeye karşı korunması amacıyla kazık temeller kullanılmaktadır (Das,1999).

Taşıma kapasitesi düşük olan zeminlerde bina yükünü sağlam zemine taşıtmak amacıyla yapılan kazıklardır. Bu kazıklar sondaj kazıkları olup yöntemleri yapılan sahanın durumu, zemin yapısı, kazığın çapı ve derinliğine bağlıdır. Delik çapı Fore Kazık 50cm ile 250cm arasında olabilir.Zemin içerisinde açılan bir kuyuya konulan donatılar ve üzerine dökülen, kuyuyu tamamen dolduracak şekilde, beton ile yerinde imal edilen kazıklardır (URL-1).



Şekil 1.1. Fore kazık yapım aşamaları

Kazıkların kullanım alanları:

- Sağlam zemin derinlerde ise
- Temel altındaki zeminin oyulma riski var ise
- Temellerde büyük konsantre yük mevcut ise
- Yapı farklı oturmaya hassas ise
- Şevlerin sağlamlaştırılmasında
- Kaldırma kuvvetlerinin ve yatay zemin itkilerinin karşılanmasında
- Limanlar ve köprü ayakları gibi su içinde yapılan yapılarda
- Su içindeki yapılarda palplanş perde yapımında

1.1.1. Çalışma sahasının hazırlanması

İnşaat sahası ve yolları makine ve personelin verimli çalışarak planlanan günlük imalat miktarlarının yapılabilmesi ve imalat kalitesine ulaşılabilmesi için düzgün ve kuru tutulmalıdır (URL-3);

- Delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve sair ağır iş makinelerinin 10cm'den fazla batmadan çalışmalarına imkan sağlayacak biçimde düzeltilip, sıkıştırılacaktır. Dolgular delme işini zorlaştırmayacak uygun malzemelerle yapılacaktır.
- Çalışma sahasında uygun yüzey drenaj sistemi tesis edilerekplatformunkurukalması sağlanacaktır.
- Foraj malzemesi ve yer altı suyu sürekli olarak sahadan uzaklaştırılarak çalışma sahasının bozulması önlenecektir.

1.1.2. Fore kazık yönteminde kullanılan makine – ekipman

Fore kazık işinde kullanılan makine ve ekipman listesi aşağıdaki gibidir (URL-1).

- Kazık Makinesi Servis Vinci
- Kelly
- Rotari
- Matkaplar
- Vibro
- Bentonit Tankı
- Sirkülasyon Pompaları
- Kompresör

- Tremi Borusu

1.1.3. Delgi işleri

Projede belirlenen çaptaki betonarme kazıkların forajı paletli vince monte edilmiş rotary delgi makineleri veya hidrolik delgi makineleri ile yapılır. Yıkıntı yapan, su seviyesi yüksek zeminlerde kuyu borulanır veya bentonit ile delgi yapılır. Yıkıntı yapmayan zeminlerde kısa bir ön boruyla delgi yapılır. Foraj sırasında karşılaşılabilecek sert tabakaların geçilmesinde uygun ataşmanlar kullanılmalıdır. Foraj, proje derinliğine ulaşıncaya dek yukarıdaki yöntemlerle devam edilir (URL-1).

1.1.4. Donatı kafesinin hazırlanması ve kuyulara indirilmesi

Donatı kafesinin hazırlanması ve kuyulara indirilmesi esnasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (URL-1).

- Demirler kazık lokasyonlarına yakın bölgede gerekli şablonlar kullanılarak kafes haline getirilir. Kaldırma esnasında dağılmasını önlemek üzere gerekli rijitlik sağlanmalıdır.
- Kafeslerin eklenmesi bağ teli, kaynak veya çok ağır olmaları halinde klemensle yapılmalıdır.
- Hazırlanan donatı kafesi servis vinci kullanılarak kuyulara indirilebilir.
- Betonlama sırasında batmaması için donatı kafesi üstten askıya alınmalıdır.

1.1.5. Betonlama

Forajın betonlanması aşamasında aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (URL-1).

- Donatı kafesinin kuyulara indirilmesini takiben içine tremi borusu servis vinci ile indirilir.
- Betonlama tremi borusu ile yapılmalıdır böylece betonun segregasyonu önlenmiş olur.
- Tremi betonunun yüksek slump (minimum 15cm) ve geç priz alması (minimum 3 saat) gereklidir.
- Betonlama başlamadan önce tremi borusu tabandan 30-40cm yukarı çekilmelidir.
- Yer altı suyunun betonla karışmasını önlemek için tremi borusu sürekli ve asgari 2m beton içinde kalmalıdır.
- Betonlama, kuyu ağzından temiz beton gelene dek devam ettirilmelidir.

1.1.6. Kalite kontrol

Kuyu metrajı foraj esnasında kelly boyuyla, foraj sonrası ucuna ağırlık bağlanmış şerit metre ile ölçüm yapılır. Sözleşmede belirtilen miktarlara göre alınacak örnek numuneler 7-28 günlük kırım sonuçları ile raporlanmalıdır. İstenildiğinde kazık yükleme deneyi ile PIT (süreklilik testi) yapılmalıdır (URL-1).

1.1.7. Kayıtların tutulması

Şantiyelerde her kazık için aşağıdaki hususlar dikkate alınarak Sicil Fişi hazırlanır (URL-1).

- Kazık numarası, yeri ve tarihi,
- Kazık üst ve alt kotu,
- Kazık çapı ve delgi boyu,
- Foraj başlangıç ve bitim zamanı,
- Kullanılan beton miktarı ve numune alınmış ise numaraları,
- Muhafaza borusunun boyu bulunmalıdır.

1.2. Kazıkların Taşıma Gücü Hesabı

Bir kazığın taşıma gücünü kazık- zemin etkileşimi yönünden belirleyen başlıca iki etken, kazığı çevreleyen zeminin taşıma gücünü oluşturan mekanik özellikleri ile kazığın yapıldığı malzemenin dayanımını oluşturan mekanik özellikleridir. Bu iki özellik kullanılarak kazık ve zemin ayrı ayrı değerlendirilir ve her ikisinin de uygulanan yük altında sağlam kalacakları kanıtlanır. Tasarım aşamasında öncelikle uygulanan yükün kazığın yapıldığı malzemeye bağlı olan toplam kesit direncini aşmamasına özen gösterilir. Zemin dayanımı yönünden kazıkların taşıma gücü, önce teorik veya ampirik formüllerle bulunur. Formüller, kazık zemin etkileşiminin statik dengesini yansıtan veya çakma kazıklarda kazığı çakmak için harcanan enerji ve/veya yapılan işi esas alan bağlantılardır.

1.2.1. 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.

$$Q_p = q_f . A_p \quad (1.1)$$

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

$$Q_s = f_s . A_s \quad (1.2)$$

Kazığın toplam taşıma kapasitesi ise;

$$Q_f = Q_p + Q_s \quad (1.3)$$

$$Q_f = (q_f . A_p) + (f_s . A_s) \quad (1.4)$$

olarak ifade edilebilir.

1.2.2. Uç direnci

Kazık kapasitesini oluşturan iki unsurdan biri olan kazık uç direncinin hesaplanması için varolan belli başlı yöntemler aşağıda incelenecektir.

1.2.2.1. Uç kazıklarında uç direnci

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.

1.2.2.2. Sürtünme kazıklarında uç direnci

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:

$$q_f = 1{,}3.c.N_c + \sigma_{o'}.N_q + \eta.\gamma'.B.N_\gamma \quad (1.5)$$

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	N_c	N_q	N_γ
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

a) Kohezyonsuz zeminlerde;

Kohezyon sıfır alınarak uç direnci ;

$$q_f = \sigma_{o'}.N_q + \eta.\gamma'.B.N_\gamma \quad (1.6)$$

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

$$q_f = \sigma_{o'}.N_q \quad (1.7)$$

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

b) Kohezyonlu zeminlerde;

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

$$q_f = c_u.N_c \quad (1.8)$$

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

$$q_f = 9.c_u \quad (1.9)$$

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

1.2.3. Birim sürtünme direnci

Granüller zeminlerde zemin ile kazık arasında fiziksel sürtünme, killi zeminlerde ise adhezyonhareketlenmesi 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:

$$Qç = \sum p.\Delta.\Delta Li \quad (1.10)$$

Denklem (1.10)'dan anlaşılacağı üzere kazığın çevre sürtüne direncini hesaplamak için zeminin birim çevre sürtünmesi değeri olan (fi) nin bilinmesi gerekmektedir.

1.2.3.1. Kohezyonsuz zeminlerde

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

Kazık yapım yöntemi: Çakma kazıklarda zemin sıkışacağından içsel sürtünme açısının değeri artar.

(fi) 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:

L′ : Gevşek kumlar için 10d

L′ : Orta sıklıktaki kumlar için 15d

L′ : Sıkı kumlar için 20d

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 $fi = K_i . \sigma_{vi'} . \tan\delta_i$ (1.11)

$L > z > L'$ için $fi = (fi)z$ (1.12)

Zemin tabakasının efektif yanal toprak basınç katsayısı (K) değerleri kazık imal tarzına göre Tablo 1.2 de verilmektedir:

Tablo 1.2. Kazık tipine göre K değerleri

KAZIK TİPİ	K
Fore kazıklar	$\approx K_o$ = 1-sinø
Az deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_o$ ila 1.4 K_o
Yüksek deplasman yapan çakma kazıklar	$\approx K_o$ ila 1.8 K_o

Yüksek deplasman yapan kazıklar için ayrıca Denklem (1.13) ve Denklem (1.14) önerilmektedir:

$K.\tan\delta = 0{,}18 + 0{,}0065.Dr$ (1.13)

$K = 0{,}5 + 0{,}008.Dr$ (1.14)

Burada Dr : Rölatif sıkılık derecesidir (%). Tablo 1.3 ve Tablo 1.4'te Kulhawy (1984) tarafından önerilen K ve δ değerleri yer almıştır

Tablo 1.3. Geostatik katsayıya oranla K değerleri

KAZIK TİPİ	K / K_o
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

Geostatik toprak basıncı, basınç katsayısı K_{oi} göz önüne alınarak Denklem (1.10) bağıntısının Denklem (1.11) bağıntısına yerleştirilmesi halinde Denklem (1.15) elde edilir:

$$Q_ç = \sum \pi.d.\Delta L_i.K_{oi}.\sigma_{vi}'.\tan\delta_i \qquad (1.15)$$

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 Koi kumlarda içsel sürtünme açısının (ø′) bir fonksiyonu olup yaklaşık olarak:

$$K_{oi} = (1 - \sin\varphi') \qquad (1.16)$$

alınabilir (Jaky,1948).

Bazı araştırmalara göre bu katsayının daha kesin ifadesi:

$$K_{oi} = (1 - \sin\varphi').(OCR)_i^{0,5} \qquad (1.17)$$

şeklindedir. Burada OCR, kil tabakasının aşırı konsolidasyon oranıdır. Toplam çevre sürtünme direnci; Denklem (1.15) bağıntısı kullanılarak, ΔL_i kalınlığındaki her ayrı (i) tabakası için hesaplanır ve kazık boyunca toplamı alınır.

1.2.3.2. 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 Denklem (1.10) ve Denklem (1.15) denklemlerinin benzeri Denklem (1.18)'deki gibidir:

$$Q_ç = \sum \pi d.\Delta L_i.\alpha_i.c_i \qquad (1.18)$$

Bu ifadede diğer katsayılar Denklem (1.15) bağıntısındakilere eşdeğer şekilde tarif edilmekle beraber;

α_i :Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının adhezyon katsayısını,

c_i :Kazığın içinden geçtiği zemin tabakasının drenajsız kayma dirençlerini,göstermektedir.

Bu halde de toplam çevre sürtünmesi direncinin hesabında Denklem (1.18) bağıntısı kullanılarak ΔL_i 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.

α Yöntemi;

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

Adhezyon katsayısı α_i Denklem (1.19)'da görülebileceği gibi çoğu kez drenajsız kayma direncinin bir fonksiyonu olmaktadır.

$$f_{si} = \alpha_i.c_{ui} \qquad (1.19)$$

adhezyon katsayısı kohezyonun (c_{ui}); 25 > c_{ui} > 90 (kN/m²) sınırları içinde kalan değerleri için denklem (1.20) ifadesi ile hesaplanabilir:

$$\alpha_i = 1 - 0{,}00615 \times (c_{ui} - 25) \quad (1.20)$$

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

C_{ui} Değeri	α_i Değeri
90	0,60
100	0,58
150	0,42
200	0,35

λ Yöntemi;

(Vijayvergiya ve Foctht, 1972), tarafından geliştirilen bu metoda göre kazık çakılması esnasında kazık çevresinde zeminde oluşan deplasmanlar zemin içerisinde pasif toprak basıncı oluşmasına sebep olmaktadır. Bu kabulle göre ortalama birim çevre sürtünmesi Denklem (1.21)'deki bağıntıyla verilmektedir;

$$f_{av} = \lambda(\sigma'_v + 2c_u) \quad (1.21)$$

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

β Yöntemi;

Kazıklar suya doygun killerle çakıldıklarında kazık çevresinde boşluk suyu basıncı normal konsolide killerde (4-6) c_u 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;

$$f = \sigma'_v.\beta \tag{1.22}$$

$$\beta = K\tan\varphi'_r \tag{1.23}$$

Yanal itki katsayısı olarak kabul edilen K değeri, Denklem (1.16) ve Denklem (1.17) ifadeleri kullanılarak Denklem (1.22) ifadesinde yerine konulursa normal konsolide killer için;

$$f = (1 - \sin\varphi'_r).\tan\varphi'.\sigma'_v \tag{1.24}$$

aşırı konsolide killer için;

$$f = (1 - \sin\varphi'_r).\tan\varphi'.\sqrt{OCR}.\sigma'_v \tag{1.25}$$

bağıntıları elde edilir.

1.3. Kazıklarda Grup Etkisi ve Grup Taşıma Gücü

Kazık grubunun taşıma gücü, kazıkların grup halinde davranışları düşünülerek hesaplanır. Zira, grup içindeki bir kazık ve çevre zemin, diğer kazıklardan iletilen gerilmelerin etki alanı içinde kalabilir. Bu prblemin çözümü için çeşitli yaklaşımlar vardır. Bunlardan biri sürtünme kazıklarında grup etkisini hesaplamak için kullanılan ampirik veya yarı ampirik formüllerdir. Bu formüller kazıklar arası etkileşim nedeni ile grup içindeki kazıkların taşıma güçlerinde meydana gelen azalmayı saptamak amacı ile geliştirilmişlerdir. η sayısı ile gösterilen grup verimi, kazıkların tek tektaşıma güçlerinin toplanması ile bulunan değerle çarpılarak grup taşıma gücü bulunur. Bu formüllerde genelde, yalnızca kazık –kazık etkileşimi düşünülmüş ve zemin özellikleri göz önüne alınmamıştır.

1.3.1. Verimlilik formülleri

1.3.1.1. Converse-Labarre formülü

Formüllerden başlıcası ve en çok kullanılan olan Converse-Labarre formülü Denklem (1.26)'da verilmektedir:

$$\eta = 1 - \theta\left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn}\right] \tag{1.26}$$

1.3.1.2. 1/8 etkileşim kuralı

Bu kuralın kimin tarafından bulunduğu bilinmemektedir. Kurala göre grup içindeki belirli bir kazığın taşıma gücünü azaltmak için önce her komşu kazık için bir adet (1/8) sayısı kazık çapı / kazık aralığı (d/s) oranı ile çarpılır. Bu çarpımdan elde edilen rakam ile kazığın taşıma gücü çarpılır ve etkilenmiş taşıma gücü böylece bulunur. Dikdörtgen ızgara üzerindeki m ve n adet kazıktan meydana gelen bir grup için verim (η);

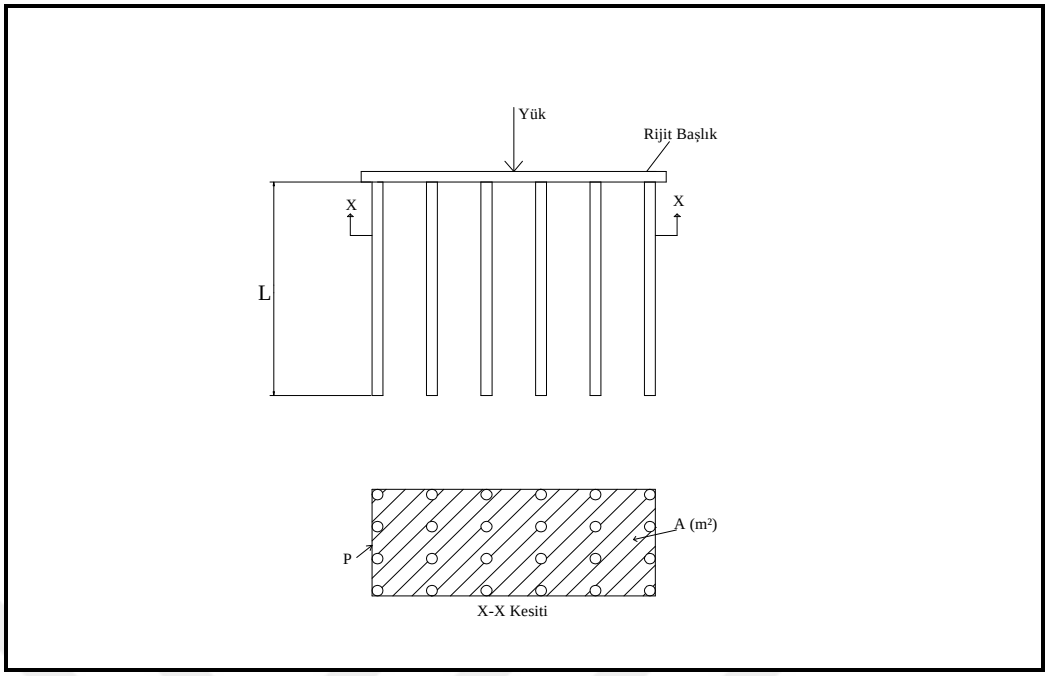
$$\eta = 1 - \left[\frac{12 + 10(m-2) + 10(n-2) + 8(m-2(n-2))}{8mn}\left(d/s\right)\right] \tag{1.27}$$

formülü ile ifade edilebilir.

Bu formül ile hesaplanan verim, kazıkların tek tek taşıma güçlerinin toplanması ile bulunan değerle çarpılarak grup taşıma gücü ile bulunur. Bu formüllerde de, yalnızca kazık- kazık etkileşimi düşünülmüş ve zemin özellikleri göz önüne alınmamıştır.

1.3.1.3. Terzaghi blok yaklaşımı

Terzaghi ve Peck (1967) kazıklı bir temelin aynen bir " Blok Derin Temel" olarak davranacağı varsayımından hareket ederek bir hesap yöntemi geliştirmişlerdir. Yukarıda 1.3.1.başlığı altında nakledilen hesap yöntemlerinin, zemin özelliklerini hesaba katmamakta olduğu açıklanmıştı. Terzaghi ve Peck yöntemi zemin özelliklerini de hesaba katar. Kazıklı bir temelin blok halinde davranması; her zaman olası bir durum değildir ve bu davranışı önemli ölçüde kazık aralığı etkiler. Temelin hangi kazık aralığındaki aşamada blok temel davranışından tek kazık davranışına geçeceği sorusuna kolayca cevap vermek kolay değildir. Bu soruya her durumda geçerli olabilecek hazır bir cevap bulunamaması nedeniyledir ki; Terzaghi ve Peck tek kazığın göçmesi ile blok temelin göçmesi durumları ayrı ayrı göz önüne alan bir yaklaşım önerişlerdir. Aşağıda görüleceği gibi bu yaklaşımı içinde iki adımlı bir çözüm takip edilir.



Şekil 1.2. Kazıklarda grup etkisi

Yöntem Şekil 1.2.'ye bakılarak ve aşağıdaki kabuller ile şöylece açıklanabilir:

- Kazık başlığı rijittir.
- Kazık grubu içindeki zemin kazıklarla beraber bir blok olarak davranır.

Terzaghi ve Peck metodunda kazık grubu Şekil 1.2'de gösterildiği gibi derin bir temel gibi düşünülerek toplam taşıma gücü bulunur. Şekil 1.2'ye bakılarak blok çevresi ve tabanındaki kuvvetlerin dengesi göz önüne alınırsa aşağıdaki ifade elde edilir:

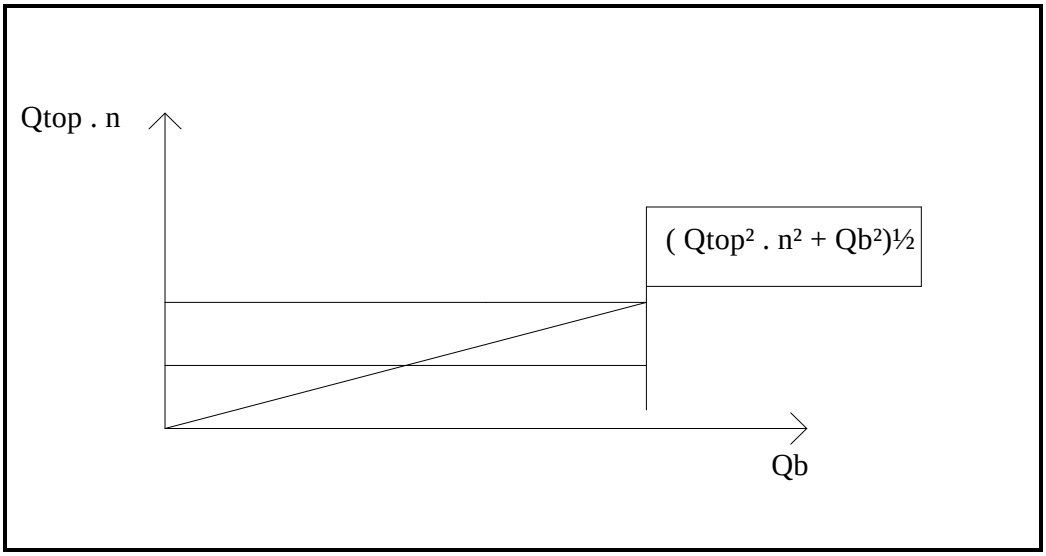
$$Qs = P.L.s + A.q_f - AL\gamma \qquad (1.28)$$

Killi zeminler için (1.28) ifadesinde görülen q_f (Kazığın oturduğu derinlikteki taşıma gücü):

$$q_f = 1{,}3c.N_c + \gamma L \qquad (1.29)$$

olarak alınabilir.

Denklem (1.28) ile bulunan taşıma gücü; (n) gruptaki kazıkların sayısını göstermek üzere, kazıkların tek tek taşıma güçlerinin toplamından elde edilen değer olan ($n.Q_{top}$) ile karşılaştırılır ve küçük olan değer, kazık grubunun toplam taşıma gücü olarak kabul edilir.



Şekil 1.3. Verim formülasyonu

Şekil 1.3. de bu iki formülasyondan elde edilen değerler iki dik eksen üzerinde gösterilmişlerdir. Bunların bileşkesi $(n^2.Q_{top}^2 + Q_b^2)^{1/2}$ ile belirlenir. Kapsadıkları alan ise $n.Q_{top}.Q_b$ dir. İstatistiksel olarak alınan bileşkeye bölünmesi ile bulunan ifadenin yeniden düzenlenmesi ile (η) verimi göstermek üzere aşağıdaki gibi yeni bir verim;

$$1/\eta^2 = \left(1 + n^2.Q_{top}^{\ 2}\right)/Q_b^{\ 2} \qquad (1.30)$$

formülü saptanabilir.

Whitaker (1957) tarafından narinliği (l/d)=48 olan model kazıklardan meydana gelen 5x5, 7x7 ve 9x9 kazıklı kazık grupları üzerinde gerçekleştirilmiş olan deneylerden elde edilen verim ile formüllerden elde edilen verim sonuçları karşılaştırılmış ve Denklem (1.27) bağıntısının göreli olarak daha iyi sonuç verildiğim görülmüştür. Diğer taraftan bu sonuçlara göre; kazık aralığının s=4d değerindenitibaren kazıkların blok davranışından tek kazık davranışına geçtikleri de görülmüştür

1.3.2. Arazi deney sonuçlarından kazık taşıma gücü tahmini

Münferit kazıkları taşıma güçleri statik kazık formülleri, dinamik kazık formülleri, Standart Penetrasyon (SPT) deney sonuçları, sondalama deney sonuçları (CPT) kullanılarak veya yükleme deneyi yapılarak bulunabilmektedir (Coduto, 1994). Bunlar içerisinde pahalı olmakla beraber en güvenilir sonuçlar, standartlara uygun yapılmak şartı ile yükleme deneylerinde elde edilmektedir. Bu deneyler ancak fazla miktarda

kazık kullanılması durumunda yapılmaktadır. Arazi araştırmaları sırasında yaygın olarak kullanılan Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve Konik (Statik) Penetrasyon Deneyi (CPT) sonuçları kazık taşıma gücü tahmininde kullanılabilir.

1.4. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart Penetrasyon deneyi (SPT) zeminin mukavemet yoğunluğunu değerlendirmek ve numune almak amacıyla yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir.

Bilindiği gibi kesme mukavemeti kum çakıl gibi iri taneli zeminlerde zeminin izafi sıklığına, Kohezyonlu zeminlerde ise zeminin mukavemet parametrelerine bağlıdır. Bundan dolayı standart penetrasyon direnci ile taşıma gücü arasında gerçeğe yakın bir bağlantı kurmak mümkündür. Ancak standart penetrasyon direnci ile oturma miktarı arasında istenilen doğrulukta bir ilişki kurmak zordur. Standart Penetrasyon deneyinin avantajları şöyle sıralanabilir:

-Deneyde yaygın ve çok bilinen bir ekipman kullanılması,
-Kullanılan ekipmanın basit ve dayanıklı olması,
-Deneyin göreceli olarak kolay, ekonomik, hızlı ve çok özel bir deneyim gerektirmeksizin yapılabilmesi,
-Her türlü zemin ve yumuşak kayada uygulanabilmesi,
-Yer altı su tablasının altında ve üstünde yapılabilmesi,
-Test yapılırken bozulmuş numunenin de alınabilmesi.

1.4.1. Standart penetrasyon deneyinin yapılması

SPT yapabilmek için standart sondaj takımı (sondaj kuyusunun açılması ve penetrometrenin kuyuya indirilmesini sağlayabilecek makine ve ekipman), standart bir penetrometre (dış çapı 50,8 mm iç çapı 35,4 mm uzunluğu 81,3 cm toplam ağırlığı 6,81 kg), A-tij (dış çapı 41,3 mm iç çapı 28,6 mm), şahmerdan (çakma tokmağı 63,5 kg) ve çakma başlığı gerekmektedir.

Deney yapılmak istenen seviyeye penetrometre indirildikten sonra 76,2 cm yükseklikten şahmerdan ile çakma başlığı üzerine serbest düşme yaptırılır. Bu hareket ritmik olarak tekrarlanılır. Penetrometrenin zemine 3x15cm girmesi için

gerekli serbest düşme sayısı değerlendirmeye alınmadan ikinci ve üçüncü 15cm'lik girmeler için belirlenen serbest düşme sayıları toplanarak Standart Penetrasyon Direnci (N) olarak tanımlanır.

Standart Penetrasyon Direnci (N) deneyinin yapıldığı seviyeye ve deneyin yer altı su seviyesinin altında yapılması hallerinde gerçek değerinden farklı olarak belirlenir. Bu nedenle derinlik ve su düzeltmesi yapılarak gerçek "N" değeri belirlenmelidir.

SPT deneyi aşağıdaki koşullardan herhangi birini sağlayana kadar sürdürülür.

- 15 cm lik üç penetrasyondan herhangi birine N = 50 vuruş sayılması
- Şahmerdanın 10 vuruşundan sonra penetrometrenin fark edilir bir penetrasyon yapmaması
- Penetrometrenin zemine öngörülen (3 x 15 =45cm) girişi tamamlaması.

1.4.2. SPT darbe sayısının derinlik düzeltilmesi

Deney derinlerde yapılıyorsa tij uzunluğunun artmasından dolayı penetrometre üzerine gelmesi gereken enerjide azalma oluyor. Bu nedenle belirlenen N değeri gerçek değerinden büyük çıkıyor. Bu sebeple arazide bulunan N darbe sayısı, deney seviyesindeki mevcut efektif toprak basıncına göre düzeltilmelidir.

$$N' = N \times C_N \tag{1.31}$$

$$C_N = 0{,}77\log(20/\sigma'_0) \tag{1.32}$$

1.4.3. SPT darbe sayısının yer altı su seviyesine göre düzeltilmesi

Birçok araştırma göstermiştir ki yer altı su seviyesi altında bulunana ince kum ve siltlerde düzeltilmiş N' zeminin gerçek standart penetrasyon direncinden daha büyüktür. Bu nedenle ince kum ve siltlerde derinlik düzeltilmesi ile bulunan N' değeri 15 ten büyük ise çarpma sırasında oluşan boşluk suyu basıncının etkisini gidermek için aşagıdaki düzeltme yapılır.

$$N'' = 15 + 0{,}5(N' - 15) \tag{1.33}$$

1.4.4. SPT verileriyle kazık taşıma gücü hesabı

Uç Taşıma Gücü;

$$q_f = 4N\frac{D_b}{B} \le 40N \Rightarrow (\text{Kumda}) \tag{1.34}$$

Fore kazıklarda qf değerinin üçte biri dikkate alınmalıdır.

Çevre Sürtünmesi;

$$f_s = 0{,}2\ \text{Nort}\ (t/m^2) \tag{1.35}$$

Fore kazıklarda ve çelik kazıklarda f_s değerinin yarısı dikkate alınmalıdır.

1.5. Çevre Sürtünmesi Taşıma Gücü Hesabı

Çevre sürtünmesi taşıması iki metoda göre hesaplanabilir:

1. Metod;

Bu metoda göre kazık çevre sürtünmesi taşıma kazık çevre sürtünmesi direncine bağlıdır.

$$Q_s = \sum_0^L q_s.\pi.D.\Delta L = S_1 \sum_0^L f_s.\pi.D.\Delta L \tag{1.36}$$

Tablo 1.6. S1 Sürtünme direnci katsayısı

KAZIK TİPİ	**S1**
Ahşap kazık	1,2
Paralel kenarlı beton, çelik düz uçlu	0,6
Paralel kenarlı beton, çelik sivri uçlu	1,1
Yerinde çakma kazık	1,6
Açık uçlu çelik boru, H kazık	0,7

2. Metod;

İkinci metoda göre ise kazık çevre sürtünmesi taşıması kazık uç direncine bağlıdır.

$$Q_s = \sum_0^L q_s.\pi.D.\Delta L = S_2 \sum_0^L q_c.\pi.D.\Delta L \tag{1.37}$$

Tablo 1.7. S2 Uç direnci taşıma gücü katsayısı

KAZIK TİPİ	S2
Ahşap kazık	0,012
Betonarme çakma kazık	0,012
Geniş tabanlı betonarme çakma kazık	0,018
Çelik deplasman kazığı	0,012
Açık uçlu çelik boru	0,008

2. GEOGRİD MALZEMESİYLE DAHA ÖNCE YAPILAN ARAŞTIRMALAR

Donatılı zemin, ya da mekanik olarak stabilize edilmiş zemin, metal şeritler, geotekstiller ya da geogridler gibi çekme elemanlarınca kuvvetlendirilmiş zeminden meydana gelen bir inşaat tekniğidir. 1960'lı yıllarda Fransız yol araştırma laboratuarında bir inşaat tekniği olarak donatılı zemin kullanımının faydalı etkilerini değerlendirmek amacıyla birçok araştırmalar yapılmış ve önceki yapılan çalışmaların sonuçları Vidal (1968) tarafından değerlendirilmiştir. Dünyanın çeşitli yerlerinde donatılı zemin kullanılarak pek çok istinat duvarı ve set inşa edilmiş ve bu yapılar çok iyi performans göstermişlerdir (Vidal, 1968).

Geosentetikler doğa koşullarına çok uzun yıllar dayanabilecek şekilde üretilmiş petrol türevi ürünlerdir. Mucize malzeme olarak adlandırılan geosentetikler; bir proje, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzemeyle beraber kullanılan ürünlerdir. (Wasti, 1992).

Geosentetiklerin zemin uygulamalarında, diğer yöntemlere göre ekonomik oluşu, uygulama kolaylığı ve zaman tasarrufu kullanım alanını hızla arttırmıştır. Yıllar boyunca bu malzemeler üzerine yapılan gözlemler, araştırmalar bu tür malzemelere karşı duyulan tedirginliği büyük ölçüde ortadan kaldırmıştır (Çoruh, 1991).

Geosentetik donatılı duvarlarda modüler beton birimlerin cephe kaplaması olarak kullanımını değerlendirilerek, sistemin Kuzey Amerika'da performans, estetik, maliyeti sayesinde rağbet kazandığı belirtilmiştir (Bathurst ve Simac, 1994).

Geotekstil; zeminde kullanılan geçirgen ürünlerin genel adıdır. Hammaddesi genellikle petrol bazlı olan polyester, polietilen, polipropilen veya fiberglas olabilir. Geotekstiller dokuma, keçe veya örgü olabilir, özellikle karayolu ve toprak dolgularda kullanılmaktadır. Donatılar zeminin taşıma kapasitesini arttırma ve deplasmanları azaltma amaçlı kullanılmaktadır (Das,1984).

Söz konusu çalışmada donatılı toprak sisteminin gerekli projelendirme esasları, yeterli malzeme ve işçilik şartları sağlandığı takdirde ekonomik, estetik ve güvenli yapı inşası için verimli bir yöntem olduğu belirtilmiştir. Diğer bir çalışmada kullanım alanları ile işlevleri açısından mekanik ve hidrolik başlıkları altında iki ana grupta incelenen geosentetiklerin sağladığı avantajlar bakımından geleneksel yöntemlerle kıyaslandığında etkin çözümler sunduğu belirtilmiştir (Yılmaz ve diğ., 2007).

Geosentetiklerin kullanım alanlarının araştırıldığı çalışmada ise geosentetiklerin donatılı seddeler ve donatılı zemin duvarlarda kullanıldığında deprem etkilerini azalttığı ve sıvılaşmaya karsı etkili olduğu; donatılı zemin duvarlarda kullanıldığında dışsal ve içsel stabiliteyi attırdığı; kil zeminlerde fitil dren kullanımı ile konsolidasyonu hızlandırdığı ve demiryolu inşaatlarında da taşıma gücünü arttırdığı belirtilmiştir (Yılmaz ve diğ., 2006).

Donatılı kum zemin üzerine oturan sürekli temellerin oturma miktarını etkileyen faktörleri, laboratuvar ortamındaki deneysel modelde geogrid kullanımı ile incelenen çalışmada; deneyler ve istatistiki hesaplamalar sonucunda, sınır taşıma gücüne ulaşılması için gerekli otuma miktarının %52 değeri ile en yüksek oranda temel genişliğinden etkilendiğini belirtmiştir. Temel derinliğinin ise %30 oranı ile ikinci derecede etkili parametre olduğu bildirilmiştir (Demiröz ve Tan,2008).

Dinamik etkilerin incelendiği çalışmada, modüler blok yüzey kaplama elemanı ile granüler dolgu malzemesi kullanılarak modellenen 6 metre yüksekliğindeki istinat duvarına, sonlu elemanlar programı ile 6 saniye süresince harmonik deprem etkisi 0,2 g ve 0,4 g olmak üzere iki farklı maksimum ivme değerleri ile etki ettirilmiştir. Analizlerde; donatılı bölge dolgusu, mevcut doğal zemin ve temel zemini olmak üzere 3 farklı tipte zemin kullanılmıştır. İki farklı donatı çeşidi kullanılarak, 4,2 m boyundaki donatılar düşeyde 1molarak eşit mesafede yerleştirilmiştir. Geosentetik donatı ve modüler blok yüzey kaplaması kullanılarak granüler dolgu ile gerekli şartlarda inşa edilen istinat duvarlarının dinamik yükler altında iyi performans sergilediği belirtilmiştir (Güler ve Demirkan, 2002).

Genel anlamda donatılı zemin; metal veya plastik şeritler, çubuklar, geotekstiller vd. malzemelerin içine yerleştirildiği zemindir. Donatılı zeminde, aynen betonarmede olduğu gibi, donatı ile zemin arasında sürtünme gerilmeleri oluşturarak, zemin

güçlendirilir. Kullanılan zemin, genellikle kohezyonsuz (kum, çakıl) zemindir (Uzuner, 2007).

Literatürde, donatılı zemin ile ilgili tasarım, modelleme ve deneysel uygulamaları içeren çalışmalar bulunmaktadır. Metal şerit ve geotekstil kullanımı ile donatılı zemin yapılarının teşkilinde, tasarım kriterlerini ve sınır değerleri içeren bilgisayar programı geliştirilmiştir (Alkaya ve Yeşil, 2012).

Ekonomik analiz içeren çalışmada ise 5,50m yükseklikteki betonarme konsol istinat duvarı ile yine aynı yükseklikteki şev stabilitesinin sağlanabilmesi amacı ile geotekstil ve geogrid kullanımı değerlendirilmiştir. Betonarme istinat duvarın maliyetinin, geotekstil donatılı duvardan yaklaşık %71 daha pahalı olduğu, yine aynı betonarme duvarın geogrid donatılı duvardan ise yaklaşık %24 daha pahalı olduğu belirtilmiştir (Yılmaz ve Aklık, 2002).

Ayrıca, saha uygulamasındaki tasarım ve inşa aşamalarını açıklayan çalışmalar da bulunmaktadır. Uşak Kışladağ Altın Madeni projesindeki ana kırıcının rampası için 22,5m yüksekliğindeki kanat duvarlarının polimer şeritli donatılı zemin duvar ile inşasının detaylarının sunulduğu çalışmada, birinci derece deprem bölgesinde yer alan ve yüksek tonajlı kamyon yüklerini maruz kalacak söz konusu duvarlar 0,4 g yatay deprem ivmesi altında palyeli tasarlanmıştır (Özçelik, 2006).

Bu çalışmadan görüldüğü üzere, duvar boyunun palyelendirilerek farklı kademelerde çözüm yapılması hem donatılara gelecek yükü azaltmakta hem de daha ekonomik çözüm sunmaktadır. Bir başka çalışmada, büyük ölçekli bir satış merkezindeki araç girişini sağlamak amacı ile inşa edilen 4 m yüksekliğinde ve 104 m uzunluğundaki geotekstil donatılı istinat duvarı tasarım ve inşası açıklanmıştır (Richardson, 1995).

Donatılı zemin yapılarının önceki depremlerdeki performansı ve statik ile sismik sayısal analizlerinin değerlendirildiği çalışmada Davutpaşa kavşağı ve bağlantı yolları inşası durum çalışması olarak sonlu elemanlar yazılımı ile incelenmiştir (Kaya ve diğ., 2006).

2.1. Geoteksil Metodu

Donatılı zemin uygulamasındaki temel prensip; heterojen ve karmaşık yapısından dolayı birçok belirsizlik içeren zemin davranışının, çelikten üretilen donatı, polietilen esaslı geogrid veya polyester esaslı geotekstil kullanımı ile iyileştirilmesidir. Bu

malzemelerin düşük özgül ağırlığına rağmen yüksek çekme ve eğilme dayanımına sahip olmaları, donatı kullanımı için ön plana çıkmalarını sağlamaktadır. Elemanların yüzeyleri ile zemin arasındaki aderanstan kaynaklanan sürtünme davranışı donatılı zeminlerdeki en önemli tasarım unsuru olarak belirtilebilir. Donatıların kesitleri oldukça küçük olduğundan yeterli derecede çekme dayanımına sahip olması gerekliliği de bir diğer önemli parametredir. Malzemelerin karakteristik özelliklerine zarar verebilecek; ağır metal, tuz ve kimyasal gibi zeminde bulunma olasılığı olan kirleticilere karşı korunması şarttır. Aksi takdirde tasarım aşamasında hesaplanan kesit boyutları zamanla zayıflayarak, yapıyı tehlikeye atabilecektir.

2.2. Geogrid

Soğuk işleme yöntemiyle yüksek mukavemetli polimer malzemeler elde etme metotlarının gelişmesiyle bu tür malzemelerin zemin dahil olmak üzere birçok yapı malzemesinde donatı olarak kullanılabilme imkanını doğurmuştur. Günümüzde bu tür geogridlerin en çok kullanım alanı zeminlerin güçlendirilmesidir. Zeminlerin güçlendirilmesinde farklı birçok yöntem, malzeme ve yaklaşımlar olmasına karşın, geogridlerin bu alandaki kullanımları da hızla artmaktadır. Pazarda birçok farklı tip, hammadde ve bağlantı özelliklerine sahip olarak farklı mukavemetlerde ve göz açıklıklarında üretilmektedir.

Geogridlerin temel özelliği, boyuna ve enine lifler arasındaki boşluğun (göz açıklığı) zemin danelerinin geogridin her iki yüzeyi arasında hareket ederek kilitlenme yaratabilmesidir. Geogrid lifleri, geotekstil ipliklerine göre çok daha rijittir. Lif mukavemetinin yanında düğüm noktası mukavemeti de önemli bir parametredir. Bunun nedeni, zemin danelerinden enine liflere gelen yükün düğüm noktaları vasıtasıyla boyuna liflere aktarılmasıdır.

İlk geogridler İngiltere'de yapılmış, daha sonra 1982'de Kanada üzerinden Amerika'ya getirilmiştir. Başka bir tip ise İtalya orijinlidir. Donatı bileşeni olarak polyester liflerinin kullanıldığı, daha esnek tekstil benzeri geogridler 1980'li yıllarda İngiltere'de geliştirilmiştir (Koerner, 1999).

Geogridlerin çalışma prensibi; üzerine dolgu veya granüler malzeme serildiğinde, malzeme daneleri, geogridin açıklıklarıyla tam olarak kenetlenir. Geogridin yüksek

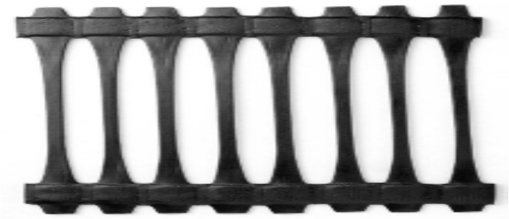
mukavemetli elemanlarına sürtünen ve kenetlenen dolgu, (zemin) bir donatılı platform oluşturur (Karagül, 2007).

2.2.1. Üretim

Geogridler üretim yöntemlerine göre üçe ayrılır. Geogridlerin en önemli özelliği olan çekme mukavemetleri üretim şekline göre değişmektedir. Ayrıca üretim yöntemi geogridin nihai çekme gücünün tayininde önemli rol oynar. Bileşim yerleri özellikleri de yine üretim yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterir.

2.2.1.1. Ekstrüde yöntemi ile üretilen geogridler

Dayanımı en yüksek geogrid tipidir. Bağlantı noktaları kendiliğinden oluştuğu için üretim yöntemlerine göre mukavemeti fazladır. Ekstrüdegeogridler, büyük ölçekli polietilen ya da polipropilen plakalar üzerine düzenli bir şekilde kalıplar yardımı iledelikler açılır. Bu levhalar yüksek sıcaklıklardaki fırın ya da suyun içinde tek yönde veya çift yönde çekilerek mukavemet kazandırılır. Çekme işlemi sırasında sıcaklık ve çekme oranı kontrol altında tutulur. Mukavemeti etkileyen asıl değişken çekme oranı olsa da, molekül ağırlığı, ağırlık dağılımı ve molekülün ayrılma veya bağlanma derecesi de önemlidir. Ekstrüdegeogridlerin bağlanma noktalarındaki çekme mukavemetinin yüksek olması diğerlerine karşı en büyük avantajıdır. Ekstrüde işlemi tek yönde yapılırsa Şekil 2.1.'deki gibi tek yönde yüksek mukavemetli geogrid elde edilir. Tek yönlü geogridler donatılı duvar yapımlarında kullanılırlar. Burada geogridlere tek yönden baskı uygulandığı için tek yönlü kullanımı yeterli olacaktır.



Şekil 2.1. Ekstrüde tek yönlü geogrid

Eğer iki yönde de çekme uygulanırsa Şekil 2.2.'deki gibi çift yönlü geogrid elde edilir. Çift yönlü geogridler ise zemin iyileştirmede kullanılırlar. Zemin içinde iki yönden de baskıya maruz kaldıkları için burada çift yönlü geogridler kullanılmalıdır.



Şekil 2.2. Ekstrüde çift yönlü geogrid

2.2.1.2. Dokuma ile üretilen geogridler

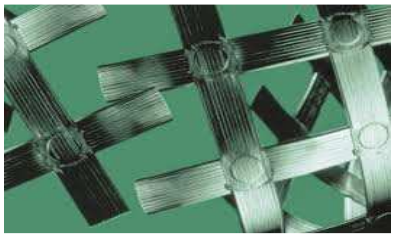
Dokuma geogridler, polyester ipliklerin dokuma makineleri yardımı ile örülerek üretilir. Hammaddesi genellikle polyesterdir. Burada istenen mukavemete görepolyester iplik sayısı iki yönde de değişebilir. Bağlantı noktalarındaki mukavemeti dokuma ile üretildiğinden ekstrüde sistemdeki kadar yüksek değildir.



Şekil 2.3. Dokuma geogrid

2.2.1.3. Yapıştırma yöntemi ile üretilen geogridler

Yüksek mukavemetli şeritler birbirine dik olarak banda konulur. Şeritler bant üzerinde ilerlerken lazer ya da sıcak yardımı ile birleştirilir. Bağlantı noktası mukavemeti düşüktür. Bu nedenle genel mukavemet bağlantı noktası mukavemeti kadar olabilir.



Şekil 2.4. Yapıştırma geogrid

2.2.2. Geogridlerin nihai çekme mukavemeti hesabı

Tasarımda kullanılacak geogrid çekme mukavemeti geogridin hammaddesine, üretim şekline, uygulama alanındaki çevresel özelliklere ve zamana bağlı olarak büyük

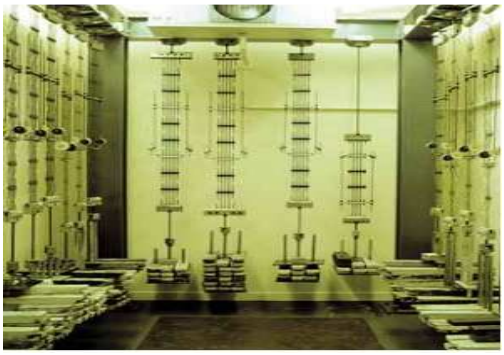
değişiklikler gösterir. Tasarımda kullanılacak çekme gerilmesi (P) üreticinin belirttiği çekme gerilmesi (Türetici) yanda belirtilen güvenlik sayılarına bölünmesi ile hesaplanır. Aşağıdaki denklemde tasarımda kullanılacak çekme gerilmesinin hesabı yer almaktadır (FHWA – NHI – 00 - 043, 2001).

$$P = \left[\frac{T_{\text{üretici}}}{(FS_{\text{sürtünme}} . FS_{\text{uygulamaha saretkileri}} . FS_{\text{çevreseletkiler}})} . \frac{1}{FS_{\text{Tasarı}}} \right] \quad (2.1)$$

FS (güvenlik sayıları), üreticinin kendi hammaddesine üretim şekline göre laboratuvarlarında yaptığı testlere göre belirlenmelidir. Üreticin böyle bir imkânı yok ise FHWA-NHI–00–043 no'lu standardından malzeme cinsine ve üretim şekline göreFS alınmalıdır. Bazı güvenlik sayılarının belirlenmesinde kullanılan toprağın özellikleri de etkilidir. Geosentetiklerin çekme mukavemetini etkileyen etmenler; sünme, çevresel etkiler, kimyasal etkiler ve biyolojik etkilerdir.

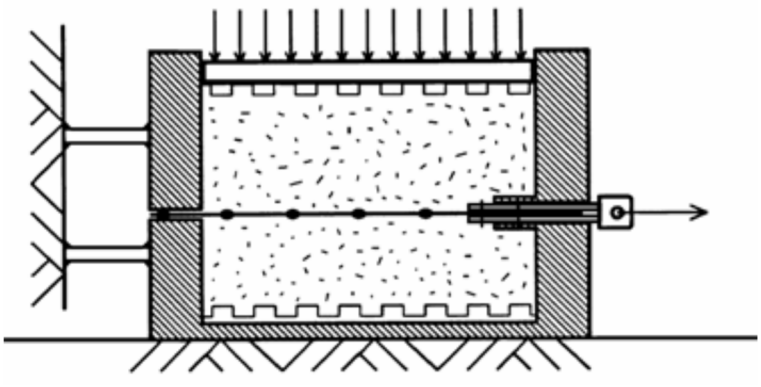
2.2.3. Sünme etkisi

Sünme etkisi geogridin zaman içinde gelen yüklerden ötürü uzaması ve dolayısıyla mukavemetinin azalmasıdır. Sünme etkisinin bulunması için uzun zamanlı laboratuvar testlerinin yapılması gereklidir. Testler aynı türden geogridler farklı yükler ve farklı sıcaklıklar altında, 10000 saatten fazla kalması ile yapılır. Sünme faktörü buradan maksimum taşıyacağı yükün, uzun süre taşınabilir yüke oranıdır. Şekil 2.5'deki gibi sıcaklık ve nem koşullarının istenilen şekilde ayarlanan laboratuvar koşullarında, sabit bir sıcaklıkta 3 farklı yük altında geogridlerin uzamalarına bakılarak sünme güvenlik faktörleri test edilmektedir. Sünme testi standardı TS EN ISO 13431'dir (FHWA – NHI – 00 - 043, 2001).



Şekil 2.5. Sünme testi laboratuarı

Sünme deneyi zemin içinde şartlandırılarak da Şekil 2.6.'daki gibi yapılabilir. Zemin içinde şartlandırmada gerçek duruma daha yakın bir değer elde edilir.



Şekil 2.6. Sünme deneyinin zemin içinde uygulaması

Yukarıdaki şekildeki gibi sünme deneyi geosentetiğin içinde bulunacağı zemin koşullarında çeşitli ısı ve nem değişikliklerine ve farklı yükleme değerlerine göre yapılması ile de elde edilir. Hammadde olarak kullanılan polimer çeşidine göre FHWA-NHI–00-043'de verilmiş kabaca değerlere göre $FS_{sünme}$'nin değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Sünmeden ötürü oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı (FHWA – NHI – 00 - 043, 2001)

Polimer Çeşidi	Sünme güvenlik katsayısı
Polyester	2,5 – 1,6
Polipropilen	5 – 4
HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)	5 – 2,6

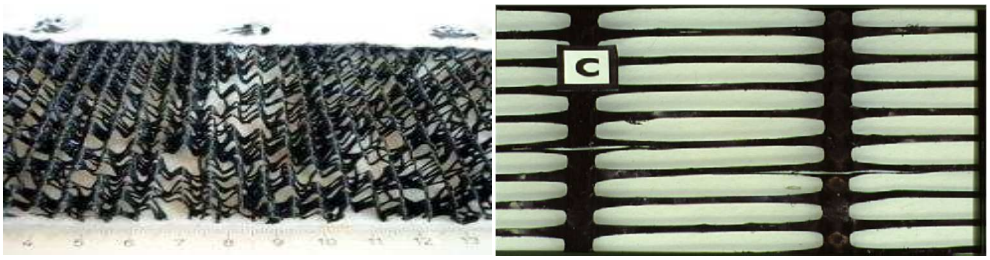
Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi sünme etkisi en az polyesterde en çok yüksek yoğunluklu polietilende görülmektedir.

2.2.4. Uygulama hasarlarının etkisi

Geogridler uygulama esnasında birçok etkiye maruz kalmaktadırlar. Uygulama anında geogridin yıpranması söz konusudur. Geogridin taşınması, serilmesi ve sıkıştırılması sırasındaki hasarlar geogridin nihai çekme mukavemetini de olumsuz etkilemektedir. Uygulama hasarlarına karşı bir güvenlik faktörü bulunmaktadır.

Kullanılan dolgunun özellikleri ile geogridin üretim şekli hammaddesi burada belirleyici faktör olurken, düğüm noktası mukavemeti de uygulama hasarlarının

minimum düzeyde kalmasında önemli rol oynamaktadır(FHWA – NHI – 00 - 043, 2001). Şekil 2.7'de görüldüğü gibi üretim şeklinden dolayı örgülü geogridlerde ve yapıştırma ile üretilen geogridlerde düğüm noktası mukavemeti düşük olduğu için uygulama anında bu tarz geogridlerde en çok düğüm noktası çözülmesi olayı ile karşılaşılabilir.



Şekil 2.7. Ekstrüde geogridde uygulama türüne göre uygulama hasarları

Bu tür hasarların güvenlik faktörünü hesaplamak için uygulanmakta olan bir test metodu yoktur. Uygula hasarları için kabul edilecek güvenlik faktörü geosentetik üretim metodu ve hammaddesi ile dolgunun özelliklerine göre Tablo 2.2'de gösterilmiştir (FHWA – NHI – 00 - 043, 2001).

Tablo 2.2. Uygulamada oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı (FHWA – NHI – 00 - 043, 2001)

Geosentetikçeşidi	Dolgu Max. 102mm. D50≈C30mm.	Dolgu Max. 20mm. D50≈C0,70mm.
HDPE Geogrid	1,20–1,45	1,10–1,20
PP geogrid	1,20–1,45	1,10–1,20
PVC kaplı PET Geogrid	1,30–1,85	1,10–1,30
Akrilik kaplı PET Geogrid	1,30–2,05	1,20–1,40
Örgülü Geotekstiller (PP&PET)	1,40–2,20	1,10–1,40
Örgüsüz Geotekstiller (PP&PET)	1,40–2,50	1,10–1,40
Filmli Örgülü Geotekstiller	1,60–3,00	1,10–2,00

Tablo 2.2'de görüldüğü gibi uygulama hasarlarına en dayanıklı malzeme HDPE geogrid, en dayanıksız ise film örgülü geogriddir.

2.2.5. Çevresel etkiler

Geosentetiklerin yıllar içinde ısıya, oksidasyona, kimyasal etkilere, biyolojik etkilere, PH değişimlerine ve mikroorganizmalar tarafından yıpranmasına genel olarak çevresel etkiler denilir. Geogridleri uygulama içinde etkileyecek herhangi bir tehlike varsa bu sayı 1,1 ile 2 arası; çevresel hiçbir olumsuz etki yok ise bu sayı en az 1,1 alınmalıdır.

Tablo 2.3. Kimyasal etkiler ve bunların geogrid hammaddelerine etkisi

Çevresel Etki	Polimer Çeşidi		
	Polietilen	Polyester	Polipropilen
Asidik zeminler	-	?	?
Organik zeminler	-	-	-
Tuzlu zemineler (pH<9)	-	-	-
Kalsiyumlu zemimler	?	-	-
Kireçli zeminler	?	-	-
Sodayum içeren zeminler (pH<9)	?	-	-
Metal geçişi olan zeminler	-	?	?

- : Etkisi yok ? : İçeriğine göre etkisi bulunmalı

Tablo 2.3'te görüldüğü gibi kimyasal içerikli zeminler zararı olabilecek maddeler içeriyorsa gerekli testler yapılmalı ve bu test sonuçlarına göre güvenlik sayısı belirlenmelidir (FHWA – NHI – 00 - 043, 2001).

2.2.6. Tasarım güvenlik faktörü

Tasarım güvenlik faktörünün hesaplara katılmasındaki amaç, tanımlanmamış yükler, yapı geometrisi, dolgu özellikleri, lokal stres artımları ve tanımlanmamış uzun süreli donatı mukavemetindeki belirsizlikleri ortadan kaldırmaktır. Bu değer genelde 1,5 alınmaktadır. Bilinmeyenlerin fazlalaşması ile bu değer artabilir. İdeal şartlara yaklaştıkça ise bu değer bire yaklaşır.

2.2.7. Kullanım alanları

Geogridler genellikle yüksek mukavemetli, yüksek rijitliğe ve düşük sünme hassasiyetine sahip, göz açıklığı 10 mm ve 100 mm. arasında değişen polimer malzemelerdir. Gözler uzatılmış elips, yuvarlatılmış, köşeli, kare veya dikdörtgen şekillidir. Çoğunlukla zemin donatısı olarak kullanılan geogridler sadece çakıl ve iri

daneli malzemelerle birlikte kullanıldığında ayırıcı görev görürler. Geogridlerin kullanım alanları aşağıda listelenmiştir.

- Kaplamasız yollarda kırmataş altında
- Demiryolu inşaatında balastın altında
- Sürşarj dolguları ve geçici inşaat sahaları altında
- Dolgu toprak barajların donatılandırılmasında
- Şev göçmeleri ve toprak kaymalarının ıslahında
- Duvar inşaatında gabion (birbirine kaynaklı tel-ağ gibi) şeklinde
- Erozyon kontrol yapılarında gabion şeklinde
- Köprü ayaklarında gabion şeklinde
- Yumuşak zeminlerde temel zemini donatılandırmasında
- Kazıklı temellerde başlık plağı altında
- Çatlaklı kayalarda köprü elemanı olarak
- Yumuşak zemin üzerinde dolgu teşkilinde
- Donatılı zemin istinat duvarında cephe paneli ankrajı olarak
- Yollarda asfalt donatısı olarak
- Saha betonlarında donatı olarak
- Geotekstiller ve geomembranlar arasında
- Katı atık depolarında donatı olarak

2.2.8. Yumuşak zeminlerde kullanımı

Geogridler, yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kullanıldıkları yerdeki stabiliteyi arttırırlar. Geogridlerin diğer geosentetiklere göre daha yüksek mukavemet sağlaması ve boşlukları sayesinde kullanıldığı ortam malzemelerle bütünlük arz etmesi onların zemin iyileştirmelerinde, şevlerde ve donatı olarak kullanılmasını sağlar. Zayıf zeminler üzerine inşa edilen yapılarda, taşıma gücü, oturma problemleri gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bu problemlerin çözümü için zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Zeminin özelliklerine, yapının yüklerine ve şantiye şartlarına göre uygun bir yöntemle iyileştirme yapılır. Bu yöntemler arasında geogridler ile iyileştirme de vardır. Geogridler yükü uniform olarak zemine yayarak farklı oturmaları da engellemiş olur. Zemin iyileştirmede kullanılan geogridlerin başlıca faydaları;

- Taşıma gücünü artırır.
- Uzun zamanda oluşacak deformasyonları azaltır.

- Farklı oturmaları önler.
- Çatlakları önler.
- Alt temelin taşıma gücünü arttırır.
- Yükün uniform dağılımını sağlar.

Taşıma Gücü: Taşıma gücü zayıf ya da yetersiz olan zeminlerde geogidlerle çekme dayanımı arttırılabilir. Bu sayede zemine gelen gerilmeler karşılanmış olur. Ayrıca geogrid ile gelen yük uniform olarak yayılarak gerilme soğanı da genişletilir. Bu sayede zeminde meydana gelecek oturmalar önlenmiş olur.

Membran Etkisi: Zayıf zeminler üzerine inşa edilen yollarda dolgu tabakasında trafik yükleri veya yatay-düşey hareketler sonucunda özellikle tekerleklerin olduğu yerlerde yerel oturmalar gözlenmektedir. Bu tür oturmalar geogridlerin sağladıkları çekme gerilme yardımıyla gelen yükü daha geniş bir alana yayarlar. Denge oluşuncaya kadar devam eder. Membran etkisinde dikkat edilmesi gereken husus geogridde meydana gelecek uzamadır. Zeminde 100 mm'ye kadar oluşabilecek kalıcı deformasyondan ötürü geogridin uzamasına engel olmaktadır. Aksi takdirde zeminde kalıcı tipte deformasyonlar oluşabilir (Karagül, 2007).

Yanal Deformasyon: Zeminin ve temel tabakasının yanal deformasyonunu önlemek için geogrid kullanılabilir. Kenetlenme ve sürtünme ile zemin ve temel malzemesini bir arada tutar. Böylece yanal deformasyonlar önlenmiş olur. Geogridin kullanımı aynı zamanda kayma yüzeyi daha uzun olacağından dolayı taşıma gücü artmaktadır.

2.2.9. Geogrid-zemin etkileşimi

Donatılı zemin yapıları, donatı ile zemin arasında oluşan etkileşim nedeniyle kompozit bir malzeme gibi davranırlar. Bu nedenle de zeminin kayma direnci ve göçmeden önceki deformasyon kapasitesi arttırılmış olur.
Donatı-zemin arasındaki etkileşimin nedenleri aşağıda sıralanmıştır;
1) Çekme direnci: Zemin içerisine gömülü geogrid tabakası üzerinde oluşan çekme gerilmeleri nedeniyle oluşur. Çekme gerilmelerinin iki bileşeni vardır:
i) Geogrid tabakası boyunca zemin daneleri ile donatı arasında oluşan sürtünme dirençleri
ii) Geogrid tabakaları üzerindeki enine nervürler ile zemin (daneleri arasında oluşan sürtünme dirençleri

2) Kayma direnci: İki bileşenden oluşur:

i) Geogrid boşluklarına giren zemin daneleri ile donatı arasında oluşan kayma direnci

ii) Geogrid boşluklarına giren zemin danelerinin kendi arasında oluşan kayma direnci

Donatı-zemin arasında oluşan bu dirençleri ölçmek için genellikle çekme deneyi ve kesme kutusu deneyleri yaygın olarak yapılmaktadır. Daneli bir yapıya ve daha yüksek içsel sürtünme açısına sahip kumlu zeminlerde geogrid-zemin etkileşimi killere göre daha efektif bir şekilde gerçekleşir.

3. SEÇİLEN BİR ARAZİDE FORE KAZIK VE GEOGRİD UYGULAMASI

93.000 m^2 büyüklüğünde olan bir alanda fore kazık ve geogrid metodu zemini iyileştirmek için uygulanmıştır.

3.1. Arazi Araştırmaları Ve Deneyler

3.1.1. İnceleme alanının jeolojisi

İnceleme alanında açılan 8 adet sondaj kuyusundaki kesitlerden yapılan gözlemlerde zemin;
Yaklaşık olarak kalınlığı 0,40-1,50 metre arasında Dolgu Malzemesi, dolgu malzemesinin altında 19,50-27,50 m. arası değişen kalınlıklarda yer yer kum bantları içeren, kahve-yeşilimsi renkli, çok yumuşak-yumuşak-orta katı-katı-çok katı kıvamlı, çok gevşek-gevşek-orta sıkı özellikli Kumlu KİL-SİLT birimler ile karşılaşılmıştır. Devam eden derinliklerde ise kuyu sonlarına kadar sıkı-çok sıkı özellikli Killi ÇAKIL-KUM birimler gözlemlenmiştir.

3.1.2. Arazi, laboratuvar ve büro çalışma yöntemlerinin kısaca tanıtılması ve kullanılan ekipman

Çalışmalar sırasında, öncelikle bölgede yapılmış önceki jeolojiketüd ve araştırmalar incelenmiş ve bunlardan alınan bilgilerden yararlanılmış, ilk aşamada önceki etüd ve araştırmalara bağlı kalarak alan ve civarının genel jeolojik durumu incelenmiştir. Arazide yapılan jeolojik haritalama ile birlikte zemin ve kaya türlerinin özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.1. İnceleme alanında yapılan arazi çalışmaları

SONDAJ		SİSMİK (Adet)	DES (Adet)	MASW (Adet)
Sondaj (Adet)	Toplam Derinlik (metre)			
8	240	4	4	4

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarından alınan numuneler gerekli deneyler yapılmak üzere laboratuvara gönderilmiştir.

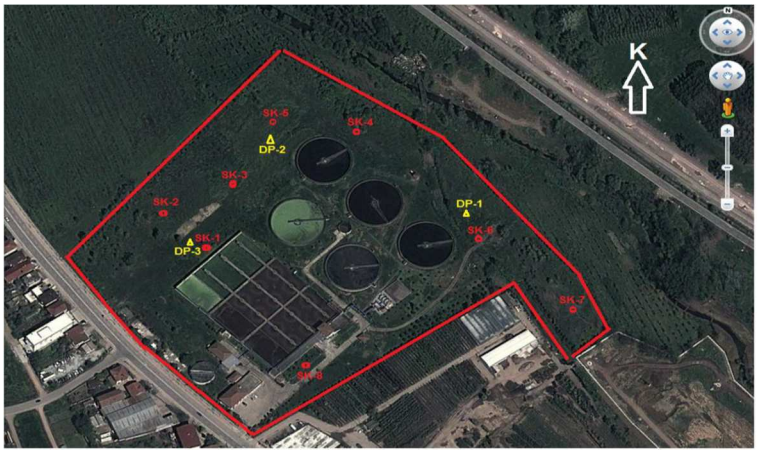
Tablo 3.2. İnceleme alanında yapılan laboratuar deneyleri

Su İçeriği (Wn) (Adet)	Elek Analizi (Adet)	Atterberg Deneyi (Adet)	DBHA Deneyi (Adet)	Direkt Kesme Deneyleri (Adet)	Üç Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi (Adet)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi (Adet)	Konsalidasyon Deneyi (Adet)
67	67	67	14	7	3	4	3

Sondaj çalışmalarında Rotry sistem Hidrolik Sondaj makinesi kullanılmıştır. Sismik çalışmalarda 12 kanallı DOREMİ marka sismik cihaz kullanılmıştır. İnceleme alanında yapılan rezistivite çalışmalarında, maksimum 450 volt potansiyele haiz GEOTRON tipi digital çıkışlı sığ rezistivite cihazı kullanılmış ve Schlumberger ölçü dizilim yöntemi ile değerlendirme yapılmıştır.

3.1.3. Sondaj kuyuları

İnceleme alanında yer alan zeminlerin cinsini, kalınlığını, jeolojik ve geoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla 8 adet 30metre derinliğinde toplam derinliği 240metre olan temel sondaj kuyusu açılmıştır. Açılan sondaj kuyularından SPT numuneleri, UD (örselenmemiş) numuneleri alınmıştır. Sondaj çalışmaları ASTM ve TSE standartları ile TCK Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı'nın zemin işlerine ait Teknik Şartnamesi'ne uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 3.1. Sondaj lokasyon haritası



Şekil 3.2. Sondaj numune örnekleri

Tablo 3.3. Sondaj çalışmaları bilgileri

Sondaj No	Derinlik (m)	Kesilen Birim
SK-1	0,00-3,50	Kumlu SİLTLİ KİL
	3,50-12,00	Kumlu KİLLİ SİLT
	12,00-15,00	Kumlu SİLTLİ KİL
	15,00-18,00	Kumlu KİLLİ SİLT
	18,00-22,00	Killi ÇAKILLI KUM
	22,00-30,00	Killi KUMLU ÇAKIL
SK-2	0,00-3,00	Kumlu SİLTLİ KİL
	3,00-13,00	Kumlu KİLLİ SİLT
	13,00-22,00	Kumlu SİLTLİ KİL
	22,00-27,00	Kumlu KİLLİ SİLT
	27,00-30,00	Killi ÇAKILLI KUM

3.2. Arazi Deneyleri

İnceleme alanında yapılan sondajlarda Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) deneyleri yapılmış, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır.

Tablo 3.4. Sondajlarda yapılan SPT deneyleri

Sondaj No	Derinlik	SPTN30	SPTN30DÜZ	Derinlik	SPTN30	SPTN30DÜZ
1	1,50-1,95	5	5	16,5-16,95	-	-
	3,00-3,45	3	3	18,0-18,45	44	29,5
	4,50-4,95	4	4	19,5-19,95	48	31,5
	6,00-6,45	-	-	21,0-21,45	49	32
	7,50-7,95	4	4	22,5-22,95	58	36,5
	9,00-9,45	2	2	24,0-24,45	64	39,5
	10,50-10,95	3	3	25,5-25,95	86	50,5
	12,00-12,45	2	2	27,0-27,45	R	
	13,50-13,95	5	5	30,0-30,45	R	
	15,0-15,45	7	7			
2	1,50-1,95	6	6	16,5-16,95	4	4
	3,00-3,45	7	7	18,0-18,45	5	5
	4,50-4,95	8	8	19,5-19,95	6	6
	6,00-6,45	-	-	21,0-21,45	7	7
	7,50-7,95	3	3	22,5-22,95	11	11
	9,00-9,45	2	2	24,0-24,45	14	14
	10,50-10,95	3	3	25,5-25,95	15	15
	12,00-12,45	3	3	27,0-27,45	68	41,5
	13,50-13,95	4	4	30,0-30,45	93	54
	15,0-15,45	-	-			

3.2.1. Yeraltı ve yerüstü suları

İnceleme alanı içerisinde açılan sondaj kuyularında yeraltı suyuna yaklaşık 1,20-3,50 m. derinliklerinde rastlanmıştır.

3.2.2. Sismik kırılma

3.2.2.1. Kullanılan cihaz ve teknik özellikleri

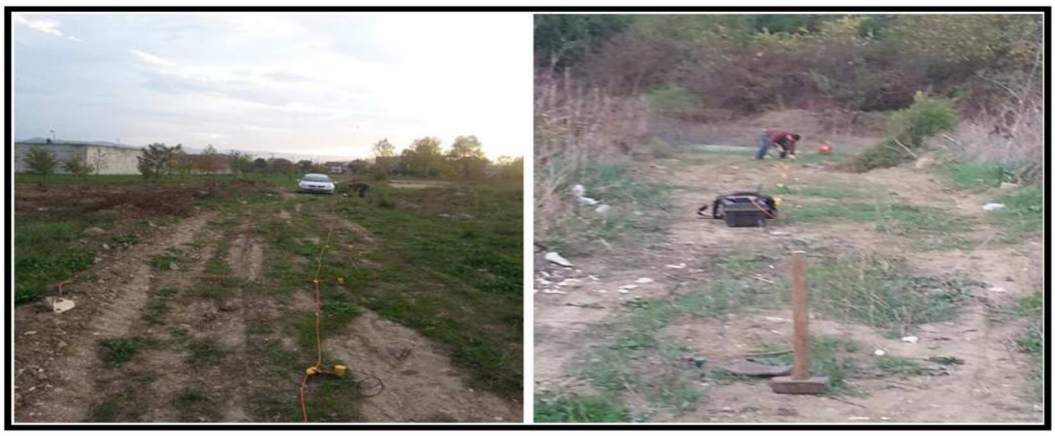
Sismik kırılma çalışmasında Doremi marka, 12 kanallı sismograf ve 12 adet SARA marka jeofon kullanılmıştır. S dalgası kaydı için özel S jeofonu kullanılmıştır. Enerji kaynağı olarak 8 kg ağırlığında özel çekiç kullanılmıştır. Sinyallerin tabakalar tarafından daha iyi iletilebilmesi için çelik plaka üzerine vurularak ölçüler alınmıştır.



Şekil 3.3. Jeofizik lokasyon haritası

3.2.2.2. Sismik kırılma etüdünün değerlendirilmesi

İnceleme alanında yapılan 4 adet sismik kırılma etüdü sonucu kayıt edilen sismik sinyaller, Pickwin bilgisayar programı yardımı ile her kayıt için önce filtrelenerek sinyal gürültü oranı azaltılmış ve varış zamanları belirlenerek yol – zaman (x-t) grafikleri çizdirilmiştir. Çizdirilen yol – zaman grafiklerinden tabakalara ait hız değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan hızlar ve yol – zaman grafiklerindeki tabakalara ait doğruların kesme zamanlarının yardımıyla, serim için dinamik elastik parametreler hesaplanmıştır. İnceleme alanında yapılan sismik kırılma etütlerinden hesaplanan büyüklükler ve büyüklükler sonucu yapılan sınıflandırma sonuçları tablolar şeklinde raporda verilmiştir. Kayıt edilen sismik sinyaller, hız zaman grafiği ve sismik yer kesiti raporun ekler kısmında sunulmuştur. Alınan 4 profilsismik kırılma etüdünde offset aralığı 2,00 metre, jeofon aralıkları 2,00 metre olacak şekilde ölçümler gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 8,00 metreden veriler alınmıştır.



Şekil 3.4. Sismik ölçme

Tablo 3.5. Vs, Vp hızları tablosu

Sismik No	Vs_2 (m/sn)	Vp_2 (m/sn)	h (m)
SS-2	262	677	2,10

İnceleme alanında yapılan ölçümler sonucunda elde edilen hızlar, bu hızlara göre hesaplanan dinamik parametreler ve sınıflama sonuçları ise aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 3.6. İnceleme alanında yapılan sismik kırılma çalışmalarından eldeedilen elastik parametre değerleri

Sismik No	Vp/Vs	Poisson Oranı	Elastisite Modülü (E) (kg/cm2)	Kayma Modülü (G) (kg/cm2)	Bulk Modülü (K) (kg/cm2)
SS-2	2,58	0,41	3059	1082	5874

3.2.2.3. Kayma modülü – G

Dalga teorisinden elde edilen kayma modülü, yoğunluk ve kayma dalgası hızlarına bağlı olarak;

$$G = \left[\frac{d.V_{s2}}{100} \right] \tag{3.1}$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır.

Kayma modülü kayacın makaslama kuvvetleri altında esnemesini bir başka deyişle yatay kuvvetlere karşı dayanımını gösterir.

Arazide ölçülen boyuna ve kayma dalgası hızlarına bağlı dalga denkleminden hesaplan kayma modülü kayma modülüne göre zemin ya da kayaçların dayanımları verilmiştir.

Tablo 3.7. Kayma modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı

KAYMAMODÜLÜ (G)Kg/cm2	DAYANIM
< 400	Çok zayıf
400 – 1.500	Zayıf
1.500 – 3.000	Orta
3.000 – 10.000	Sağlam
10.000	Çok sağlam

İnceleme alanında ikinci tabaka için hesaplanan kayma modülü değerlerine göre zemin; genel olarak zayıf dayanımlı olarak tespit edilmiştir.

3.2.2.4. Poisson oranı

Poisson oranı birimlerin katılığını bir başka deyişle gözenekliliğini tanımlar. 0-0,5 arasında değerler alır. 0,5 ortamın sıvı, gözenekli veya çatlaklı, azaldıkça katılığını belirtir. Dalga teorisinden elde edilen poisson oranı;

$$\sum = \left[\frac{V_p{}^2 - 2.V_s{}^2}{2.(V_p{}^2 - 2.V_s{}^2)} \right] \qquad (3.2)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır

Arazide ölçülen boyuna ve kayma dalgası hızlarına bağlı hesaplan poisson oranı değerleri poisson oranına göre sınıflama verilmiştir.

Tablo 3.8. Poisson sınıflaması ve hız oranı karşılaştırması

POISSON	SIKILIK	VP/VS
0,5	Cıvık	∞
0,4-0,49	Çok gevşek	∞-2,49
0,1-0,39	Gevşek	2,49-1,87
0,20-0,29	Sıkı-katı	1,87-1,71
0,1-0,19	Katı	1,71-1,5
0-0,09	Sağlam kaya	1,5-1,41

İnceleme alanında ikinci tabaka için hesaplanan Poisson oranları çok gevşek olup, buda ikinci tabakanın zemininin gözenekli olduğunu göstermektedir.

3.2.2.5. Elastisite modülü – E

Elastisite modülü uygulanan düşey basınç yönünde yerin düşey şekil değiştirmesini tanımlar. Dalga teorisinden elde edilen elatisite modülü;

$$E = G.\frac{(3.V_{p_2} - 4.V_{s_2})}{(V_{p_2} - V_{s_2})} \qquad (3.3)$$

formülü kullanılarak hesaplanmıştır (Ercan,2001).

Tablo 3.9. Elastisite modülü değerlerine göre zemin yada kayaçların dayanımı

ELASTİSİTE MODÜLÜ (E) Kg/cm2	DAYANIM
< 1.000	Çok zayıf
1.000 – 5.000	Zayıf
5.000 – 10.000	Orta
10.000 – 30.000	Sağlam
>30.000	Çok sağlam

İnceleme alanında ikinci tabaka için hesaplanan elastisite modülü değerlerine göre zemin; zayıf dayanımlı olarak tespit edilmiştir.

3.3. Laboratuar Deneyleri ve Analizler

Yapılan sondajlardan alınan örselenmemiş numune üzerinde birimlerin indeks ve fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla TS–1500 "İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği'nde Zemin Deneyleri" Standartlarına uygun olarak aşağıdaki deneyler yaptırılmıştır.

3.3.1. Zeminlerin indeks/fiziksel özelliklerinin belirlenmesi

Çalışma alanında açılan Sondaj Kuyularından alınan örselenmemiş numuneler ve Spt numuneleri üzerinde yapılan deneylere göre zeminin indeks fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 3.10. Sondaj kuyularında geçilen zeminlerin indeks fiziksel özellikleri tablosu

		Elek Analizi			Atterberg Limitleri			USCS
Sondaj No	Derinlik (m)	#4 Kalan %	#200 Geçen %	Wn %	LL %	PL %	PI %	Zemin sınıfı
SK-1	3,00-3,45	4,63	69,13	28,35	29,18	19,8	10,0	CL

Tablo 3.10. (Devam) Sondaj Kuyularında geçilen zeminlerin indeks fiziksel özellikleri tablosu

SK-1	6,00-6,50	1,65	63,62	38,10		NP		ML
SK-1	9,00-9,45	0,00	63,51	33,08		NP		ML
SK-1	12,00-12,45	0,00	87,95	60,41	51,7	27,2	24,4	CH
SK-1	15,00-15,45	0,00	85,52	36,62		NP		ML
SK-1	16,50-16,95	0,00	63,00	37,20		NP		ML
SK-1	18,00-18,45	5,09	38,27	16,44		NP		SM
SK-1	21,00-21,45	20,16	20,72	9,30		NP		SM
SK-1	24,00-24,45	45,13	9,99	6,87		NP		GM
SK-1	27,00-27,45	51,92	12,34	6,70		NP		GM
SK-2	3,00-3,45	0,00	89,27	25,01	45,7	26,0	19,7	CL
SK-2	9,00-9,45	0,00	48,41	35,40		NP		SM
SK-2	12,00-12,45	0,00	80,37	57,14		NP		ML
SK-2	15,00-15,50	0,00	80,97	69,33	47,0	24,9	22,1	CL
SK-2	21,00-21,45	0,00	92,23	33,45	46,6	26,2	20,4	CL
SK-2	24,00-24,45	0,00	79,11	28,21		NP		ML
SK-2	27,00-27,45	31,67	30,47	9,18		NP		SM

3.3.2. Zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Tablo 3.11. Direkt kesme deneyi laboratuar test sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m.)	DBHA (gr/cm3)	Direkt Kesme	
			C (kg/cm2)	Φ (°)
SK-1	6,00-6,50	1,85	0,23	11,50
	16,50-17,00	1,79	0,04	17,65
SK-2	6,00-6,50	1,85	0,33	11,34

Tablo 3.12. Üç eksenli basınç dayanımı deneyi laboratuar test sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m.)	DBHA (gr/cm3)	Zeminde Üç Eksenli Sıkışma	
			C (kg/cm2)	Φ (°)
SK-2	15,00-15,50	1,72	0,27	1

Tablo 3.13. Konsalidasyon deneyi laboratuar test sonuçları

Sondaj No	Derinlik(m.)	DBHA (gr/cm3)	Konsadilasyon Hacimsel Sıkışma Katsayısı (mw) (cm2/kg)
SK-1	6,00-6,50	1,85	0,0573
SK-2	15,00-15,50	1,72	0,0271

3.4. Fore Kazık İmalatı

Proje kapsamında 1m çapında 30m derinliğe ulaşılan kazıklar imal edilirken aşağıdaki yollar izlenmiştir.

3.4.1. Arazinin hazırlanması

Uygulama sahasında öncelikli olarak çalışanların ve makinelerin kullanım alanları belirlenmiş olup, bu bölgelerde özellikle çalışmarın verimini artırmak adına zemini kuru ve düzenli tutmaya gayret edilmiştir (Şekil 3.5).Arazinin düzenlenmesinden sonra fore kazıkların yerleri tespit edilmiş olup, aplike edilmiştir.



Şekil 3.5. Çalışma sahası

3.4.2. Delgi işleri

Yapılan muayne kazıları ve zemen parametreleri doğrultusunda zeminin durumunun kötü ve yer altısuyu seviyesinin yüksek olmasından dolayı 14m muhafaza borusu çakılmış ve forajın göçmemesi için bentonit kiliyle destek edilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Fore kazık muhafaza boru çakımı

Foraj için makinenin Auger, (Şekil 3.7) ve Bage, (Şekil 3.8)'deki başlığı kullanılmıştır. Bage ortamda su bulunduğu zaman işe yarar. Auger ise matkap veya vidaya benzeyen ortamdaki zemini almaya yarayan aparattır. Zeminin sertlik durumuna bağlı olarak bıçak kısımları farklılaşabilir.



Şekil 3.7. Auger başlığı ile foraj imalatı



Şekil 3.8. Fore kazık bagebaşlığı

3.4.3. Donatıların hazırlanması

Fore kazık donatı kafesleri projesine uygun olarak kuru, düzgün zeminde hazırlanmış ve istiflenmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Fore kazık donatı imalatı

3.4.4. Donatı kafeslerinin kuyuya indirlmesi

Forajlar donatı kafesi indirilmeden ve betonlamadan önce kontrol mühendisleri tarafından donatının durumuna, foraj derinliğine, donatı üst kotuna, çukur dibi temizliğine dikkat edilerek teslim alınmıştır. Foraj 30m olduğu için donatılar bindirme yapılarak 3 etapta Servis Vinci yardımıyla indirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Fore kazık donatı indirme imalatı

3.4.5. Betonlama

Beton dökümü sıranın da yardımcı ekipman olarak fore kazık makinasına Tremie borusu takılır. Yer altı suyunun veya bentonit kilinin betonla karışımı önlemek için Tremie borusu sürekli 3,0m beton içinde kalmıştır. Betonlama işlemine çukur ağzından temiz beton gelinceye kadar devam edildi. Kazık betonlama işlemi tamamlandıktan sonra muhafaza boruları çekilmesine başlanmıştır. Fore kazık yapımında C30 sınıfı suya karşı dayanıklı beton kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Fore kazıkbetonlama imalatı

3.4.6. Kazı ve düzeltmeler

Fore kazık işlemi bittikten sonra az da olsa su ile karışmış ve kirli beton diye tabir edilen beton belirli bir kısmı kırıcılarla kırıldı (20-30cm arası). Kısa kalan kazıklar donatılar bulunana kadar kırılmış gerekli bindirmeler ve düzeltmeler yapılmış kotuna getirilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Kazı imalatı ve kazık üst kot düzeltmeleri

3.4.7. Blokaj serilmesi

Kazık imalatları tamamlandıktan sonra uygulama projesinde gösterilen 60cm kalınlığındaki blokaj tabakası serilmiş ve sıkıştırılmıştır (Şekil 3.13).(Blokaj malzemesinin özellikleri Ek-A kısmında verilmiştir).



Şekil 3.13. Blokaj imalatı

3.4.8. Süreklilik testi

Süreklilik testi ile kazı yapmadan yer altındaki imalatın konumu, problemleri tespit edilmiştir. Süreklilik deneyinde, kazık başına küçük bir el çekiç ile vurularak, kazık başındaki hareket ivmeölçer ile kayıt edilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. PIT (Süreklilik) testi

3.4.9. Fore kazık üzerinde yapılan eksenel kazık yükleme deneyi

Projesikapsamında,yük altında kazık davranışının belirlenebilmesiamacıile seçilen fore kazık üzerinde bir adet eksenel basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan yükleme deneyinin sonuçları verilmiştir.

3.4.9.1. Deney kazıkları

∅100cm çapında 30m boyundaki seçilen fore kazık üzerinde yükleme deneyi gerçekleştirilmiştir. Kazıklar için proje yükü 200 ton olarak verilmiş, kazık yükleme deneyi proje yükünün %150'si olan 300 ton olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sırasında seçilen fore kazığın etrafında bulunan 2 adet fore kazık, 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.

3.4.9.2. Yükleme deney düzeneği

Eksenel basınç yükleme deneyi ASTM D 1143-81 standardına ve gerekli şartnamelere uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Basınç yüklerinin temininde çekme kazıkları yöntemi uygulanmıştır. Deney kazıklarına yük aktarımı için 1 adet çelik kiriş ve 1 adet 700 ton kapasiteli hidrolik kriko ile pompa kullanılmıştır. Deplasman ölçümleri 4 adet 0,01 mm hassasiyetli komparatör ile yapılmıştır. Deneyler süresince 4 komparatörden ölçümler alınarak deney kazıklarının deplasmanları bunların ortalaması olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.15. Kazık yükleme deneyi

3.4.9.3. Yükleme deneyi metodu

Deney yükü olarak, proje yükünün 1,5 katı alınmıştır. Seçilen fore kazığa yük 6 kademe halinde ve her bir kademe 50 ton olarak tatbik edilmiştir. Her kademede 1'er saat beklenerek okumalar yapılmıştır. Deney yükü olan 50 ton yüke ulaşılınca 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 değerleri alınmıştır. Ölçümlerin alındığı referans kirişi çekme kirişlerinin dışında ve 1 kenarı sabit 1 kenarı kayıcı olarak mesnetlendirilmiştir. Yüklemeler ve beklemeler sırasında standartlarda belirtilen aralıklarla okumalar alınmıştır. Deplasmanların 0,25 mm/saat oturma kriterini sağladığı da görülerek yük boşaltma işlemine geçilmiştir. Deney toplam olarak 23 saat sürmüştür. Çekme kazıklarında hiçbir hareket oluşmamıştır.

3.4.9.4. Deney sonuçları

Yükleme deneyi sırasında alınan okumalar ve deney sonuçlarına göre çizilen yük - zaman, yük - deplasman ve deplasman - zaman grafikleri eklerde verilmiştir. Buna göre maksimum yükte oluşan maksimum oturma değeri 9,12mm ve yük boşaltımından sonra oluşan nihai kalıcı oturma değeri 3,62mm olarak ölçülmüştür.(Deneye ait grafikler Ek-B kısmında verilmiştir).

3.5. Geotekstil-Geogrid İmalat Aşamaları

Proje kapsamında fore kazıkların imalatı tamamlandıktan sonra blokajla zeminin tesviyesi yapılmıştır. Düzeltmesi yapılan zemine geogridli dolgu yapılmıştır.

3.5.1. Geotekstillerin serilmesi

Propilen Örgülü Geotekstil (250gr/m^2) zemin ile geogridli tabakanın arasında filitrasyon, güçlendirme ve koruma amaçlı olarak kullanılmıştır (Şekil 3.16). Serilen geotekstilin üzerine 20cm kalınlığında stabilize dolgu serilip, sıkıştırılmış daha sonrasında geogrid imalatına geçilmiştir (Şekil 3.17). (Stabilize malzemesinin özellikleri Ek-C kısmında verilmiştir).



Şekil 3.16. Propilen örgülü geotekstil (250gr/m^2) donatı malzemesinin imalatı



Şekil 3.17. Stabilize dolgu imalatı

3.5.2. Geogridlerin serilmesi

Çift Yönlü Geogrid(60-60kN/m) proje planlarında belirtilen yerlere yerleştirilmiştir. Geogridler daha önce geotekstil üzerine yapılan sıkıştırılmış dolgu üstüne döşenmiştir. Kırışıklıklar ve katlar olmayacak şekilde serilmiştir. Gerektiği yerlerde geogrid gevşekliğini engellemek için önceden gerilmiştir. Rüzgarın geogridi kaldırma durumlarına karşı dikkat edilmiş gerekli önlemler alınmıştır. Geogridler minimum 300 mm'de üst üste bindirilmiştir (Şekil 3.18). (Geogrid malzemesinin özellikleri Ek-D kısmında verilmiştir).



Şekil 3.18. Çift yönlü geogrid (60-60kN/m) malzemenin serilmesi

3.5.3. Sıkışma testleri

Geogridler arasındabulunan toplamda 3 katmandan oluşan ve 20cm tabakalar halinde serilen stabilize dolgulardan %95-%98 arası sıkışma (proktor) istenilmektedir. Sıkışma testi yapılırken %5 in altında su muhtevası aranmaktadır. Bu şartlar sağlandıktan sonra diğer işlemlere geçilir.

Arazide iki tip sıkışma testi yapılmıştır, bunlardan biri Kum Konisi (Şekil 3.19) diğeri ise Nükleer Yöntemdir (Şekil 3.20).



Şekil 3.19. Kum konisi yöntemiyle stabilize dolgu sıkışma kontrolü



Şekil 3.20. Nükleer yöntemiyle stabilize dolgu sıkışma kontrolü

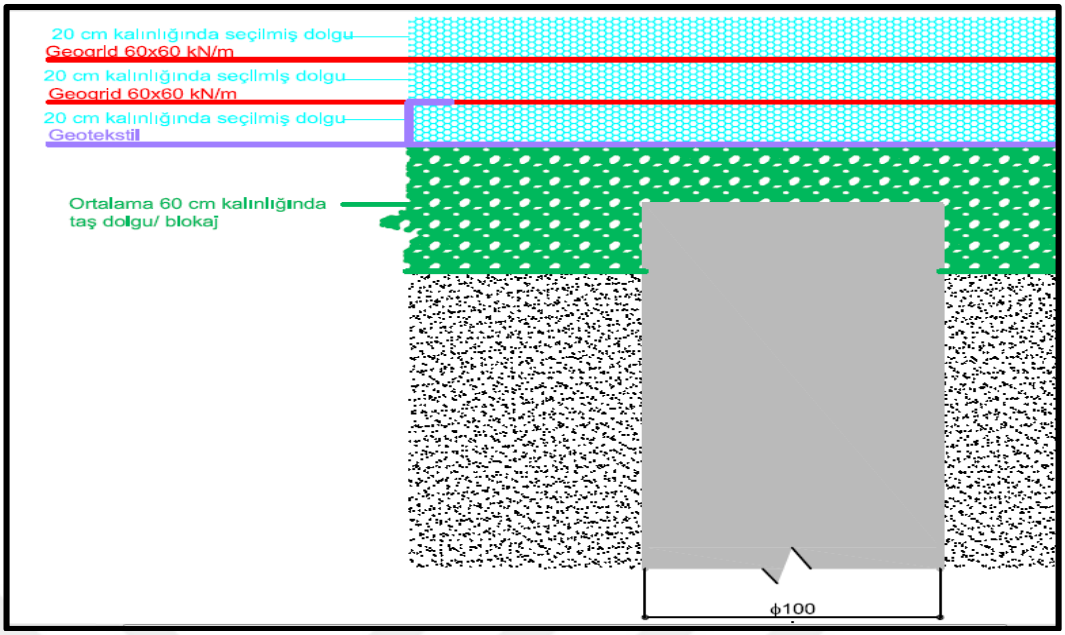
3.5.4. Grobetonun dökülmesi

Zemin ıslahı çalışmaları tamamlandıktan sonra grobeton dökülerek temel yapımına geçilmiştir.



Şekil 3.21. Grobeton dökülmesi

Zemin ıslah çalışmasında Şekil 3.22'deki kesit uygulanmıştır.



Şekil 3.22. Tamamlanan zemin ıslahının kesiti

4. FORE KAZIK VE GEOGRİD DONATILI ZEMİNİN BİLGİSAYAR ORTAMINDA ANALİZİ

PLAXIS (Finite Element Codefor Soiland 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 AE 2D versiyonu kullanılmıştır. Versiyon, geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmiştir. Analizlerde, problemler 2 boyutlu olarak eksenel simetrik veya düzlem şekil değiştirme geometri koşullarında statik olarak analiz edilmektedir. Programda, malzemenin gerilme deformasyon davranışı lineer olmayan çözüm teknikleri ile modellenmektedir.

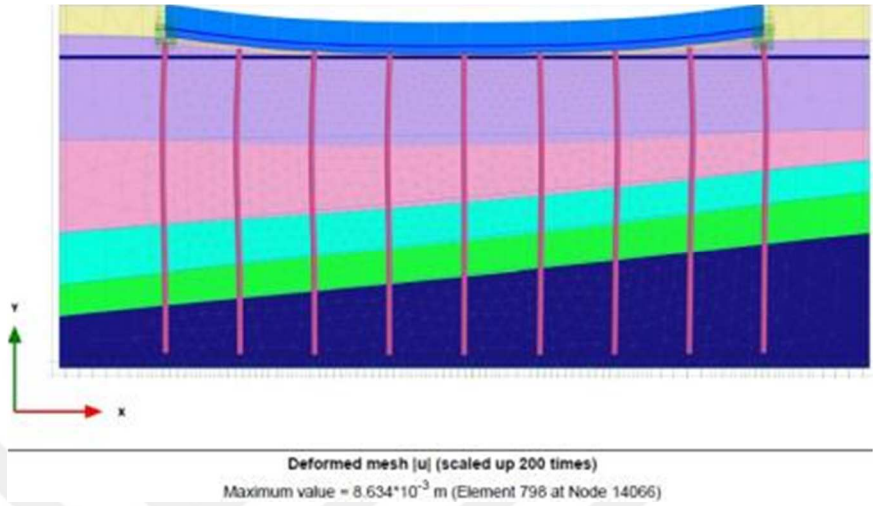
4.1. Fore Kazık ve Geogrid Donatılı Zemin Modellemesi

Sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan Plaxis programında sahada yapılan uygulama modellenmiştir.

Programda ilk önce zemin tabakaları modellenmiştir. Zemin tabakalarının modellenmesinden sonra kazıklar tanımlanmış olup sahada yapılan işlem adımları aynı şekilde bilgisayarda modellenmiştir. Buna göre kazıklar tanımlandıktan sonra kazı yapılmış, 60cm blokaj dolgu tanımlanmıştır. Blokaj dolgu sonrasında 20cm'lik üç tabaka dolgu ve arasında geogridler tanımlanmıştır.

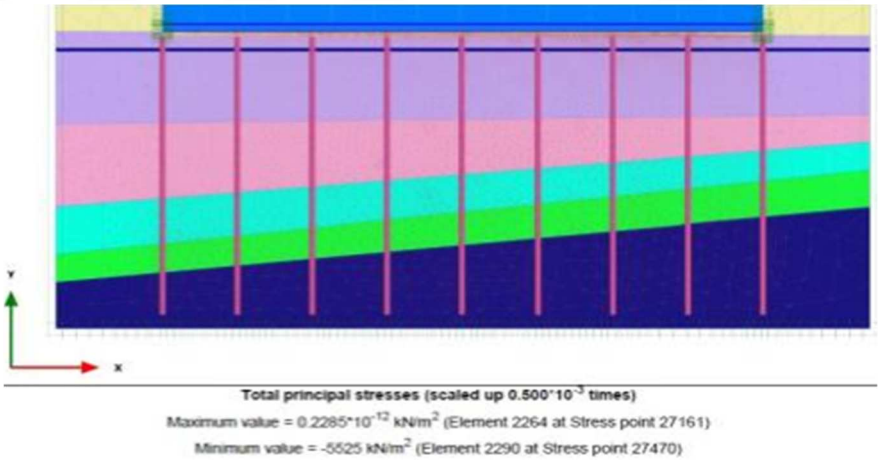
Bu tabakadan sonra ise radye temel modellenmiş ve üzerine 250kN/m olarak yapı yükü etkitilmiştir. Modelde kullanılan veriler Ek-E'de verilmiştir.

Analiz sonucunda 8.6 mm deformasyon elde edilmiştir.

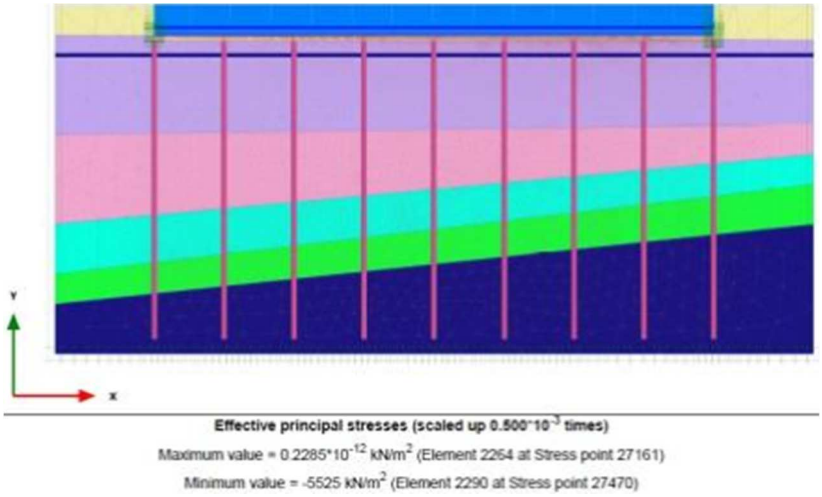


Şekil 4.1. Deformasyon ağı

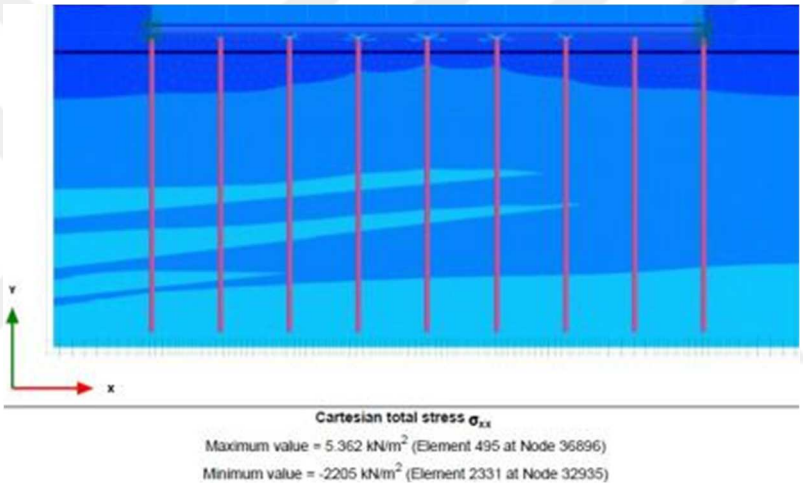
Analiz sonucunda birinci asal gerilme $0{,}2210^{-12}$kPa, üçüncü asal gerilme -5525 kPa olarak elde edilmiştir.



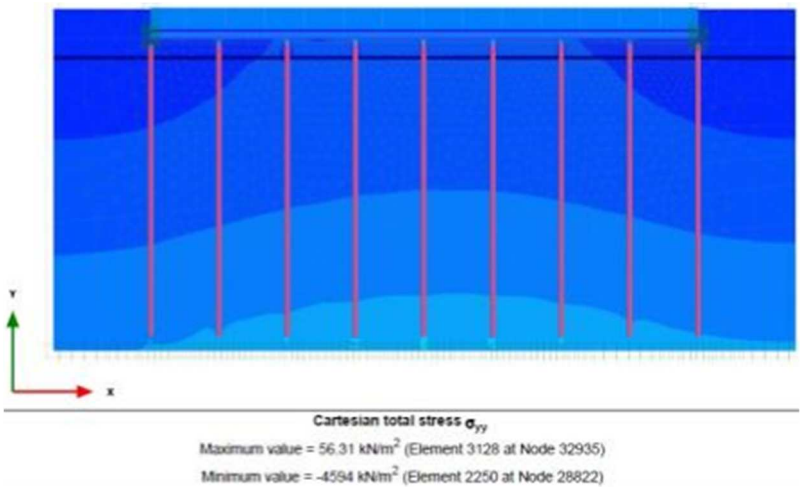
Şekil 4.2. Toplam asal gerilme



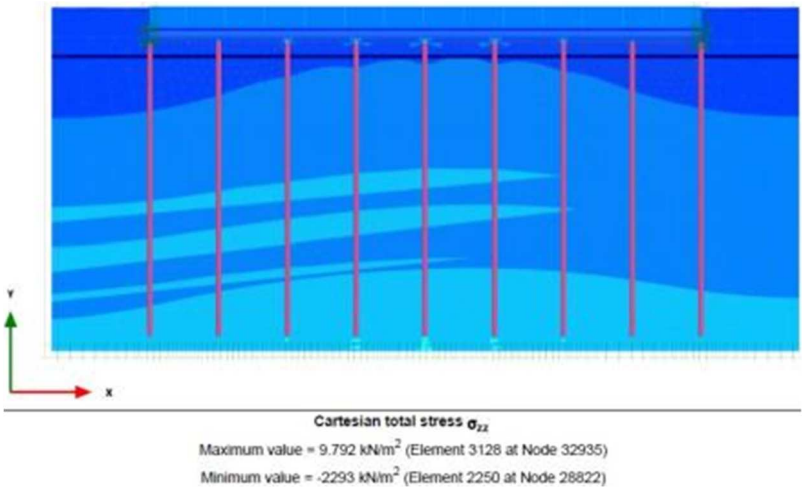
Şekil 4.3. Efektif asal gerilme



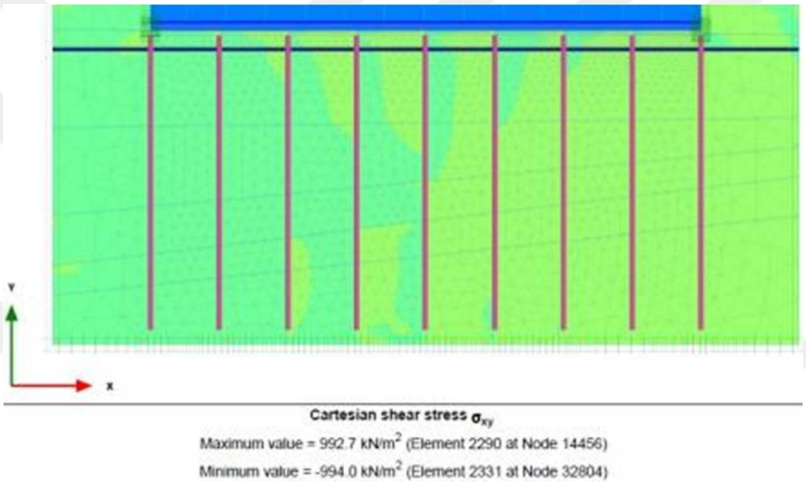
Şekil 4.4. X-X yönündeki toplam gerilme



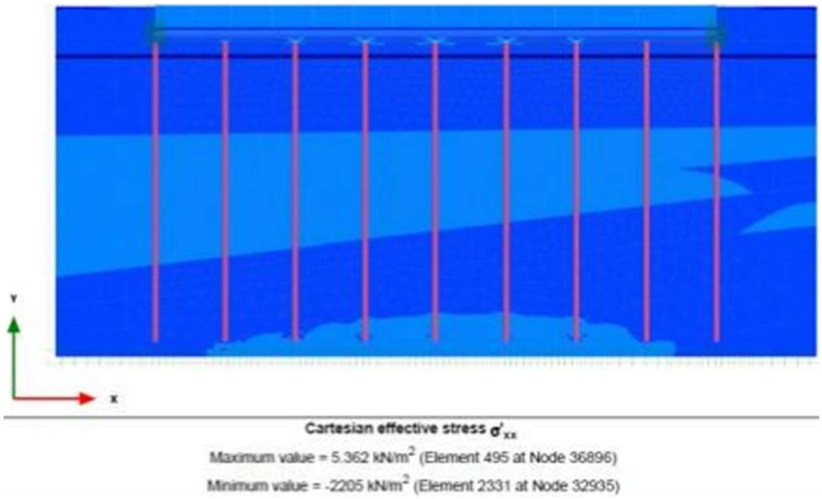
Şekil 4.5. Y-Y yönündeki toplam gerilme



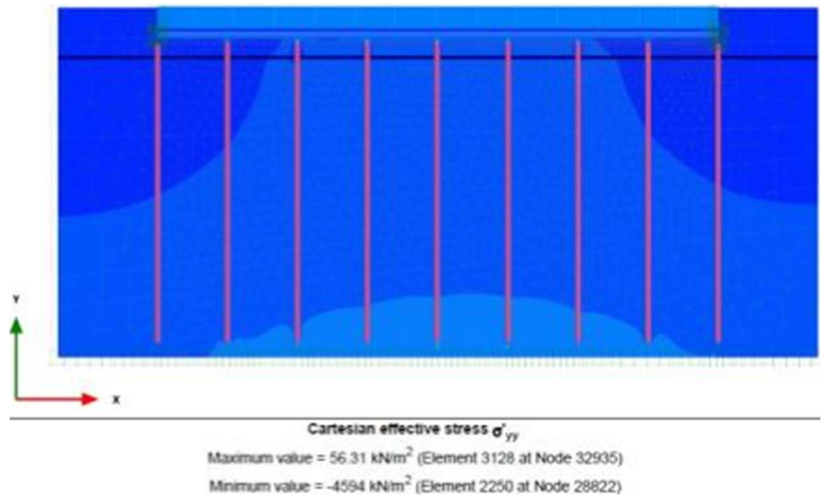
Şekil 4.6. Z-Z yönündeki toplam gerilme



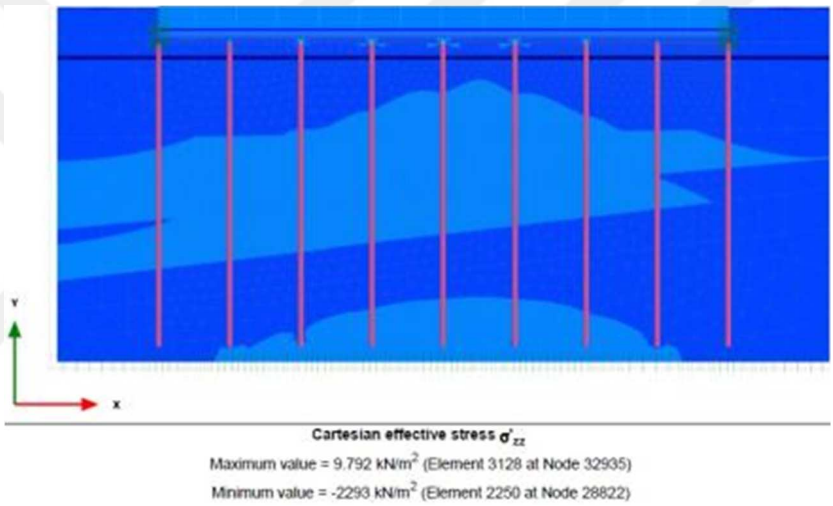
Şekil 4.7. X-Y doğrultusundaki kesme kuvveti



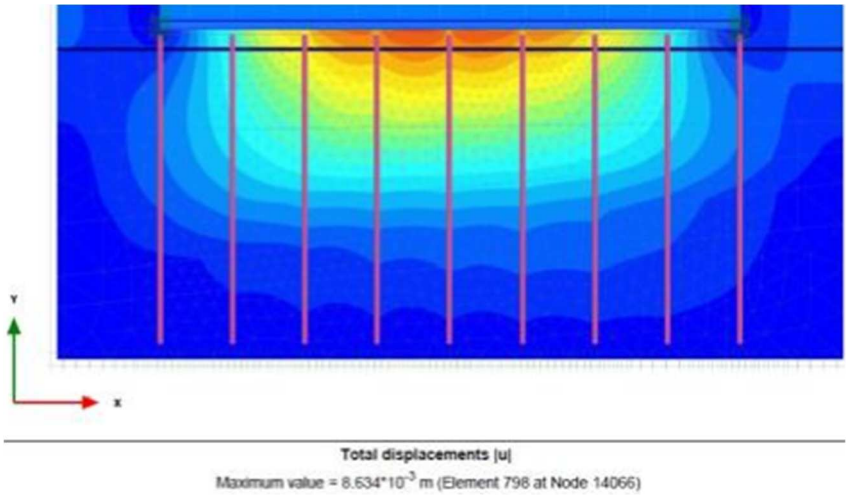
Şekil 4.8. X-X yönüneki efektif gerilme



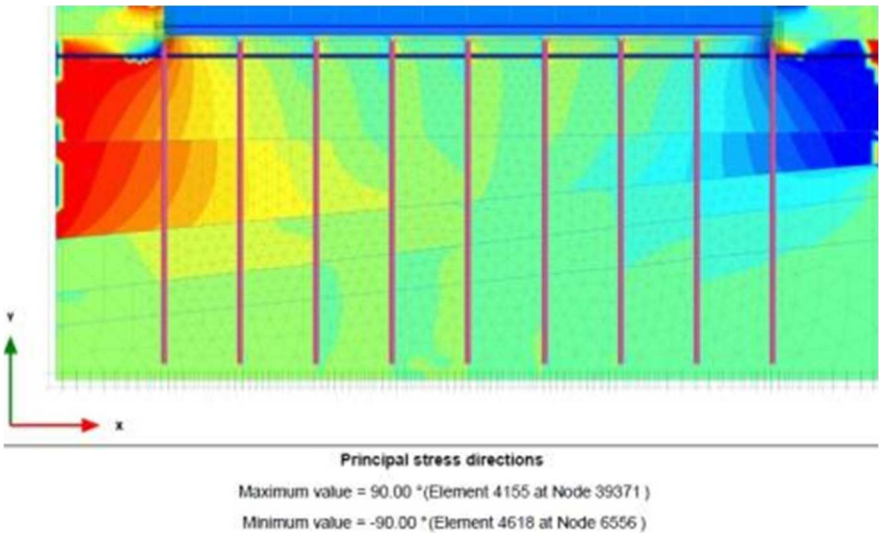
Şekil 4.9. Y-Y yönüneki efektif gerilme



Şekil 4.10. Z-Z yönüneki efektif gerilme

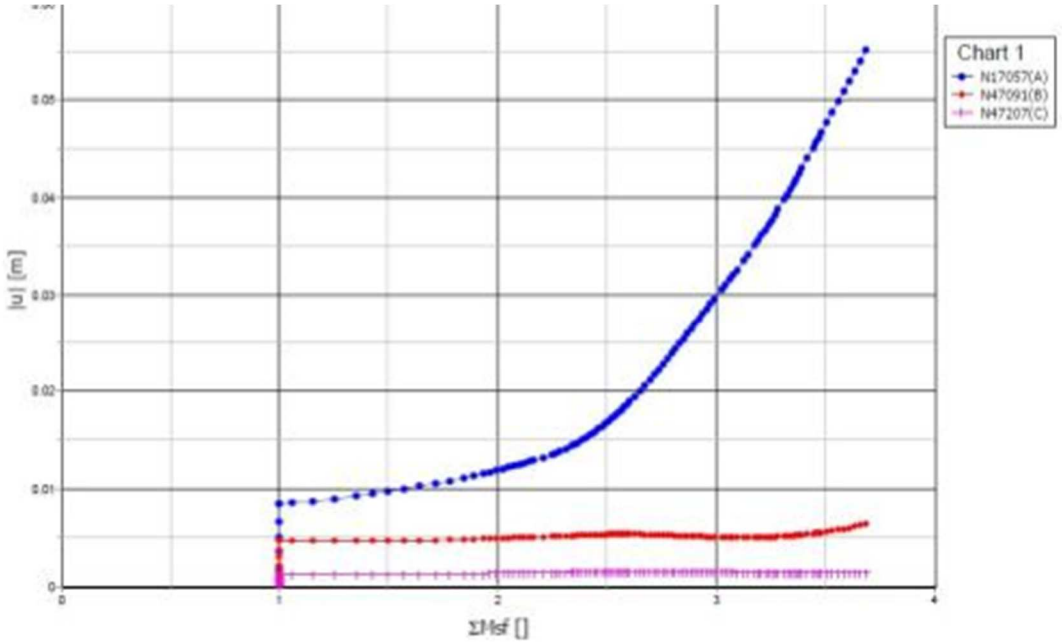


Şekil 4.11. Toplam şekil değiştirme



Şekil 4.12. Asal gerilme yönleri

Modelde tüm hesap adımlarından sonra güvenlik faktörü analizi yapılarak modellenen yükün kaç katı altında modelin göçeceği bulunmuştur. Bunun için en fazla deformasyonun olduğu radyenin orta noktasında seçilen bir A noktası, burada bulunan kazığın üst kısmındaki B noktası ve kazığın alt kısmındaki C noktasına ait grafikler çizilmiştir. Şekil 4.13'te görüldüğü gibi güvenlik faktörü 3,8 olarak bulunmuştur. Ayrıca radye temelde 5,5 cm deformasyon olmuşken kazıkta seçilen B noktasında 0,6 mm, C noktasında 0,1 mm deformasyon elde edilmiştir.



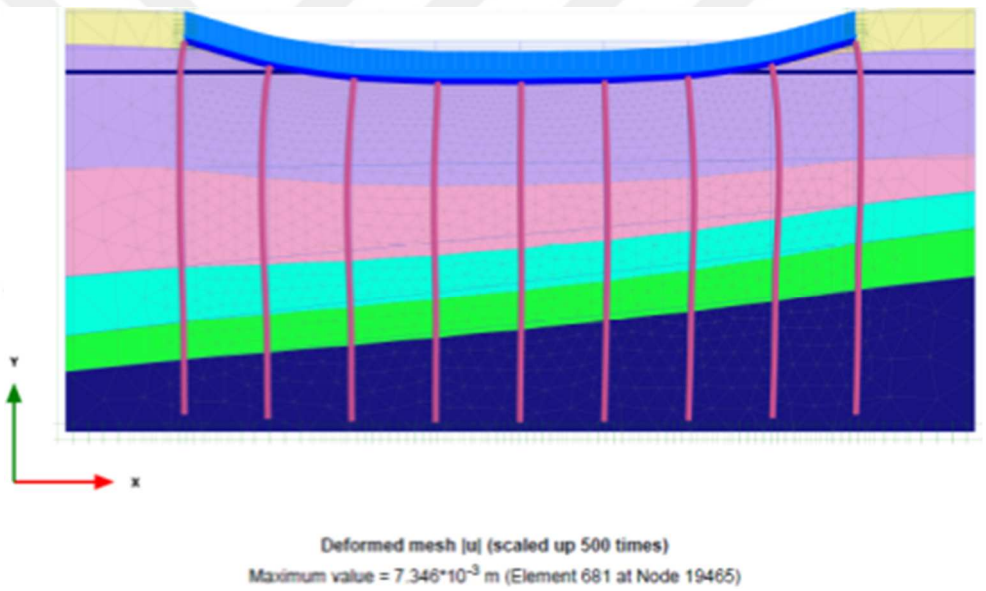
Şekil 4.13. Güvenlik katsayısı

4.2. Fore Kazık ile Zemin Modellemesi

Sahada yapılan uygulama haricinde geogridsiz olarak sadece radye başlıklı kazık temel olarak modellenmiştir.

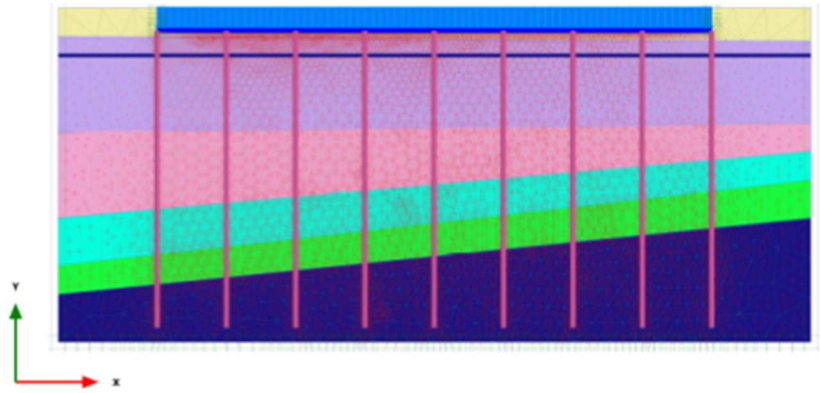
Programda ilk önce zemin tabakaları modellenmiştir. Zemin tabakalarının modellenmesinden sonra kazıklar tanımlanmış olup sahada yapılan işlem adımları aynı şekilde bilgisayarda modellenmiştir. Buna göre kazıklar tanımlandıktan sonra kazı yapılmış, 60cm blokaj dolgu tanımlanmıştır. Bu tabakadan sonra ise radye temel modellenmiş ve üzerine 250kN/m olarak yapı yükü etkitilmiştir. Modelde kullanılan veriler Ek-E'de verilmiştir.

Analiz sonucunda 7,4mm deformasyon elde edilmiştir.

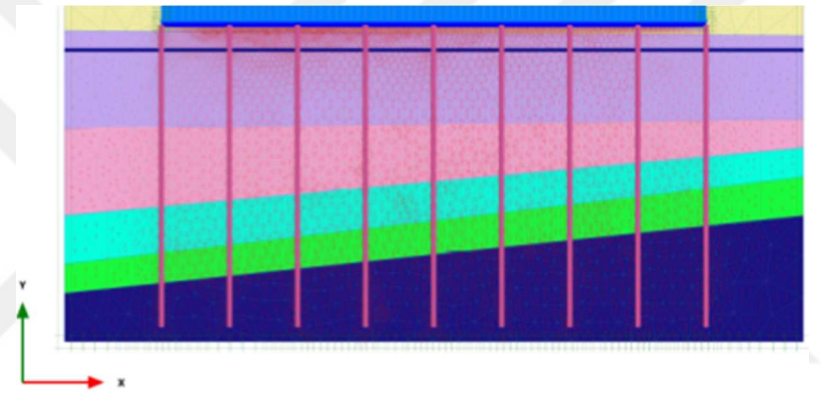


Şekil 4.14. Deformasyon ağı

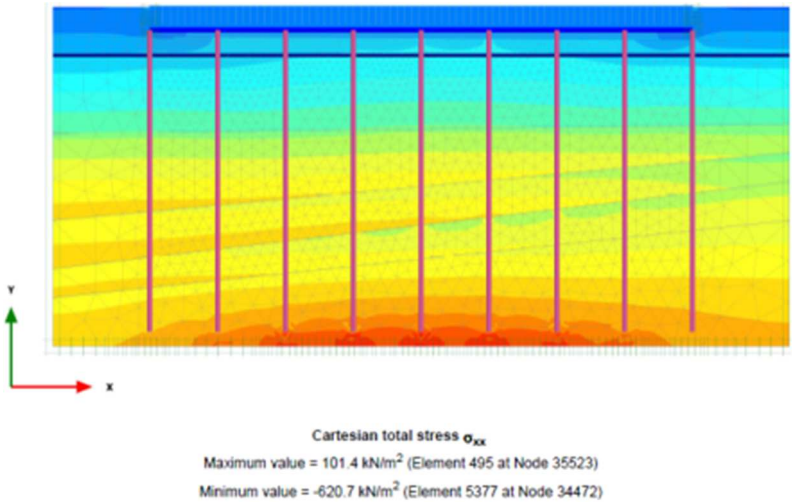
Analiz sonucunda birinci asal gerilme 131,5 kPa, üçüncü asal gerilme -1442 kPa olarak elde edilmiştir.



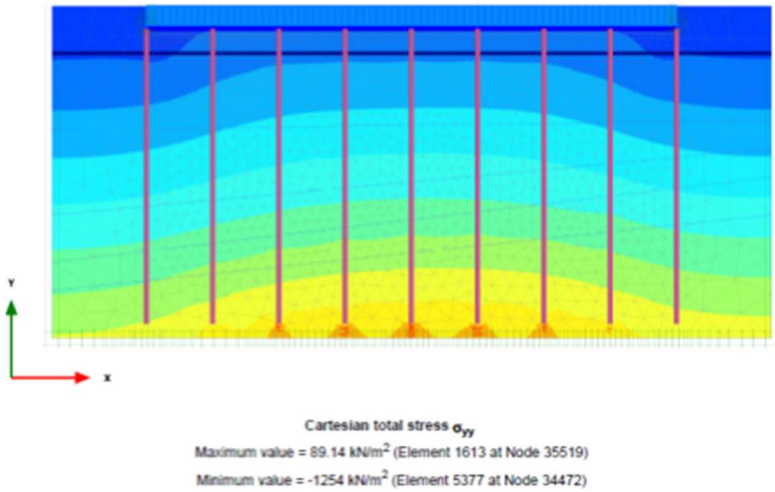
Şekil 4.15. Toplam asal gerilme



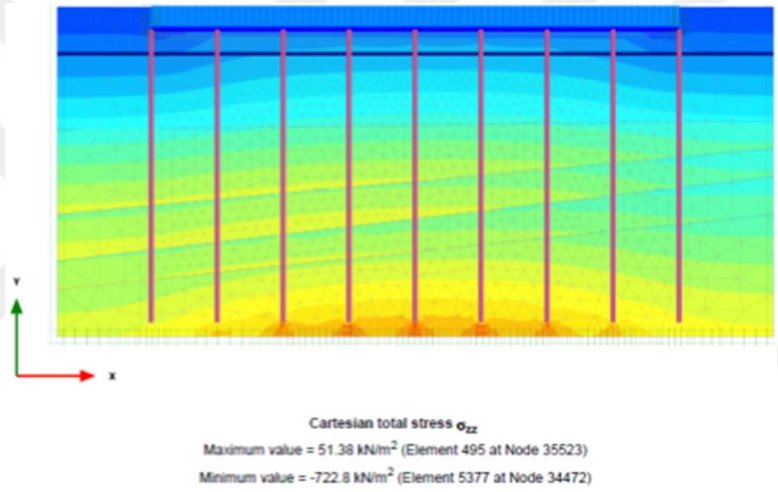
Şekil 4.16. Efektif asal gerilme



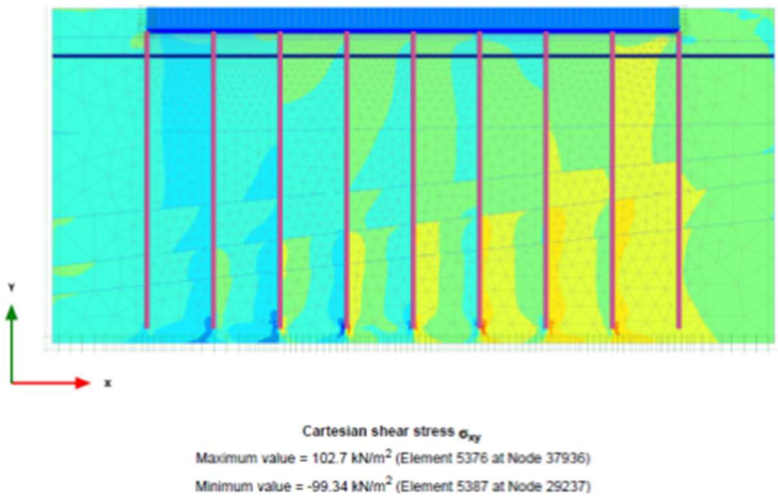
Şekil 4.17. X-X yönündeki toplam gerilme



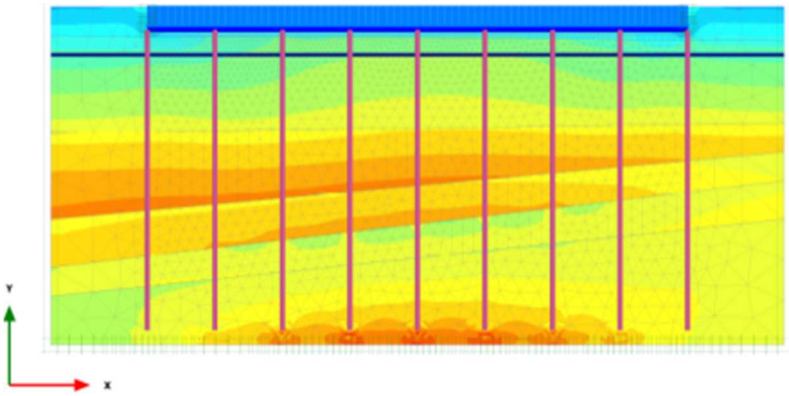
Şekil 4.18. Y-Y yönündeki toplam gerilme



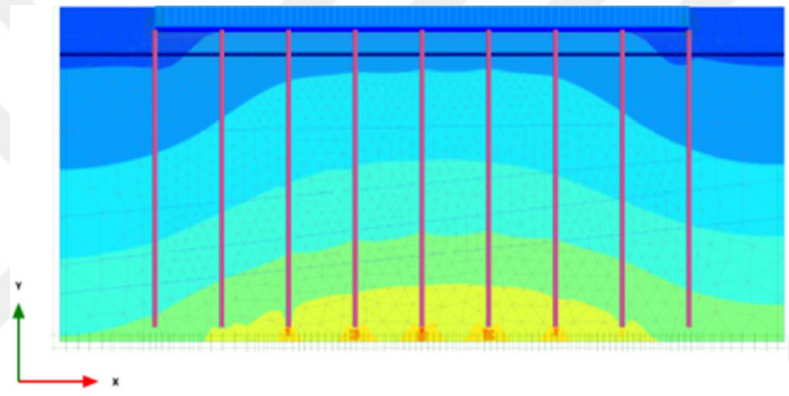
Şekil 4.19. Z-Z yönündeki toplam gerilme



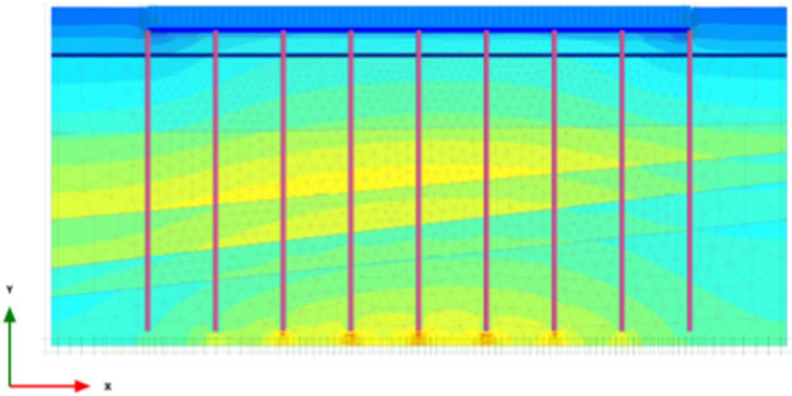
Şekil 4.20. X-Y doğrultusundaki kesme kuvveti



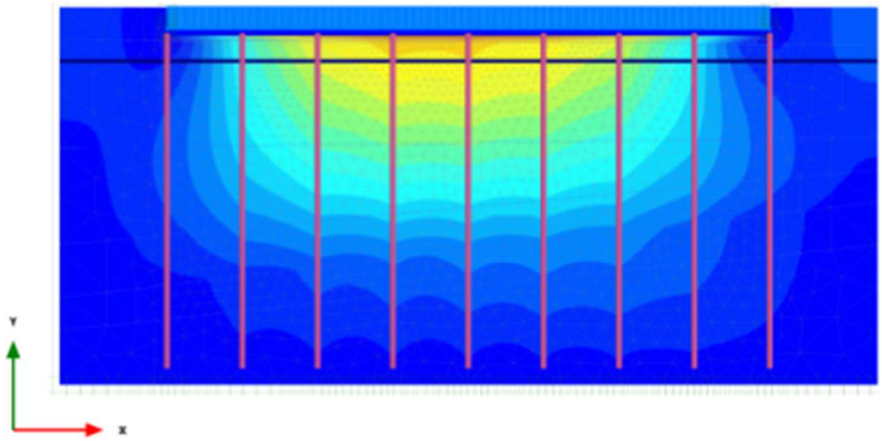
Şekil 4.21. X-X yönüneki efektif gerilme



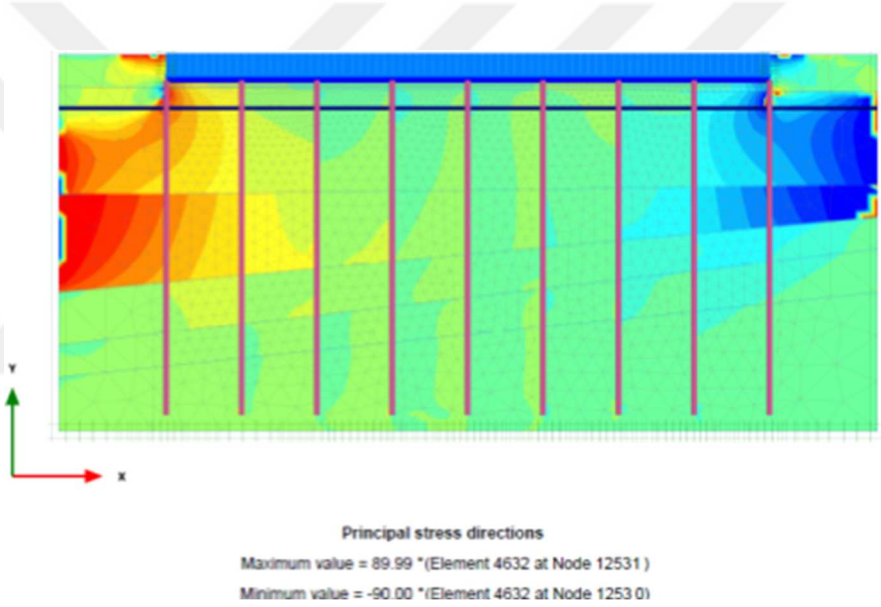
Şekil 4.22. Y-Y yönüneki efektif gerilme



Şekil 4.23. Z-Z yönüneki efektif gerilme

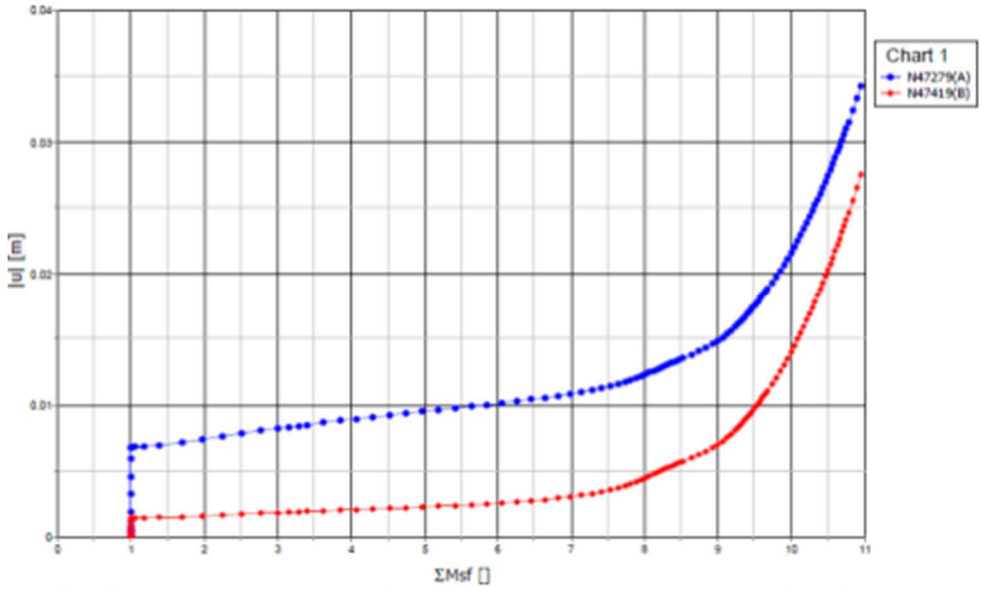


Şekil 4.24. Toplam şekil değiştirme



Şekil 4.25. Asal gerilme yönleri

Modelde tüm hesap adımlarından sonra güvenlik faktörü analizi yapılarak modellenen yükün kaç katı altında modelin göçeceği bulunmuştur. Bunun için en fazla deformasyonun olduğu radyenin orta noktasında bulunan kazığın ust kısmındaki A noktası ve kazığın alt kısmındaki B noktasına ait grafikler çizilmiştir. Şekil 4.26'da görüldüğü gibi güvenlik faktörü 11 olarak bulunmuştur. Ayrıca kazıkta seçilen A noktasında 3,4cm, B noktasında 2,8cm deformasyon elde edilmiştir.



Şekil 4.26. Güvenlik katsayısı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yükleme deneyi sırasında alınan okumalar ve deney sonuçlarına göre çizilen yük-zaman, yük - deplasman ve deplasman - zaman grafikleri eklerde verilmiştir. Buna göre maksimum yükte oluşan maksimum oturma değeri 9,12mm ve yük boşaltımından sonra oluşan nihai kalıcı oturma değeri 3,62mm olarak ölçülmüştür.

Bilgisayarda yapılan analizler sonucunda sahada uygulanan geogridli dolgu tabakasının olduğu analizlerde maksimum oturma miktarı 8,6mm elde edilmişken geogrid dolgunun olmadığı kazıklı radye temel analizinde maksimum oturma miktarı 7,4mm bulunmuştur.

Analizler sonucunda geogridli dolgu tabakasının olduğu analizlerde birinci asal gerilme $0{,}2210^{-12}$kPa, üçüncü asal gerilme -5525kPa olarak elde edilmiştir. Buna karşın geogridsiz radye kazık temel analizlerinde birinci asal gerilme 131,5kPa, üçüncü asal gerilme -1442kPa olarak elde edilmiştir.

Geogridli dolgu tabakasının olduğu analizlerde seçilen radye temel üzerindeki A noktasında 5,5cm deformasyon olmuşken geogridsiz dolgu tabakasının olduğu analizlerde seçilen radye temel üzerindeki A noktasında 3,4cm deformasyon elde edilmiştir. Buna karşın geogridli dolgu tabakasının olduğu analizlerde kazık altında seçilen C noktasında 0,1mm deformasyon elde edilmiş olmasına rağmen geogridsiz dolgu tabakasının olduğu analizlerde kazık altında seçilen B noktasında 2,8cm deformasyon elde edilmiştir.

Güvenlik faktörü analizinde geogridli dolgu tabakasının olduğu analizlerde güvenlik faktörü 3,8 iken geogridli dolgu tabakasının olduğu analizlerde güvenlik faktörü 11 olarak elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada, fore kazık ile geogrid bir arada kullanıldığında oturmanın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Fore kazığı zemin ıslah yöntemi olarak kullanmak yerine derin temel olarak değerlendirildiğinde daha fazla taşıma gücü elde edilmesi mümkündür.Bu bağlamda sadece fore kazık kullanılması daha uygun olacaktır.

KAYNAKLAR

Alkaya D., Yeşil B., Metal şerit ve Geosentetik Donatı Kullanılarak Oluşturulan Donatılı Zemin (Toprakarme) Yapıların Spreadsheet Kullanarak Analizi, *Akademik Bilişim*, Uşak, Türkiye, 1-3 Şubat 2012.

ASTM D1143-81, Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load, *American National Standards Institue*, Washington, 1994

Bartolomei A. A., Omel'chak I. M., Effect of loading character on analysis of pile and pile-foundation settlements, Soil Mechanics And Foundation Engineering, *Springer*, DOI:10.1023/B:SMAF.0000010108.32137.c7.

Bathurst R. J., Simac M. R., Geosynthetic Reinforced Segmental Retaining Wall Structures in North America, *Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes & Related Products*, Singapore, 6-9 September 1994.

Coduto D. P., *Foundation Design Principles and Practices*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 1994.

Chow Y. K., Teh C. I., Pile-Cap-Pile-Group Interaction in Nonhomogeneous Soil, Journal of Geotechnical Engineering, *Asce*, DOI:10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:11(1655).

Çimen Ö., Korkmaz K. A., Keskin S. N., Ay Z., Çarhoğlu A. I., Farklı Zeminlerdeki Kazıkların Deprem Davranışının İncelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2009, **25**(1-2), 223-236.

Çoruh T., Geosentetikler, *DSİ Gen. Md. Teknik Araş. ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı Yayını*, KK-798, 0-176, 1991.

Das B. M., *Principles of Foundation Engineering*, 4th ed., PSW Publishing, Boston 1999.

Das B. M., *Principles of Foundation Engineering*, Brooks / Cole Engineering Division, California, 1984.

Demiröz A., Tan, Ö., Donatılı Zeminler Üzerindeki Sürekli Temellerin Oturmasını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, *Selçuk Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 2008 **23**(3),13-23.

Ercan Ö. A., *Kıran (Afet) Bölgelerinde Yeraraştırma Yöntemleri: Bilgiler ve Kurallar*, Birinci Basım, Özel Basım, İstanbul, 2001.

FHWA – NHI – 00 - 043, Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Sloper Design and Construction Guidelines, *U.S.Department of Transportation Federal Highway Administration*, Washington, 2001.

Güler E., Demirkan M. M., Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Dinamik Yükler Altında Davranışı, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 21-22 Ekim 2002.

Karagül B. Ç., Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007, 222646.

Kaya T., Özbatır M., Durgunoğlu H. T., Donatılı zemin duvar yapılarının Depremde davranışı, İMO, http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10824.pdf, (Ziyaret tarihi: 09 Nisan 2016).

Keçeli A., Sismik Yöntemlerle Müsaade Edilir Dinamik Taşıma Kapasitesi ve Oturmasının Saptanması, *Jeofizik Mühendisleri Odası Jeofizik Dergisi*, 1990, **4,** 2.

Koerner R. M., *Desingning with Geosynthetics*, 4th ed., Prentice Hall Inc, New Jersey, 1999.

Koerner R. M., *Desingning with Geosynthetics*, 5th ed., Prentice Hall Inc, New Jersey, 2005.

Nikolaou S., Mylonakis G., Gazetas G., Tazoh T., Kinematic pile bending during earthquakes: analysis and field measurements, *Geotechnique*, 2001, **51**(5), 425-440.

Öntürk K., Zemin İyileştirmesinde Polisaj, Kireç ve Uçucu Külün Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2011, 287312.

Özçelik H., Maden Kırıcısı Kanat Duvarlarında Polimer Şeritli Donatılı Zemin Duvar Uygulaması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 7-8 Eylül 2006.

Özen M., Özkan M. T., Yatay yüklü kazıkların davranışlarının sonlu elemanlar yöntemi ile belirlenmesi hakkında bir inceleme, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 16-17 Eylül 2004.

Richardson G. N., Lessons Learned from The Failure of a Geotextile Reinforced Retaining Wall Facing, http://www.smithgardnerinc.com/docs/, (Ziyaret tarihi: 08 Nisan 2016).

Sadek M., Shahrour I., Three-dimensional finite element analysis of the seismic behavior of inclined micro piles, *Elsevier*, 2004, **24**, 473-485.

Sowers G. F., *Intoductory Soil Mechancs and Foundations*, 4th ed., MacMillan, New York, 1979

Toprak B., Zemin iyileştirme yöntemleri ve yeraltı su seviyesine düşürülmesinde Well-Point metodunun Kırıkkale ilinde uygulanabilirliğinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 2005, 168796.

TS-1500, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2000

URL-1:http://www.tekatemel.com.tr/calisma-konularimiz/derin-kazi-iksa-uygulamalari/fore-kazik-kuyu-perde-konsol/#! (Ziyaret tarihi: 4 Nisan 2016)

URL-2:http://www.kasktas.com.tr/forekazik.html (Ziyaret tarihi: 4 Nisan 2016)

URL-3:http://www.etizemin.com/fore-kazik-ile-zemin-iyilestirme (Ziyaret tarihi: 4 Nisan 2016)

URL-4:http://www.pg.gda.pl/~adusz/pliki/parametry_tensar_re.pdf (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2016)

Uzuner B. A., *Temel Mühendisliğine Giriş*, Dördüncü Basım, Derya Kitabevi, Trabzon, 2007.

Vidal M. H., La Terre Arme, *Ann Anneles de L'Intitut Techniquedu Batimentetdes Travoux Publics*, 888-938, 1968.

Vijayvergiya V. N., Focht J. A. Jr., A new way top redict capacity of piles in clay, *4th Annual Offshore Technology Conference*, Houston, The United States, 1-3 May 1972.

Wasti Y., 1992, Use of Polymers in Civil Engineering Applications, Editör: Akovali, G., *Polymers in Construction*, 1th ed., Rapra Technology, United Kingdom, 115-120, 2005.

Yao S., Kobayashi K., Yoshida N., Matsuo H., Interactive behavior of soil–pile-super structure system in transient statet olique faction by means of larges hake table tests, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2004, **24**, 397–409.

Yılmaz H. R., Aklık P., Geosentetiklerin Muhtelif Geoteknik Problemlerin Çözümlerinde Kullanım İmkânları Hakkında Bir Araştırma, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi*, Trabzon, Türkiye, 7-8 Eylül 2006.

Yılmaz H. R., Aklık P., Geotekstil veya Geogrid Kullanılarak Oluşturulan Dayanma Yapılarında Sağlanabilen Ekonomi Hakkında Bir İnceleme, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, Eskişehir, Türkiye, 21-22 Ekim 2002.

Yılmaz H. R. ve Eskişar T., Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı ve Sağlanan Faydalar, *2. Geoteknik Sempozyumu*, Adana.Türkiye, 22-23 Kasım 2007.

EKLER

Ek-A

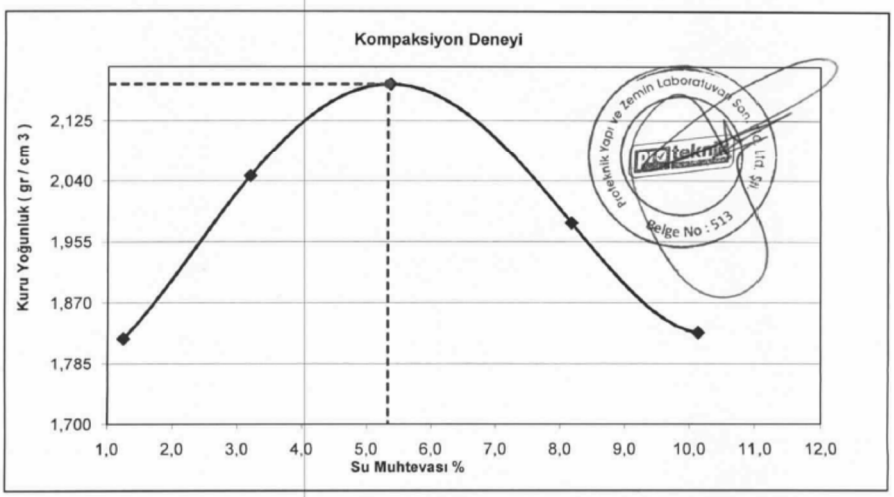
Bölüm 3.4.7'de bahsedilen Blokaj malzemesinin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

MODİFİYE KOMPAKSİYON TESTİ (TS 1900 - 1)

Proje Adı	KULLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ	Rapor No	8-Z-MP007
Firma Adı	ALKE ALKATAŞ İNŞ.SAN.VE TİC.A.Ş ALKATAŞ İNŞ. VE TAAH.A.Ş İŞ ORTAKLIĞI	Rapor Tarihi	24.10.2015
Sondaj No		Bakanlık Rapor No	9270253
Numune Geliş Tarihi	22.10.2015	Laboratuvar No	8-Z-MP007
Numune No	2 NUMARALI KIRMIZI MALZEME	Deney Standardı	TS 1900-1/Mart 2006
Derinlik, m	TEMEL ALTINDA GEOGRID HASIR DOLGU MALZEMESİ	Kalıp Boyutları:	
Deneyi yapan :	PROTEKNİK	Çap cm:	15,2
Vuruş/Tabaka	56	Yüks.cm:	11,65
Tabaka sayısı :	5	Hacim:	2130

Örnek Numune no.	1		2		3		4		5	
Kap no	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5	W 6	W 7	W 8	W 9	W 10
Kap ağırlığı gr.	87,23	80,12	84,50	84,51	84,50	84,57	84,50	83,64	87,23	85,24
Islak Zemin + Kap Ağırlığı (gr)	188,61	183,47	201,13	191,34	212,57	186,41	207,13	185,32	187,32	191,20
Kuru Zemin + Kap Ağırlığı (gr)	187,52	182,05	197,38	188,14	206,12	181,15	197,67	177,79	178,01	181,54
Su Ağırlığı (gr)	1,09	1,42	3,75	3,20	6,45	5,26	9,46	7,53	9,31	9,66
Zemin Ağırlığı (gr)	100,29	101,93	112,88	103,63	121,62	96,58	113,17	94,15	90,78	96,30
Su muhevası w % (gr)	1,09	1,39	3,32	3,09	5,30	5,45	8,36	8,00	10,26	10,03

Tahm. Su muhtevası %	1	3	5	8	10
Su muhtevası w % gr.	1,24	3,21	5,37	8,18	10,14
Kalıp + Zemin ağırlığı (gr)	9821	10396	10780	10461	10186
Kalıp ağırlığı (gr)	5896	5896	5896	5896	5896
Zemin ağırlığı (gr) Mws	3925	4500	4884	4565	4290
Doğal BHA gr/cm3 (gr)	1,84	2,11	2,29	2,14	2,01
Kuru BHA gr/cm3 (gr)	1,82	2,05	2,18	1,98	1,83



Optimum su muhtevası (w %)	5,34
Max Kuru yoğunluk gr./cm3	2,176

KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI (CBR) DENEYİ (TS 1900 - 2)

PROJE ADI	KULLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ	Rapor No	9-Z-CBR006
Firma Adı	ALKE ALKATAŞ İNŞ.SAN.VE TİC.A.Ş ALKATAŞ İNŞ. VE TAAH.A.Ş İŞ ORTAKLIĞI	Rapor Tarihi	28.10.2015
Deney Standardı	TS 1900-2/Mart 2006	Bakanlık Rapor No	9270653
Numune Geliş Tarihi:	22.10.2015	Laboratuvar No	9-Z-CBR006
Numune No	2 NUMARALI KIRMIZI MALZEME	Kalıp Boyutları:	
Alındığı yer: Km/derinlik	TEMEL ALTINDA GEOGRID HASIR DOLGU MALZEMESİ	Çap cm:	15,2
		Yükseklik cm:	11,65
		Hacim (cm³)	2113

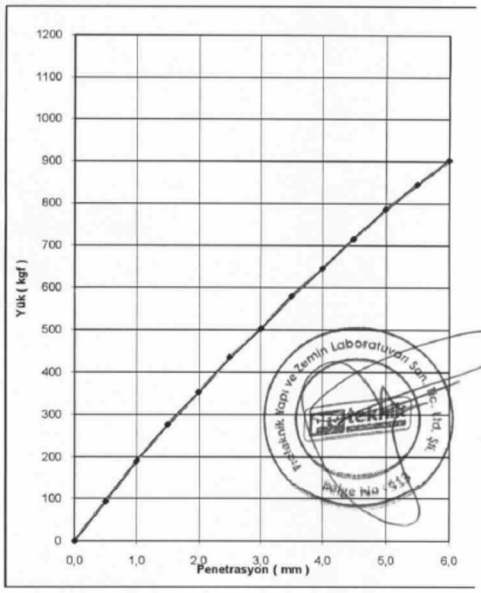
Vuruş/Tabaka:	61
Tabaka Sayısı:	5

	Kuru	Islak
Kap no	1	2
Kap ağırlığı gr.	84,50	83,73
Islak Z.+Kap g	212,57	179,18
Kuru Z.+Kap g.	206,12	173,89
Su ağırlığı gr.	6,45	5,29
Zemin ağırlığı gr.	121,62	90,16
Su muhT. w % gr.	5,30	5,87

kalıp + Zemin g	10761	10847
Kalıp ağır gr.	5896	5896
Zemin gr. Mws	4865	4951
Doğ. BHA gr/cm3 g	2,303	2,343
Kuru gr/cm3 g kuru	2,187	2,213

Tarih	Saat	Şişme (mm)
23.10.2015	0	0
24.10.2015	24	0,37
25.10.2015	48	0,45
26.10.2015	72	0,46
27.10.2015	96	0,47

Penetrasyon (mm)	Düz Yükleme (kgf)
0	0
0,50	93
1,00	191
1,50	277
2,00	353
2,50	435
3,00	503
3,50	580
4,00	645
4,50	715
5,00	786
5,50	845
6,00	902



	Düz Yükleme	
Penetrasyon (mm)	2,50	5,00
Standart Yük	1360	2040
Yük (kgf)	435	786
CBR Değerleri (%)	31,99	38,53

Şişme (%)	0,40

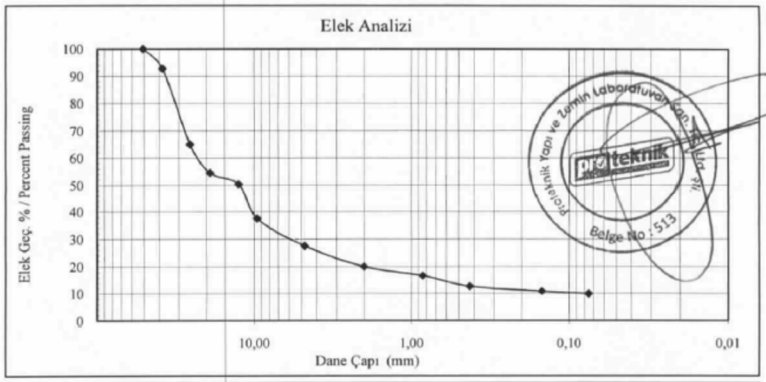
Proje CBR Değeri (%)	38,53

ELEK ANALİZİ(SINIFLANDIRMA) TESTİ (TS 1900 - 1)

PROJE ADI	KULLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ				
Firma Adı	ALKE İNŞ.SAN.VE TİC.A.Ş ALKATAŞ İNŞ. VE TAAH.A.Ş İŞ ORTAKLIĞI				
Sondaj No.		Toplam Num. Ağırlığı, g	1036	Laboratuvar No:	2015/10-Z-EA005
Numune Geliş Tarihi	22.10.2015	Eleme Yöntemi	Yıkamalı	Rapor Tarihi	24.10.2015
Numune No.	2 NUMARALI KIRMIZI MALZ.	Hidrometre Tipi		Bakanlık Kayıt No	9249056
Derinlik m.	TEMEL ALTINDA GEOGRID HASIR DOLGU MALZEMESİ			Deney Standardı	TS 1900-1/Mart 2006

Yıkamadan önce kuru zemin ağırlığı	1036,00
Yıkamadan sonra kuru zemin ağırlığı	933,00
Yıkamadaki kayıp ağırlık	103,00
Kil + Silt oranı (%)	**9,94**

Elek No	Elek Çapı mm	Geçen gr	Elekte Kalan gr	% Kalan	% Geçen
2"	50,800	1036,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	961,00	75,00	7,24	92,76
1"	25,40	673,00	363,00	35,04	64,96
3/4"	19,05	565,00	471,00	45,46	54,54
1/2"	12,50	419,00	514,00	49,61	50,39
3/8"	9,53	389,00	647,00	62,45	37,55
No 4	4,760	285,00	751,00	72,49	27,51
No 10	2,000	207,00	829,00	80,02	19,98
No 20	0,845	173,00	863,00	83,30	16,70
No 40	0,425	132,00	904,00	87,26	12,74
No 100	0,149	113,00	923,00	89,09	10,91
No 200	0,075	103,00	933,00	90,06	9,94
	PAN		103,00		
	TOTAL / TOPLAM		1036,00		



D_{60}=	22,150	Cu = D_{60}/D_{10} =	283,42	PL (%)	0,00
D_{30}=	5,654	Cc=(D_{30}^2/D_{60}*D_{10}) =	18,47	LL (%)	0,00
D_{10}=	0,078			PI (%)	**0,00**

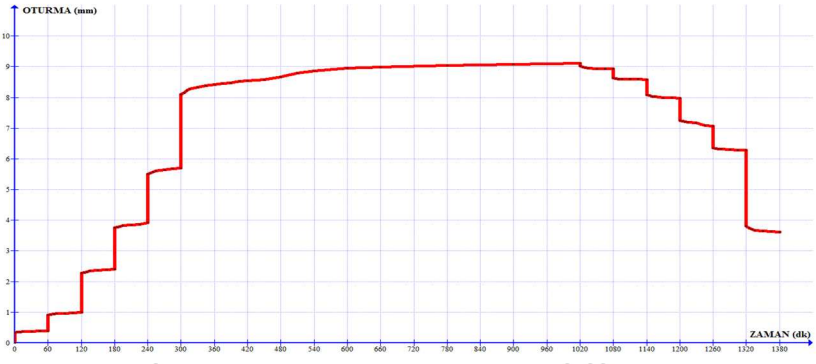
USCS Sınıf:	**GP-GM**
Zemin Tanımı:	**ÜNİFORM ÇAKIL ve AZ SİLT**

TS1500 / 2000		**ASTM 2487-90 (USCS)**	
2,00 geçen % =	19,98	4.75 mm geçen % =	27,51

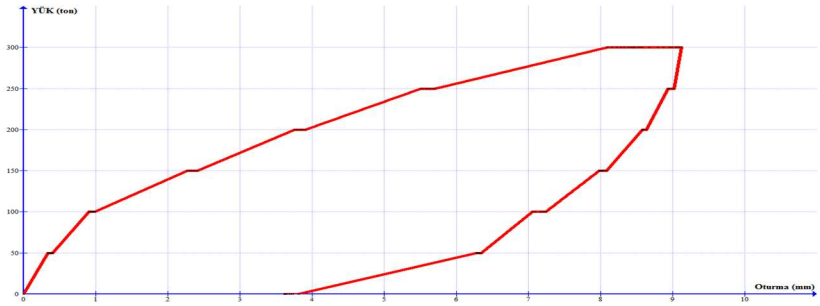
Ek-B

Bölüm 3.4.9.4’de bahsedilen grafikler aşağıda gösterilmiştir.

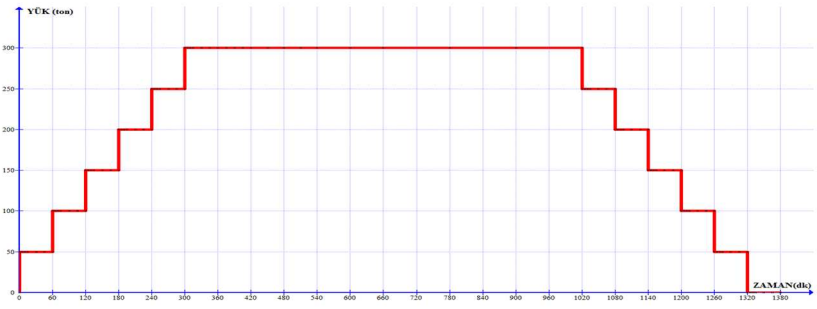
Oturma-Zaman Grafiği.



Yük-Oturma Grafiği



Yük-Zaman Grafiği



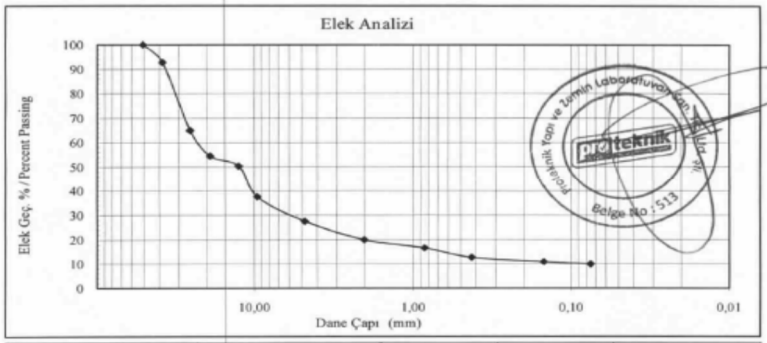
Ek-C

Bölüm 3.5.1’de bahsedilen Stabilize malzemesinin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

ELEK ANALİZİ(SINIFLANDIRMA) TESTİ (TS 1900 - 1)

PROJE ADI	KULLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ				
Firma Adı	ALKE İNŞ.SAN.VE TİC.A.Ş ALKATAŞ İNŞ. VE TAAH.A.Ş İŞ ORTAKLIĞI				
Sondaj No.		Toplam Num. Ağırlığı, g	1036	Laboratuvar No:	2015/10-Z-EA005
Numune Geliş Tarihi	22.10.2015	Eleme Yöntemi	Yıkamalı	Rapor Tarihi	24.10.2015
Numune No.	2 NUMARALI KIRMIZI MALZ.	Hidrometre Tipi		Bakanlık Kayıt No	9249056
Derinlik m.	TEMEL ALTINDA GEOGRID HASIR DOLGU MALZEMESİ			Deney Standardı	TS 1900-1/Mart 2006
		Yıkamadan önce kuru zemin ağırlığı		1036,00	
		Yıkamadan sonra kuru zemin ağırlığı		933,00	
		Yıkamadaki kayıp ağırlık		103,00	
		Kil + Silt oranı (%)		**9,94**	

Elek No	Elek Çapı mm	Geçen gr	Elekte Kalan gr	% Kalan	% Geçen
2"	50,800	1036,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	961,00	75,00	7,24	92,76
1"	25,40	673,00	363,00	35,04	64,96
3/4"	19,05	565,00	471,00	45,46	54,54
1/2"	12,50	419,00	514,00	49,61	50,39
3/8"	9,53	389,00	647,00	62,45	37,55
No 4	4,760	285,00	751,00	72,49	27,51
No 10	2,000	207,00	829,00	80,02	19,98
No 20	0,845	173,00	863,00	83,30	16,70
No 40	0,425	132,00	904,00	87,26	12,74
No 100	0,149	113,00	923,00	89,09	10,91
No 200	0,075	103,00	933,00	90,06	9,94
	PAN		103,00		
	TOTAL / TOPLAM		1036,00		



D_{60}=	22,150	$Cu = D_{60}/D_{10}$ =	283,42	PL (%)	0,00
D_{30}=	5,654	$Cc=(D_{30}^2/D_{60}*D_{10})$ =	18,47	LL (%)	0,00
D_{10}=	0,078			PI (%)	**0,00**

USCS Sınıf:	**GP-GM**
Zemin Tanımı:	**ÜNİFORM ÇAKIL ve AZ SİLT**

TS1500 / 2000		ASTM 2487-90 (USCS)	
2,00 geçen % =	19,98	4.75 mm geçen % =	27,51

KALİFORNİYA TAŞIMA ORANI (CBR) DENEYİ (TS 1900 - 2)

PROJE ADI	KULLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ	Rapor No	9-Z-CBR006
Firma Adı	ALKE ALKATAŞ İNŞ.SAN.VE TİC.A.Ş ALKATAŞ İNŞ. VE TAAH.A.Ş İŞ ORTAKLIĞI	Rapor Tarihi	28.10.2015
Deney Standardı	TS 1900-2/Mart 2006	Bakanlık Rapor No	9270653
Numune Geliş Tarihi:	22.10.2015	Laboratuvar No	9-Z-CBR006
Numune No	2 NUMARALI KIRMIZI MALZEME	Kalıp Boyutları:	
Alındığı yer: Km/derinlik	TEMEL ALTINDA GEOGRID HASIR DOLGU MALZEMESİ	Çap cm:	15,2
		Yükseklik cm:	11,65
		Hacim (cm³)	2113

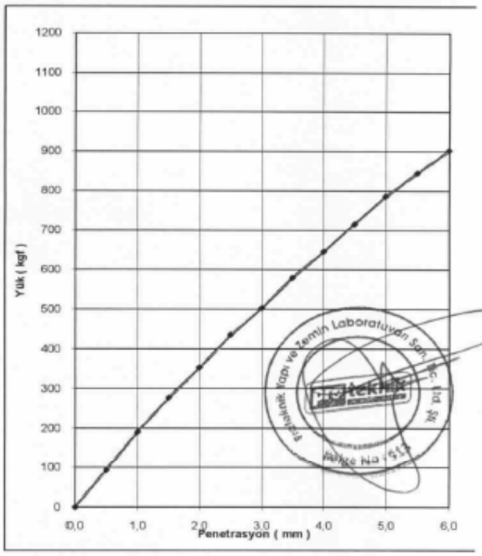
Vuruş/Tabaka:	61
Tabaka Sayısı:	5

	Kuru	Islak
Kap no	1	2
Kap ağırlığı gr.	84,50	83,73
Islak Z.+Kap g	212,57	179,18
Kuru Z.+Kap g.	206,12	173,89
Su ağırlığı gr.	6,45	5,29
Zemin ağırlığı gr.	121,62	90,16
Su muhT. w % gr.	5,30	5,87

kalıp + Zemin g	10761	10847
Kalıp ağır gr.	5896	5896
Zemin gr. Mws	4865	4951
Doğ. BHA gr/cm3 g	2,303	2,343
Kuru gr/cm3 g kuru	2,187	2,213

Tarih	Saat	Şişme (mm)
23.10.2015	0	0
24.10.2015	24	0,37
25.10.2015	48	0,45
26.10.2015	72	0,46
27.10.2015	96	0,47

Penetrasyon (mm)	Düz Yükleme (kgf)
0	0
0,50	93
1,00	191
1,50	277
2,00	353
2,50	435
3,00	503
3,50	580
4,00	645
4,50	715
5,00	786
5,50	845
6,00	902



	Düz Yükleme	
Penetrasyon (mm)	2,50	5,00
Standart Yük	1360	2040
Yük (kgf)	435	786
CBR Değerleri (%)	31,99	38,53

Şişme (%)	0,40

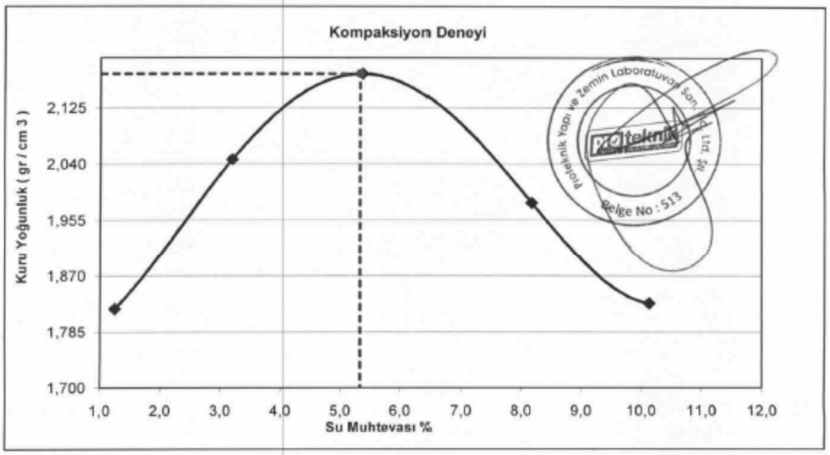
Proje CBR Değeri (%)	38,53

MODİFİYE KOMPAKSİYON TESTİ (TS 1900 - 1)

Proje Adı	KULLAR ATIKSU ARITMA TESİSİ	Rapor No	8-Z-MP007
Firma Adı	ALKE ALKATAŞ İNŞ.SAN.VE TİC.A.Ş ALKATAŞ İNŞ. VE TAAH.A.Ş İŞ ORTAKLIĞI	Rapor Tarihi	24.10.2015
Sondaj No		Bakanlık Rapor No	9270253
Numune Geliş Tarihi	22.10.2015	Laboratuvar No	8-Z-MP007
Numune No	2 NUMARALI KIRMIZI MALZEME	Deney Standardı	TS 1900-1/Mart 2006
Derinlik, m	TEMEL ALTINDA GEOGRID HASIR DOLGU MALZEMESİ	Kalıp Boyutları:	
Deneyi yapan :	PROTEKNİK	Çap cm:	15,2
Vuruş/Tabaka	56	Yüks.cm:	11,65
Tabaka sayısı :	5	Hacim:	2130

Örnek Numune no.	1		2		3		4		5	
Kap no	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5	W 6	W 7	W 8	W 9	W 10
Kap ağırlığı gr.	87,23	80,12	84,50	84,51	84,50	84,57	84,50	83,64	87,23	85,24
Islak Zemin + Kap Ağırlığı (gr)	188,61	183,47	201,13	191,34	212,57	186,41	207,13	185,32	187,32	191,20
Kuru Zemin + Kap Ağırlığı (gr)	187,52	182,05	197,38	188,14	206,12	181,15	197,67	177,79	178,01	181,54
Su Ağırlığı (gr)	1,09	1,42	3,75	3,20	6,45	5,26	9,46	7,53	9,31	9,66
Zemin Ağırlığı (gr)	100,29	101,93	112,88	103,63	121,62	96,58	113,17	94,15	90,78	96,30
Su muhevası w % (gr)	1,09	1,39	3,32	3,09	5,30	5,45	8,36	8,00	10,26	10,03

Tahm. Su muhtevası %	1	3	5	8	10
Su muhtevası w % gr.	1,24	3,21	5,37	8,18	10,14
Kalıp + Zemin ağırlığı (gr)	9821	10396	10780	10461	10186
Kalıp ağırlığı (gr)	5896	5896	5896	5896	5896
Zemin ağırlığı (gr) Mws	3925	4500	4884	4565	4290
Doğal BHA gr/cm3 (gr)	1,84	2,11	2,29	2,14	2,01
Kuru BHA gr/cm3 (gr)	1,82	2,05	2,18	1,98	1,83



Optimum su muhtevası (w %)	5,34
Max Kuru yoğunluk gr./cm3	2,176

Projeye ve numunelerin alındığı yere ait bilgiler müşteri beyanıdır.
Bu deney raporu ilgili laboratuvarın yazılı izni olmadıkça kısmen çoğaltılamaz.
Laboratuvarımız; 4708 Sayılı Yapı Denetim Hakkında kanun Gereği T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından verilen 16/09/2015 tarih ve 513 sayılı laboratuvar i

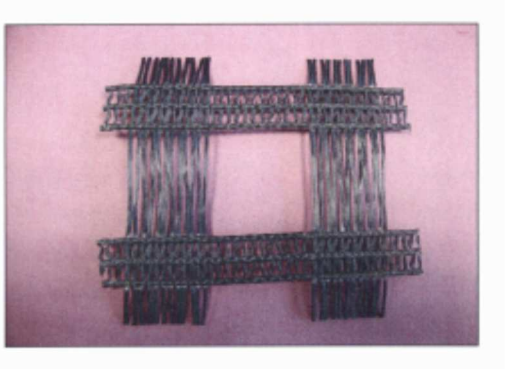
FRz.14 REV.NO:01/TARİH: 20.09.2015

DENEYİ YAPAN
FİRDEVS YERLİ ATEŞ
Jeoloji Mühendisi

ONAYLAYAN
CEVDET UĞURLU
Zemin Denetçi Mühendis

Ek-D

Bölüm 3.5.2'de bahsedilen geogrid malzemesinin özellikleri ve dayanımı aşağıda belirtilmiştir.

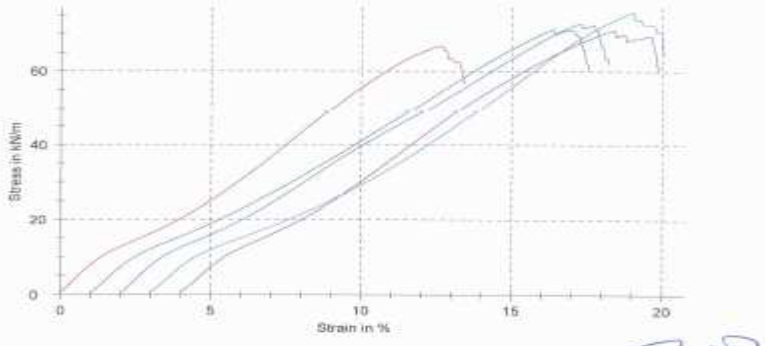


LAB. NO.	STANDARD	DENEY SONUCU			
		ÇEKME MUKAVEMETİ (kN/m)		MAKSİMUM YÜKTEKİ UZAMA (%)	
		Boy Numunesi	En Numunesi	Boy Numunesi	En Numunesi
377	TS EN ISO 10319	72	77	15	14

Results:

Nr	L0 mm	Çekme Muk. kN/m	Çekme Uz. %	Force-F-%2 kN/m	Force-F-%5 kN/m	Force-F-%10 kN/m	Force-F-%12 kN/m
1	100,00	66,74	12,59	12,71	25,00	55,47	64,97
2	100,00	71,22	15,40	12,10	22,74	45,95	56,13
3	100,00	72,81	15,34	12,44	24,31	48,61	58,24
4	100,00	75,84	16,08	11,91	21,38	44,14	55,67
5	100,00	70,96	14,45	12,30	24,68	53,28	62,58

Series graph:



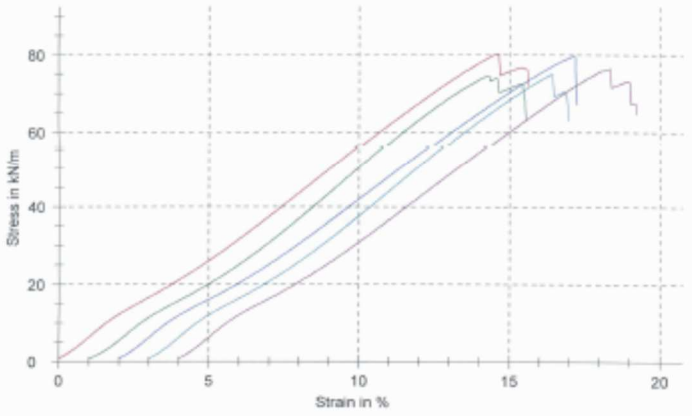
Statistics:

Series n = 5	L0 mm	Çekme Muk. kN/m	Çekme Uz. %	Force-F-%2 kN/m	Force-F-%5 kN/m	Force-F-%10 kN/m	Force-F-%12 kN/m
x	100,00	71,52	14,77	12,29	23,62	49,49	59,52
s	0,00	3,30	1,35	0,31	1,53	4,80	4,09
v	0,00	4,62	9,14	2,51	6,46	9,69	6,88

Results:

Nr	L0 mm	Çekme Muk. kN/m	Çekme Uz. %	Force-F-%2 kN/m	Force-F-%5 kN/m	Force-F-%10 kN/m	Force-F-%12 kN/m
1	100,00	80,23	14,62	12,12	25,90	55,76	67,42
2	100,00	74,58	13,31	11,28	24,91	56,81	68,70
3	100,00	79,62	15,20	11,83	24,99	53,64	64,93
4	100,00	74,92	13,41	11,99	25,67	56,76	68,26
5	100,00	76,49	14,38	11,98	25,32	54,16	65,52

Series graph:



Statistics:

Series n = 5	L0 mm	Çekme Muk. kN/m	Çekme Uz. %	Force-F-%2 kN/m	Force-F-%5 kN/m	Force-F-%10 kN/m	Force-F-%12 kN/m
x	100,00	77,17	14,18	11,84	25,36	55,43	66,96
s	0,00	2,63	0,81	0,33	0,43	1,46	1,67
v	0,00	3,40	5,70	2,76	1,68	2,64	2,49

Ek-E

Bölüm 4.1'de bahsedilen modelde kullanılan veriler aşağıda belirtilmiştir.

Material set				
Identification number		1	2	3
Identification		Siltli-Kil-1	Killi-Silt-2	Siltli-Kil-3
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour		RGB 232, 230, 161	RGB 188, 161, 232	RGB 232, 161, 199
Comments				
General properties				
γ_{unsat}	kN/m³	18,50	15,40	17,00
γ_{sat}	kN/m³	21,00	18,50	19,00
Advanced				
Void ratio				
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0
Damping				
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000
Stiffness				
E	kN/m²	300,0E3	300,0E3	300,0E3
ν (nu)		0,4000	0,4000	0,4000
Alternatives				
G	kN/m²	107,1E3	107,1E3	107,1E3
E_{oed}	kN/m²	642,9E3	642,9E3	642,9E3
Strength				
c_{ref}	kN/m²	30,00	30,00	30,00
φ (phi)	°	18,00	11,00	1,000
ψ (psi)	°	0,000	0,000	0,000
Velocities				
V_s	m/s	238,4	261,2	248,7
V_p	m/s	583,9	639,9	609,1

Identification		Siltli-Kil-1	Killi-Silt-2	Siltli-Kil-3
Advanced				
Set to default values		Yes	Yes	Yes
Stiffness				
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Strength				
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000
Strength				
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
Real interface thickness				
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000
K0 settings				
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0,6910	0,8092	0,9825
Model				
Data set		Standard	Standard	Standard
Soil				
Type		Coarse	Coarse	Coarse
< 2 µm	%	10,00	10,00	10,00
2 µm - 50 µm	%	13,00	13,00	13,00
50 µm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00
Parameters				
Set to default values		No	No	No
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000
Change of permeability				
c_k		1,000E15	1,000E15	1,000E15

Material set				
Identification number		4	5	6
Identification		Killi-Silt-4	Çakıllı-Kum-5	Kumlu-Çakıl-6
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour		RGB 8, 247, 215	RGB 27, 243, 60	RGB 24, 19, 124
Comments				
General properties				
γ_{unsat}	kN/m³	17,80	18,50	18,50
γ_{sat}	kN/m³	20,00	21,00	22,00
Advanced				
Void ratio				
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0
Damping				
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000
Stiffness				
E	kN/m²	300,0E3	1,000E6	1,000E6
ν (nu)		0,4000	0,3500	0,4000
Alternatives				
G	kN/m²	107,1E3	370,4E3	357,1E3
E_{oed}	kN/m²	642,9E3	1,605E6	2,143E6
Strength				
c_{ref}	kN/m²	30,00	5,000	5,000
φ (phi)	°	18,00	35,00	45,00
ψ (psi)	°	0,000	5,000	15,00
Velocities				
V_s	m/s	243,0	443,2	435,2
V_p	m/s	595,2	922,5	1066

Identification		Killi-Silt-4	Çakıllı-Kum-5	Kumlu-Çakıl-6
Advanced				
Set to default values		Yes	Yes	Yes
Stiffness				
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Strength				
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000
Strength				
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
Real interface thickness				
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000
K0 settings				
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0,6910	0,4264	0,2929
Model				
Data set		Standard	Standard	Standard
Soil				
Type		Coarse	Coarse	Coarse
< 2 µm	%	10,00	10,00	10,00
2 µm - 50 µm	%	13,00	13,00	13,00
50 µm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00
Parameters				
Set to default values		No	No	No
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000
Change of permeability				
c_k		1,000E15	1,000E15	1,000E15

Material set				
Identification number		7	8	9
Identification		Geogrid Dolgu	Blokaj	Temel
Material model		Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained	Drained	Drained
Colour		RGB 161, 232, 205	RGB 232, 194, 161	RGB 229, 176, 139
Comments				
General properties				
γ_{unsat}	kN/m³	21,80	21,70	25,00
γ_{sat}	kN/m³	22,90	22,80	25,00
Advanced				
Void ratio				
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000
e_{min}		0,000	0,000	0,000
e_{max}		999,0	999,0	999,0
Damping				
Rayleigh α		0,000	0,000	0,000
Rayleigh β		0,000	0,000	0,000
Stiffness				
E	kN/m²	200,0E3	300,0E3	32,00E6
ν (nu)		0,3500	0,3500	0,4000
Alternatives				
G	kN/m²	74,07E3	111,1E3	11,43E6
E_{oed}	kN/m²	321,0E3	481,5E3	68,57E6
Strength				
c_{ref}	kN/m²	10,00	100,0	100,0
φ (phi)	°	40,00	45,00	45,00
ψ (psi)	°	10,00	15,00	15,00
Velocities				
V_s	m/s	182,6	224,1	2118
V_p	m/s	380,1	466,5	5187

Identification		Geogrid Dolgu	Blokaj	Temel
Advanced				
Set to default values		Yes	Yes	Yes
Stiffness				
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Strength				
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000	0,000
Strength				
Strength		Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
Real interface thickness				
δ_{inter}		0,000	0,000	0,000
K0 settings				
K_0 determination		Automatic	Automatic	Automatic
$K_{0,x}$		0,3572	0,2929	0,2929
Model				
Data set		Standard	Standard	Standard
Soil				
Type		Coarse	Coarse	Coarse
< 2 μm	%	10,00	10,00	10,00
2 μm - 50 μm	%	13,00	13,00	13,00
50 μm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00
Parameters				
Set to default values		No	No	No
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000
Change of permeability				
c_k		1,000E15	1,000E15	1,000E15

Material set		
Identification number		1
Identification		Geogrid 60/60
Comments		
Colour		RGB 24, 107, 251
Material type		Elastic
Properties		
Isotropic		Yes
EA_1	kN/m	173,6E6
EA_2	kN/m	173,6E6

Material set		
Identification number		1
Identification		kazıklar
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143
Properties		
E	kN/m²	32,00E6
γ	kN/m³	25,00
Pile type		Predefined
Predefined pile type		Massive circular pile
Diameter	m	1,000
A	m²	0,7854
I_3	m^4	0,04909
I_2	m^4	0,04909
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
Skin resistance		
Skin resistance		Linear
$T_{top, max}$	kN/m	24,70E3
$T_{bot, max}$	kN/m	24,70E3
T_{max}	kN/m	0,000
Base resistance		
F_{max}	kN	1350
Material set		
Identification number		1
Identification		kazıklar
Comments		
Colour		RGB 199, 82, 143

Identification		kazıklar
Properties		
E	kN/m²	32,00E6
γ	kN/m³	25,00
Pile type		Predefined
Predefined pile type		Massive circular pile
Diameter	m	1,000
A	m²	0,7854
I	m^4	0,04909
$L_{spacing}$	m	5,000
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000
Skin resistance (linear)		
$T_{top, max}$	kN/m	24,70E3
$T_{bot, max}$	kN/m	24,70E3
Base resistance		
F_{max}	kN	1350
Interface stiffness factor		
Default values		Yes
Axial skin stiffness factor		0,7477
Lateral skin stiffness factor		0,7477
Pile base stiffness factor		7,477

Material set		
Identification number		1
Identification		temel
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 255
Material type		Elastic
Properties		
Isotropic		Yes
End bearing		No
EA_1	kN/m	1,254E9
EA_2	kN/m	1,254E9
EI	kN m²/m	51,22E6
d	m	0,7000
w	kN/m/m	25,00
ν (nu)		0,4000
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Dirlik C.**, Mutman, U., Analysis Of Bored Piles With And Without Geogrid In A Selected Area In Kocaeli/Turkey, *International Conference on Civil and Geological Engineering*, Venice, 18-19 July 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Cihan DİRLİK 1990'da Kocaeli'de doğdu. Lise öğrenimini Özel Erkul Lisesi'nde tamamladı. 2007 yılında girdiği İstanbul Kültür Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2013 güz döneminde mezun oldu. Aynı yıl içinde Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Ayrıca, 2013 yılında Kocaeli Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğünde (İSU) Planlama, Yatırım ve İnşaat Daire Başkanlığında Kontrol Mühendisliği görevini halen sürdürmektedir.