ZAYIF ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ YOL DOLGULARININ ANALİZİ

VEYSEL ŞAYBAK

ŞUBAT 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZAYIF ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ YOL DOLGULARININ ANALİZİ

VEYSEL ŞAYBAK

DİCLE ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA YÜKSEK LİSANS TEZİ OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ŞUBAT 2022
DİYARBAKIR

ZAYIF ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ YOL DOLGULARININ ANALİZİ

Veysel ŞAYBAK tarafından Dicle Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ _____
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Doç. Dr. M. Salih KESKİN _____
Danışman, **İnşaat Mühendisliği**
Ana Bilim Dalı, Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN (*) _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. M. Salih KESKİN (**) _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mesut GÖR _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Fırat Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 17/02/2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.

(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Aileme…

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyad: Veysel ŞAYBAK

İmza: …….…….

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam esnasında beni yönlendiren, tez konusunun seçiminde, uygulamasında ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. M. Salih KESKİN'e ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Taha TAŞKIRAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan sevgili ailem ve canım eşime sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ŞEKİLLER LİSTESİ IX
TABLOLAR LİSTESİ XVIII
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ XIX
ÖZET XXII
ABSTRACT XXIII
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 3
2.1 Zayıf Zeminler 6
2.2 Yol Dolguları 7
2.3 Geosentetikler 8
2.3.1 Geosentetiklerin üretiminde kullanılan hammaddeler 12
2.3.1.1 Polipropilen (PP) 12
2.3.1.2 Polyester (PET) 13
2.3.1.3 Poliamid (PA,Naylon) 13
2.3.1.4 Polietilen (PE) 13
2.3.2 Geogridler 18
2.3.2.1 Geogrid üretim yöntemleri 18
2.3.2.2 Geogridlerin kullanım ve uygulama alanları 20
2.3.2.3 Geogridlerin çekme mukavemetinin hesabı 22
2.4 Jet Enjeksiyon Yöntemi 27
2.4.1 Jet enjeksiyon uygulama esasları 28
2.4.2 Jet enjeksiyon teknikleri 30
2.4.3 Jet enjeksiyon tesisi 33
2.4.4 Jet enjeksiyon sisteminin uygulanması 34

2.4.4.1 Delgi aşaması 34
2.4.4.2 Enjeksiyon aşaması 36
2.4.4.3 Ön jet enjeksiyon 36
2.4.5 Jet enjeksiyon sisteminin uygulama alanları 37
2.4.6 Jet enjeksiyon hesap yöntemi 45
2.4.6.1 Jet grout kolonlarının taşıma kapasitesi 45
2.4.6.2 Jet grout kolonları ile iyileşen zeminlerin taşıma gücü hesabı 49
2.4.6.3 Jet grout kolonları ile iyileşen zeminlerin oturma hesabı 49
2.4.6.4 Jet grout ile iyileşen zeminlerin yatak katsayısı ve elastisite modülünün hesaplanması……..……..50
2.4.7 Jet grout ile ilgili parametrelerin hesaplanması 52
2.4.7.1 Çimento miktarının hesaplanması 52
2.4.7.2 Tij çekme hızı hesabı 54
2.4.7.3 Nozülden geçen enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı hesabı 54
2.4.7.4 Enjeksiyon malzemesi miktarı hesabı 54
2.4.7.5 Püskürtme enerjisi hesabı 55
2.4.8 Kontroller ve testler 55
2.4.8.1 Karot numunelerinin alınması 55
2.4.8.2 Kazık yükleme deneyi 56
2.4.8.3 Kazık süreklilik deneyi 57
2.4.8.4 Çap kontrolü 58
3. MATERYAL VE METOT 59
3.1 Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları 59
3.2 Yöntem 64
3.2.1 Plaxis paket programı 64
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 69
4.1 Sonlu Elemanlar Analizi 69

4.2 İyileştirme Öncesi Durum İçin Analiz Sonuçları 71
4.3 Zemin İyileştirme ve Dolgu Güçlendirme İçin Analizler..... 73
4.4 Jet Grout Kolon Boylarının Belirlenmesi..... 74
4.5 Jet Grout Kolon Çaplarının Belirlenmesi..... 83
4.6 Jet Grout Kolon Aralıklarının Belirlenmesi 87
4.7 Geogrid Tabaka Aralıklarının Belirlenmesi 92
4.8 Optimum Parametreler Kullanılarak Gerçekleştirilen Analizler..... 99
4.9 Yer Altı Su Seviyesi Etkisinin Belirlenmesi 101
4.10 Deprem Etkisi Altında Analizler..... 113
5. SONUÇLAR 122
KAYNAKLAR 126
ÖZGEÇMİŞ 128

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Geosentetiklerin Ayırma İşlevi……..9

Şekil 2.2 Geosentetiklerin Güçlendirme İşlevi…….....9

Şekil 2.3 Geosentetiklerin Filtrasyon İşlevi……...9

Şekil 2.4 Geosentetiklerin Drenaj İşlevi……10

Şekil 2.5 Geosentetiklerin Yalıtım İşlevi……....10

Şekil 2.6 Geosentetiklerin Güçlendirme İşlevi……...10

Şekil 2.7 Geotekstil……..…14

Şekil 2.8 Geomembran……....15

Şekil 2.9 Geoboru…….....15

Şekil 2.10 Geonet……....15

Şekil 2.11 Geosentetik Kil Kaplama……...16

Şekil 2.12 Geoköpükler……...16

Şekil 2.13 Geokompozitler……..17

Şekil 2.14 Geohücreler……....17

Şekil 2.15 Geogridler……..17

Şekil 2.16 Ekstrüde Geogridler……...19

Şekil 2.17 Çift Yönlü Ekstrüde Geogridler……19

Şekil 2.18 Dokuma Geogridler……....20

Şekil 2.19 Yapıştırma Geogridler……....20

Şekil 2.20 Zemin İçerisindeki Geogridin Çalışma Şekli……..…21

Şekil 2.21 Geogrid Sünme Testi Laboratuvarından Bir Görüntü (Tenex Fabrikası,İtalya)……..23

Şekil 2.22 Sünme Deneyinin Zemin İçinde Uygulaması……....24

Şekil 2.23 Uygulama Hasarları……....25

Şekil 2.24 Jet Enjeksiyon Uygulanması……..28

Şekil 2.25 Nozüllerden Akışkan Basılması……28

Şekil 2.26 Nozüllerden Akışkan Çıkışı……..29

Şekil 2.27 Süper Jet Sistemi……...32

Şekil 2.28 Akışkan Sistemlerine Göre Jet Enjeksiyon Sistemi……..33

Şekil 2.29 Jet Enjeksiyon Tesisi…….33

Şekil 2.30 Jet Enjeksiyon Delgi Makinesi……..36

Şekil 2.31 Jet Enjeksiyon Uygulamaları; A) Perde, B) Perde Duvar, C) Radye……39

Şekil 2.32 Jet Enjeksiyon Uygulamaları; A) Tüneller, B) Şaftlar, C) Blok Temeller……..39

Şekil 2.33 A ve B) Kolonla Desteklenmiş Jet Radyeler, C) Blok Jet Temelleri Uygulaması…….40

Şekil 2.34 Jet Enjeksiyon Şaft Uygulamaları…….40

Şekil 2.35 Jet Enjeksiyon Yol Dolgusu Uygulamaları……...41

Şekil 2.36 Jet Groutlarla Oluşturulan Geçirimsizlik İksa ve Taban Tapası Uygulamaları……..42

Şekil 2.37 Düşey ve Eğimli Jet İstinat Yapısı Uygulamaları…….43

Şekil 2.38 Jet Enjeksiyon Taban Tapası Uygulamaları……..43

Şekil 2.39 Baraj Altında Jet Enjeksiyon ile Geçirimsizlik Perdesi Oluşturulması….44

Şekil 2.40 Tünel Çevresinin Jet Enjeksiyonla Güçlendirilmesi……..45

Şekil 2.41 Şev Stabilitesini Güçlendirme Amaçlı Jet Enjeksiyon Uygulaması……..45

Şekil 2.42 Sıvılaşma Önleyici Olarak Jet Enjeksiyon Uygulaması…….46

Şekil 2.43 SPT-N değeri ve hacimsel sıkışma indisi grafiği (Stroud,1975) ……....51

Şekil 2.44 Karot numunelerin alınması……...57

Şekil 2.45 Kazık Yükleme Deneyi……..58

Şekil 2.46 Kazık Süreklilik Deneyi Şeması…….59

Şekil 2.47 Çap Kontrolü Yapılan Bir Jet Enjeksiyon Uygulaması……..59

Şekil 3.1 Yolun Haritadaki Görünüşü…….60

Şekil 3.2 Laboratuvar Deney Sonuçları……..62

Şekil 3.3 Yolun Durumunun Arazideki Görünümü……..…….....63

Şekil 3.4 Düzlem şekil değiştirme modeli……..66

Şekil 3.5 Eksenel Simetrik Model……..66

Şekil 3.6 General Settings (Genel Ayarlar) Pencereleri…….67

Şekil 3.7 Plaxis Programına Ait 'Input' (Girdi) Penceresi…….68

Şekil 3.8 Plaxis Programında 'Initial Condition' (Başlangıç Koşulu) Penceresi…...68

Şekil 3.9 Plaxis Programında 'Calculations' (Hesaplama) Penceresi……69

Şekil 4.1 Model Ölçüleri…….70

Şekil 4.2 Model Geometrisi……71

Şekil 4.3 Deforme Olmuş Sistem……72

Şekil 4.4 Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...73

Şekil 4.5 Gerilme Dağılımı…….73

Şekil 4.6 İyileştirme Öncesi Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,12)……74

Şekil 4.7 Jet Kolon Boyu-Toplam Deplasman İlişkisi……76

Şekil 4.8 Jet Kolon Boyu-Güvenlik Sayısı İlişkisi……..77

Şekil 4.9 Jet Grout Boylarının 5 Metre Olduğu Deforme Olmuş Sistem……...78

Şekil 4.10 Jet Grout Boylarının 5 Metre Olduğu Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...78

Şekil 4.11 Jet Grout Boylarının 5 Metre Olduğu Gerilme Diyagramı…….79

Şekil 4.12 Jet Grout Boylarının 5 Metre Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,78)……...79

Şekil 4.13 Jet Grout Boylarının 10 Metre Olduğu Deforme Olmuş Sistem……...80

Şekil 4.14 Jet Grout Boylarının 10 Metre Olduğu Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...80

Şekil 4.15 Jet Grout Boylarının 10 Metre Olduğu Gerilme Diyagramı…….81

Şekil 4.16 Jet Grout Boylarının 10 Metre Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,949)…….....81

Şekil 4.17 Jet Grout Boylarının 15 Metre Olduğu Deforme Olmuş Sistem……...82

Şekil 4.18 Jet Grout Boylarının 15 Metre Olduğu Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...82

Şekil 4.19 Jet Grout Boylarının 15 Metre Olduğu Gerilme Diyagramı…….....83

Şekil 4.20 Jet Grout Boylarının 15 Metre Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,948)…….....83

Şekil 4.21 Jet Kolon Çapı-Güvenlik Sayısı İlişkisi……84

Şekil 4.22 Jet Grout Çaplarının 60 cm Olduğu Deforme Olmuş Sistem……85

Şekil 4.23 Jet Grout Çaplarının 60 cm Olduğu Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...85

Şekil 4.24 Jet Grout Çaplarının 60 cm Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,949)…….86

Şekil 4.25 Jet Grout Çaplarının 80 cm Olduğu Deforme Olmuş Sistem……86

Şekil 4.26 Jet Grout Çaplarının 80 cm Olduğu Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...86

Şekil 4.27 Jet Grout Çaplarının 100 cm Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,950)…….87

Şekil 4.28 Jet Grout Çaplarının 100 cm Olduğu Deforme Olmuş Sistem……87

Şekil 4.29 Jet Grout Çaplarının 100 cm Olduğu Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...87

Şekil 4.30 Jet Grout Çaplarının 100 cm Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,953)…….88

Şekil 4.31 Jet Kolon Aralıkları-Güvenlik Sayısı İlişkisi……89

Şekil 4.32 Jet Grout Kolon Aralıklarının 1x1 m Olduğu Deforme Olmuş Sistem….90

Şekil 4.33 Jet Grout Kolon Aralıklarının 1x1 m Olduğu Toplam Gerilme Diyagramı……..….90

Şekil 4.34 Jet Grout Kolon Aralıklarının 1x1 m Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,942)…….90

Şekil 4.35 Jet Grout Kolon Aralıklarının 1,5x1,5 m Olduğu Deforme Olmuş Sistem…….91

Şekil 4.36 Jet Grout Kolon Aralıklarının 1,5x1,5 m Olduğu Toplam Gerilme Diyagramı……..….91

Şekil 4.37 Jet Grout Kolon Aralıklarının 1,5x1,5 m Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,946)…….91

Şekil 4.38 Jet Grout Kolon Aralıklarının 2x2 m Olduğu Deforme Olmuş Sistem…….92

Şekil 4.39 Jet Grout Kolon Aralıklarının 2x2 m Olduğu Toplam Gerilme Diyagramı……..….92

Şekil 4.40 Jet Grout Kolon Aralıklarının 2x2 m Olduğu Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=1,949)…….92

Şekil 4.41 Geogrid Tabaka Aralığı-Güvenlik Sayısı İlişkisi……..94

Şekil 4.42 Geogridlerin 0,5 Metre Aralıklı Serildiği Deforme Olmuş Sistem……...95

Şekil 4.43 Geogridlerin 0,5 Metre Aralıklı Serildiği Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...95

Şekil 4.44 Geogridlerin 0,5 Metre Aralıklı Serildiği Gerilme Diyagramı……..95

Şekil 4.45 Geogridlerin 0,5 Metre Aralıklı Serildiği Güvenlik Faktörü (GS=2,46)……...96

Şekil 4.46 Geogridlerin 1 Metre Aralıklı Serildiği Deforme Olmuş Sistem……..96

Şekil 4.47 Geogridlerin 1 Metre Aralıklı Serildiği Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...96

Şekil 4.48 Geogridlerin 1 Metre Aralıklı Serildiği Gerilme Diyagramı…….97

Şekil 4.49 Geogridlerin 1 Metre Aralıklı Serildiği Güvenlik Faktörü (GS=2,33)……...97

Şekil 4.50 Geogridlerin 1,5 Metre Aralıklı Serildiği Deforme Olmuş Sistem……...97

Şekil 4.51 Geogridlerin 1,5 Metre Aralıklı Serildiği Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...98

Şekil 4.52 Geogridlerin 1,5 Metre Aralıklı Serildiği Gerilme Diyagramı…….98

Şekil 4.53 Geogridlerin 1,5 Metre Aralıklı Serildiği Güvenlik Faktörü (GS=2,25)……...98

Şekil 4.54 Geogridlerin 2 Metre Aralıklı Serildiği Deforme Olmuş Sistem……..…99

Şekil 4.55 Geogridlerin 2 Metre Aralıklı Serildiği Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……...99

Şekil 4.56 Geogridlerin 2 Metre Aralıklı Serildiği Gerilme Diyagramı…….....99

Şekil 4.57 Geogridlerin 2 Metre Aralıklı Serildiği Güvenlik Faktörü (GS=2,16)….100

Şekil 4.58 İyileştirme Sonrası Deforme Olmuş Sistem……..101

Şekil 4.59 İyileştirme Sonrası Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı…….101

Şekil 4.60 İyileştirme Sonrası Gerilme Diyagramı……....102

Şekil 4.61 İyileştirme Sonrası Sistemin Güvenlik Faktörü (GS=2,48)……..102

Şekil 4.62 Yeraltı Su Seviyesi-Güvenlik Sayısı İlişkisi…….103

Şekil 4.63 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyindeyken Deforme Olmuş Sistem……....104

Şekil 4.64 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyindeyken Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı…….....104

Şekil 4.65 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyindeyken Gerilme Diyagramı…….105

Şekil 4.66 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyindeyken Güvenlik Faktörü (GS=2,14)…….....105

Şekil 4.67 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 5 metre aşağıda iken Deforme Olmuş Sistem……...106

Şekil 4.68 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 5 metre aşağıda iken Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……..106

Şekil 4.69 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 5 metre aşağıda iken Gerilme Diyagramı…….....107

Şekil 4.70 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 5 Metre Aşağıda iken Güvenlik Faktörü (GS=2,30)……107

Şekil 4.71 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 10 metre aşağıda iken Deforme Olmuş Sistem…….108

Şekil 4.72 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 10 metre aşağıda iken Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……108

Şekil 4.73 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 10 metre aşağıda iken Gerilme Diyagramı……...109

Şekil 4.74 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 10 Metre Aşağıda iken Güvenlik Faktörü (GS=2,33)……109

Şekil 4.75 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 15 metre aşağıda iken Deforme Olmuş Sistem…….110

Şekil 4.76 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 15 metre aşağıda iken Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……110

Şekil 4.77 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 15 metre aşağıda iken Gerilme Diyagramı……...111

Şekil 4.78 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 15 Metre Aşağıda iken Güvenlik Faktörü (GS=2,35)……111

Şekil 4.79 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 20 metre aşağıda iken Deforme Olmuş Sistem…….112

Şekil 4.80 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 20 metre aşağıda iken Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……112

Şekil 4.81 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 20 metre aşağıda iken Gerilme Diyagramı……...113

Şekil 4.82 İyileştirme Sonrası YASS Zemin Yüzeyinden 20 Metre Aşağıda iken Güvenlik Faktörü (GS=2,38)……113

Şekil 4.83 Yatay Yer İvme Katsayısı-Güvenlik Sayısı İlişkisi……114

Şekil 4.84 İyileştirme Sonrası 0,1G Deprem Yükü Etkisindeki Deforme Olmuş Sistem……115

Şekil 4.85 İyileştirme Sonrası 0,1G Deprem Yükü Etkisindeki Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……115

Şekil 4.86 İyileştirme Sonrası 0,1G Deprem Yükü Etkisindeki Gerilme Diyagramı……116

Şekil 4.87 İyileştirme Sonrası 0,1G Deprem Yükü Etkisindeki Güvenlik Faktörü (GS=1,83)……116

Şekil 4.88 İyileştirme Sonrası 0,2G Deprem Yükü Etkisindeki Deforme Olmuş Sistem……117

Şekil 4.89 İyileştirme Sonrası 0,2G Deprem Yükü Etkisindeki Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……117

Şekil 4.90 İyileştirme Sonrası 0,2G Deprem Yükü Etkisindeki Gerilme Diyagramı……118

Şekil 4.91 İyileştirme Sonrası 0,2G Deprem Yükü Etkisindeki Güvenlik Faktörü (GS=1,33)……118

Şekil 4.92 İyileştirme Sonrası 0,3G Deprem Yükü Etkisindeki Deforme Olmuş Sistem……119

Şekil 4.93 İyileştirme Sonrası 0,3G Deprem Yükü Etkisindeki Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı……119

Şekil 4.94 İyileştirme Sonrası 0,3G Deprem Yükü Etkisindeki Gerilme Diyagramı……120

Şekil 4.95 İyileştirme Sonrası 0,3G Deprem Yükü Etkisindeki Güvenlik Faktörü (GS=1,04)……120

Şekil 4.96 İyileştirme Sonrası 0,4G Deprem Yükü Etkisindeki Deforme Olmuş Sistem……121

Şekil 4.97 İyileştirme Sonrası 0,4G Deprem Yükü Etkisindeki Toplam Yerdeğiştirme Diyagramı…….121

Şekil 4.98 İyileştirme Sonrası 0,4G Deprem Yükü Etkisindeki Gerilme Diyagramı…….122

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Geosentetiklerin Fonksiyonları……...……11

Tablo 2.2 Polimer Çeşitlerinin Mekanik Özelliklere Etkisi…….14

Tablo 2.3 Sünme Güvenlik Katsayıları……24

Tablo 2.4 Uygulamada Oluşacak Hasarlara Karşı Güvenlik Katsayısı……..…….25

Tablo 2.5 Zemin İçindeki Kimyasalların Polimer Çeşitlerine Etkileri (— : Etkisi Yok)……26

Tablo 2.6 Terzaghi taşıma gücü katsayıları…….48

Tablo 2.7 Kazık Malzemesi- Gama Açısı- K Katsayısı İlişkisi (Kumbasar ve Kip,1985)……49

Tablo 2.8 Farklı Zemin Türlerinde İzin Verilen Oturma Değerleri (Yerson,2009)…….53

Tablo 2.9 Zemin Tiplerine Göre Çimento Miktarları (Özaydın,1970)…….……54

Tablo 2.10 Farklı Zeminlerde İmal Edilen Jet Grout Kolonlarında Kullanılan Çimento Miktarı (Burke,2004)……...……...54

Tablo 2.11 Sülfat Miktarına Göre Çimento Kullanımı (Yerson,2009)……55

Tablo 2.12 Farklı nozül çapları ve basınçta nozülden geçen grout debisi……....56

Tablo 3.1 Zemin Parametreleri Tablosu……...…..62

Tablo 4.1 İyileştirme Öncesi Zemin Parametreleri……..71

Tablo 4.2 Analizlerde Kullanılan Parametreler..…….……...….75

Tablo 4.3 Jet Kolon Boyları Analiz Sonuçları……...…..76

Tablo 4.4 Jet Kolon Çapları Analiz Sonuçları……...…..84

Tablo 4.5 Jet Kolon Aralıkları Analiz Sonuçları……..88

Tablo 4.6 Geogrid Tabaka Aralıkları Analiz Sonuçları……...……93

Tablo 4.7 Analizlerden Elde Edilen Optimum Parametreler……...…..100

Tablo 4.8 YASS Etkisi……...…...103

Tablo 4.9 Deprem Etkisi……...…….114

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simge	Açıklama
P	Tasarımda Kullanılacak Çekme Gerilmesi
$T_{\text{üretici}}$	Üreticinin Belirttiği Çekme Gerilmesi
$FS_{\text{sünme}}$	Sünmeye Karşı Güvenlik Sayısı
$FS_{uygulama\ hasar\ etkileri}$	Uygulamada Meydana Gelecek Hasarlara Karşı Güvenlik Sayısı
$FS_{çevre\ etkileri}$	Zeminden Doğacak Çevre Şartlarına Karşı Güvenlik Sayısı
$FS_{tasarı}$	Tasarımda Kullanılacak Güvenlik Sayısı
Q_d	Göçmeden jet kolonunun taşıyabileceği yük
W_k	Jet Kolonunun Ağırlığı
Q_u	Jet Kolonunun Çevre Sürtünmesi
Q_f	Jet Grout Kolonunun Adhezyon Yükü
A	Jet Kolonunun Uç Kesit Alanı
q_d	Jet Kolonunun Oturduğu Zeminin Taşıma Miktarı
A_s	Jet Kolonuna Ait Zemine Giren Yüzey Alanı
f_s	Jet Kolonu Birim Alanına Etki Eden Sürtünme Gerilmesi
c_u	D_f Doğrultusunca Ortalama Adhezyon
P_h	D_f Doğrultusunca Ortalama Yatay Basınç
p_0	Kolon Ucuna Gelen Efektif Basınç Gerilmesi
K_2	Geometri Katsayısı
B	Kolon Çapı ya da Kenarı
N_q,N_γ, N_c	Taşıma Gücü Katsayıları
K	Toprak Basıncı Katsayısı

p_v	Eksenel Basınç
c_1	Jet Kolonu Ucundaki Zeminin Drenajsız (CU) Kayma Dayanımı
c_2	Jet Kolonu Çevresindeki Zeminin Drenajsız (CU) Kayma Dayanımı
Q_{net}	Net Kolon Taşıma Miktarı
m_v	Hacimsel Sıkışma İndisi
N_{30}	SPT-N Değeri
K	Zeminin Yatak Katsayısı
q	Muhtemel Gerilme
y	Zeminin Beklenen Oturma Miktarı
E_s	Elastisite Modülü
k_s'	İlgili Derinlikte Yatak Katsayısı
Z	Derinlik
q_{ort}	Zemin Ortalama Gerilme Değeri
C	Sabit
$A_{iyileşen}$	İyileşen Alan
A_{jet}	Jet Grout Kolon Alanları
E_{jet}	Jet Grout Kolonuna Ait Elastisite Modülü
V	Islah Edilmiş Zemin Hacmi
h	Hidrostatik Yükseklik
g	Yerçekimi İvmesi
Q	Nozülden Çıkan Enjeksiyon Malzemesi Miktarı
T	1 Metre Jet Grout Kolonu İmalatı İçin Geçen Süre
P	Püskürtülen Jet Grout Basıncı
$V_{çekme}$	Çekim Hızı

X	Yansıma Derinliği
t	Darbeden Yansıma Anına Kadar Geçen Süre
C	Dalganın Yayılma Hızı

ÖZET

ZAYIF ZEMİNLER ÜZERİNDEKİ YOL DOLGULARININ ANALİZİ

Şaybak, Veysel
Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Danışman: Doç. Dr. M. Salih Keskin
Şubat 2022, 153 sayfa

Geoteknik mühendisliğinin inceleme alanının büyük bir kısmını oluşturan zayıf zeminler, günümüzde giderek gelişen yapılaşmanın artmasıyla önemini daha da arttırmaktadır. Artan yapılaşma, zeminlerin hangi durumda olduğuna bakılmaksızın kullanılmasını gerektireceğinden, zayıf zeminler üzerindeki uygulamaların önemi artacaktır. Geoteknik mühendisliğinde bu tarz zayıf zeminlerin iyileştirilip tekrardan kullanıma kazandırılması önemli ve çözülmesi gereken durumlar ortaya çıkaracaktır. Zayıf zeminler üzerine gelen yükleri servis etmede yeterince güvenli olmayan zeminlerdir. Bu sebeple bu tarz zeminlerin kullanılması gerekli olanlarının güvenli hale getirilmesi gerekmektedir. Bu gereklilik, gelişen teknoloji ve artan imkanlar sayesinde önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Gerek yer altı uygulamalarının çeşitlenmesinden gerekse malzeme çeşitliliğinin artmasından dolayı, yapılan uygulamalar farklılaşmış ve iyileştirme konusunda problemlere cevap verebilmeye başlamıştır.

Bu tez çalışmasında, Dicle Üniversitesi kampüs alanında bulunan Fetih Cami yolunda meydana gelen geoteknik problemlerin, saha ve laboratuvar verileri kullanılarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, ilk aşamada, mevcut durum modellenerek deplasman ve güvenlik sayıları elde edilmiştir. Daha sonra, doğal zeminin jet grout yöntemi ile iyileştirilerek ve dolgunun geogrid kullanılarak güçlendirilmesi durumları için analizler gerçekleştirilmiştir. Geogridler, dolgunun serilişine paralel bir şekilde gelip basınç kuvvetlerine karşı çalışarak deplasmanları azaltmaya çalışır. Jet grout kolonları ile zemine akışkan olan çimento ve su karışımı enjekte edilerek taşıma kapasitesinin artırılması hedeflenmiştir.

Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde, jet grout yönteminin zemin iyileştirmesinde, geogrid tabaka kullanımının ise dolgu şevi güçlendirilmesinde etkili yöntemler olduğu sonucuna varılmıştır. Optimum değerler kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda, iyileştirme öncesi duruma göre güvenlik sayısının yaklaşık %220 arttığı, toplam deplasman değerinin ise, yaklaşık %65 azaldığı belirlenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi, hem optimum iyileştirme ve güçlendirme parametrelerinin elde edilmesi, hem de göçme, deplasman ve gerilme mekanizmalarının anlaşılması bakımından etkili çözümler ortaya koymakta ve geoteknik problemlerin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Geogrid, Jet Grout, Zayıf Zeminler, Plaxis, Sonlu Elemanlar Yöntemi

ABSTRACT

ANALYSIS OF ROAD EMBANKMENTS ON WEAK SOILS

Saybak, Veysel
Master of Science in Department of Civil Engineering
Supervisor: Dr. M. Salih Keskin
February 2022, 153 pages

Weak soils, which constitute a large part of the study area of geotechnical engineering, increase their importance with the increase in the developing construction. Applications on weak soils will have become important, as increased construction will require the use of soils regardless of what condition they are in. In geotechnical engineering, stabilizing such weak soils and reusing them will create important situations that need to be resolved. Weak soils, that are not safe enough to serve the loads on them. For this reason, it is necessary to make the ones that are necessary to use such soils safe. This requirement has made significant progress thanks to developing technology and increasing opportunities. Due to the diversification of underground applications and the increase in material diversity, the applications made have differentiated and started to respond to the problems in improvement.

In this thesis, finite element analyzes of geotechnical problems occurred on the road to Fetih Cami, located in the campus area of Dicle University, were carried out using field and laboratory data. In the analysis, in the first stage, the current situation was modeled and the displacement and safety numbers were obtained. Then, analyzes were carried out for the improvement of the natural soil with the jet grout method and the reinforcement of the embankment using geogrid. Geogrids come in parallel with the laying of the embankment and work against the pressure forces and try to reduce the displacements. It is aimed to increase the carrying capacity by injecting a mixture of cement and water, which is fluid to the ground, with jet grout columns.

When the results of the analysis were examined, it was evaluated that the jet grout method was effective in soil improvement and the use of geogrid layer was effective in strengthening the fill slope. As a result of the analyzes carried out using the optimum values, it was determined that the number of safety increased by approximately 220% compared to the pre-improvement situation, and the total displacement value decreased by approximately 65%. The finite element method provides effective solutions in terms of both obtaining the optimum improvement and strengthening parameters and understanding the failure, displacement and stress mechanisms, and enables the understanding of geotechnical problems.

Key Words : Geogrids, Jet Grouting, Weak Soils, Plaxis, Finite Element Analysis

1. GİRİŞ

Günümüzde artan nüfusun sebep olduğu, gelişen şehirleşme faaliyetlerinden ötürü yerleşim alanları artmaktadır. Bu yerleşim alanlarına ulaşım, daha çok karayolları aracılığıyla gerçekleşmektedir. Yerleşim alanlarının bulunduğu ve karayollarının geçtiği zeminlerin kalitesinin her yerde iyi derecede olamayacağı açıktır. Bazı zeminlerin dayanımının yetersiz olması, oradan geçecek karayolu için kötü sonuçlar doğurmaktadır. Bu tarz zeminlerin üzerine gelen yol dolguları, istenen dayanımı sağlayamadığından yolun bozulmasına, trafiğin aksamasına, göçmelere, can güvenliğinin azalmasına yol açabilir. Artan nüfus ve büyüyen yaşam alanlarının artmasından dolayı zayıf zeminlerin dahi kullanımı gerekli olacağından, bu gibi zeminlerde iyileştirme yapılıp kullanıma kazandırılması zorunlu olmaktadır.

Zayıf zeminler, yol üst yapısının ve yol yapılarının (dolgu, yarma, köprü, viyadük, tünel vb.) servis ömrü boyunca herhangi bir sorun çıkarmadan emniyetli ve ekonomik bir şekilde taşıyamayan zeminlerdir. Bir diğer tanımlamada ise zayıf zeminler, yer altı su seviyesinin zemine yakın olduğu killi, siltli, organik madde içeren zeminler, gevşek ince kumlu alüvyon zeminler ile kontrolsüz şekilde oluşturulmuş yapay dolgular olarak tanımlanabilir. Zayıf zeminlerin tanımı gereği, bu tarz zeminler üzerine inşa edilecek yol dolgularında gerekli iyileştirmelerin yapılarak, zeminin güvenli bir şekilde üzerine gelen yükleri taşıması sağlanmalıdır.

Günümüzde, zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan birçok yöntem mevcuttur. Geosentetiklerle mühendislik dolgularının güçlendirilmesi ve dolgu altı zeminin güçlendirilmesinde jet enjeksiyonu uygulaması bu güçlendirme yöntemlerinden bazılarıdır.

Bu tezin amacı, zayıf zeminler üzerinde inşa edilen yol dolgularında, karşılaşılan problemlerin ortaya konması, problemlerin analizi ve analizler sonucunda uygun iyileştirme yöntemlerinin belirlenerek güvenli bir şekilde uygulamaya konmasıdır.

Bu tez çalışması kapsamında, zayıf zeminler tanımlanarak, zayıf zeminler üzerine oturan yol dolgularının taşıma gücü, oturmalar vb. yönünden irdelenmesi ve yetersiz taşıma gücü ve/veya oturma problemi olan zeminlerde güçlendirme yöntemleri incelenmiştir. Tez kapsamında, mevcut bir vaka ele alınmış, zemin özellikleri arazi ve laboratuvar ortamında belirlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, taşıma gücü, deplasman ve stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile analizler, PLAXIS hazır paket bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Analizler sonucunda iyileştirme yöntemine karar verilmiş ve iyileştirme sonrası durum modellenerek zemin davranışı incelenmiştir. İyileştirme yöntemi olarak, yol dolgusunun oturduğu zemin içerisinde jet-grout kolonları oluşturuarak zayıf zeminin güçlendirilmesi ve yol dolgusu içerisine geogridler yerleştirilmesine karar verilmiştir. Analizlerde, uygun jet kolon çapı, boyu ve aralıkları belirlenmiş ve optimum geogrid konfigürasyonu elde edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarından, seçilen güçlendirme yöntemlerinin uygulanması durumunda, zayıf zeminin ve yol dolgusunun, taşıma gücü, oturma ve stabilite davranışlarının önemli meretebelerde iyileştiği belirlenmiştir. Çalışma sonunda, analiz sonuçları irdelenerek, uygulamaya yönelik gerekli sonuç ve öneriler sunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, özellikle yol dolgusu altındaki zeminlerin jet enjeksiyon yöntemi ile iyileştirilmesine ve yol dolgularının geogridler kullanılarak güçlendirilmesine yönelik çalışmalar özetlenmiştir.

Jet kolonlarla güçlendirilmiş zeminlerle ilgili şimdiye kadar birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan deneysel ve nümerik çalışmaların bir kısmı aşağıda özetlenmektedir:

Lunardi (1977) zemin ıslah problemlerinde jet enjeksiyon yönteminin oldukça ekonomik ve etkili olduğunu belirtmiştir.

Baumann (1984) jet kolonlarıyla iyileştirilmiş farklı tipteki zeminlerde tek eksenli basınç dayanımlarındaki değişimleri incelemiştir.

Trevi (1994) elastisite modülü ile jet grout kolonlarına ait tek eksenli basınç dayanımları arasındaki ilişkiyi incelemiştir.

Durgunoğlu (1998) jet grout yöntemi ile zemin iyileştirilmesi yapılmış ve bir vaka analizi anlatılmıştır.

Wong (1999) bu çalışmada bir temel kazısında palplanş duvarı ve diyafram duvarı ile desteklenmiş kazı yan yüzeylerinin jet kolonları ile güçlendirilmesi ve kazı doğrultusunda deformasyonların jet grout kolonları ile azaltıldığı gösterilmiştir.

Wong ve Poh (2000) jet kolonlarının bitişik nizamlı yapılarda bodrum kat kazısı sırasında yan yüzeylerindeki diyafram duvarlardaki hareketi önlemek için kullanılması incelenmiştir.

Kirsch ve Sondermann (2001) jet kolonlarının bir yapının temelinde zemini iyileştirmek için kullanılmış ve bu iyileştirmede farklı sayısal analizler ve modellemeler kullanılarak iyileştirmenin güvenli ve ekonomik olduğu ortaya konulmuştur.

Durgunoğlu (2002) bu çalışmada bir inşaat sahasının jet enjeksiyon yöntemiyle iyileştirilmesi ele alınmıştır. Sıvılaşma riskine ve gerekli yer değiştirme oranını karşılayacak şekilde sonuçlar verdiği görülmüştür.

Gökalp ve Düzceer (2002) bir tesisin oturma problemlerini gidermek amacıyla jet kolonlarıyla zemin iyileştirilmesi yapılmıştır. Çalışmada jet grout yönteminin uygulanma adımları anlatılarak çalışmanın gidişatı ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır.

Bell (2003) süper jet grout kolonlarından alınan karotlarla laboratuvarda tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Özsoy ve Durgunoğlu (2003) çalışma kapsamında jet grout ve derin karıştırma zemin iyileştirme teknikleriyle sıvılaşmanın etkilerinin azaltılmasına yönelik yeni bir hesap metodu önerilmişlerdir.

Bzowka (2004) bu çalışmada jet grouting uygulamasının sayısal analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler ile ampirik çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sert ve Önalp (2007) bu çalışmada zayıf zemin üzerinde oturmaların azaltılması, gözlenmesi ve devam eden oturmaların jet kolonlarıyla azaltılması üzerinde durulmuştur.

Tschuchnigg ve Schweiger (2008) çalışmada jet kolonlarının klasik kazık veya kazıklı radye temellere ekonomik alternatif olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Geosentetiklerle güçlendirilmiş zeminlerle ilgili şimdiye kadar birçok çalışma yapılmıştır.

Binquet ve Lee (1975) bu çalışmada donatılı kum zemine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi laboratuvar ortamında yapılan model deneyler ile incelenmiştir. Donatı olarak alüminyum şeritler kullanılmıştır. Donatılı zemin davranışının anlaşılmasında kılavuz çalışmalardan biridir.

Mandal ve Sah (1992) çalışmalarında kil zemin katmanı içerisine yatay olarak yerleştirilen geogrid donatıların, temelin taşıma kapasitesine olan etkisini incelenmiştir.

Ramaswamy ve Purushothaman (1992) bu çalışmada geogrid donatı ile güçlendirilmiş kil zemin üzerine oturan temellerin taşıma kapasitesi deneysel çalışmalar yapılarak incelenmiştir.

Shin vd. (1993) bu çalışmada geogrid donatılarla güçlendirilen doygun killi zemin üzerine oturan şerit temellerin taşıma kapasiteleri laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır.

Alawaji (2001) bu çalışmada kum zeminlerin geogrid donatılarla güçlendirilmesi araştırılmıştır.

Yıldız (2002) geogrid donatı ile güçlendirilmiş kumlu zeminlere oturan dairesel temellerin taşıma kapasitesi, örnek deneyler yapılarak incelenmiştir.

Gabr ve Hart (2000) polimer geogridler ile güçlendirilmiş donatılı kum zeminlerde elastisite modülü değerinin hesaplanabilmesi için model deneyler yapılmıştır.

De Merchant (2002) geogrid ile güçlendirilmiş düşük yoğunluklu agrega üzerinde plaka yükleme deneyleri yapılmıştır. Rijitlik değerlerine göre geogridin gösterdiği davranış açıklanmıştır.

Binquet ve Lee (1975) bu çalışmada donatılı kum zeminlere oturan temellerin taşıma kapasitesini araştırmak için teorik inceleme yapılmıştır.

Huang ve Tatsuoka (1990) bu çalışmada donatılı kum zeminlere oturan şerit temellerin taşıma kapasitesini hesaplamak için analitik bir yöntem geliştirilmiştir.

Otani (1998) geosentetik donatılı kohezyonlu zeminler üzerine oturan esnek üniform şerit temellerin kapasitesi rijit plastik sonlu eleman formülasyonu ile analiz edilmiştir.

Deb (2007) bu çalışmada yumuşak zemin üzerine yerleştirilen geosentetik donatılı granüler tabakanın taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır.

Vashi (2012) geotekstil kullanılarak yol dolgularının güçlendirilebilirliğini incelemiş ve dolgu şevlerinin güvenlik katsayısı ile geotekstil düşey aralığının ve şev açısının arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır.

Çiçek ve Güler (2014) yumuşak kil üzerine inşa edilecek seddelerde şev stabilitesini arttırılmasını araştırmış ve kullanılan geosentetik donatının etkilerini sonlu elemanlar modeli kullanarak yapılan analizler ile incelemişlerdir.

Geosentetiklerle güçlendirilmiş jet enjeksiyon ile iyileştirilmiş dolgular, çeşitli uygulamalara sahiptirler.

- Kazık temellerle desteklenmiş köprülerin ayakları ile zayıf zeminler üzerinde inşa edilen yaklaşım dolguları arasındaki farklı deplasmanları önlemek için,
- Beton kazıklar yerine çimento içerikli kolonların kullanıldığı zemin stabilizasyonunda,
- Toplam ve farklı oturmaları en aza indirmek için vibro beton kolonların veya jet enjeksiyon kolonlarının kullanıldığı uygulamalar,
- Oturmaların halen devam ettiği hali hazırda olan bir yapıya veya dolguya yakın yeni bir dolgudaki farklı oturmaları engellemek için.

Jet enjeksiyonuyla iyileştirilmiş, gerilmelerin geosentetiklerle alındığı dolguların yapımı; bu yöntemlerle hızlı bir şekilde inşa edilebilmeleri, düşük giderleri, toplam ve farklı oturmaları azaltmasından olmasından dolayı kullanımı giderek artmaktadır. Jet enjeksiyonuyla iyileştirilip geosentetiklerle güçlendirilmiş platformlar sistem oluşturarak; oturmaların en aza indirilmesinde, enjeksiyon kolonları üzerindeki

zeminin hareketini azaltmada ve yük aktarımını artırmada başarılı olmuşlardır. Bu sistem, düşey jet kolonlarının ve yatay yerleştirilmiş geosentetiklerin bir araya gelmesi ile oldukça başarılı stabil bir platform oluşturmaktadır. Bu platform, dolgu yükü ve hareketli yükleri üstlenerek taşıyıcı bir sisteme dönüşmektedir.

2.1 Zayıf Zeminler

Zayıf zeminler, yapıları servis süresi boyunca sorun çıkarmadan emniyetli ve ekonomik bir şekilde taşıyamayan zeminlerdir. Bu zeminler genellikle yeraltı su seviyesinin yüksekte bulunduğu killi, siltli, organik madde içeren zeminler, gevşek ve ince kumlu alüvyon zeminler ile kontrolsüz şekilde oluşturulmuş (mühendislik dolgusu olmayan) yapay dolgulardır. Aynı zamanda mekanik özelliklerinden; likit limit değerinin 70 veya 70'ten küçük olduğu, plastisite indisinin 40 veya 40'tan küçük olduğu maksimum kuru birim hacim ağırlığının 1.45t/m^3 veya 1.45t/m^3'ten küçük olduğu zeminler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Günümüzde artan ihtiyaçlar neticesinde kullanılabilir iyi temel zemin özelliği gösteren yerlerin azaldığı görülmektedir. Büyüyen ve gelişen şehirlerde yeni kullanıma açılacak yerler, sanayi bölgeleri ve tümleşik üretim yapan fabrikalar için ihtiyaca cevap verecek geniş alanların bulunması gün geçtikçe azalmaktadır. Bundan dolayı uygun mühendislik özelliği olmayan zeminler üzerinde yapılaşma kaçınılmaz hale gelmiştir. Bunun sonucu olarak, zayıf temel zemini özelliği gösteren alanların da kullanıma açılması gerekli olmaktadır.

Zayıf zeminler üzerindeki yapılaşmayla beraber birçok mühendislik sorunları da doğmaktadır. Sorunların çözümü için bu konu ile ilgili yeni metod ve teknikler geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur.

Uygulama esası olarak; her yapının zemin içinde veya üstünde yapılma zorunluluğundan dolayı, bu yapıların zemine aktardığı gerilmeleri zeminin emniyetle taşıması gerekmektedir. Fakat yapıların oturduğu zeminler her zaman bu emniyeti sağlamamaktadır. Bu gibi durumlarda; zayıf olan zemine göre yapı temellerini projelendirmek, zayıf zemini kaldırarak yerine taşıma gücü daha yüksek olan zeminler bırakmak, taşıma gücü zayıf olan zemini belirlenen uygun bir yöntemle geçerek temelleri sağlam tabaka üzerine oturtmak, zemin parametrelerini arazide yapılacak işlemlerle iyileştirmek gerekmektedir.

Genellikle zayıf zemin olarak karşımıza çıkan zeminler; turba ve bataklık zeminler, yumuşak killer, gevşek kumlar, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın

alüvyon zeminlerdir. Bu zeminlerin taşıma gücü mühendislik açısından yeterli olmamaktadır. Bu nedenle gereklilik halinde temel zemini olarak kullanılması gerekiyor ise muhakkak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

2.2 Yol Dolguları

Yol güzergahını oluşturmak için toprak işleri yapmak gerekmektedir. Yolu kırmızı kota getirmek için güzergahta bulunan yerlerin bazılarının yarılması bazılarının da doldurulması gerekmektedir. Eklenmesi gereken yerler yol dolgularını oluşturur. Yarma kısımlarında üstyapının oturduğu doğal zemin fazla bozulmadığı için yolun trafiğe açılmasından sonra meydana gelebilecek oturma veya kayma tehlikesi bulunmamaktadır. Ancak dolgu kısımları doğal zemin üzerine tabaka tabaka oluşturulduğu için bu işlemin çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde bu kısımlarda yolun hizmet ömrü boyunca düzensiz oturmalar ve kayma gibi sorunlar meydana gelmektedir. Dolgunun oturduğu zeminin stabilitesi, dolgu malzemesinin sıkıştırılması, dolgunun kendi stabilitesi uzun ömürlü dolgu oluşturulmasında önemli etkenler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dolgular , bitkisel toprağı sıyırıp atılan doğal zemin üzerine oluşturulmaktadır. Bitkisel toprağın kaldırılması ile ortaya çıkan zeminin taşıma gücü zayıfsa, üzerine gelecek dolgu yüksekliği ve trafik yüküne göre gerekiyorsa bu zayıf zemin belli bir kalınlığa kadar kazılıp atılmaktadır. Yerine daha kaliteli malzeme konulmakta veya çeşitli stabilizasyon yöntemleri ile zemin iyileştirilmesi yapılmaktadır. Yüzey suyu ve yeraltı suyu drenajı gerekirse öncelikle bu yapılarak mümkün olduğunca stabil kalacak bir taban oluşturulmalıdır.

Dolgu oluşturulması sırasında zemin yeterli derecede sıkıştırılmazsa, zeminde kendi ağırlığından ve trafik etkisinden kaynaklı oturmalar meydana gelir. Bu oturmalar çoğunlukla yol yüzeyinde değişik yerlerde ve farklı miktarlarda çökmeler ve dalgalanmalar şeklinde görünür. Dolguları yüksek olan yerlerde şev kaymaları da meydana gelebilir. Oturma ve kaymalar neticesinde, ne kadar iyi yapılmış olursa olsun yolun kaplaması çok çabuk sürede bozulur, yoldaki trafik güvenliği ve konfor azalır. Tüm bunlara karşın, yol inşaatının toprak işleri kademesinde zeminin cinsine uygun olan yöntemlerle sıkıştırılması gerekir.

Dolgu gövdesinin stabilitesi açısından dolguya verilecek şev değeri büyük önem arz etmektedir. Şev değerinde dolguyu oluşturan zeminin cinsi ile dolgu yüksekliği etkili olmaktadır. Kendini tutan zeminler için 1/1 gibi dik sayılabilecek bir dolgu şevi

uygulaması mümkün olabilse de genelde dolgu şevleri için uygulanan değerler 3/2, 3/1 seçilmelidir. Dolgu yüksekliği arttıkça şevin yatıklığı artırılmalıdır. Ayrıca trafik güvenliği açısından da dolgulara fazla şev verilmemelidir.

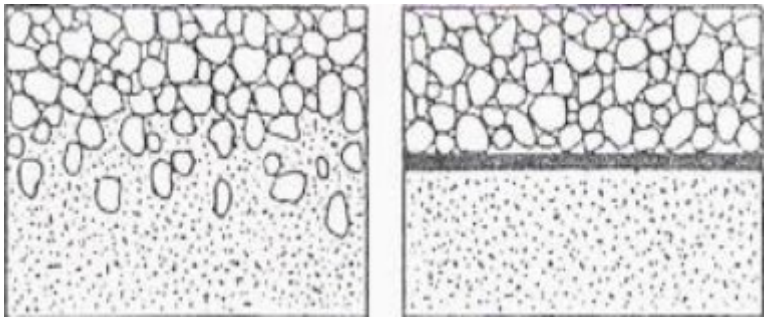
Bitkisel toprak atıldıktan sonra dolgu malzemesi yolun tüm genişliği boyunca yayılarak sıkıştırılır. Bu işlem tabakalar halinde devam ettirilerek istenen yükseklikteki mühendislik dolgusu elde edilir.

Dolguyu oluşturacak malzeme için granülometri koşulu yoktur. Ancak iri taş blokların yüzeye yakın kısımlarda bulunması sakıncalıdır. Aksi takdirde iri blokların bulunduğu yerlerde trafik yükünden dolayı oturma farklılığı meydana gelebilir ve kaplamanın bozulmasına sebebiyet verebilir. İri taş bloklar yüksek dolguların alt kısımlarında kullanılabilir. Genel olarak, yol yüzeyine yaklaştıkça cins ve granülometri bakımından daha iyi dolgu malzemesi kullanılması tercih edilmelidir.

2.3 Geosentetikler

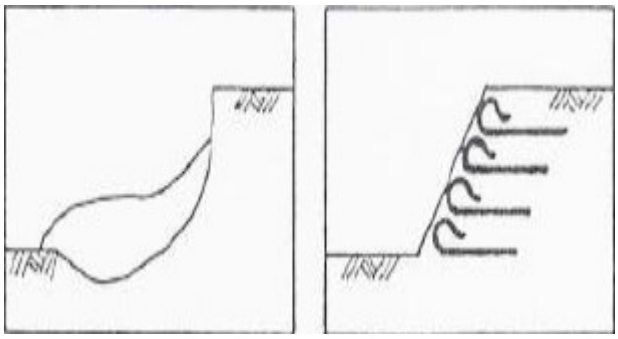
Geosentetikler; inşaat mühendisliği uygulamalarında son yıllarda oldukça fazla kullanılan, çok çeşitli, insan yapımı polimer malzemelerdir. Gelişen teknoloji ile son yıllarda inşaat mühendisliği uygulamalarında giderek artan bir ilgi görmüştür. Geosentetikler; geoteknik anlamda zeminin performansını arttırmak, pratik ve ekonomik çözümler sunmak için kullanılırlar. Geosentetiklerin içeriğine katılan farklı kimyasallarla farklı birçok geosentetik çeşidi elde edilir. Bu çeşitlilik geosentetiklere birçok işe yarar özellik katmaktadır. Geosentetiklerin temel işlevleri bu özelliklerinden gelmektedir. Geosentetiklerin bilinen başlıca işlevleri şunlardır:

1) Ayırma; iki aynı olmayan malzemeyi ayırmak için ya da bütünlüğünü sürdürmek ve fonksiyonunu arttırmak



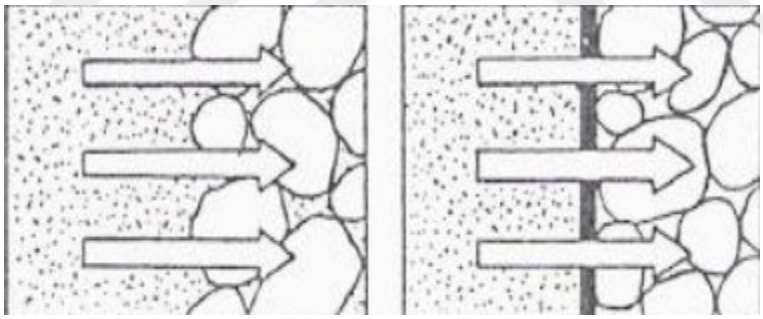
Şekil 2.1 Geosentetiklerin ayırma işlevi

2) Güçlendirme; geosentetiklerin gerilimini kullanarak sistemin dayanımını arttırmak



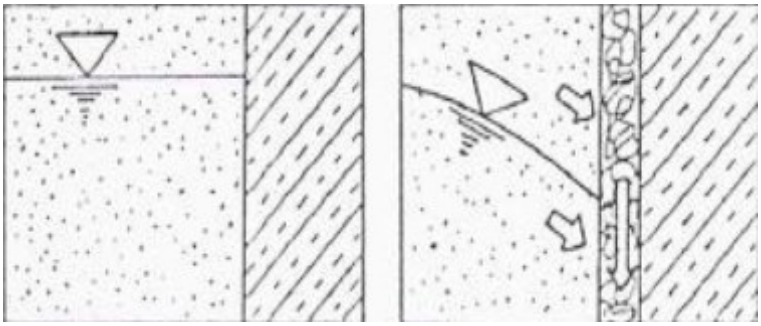
Şekil 2.2 Geosentetiklerin güçlendirme işlevi

3) Filtrasyon; yeterli sıvı akışına izin vererek, geosentetik düzlemi boyunca zemin kaybını engelleyerek, inşası yapılan yerin servis süresini uzatmak



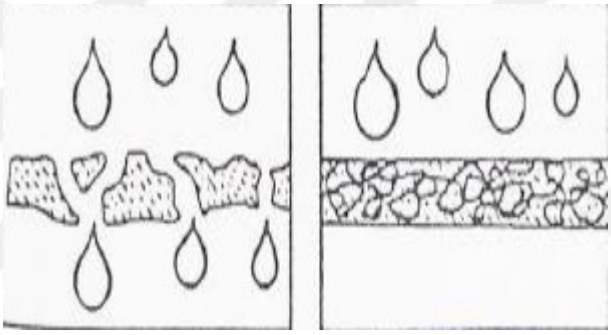
Şekil 2.3 Geosentetiklerin filtrasyon işlevi

4) Drenaj; düşük geçirimli zeminlerin için sıvı akışını sağlamak



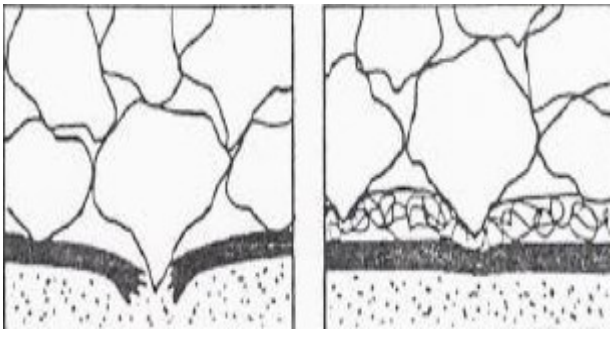
Şekil 2.4 Geosentetiklerin drenaj işlevi

5) Yalıtım; geçirimsiz bir bariyer gibi davranarak, sıvı veya gaz gibi akışkanların istenmeyen tarafa geçmemesini sağlamak



Şekil 2.5 Geosentetiklerin yalıtım işlevi

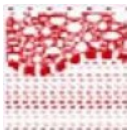
6) Koruma; zeminin üstünü veya altını kaplayarak koruma sağlamak



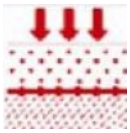
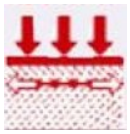
Şekil 2.6 Geosentetiklerin güçlendirme işlevi

Bu ana işlevlerinden ayrı olarak geosentetiklerin bilinen birçok farklı alanda da işlevleri bulunmaktadır. Bunlar başlıca şunlardır:

Tablo 2.1 Geosentetiklerin fonksiyonları

Fonksiyon	**Uygulama**	**Çeşit**	**Tanım**
Ayırma		Geotekstil,Geokomposit	Malzemelerin ya da zeminlerin karışmalarını engellemek için
Erozyon ve Yüzey Stabilitesi		Geohücre	Rüzgar,yağmur gibi etkilerden zeminin hareketini ve ayrılmasını engellemek için
Filtrasyon		Geokomposit,Geonet	Sıvı akışına izin verir,zemin geçişini engeller
Drenaj		Geonet,Geokomposit	Akışkanların taşınması sağlamak için
Yalıtım		Geomembran,Geokomposit	Sıvı bariyeri oluşumu sağlamak için
Koruma		Geotekstil,Geokompozitler	Yapının zarar görmesini engellemek için

Tablo 2.1 (Devam)

Donatılı Duvar		Geogrid,Geotekstil	Zemine gelecek çekme kuvvetini karşılamak için
Güçlendirme		Geogrid,Geotekstil,Geokompozit	Zeminin stabilite ve taşıma gücünü arttırmak için
Asfalt ve Beton Donatısı		Geogrid	Gelebilecek çekme kuvvetini karşılamak için
Sınırlama		Geohücre	Zemin yanal kütlesinin hareketlerini önlemek için

2.3.1 Geosentetiklerin üretiminde kullanılan hammaddeler

Geosentetiklerin kullanım amaçları ve temel özelliklerini daha iyi anlayabilmek için, üretildikleri hammaddelerin özelliklerinin bilinmesi gerekir. Geosentetiklerin başlıca hammaddeleri; Poliyamid, Polyester, Polietilen, Polipropilen, polivinil Klorür, Ethen Kopolimer Bitüm, Klorinat Polietilendir. Bu malzemelerin tamamı termoplastiktir. Polietilen ve polipropilen, polyofinler olarak anılırlar ve yoğunlukları 1000kgf/m^3'ten azdır.

2.3.1.1 Polipropilen (PP)

Geosentetik imalatında yoğunluklu olarak kullanılan malzemelerden biridir. Kimyasal etkilere direnci oldukça yüksektir. Organik asit etkilerine karşı oldukça dirençlidir. Erime sıcaklığı 165°C'dir. Uzun süre ışığa maruz kalması, yüksek sıcaklık etkisi altında kalması ya da nemli ortamlarda uzun süre kalması halinde bozulmalara uğrar. Bu yüzden güneş ile doğrudan temasa geçtiği durumlarda ek bir koruyucu malzeme kullanılması gerekmektedir. Yük altında zamanla deformasyona uğrar. Yani sünme dayanımı çok düşüktür. Yorulma dayanımı oldukça yüksektir. Sürekli gerilmeler altında kısa zamanlı yorulma göstermez. Polipropilen esaslı geotekstiller,

polipropilenin polyestere nazaran daha ucuz olması sebebiyle çoğu zaman tercih sebebidir.

2.3.1.2 Polyester (PET)

Bükülüp eğilmesi oldukça kolaydır. Yüksek dayanım değerlerine sahiptir. Sünmeye karşı dayanım gösterir. 200°C'ye kadar mekanik özelliklerini kaybedemeyebilir. Bileşenlere, deniz suyuna ve asidik ortamlara karşı dayanıklıdır. Ortamın pH'sinin 11'den büyük olması durumunda bazik maddelere karşı duyarlılık gösterir. Malzemelerin niteliklerini iyileştirmek ve geliştirmek için katkı maddesi olarak kullanılabilir. Erime sıcaklığı 260°C 'dir.

2.3.1.3 Poliamid (PA,Naylon)

Aşınmaya karşı dayanımları oldukça yüksektir. Düşük yanma derecesine sahip olan poliamid, sulu ortamlara karşı hassastır. Poliamid ürünleri uzun süre su içerisinde kalmaları durumunda mekanik özelliklerinde düşüş görülür. Bu sebeple poliamidin mekanik parametreleri zeminin içerisindeki akışkanlardan etkilenir. Malzeme niteliklerini istenilen seviyeye getirmek için, geosentetik üretiminde ilave maddeler olarak kullanılabilirler. Böylece ışık ve ısı etkisiyle bozulmaların önüne geçilebilir.

2.3.1.4 Polietilen (PE)

Erime sıcaklığı 110°C'dir. Güneş ışınlarına karşı duyarlıdır. Bu yüzden ekstra bir koruyucu gerekir. Hidrokarbonlarla etkileşime geçince plastikleşir ve şişer. Organik ortamlardan çabuk etkilenir. Sünme dayanımı oldukça düşüktür. Yorulma dayanımı yüksektir. Geosentetiklerin elde edilmesinde iki farklı tip polietilen kullanılır. Bunlardan biri LDPE (düşük yoğunluklu polietilen, yoğunluğu 920-930kg/m^3) olan, bükülmenin önem arz ettiği ve su buharına karşı dirençli olması istenen durumlarda kullanılır. Bir diğeri ise HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen, yoğunluğu 940-960kg/m^3) olan, daha rijit ve sert bir üretimdir. HDPE'nin kimyasal dayanımı LDPE'ye kıyasla daha yüksektir.

Tablo 2.2 Polimer çeşitlerinin mekanik özelliklere etkisi

Polimer Grubu Özellikleri		**Polyester**	**Poliamid**	**Polipropilen**	**Polietilen**
Dayanım		Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Elastisite Modülü		Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Kopmada Uzama		Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Sünme		Düşük	Orta	Yüksek	Yüksek
Birim Ağırlık		Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Maliyet		Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Çevre Şartlarına Dayanım					
U.V Işığı	Stabilize	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
	Stabilize Edilmemiş	Yüksek	Orta	Orta	Düşük

Geosentetikler bu işlevlerine göre farklı çeşitlere ayrılmışlardır. Başlıcaları şunlardır: Geotekstiller(1), Geomembranlar(2), Geoborular (3), Geonetler(4), Geosentetik Kil Kaplama(5), Geoköpükler(6), Geokompozitler(7), Geohücreler(8), Geogridler(9).

1) Geotekstiller

   Geotekstiller, en çok kullanılan geosentetiklerden biridir. Geosentetiklerin işlevlerini oluşturan tüm alanlarda kullanılırlar.



Şekil 2.7 Geotekstil

2) Geomembranlar

   Geomembranlar, düşük permeabilite katsayılarından ötürü başlıca geçirimsizlik sağlayıcı bariyer olarak kullanılırlar.



Şekil 2.8 Geomembran

3) Geoborular

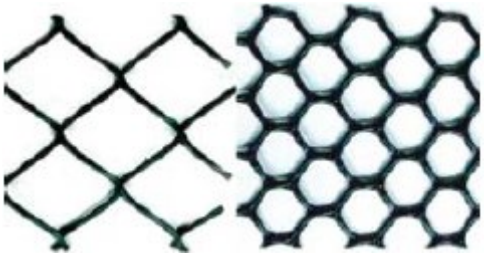
Geoborular; plastiktirler ve bazen yeraltına geçirimlilik sağlamak için su, atık su, gaz, petrol gibi akışkanları aktarmak için kullanılırlar. Filtreleme özelliğinden faydalanmak için de kullanılabilir. Bazı uygulamalarda çelik, demir ve beton boruların yerine de kullanılırlar.



Şekil 2.9 Geoboru

4) Geonetler

Geonetlerin başlıca kullanım alanı drenajdır. Diğer geosentetik malzemelerle beraber kullanılırlar. Bu geosentetik malzemelerin üstüne veya altına gelerek üzerine gelen zemini boşluklarına alarak zeminin drenaj özelliğini arttırmaya yararlar.



Şekil 2.10 Geonet

5) Geosentetik Kil Kaplama

Geosentetik Kil Kaplama, ortada ince bir tabaka halinde bentonitten ve iki tarafında geotekstil veya geomembrandan oluşan geosentetik malzemedir. Geosentetik Kil Kaplamalar, akışkanlara karşı hidrolik engelleyici olarak kullanılırlar.



Şekil 2.11 Geosentetik kil kaplama

6) Geoköpükler

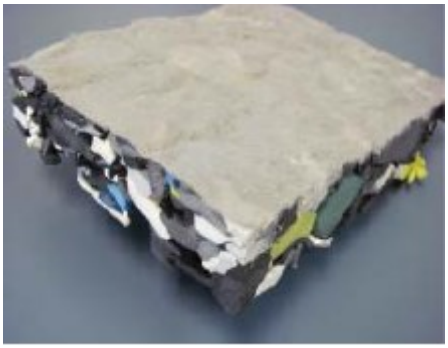
Geoköpükler, belli yoğunlukları olan hafif köpüklerden oluşurlar. Genellikle geri dolgularda aşırı basıncı ve zeminin üzerinde gerilmeyi azaltmak için kullanılırlar.



Şekil 2.12 Geoköpükler

7) Geokompozitler

Geokompozitler, bir veya daha çok geosentetik malzemenin bir araya gelmesiyle oluşurlar. Genellikle ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj işlevlerinde kullanılırlar.



Şekil 2.13 Geokompozitler

8) Geohücreler

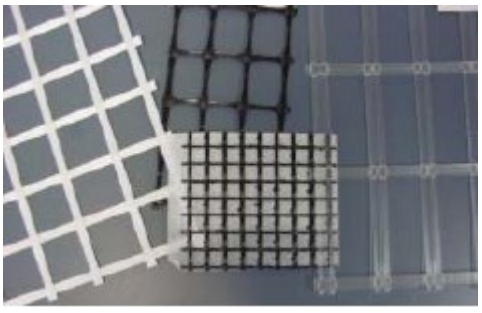
Geohücreler, şev, kanal ya da zemin iyileştirilmesinde gerekli olan bariyer ve koruma elemanı olarak kullanılırlar.



Şekil 2.14 Geohücreler

9) Geogridler

Geogridler, öncelikli fonksiyonu güçlendirme olan geosentetiklerdir. Geogridler; esnek, yüksek dayanımlı, düşük sünmeli, kimyasal-biyolojik ve güneş ışını etkilerine karşı dayanıklı ve yapım aşamasındaki olumsuz koşullardan en az etkilenen bir yapı malzemesidir.



Şekil 2.15 Geogridler

2.3.2 Geogridler

Geogridler, hammaddesi polimer olan yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilenden oluşan, soğuk işleme yöntemiyle geliştirilen, çoğunlukla donatı olarak kullanılan geosentetik malzemelerdir. Geogridler, yüksek dayanımları ve yük yayma özellikleri ile çoğunlukla zemin iyileştirme alanında kullanılırlar. Yumuşak ve zayıf zeminlerde meydana gelebilecek göçmelere ve oturmalara karşı bir iyileştirme yöntemi olarak, taşıma gücünü arttırmak için zemin geogrid ile güçlendirilmiş olur. Geogridlerin başlıca özellikleri; esnek olması, yüksek mukavemetli olması, düşük sünmeli olması, kimyasal-biyolojik etki ve güneş ışını etkilerine karşı korumalı ve yapım sırasındaki olumsuzluklardan çok az etkilenen geosentetik bir malzeme olmasıdır. Geogridler istenen farklı ihtiyaçları karşılayabilmek için, farklı mukavemetlerde ve göz açıklıklarında üretilmektedir.

2.3.2.1 Geogrid üretim yöntemleri

Geogridler imal edilmesi yöntemlerine göre üçe ayrılırlar. Üretim yöntemlerine göre çekme mukavemetleri değişmektedir. Birleşim yerleri ve nihai çekme gücü, üretim yönteminin bir neticesi olarak belirleyici özellik gösterir. Bunlar; ekstrüde geogridler, dokuma geogridler, yapıştırma geogridleridir.

Ekstrüde geogridler

Bu yöntemde geogridler, polimer plakaların delinip belirli sıcaklıklarda çekilmesi ile imal edilirler. Bu plakalar yüksek sıcaklıklarda fırın veya suyun içerisinde bi veya iki yönde çekilerek dayanım kazandırılır. Çekme işlemi sırasında sıcaklık ve çekme oranı denetim altında tutulur. Mukavemeti belirleyen aslında çekme miktarı olsa da, molekül ağırlığı, ağırlık dağılımı ve molekülün ayrılma veya birleşme derecesi de etkilemektedir. Bağlantı noktaları yapım aşamasında oluştuğu için diğer üretim yöntemlerine göre mukavemeti en yüksek olan geogrid tipidir.

Ekstrüde işlemi bir yönde yapılırsa, tek yönde yüksek mukavemetli geogrid elde edilir.



Şekil 2.16 Ekstrüde geogridler

Eğer iki yönlü çekme uygulanırsa, çift yönlü geogrid elde edilir. Bunlar zemin iyileştirmede yaygın olarak kullanılır.



Şekil 2.17 Çift yönlü ekstrüde geogridler

Dokuma geogridler

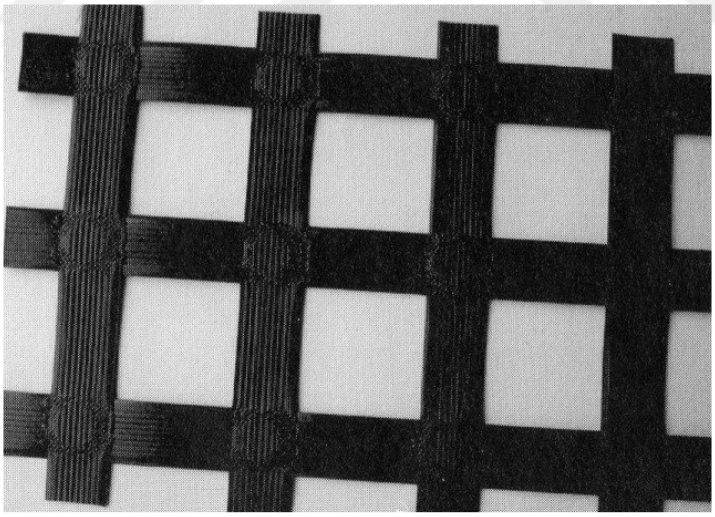
Dokuma geogridler, polyester ipliklerin dokuma makineleri yardımı ile örülerek üretimi yapılır. İstenenilen dayanıma göre polyester iplik sayısı iki yönde de değişkenlik gösterebilir. Bağlantı noktalarındaki dayanımı, ekstrüde yöntemiyle üretilen geogridlerden daha düşüktür.



Şekil 2.18 Dokuma geogridler

Yapıştırma geogridler

Yapıştırma geogridler, yüksek dayanımlı şeritler birbirine dik olarak üretim bandına bırakılır. Şeritler üretim bandı üzerinde ilerlerken lazer ya da sıcak yardımı ile birleştirilir. Bağlantı noktası mukavemeti düşüktür. Toplam mukavemeti bağlantı noktası mukavemeti kadardır.



Şekil 2.19 Yapıştırma geogridler

2.3.2.2 Geogridlerin kullanım ve uygulama alanları

Geogridler, büyük oranda güçlendirme alanında kullanılırlar. Zeminlerin güçlendirilmesinde birçok şekil, materyal ve yaklaşım olmasına rağmen, geogridlerin de bu alandaki uygulamaları son yıllarda oldukça artmaktadır. Geogridlerin en önemli kullanım amaçlarından biri, açıklık olarak adlandırılan, zeminin içerisinden geçmesine

olanak verecek kadar genişlikte, iki yöndeki şeritler arasındaki boşluklardır. Geogrid şeritlerinin mukavemetleri ile beraber bağlanma mukavemetleri de önemlidir. Geogridler, zeminin açıklıklarından geçmesine izin verdikleri için yükün uygulandığı boyuna şeritleri dik kesen enine şeritlerde pasif bir dayanım oluşur. Böylelikle geogridin zemin tanelerine kenetlenmesi de bu şeritler sayesinde gerçekleşir.



Şekil 2.20 Zemin içerisindeki geogridin çalışma şekli

Geogridlerin bu özelliklerinden ötürü birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlar;

1) Asfaltsız yollarda agrega altında
2) Tren yolu inşaatlarında kırmataş tabakaları altında
3) Şev göçmeleri ve heyelanların onarılmasında
4) Gabion duvar yapımında
5) Erozyon kontrol inşasında gabion yapımında
6) Köprü ayaklarında gabionların yapımında
7) Zayıf zeminlerin üzerinde ana donatı olarak kullanmada
8) Karstik yapıya sahip zeminlerin üzerinde ana donatı olarak kullanmada
9) İstinat duvarı yüzey levhaları için plaka ankrajı olarak kullanmada
10) Diğer geosentetiklerin arasında ara malzeme olarak kullanmada
11) Asfalt kaplamalarda donatı olarak kullanımda
12) Ayrışmış kaya bölgelerinin güçlendirilmesinde
13) Ayrışmış beton bölgelerinin güçlendirilmesinde
14) Toprak dolgularının güçlendirilmesinde
15) Yumuşak zeminlerin üzerin gelen toprak dolgularını sararak üç boyutlu kaplama olarak kullanımıdır.

Geogridler, bu ve bunun gibi, ilerleryen kullanım alanları ile gün geçtikçe daha da yaygınlaşmaktadır.

Geogridler, uygulamada kullanılırken malzemeye ait belli başlı özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu özellikler geogridin fiziksel özellikleri, mekanik özellikleri ve dayanıklılık özellikleridir.

-Fiziksel Özellikleri; boşluk boyutu, örgü yapısı, birim alan ağırlığı, esneklik, sıkılık ve şerit boyutları olarak sıralanabilir.

-Mekanik Özellikleri; şerit çekme dayanımı, şerit birleşim noktası dayanımı, kesme kuvveti dayanımı, gerilme çatlakları dayanımı olarak sıralanabilir.

-Dayanıklılık Özellikleri; montaj hasarları, çekme yorulması, sıcaklık etkisi, oksidasyon etkisi, kimyasal etkiler, radyoaktif etkiler ve biyolojik etkiler olarak sıralanabilir.

Bu özellikler geogridlerin uygulamada sağlıklı ve güvenli bir şekilde inşa edilmesi için önemlidir.

2.3.2.3 Geogridlerin çekme mukavemetinin hesabı

Tasarımda kullanılacak geogridin çekme dayanımı, geogridin ana yapım maddesine, yapım şekline, inşaat alanındaki çevre özelliklerine ve geçen zamana bağlı olarak değişiklikler gösterir. Tasarımda kullanılacak çekme gerilmesi (P), üreticinin belirttiği çekme gerilmesi ($T_{\text{Üretici}}$), belirtilen güvenlik sayılarına bölünmesi ile hesaplanır. Çekme gerilmesinin hesabı;

$$\mathrm{P} = \frac{T_{\text{Üretici}}}{\mathrm{FS_{sünme}}\cdot\mathrm{FS_{uygulama\ hasar\ etkileri}}\cdot\mathrm{FS_{çevre\ etkileri}}} \cdot \frac{1}{\mathrm{FS_{tasarı}}} \qquad (2.1)$$

FS (güvenlik sayıları), üreticinin kendi hammaddesi ve üretim şekline göre laboratuvarda yaptığı testlerle belirlenmelidir. Üreticinin böyle bir imkanı yok ise ilgili standartlardan malzeme türüne ve yapım şekline göre güvenlik sayıları alınmalıdır. Bazı güvenlik sayılarının alınmasında toprağın da özellikleri belirleyici etkendir. Geosentetiklerin çekme dayanımına etkiyen etkiler; sünme, çevresel etkiler, kimyasal etkiler ve biyolojik etkilerdir.

Sünme etkisi

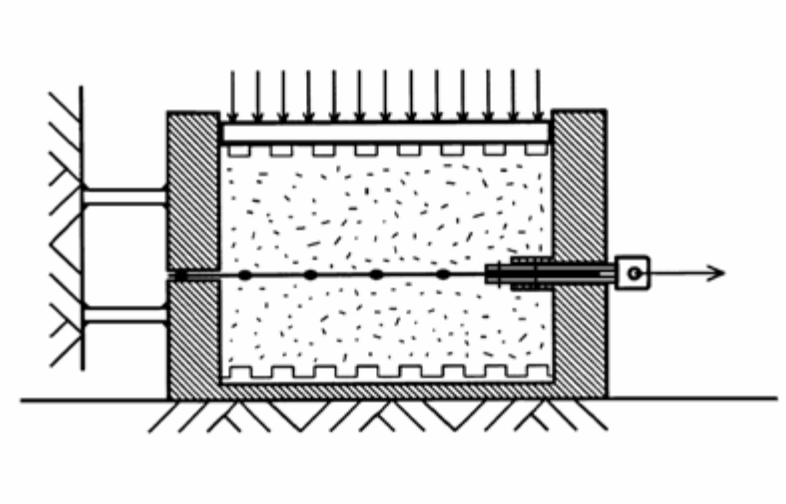
Sünme etkisi, geogride zaman içinde etkiyen yüklerden dolayı uzaması ve böylece dayanımının azalmasıdır. Sünme etkisinin bulunması için uzun zamanlı laboratuvar deneylerinin yapılması gerekmektedir. Deneyler aynı geogridlerin farklı yükler ve

farklı sıcaklıklar altında on bin saatten fazla kalması ile yapılır. Sünme etkisi burada en fazla taşıyacağı yükün, uzun süre taşınabilir yüke oranıdır. Sıcaklık ve nem koşullarının istenilen şekilde ayarlanan laboratuvar şartlarında, sabit sıcaklıkta üç değişik yük altında geogridlerin uzamalarına bakılarak sünme güvenlik etkenleri test edilmektedir.



Şekil 2.21 Geogrid sünme testi laboratuvarından bir görüntü (Tenex Fabrikası,İtalya)

Sünme deneyi zemin içerisinde şartlandırılarak gerçeğe daha yakın bir değer elde edilir.



Şekil 2.22 Zemin içerisinde sünme deneyinin uygulaması

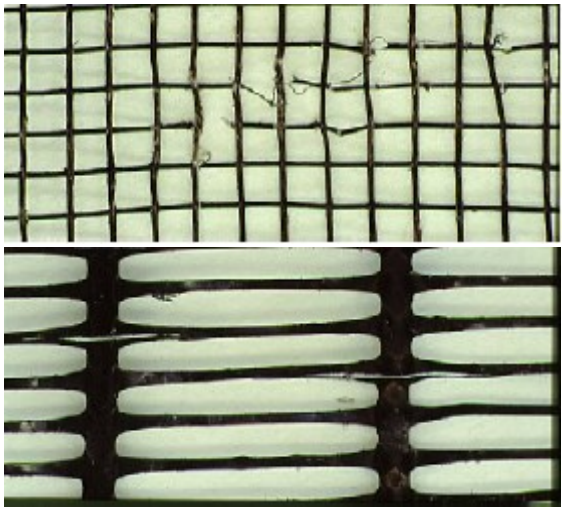
Sünme deneyi, geogridin içinde bulunacağı zemin koşullarında çeşitli ısı ve nem değişikliklerine, farklı yükleme değerlerine göre yapılması ile elde edilir. Hammadde çeşidine göre sünme güvenlik katsayıları aşağıdaki gibidir:

Tablo 2.3 Sünme güvenlik katsayıları

Polimer Çeşidi	**Sünme Güvenlik Katsayısı**
Polyester	1,6 – 2,5
Polipropilen	4 – 5
HDPE	2,6 – 5

Uygulama hasarlarının etkisi

Geogridler, yapım sırasında birçok tesir altında kalmaktadır. Yapım anında geogridin yıpranması söz konusu olabilmektedir. Geogridin taşınması, serilmesi ve sıkıştırılması sırasındaki zararlar geogridin son çekme dayanımını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı uygulama hasarlarına karşı bir güvenlik faktörü bulunmaktadır. Kullanılan dolgunun nitelikleri ile geogridin yapım şekli ve ana maddesi burada belirleyici etmen olurken, düğüm noktası dayanımı da uygulama hasarlarının en az düzeyde kalmasında belirleyici rol oynamaktadır.



Şekil 2.23 Uygulama hasarları

Bu türden hasarların güvenlik etkisini hesaplamak için yapılmakta olan bir test yöntemi yoktur. Uygulama hasarları için kabul edilecek güvenlik faktörü geogrid üretim yöntemi ve hammaddesi ile dolgunun niteliklerine göre belirlenmektedir.

Tablo 2.4 Uygulamada oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı

Geosentetik Çeşidi	**Dolgu Max. 102mm D50 ≈30mm**	**Dolgu Max. 20mm. D50 ≈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	1,10 – 1,40

Çevresel etkiler

Geogridler, diğer geosentetikler gibi yıllar içinde ısıya, oksitlenmeye, kimyasal etmenlere, biyolojik etmenlere, pH miktarına ve mikroorganizmalara karşı yıpranmasına çevresel etkiler denmektedir. Geogridleri uygulama aşamasında

etkileyecek herhangi bir tehdit varsa bu sayı 1,1 – 2,0 arasında; çevresel hiçbir tehdit yok ise bu sayı en az olan değer alınmalıdır.

Tablo 2.5 Zemin içindeki kimyasalların polimer çeşitlerine etkileri (— : etkisi yok)

Çevresel Etki Zemin	**Polimer Çeşidi**		
	Polietilen	Polyester	Polipropilen
Asidik	—	Etkisi Bulunmalı	Etkisi Bulunmalı
Organik	—	—	—
Tuzlu	—	—	—
Kalsiyumlu	Etkisi Bulunmalı	—	—
Kireçli	Etkisi Bulunmalı	—	—
Sodyum İçeren	Etkisi Bulunmalı	—	—
Metal Geçişi Olan	—	Etkisi Bulunmalı	Etkisi Bulunmalı

Tasarım güvenlik faktörü

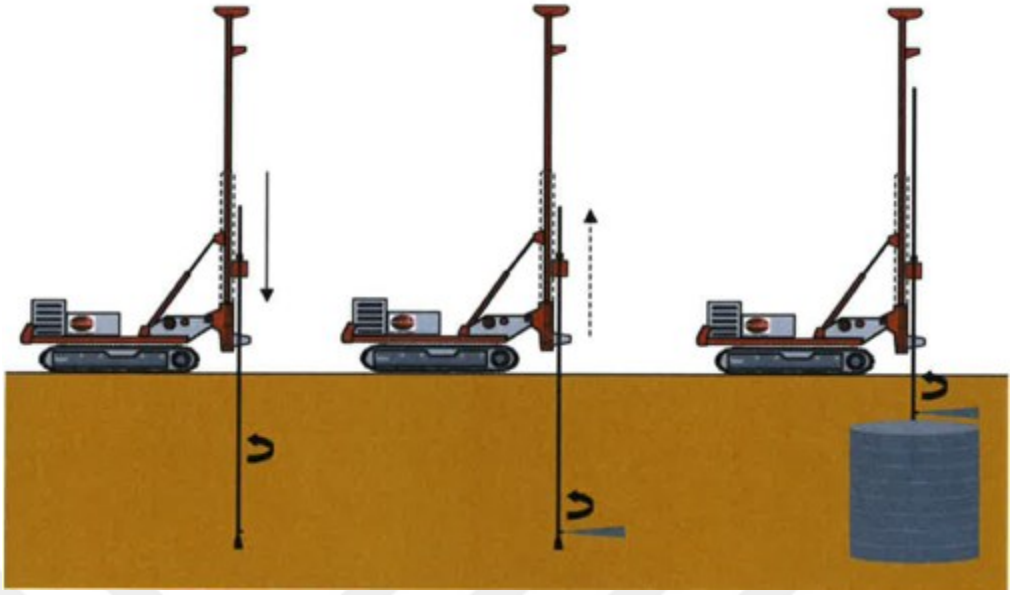
Tasarım güvenlik faktörünün hesaplama dahil edilmesindeki amaç; tanımlanmamış yükler, yapı geometrisi, dolgu özellikleri, bölgesel gerilme artışı ve tanımlanmamış uzun süreli donatı dayanımındaki bilinmeyenleri ortadan kaldırmaktır. Bu değer genelde 1,5 alınmaktadır. Bilinmeyen değerlerin fazlalaşması ile bu değer artabilir. Normal şartlara yaklaştıkça bu değer 1'e yaklaşır.

2.4 Jet Enjeksiyon Yöntemi

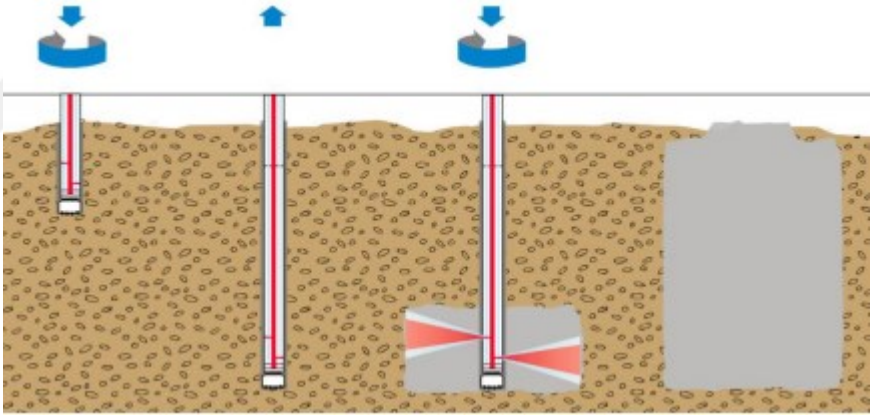
Jet enjeksiyon yöntemi, bir ya da daha çok akışkanın (çimento şerbeti, hava, su) zemine yüksek basınç altında enjekte edilmesi ile uygulanan bir zemin stabilizasyon yöntemidir. Jet enjeksiyon yöntemi; uygulanabilirliği, ekonomik olması, hızlı uygulanabilmesi ve birçok zemin türüne uygunluğu ile günümüzde sıklıkla tercih edilen bir zemin iyileştirme yöntemidir. Bu yöntem ile güçlendirme, sızdırmazlık ve yapısal rijitlik elde etmek mümkün olmaktadır.

Akışkanlar; zeminden uygulanacak derinliğe kadar çelik boru indirilerek, bu boruda bulunan küçük çaplı nozülden, borunun yüzeye doğru çıkarılması sırasında yüksek basınç ile birlikte enjekte edilmektedir. Enjekte edilen akışkan, boruya dik olacak şekilde geçmekte ve zeminle yoğrulma-parçalanma, bir kısım bozulma-yüzeye taşınma ve zemin içerisine enjekte şeklinde etkileşim oluşturmaktadır. Enjeksiyonu yapılan su-çimento şerbeti zemin içerisinde zamanla katılaşmaya uğramakta ve sonrasında, zemin ve çimento şerbetinden oluşan katılaşmış kütle elde edilmektedir. Bu kütleler genellikle silindirik bir yapıya sahip olan jet enjeksiyon kolonlarını oluşturmaktadır. Jet enjeksiyon yönteminin günümüzde sıklıkla tercih edilmesinin başlıca sebepleri vardır. Bunlar;

- Küçük bir sondaj işlemi neticesinde çevresindeki zemini etkilemeden zemin içerisinde geniş çaplı rijit kolonlar oluşturulabilmektedir.
- Kolonların farklı yerleşim düzeni ile yüksek mukavemetli, geçirimsiz yapılar hazırlanabilmektedir.
- İhtiyaç durumunda kolonlar demir donatılı olarak yapılabilmektedir. Dolayısıyla eğilme ve çekmeye karşı dayanımlı oluşturulabilmektedir.
- Bu işlemlerde kullanılan ekipmanların hafif ve küçük ebatlı olmasından dolayı, zor arazi şartlarında dahi uygulama yapılabilmektedir.



Şekil 2.24 Jet enjeksiyon uygulanması



Şekil 2.25 Nozüllerden akışkan basılması

2.4.1 Jet enjeksiyon uygulama esasları

Jet kolonlarının yapımında birbirine eklenmiş ve içerisindeki tekli, ikili ve üçlü, akışkan aktaran borular olan tijler kullanılmaktadır. Tijin ucunda yer alan monitörde ise akışkanları yüksek basınçlar altında zemine aktaracak bir veya birkaç küçük çaplı nozül yer almaktadır. Monitör, tijlerin ucunda kesici ucun hemen üzerine monte edilen silindirik bir tüp olarak yer almaktadır. Monitörün ağzında açıklık yer almaktadır. Delme aşamasında bu açıklıktan sondaj döngü akışkanı verilmektedir. Delme işlemi sonunda bu açıklık monitör içerisine yerleştirilen bir tıkaç ile kapatılarak jet enjeksiyon işlemi yapılmaktadır.

Jet kolonlarının imalatında delme ve enjeksiyon işlemi bir arada yapılmaktadır. Kullanılan delgi ekipmanı, monitörü zemin içerisinde düşey yönde itebilmekte, aynı zamanda dönüş (rotasyon) verebilmektedir. Delgi işlemi istenilen derinliğe kadar standart dönüş ve darbeli dönüş sistemleriyle yapılabilmektedir. Delme işleminde, monitörün ucuna takılan kesici uçlar bulunmaktadır. Böylece delgi işleminde kuyu boşluğu ile tijler arasında daire şeklinde boşluk meydana gelmektedir. Çapları genellikle 120 mm ile 150 mm genişliğindedir. Özel durumlarda 300 mm'ye kadar çıkabilmektedir.



Şekil 2.26 Nozüllerden akışkan çıkışı

Delme sırasında kuyu içi döngü akışkanı olarak su, hava, çimento, şerbeti ya da köpük kullanılabilmektedir. Bu akışkanlar tijlerin içerisinde aşağı yönde, kuyu ile tijler arasındaki dairesel boşlukta yukarı yönde hareket etmektedir. Böylece kuyu içerisinde oluşan malzemeler yukarı taşınmaktadır. Bu akışkan aynı zamanda kuyunun stabilizasyonunu sağlamakta ve göçmelere engel olmaktadır.

Delgi işleminde istenilen derinliğe ulaşıldıktan sonra monitördeki nozüllerden akışkan basma işlemine başlanmaktadır. Bu aşamada monitör dönerek yüzeye doğru çıkarılmaktadır. Bu sırada yoğrulmuş, parçalanmış zeminin bir bölümü döngü sıvısı ile zemine çıkarılmakta, yüzeyde çamur kıvamında 'spoil' adı verilen atık malzeme toplanmaktadır. Jetleme sırasında dönüş hızı sabit tutulmaktadır. Monitörün yukarı çekilme işlemi beklemeli ya da sabit hızla devamlı olarak yapılabilmektedir.

Gerektiği zamanlarda, jet kolonlar çelik çubuk, çelik boru ya da farklı malzemelerle donatılandırılabilir. Kolonlar donatılı imal edilince eğilme momenti ve çekme gerilmelerini karşılayabilmektedirler. Jet kolonlar tazeyken donatılar itilerek donatılandırma işlemi yapılmaktadır. Kolonların boyu uzadıkça donatılandırma işlemi zorlaşır. Bu nedenle uygulama boyu uzun olan jet kolonların donatılandırılması prizini aldıktan sonra, delinerek yerleştirilebilmektedir. Daha sonra düşük basınçlı dolgu enjeksiyonuyla, donatı kolona sabitlenmektedir.

Enjeksiyon karışımları ağırlık bazında su-çimento oranı olarak tanımlanmaktadır. Uygulamada bu oran 0.6-1.3 aralığında değişmektedir. Kullanılacak çimento çeşidiyle ilgili bir sınırlama yoktur. Ancak zemin parametreleri ve projeye özel şartlarlar değerlendirilirken, gerektiğinde özel çimento kullanımı gerekli olabilmektedir. Örnek olarak prizini hızlı alması istenen durumlarda portland çimentosu kullanılabilir.

Enjeksiyon akışkanlarında farklı katkı materyalleri kullanılmaktadır. Örneğin, daha yüksek su çimento oranlarında (w/c) kusmayı önlemek için; bentonit bulamacı, kolonun sertleşmesini hızlandırabilmek amacıyla da kalsiyum klorür, kullanılan katkı materyallerindendir.

Jetleme esnasında atık malzeme (spoil) miktarı imalat sırasında sürekli kontrol altında tutulmalıdır. Atık malzemenin en az miktarda tutulması verimlilik açısından önem arz etmektedir. Ayrıca atık malzemenin zemine çıkamaması demek kuyuda bir tıkanmanın veya göçmenin belirtisi olup, basınçların giderek yükselmesine ve zeminde şişmelerin oluşmasına sebep olabilmektedir.

2.4.2 Jet enjeksiyon teknikleri

Jet enjeksiyon sistemlerinde genel olarak dört farklı sistem kullanılmaktadır:

1) Tek Akışkanlı Sistem

   En basit ve yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Zemine su+çimento karışımı sıvı, monitör üzerinde yer alan nozüllerden yüksek basınç altında enjekte edilmektedir. Zeminin tanelenip parçalanması ve çimento ile karıştırılması sadece bir sıvı ile sağlanmaktadır. Bu yöntemde; delme ve enjeksiyon takımı tek çeperli bir boru sisteminden oluşmuş olup, akışkan bu borudan yaklaşık 200 m/sn hızla, 300-600 kg/cm^2 basınçla enjekte edilir. Tek akışkanlı sistem sonucu oluşturulan kolonlar zemin tür ve parametlerine göre, çakıllı zeminlerde 0,6 metreden 1,2 metre genişliğine kadar ulaşabilmektedir.

2) Çift Akışkanlı Sistem

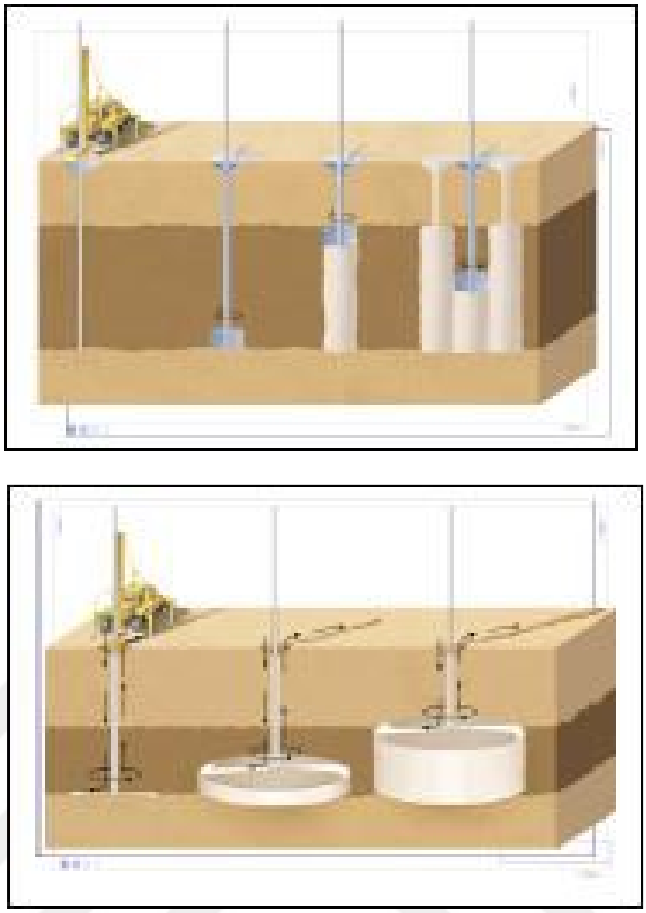
Tekli sistemdeki gibi, zemini taneleyip parçalayan ve çimentolanmayı sağlayan su-çimento karışımı enjeksiyon akışkanı olarak kullanılmaktadır. Ancak enjeksiyon sırasında, çimento basını hava jeti ile birlikte verilmektedir. Bu sistemde, grout içteki borudan, basınçlı hava ise dış borudan geçer. Bu hava jeti enerji sürtünme etkilerini kısmen azalttığı için meydana gelen kolon çapları tek akışkanlı sisteme göre daha büyük olmaktadır. Kolon çapları orta sıkı zeminlerde bir metre, gevşek zeminlerde ise iki metreden fazla genişliğe ulaşabilmektedir. Kohezyonlu zeminlerde tek akışkanlı sisteme göre daha etkili sonuçlar vermektedir.

3) Üç Akışkanlı Sistem

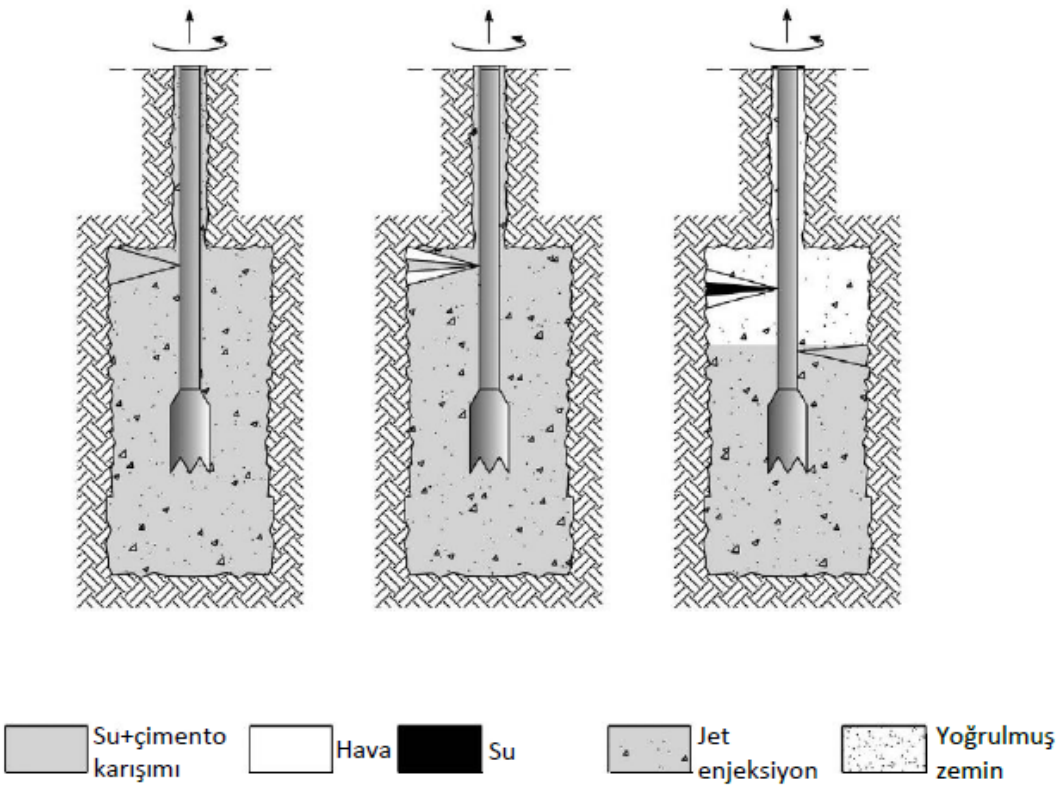
Zeminin tanelenip parçalanması ve bununla devam eden çimentolama işlemleri birbirinden farklı bölümlerde gerçekleşmektedir. Taneleme ve parçalama işlemleri monitörün üst kısmında yer alan nozüllerden uygulanan yüksek basınçlı su akışı ile sağlanmakta ve su akışı çiftli sistemde olduğu gibi hava jeti ile ilave edilmektedir. Monitörün alt kısmında yer alan ikinci bir nozülden ise çimento jeti uygulanmaktadır. Alt kısımdaki nozülden verilen çimento jeti sadece çimento şerbeti ile zemini karıştırmayı gerektirdiğinden düşük basınç ile gerçekleştirilmektedir.

4) Süper Jet Sistem

Son yıllarda özellikle daha büyük kolon çaplarını daha hızlı ve daha düşük maliyetlerle yapabilmek için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden biri de ‘süper jet’ sistem olarak adlandırılan sistemdir. Bu yöntemle üç ila beş metre genişliklerinde zemin-çimento kolonları elde edilebilmektedir.

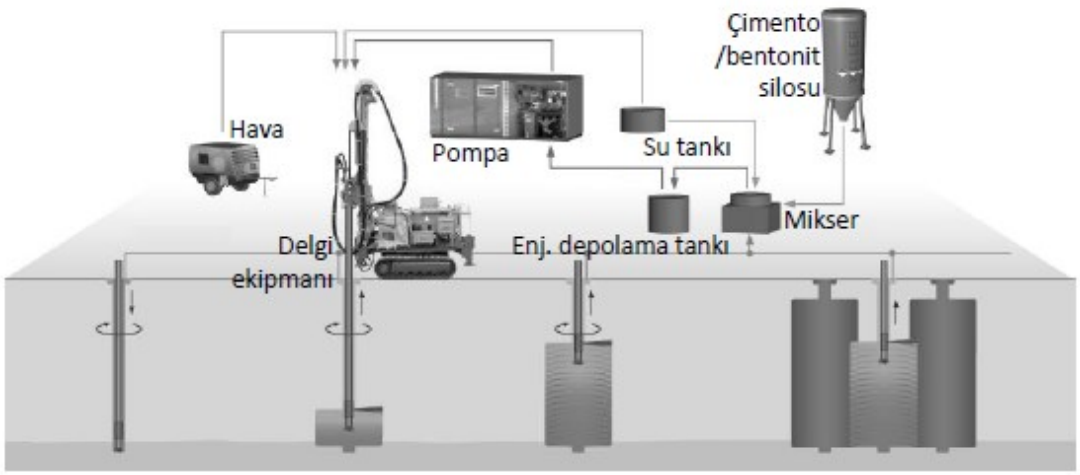


Şekil 2.27 Süper jet sistemi



Şekil 2.28 Akışkan sistemlerine göre jet enjeksiyon sistemi

2.4.3 Jet enjeksiyon tesisi



Şekil 2.29 Jet enjeksiyon tesisi

Her üç sistem için kullanılabilecek bir jet grout tesisinde bulunması gereken başlıca üniteler şunlardır:

1) Çimento Silosu
2) Su Tankı
3) Mikser
4) Enjeksiyon Depolama Tankı
5) Pompa
6) Kompresör
7) Delgi Ekipmanı

Su-çimento karışımı devamlı üretim yapılabilecek biçimde ve karıştırma dönüş sayısı ile w/c miktarlarını kayıt altına alabilen, yüksek karıştırmalı otomatik karıştırıcılarla yapılmaktadır. Karışım enjeksiyon toplama tankında düşük türbülansla karıştırılarak bekletilmekte ve pompaya iletilmektedir. Tesislerde 10-20 $m^3/saat$ işletmeli mikserlere ihtiyaç duyulmaktadır.

2.4.4 Jet enjeksiyon sisteminin uygulanması

Jet enjeksiyon sistemi uygulaması delgi ve enjeksiyon aşamalarından oluşur. Jet enjeksiyon sisteminin uygulanması için saha şartları elverişli olmalıdır. Günlük jet enjeksiyon imalatının yapılabilmesi için sahanın düzgün ve kuru olması büyük çalışma avantajı sağlamaktadır. Delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve ağır iş makineleri batmadan çalışabilmesi için sahanın gerekli drenaj koşullarını sağlaması elzemdir. Jetleme işleminin ilk adımında zemin küçük ebatta sondaj tiji ile açılmaktadır. Nozüller uygulama derinliğine ulaşınca delgi işlemi son bulmaktadır. Daha sonra tijler kendi ekseninde döndürülerek yukarı çıkarılmakta ve bu esnada nozüllerden yüksek basınçlı enjeksiyon işlemi yapılmaktadır. Kolon belirlenen yüksekliğe ulaşınca enjeksiyon işlemi sona ermektedir. Jet enjeksiyon işlemi genel olarak üç aşamadan oluşur:

2.4.4.1 Delgi aşaması

Delgi aşaması, jet enjeksiyonun yapılabilmesi için uygulama derinliğine inilmesini sağlayan işlemdir. Matkaplarla yapılan bu delgi işlemi enjeksiyon sisteminin ilk aşamasıdır. Delme esnasında kuyu başının yer altı su seviyesinin üstünde olması çalışma bakımından rahatlık sağlamaktadır. Genellikle rotary yöntemi tercih edilmektedir. Delgi işleminin kolaylaştırılması için, uç takımının soğutulması ve zeminin ön enjeksiyona hazırlanması amacıyla delme sırasında farklı akışkanlar

kullanılmaktadır. Bunlar; su, hava, bentonit şerbeti, çimento şerbeti olabilmektedir. Zemin karakterine göre farklı uçlar kullanılmaktadır. Bunlar yüksek basınca dayanıklı malzemelerdir.



Şekil 2.30 Jet enjeksiyon delgi makinesi

2.4.4.2 Enjeksiyon aşaması

Jet grout aletleri; mikser, dinlendirici, pompa, su tankı, çimento depoları, basınç göstergeleri, su saati, gidiş-dönüş güzergahı, bağlantı hortumlarının bir arada çalışmasıyla oluşmaktadır. Jet şerbeti, belirli miktardaki su ve çimentonun mikserde karıştırılmasıyla oluşur. Projeye göre su-çimento oranı ayarlanır. Uygulanacak enjeksiyon miktarına göre kum ilave edilebilir. Geçirimsiz zeminlerin elde edilmesi ve çatlakların kapanması bentonit şerbeti ile sağlanır. Karıştırıcıda hazırlanan enjeksiyon karışımı dinlendiriciye geçer ve pompalar aracılığıyla uygulama derinliğindeki sondaj kuyusuna basılır. İstenilen yüksekliğe ulaşılınca delgi ve su ekleme işlemi durdurulur. Çelik bilya delgi borusuna bırakılır, uç kısımda yer alan vana kapanmış olur. Vana kapanınca delgi borusuna gönderilecek akışkanın yönü monitöre dönmüş olur. Yüksek basınçlı akışkan basılmaya başlanır ve enjeksiyon yapılmaya başlanır. Akışkan nozüllerden geçerken yüksek hıza ulaşır. Böylece doğal zemin yapısını bozarak zeminle iç içe geçer. Delgi takımının dönme hareketi sayesinde daire şeklinde kolonlar oluşur. Doğal zeminden farklı mekanik özelliklere sahip jet enjeksiyon kolonları meydana gelmiş olur. Oluşacak kolonların çaplarının büyüklüğü zeminin özelliklerine bağlı olduğu kadar jet enjeksiyonun; dönüş hızına, çekme hızına, grout basıncına, grout debisine, nozül çap ve adedine de bağlıdır. Basınçlı enjeksiyon sırasında, delgi takımının etrafından dışarıya doğru belli bir miktar zemin materyali taşması uygun görülür. Bu durum groutla karıştırılan zemin içerisinde aşırı basınç oluşmadığına işaret eder. Eğer aşırı basınç oluşursa, basıncın ekstrası delgi borusu çapı ile delinen delik çapı farkından oluşan boşluktan dışarı kaçar. Yüksek basınç oluşmamalıdır. Yüksek basınç zemin içinde kırılmalara ve ayrıca zeminin kalkmasına neden olabilir. Yüksek basınç, imal edilen kolonlarda düzensizliğe ve daha önceden yapılan kolonlarda sorunlara yol açar. Aşırı basınç oluşmaması için, debi miktarının düşürülmesi, enjeksiyon basıncının azaltılması, ön yıkamalı delgi işlemi yapılarak engellenebilir. Basınçlı enjekte sırasında artan materyal miktarı, zeminin permeabilitesine ve zeminin cinsine bağlıdır. Bu artan malzeme miktarı, killi zeminde maksimum, kumlu-çakıllı zeminde minimum olacaktır.

2.4.4.3 Ön jet enjeksiyon

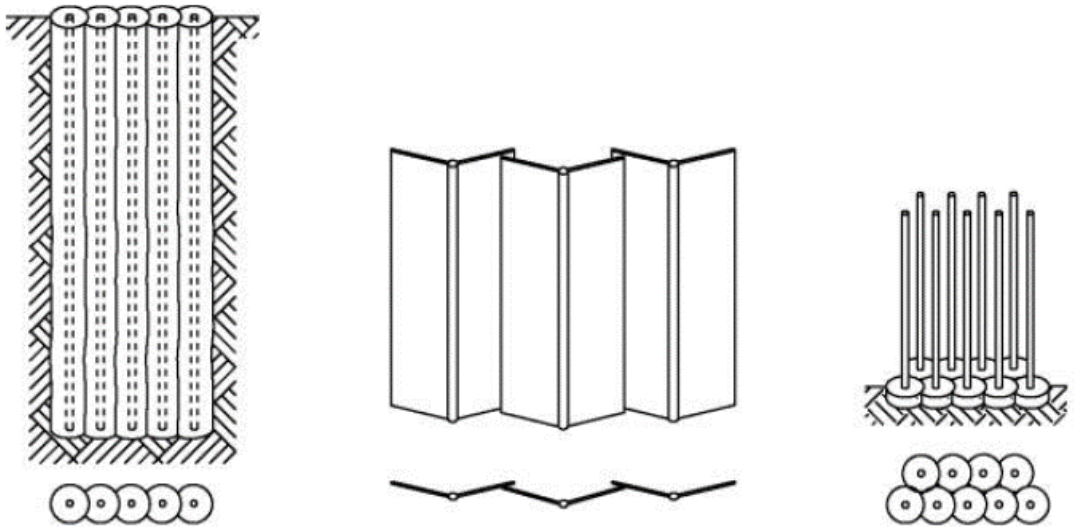
Su-çimento şerbeti, hava gibi akışkanlarından oluşan bir ön tanelenme aşamasıyla, bir elemanın jet enjektesinin yapıldığı yöntemdir. Önyıkama veya önkesme olarak da bilinir.

2.4.5 Jet enjeksiyon sisteminin uygulama alanları

Jet enjeksiyonlarının, değişik biçim ve ebatlarda uygulanabilmesi, zemini iyileştirerek oturma ve taşımada güçlendirme sağlaması, geçirimsizlik sağlaması, mukavemeti arttırmak amacıyla donatı ile yapılabilmesi ve ekstrem uygulama koşullarında yapılabilirliğinden dolayı kapsamlı uygulama alanına sahip olmuştur. Jet enjeksiyon yönteminin kullanıldığı yerler genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir.

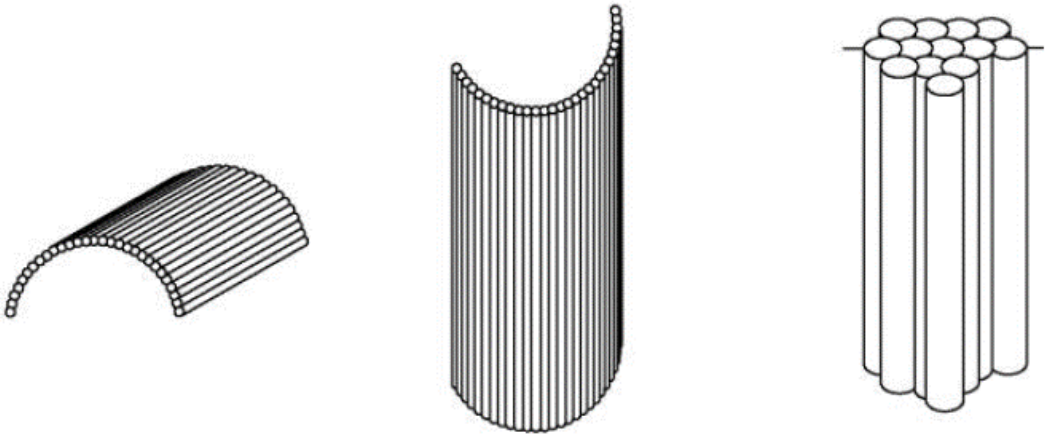
1) Temelde, düşey yükler altında basınçları karşılaması için taşıma gücü ve deformasyon kontrolünde,
2) Döşeme altında dikey ve özellikle büyük yayılı yükler altında basınçları karşılamak için taşıma gücü ve deformasyon kontrolünde,
3) Dolgu altında basınçları karşılamak için taşıma gücü ve deformasyon kontrolünde,
4) Köprü yaklaşım dolgularının altında dikey dolgu yüklerinin taşınması, dolgu altında deplasman kontrolü ve kenar ayak kazıklarına negatif çeper sürtünmesi oluşmasının önlenmesinde,
5) Havuzlarda, yeraltı su deposu ve su yapılarında, donatı ile yapılarak çekme elemanı olarak,
6) Kazılarda, ağırlık tipi istinat yapılarının oluşturulmasında ve yanal zemin itkilerinin alınmasında,
7) Kazılarda, donatı ile oluşturulacak düşey eğilmeye maruz iksa elemanı olarak,
8) Kazılarda ve ankrajlı istinat yapımlarında özel donatı ile ankraj elemanı olarak,
9) Geçirimli ve yeraltı su seviyesinin zemine yakın olduğu zeminlerdeki kazılarda taşıyıcı elemanlar arasına batardo kapatma elemanı olarak,
10) Yumuşak killerdeki kazılarda kazı öncesi kazı taban seviyesi altında yapılan destek elamanı olarak,
11) Kazı alt kotundan temele gelecek yeraltı sularının kontrolü için kapatma (engelleme) elemanı olarak,
12) Dayanımın sağlanabilmesi için şevlerde takviye zemin elemanı olarak veya ağırlık batardosu yapımı ile,
13) Yumuşak zeminlerde yüzeye yakın açılan tünellerde, tünel aynasındaki zeminin dayanımının artırılması amacı ile,

14) Yumuşak zeminde açılan tünellerde, tünel içinde veya ayna önünde yapılarak, kazı öncesi tünel kesiti üzerinde taşıyıcı bir tabaka oluşturulması amacı ile uygulandığı yerler olarak sıralanabilir.



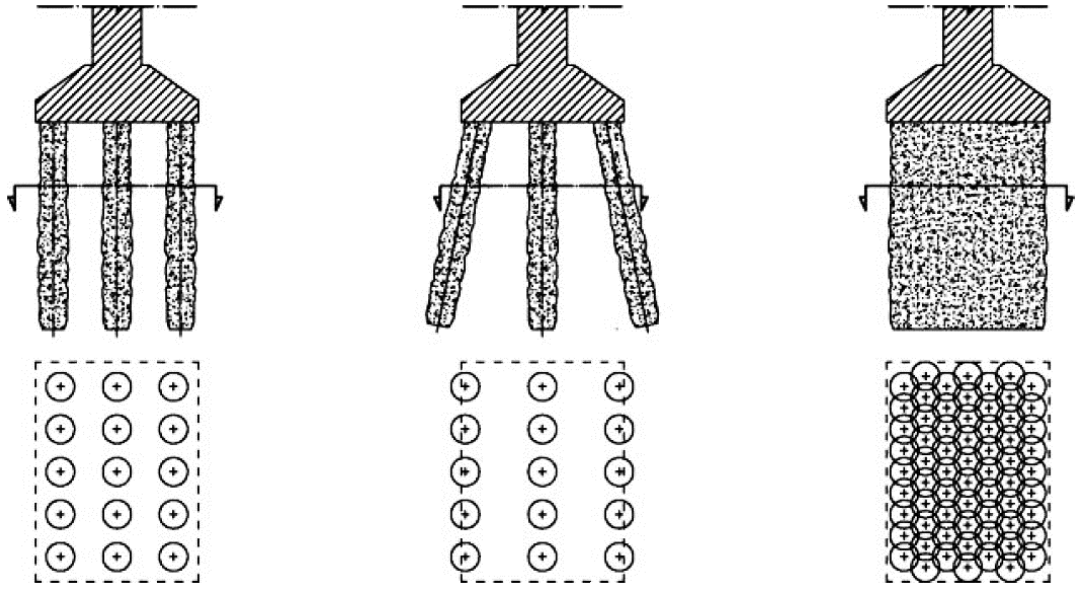
A B C

Şekil 2.31 Jet enjeksiyon uygulamaları; A) Perde, B) Perde Duvar, C) Radye

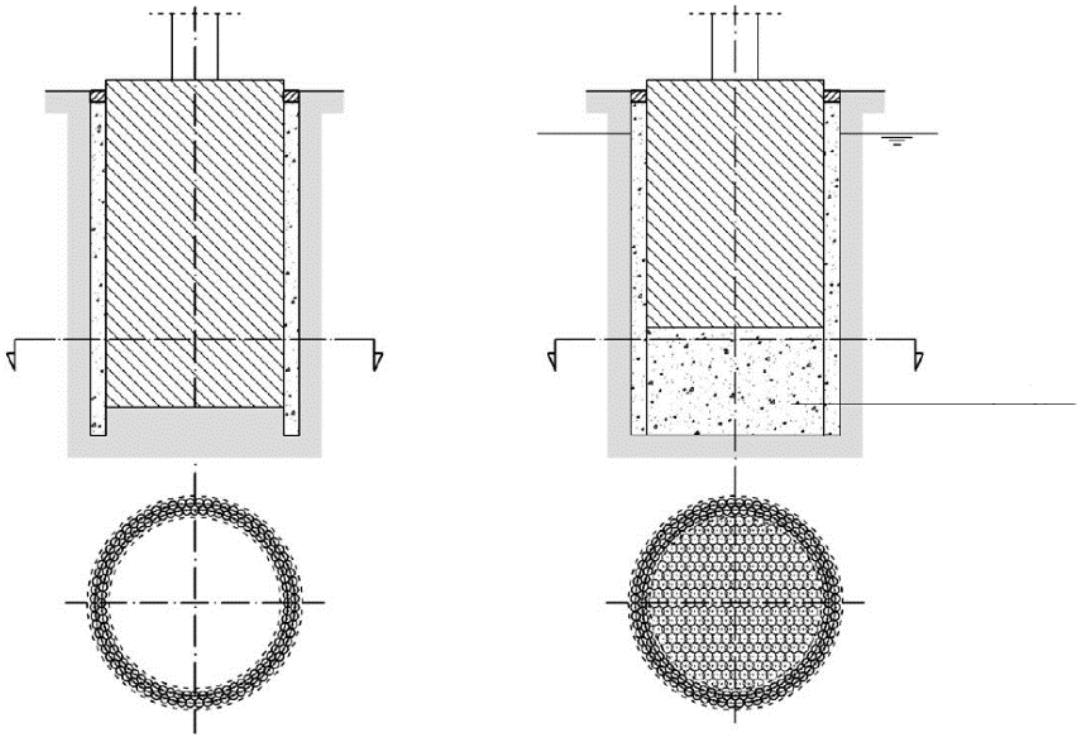


A B C

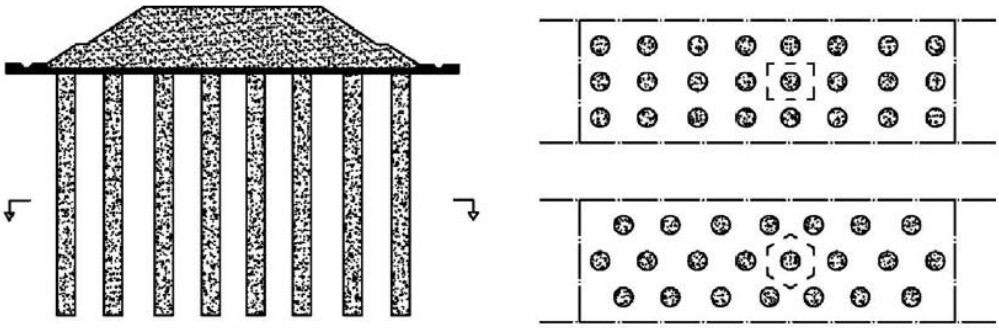
Şekil 2.32 Jet enjeksiyon uygulamaları; A) Tüneller, B) Şaftlar, C) Blok temeller



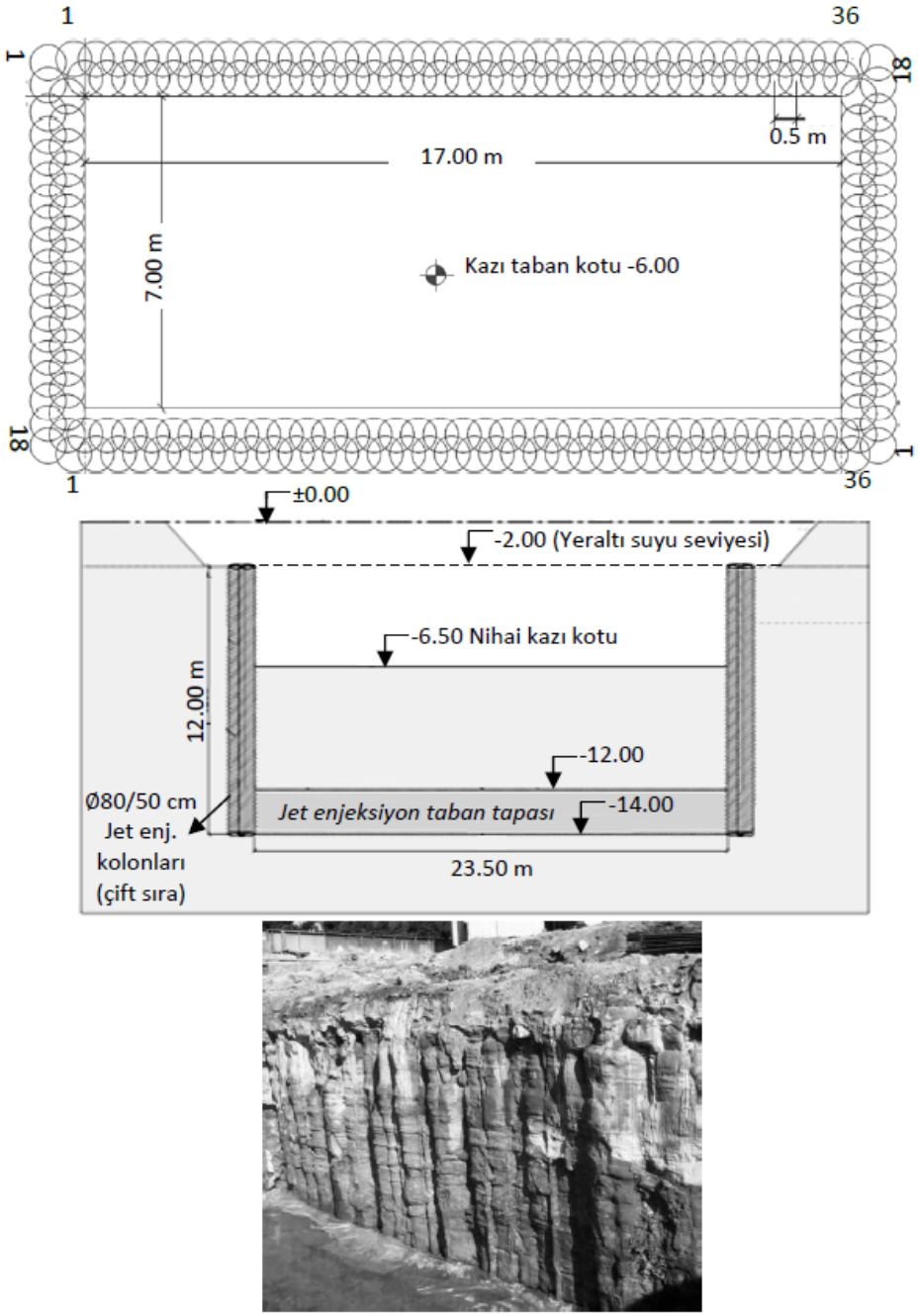
Şekil 2.33 A ve B) Kolonla desteklenmiş jet radyeler, C) Blok jet temelleri uygulaması



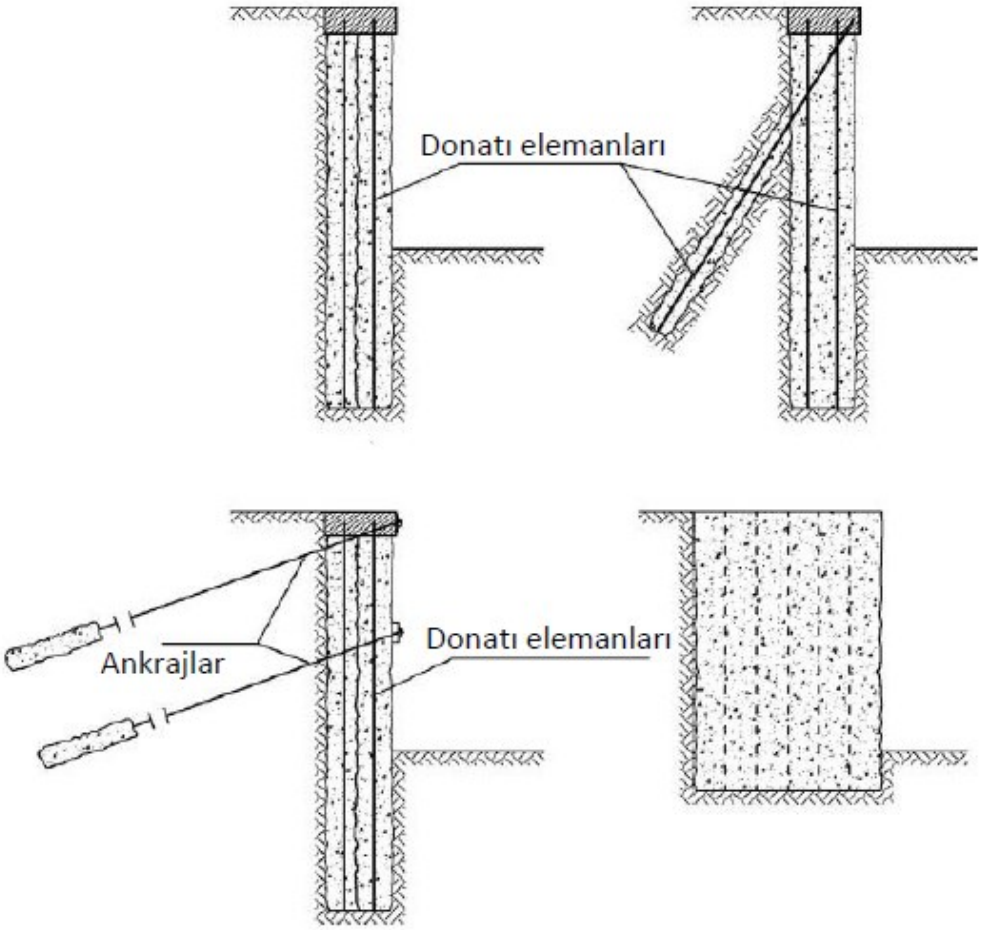
Şekil 2.34 Jet enjeksiyon şaft uygulamaları



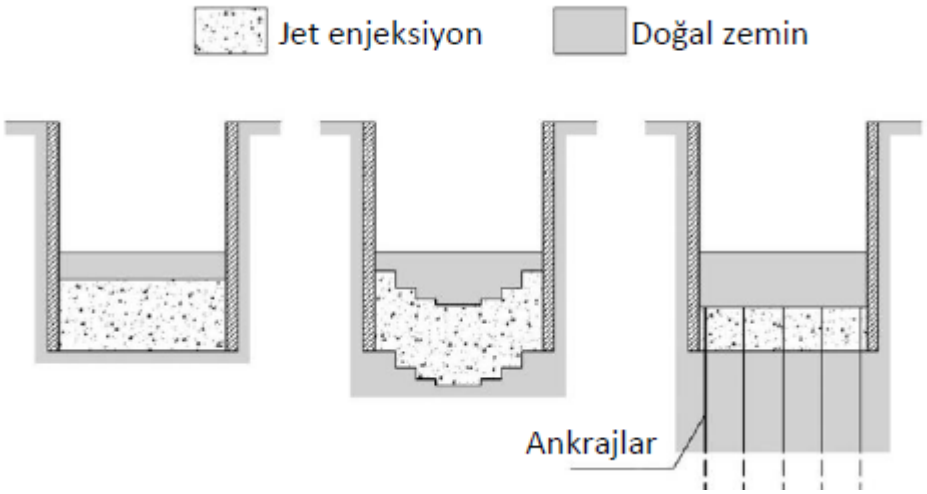
Şekil 2.35 Jet enjeksiyon yol dolgusu uygulamaları



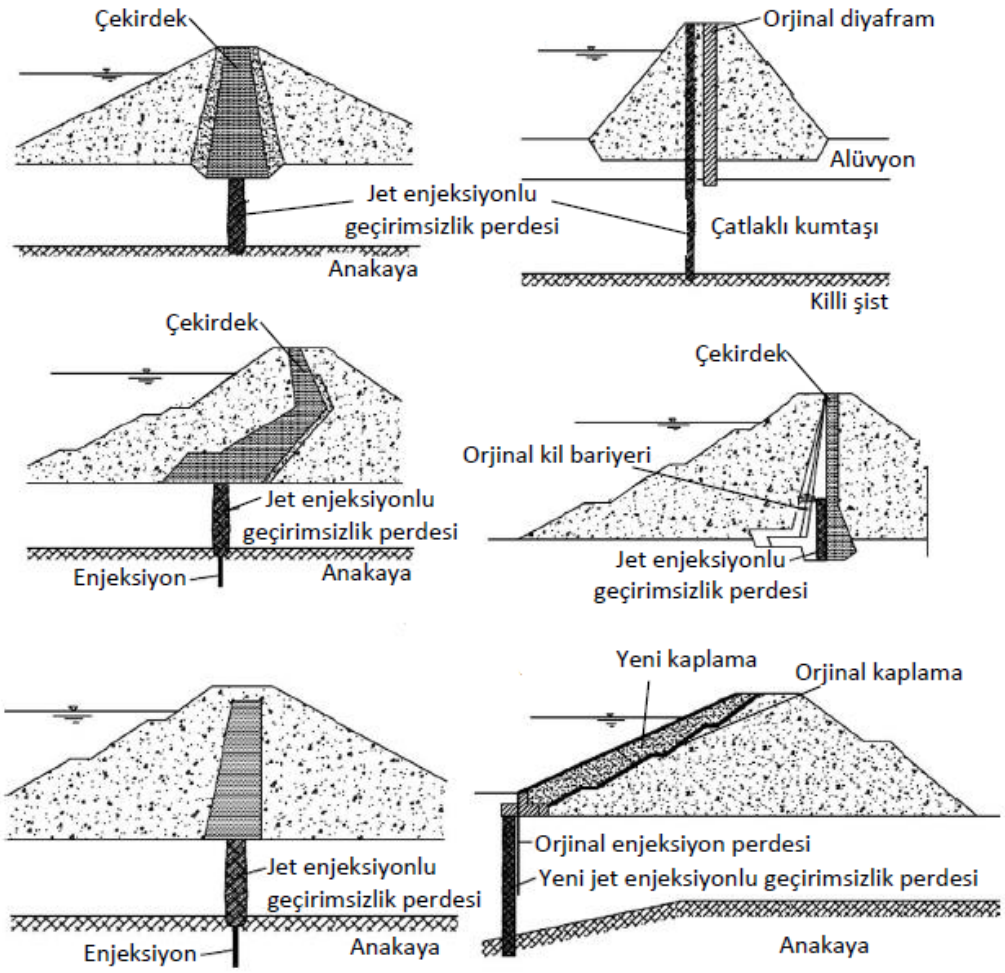
Şekil 2.36 Jet groutlarla oluşturulan geçirimsizlik iksa ve taban tapası uygulamaları



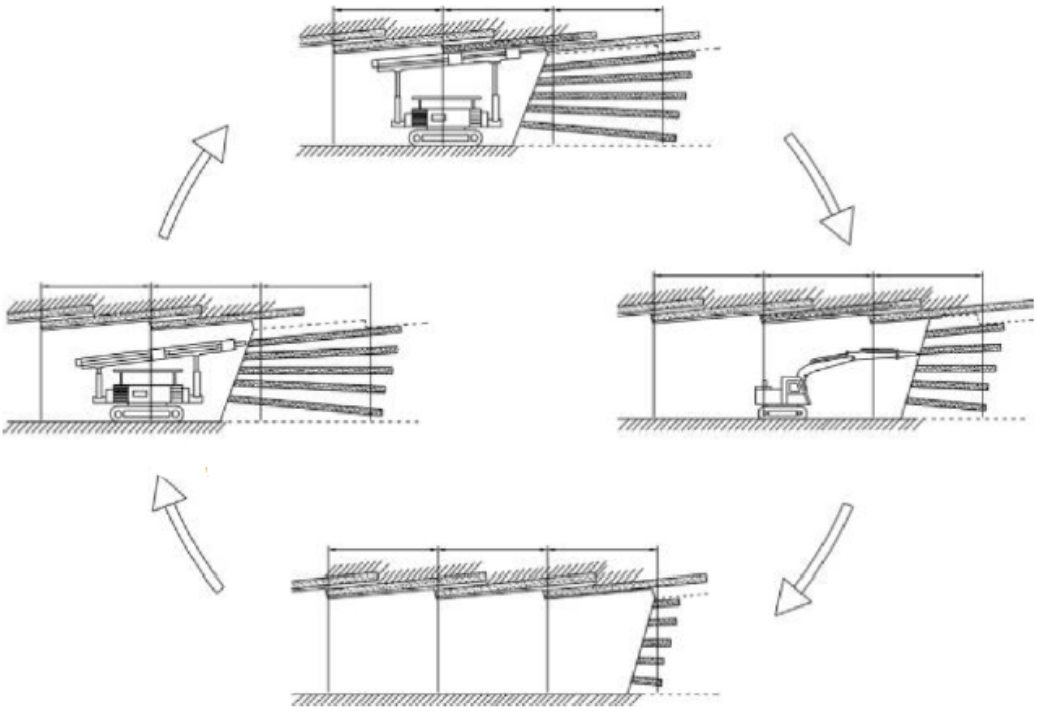
Şekil 2.37 Düşey ve eğimli jet istinat yapısı uygulamaları



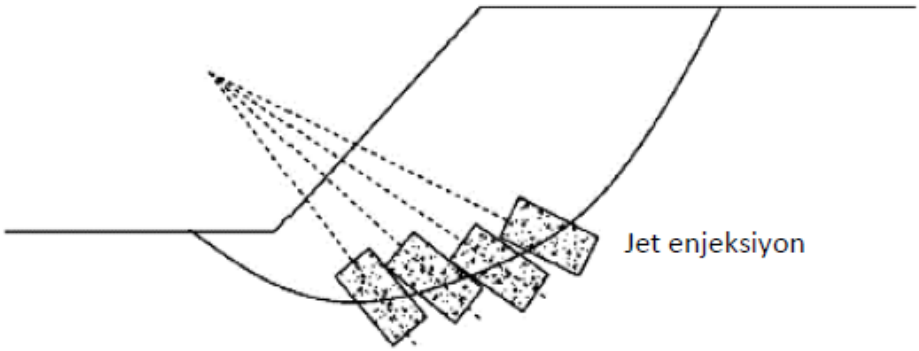
Şekil 2.38 Jet enjeksiyon taban tapası uygulamaları



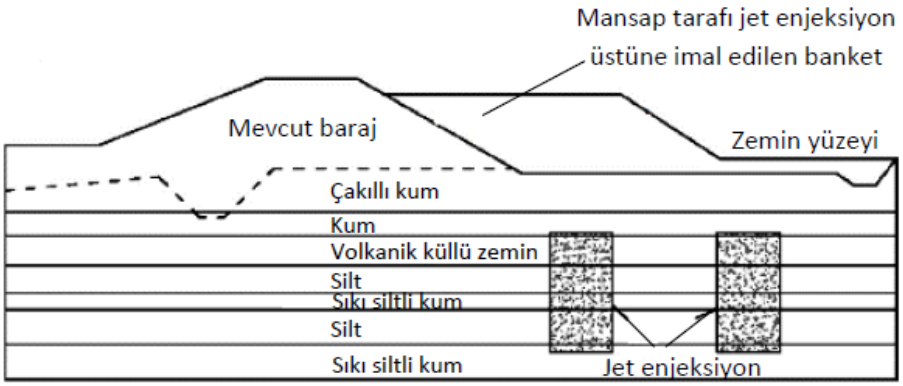
Şekil 2.39 Baraj altında jet enjeksiyon ile geçirimsizlik perdesi oluşturulması



Şekil 2.40 Tünel çevresinin jet enjeksiyonla güçlendirilmesi



Şekil 2.41 Şev stabilitesini güçlendirme amaçlı jet enjeksiyon uygulaması



Şekil 2.42 Sıvılaşma önleyici olarak jet enjeksiyon uygulaması

2.4.6 Jet enjeksiyon hesap yöntemi

2.4.6.1 Jet grout kolonlarının taşıma kapasitesi

Jet grout kolonlarının dizaynı yapılırken genellikle kazık grubu elemanı olarak kabülü yapılıp tasarımı oluşturulur. Kazık elemanlarından farklı olarak jet kolonları, yapılış şekillerinden kaynaklı, oluşturuldukları bölgede zemin dayanım ve mekanik özelliklerinde değişime neden olmaktadır. Bu nedenle zemin, jet grout yapımı sonrası özelliklerini değiştireceğinden yeni bir zemin hesabına gidilmesi gerekmektedir. Kazık elemanlar yapı yüklerini doğrudan taşıyarak zemine iletirken jet kolonları taşıyıcılık görevi yapmadan, yükler yeni tanımlanan zemine doğrudan aktarılır. Bu yüzden tasarımda kazık yaklaşımından farklı olarak yeni zemin parametreleriyle dizayn yapılması gerekmektedir.

Jet kolonları, derin temel kabul edilerek dizaynı yapılıp, kazık gibi çalıştırılarak taşıma gücü çözümü yapılır. Jet kolonlarına ait taşıma gücü çözümü yapılırken öncelikle çevre sürtünmesi ve uç direnci hesaplanır.

Öncelikle bir jet kolonunun göçmeye uğramadan taşıyabileceği en büyük yük miktarı belirlenmelidir. Jet kolonlarının göçmeden kaldırabileceği en fazla yük miktarı:

$$Q_d = Q_u + Q_f - w_k \qquad (2.2)$$

Burada;

Q_d : Göçmeden jet kolonunun taşıyabileceği yük

w_k : Jet kolonunun ağırlığı

$Q_d + w_k$: Jet kolonunun kırılmadan kaldırabileceği yük

$Q_u + Q_f$: Jet kolonu ucunun maksimum kaldırabileceği yük

Q_u : Jet kolonunun çevre sürtünmesi

Q_f : Jet kolonunun adhezyon yükü olarak tanımlanmıştır.

Daha sonra jet kolonunun uç taşıma kapasitesi bulunmalıdır. Jet kolonunun uç taşıma yükü hesabı:

$$Q_u = A.\ q_d \quad (2.3)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Burada;

A : Jet kolonunun uç kesit alanı

q_d: Jet kolonunun oturduğu zeminin taşıma miktarı olarak tanımlanmıştır.

Ardından jet kolonunun sürtünme taşıma miktarı bulunmalıdır. Jet kolonuna ait çevre sürtünmesi taşıma miktarı hesabı;

$$Q_f = A_S.f_s \quad (2.4)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Bu eşitlikte;

A_S : Jet kolonuna ait zemine giren yüzey alanı

f_s : Jet kolonu birim alanına etki eden sürtünme gerilmesi olarak belirtilmiştir.

Jet kolonunun birim alanı P olarak alınırsa $A_S = PxD_f$ olacaktır. Bu birim alana etkileyecek sürtünme kuvveti;

$$f_s = c_u + p_h.\tan\delta \quad (2.5)$$

olur. Burada;

c_u : D_f doğrultusunca ortalama adhezyon

p_h : D_f doğrultusunca ortalama yatay basınç olarak tanımlanmıştır.

Jet kolonlarının göçmeden kaldırabileceği en fazla yük miktarını veren genel denklem düzenlenecek olursa;

$$Q_d = A.\ q_d + A_S.f_s - w_k \quad (2.6)$$

olur.

Yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda zemin, kohezyonsuz zemin olarak tanımlanırsa jet kolonlarının taşıma kapasitesi;

$$Q_d = A.\ q_d \quad (2.7)$$

$$q_d = p_0 N_q + K_2 \gamma_2 N_\gamma B \quad (2.8)$$

$$p_0 = \gamma D_f \quad (2.9)$$

olur. Burada;

p_0 : Kolon ucuna gelen efektif basınç gerilmesi

K_2 : Geometri katsayısı

B : Kolon çapı ya da kenarı

N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları olarak tanımlanmıştır.

Jet grout kolonu kesiti dairesel formda kabul edilir. Hesapta K_2 katsayısı 0,3 olarak kullanılır. Kolon çapı ya da kenarını içeren terim (B), kolon çapının düşük olduğu düşünülecek olursa göz ardı edilebilmektedir. Terzaghi taşıma gücü katsayıları verilen tablodaki değerlerden seçilebilmektedir.

Tablo 2.6 Terzaghi taşıma gücü katsayı değerleri

Ø	**0**	**5**	**10**	**15**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**
Nc	5,7	7,3	9,6	12,9	17,7	25,1	37,2	58,0	96,0	172,0	348,0
Nq	1,0	1,6	2,7	4,4	7,4	12,7	22,5	41,0	81,0	173,0	415,0
Nγ	0,0	0,5	1,2	2,5	5,0	9,7	19,7	42,0	100,0	298,0	1153,0

Kolon ağırlığı bulunurken, jet kolon boyu ve zemin içinde bulunan uzunluğu aynı olacağından, kolonun en kesiti ve uç alanı aynı olur. Böylece;

$$w_k = A.L.\ \gamma_{kazık} = A.\ \gamma.D_f \quad (2.10)$$

$$Q_u = w_k = A.\ D_f.\ N_q\text{-}w_k = A.\ D_f.(\ N_q\text{-}1) \quad (2.11)$$

olur.

Kohezyonsuz zeminlerde c_u=0 olacağından birim alana gelen çevre sürtünmesi;

$$f_s = p_h.\tan\delta \quad (2.12)$$

$$p_h = K.\ p_v \quad (2.13)$$

olur. Burada;

p_h : Çevre sürtünmesi doğrultusunca etkili kazık çevresine olan yatay basınç

K : Yatay toprak basıncı katsayısı

p_v : Eksenel basınç olarak şekilde tanımlanmıştır.

Bu eşitliklerde kullanılan K ve d değerleri verilen tablodan seçilebilmektedir.

Tablo 2.7 Kazık malzemesi- gama açısı- K katsayısı ilişkisi (Kumbasar ve Kip,1985)

Kazık Malzemesi	**δ**	**K Değerleri**	
		Küçük Relatif Sıkılık	Yüksek Relatif Sıkılık
Çelik	20°	0,5	1,0
Beton	3/4Ø	1,0	2,0
Ahşap	2/3Ø	1,5	3,0

Jet kolonları kazık kabulünden beton kazık olarak sınıflandırıldığından, hesaplarda beton kazıklar için K ve d değerleri kullanılacaktır. Bu durumda;

$$f_s = K.\ p_v.\tan\delta \qquad (2.14)$$

olur.

Birim alan çevre sürtünmesi aşağıda verilen eşitlikte görüleceği üzere, kolon boyunun artışıyla doğrusal olarak eksenel basınç da artacaktır. Kolona ait çevre sürtünmesi;

$$Q_f = P.\ D_f.\ f_s \qquad (2.15)$$

$$Q_f = K.\gamma.\ D_f{}^2.\tan\delta \qquad (2.16)$$

olur. Burada;

P : Kazığın çevre uzunluğu olarak tanımlanmıştır.

Jet grout kolonunun tek tabakalı zeminde yapılması durumunda;

$$Q_d = A.\gamma.(N_q\text{-}1) + K.\gamma.\ D_f{}^2.\tan\delta \qquad (2.17)$$

eşitliği kullanılacaktır.

Kolonun birden fazla tabaka bulunduran zemin profilinde yerleşmesi durumunda, çevre sürtünmesi her tabakada ayrı ayrı kolon yüzey alanı, ortalama eksenel basınç, toprak basıncı ve sürtünme açısı değerleri kullanılarak;

$$Q_f = \Sigma A_{si}.K_i.P_{vi}.\tan\delta \qquad (2.18)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Kohezyonsuz zeminlerde jet kolonu taşıma gücü;

$$Q_d = Q_u.\ Q_f\text{-}w_k = A.\gamma.\ D_f\ (N_q\text{-}1) + \Sigma A_{si}.K_i.P_{vi}.\tan\delta \qquad (2.19)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanmaktadır.

Kil içerikli zeminlerde Skempton kabulüne göre Df/B > 2,5 şartı ve kolon en kesitleri daire, kare ya da bunlara yakın biçimde olduğundan;

$N_c = 9.c$ (2.20)

eşitliğiyle hesaplanır. Katsayı olarak 9 değerinin alınabilmesi için kolonun taşıyıcı zeminde 5B kadar yerleşmesi gerekmektedir. Böylece;

$q_d = 9.c_1 + \gamma . D_f$ (2.21)

$f_s = c_u$ kabul edilirse;

$Q_u . = (9. c_1 + \gamma . D_f).A$ (2.22)

$Q_f = A_s . c_u$ (2.23)

$Q_d = (9. c_1 + \gamma . D_f).A + A_s . c_u - w_k$ (2.24)

Kohezyonlu veya kohezyonsuz zemin gruplarında $w_k = A.\gamma . D_f$ kabulü yapılabileceğinden kil içerikli zeminlerde kolon taşıma kapasitesi;

$Q_d = 9. c_1.A + A_s.\alpha . c_2$ (2.25)

eşitliği ile hesaplanabilmektedir. Burada;

c_1 : Jet kolonu ucundaki zeminin drenajsız (CU) kayma dayanımı

c_2 : Jet kolonu çevresindeki zeminin drenajsız (CU) kayma dayanımı olarak tanımlanmıştır.

2.4.6.2 Jet grout kolonları ile iyileşen zeminlerin taşıma gücü hesabı

Jet kolonları ile iyileştirilmiş zeminlerin nihai taşıma gücü çözümü yapılmak istenirse ilk olarak kolonların çevre sürtünmesi ve uç direnci hesaplanır. Daha sonra net kolon taşıma (Q_{net}) miktarı;

$$Q_{net} = \frac{Q_u}{3} + \frac{Q_ç}{2} \quad (2.26)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

İyileştikten sonraki zemin taşıma gücü, iyileşmeden önceki taşıma gücü (q_{ilk}), kolonların net taşıma gücü, iyileşen alan ve jet grout kolonları dikkate alınarak;

$$Q = \frac{(q_{ilk}.(A_{ıslak} - A_{jet}) + Q_{net})}{A_{ıslak}} \quad (2.27)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

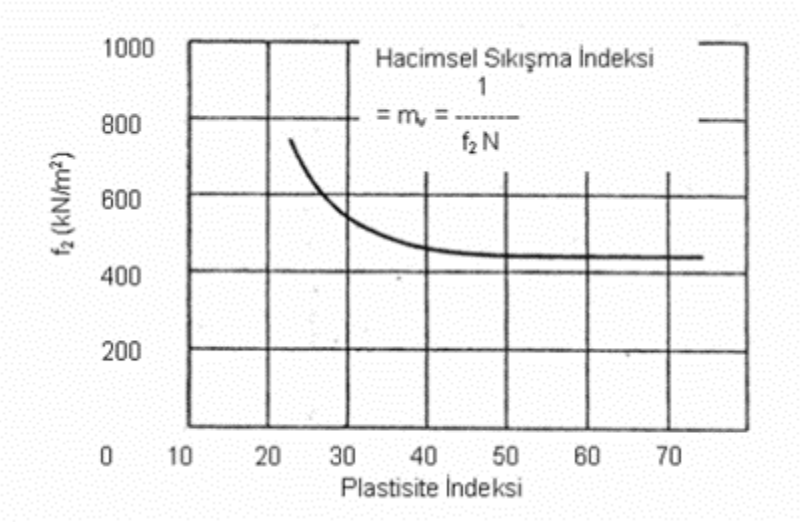
2.4.6.3 Jet grout kolonları ile iyileşen zeminlerin oturma hesabı

Yapıdan gelen yükler, rijit bir ara eleman ile eğer jet kolonlarına aktarılıyorsa ve kolonun uç kısmı sağlam tabaka içerisindeyse, yükler doğrudan olarak kolonlara iletilir ve bu sayede kolonlarda elastik oturma kabulü yapılır. Yapıdan gelen yükler, rijit elemanlar ile taşıyıcı özelliği bulunmayan bir zemin tabakasına oturmuş ise yükün

yüzen elemanlar ile taşındığı kabul edilir. Böylece yüklerin bir kısmı kolonlara bir kısmı da zemin tarafından karşılanmış olur. Gerçek oturmanın, kolonların elastik oturmayla yapacağı oturma miktarından daha fazla olması beklenir. Yapı ile temel arasında belirli kalınlıkta granüler malzeme içerikli bir tabaka yapılırsa, yapıdan aktarılan yüklerin bir kısmı kolonlarla taşınırken bir kısmı da zemin ile taşınmış olur. Granüler malzeme içerikli dolgu tabakası kolonların davranışındaki düzensizliği ortadan kaldırır.

Oturma çözümünde temelden B/3 derinliğinde hayali bir radye temel kabulü yapılır. Hayali radye temel gerilmelerinin ilk jeolojik basıncının %20'sini karşılayan derinlikte hayali radye temel arasında kalan sıkışabilir tabaka kalınlığına göre hesaplar yapılır. Çalışma alanında elde edilen SPT-N değerleri ile hacimsel sıkışma indisi (m_v) hesaplanır. Plastisite indisi (Ip) şekilde önerilen korelasyonla tespit edilir.

$$m_v = \frac{1}{f_2 N_{30}} \tag{2.28}$$



Şekil 2.43 SPT-N değeri ve hacimsel sıkışma indisi grafiği (Stroud,1975)

2.4.6.4 Jet grout ile iyileşen zeminlerin yatak katsayısı ve elastisite modülünün hesaplanması

İyileştirme işlemi yapılmış zeminlerde elastisite modülünün, hesaplanan elastisite modülünden büyük olması istenir. Oturmaya bağlı yatak katsayısı;

$$k = \frac{q}{y} \tag{2.29}$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada;

k : Zeminin yatak katsayısı

q : Muhtemel gerilme

y : Zeminin beklenen oturma miktarı olarak tanımlanmıştır.

Kabul edilen sınır oturma miktarı için istenilen derinlikte elastisite modülü bulunabilir. B genişliğinde temelin B/2 derinliğinde gerilme değeri $q_0/2$ olarak kabulü yapılır. Kabullerden elde edilen herhangi bir derinlikte yatak katsayısı-elastisite modülü bağıntısı;

$$E_s = \frac{q_{ort}/2}{y/b} \tag{2.30}$$

olur. Herhangi bir D derinliği için elastisite modülü;

$$E_s = \mathrm{C}(\mathrm{D} + \frac{B}{2}) = \frac{CB}{2}(\frac{2D}{B}+1) \tag{2.31}$$

Buradaki C değeri;

$$\mathrm{C} = \frac{k_s'}{\frac{2D}{B}+1} \tag{2.32}$$

eşitliğiyle elde edilir.

Yüzeydeki yatak katsayısı ks′ olarak kabul edilirse;

$$E_s = \frac{Bk_s'}{2} \tag{2.33}$$

eşitliği elde edilir.

Zemine ait elastisite modülü-C ilişkisi;

$$E_s = \mathrm{C.Z} \tag{2.34}$$

olur. Burada;

E_s : İlgili derinlikteki zeminin elastisite modülü

q_{ort} : Zemin ortalama gerilme değeri

B : Temel genişliği

ks′ : İlgili derinlikte yatak katsayısı

C : sabit

Z : Derinlik olarak tanımlanmıştır.

Jet kolonları ile iyileştirilmesi yapılacak zemine ait elastisite modülü, istenilen derinlikteki oturma durumuna bağlı hesaplanan elastisite modülü;

$$E_{ort} = \frac{A_{jet}}{A} E_{jet} + \frac{A_{iyileşen} + A_{jet}}{A} E_s \tag{2.35}$$

eşitliğiyle hesaplanabilir. Burada;

$A_{iyileşen}$: İyileşen alan

A_{jet} : Jet grout kolon alanları

E_s : İyileşecek zemin elastisite modülü

E_{jet} : Jet grout kolonuna ait elastisite modülü olarak tanımlanmıştır.

Tablo 2.8 Farklı zemin türlerinde izin verilen oturma değerleri (Yerson,2009)

		Toplam Oturma	**Farklı Oturma**
Yüzeysel Temel	Kil	60 mm	40 mm
	Kum	40 mm	25 mm
Radye Temel	Kil	100 mm	40 mm
	Kum	60 mm	25 mm

2.4.7 Jet grout ile ilgili parametrelerin hesaplanması

2.4.7.1 Çimento miktarının hesaplanması

Derinliği 1m olan alanın ıslah edilmiş zemin hacmi (V);

$$V = \pi . r^2 . h \qquad (2.36)$$

denklemi ile bulunur.

1 metre derinlik için iyileşecek zeminde kullanılacak çimento miktarı; iyileşecek zemin hacmi ile kullanılacak çimento miktarının çarpımı ile belirlenmektedir. Çimento miktarının belirlenmesi, projede gerek duyulan mukavemet değerine göre hesaplansa da farklı zemin profilleri için kullanılan çimento miktar aralıkları tabloda verilmiştir.

Tablo 2.9 Zemin tiplerine göre çimento miktarları (Özaydın,1970)

Zemin Tipi	**Ağırlıklı Olarak Çimento Yüzdesi**
İnce Kırılmış Kaya	0,50-1,00
İyi Derecelenmiş Kumlu Kil Çakıllar	2,00-4,00
İyi Derecelenmiş Kum	2,00-4,00
Kötü Derecelenmiş Kum	4,00-6,00
Kumlu Kil	4,00-6,00
Siltli Kil	6,00-8,00
Ağır Kil	8,00-12,00
Organik Zeminler	10,00-15,00

Tablo 2.10 Farklı zeminlerde imal edilen jet grout kolonlarında kullanılan çimento miktarı (Burke,2004)

Zemin Türü	**Kolondaki Çimento Miktarı (kg/m^3)**
Kumlar	150-250
Siltler ve Siltli Kumlar	200-275
Killer	250-350
Organik Siltler ve Turbalar	300-400

Tablo 2.11 Sülfat miktarına göre çimento kullanımı (Yerson,2009)

Su İçindeki Sülfat mg/lt	Sülfat Riski	Kullanılacak Çimento Türü	Maksimum su-çimento oranı
0-150	İhmal Edilebilir	—	—
150-1500	Orta	II	0,50
1500-10.000	Ciddi	V	0,45
>10.000	Çok Ciddi	V+Puzolan	0,45

2.4.7.2 Tij çekme hızı hesabı

Tij çekme hızının hesaplanmasında genel prensip olarak, bir metrelik uzunluktan bir dakika içerisinde çıkan enjeksiyon miktarı bilinmelidir. Jet grout ekipmanında bulunan nozülden, enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı;

$$V = \sqrt{2.g.h} \quad (2.37)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

h : Hidrostatik yükseklik

g : Yerçekimi ivmesi olarak tanımlanmıştır.

Hidrostatik yükseklik (h) enjeksiyon basıncının, jet grout malzemesinin özgül ağırlığına oranından elde edilir.

$$h = \frac{\text{enjeksiyon basıncı}}{\text{grout özgül ağırlığı}} \quad (2.38)$$

2.4.7.3 Nozülden geçen enjeksiyon malzemesinin çıkış hızı hesabı

Nozülden geçen malzeme çıkış hızı ;

$$V = \sqrt{2.g.h} \quad (2.39)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

2.4.7.4 Enjeksiyon malzemesi miktarı hesabı

Bir saniye sürede nozülden çıkan enjeksiyon malzemesi miktarı (Q);

$$Q = V \cdot A \quad (2.40)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Bu süre;

$$T = \frac{\text{enjeksiyon hacmi}}{\text{1 sn'de nozülden çıkan enjeksiyon miktar}} \quad (2.41)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır.

2.4.7.5 Püskürtme enerjisi hesabı

Püskürtme enerjisi (E);

$$E = \frac{P.Q}{V_{çekme}} \qquad (2.42)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

P : Püskürtülen jet grout basıncı

Q : Jet grout malzemesi debisi

$V_{çekme}$: Çekim hızı (m/sn) olarak tanımlanmıştır.

Genel olarak aşağıdaki tabloda verilen farklı nozül boyutları ve farklı basınçta çalışıldığında, nozülden geçen grout debisi belirlenmiştir (Melegary-Garassino, 1997).

Tablo 2.12 Farklı nozül çapları ve basınçta nozülden geçen grout debisi

Nozül Çapı															
Basınç	1,4	1,6	1,8	2,0	2,4	2,8	3,0	3,2	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
-	Bir Nozülden Geçen Grout Miktarı (Debi)														
Bar	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**	**lt/sn**
300	18	24	30	37	63	73	83	96	114	148	188	232	280	334	392
350	20	26	32	40	58	78	90	103	123	160	203	250	303	380	423
400	21	27	35	43	62	75	94	110	131	171	217	268	324	385	452
450	22	29	37	45	65	89	102	116	139	182	230	284	343	409	450
500	23	31	39	48	69	94	108	123	147	192	242	289	352	430	506
550	25	32	41	50	72	98	113	129	154	201	254	314	380	452	530
600	26	34	42	52	75	103	118	134	161	210	255	326	397	472	554

2.4.8 Kontroller ve testler

2.4.8.1 Karot numunelerinin alınması

Arazide kolonlardan sökülüp alınan silindir numuneleri üzerinde laboratuvarda yapılan serbest basınç deneyiyle jet grout kolonlarının basınç dayanımı elde edilir. Numuneler, yapım sırasında kolon henüz prizini almamışken piston numune alıcı ile

elde edilir. Prizini tamamlamış kolon üzerinde ise karot numunesi alınır. Serbest basınç deneyinde tercihen deformasyonlar bulunarak; deformasyon modülü, jet kolonunun elastisite modülü (E_{jg}) elde edilir.



Şekil 2.44 Karot numunelerin alınması

Deneylerden elde edilen dayanım değerlerinin servis yüklerini belli bir güvenlik faktörü ile taşıdıkları ortaya konulmalıdır. Karot numuneleri uygulanmış kolondan, yapım tarihinden 28 gün sonra tekrardan alınmalıdır.

2.4.8.2 Kazık yükleme deneyi

Projede jet kolon yüklerinin ve jet kolon imalatı kalitesinin tespit edilmesi amacı ile proje kapsamında oluşturulan kolonlardan seçilecek olan bir jet kolonu üzerinde kolon yükleme deneyi yapılır. Yükleme deneyi için bir adet basınç kolonu ile iki adet çekme kolonu olarak kullanılacak kolonlar yapılmalıdır. Deney doğrultusunda basınç kolonuna statik eksenel basınç yükü yüklenerek yük-oturma, yük-zaman ve oturma-zaman grafikleri hazırlanır.

Jet grout kolonunun toplam taşıma kapasitesi, kolonun çevresi ve ucu tarafından taşınan toplam kapasitedir. Deney yükü için ise jet grout kolonunun toplam kapasitesinin 1,5 katı göz önüne alınmalıdır. Deney kolonları, göçene kadar veya en fazla kabul edilebilir oturma meydana gelene kadar yüklenir. Göçme yükü;

1) Yükün daha fazla artmadığı ama oturmanın devam etmesi halindeki yük,
2) Kolon çapının yüzde onu kadar bir toplam oturmaya yol açan yük

tanımlamalarından birine kıyasla seçilir.



Şekil 2.45 Kazık yükleme deneyi

2.4.8.3 Kazık süreklilik deneyi

Kazık çap ve boy sürekliliğinin kontrolü için uygulanan kazık süreklilik deneyinde, kazıkların üst ucundan bir çekiç darbesi verilmektedir. Bu darbenin ivme sinyali, kazık üstüne geçici olarak yapıştırılan bir 'akselometre' yardımı ile algılanarak sayısallaştırılıp bilgisayara kaydedilir.

Formüle döküldüğü zaman;

$$X = 0{,}5.C.t \qquad (2.43)$$

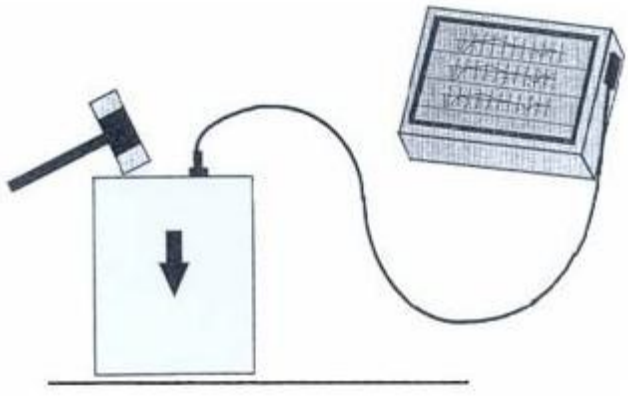
eşitliğiyle ifade edilir. Burada;

X : Yansıma derinliği

t : Darbeden yansıma anına kadar geçen zaman

C : Dalganın yayılma hızı (m/sn) olarak tanımlanmaktadır.

Bu şekilde derinliğe bağlı sayısallaştırılmış hız sinyali grafiği yorumlanarak kazıkta meydana gelecek olan boy ve uç şekil değişiklikleri anlaşılabilmektedir.



Şekil 2.46 Kazık süreklilik deneyi şeması

Ancak bu deney, taşıma kapasitesini tahmin etmek için kullanılmamalıdır. Bu deney; karotlu sondaj, kazı araştırması, yükleme testleri gibi zaman alıcı ve masraflı yöntemlerle karşılaştırıldığında çabuk ve ucuz sonuçlar sunmaktadır. Kazık değeri ekranda hemen izlenebilir ve çıktı alınabilir. Daha detaylı analizler için aletin kendi belleğinde depolanabilir.

2.4.8.4 Çap kontrolü

Çalışma sahasından seçilecek, imalatı bitmiş kolonların etrafı kazılarak kolonlar ortaya çıkarılır. Kolon boyları incelenerek istenen elde edilip edilmediği kontrol edilir.



Şekil 2.47 Çap kontrolü yapılan bir jet enjeksiyon uygulaması

3. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasında, Dicle Üniversitesi kampüs sınırları içerisinde yer alan Fetih Camii yolunda oluşan çökmeler ve deplasmanların nedenlerinin araştırılması, geoteknik açıdan irdelenmesi ve çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, öncelikle bir arazi çalışması gerçekleştirilmiş ve araziden elde edilen numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Sonraki aşamada problem sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir.

3.1 Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Söz konusu alanda her birinin derinliği 20 m olan 5 adet zemin sondajı ve 5 adet araştırma çukuru açılmıştır. Zemin incelemesi amacıyla açılan sondajlarda, yüzeyden itibaren ince çakıllı siltli kil ve daha derinlere inildikçe killi siltli kumlu çakıl birimlerin yer aldığı belirlenmiştir.



Şekil 3.1 Yolun haritadaki görünüşü

Sondaj kuyularından ve araştırma çukurlarından elde edilen zemin profili şu şekildedir:

SK-1 Sondajı : 0,00 – 10,00 metre arası çakıllı siltli kil, 10,00 – 20,00 metre arası siltli killi kumlu çakıl birimi tespit edilmiştir.

SK-2 Sondajı : 0,00 – 10,00 metre arası çakıllı siltli kil, 10,00 – 20,00 metre arası killi siltli kumlu çakıl birimi tespit edilmiştir.

SK-3 Sondajı : 0,00 – 10,00 metre arası ince taneli çakıllı siltli kil, 10,00 – 20,00 metre arası siltli kumlu killi çakıl birimi tespit edilmiştir.

SK-4 Sondajı : 0,00 – 15,00 metre arası dolgu, 15,00 – 20,00 metre arası siltli kumlu killi çakıl birimi tespit edilmiştir.

SK-5 Sondajı : 0,00 – 10,00 metre arası killi kumlu siltli çakıl, 10,00 – 20,00 metre arası killi siltli kumlu çakıl birimi tespit edilmiştir.

AÇ-1 : 0,00 – 4,00 metre arası nebati toprak, 0,40 – 2,10 metre arası siltli çakıllı kil, 2,10 – 4,00 metre arası siltli killi çakıl birimi tespit edilmiştir.

AÇ-2 : 0,00 – 0,30 metre arası nebati toprak, 0,30 – 2,40 metre arası çakıllı siltli kil, 2,40 – 4,00 metre arası siltli kumlu killi çakıl birimi tespit edilmiştir.

AÇ-3 : 0,00 – 1,00 metre arası nebati toprak, 1,00 – 4,00 metre arası çakıllı siltli kil birimi tespit edilmiştir.

AÇ-4 : 0,00 – 3,00 metre arası dolgu, 3,00 – 4,00 metre arası siltli çakıllı kil birimi tespit edilmiştir.

AÇ-5 : 0,00 – 2,50 metre arası dolgu, 2,50 – 4,00 metre arası siltli çakıllı kil birimi tespit edilmiştir.

Temel sondajlarında yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. İnceleme alanında yapılan araştırma çukuru AÇ-1'de 2,60 metrede yeraltı suyuna rastlanılmıştır.

Alınan numuneler üzerinde, Baran Jeolojik Jeoteknik Lab. Mad. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.'nde yapılan laboratuvar deney sonuçları Şekil 3.2'deki gibidir:

			TS EN ISO 17892-1	TS EN ISO 17892-2					TS 1900-1		TS 1900-1			TS 1500	TS 699	TS EN 1926	TS 1900-2			TS 1900-2		TS 1900-2	
Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal Yoğunluk (g/cm³)	Kuru Yoğunluk (g/cm³)	Özgül Ağırlık Gs	Boşluk Oranı	Hidrometre	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			ZEMİN SINIFI	DENEYLER								
									No:4 Kalan (%)	No: 200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)		Nokta Yükleme	Kayada Tek Eksenli Basınç	Direk Kesme (UU)		Serbest Basınç	Üç Eksenli Basınç (UU)		Konsolidasyon	
															Is_{50} (kgf/cm²)	q_u (kgf/cm²)	c (kgf/cm²)	ϕ (°)	q_u (kgf/cm²)	c (kgf/cm²)	ϕ (°)	Şişme Yüzdesi	Şişme Basıncı (kgf/cm²)
SK-1	UD	5.50	27.31	1.85					1.84	72.19	60.1	29.0	31.1	CH						0.51	6	1.53	0.244
SK-2	UD	3.50	24.56	1.84					4.12	80.39	59.9	28.1	31.8	CH						0.49	7	1.50	0.231
SK-3	UD	3.00	23.12	1.88					0.66	81.83	61.6	26.2	35.4	CH						0.52	7		
SK-4	UD	5.50	27.16	1.87					16.67	58.03	57.0	27.5	29.5	CH						0.48	6		
SK-5	UD	5.50	23.02	1.85					0.78	84.29	61.2	30.1	31.1	CH						0.52	5		
AÇ-1	UD	2.00	28.18	1.86					0.39	82.21	64.0	29.4	34.6	CH						0.57	6		
AÇ-2	UD	2.50	27.37	1.83					3.37	75.49	63.5	28.7	34.8	CH						0.53	6		
AÇ-3	UD	3.00	22.91	1.83					0.68	79.32	62.2	30.5	31.7	CH						0.60	5		
AÇ-4	UD	3.00	19.65	1.80					5.51	78.08	63.7	33.8	29.9	CH						0.55	7		
AÇ-5	UD	3.00	23.08	1.82					3.81	79.37	60.4	31.6	28.8	CH						0.61	6		

Şekil 3.2 Laboratuvar deney sonuçları

Zemin emniyet gerilmesini belirlemek amacıyla sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen üç eksenli basınç deneyi sonuçları kullanılarak taşıma gücü ile ilgili çözümler yapılmıştır. Taşıma gücü hesapları sığ temele göre yapılmış olup elde edilen parametrelerden zemin emniyet gerilmesi $\sigma_{z,em}$ = 13,1 t/m^2 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3.1 Zemin parametreleri tablosu

Sondaj No	**Zemin Sınıfı**	**Yatak Katsayısı (t/m^3)**	**Zemin Emniyet Gerilmesi (kg/cm^2)**
SK-3	ZD	1572	1,31



Şekil 3.3 Yolun durumunun arazideki görünümü

Zemin incelemesi doğrultusunda yapılan geoteknik değerlendirme şu şekilde oluşmuştur:

1) Söz konusu yol dolgusunun yaklaşık 20 – 25 yıllık olduğu bilinmektedir. İncelenen yol dolgusu, bir vadi geçişinde yapılmış olup, vadi geçişlerinde

yaşanan problemler burada da yaşanmaktadır. Düşük taşıma gücü, yakın civara düşen yağış sularının kullandığı güzergah olmasına bağlı olarak zeminde sızma gibi problemler bunlar arasında sayılabilir.

2) Gerçekleştirilen zemin etüd raporuna göre, SK-4 sondaj kuyusunda 0,00 – 15,00 metre arası dolgu, 15,00 – 20,00 metre arası siltli killi çakıl birimi tespit edilmiştir. Dolgu imalatında kullanılan malzeme siltli killi çakıl birim olarak görülmektedir. Dolgu imalatı sırasında mühendislik kurallarına uygun imal edilip edilmediği (optimum su muhtevası, proktor sıkılığı, tabakalar halinde serilerek yeterli sıkıştırma yapılıp yapılmadığı) bilinmemektedir. Bu imalat sırasında fenni şartlara kısmen uyulduğu düşünülmektedir.
3) Yol dolgusu değişken yüksekliğe sahip olup dolguda göçen kısımlar, dolgu yüksekliğinin en fazla olduğu bölgeye denk gelmektedir. Dolgu yükünün zemine yapacağı basınç yaklaşık 20 t/m^2 iken, zemin emniyet gerilmesinin 13,1 t/m^2 olduğu zemin etüd raporundan görülmektedir. Bu durumda doğal zeminin dolgu yükünü karşılayamadığı görülmektedir.
4) İmalatı yapılan dolgunun vadi geçiş bölgesinde olması nedeniyle su akımlarına maruz kalmaktadır. Bu suları deşarj edebilmek amacıyla dolgu tabanında betonarme bir kutu menfez mevcuttur. Ancak alanda yapılan incelemede kutu menfezin hasar aldığı ve efektif bir şekilde çalışmadığı belirlenmiştir.
5) Dolguda yapılan incelemede dolgu gövdesini de içine alan bir heyelanın meydana gelmiş olduğu görülmüştür. Buna yönelik olarak, şev topuk bölgesinde topuk yüklemesi amaçlı ilave bir dolgunun yapıldığı ancak bu önlemin de heyelanları önlemede yetersiz kaldığı görülmüştür.

Kısaca, dolgu zati ağırlığının taban zemini tarafından karşılanamaması ve buna bağlı olarak dolgu taban zemininde taşıma gücü problemi olması, dolgunun imalat yönteminin kontrollü bir şekilde yapılmamış olması, dolgunun oturduğu vadide suların deşarj olamayışı, kutu menfezin hasar almış olması ve gelen suların kutu menfez önünde birikmesi yolun göçmesine sebep olmuştur.

Sonuç olarak; gerek dolgu gerekse yetersiz taşıma gücüne sahip temel zemininin iyileştirilmesi gerekmektedir. Kutu menfezin hasar almış olmasından dolayı yeniden

imal edilebilmesi için doğal zemin üzerindeki dolgunun tamamen kaldırılması gerekmektedir. Dolgu kaldırıldıktan sonra yol güzergahı boyunca doğal zeminde jet grout yöntemi ile iyileştirme yapılması öngörülmektedir. Böylece doğal zeminin taşıma gücü ve oturma karakteristikleri iyileştirilecek ve dolgudan gelen yükleri güvenle taşıyabilecektir. Jet grout imalatından sonra menfez imalatı gerçekleştirilecektir. İnşa edilecek dolgu, mühendislik dolgusu olarak tasarlanacak ve tabakalar halinde sıkıştırılarak gerekli laboratuvar ve arazi kontrol testlerine tabi tutulacaktır. Sıkıştırmaya uygun dolgu malzemesi seçilecek ve dolgu malzemesi ile geogrid ara katmanlar kullanılarak dolgu imalatı gerçekleştirilecektir. Yamaçtan gelen suyun, dolgu yakınlarında kolaylıkla toplanarak kutu menfezden iletilebilmesi için, dolgunun hemen bitiminde bir drenaj hattı oluşturulmalıdır.

3.2 Yöntem

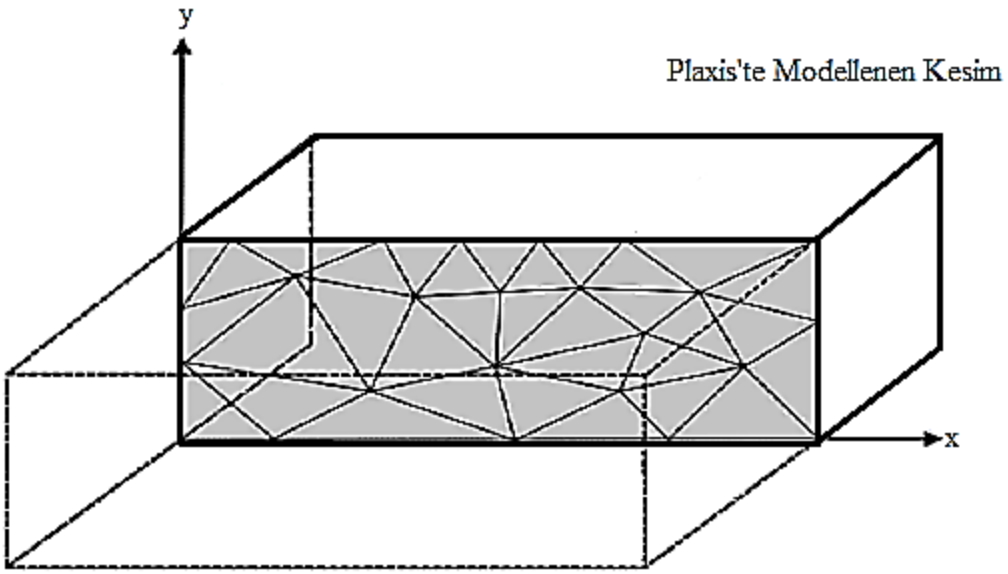
Bu tez çalışmasında, ele alınan vaka analizinde yöntem olarak Plaxis paket programından yapılan çözümlemeler yardımıyla sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

3.2.1 Plaxis paket programı

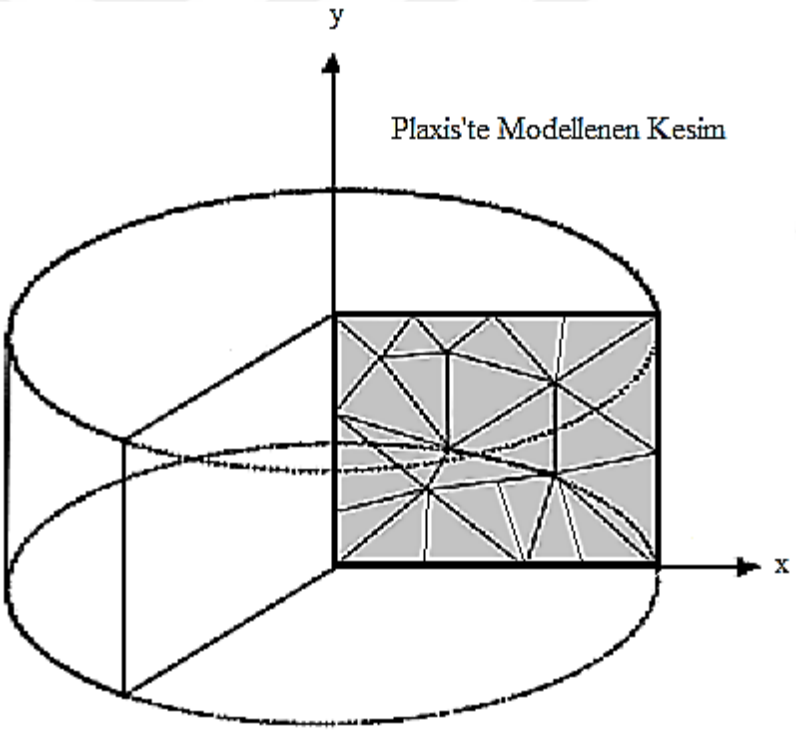
Sonlu elemanlar yöntemi ile oluşturulan sistemlerin çözümü için günümüzde artık teknolojiden faydalanılmaya başlanmıştır. Mühendisler, sorunların çözümü için yazılım dilleri geliştirip kullanmaya başlamışlardır. Bu durumu genele yayabilmek için şirketler programları geliştirip kullanıcıların kullanımına hazır hale getirmişlerdir. Ansys, Abaques, Plaxis vb. gibi paket programlar bunların öncülerindendirler.

Zemin ve geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yöntemi ile uygulamaya konan paket programları ile gerilmeler, yanal ve düşey yerdeğiştirmeler, boşluk suyu basınçları ve yeraltı suyu akışı, konsolidasyon oranı vb. belirlenebilmektedir. Bu tez içeriğinde Plaxis paket programından faydalanılmıştır.

Plaxis (Finite Element For Soil and Rock Analysis) paket programı 1987 yılında Hollanda'nın Delft Teknik Üniversitesi aracılığıyla yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi (FEA) ile analizinin yapılabilmesi için tasarlanmıştır. Plaxis programı, zemin ve geoteknik mühendisliğindeki birçok sorunu çözebilecek şekilde tasarlanmış olsa da farklı alandaki sorunları da çözebilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi hakkında uzman olmayan mühendislerin bile rahatlıkla kullanabileceği şekilde yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında iki boyutlu problemler (2D) için tasarlanmış olan Plaxis 8.6 versiyonu kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Düzlem şekil değiştirme modeli



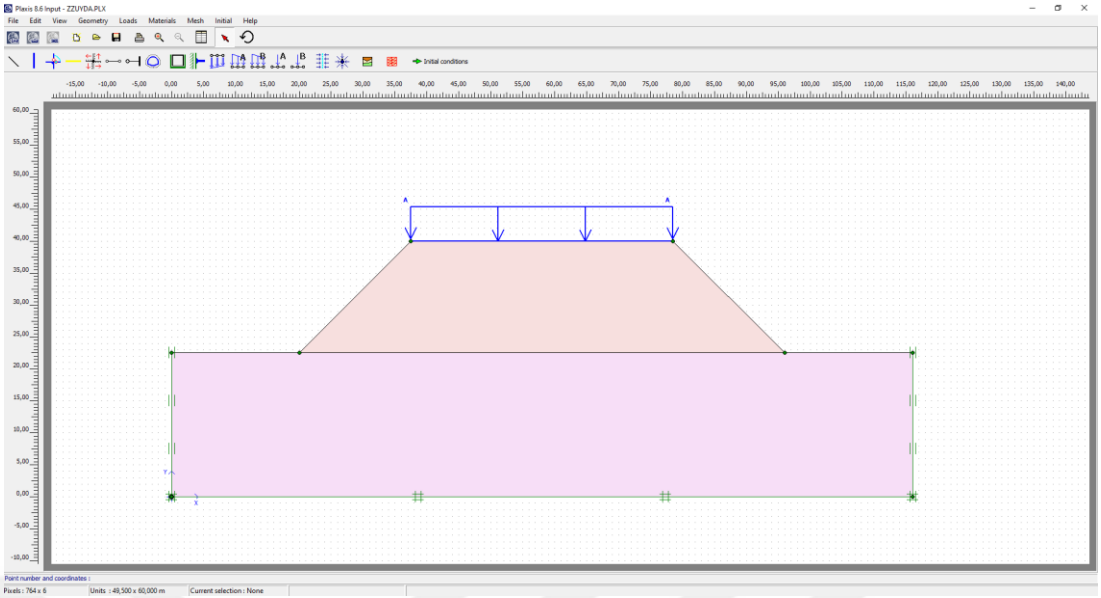
Şekil 3.5 Eksenel simetrik model

Plaxis programında sonlu elemanlar ağı oluşturulurken yalnızca üçgen elemanlarla oluşturulurlar. Bu üçgen elemanlar 6-15 düğüm noktalı olarak seçilebilmektedir. Analizin hangi duruma göre modelleneceği ve kaç düğüm noktasının seçileceği program ilk açıldığında görülen pencereden yapılmaktadır. Ayrıca bu pencereden problem ile alakalı boyut bilgileri de girilebilir. ‘İleri’ (Next) butonuyla ikinci

pencereye geçerek problemin tasarım boyutlarını ve kullanmak istenilen birimlerin girilmesi istenmektedir.

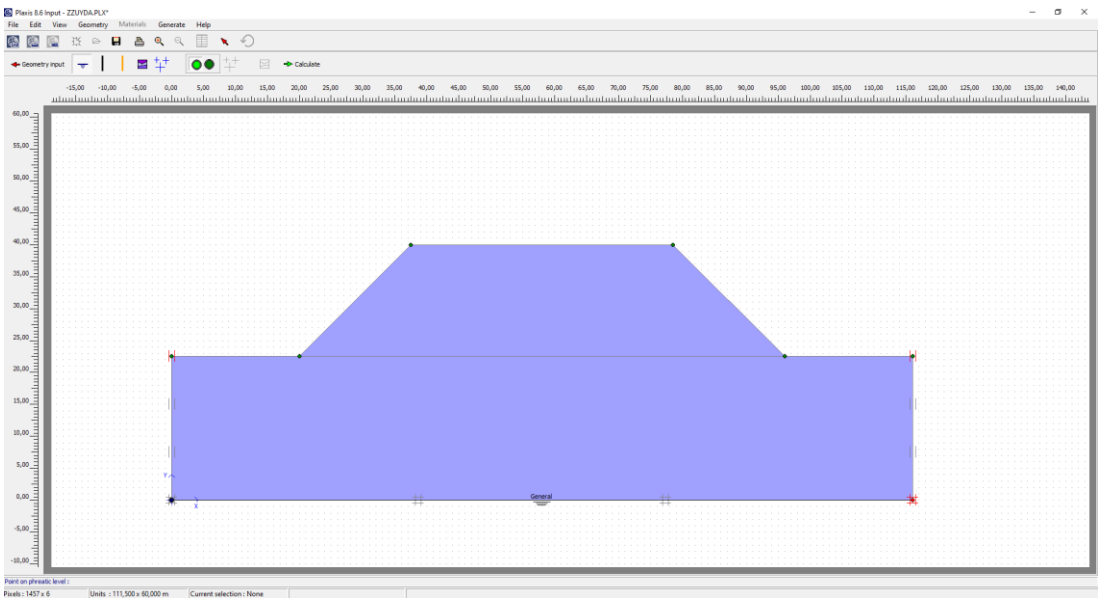


Şekil 3.6 Genel ayarlar (general settings) pencereleri



Şekil 3.7 Plaxis programına ait ‘girdi’ (input) penceresi

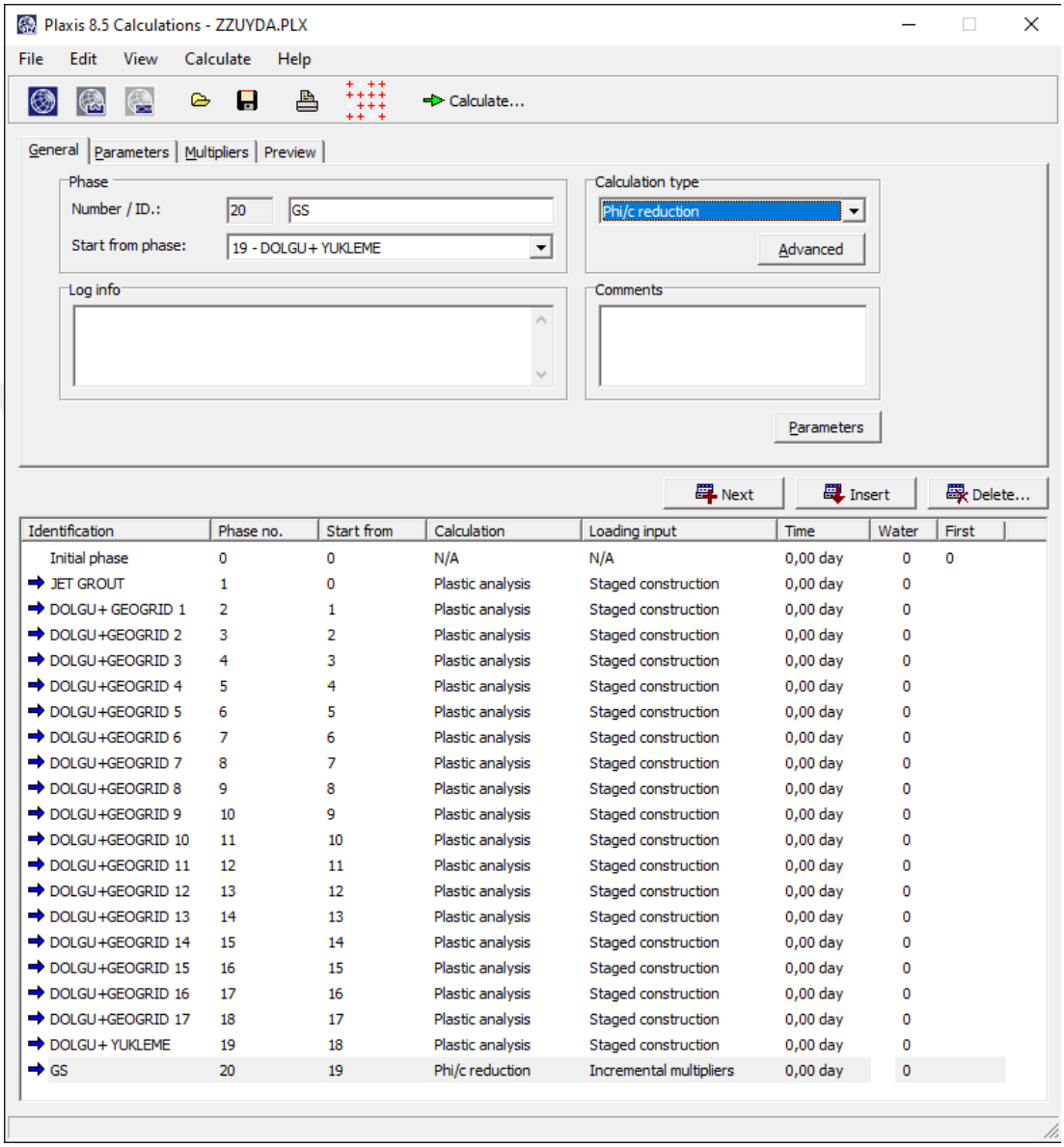
Sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra programda başlangıç koşullarının belirlenmesi gerekir. Bunun için programda ‘başlangıç koşulu’ (inital condition) komutu seçilir ve böylece ilk işlem bitmiş olur. Burada varsa yeraltı su seviyesi ve buna bağlı olarak boşluk suyu basıncı hesaplanır. Efektif gerilmeler de bu pencerede bulunan komutlar yardımıyla hesaplanır.



Şekil 3.8 Plaxis programında ‘başlangıç koşulu’ (initial condition) penceresi

‘Başlangıç koşulu’ (Initial condition) penceresinde bulunan ‘hesapla’ (calculate) komutu ile ‘hesaplamalar’ (calculations) penceresine geçilir. Bu pencerede bulunan komutlar yardımı ile istenen hesaplama yöntemi belirlenir. Hesaplanacak parametreler

oluşturulur ve grafik için nokta ataması belirlenir. Bu pencerede bulunan ‘hesapla’ (calculate) komutu ile çözümler yapılır. Çözümlerden sonra bu pencerede ‘çıktı’ (output) komutu ile istenen sonuçlar incelenebilir.



Şekil 3.9 Plaxis programında ‘hesaplama’ (calculations) penceresi

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

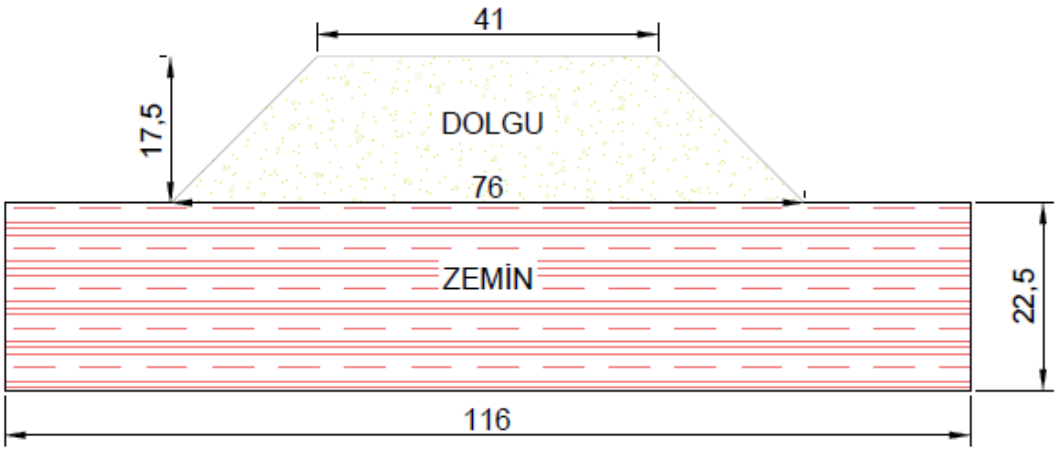
Bu bölümde, Dicle Üniversitesi kampüs alanında bulunan Fetih Cami yolunda meydana gelen geoteknik problemlerin, saha verileri kullanılarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, ilk aşamada, mevcut durum modellenerek deplasman ve güvenlik sayıları elde edilmiştir. Daha sonra, doğal zeminin jet grout yöntemi ile iyileştirilerek ve dolgunun geogrid kullanılarak güçlendirilmesi durumları için analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1 Sonlu Elemanlar Analizi

Fetih Cami yolunun iyileştirme öncesi ve sonrası durumu, zemin incelemesinden elde edilen parametreler kullanılarak, PLAXIS bilgisayar programı ile analiz edilmiştir.

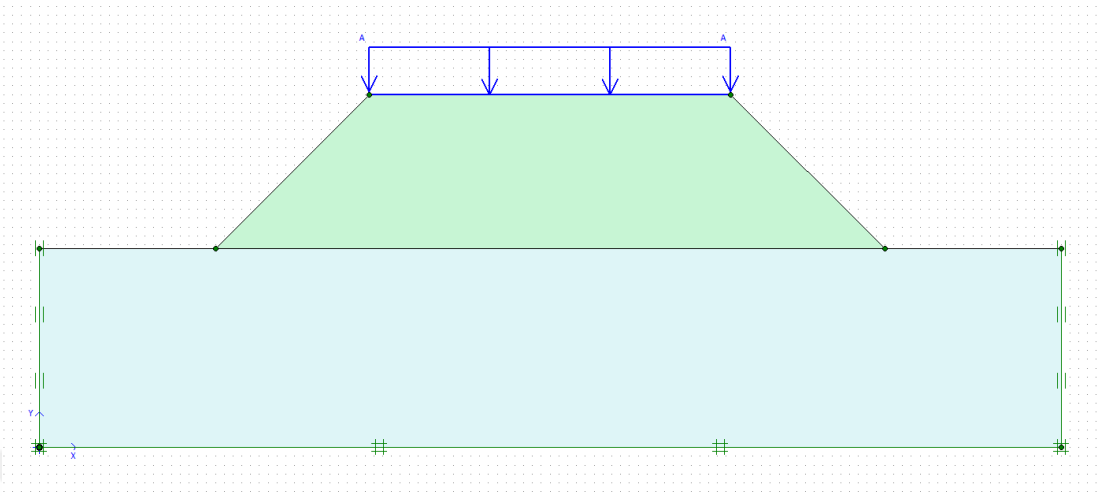
Model geometrisi Şekil 4.1 ve 4.2'de verildiği gibi programa tanıtılmıştır. Dolgu şevi 1yatay/1düşey, dolgu yüksekliği yaklaşık 17,5 metre, dolgunun zemin tabanına oturduğu mesafe 76 metre olarak girilmiştir.

Malzeme parametreleri, iyileştirme öncesi zemin incelemesinden alınmış olup, iyileştirme sonrası parametreler ile ilgili literatür verilerinden faydalanılmıştır. PLAXIS analizlerinde 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar kullanılmıştır. Sonlu elemanlar ağı oluşturulurken, mesh analizleri gerçekleştirilmiş ve sonuçların etkilenmediği medium mesh seçeneği kullanılarak sonlu eleman ağı oluşturulmuştur.



Şekil 4.1 Model ölçüleri

Analizlerde, çift şeritli yolda trafik yükü KGM şartnamesine göre güvenli tarafta kalınarak 10 kN/m^2 olarak alınmıştır.



Şekil 4.2 Model geometrisi

Dolgu ve doğal zemin parametreleri Tablo 4.1'de sunulmaktadır.

Tablo 4.1 İyileştirme öncesi zemin parametreleri

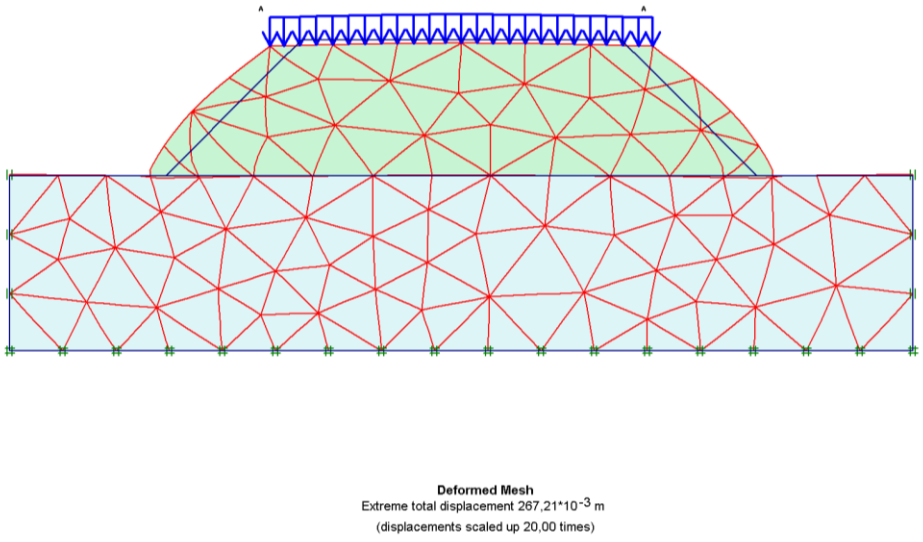
Parametre	**Adı**	**Zemin**	**Dolgu**	**Birimi**
Malzeme Modeli	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	-
Malzeme Davranışı	Tip	Drenajlı	Drenajlı	-
Doygun Olmayan Birim Hacim Ağırlığı	γ_{unsat}	20	18,50	kN/m^3
Doygun Birim Hacim Ağırlığı	γ_{sat}	21	19,50	kN/m^3
Young Modülü	E	30000	7000	kN/m^2
Poisson Oranı	υ	0,25	0,20	-
Kohezyon	c	50	50	kN/m^2
İçsel Sürtünme Açısı	Ø	15	6	°

Tablo 4.1'de verilen değerler kullanılarak gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

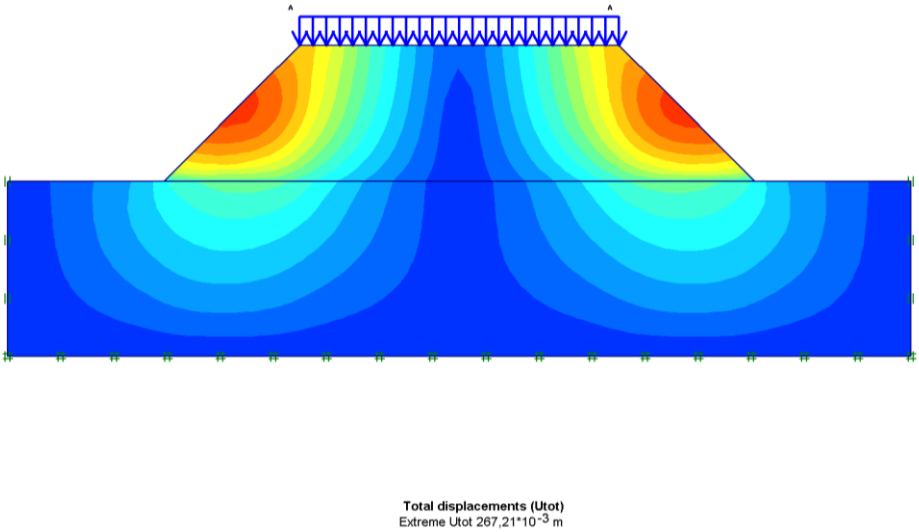
4.2 İyileştirme Öncesi Durum İçin Analiz Sonuçları

İyileştirme öncesi mevcut durum analizlerinde, zemin incelemesi sonucu elde edilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilen analiz ile oluşan deplasmanlar ve güvenlik sayısı elde edilmiştir. Analizlerde, öncelikle trafik yükü altında, deplasman ve gerilme değerleri elde edilmiş, ikinci aşamada ise mukavemet azaltma yöntemi (strength reduction method) ile güvenlik sayısı elde edilmiştir. Mukavemet azaltma yönteminde, kayma mukavemeti parametreleri, c ve ϕ şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar azaltılır (Keskin ve Laman, 2007).

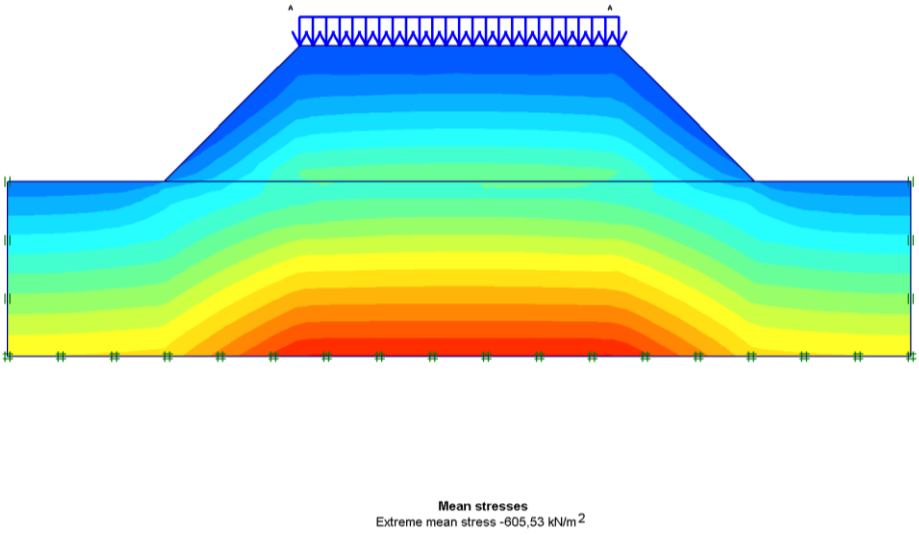
Yapılan analizlerden, sisemde toplam deplasmanlar 26,72 cm. olarak elde edilmiştir (Şekil 4.3). Dolgu şevinin kaymaya karşı güvenlik sayısı ise GS=1,12 olarak bulunmuştur (Şekil 4.6). Analizler sonucu elde edilen, toplam deplasmanlar ve gerilme dağılımları ise sırasıyla Şekil 4.4 ve 4.5'de görülmektedir.



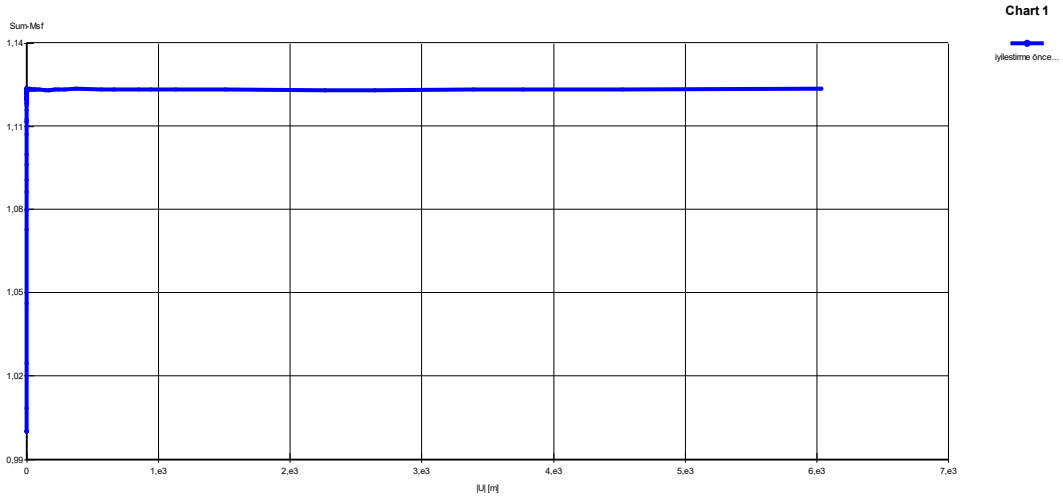
Şekil 4.3 Deforme olmuş sistem



Şekil 4.4 Toplam yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.5 Gerilme dağılımı



Şekil 4.6 İyileştirme öncesi sistemin güvenlik faktörü (GS=1,12)

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde, sahadaki duruma benzer şekilde izin verilebilir sınırlar dışında deplasman değerlerinin elde edildiği ve statik durumdaki dolgu şevi güvenlik sayısının oldukça düşük olduğu görülmektedir. Buna göre, taşıma gücü düşük doğal zeminde bir iyileştirme yapılması, dolgunun ise yeniden sıkıştırılarak güvenlik sayısının arttırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

Doğal zeminde iyileştirme yöntemi olarak, alüvyon zemin birimlerinin varlığı ve diğer yöntemlere oranla daha düşük maliyetinden dolayı jet grout yöntemine karar verilmiştir. Kontrolsüz dolgu birimler sahada oldukça büyük bir yüksekliğe sahiptir (yaklaşık 17,50 metre). Kontrolsüz dolgu birimlerin kazılarak uygun bir dolgu malzemesi ile mühendislik tekniğine uygun olarak tabakalar halinde sıkıştırılması gerekmektedir. Yüksek şev açısı göz önüne alındığında, stabilitenin arttırılması amacıyla dolgu tabakaları arasına belirli derinliklerde geogrid malzeme yerleştirilmesine karar verilmiştir.

4.3 Zemin İyileştirme ve Dolgu Güçlendirme İçin Analizler

Taşıma gücü düşük doğal zeminde yapılacak jet grout uygulamasında, güvenli ve ekonomik tasarım için jet grout kolonlarının boylarının ve kolon aralıklarının belirlenmesi için analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dolgu içerisine yerleştirilecek geogrid tabakalarının serim aralıkları için optimum değer analizlerle belirlenmiştir. Analizlerde model zemin, jet grout kolonları ve geogrid tabakaları için kullanılan malzeme parametreleri Tablo 4.2'de görülmektedir.

Tablo 4.2 Analizlerde kullanılan parametreler

Parametre	Adı	Zemin	Dolgu	Jet Grout	Geogrid	Birimi
Malzeme Modeli	Model	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Elastik	Elastik	-
Malzeme Davranışı	Tip	Drenajlı	Drenajlı	-	-	-
Doygun Olmayan Birim Hacim Ağırlığı	γ_{unsat}	20	18,50	-	-	kN/m^3
Doygun Birim Hacim Ağırlığı	γ_{sat}	21	19,50	-	-	kN/m^3
Young Modülü	E	30000	7000	42500	-	kN/m^2
Poisson Oranı	υ	0,25	0,20	0,20	-	-
Kohezyon	c	50	70	-	-	kN/m^2
İçsel Sürtünme Açısı	Ø	15	20	-	-	°
Eğilme Rijitliği	EI	-	-	765		
Eksenel Rijitlik	EA	-	-	25500	150	kN/m
Ağırlık	w	-	-	14,4		kN/m/m
Çap	d	-	-	0,60	-	m

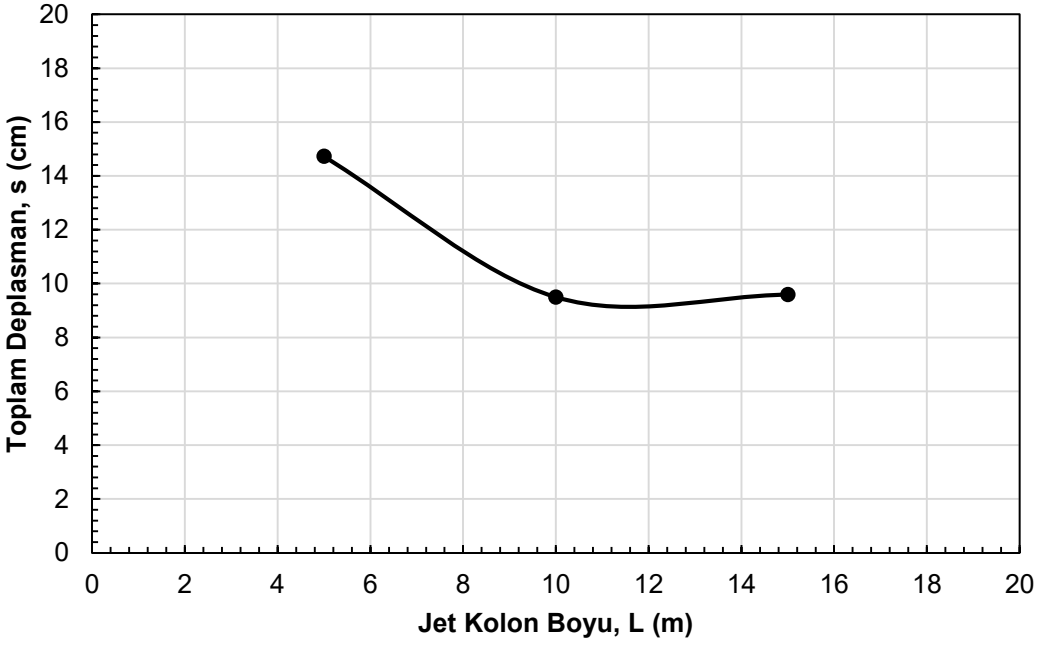
4.4 Jet Grout Kolon Boylarının Belirlenmesi

Çalışmada, jet grout kolon boylarının optimum değerinin belirlenmesi için farklı boy değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deplasman ve güvenlik sayısı değerleri Tablo 4.3'de görülmektedir. Analizlerde kolon çapları 60 cm, merkezden merkeze kolon aralıkları ise 2m×2m olarak sabit alınmıştır.

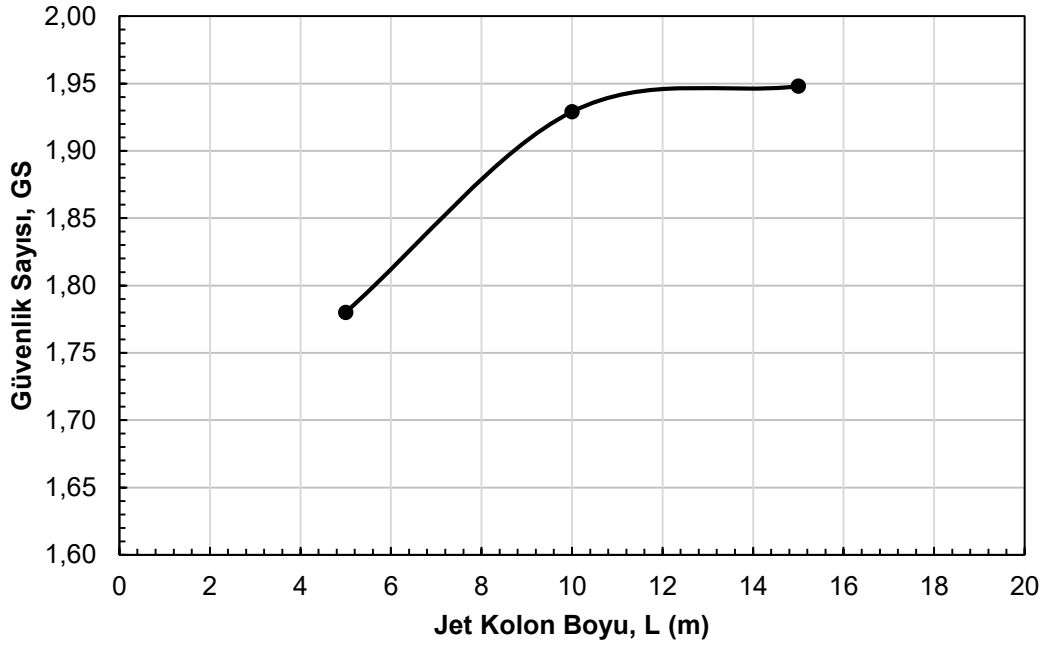
Tablo 4.3 Jet kolon boyları analiz sonuçları

Kolon aralıkları d (m)	Kolon Çapı D (m)	Kolon Boyu L (m)	Toplam Deplasman s (cm)	Güvenlik Sayısı GS
2×2	0,60	5	14,7	1,780
2×2	0,60	10	9,50	1,929
2×2	0,60	15	9,59	1,948

Analiz sonuçları incelendiğinde en büyük toplam deplasman değerinin jet kolon boylarının 5 metre olduğu durumda elde edildiği, jet kolon boyunun 10 metre ve 15 metre olduğu durumlarda ise deplasman değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve L=5 metre durumuna göre yaklaşık %65 azaldığı görülmektedir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Jet kolon boyu – toplam deplasman ilişkisi



Şekil 4.8 Jet kolon boyu – güvenlik sayısı ilişkisi

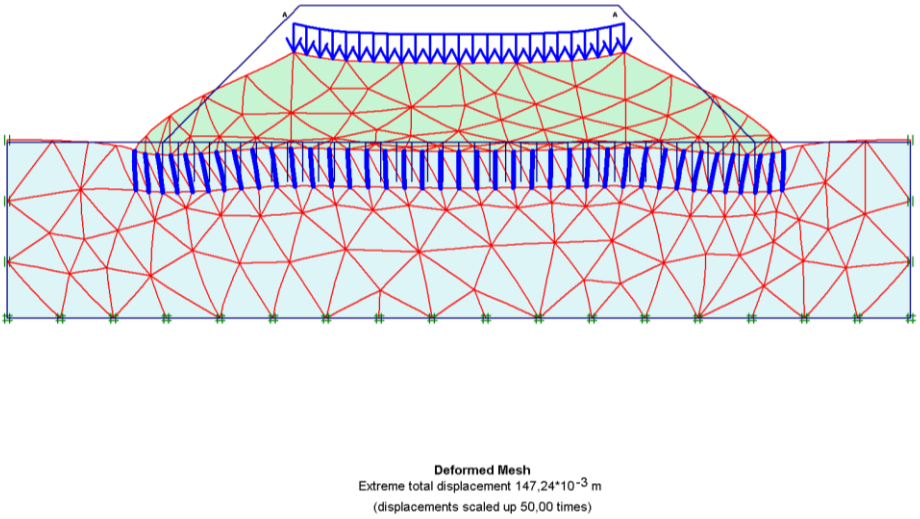
Jet kolon boyu ile güvenlik sayısı ilişkisi incelendiğinde, en düşük güvenlik sayısı değerinin jet kolon boylarının 5 metre olduğu durumda elde edildiği, jet kolon boyunun 10 metre ve 15 metre olduğu durumlarda ise güvenlik sayılarının birbirine çok yakın olduğu ve L=5 metre durumuna göre yaklaşık %10 arttığı görülmektedir (Şekil 4.8).

Jet kolon boyları için analizlerden elde edilen değerlere göre, toplam deplasmanlar ve güvenlik sayıları ele alındığında, jet kolon optimum boyu L=10 metre olarak belirlenmiştir.

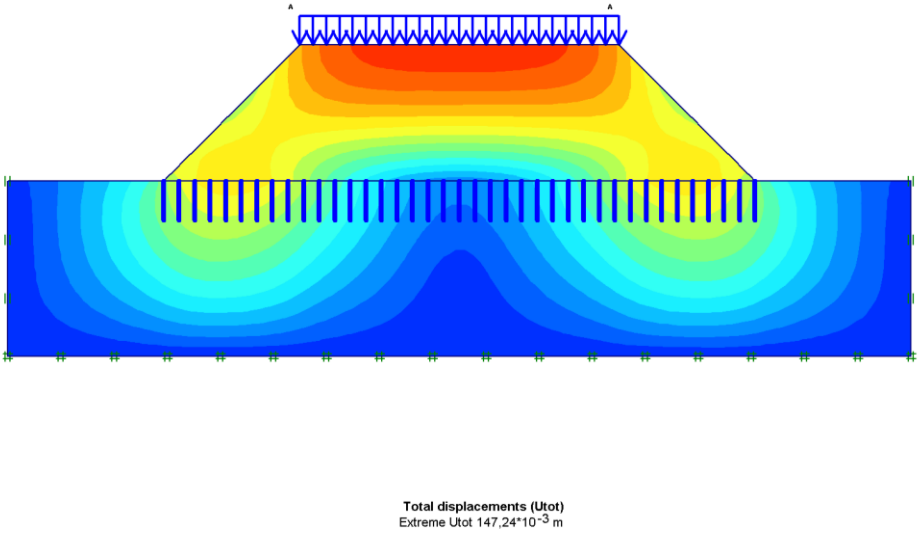
Analizlerden L=5 metre jet kolon boyu için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman, toplam gerilme ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.9-10-11-12'de görülmektedir.

Analizlerden L=10 metre jet kolon boyu için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman, toplam gerilme ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.13-14-15-16'da görülmektedir.

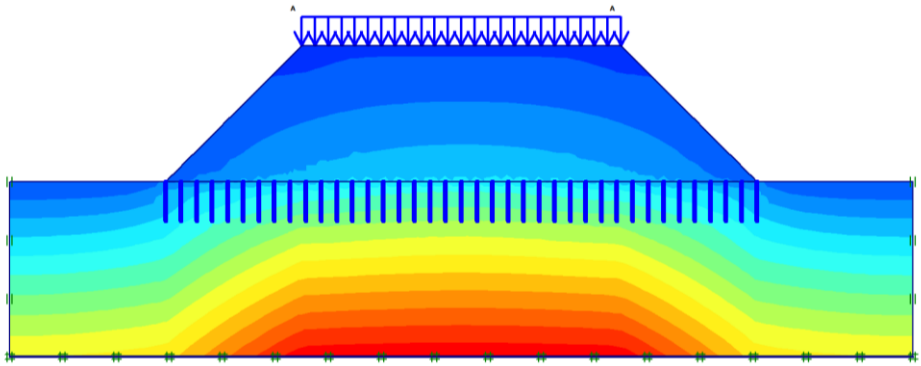
Analizlerden L=15 metre jet kolon boyu için elde edilen deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman, toplam gerilme ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.17-18-19-20'de görülmektedir.



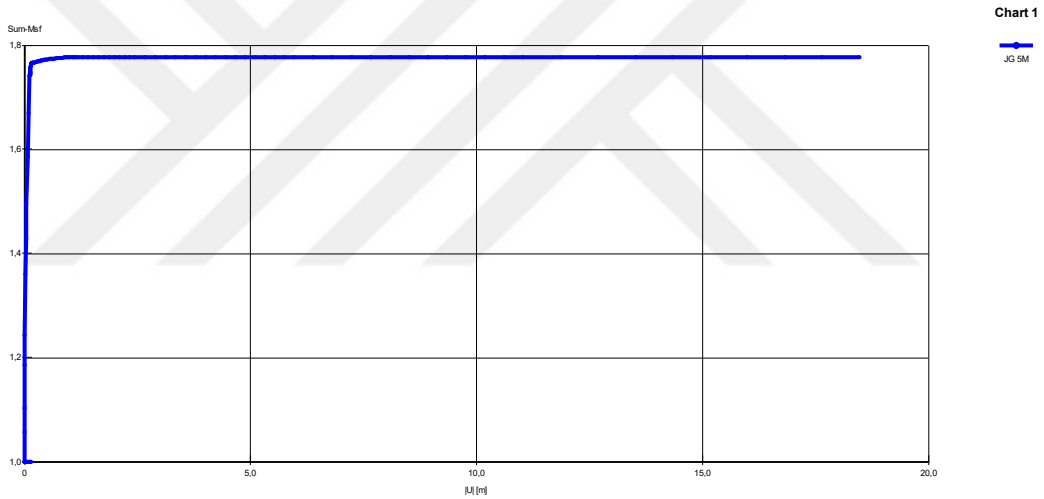
Şekil 4.9 Jet grout boylarının 5 metre olduğu deforme olmuş sistem



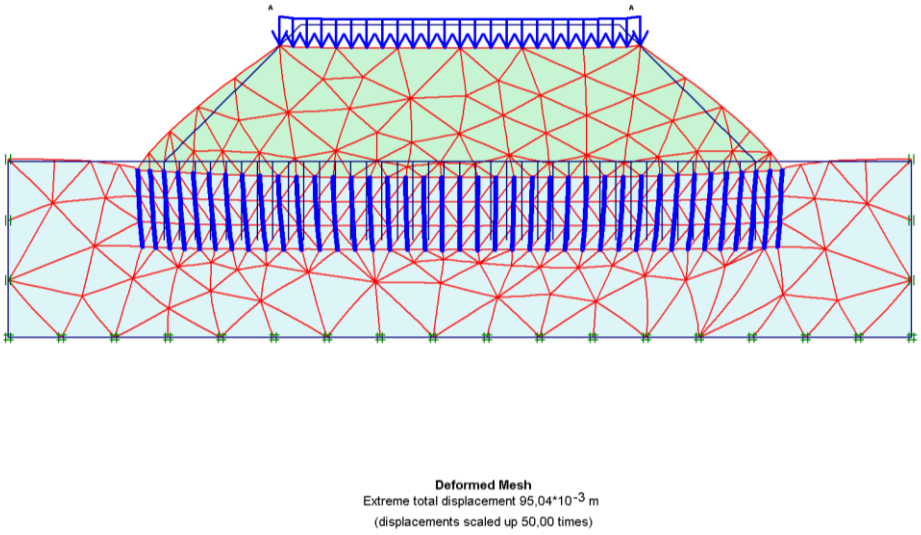
Şekil 4.10 Jet grout boylarının 5 metre olduğu toplam yerdeğiştirme diyagramı



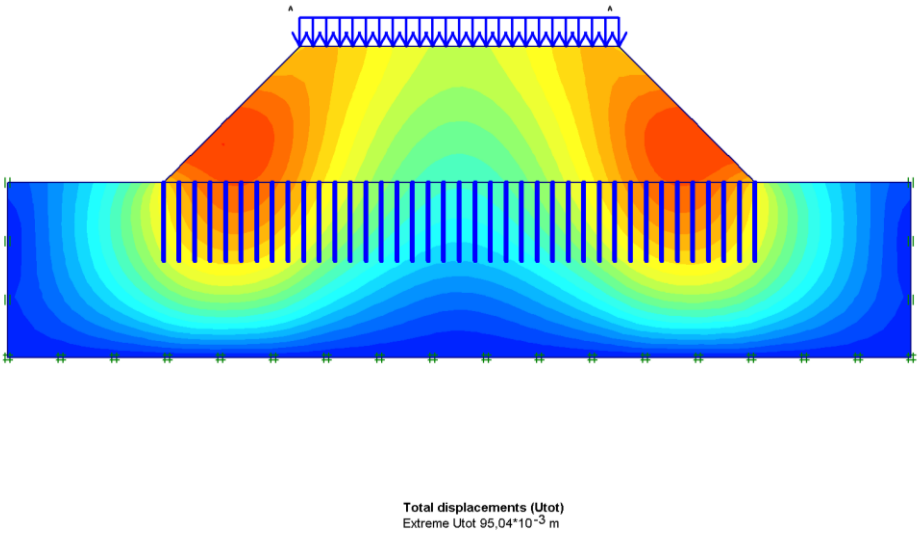
Şekil 4.11 Jet grout boylarının 5 metre olduğu gerilme diyagramı



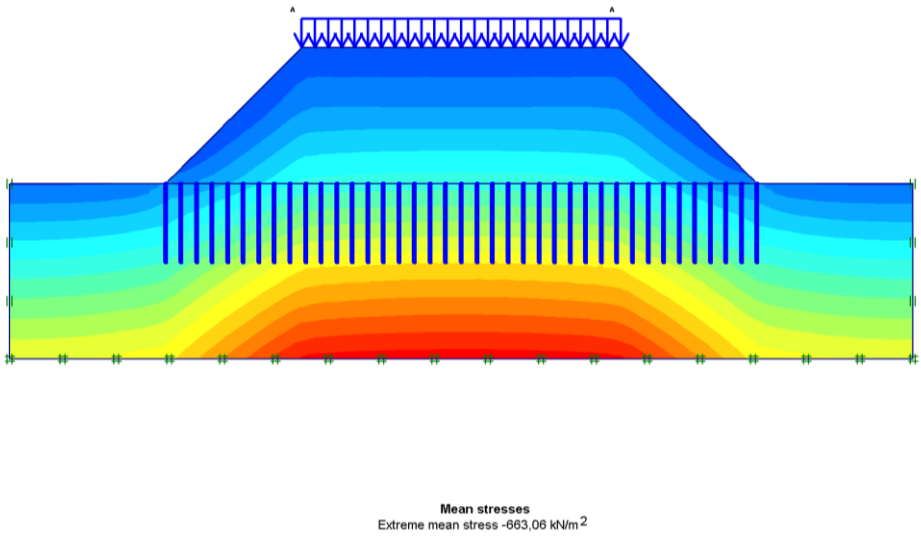
Şekil 4.12 Jet grout boylarının 5 metre olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,78)



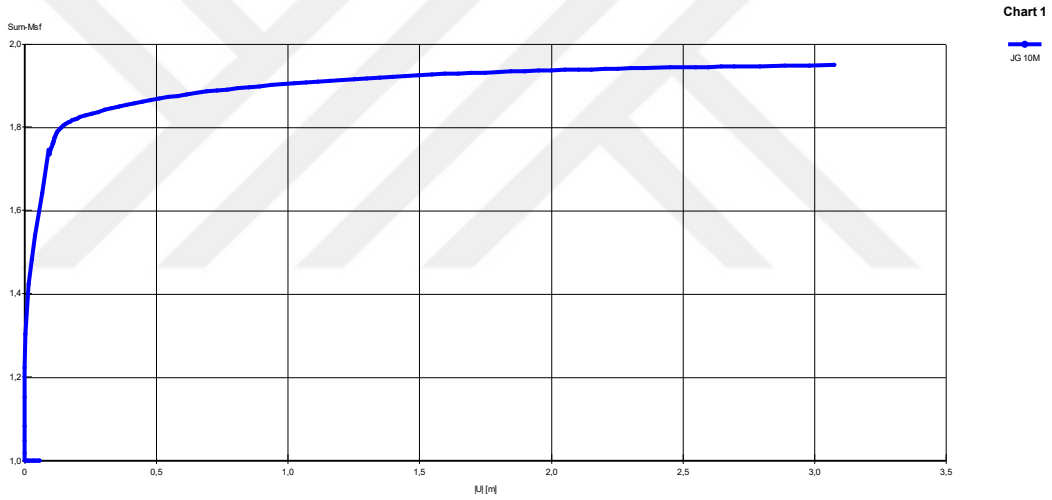
Şekil 4.13 Jet grout boylarının 10 metre olduğu deforme olmuş sistem



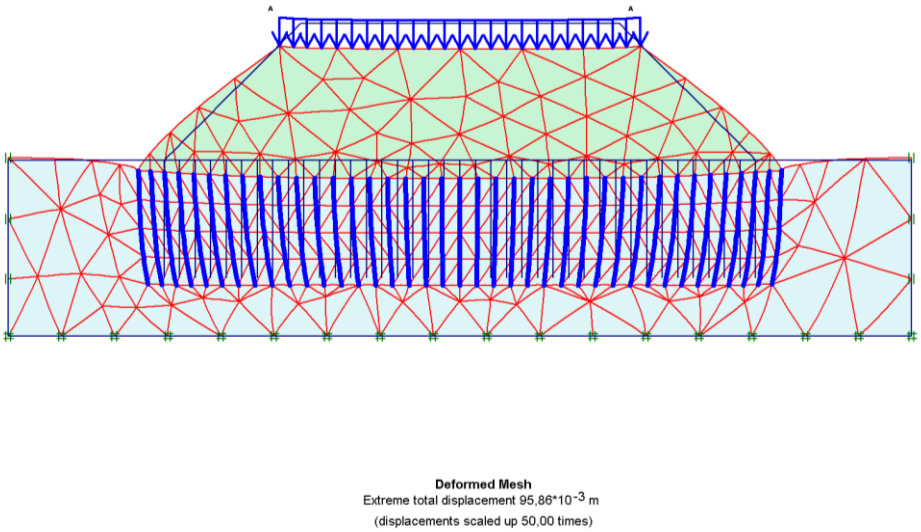
Şekil 4.14 Jet grout boylarının 10 metre olduğu toplam yerdeğiştirme diyagramı



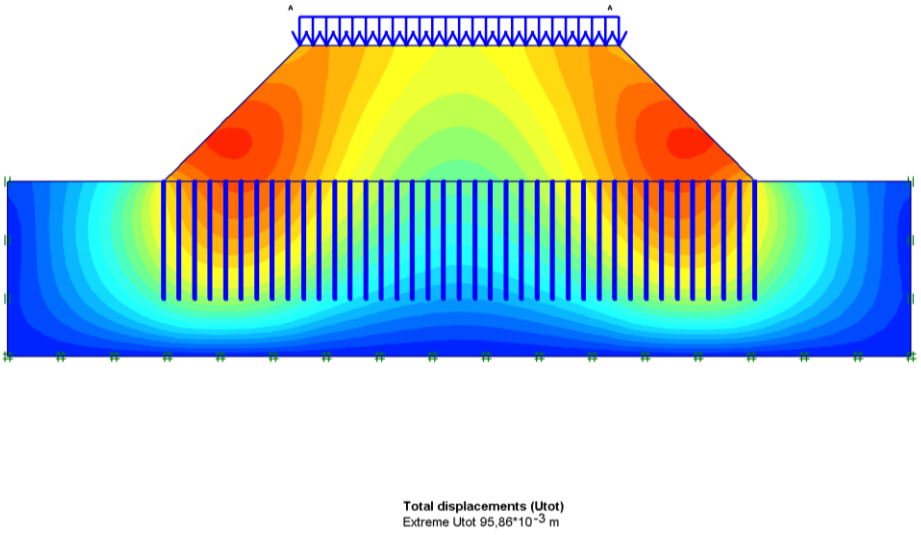
Şekil 4.15 Jet grout boylarının 10 metre olduğu gerilme diyagramı



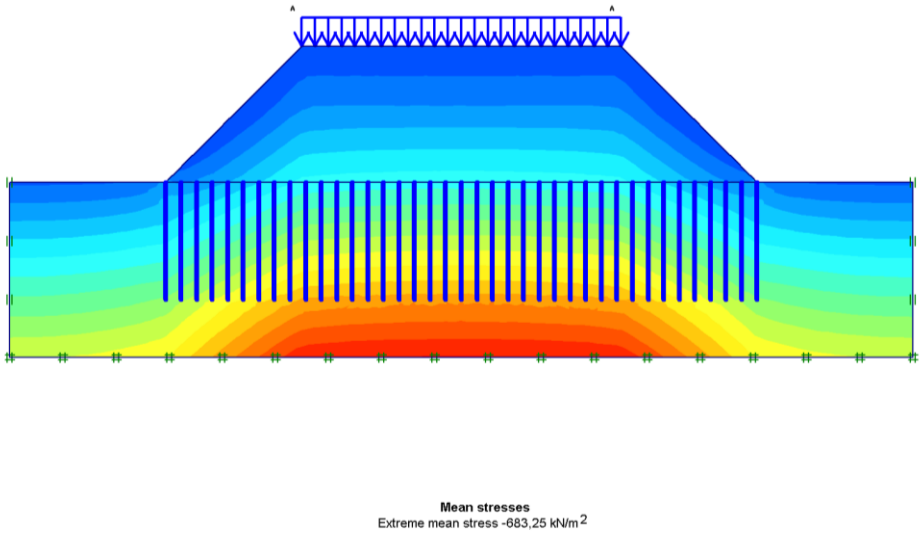
Şekil 4.16 Jet grout boylarının 10 metre olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,929)



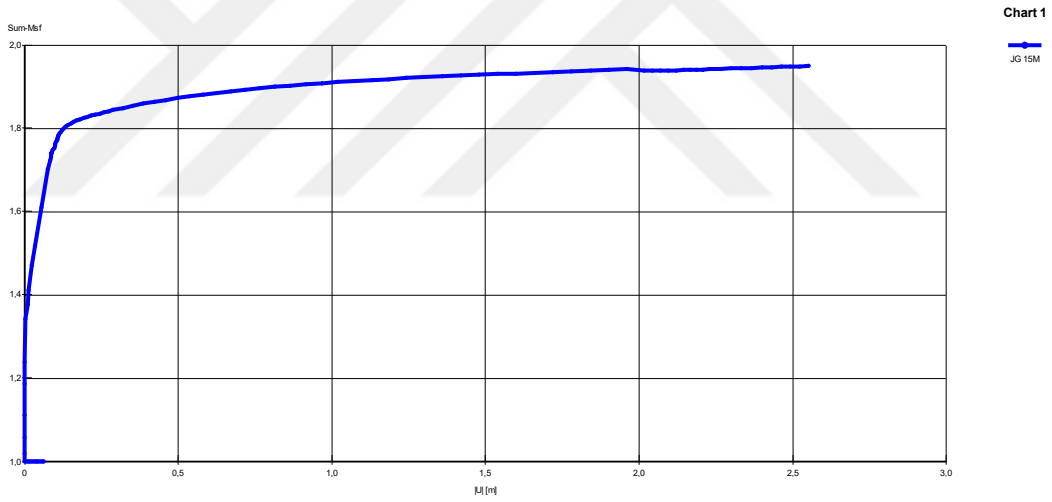
Şekil 4.17 Jet grout boylarının 15 metre olduğu deforme olmuş sistem



Şekil 4.18 Jet grout boylarının 15 metre olduğu toplam yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.19 Jet grout boylarının 15 metre olduğu gerilme diyagramı



Şekil 4.20 Jet grout boylarının 15 metre olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,948)

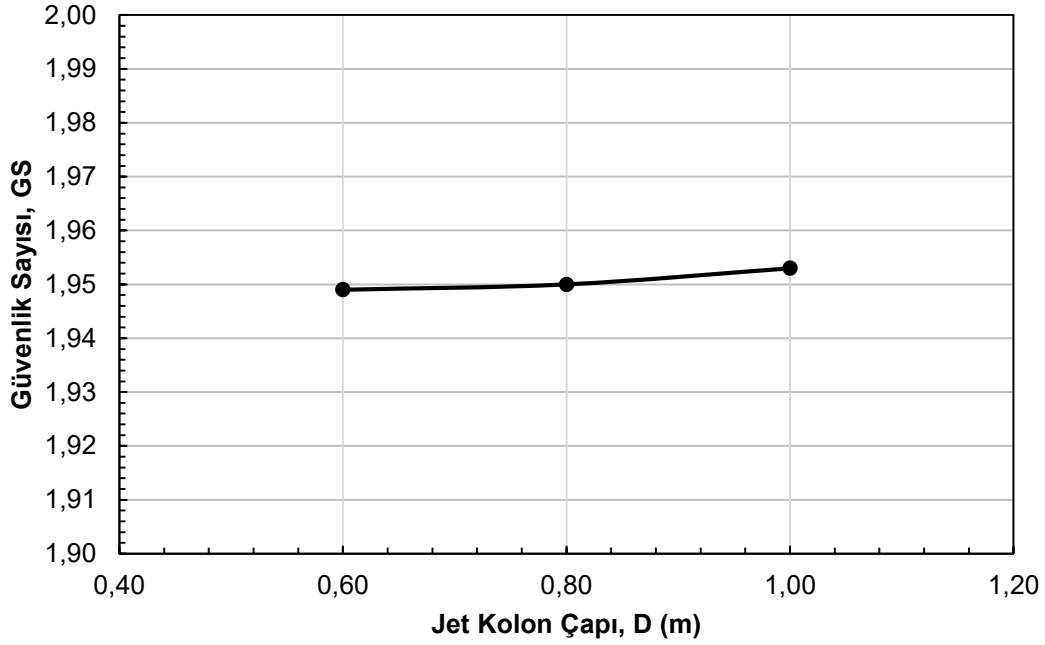
4.5 Jet Grout Kolon Çaplarının Belirlenmesi

Çalışmada, jet grout kolon çaplarının optimum değerinin belirlenmesi için farklı çap değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen güvenlik sayısı değerleri Tablo4.4'te görülmektedir. Analizlerde kolon boyları optimum değer olan L=10 metre, merkezden merkeze kolon aralıkları ise 2m×2m olarak sabit alınmıştır.

Tablo 4.4 Jet kolon çapları analiz sonuçları

Kolon aralıkları d (m)	**Kolon Boyu L (m)**	**Kolon Çapı D (m)**	**Güvenlik Sayısı GS**
2×2	10	0,60	1,949
2×2	10	0,80	1,950
2×2	10	1,00	1,953

Analiz sonuçları incelendiğinde, kolon çapının D=0,60 cm. olduğu durumda güvenlik sayısı değerinin daha büyük kolon çaplarından elde edilen güvenlik sayısı değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.21 Jet kolon çapı – güvenlik sayısı ilişkisi

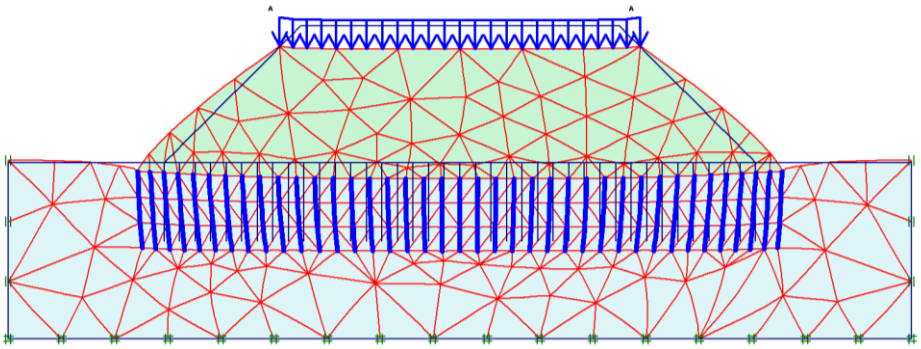
Jet kolon çapı ile güvenlik sayısı ilişkisi incelendiğinde, tüm kolon çapları için elde edilen güvenlik sayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil …).

Jet kolon çapları için analizlerden elde edilen değerlere göre, güvenlik sayıları ele alındığında, jet kolon optimum çapı D=60 cm. olarak belirlenmiştir.

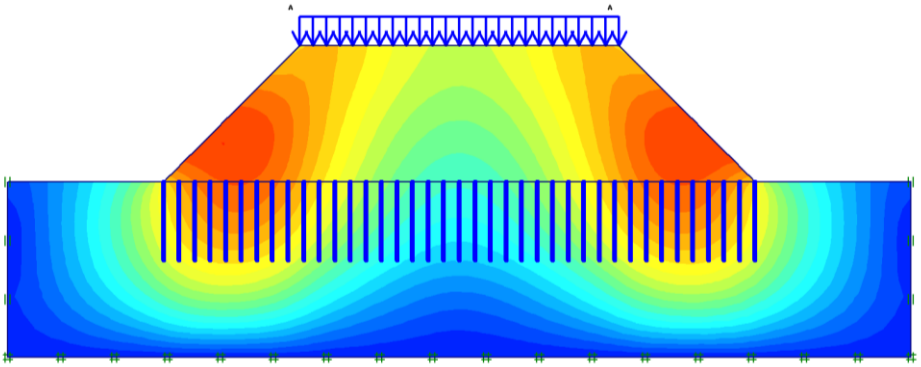
Analizlerden D=60 cm. jet kolon çapı için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.22-23-24'te görülmektedir.

Analizlerden D=80 cm. jet kolon çapı için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.25-26-27'de görülmektedir.

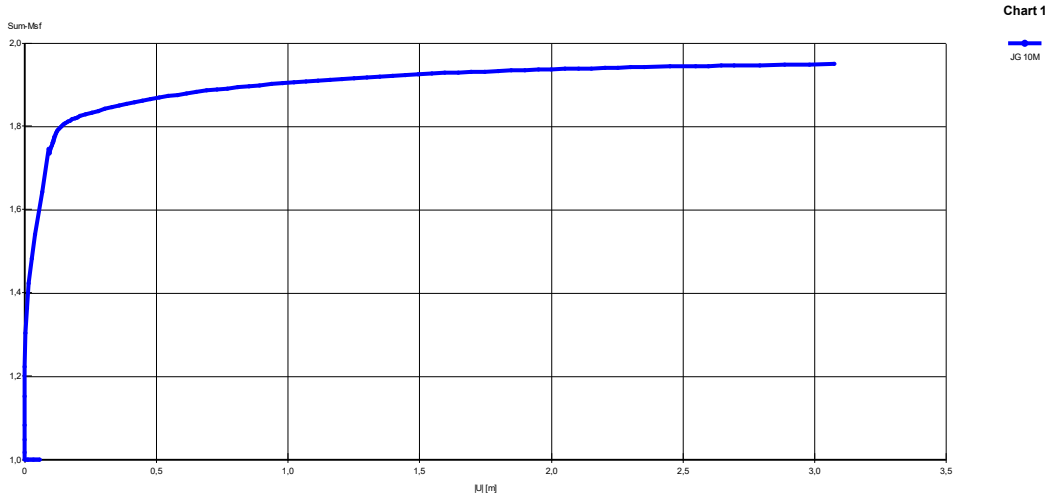
Analizlerden D=100 cm. jet kolon çapı için elde edilen deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.28-29-30'da görülmektedir.



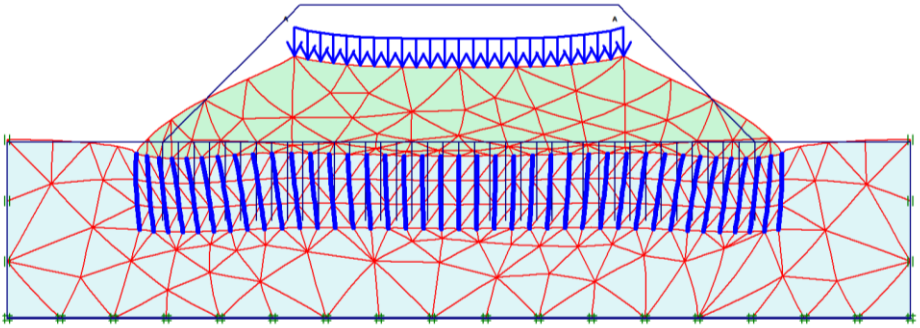
Şekil 4.22 Jet grout çaplarının 60 cm olduğu deforme olmuş sistem



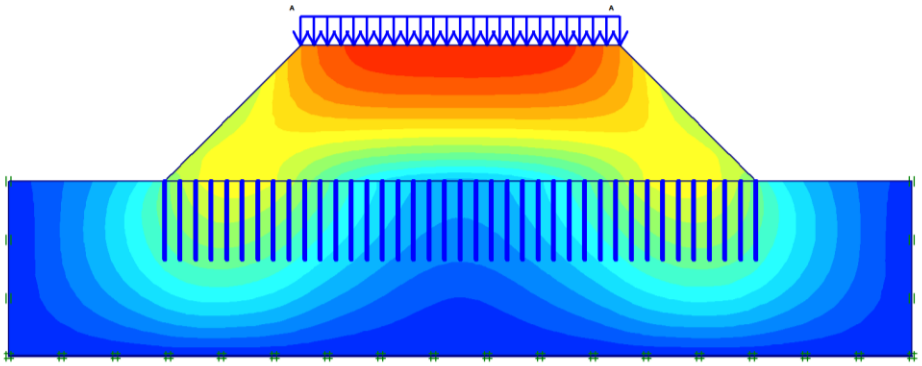
Şekil 4.23 Jet grout çaplarının 60 cm olduğu toplam yerdeğiştirme diyagramı



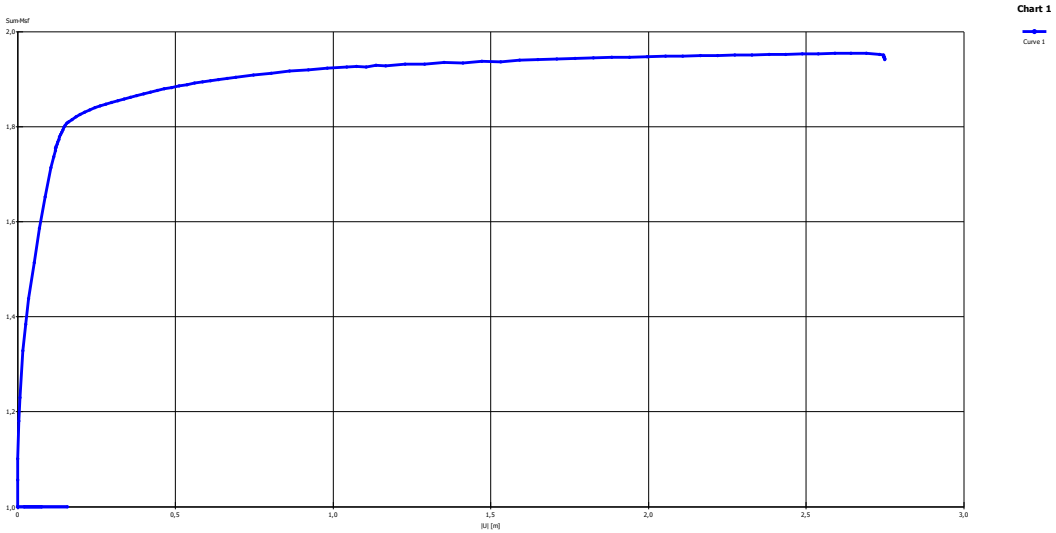
Şekil 4.24 Jet grout çaplarının 60 cm olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,949)



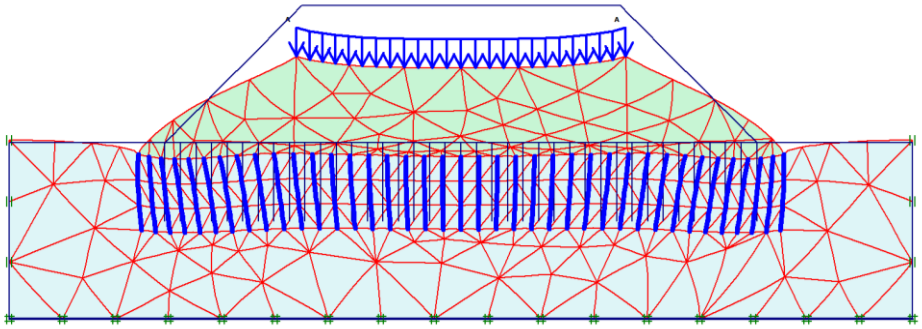
Şekil 4.25 Jet grout çaplarının 80 cm olduğu deforme olmuş sistem



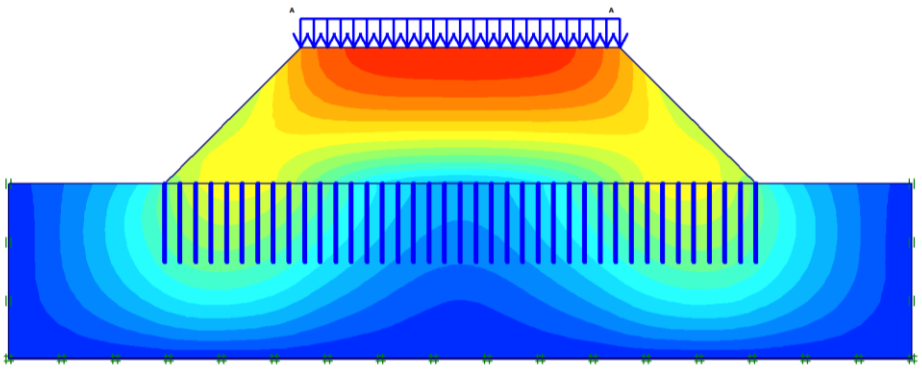
Şekil 4.26 Jet grout çaplarının 80 cm olduğu toplam yerdeğiştirme diyagramı



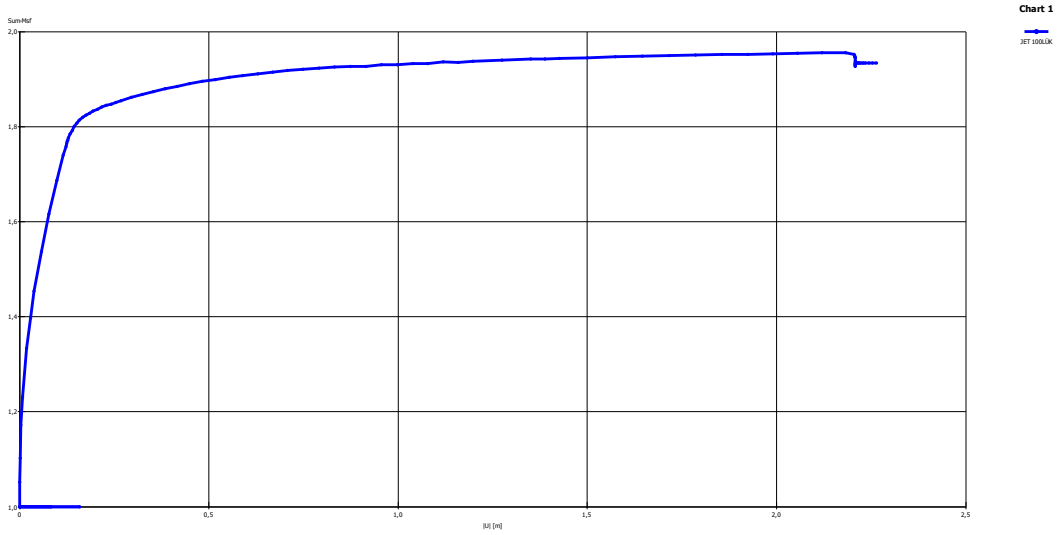
Şekil 4.27 Jet grout çaplarının 80 cm olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,950)



Şekil 4.28 Jet grout çaplarının 100 cm olduğu deforme olmuş sistem



Şekil 4.29 Jet grout çaplarının 100 cm olduğu toplam yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.30 Jet grout çaplarının 100 cm olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,953)

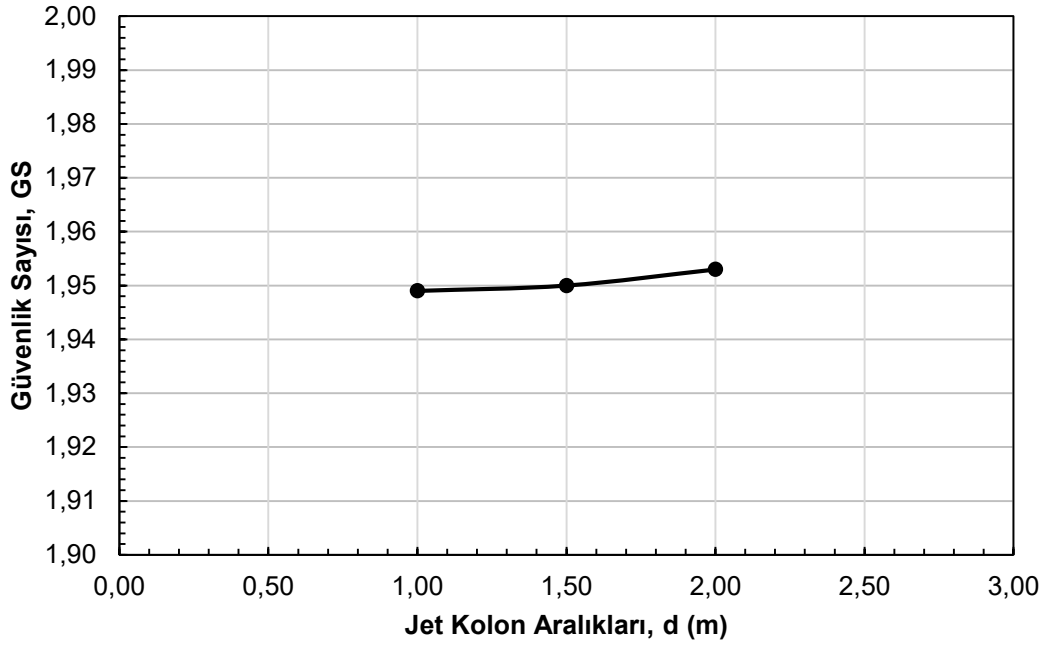
4.6 Jet Grout Kolon Aralıklarının Belirlenmesi

Çalışmada, jet grout kolon aralıklarının optimum değerinin belirlenmesi için farklı aralık değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen güvenlik sayısı değerleri Tablo 4.5'te görülmektedir. Analizlerde, kolon boyları optimum değer olan L=10 metre, optimum kolon çapı ise 60 cm. olarak sabit alınmıştır.

Tablo 4.5 Jet kolon aralıkları analiz sonuçları

Kolon Çapı **D (m)**	**Kolon Boyu** **L (m)**	**Kolon aralıkları** **d (m)**	**Güvenlik Sayısı** **GS**
0,60	10	1×1	1.942
0,60	10	1,5×1,5	1.946
0,60	10	2×2	1.949

Analiz sonuçları incelendiğinde, merkezden merkeze kolon aralıklarının d=2×2 metre. olduğu durumda güvenlik sayısı değerinin daha küçük aralık durumunda elde edilen güvenlik sayısı değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir.



Şekil 4.31 Jet kolon aralıkları – güvenlik sayısı ilişkisi

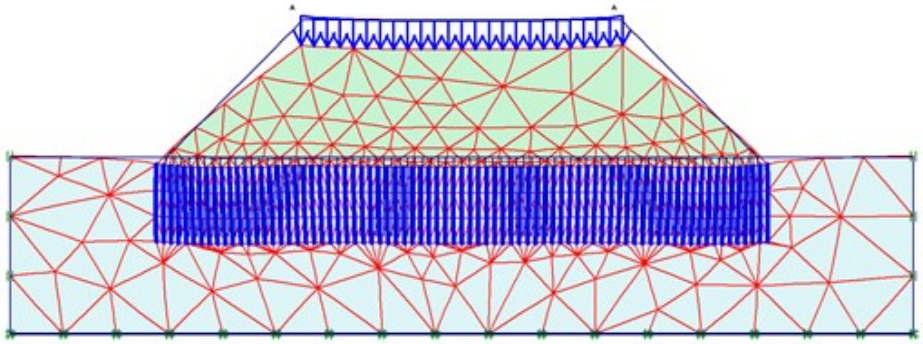
Jet kolon aralıkları ile güvenlik sayısı ilişkisi incelendiğinde, tüm kolon aralıkları için elde edilen güvenlik sayılarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir (Şekil 4.31).

Jet kolon aralıkları için analizlerden elde edilen değerlere göre, güvenlik sayıları ele alındığında, merkezden merkeze jet kolon optimum aralıkları d=2m×2m olarak belirlenmiştir.

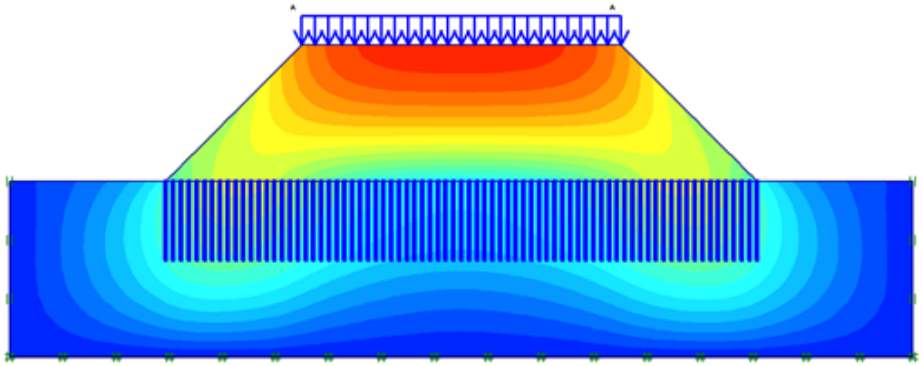
Analizlerden, d=1m×1m jet kolon aralıkları için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.32-33-34'te görülmektedir.

Analizlerden d=1,5m×1,5m jet kolon aralıkları için elde edilen deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.35-36-37'de görülmektedir.

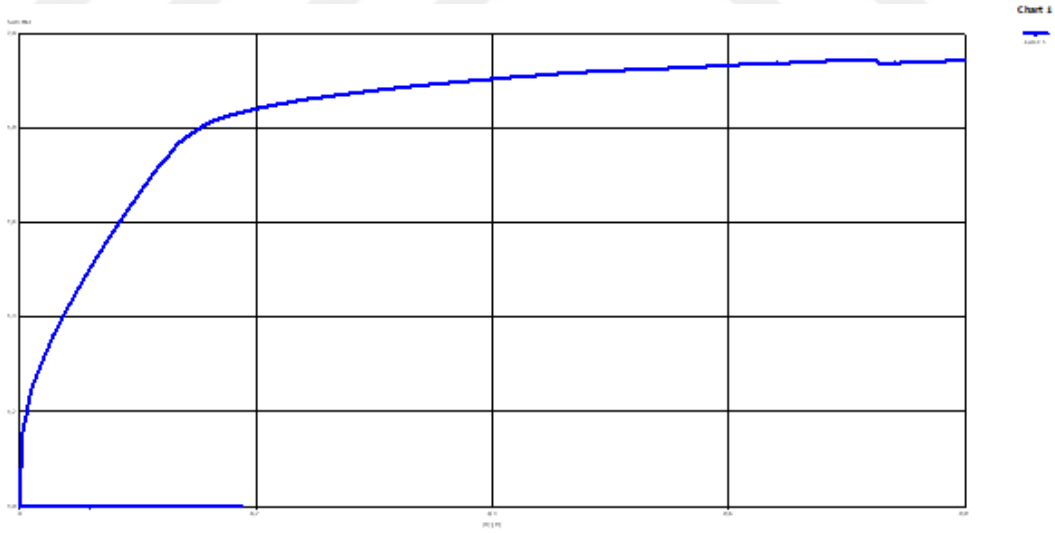
Analizlerden, d=2m×2m jet kolon aralıkları için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.38-39-40'ta görülmektedir.



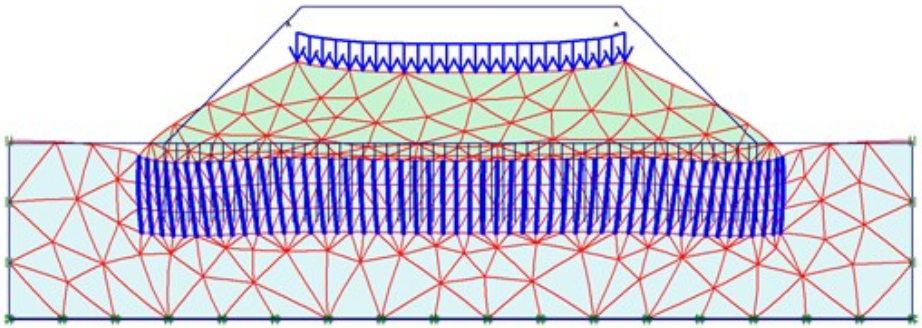
Şekil 4.32 Jet grout kolon aralıklarının 1×1 m olduğu deforme olduğu sistem



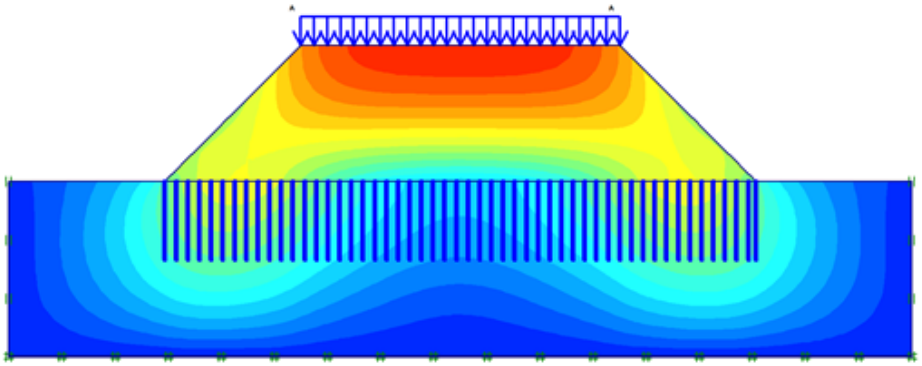
Şekil 4.33 Jet grout kolon aralıklarının 1×1 m olduğu toplam gerilme diyagramı



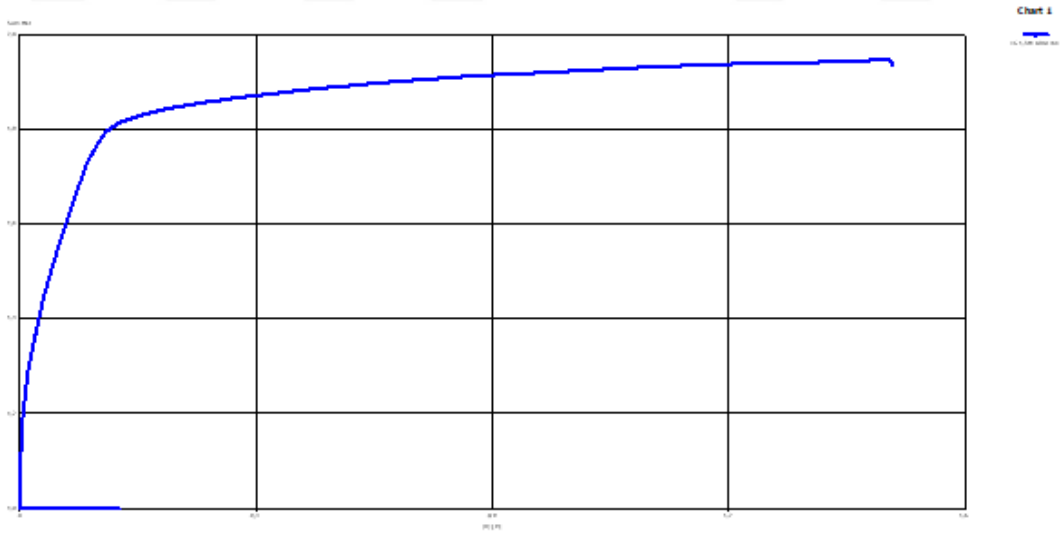
Şekil 4.34 Jet grout kolon aralıklarının 1×1 m olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,942)



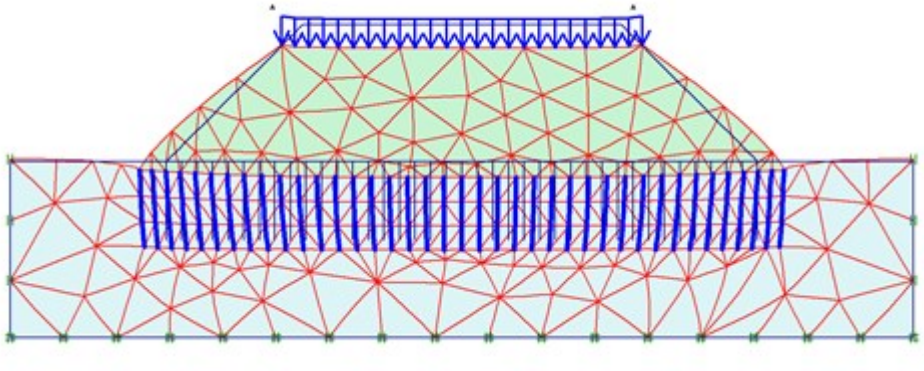
Şekil 4.35 Jet grout kolon aralıklarının 1,5×1,5 m olduğu deforme olduğu sistem



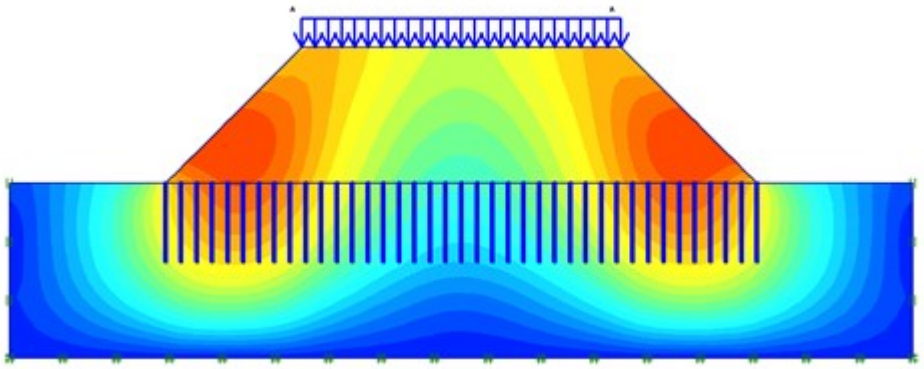
Şekil 4.36 Jet grout kolon aralıklarının 1,5×1,5 m olduğu toplam gerilme diyagramı



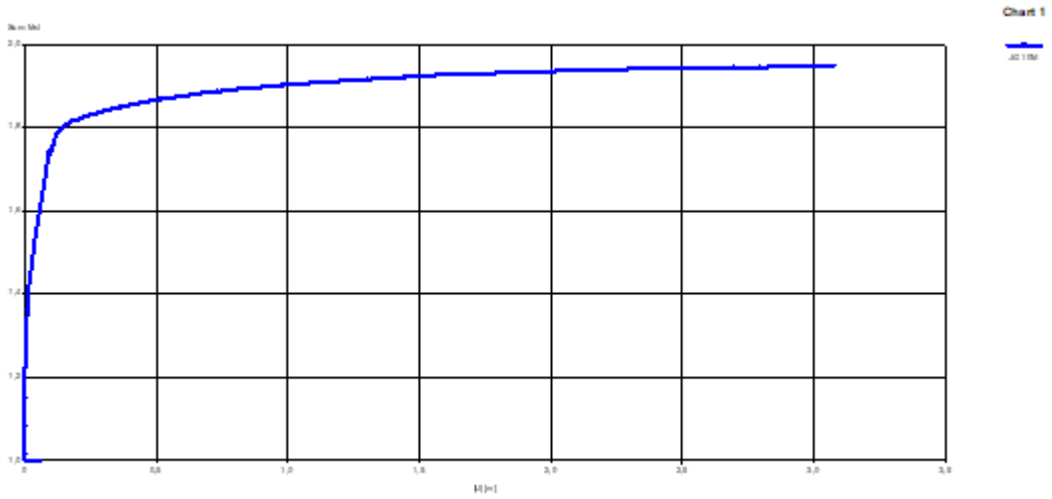
Şekil 4.37 Jet grout kolon aralıklarının 1,5×1,5 m olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,946)



Şekil 4.38 Jet grout kolon aralıklarının 2×2 m olduğu deforme olduğu sistem



Şekil 4.39 Jet grout kolon aralıklarının 2×2 m olduğu toplam gerilme diyagramı



Şekil 4.40 Jet grout kolon aralıklarının 2×2 m olduğu sistemin güvenlik faktörü (GS=1,949)

4.7 Geogrid Tabaka Aralıklarının Belirlenmesi

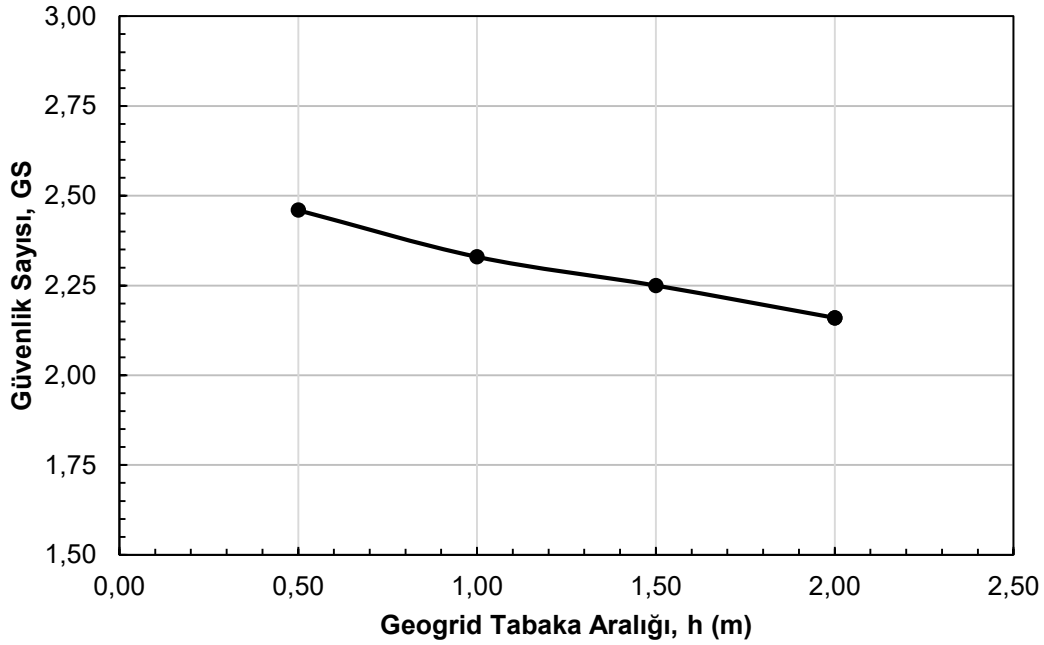
Kontrolsüz dolgu birimler sahada oldukça büyük bir yüksekliğe sahiptir (yaklaşık 17,50 metre). Dolgu birimlerin kazılarak uygun bir dolgu malzemesi ile mühendislik tekniğine uygun olarak tabakalar halinde sıkıştırılması gerekmektedir. Yüksek şev açısı göz önüne alındığında, stabilitenin arttırılması amacıyla dolgu tabakaları arasına belirli derinliklerde geogrid malzeme yerleştirilmesine karar verilmiştir.

Bu bölümde, geogrid tabakalarının farklı aralık değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Geogridlerin, h=0,50-1,00-1,50-2,00 metre aralıklarla yerleştirilmesi durumunda güvenlik sayıları elde edilmiş ve optimum geogrid aralık değeri belirlenmiştir (Tablo 4.6).

Tablo 4.6 Geogrid tabaka aralıkları analiz sonuçları

Geogrid Tabaka Aralığı h (m)	**Güvenlik Sayısı GS**
Donatısız	1,12
0,50	2,46
1,00	2,33
1,50	2,25
2,00	2,16

Tablo 4.6'dan dolgu şevi içerisine donatı tabakaları yerleştirilmesi durumunda şevin güvenlik sayısının 2 kattan fazla bir artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.41'den de görüldüğü üzere, geogrid tabakaları arasındaki mesafe arttıkça şevin güvenlik sayısı azalmaktadır. Her ne kadar geogridler arası mesafenin 0,50 metre olması durumunda en yüksek güvenlik sayısı elde edilse de, hem geleneksel uygulamalar hem de ekonomiklik göz önüne alınarak geogrid tabakaları arasındaki mesafe değeri 1 metre olarak seçilmiştir.



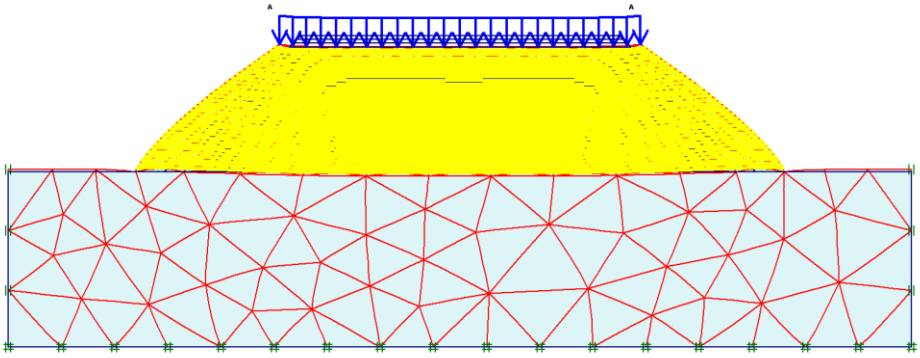
Şekil 4.41 Geogrid tabaka aralığı-güvenlik sayısı ilişkisi

Analizlerden, h=0,50 metre geogrid tabaka aralıkları için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.42-43-44-45'te görülmektedir.

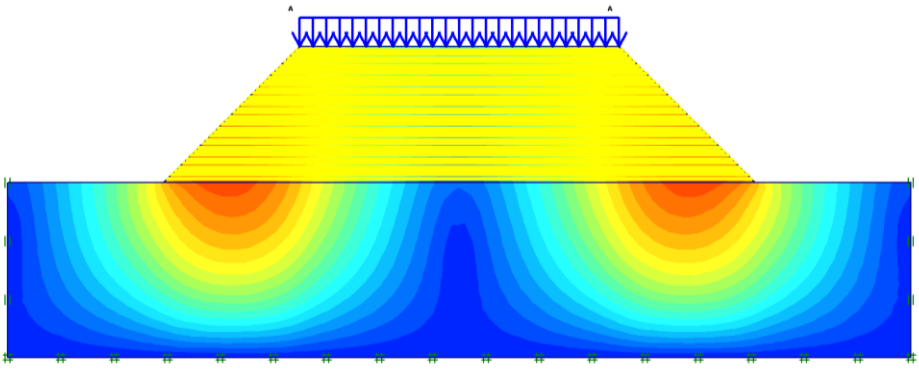
Analizlerden h=1 metre geogrid tabaka aralıkları için elde edilen deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.46-47-48-49'da görülmektedir.

Analizlerden, h=1,5 metre geogrid tabaka aralıkları için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.50-51-52-53'te görülmektedir.

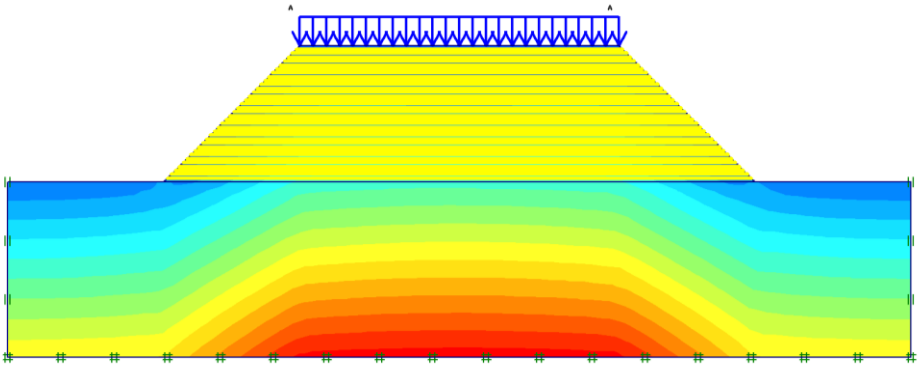
Analizlerden, h=2 metre geogrid tabaka aralıkları için elde edilen, deforme olmuş sonlu eleman ağı, toplam deplasman ve güvenlik sayısı grafiği sırasıyla Şekil 4.54-55-56-57'de görülmektedir.



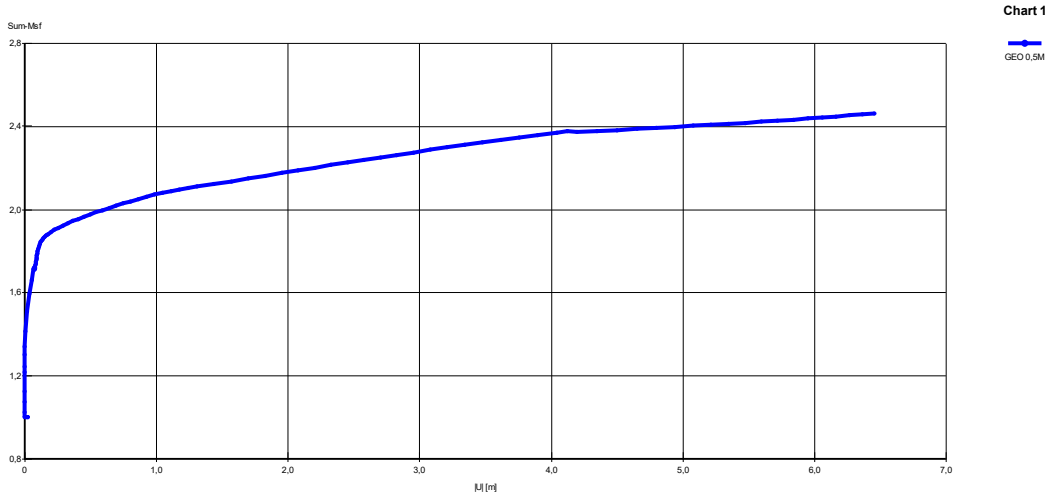
Şekil 4.42 Geogridlerin 0,5 metre aralıklı serildiği deforme olmuş sistem



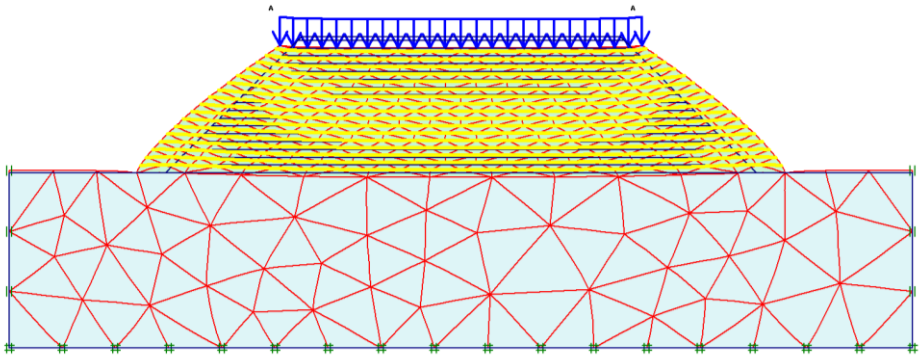
Şekil 4.43 Geogridlerin 0,5 metre aralıklı serildiği toplam yerdeğiştirme diyagramı



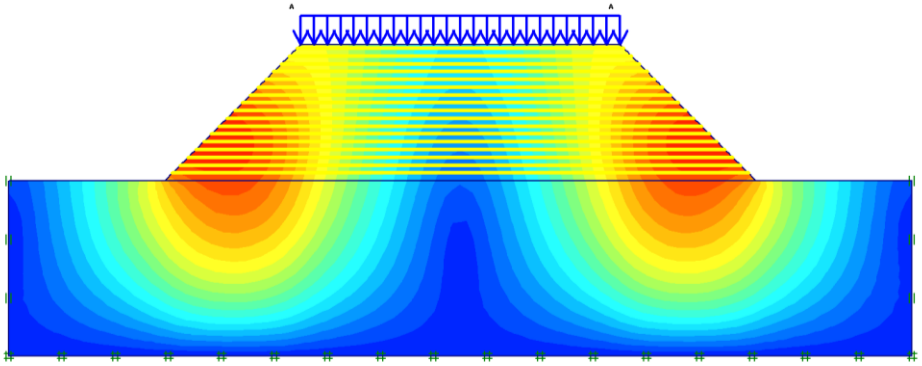
Şekil 4.44 Geogridlerin 0,5 metre aralıklı serildiği gerilme diyagramı



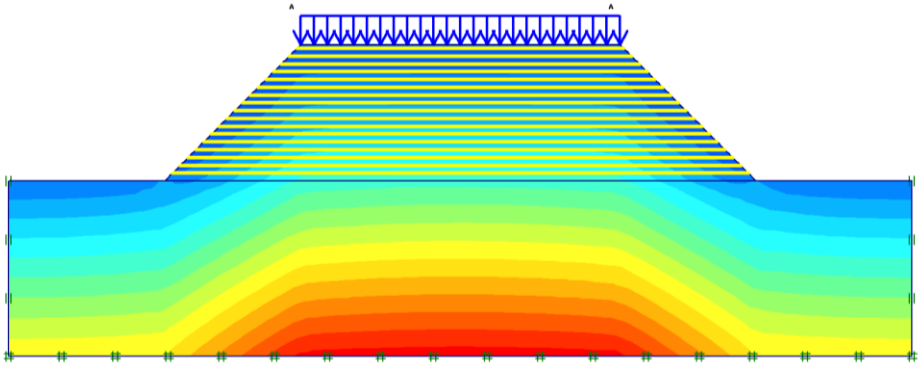
Şekil 4.45 Geogridlerin 0,5 metre aralıklı serildiği güvenlik faktörü (GS=2,46)



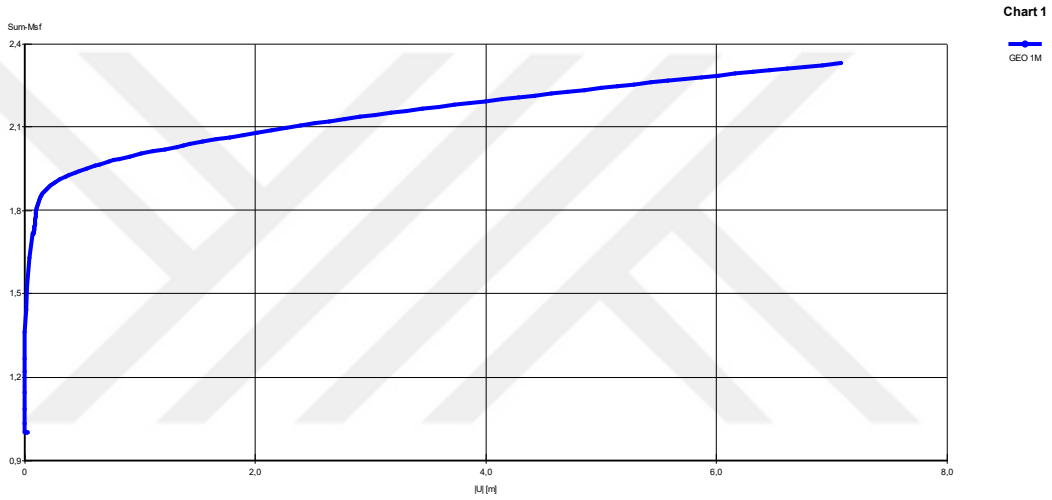
Şekil 4.46 Geogridlerin 1 metre aralıklı serildiği deforme olmuş sistem



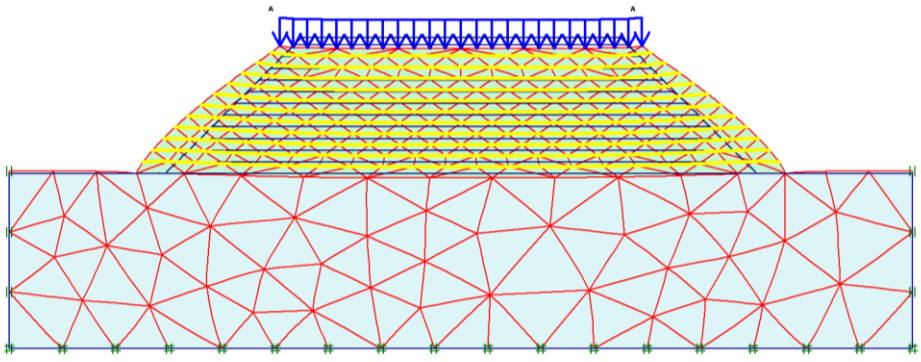
Şekil 4.47 Geogridlerin 1 metre aralıklı serildiği toplam yerdeğiştirme diyagramı



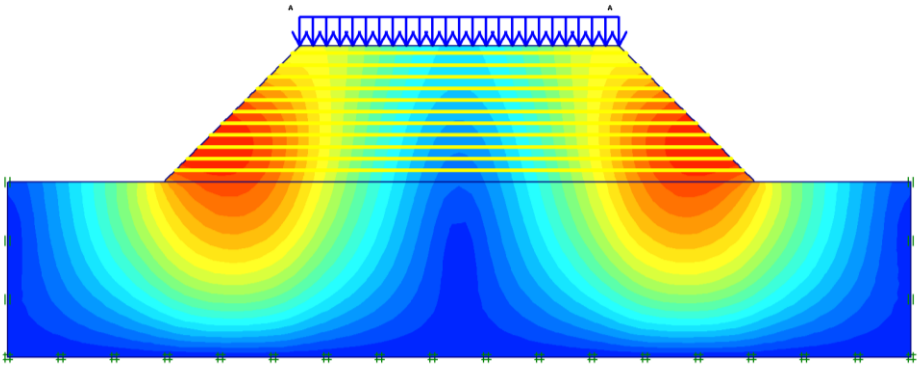
Şekil 4.48 Geogridlerin 1 metre aralıklı serildiği gerilme diyagramı



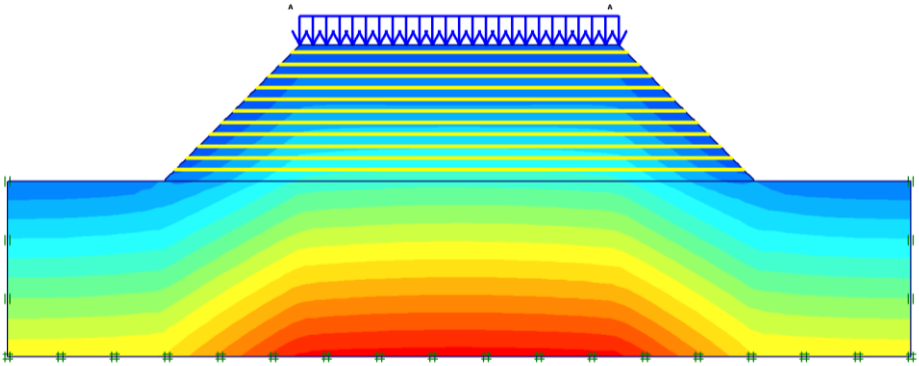
Şekil 4.49 Geogridlerin 1 metre aralıklı serildiği güvenlik faktörü (GS=2,33)



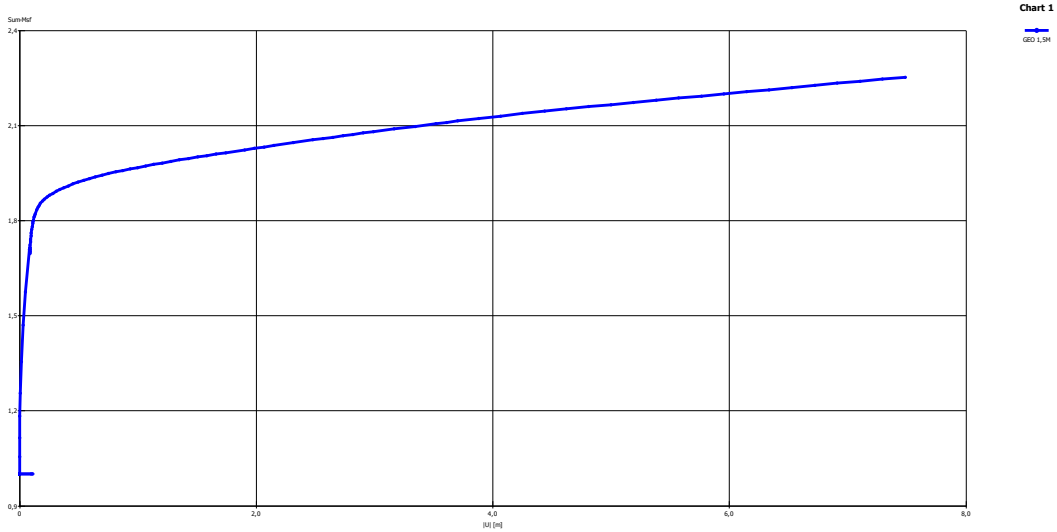
Şekil 4.50 Geogridlerin 1,5 metre aralıklı serildiği deforme olmuş sistem



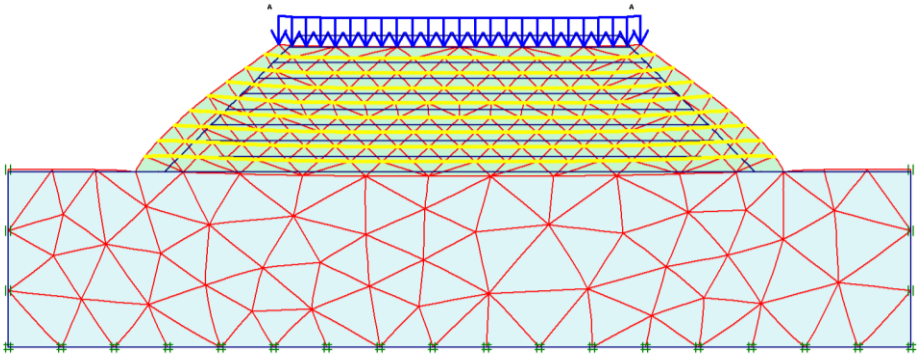
Şekil 4.51 Geogridlerin 1,5 metre aralıklı serildiği toplam yerdeğiştirme diyagramı



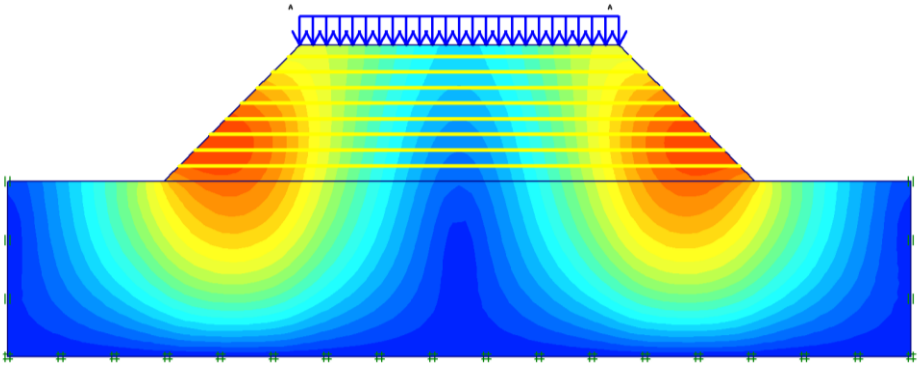
Şekil 4.52 Geogridlerin 1,5 metre aralıklı serildiği gerilme diyagramı



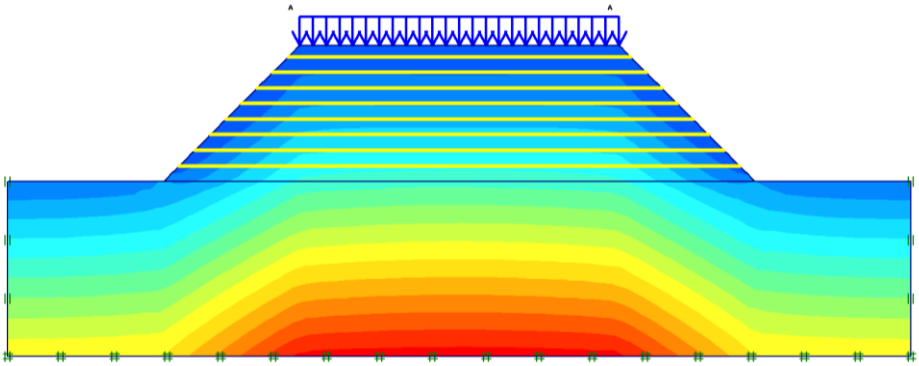
Şekil 4.53 Geogridlerin 1,5 metre aralıklı serildiği güvenlik faktörü (GS=2,25)



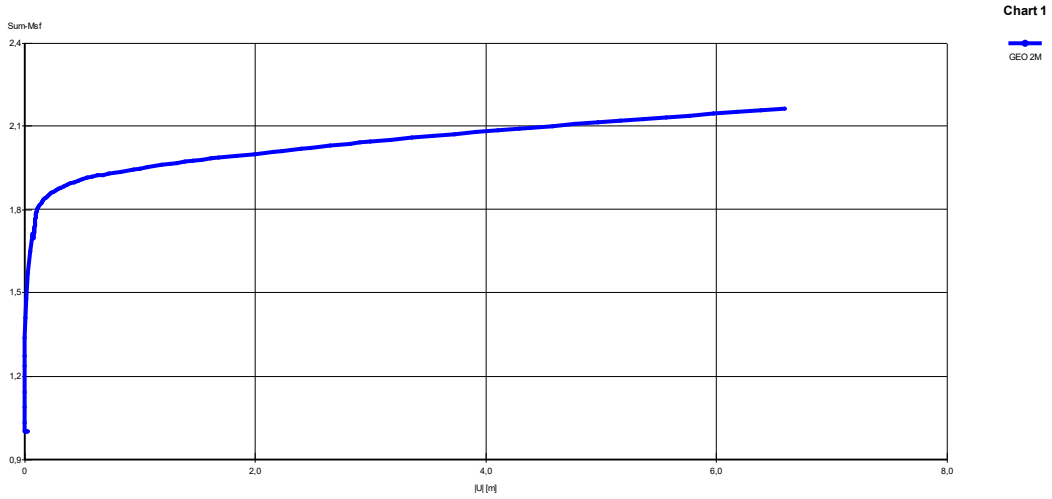
Şekil 4.54 Geogridlerin 2 metre aralıklı serildiği deforme olmuş sistem



Şekil 4.55 Geogridlerin 2 metre aralıklı serildiği toplam yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.56 Geogridlerin 2 metre aralıklı serildiği gerilme diyagramı



Şekil 4.57 Geogridlerin 2 metre aralıklı serildiği güvenlik faktörü (GS=2,16)

4.8 Optimum Parametreler Kullanılarak Gerçekleştirilen Analizler

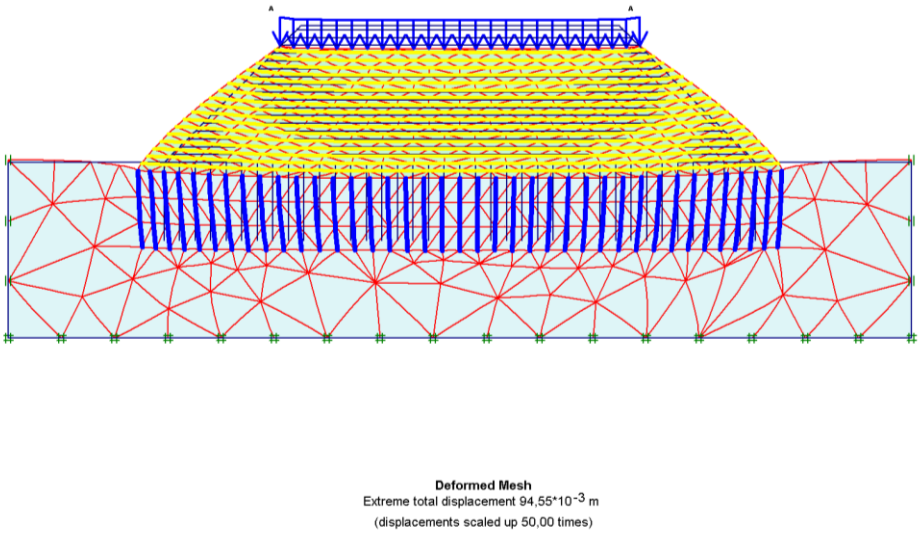
Doğal zemin iyileştrilimesi ve dolgu güçlendirilmesinde kullanılacak optimum parametreler Tablo 4.7'de verilmektedir.

Tablo 4.7 Analizlerden elde edilen optimum parametreler

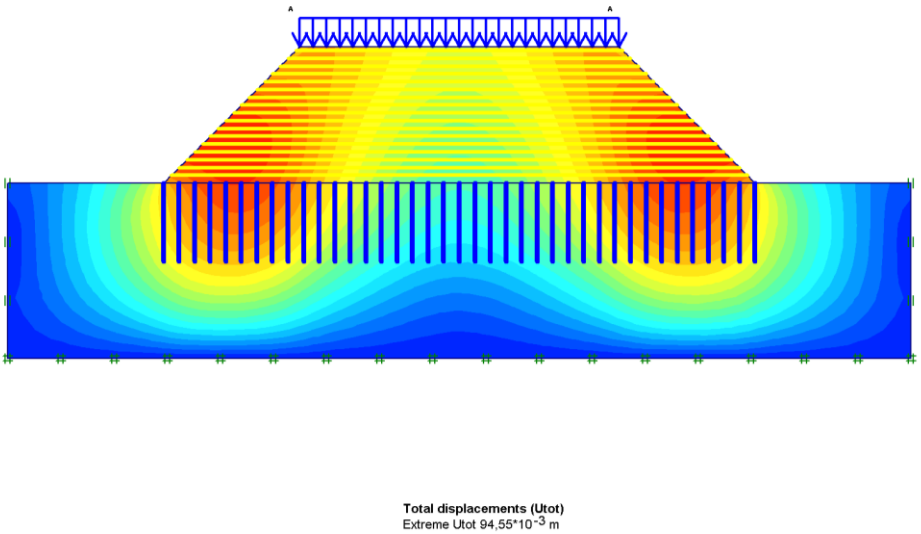
Jet Kolon Çapı D (m)	**Jet Kolon Boyu L (m)**	**Jet Kolon aralıkları d (m)**	**Geogrid tabaka Aralığı h (m)**
0,60	10	2×2	1

Tablo 4.7'de verilen optimum değerler kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda sistemin güvenlik sayısı GS=2,48, sistemde oluşan toplam deplasmanlar ise s=9,45 cm. olarak elde edilmiştir. İyileştirme öncesi değerler ile karşılaştırıldığında (GS=1,12 ve s=26,72 cm.), güvenlik sayısının yaklaşık %220 arttığı, toplam deplasman değerinin ise, yaklaşık %65 azaldığı belirlenmiştir.

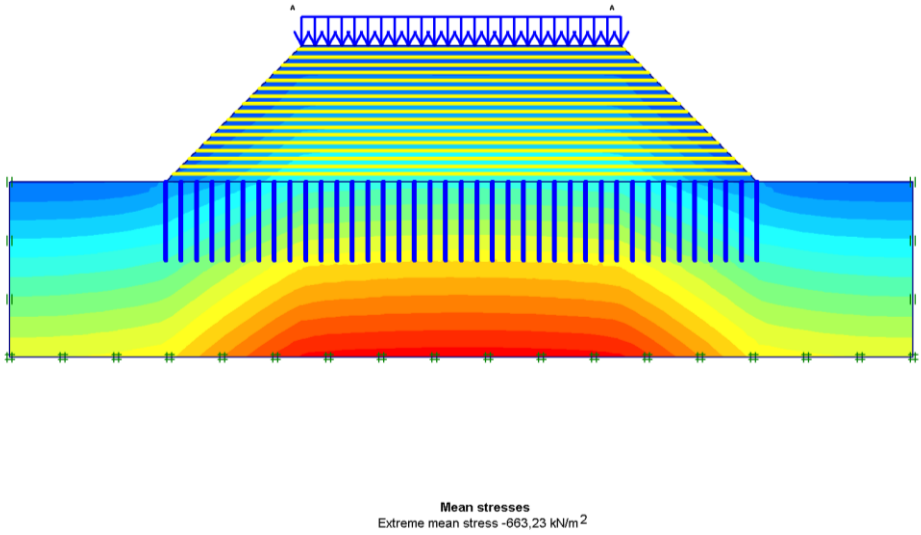
Analizlerde elde edilen, deforme olmuş sonlu elemanlar ağı, toplam deplasman, toplam gerilme ve güvenlik sayısı grafikleri sırasıyla Şekil 4.58-59-60-61'de görülmektedir.



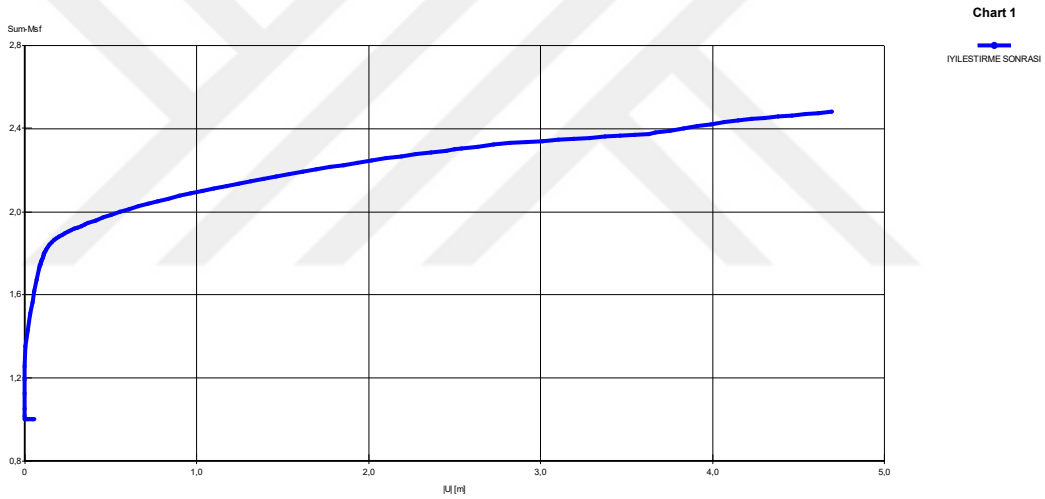
Şekil 4.58 İyileştirme sonrası deforme olmuş sistem



Şekil 4.59 İyileştirme sonrası toplam yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.60 İyileştirme sonrası gerilme diyagramı



Şekil 4.61 İyileştirme sonrası sistemin güvenlik faktörü (GS=2,48)

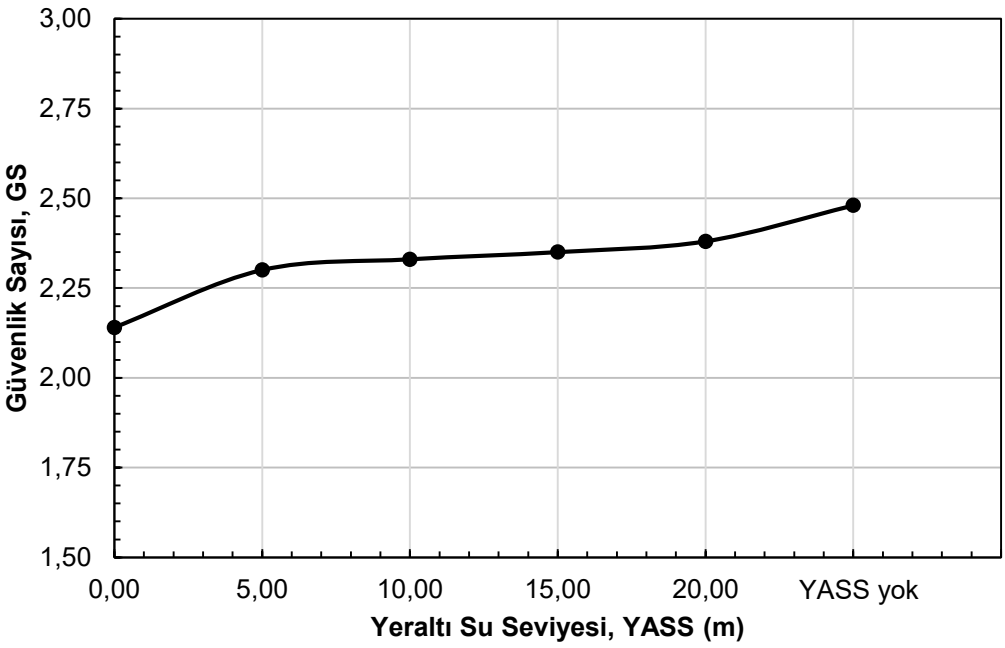
4.9 Yer Altı Su Seviyesi Etkisinin Belirlenmesi

Bu bölümde, iyileştirme yapılmış sistemde, doğal zemindeki yer altı su seviyesinin (YASS), dolgu şevin güvenlik sayısına etkisi analiz edilmiştir (Tablo 4.8).

Şekil 4.62'den, yeraltı su seviyesinin doğal zemin yüzeyinden başladığı durumda güvenlik sayısı değerinin düşük olduğu, sonraki derinliklerde ise ciddi bir değişimin olmadığı görülmektedir.

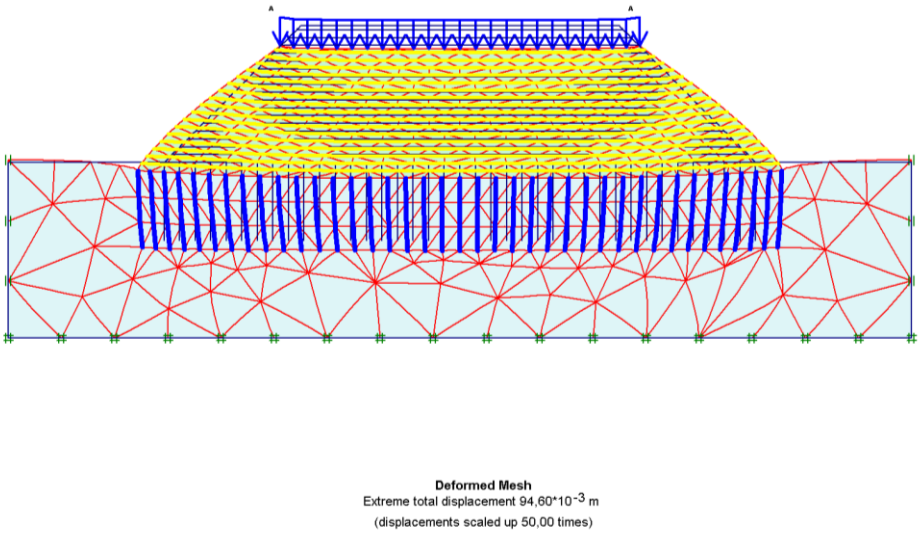
Tablo 4.8 YASS etkisi

YASS (m)	**Güvenlik Sayısı GS**
0,00	2,00
5,00	2,30
10,00	2,33
15,00	2,35
20,00	2,38
YASS yok	2,48

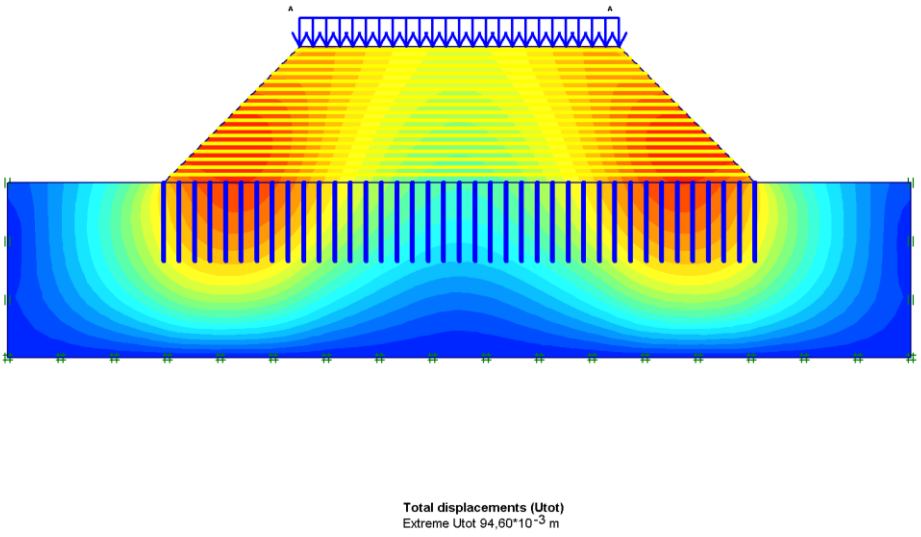


Şekil 4.62 Yeraltı su seviyesi – güvenlik sayısı ilişkisi

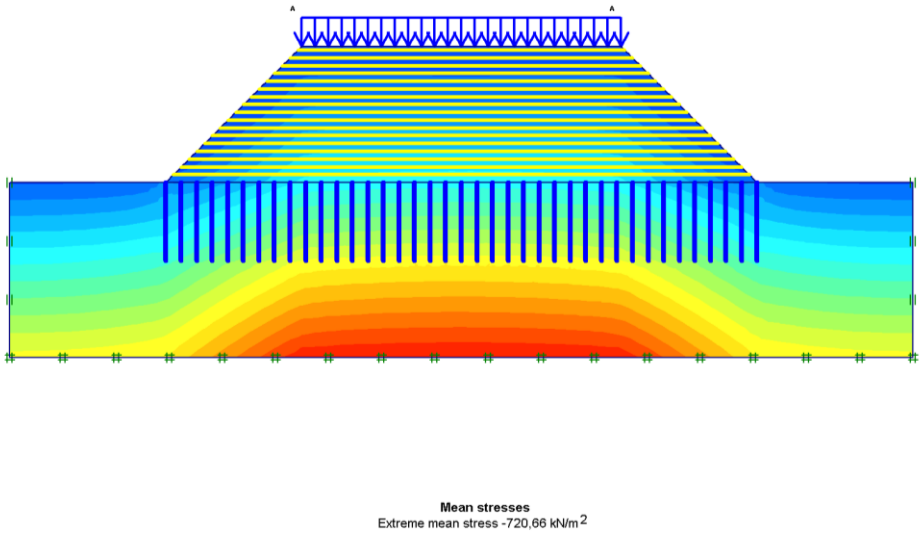
Farklı yeraltı su seviyesi değerleri için, analizlerden elde edilen, deforme olmuş sonlu elemanlar ağı, toplam deplasman, toplam gerilme ve güvenlik sayısı grafikleri sırasıyla Şekil 4.63-82'de görülmektedir.



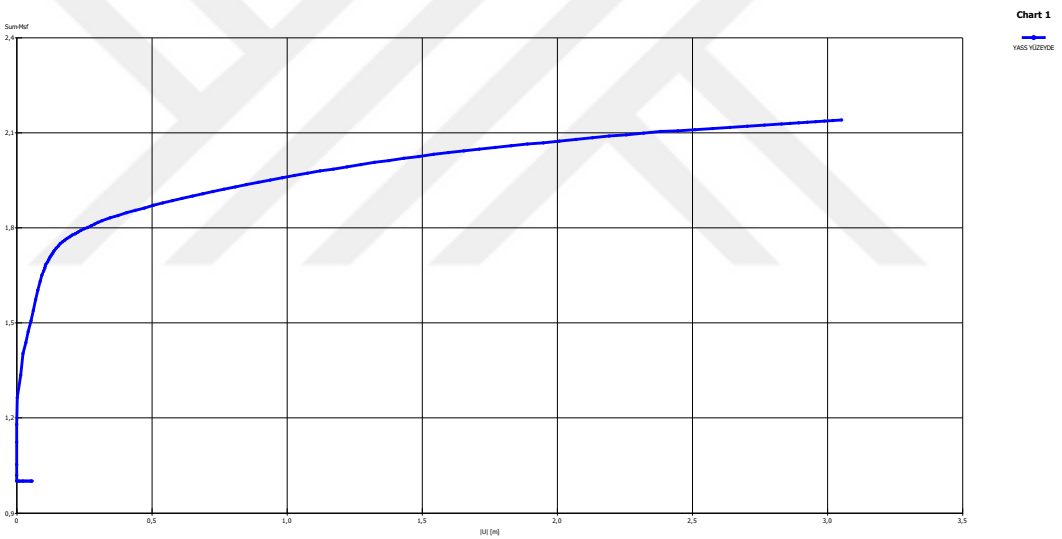
Şekil 4.63 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyindeyken deforme olmuş sistem



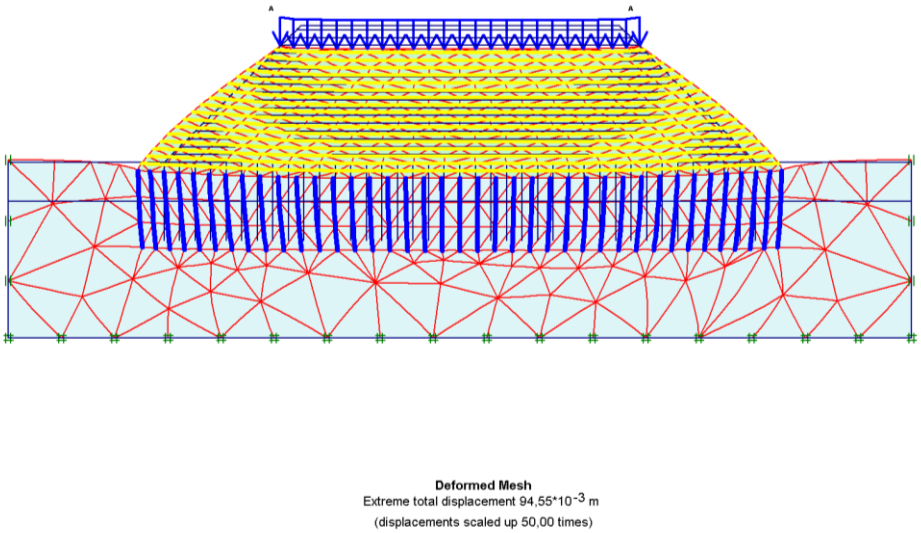
Şekil 4.64 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyindeyken toplam yerdeğiştirme diyagramı



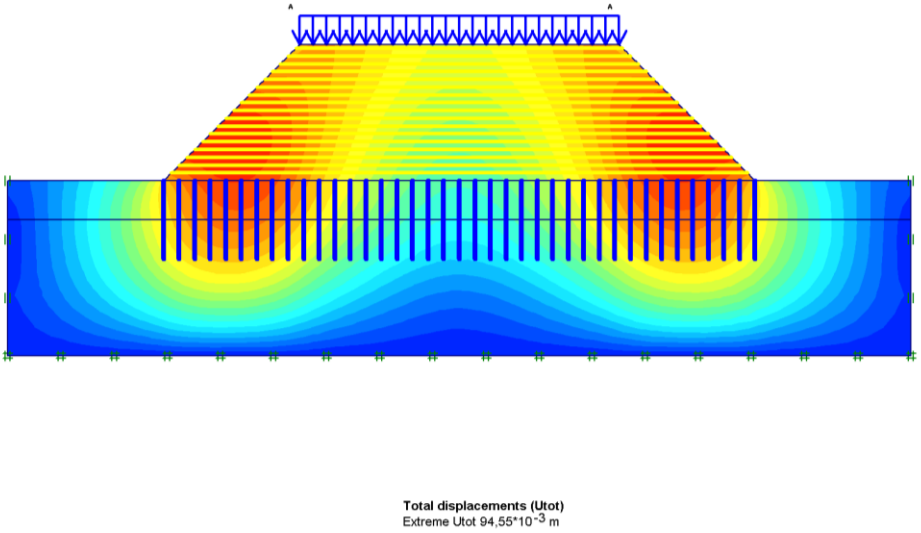
Şekil 4.65 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyindeyken gerilme diyagramı



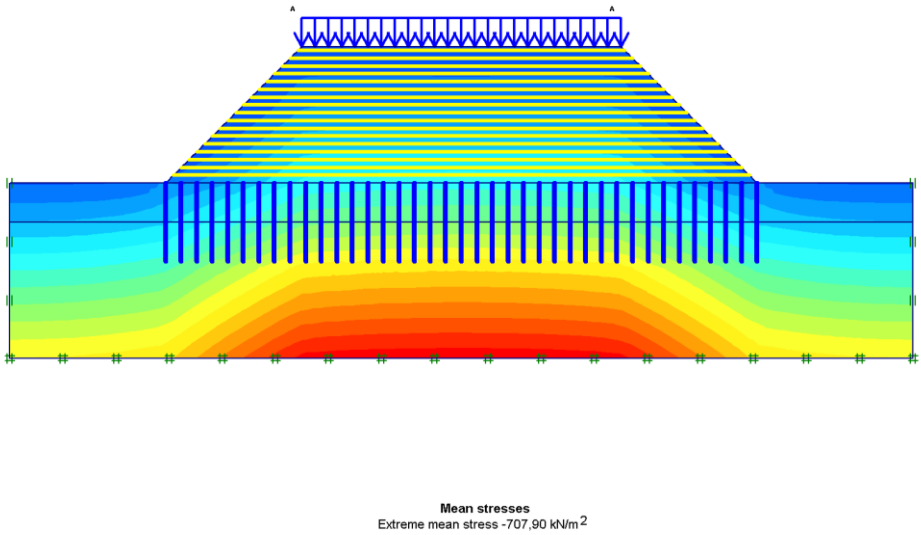
Şekil 4.66 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyindeyken güvenlik faktörü (GS=2,14)



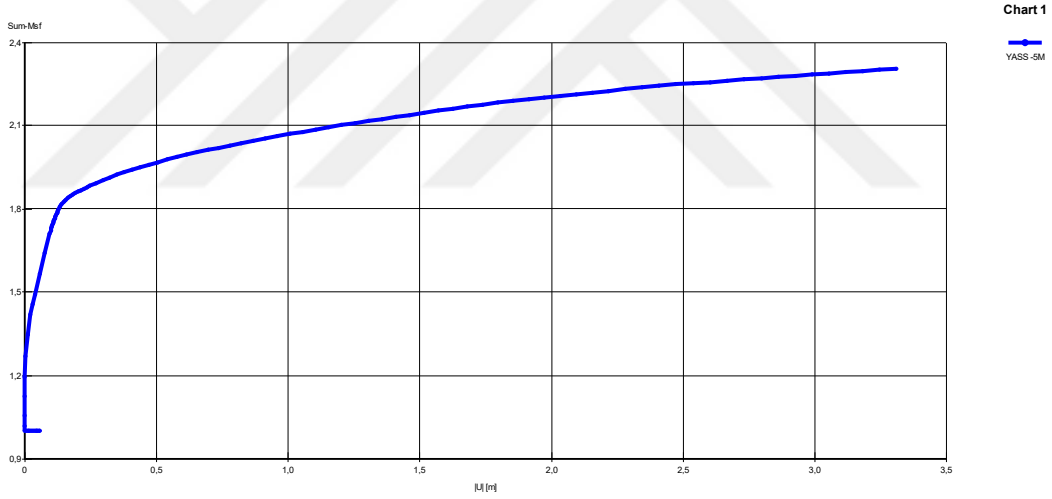
Şekil 4.67 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 5 metre aşağıda iken deforme olmuş sistem



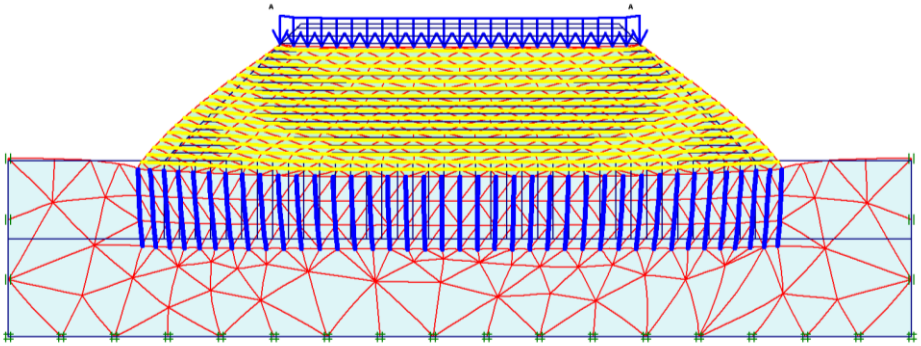
Şekil 4.68 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 5 metre aşağıda iken toplam yerdeğiştirme diyagramı



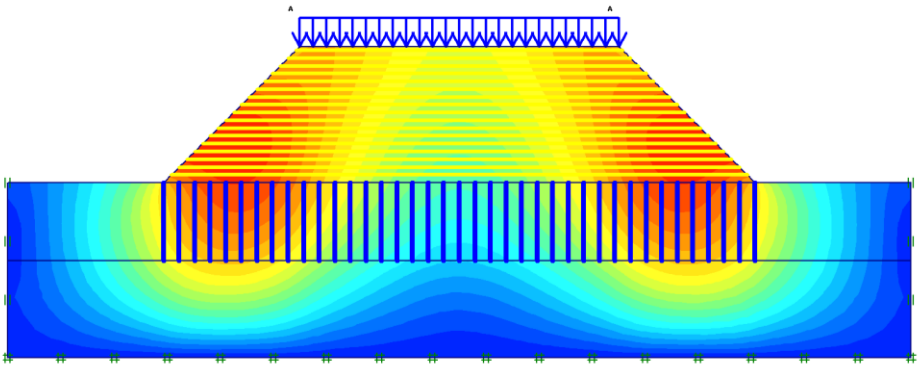
Şekil 4.69 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 5 metre aşağıda iken gerilme diyagramı



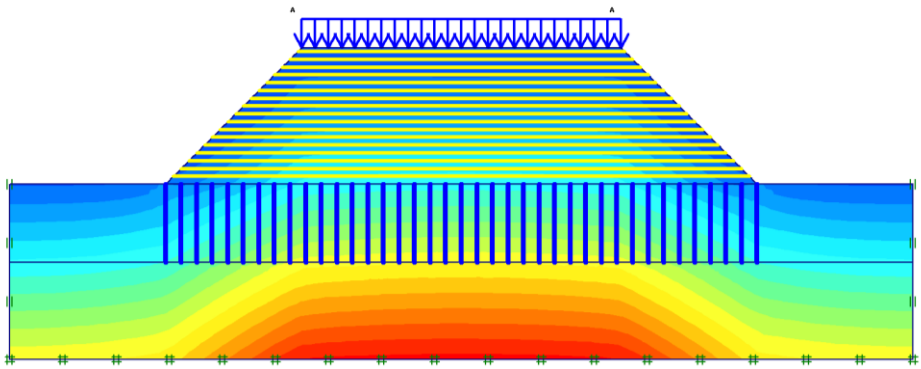
Şekil 4.70 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 5 metre aşağıda iken güvenlik faktörü (GS=2,30)



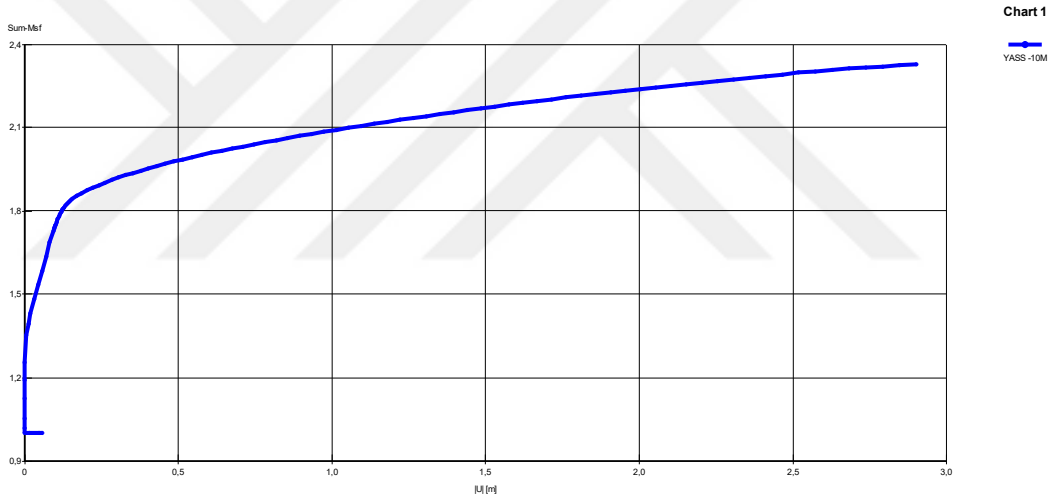
Şekil 4.71 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 10 metre aşağıda iken deforme olmuş sistem



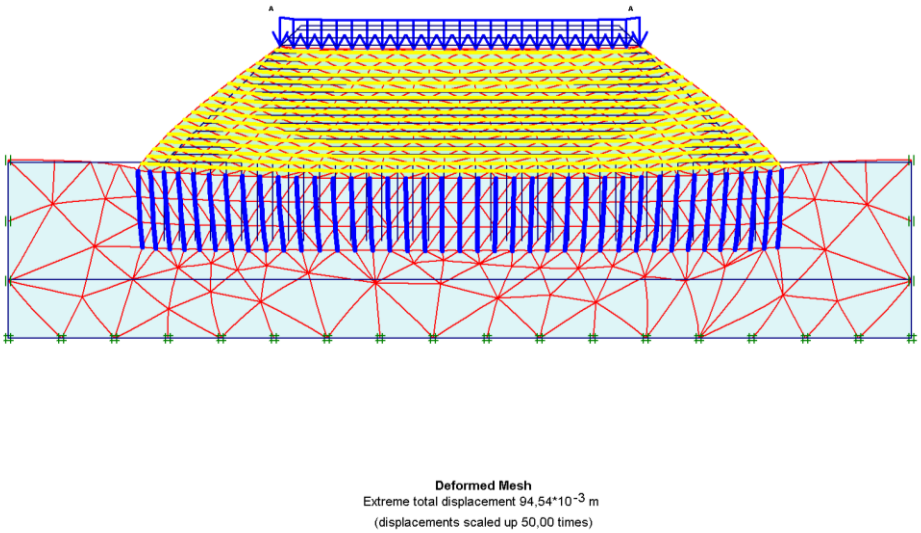
Şekil 4.72 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 10 metre aşağıda iken toplam yerdeğiştirme diyagramı



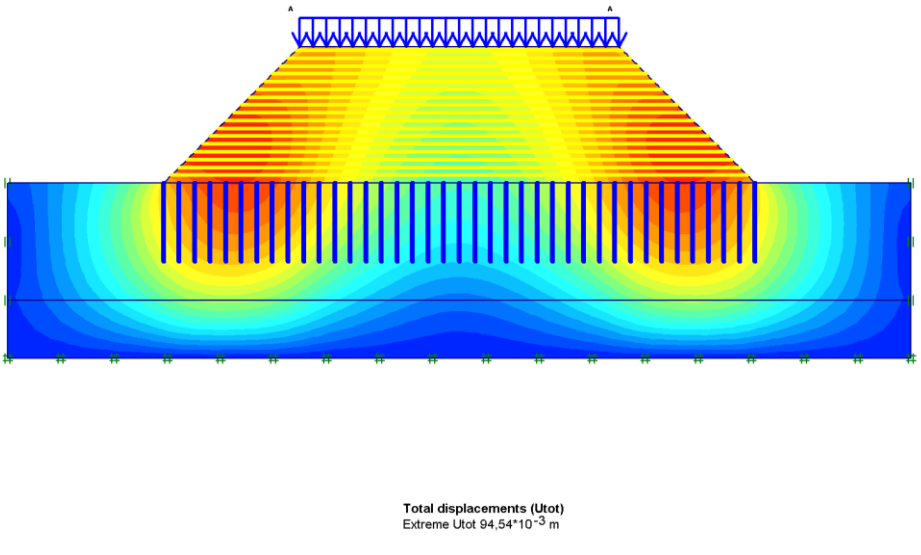
Şekil 4.73 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 10 metre aşağıda iken gerilme diyagramı



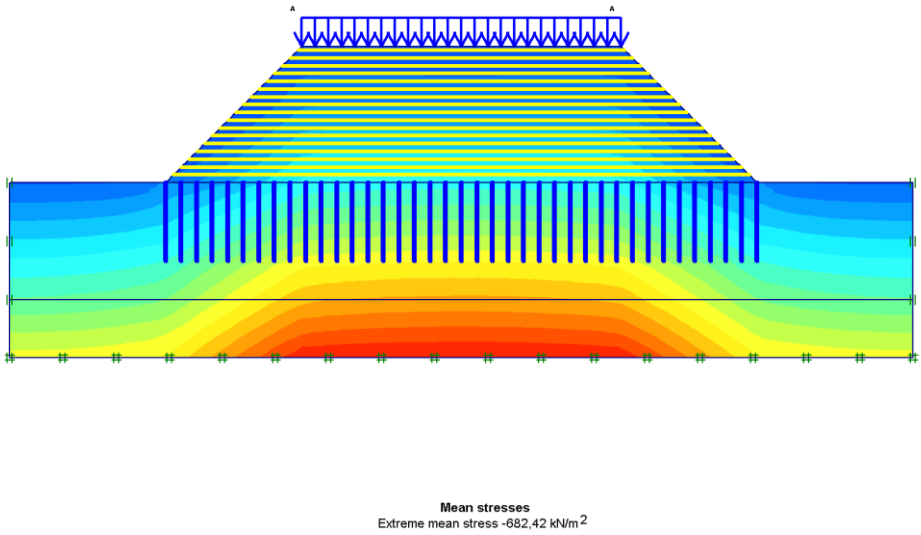
Şekil 4.74 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 10 metre aşağıda iken güvenlik faktörü (GS=2,33)



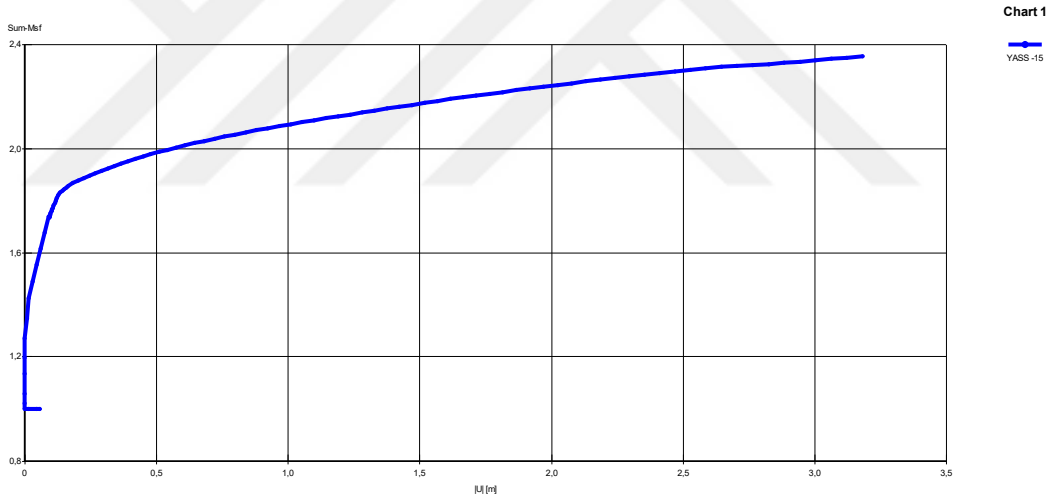
Şekil 4.75 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 15 metre aşağıda iken deforme olmuş sistem



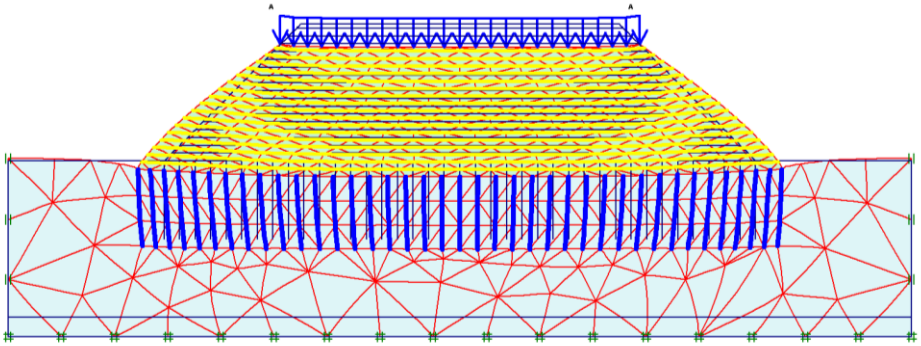
Şekil 4.76 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 15 metre aşağıda iken toplam yerdeğiştirme diyagramı



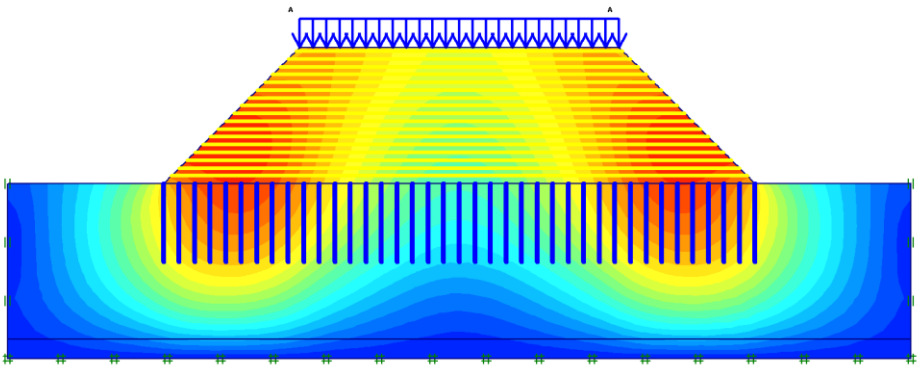
Şekil 4.77 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 15 metre aşağıda iken gerilme diyagramı



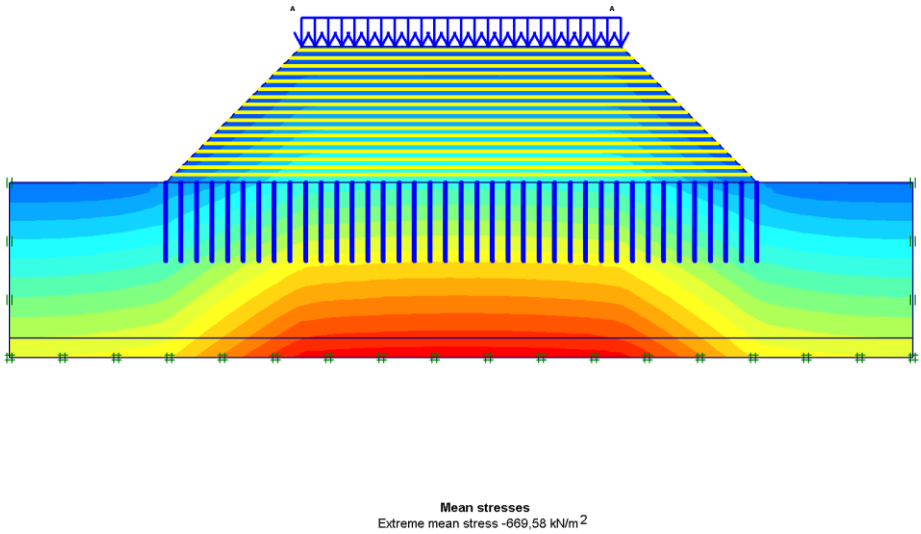
Şekil 4.78 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 15 metre aşağıda iken güvenlik faktörü (GS=2,35)



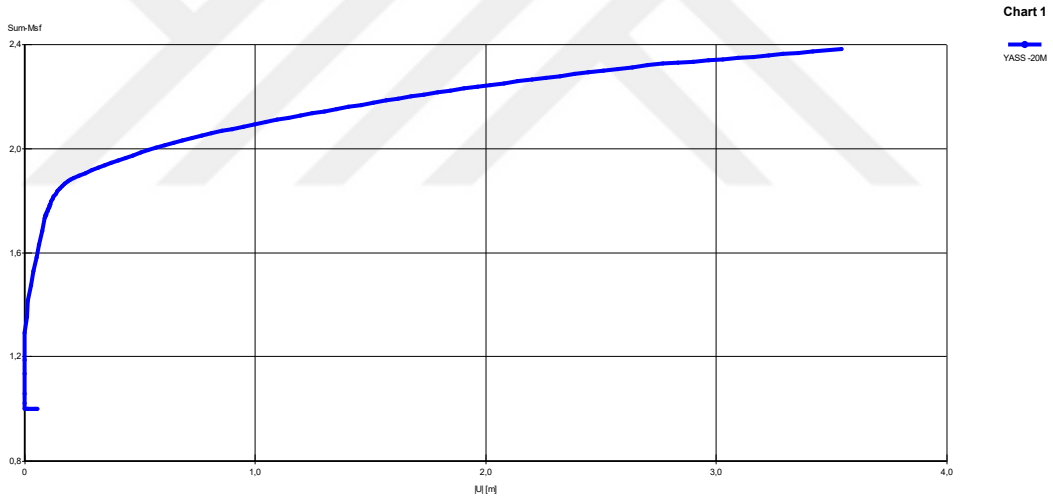
Şekil 4.79 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 20 metre aşağıda iken deforme olmuş sistem



Şekil 4.80 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 20 metre aşağıda iken toplam yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.81 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 20 metre aşağıda iken gerilme diyagramı



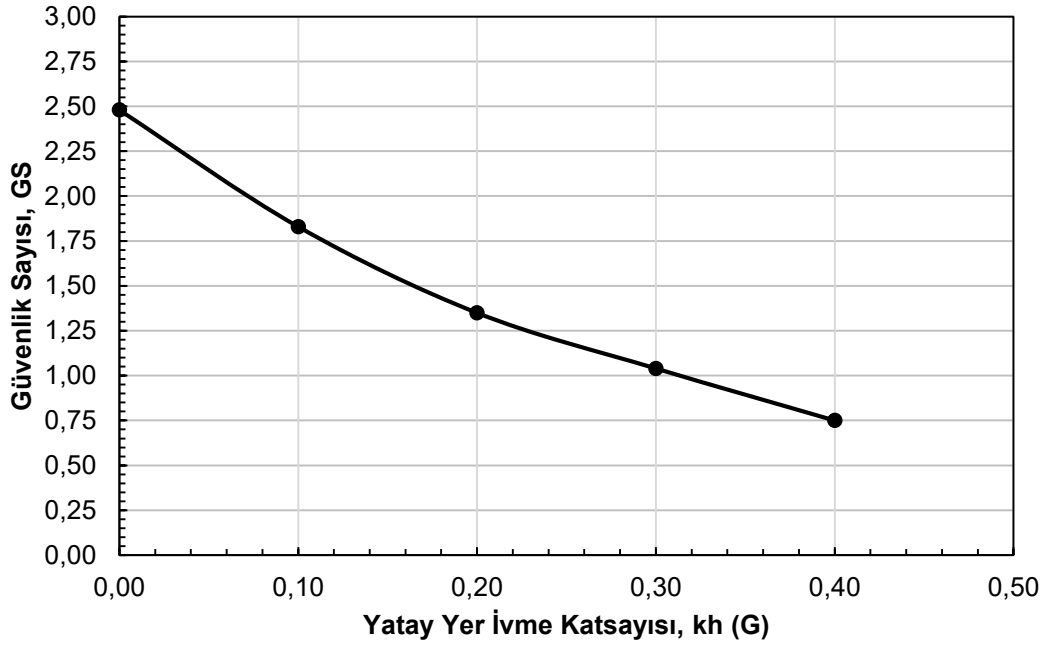
Şekil 4.82 İyileştirme sonrası YASS zemin yüzeyinden 20 metre aşağıda iken güvenlik faktörü (GS=2,38)

4.10 Deprem Etkisi Altında Analizler

İyileştirme yapılmış zeminde depremli analizler gerçekleştirmek amacıyla, sisteme yatay yer ivmeleri etkitilerek dinamik analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.9 ve Şekil 4.83'te verilmektedir. Tablo 4.9 ve Şekil 4.83'ten yatay yer ivme katsayısı değeri arttıkça güvenlik sayısı değerleri hızla düşmektedir. Yatay yer ivme katsayısının 0,30 olduğu durumda güvenlik sayısı sınırda iken (1,04), yatay yer ivme katsayısının 0,40 olduğu durumda güvenlik sayısı 1,00'in altına düşmekte ve sistemde göçme oluşmaktadır.

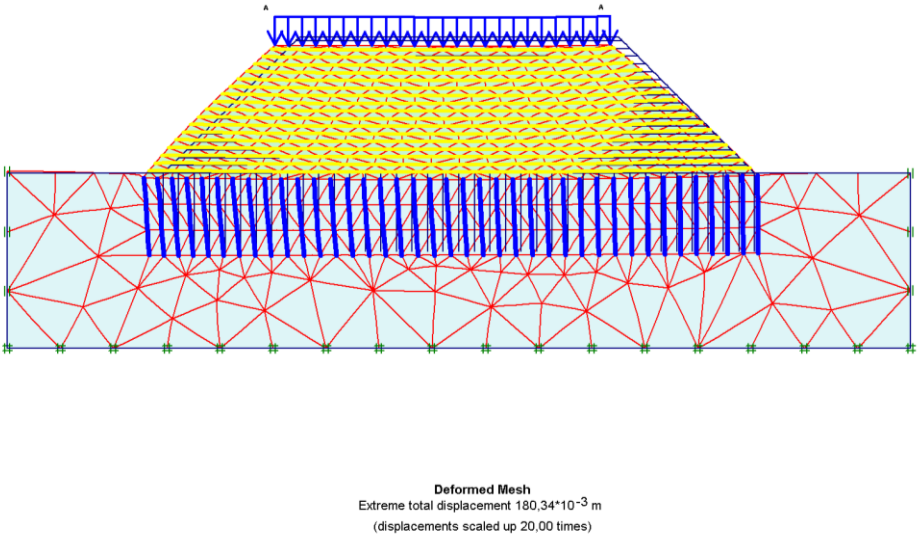
Tablo 4.9 Deprem etkisi

Yatay Yer İvmesi k_h **(G)**	**Güvenlik Sayısı GS**
0,10	1,83
0,20	1,35
0,30	1,04
0,40	<1,00
Statik	2,48

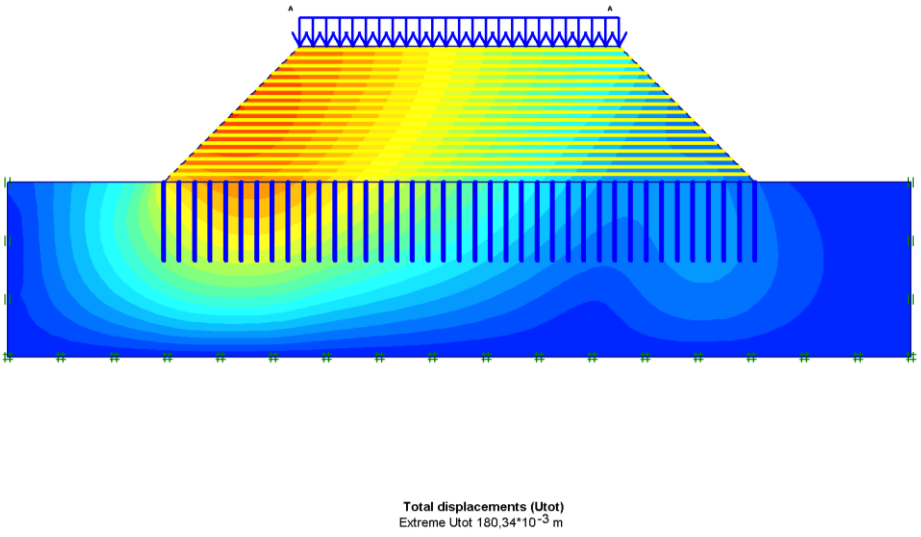


Şekil 4.83 Yatay yer ivme katsayısı – güvenlik sayısı ilişkisi

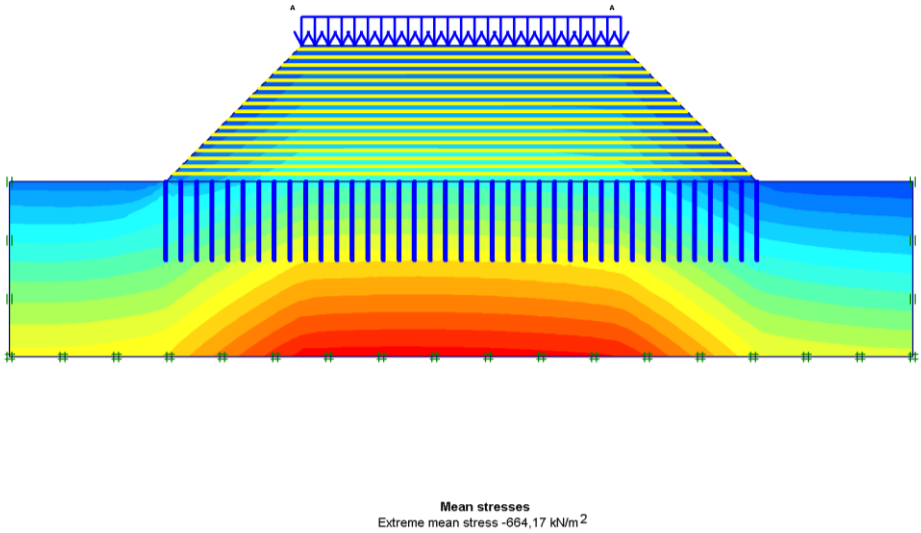
Farklı yatay yer ivme katsayı değerleri için, analizlerden elde edilen, deforme olmuş sonlu elemanlar ağı, toplam deplasman, toplam gerilme ve güvenlik sayısı grafikleri sırasıyla Şekil 4.84-98'de görülmektedir.



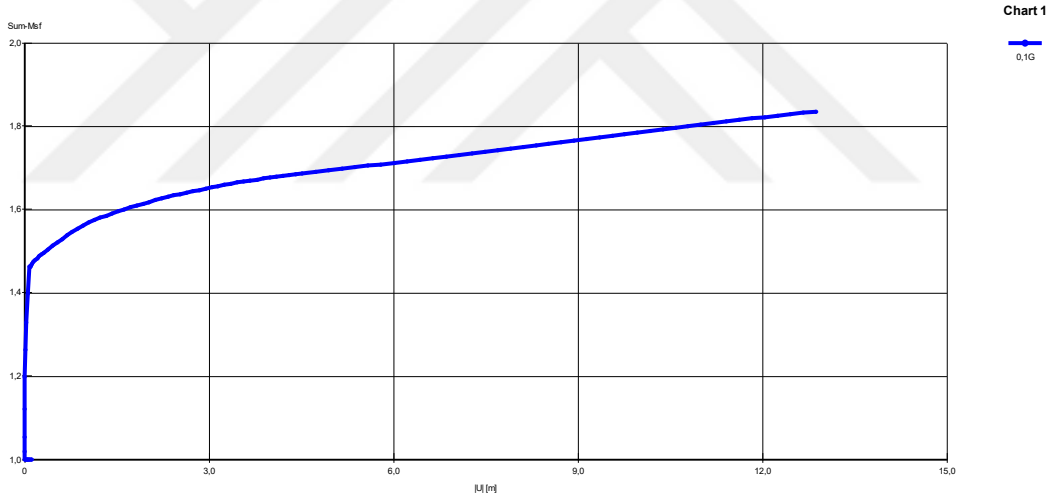
Şekil 4.84 İyileştirme sonrası 0,1G deprem yükü etkisindeki deforme olmuş sistem



Şekil 4.85 İyileştirme sonrası 0,1G deprem yükü etkisindeki toplam yerdeğiştirme diyagramı

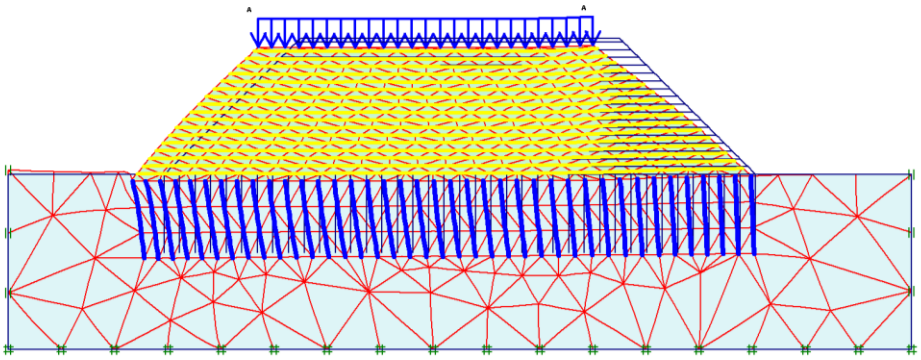


Şekil 4.86 İyileştirme sonrası 0,1G deprem yükü etkisindeki gerilme diyagramı



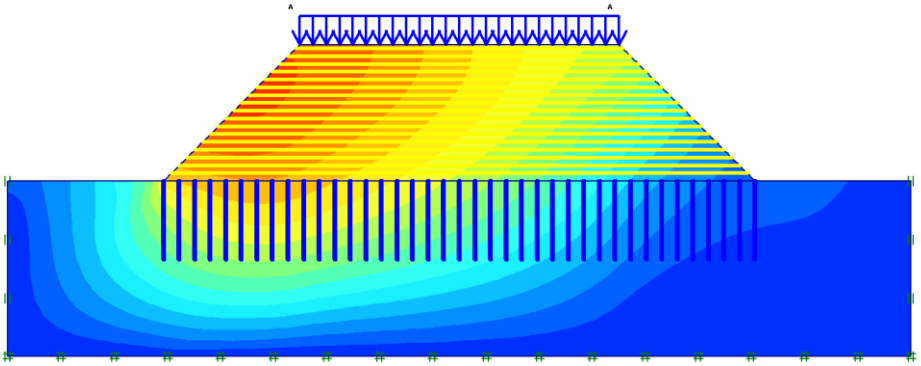
Şekil 4.87 İyileştirme sonrası 0,1G deprem yükü etkisindeki güvenlik faktörü (GS=1,83)

0,2G deprem yükü etkisindeki iyileştirme sonrası elde edilen çözümler şu şekildedir:



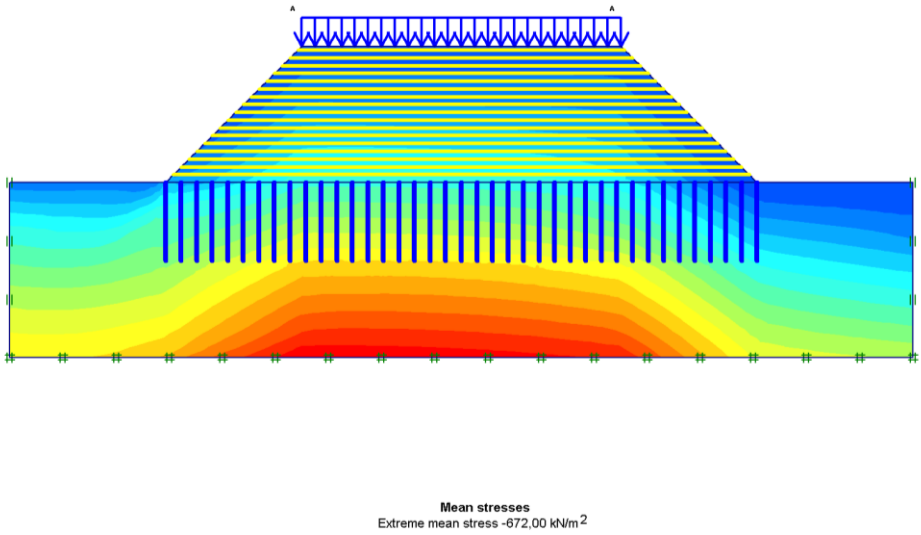
Deformed Mesh
Extreme total displacement 285,77*10^{-3} m
(displacements scaled up 20,00 times)

Şekil 4.88 İyileştirme sonrası 0,2G deprem yükü etkisindeki deforme olmuş sistem

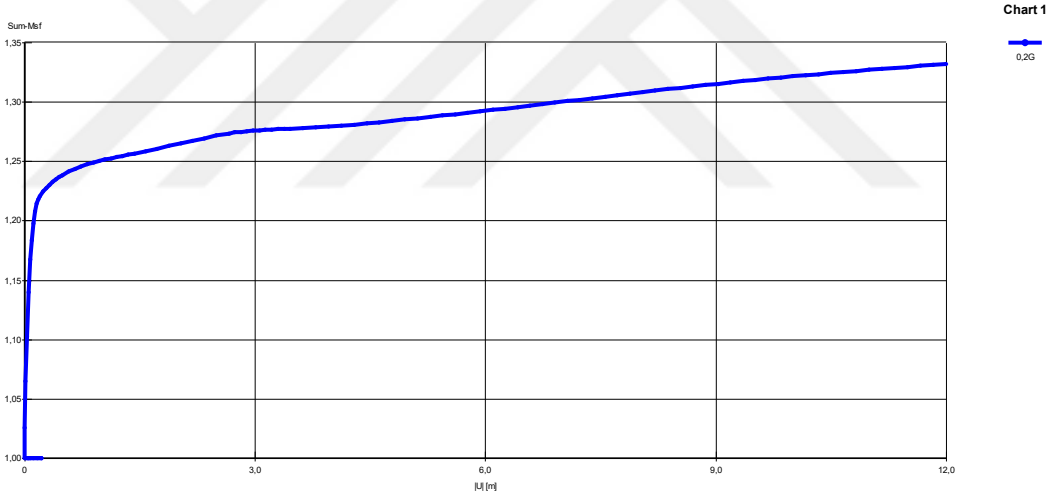


Total displacements (Utot)
Extreme Utot 285,77*10^{-3} m

Şekil 4.89 İyileştirme sonrası 0,2G deprem yükü etkisindeki toplam yerdeğiştirme diyagramı

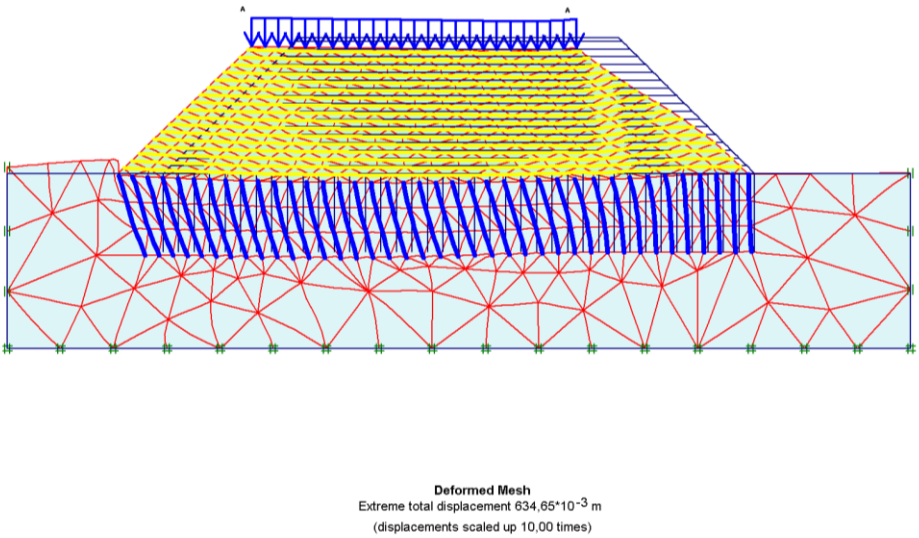


Şekil 4.90 İyileştirme sonrası 0,2G deprem yükü etkisindeki gerilme diyagramı

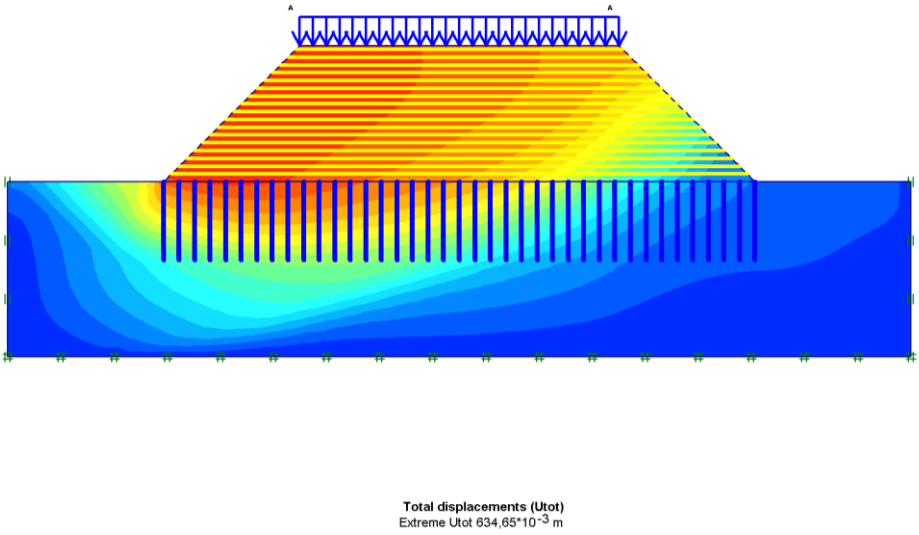


Şekil 4.91 İyileştirme sonrası 0,2G deprem yükü etkisindeki güvenlik faktörü (GS=1,33)

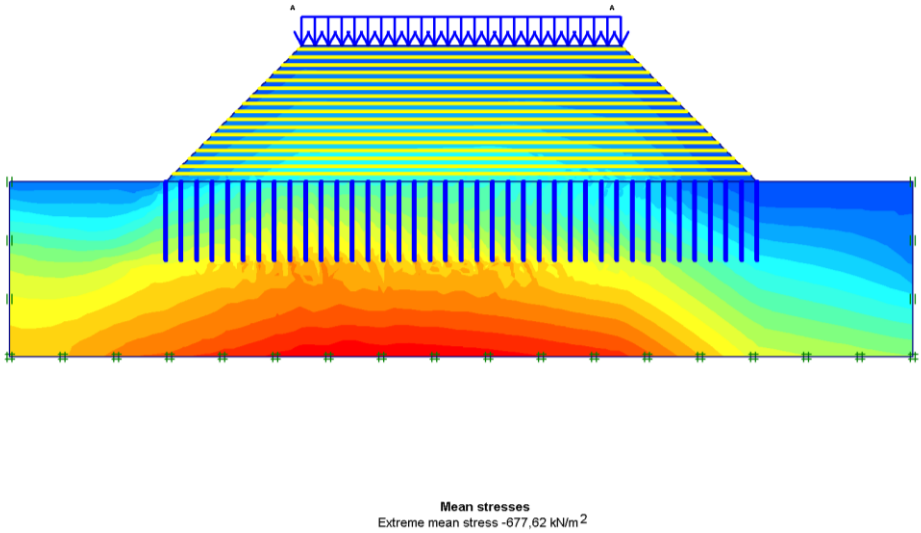
0,3G deprem yükü etkisindeki iyileştirme sonrası elde edilen çözümler şu şekildedir:



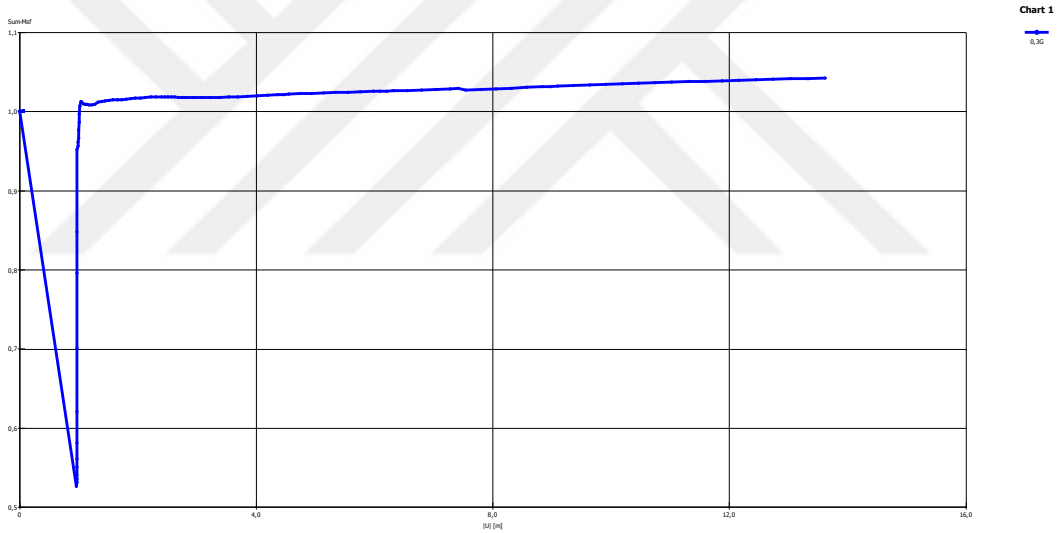
Şekil 4.92 İyileştirme sonrası 0,3G deprem yükü etkisindeki deforme olmuş sistem



Şekil 4.93 İyileştirme sonrası 0,3G deprem yükü etkisindeki toplam yerdeğiştirme diyagramı

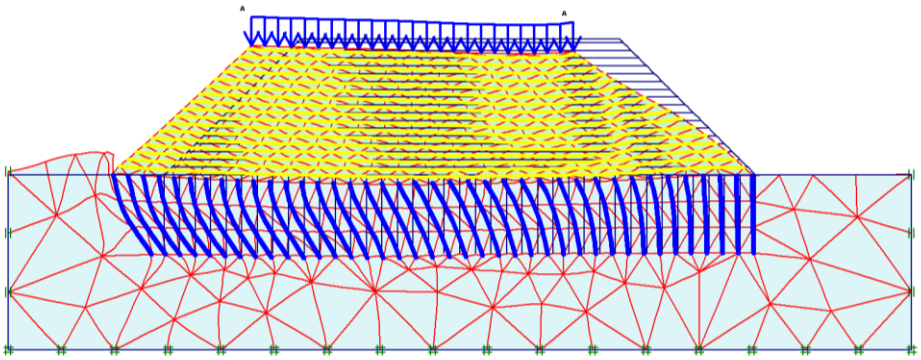


Şekil 4.94 İyileştirme sonrası 0,3G deprem yükü etkisindeki gerilme diyagramı



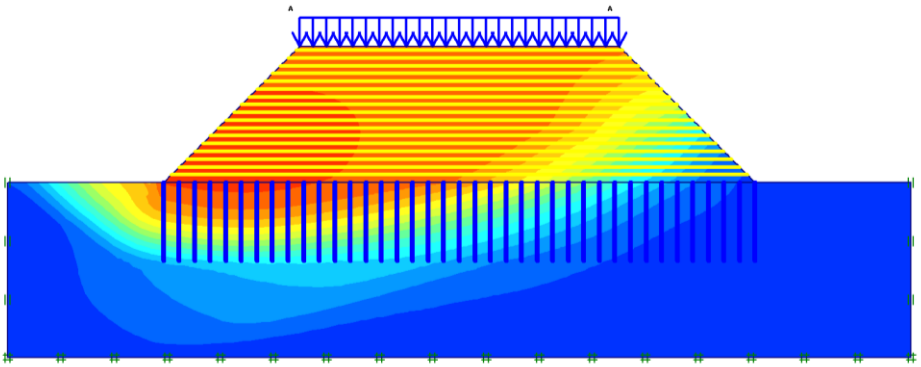
Şekil 4.95 İyileştirme sonrası 0,3G deprem yükü etkisindeki güvenlik faktörü (GS=1,04)

0,4G deprem yükü etkisindeki iyileştirme sonrası elde edilen çözümler şu şekildedir:



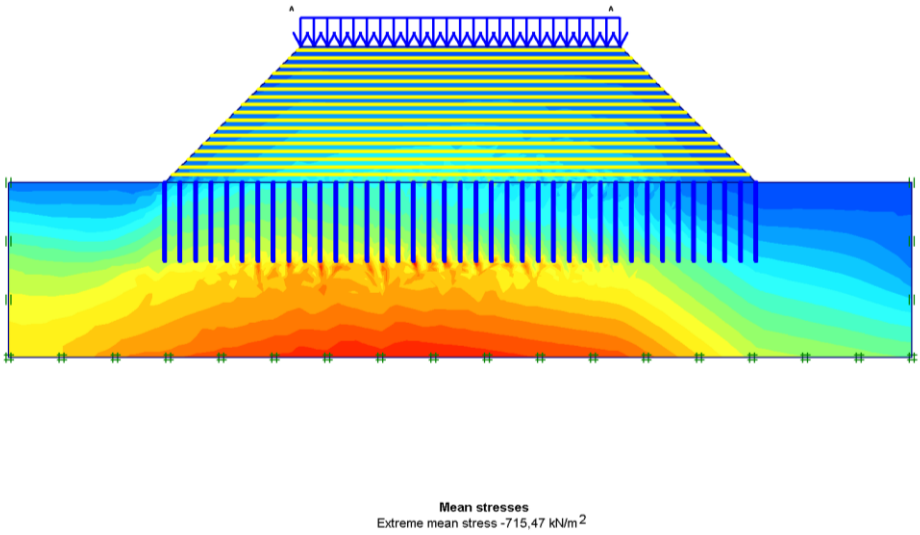
Deformed Mesh
Extreme total displacement 1,35 m
(displacements scaled up 5,00 times)

Şekil 4.96 İyileştirme sonrası 0,4G deprem yükü etkisindeki deforme olmuş sistem



Total displacements (Utot)
Extreme Utot 1,35 m

Şekil 4.97 İyileştirme sonrası 0,4G deprem yükü etkisindeki toplam yerdeğiştirme diyagramı



Şekil 4.98 İyileştirme sonrası 0,4G deprem yükü etkisindeki gerilme diyagramı

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında, zayıf zeminler tanımlanarak, zayıf zeminler üzerine oturan yol dolgularının taşıma gücü, oturmalar vb. yönünden irdelenmesi ve yetersiz taşıma gücü ve/veya oturma problemi olan zeminlerde güçlendirme yöntemleri incelenmiştir. Tez kapsamında, Dicle Üniversitesi kampüs alanında yer alan deplasman ve göçmelerin oluştuğu "Fetih Cami Yolu" ele alınmış, zemin özellikleri arazi ve laboratuvar ortamında belirlenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, taşıma gücü, deplasman ve stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile analizler, PLAXIS hazır paket bilgisayar programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda iyileştirme yöntemine karar verilmiş ve iyileştirme sonrası durum modellenerek zemin davranışı incelenmiştir. İyileştirme yöntemi olarak, yol dolgusunun oturduğu zemin içerisinde jet-grout kolonları oluşturularak zayıf zeminin güçlendirilmesi ve yol dolgusu içerisine geogridler yerleştirilmesine karar verilmiştir. Analizlerde, uygun jet kolon çapı, boyu ve aralıkları belirlenmiş ve optimum geogrid konfigürasyonu elde edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarından, seçilen güçlendirme yöntemlerinin uygulanması durumunda, zayıf zeminin ve yol dolgusunun, taşıma gücü, oturma ve stabilite davranışlarının önemli mertebelerde iyileştiği belirlenmiştir. Ayrıca, analizlerde, yeraltı su seviyesi ve deprem etkileri ele alınmıştır. Analiz sonuçlarına göre, uygulamaya yönelik gerekli sonuç ve öneriler aşağıda sunulmuştur:

1. Söz konusu yol dolgusunun yaklaşık 20 – 25 yıllık olduğu bilinmektedir. İncelenen yol dolgusu, bir vadi geçişinde yapılmış olup, vadi geçişlerinde yaşanan problemler burada da yaşanmaktadır. Düşük taşıma gücü, yakın civara düşen yağış sularının kullandığı güzergah olmasına bağlı olarak zeminde sızma gibi problemler bunlar arasında sayılabilir. Gerçekleştirilen zemin etüd raporuna göre, SK-4 sondaj kuyusunda 0,00 – 15,00 metre arası dolgu, 15,00 – 20,00 metre arası siltli killi çakıl birimi tespit edilmiştir. Dolgu imalatında kullanılan malzeme siltli killi çakıl birim olarak görülmektedir. Dolgu imalatı sırasında mühendislik kurallarına uygun imal edilip edilmediği (optimum su muhtevası, proktor sıkılığı, tabakalar halinde serilerek yeterli sıkıştırma yapılıp yapılmadığı) bilinmemektedir. Bu imalat sırasında fenni şartlara kısmen uyulduğu düşünülmektedir.

2. Yol dolgusu değişken yüksekliğe sahip olup dolguda göçen kısımlar, dolgu yüksekliğinin en fazla olduğu bölgeye denk gelmektedir. Dolgu yükünün zemine yapacağı basınç yaklaşık 20 t/m^2 iken, zemin emniyet gerilmesinin 13,1 t/m^2 olduğu zemin etüd raporundan görülmektedir. Bu durumda doğal zeminin dolgu yükünü karşılayamadığı görülmektedir.
3. İmalatı yapılan dolgunun vadi geçiş bölgesinde olması nedeniyle su akımlarına maruz kalmaktadır. Bu suları deşarj edebilmek amacıyla dolgu tabanında betonarme bir kutu menfez mevcuttur. Ancak alanda yapılan incelemede kutu menfezin hasar aldığı ve efektif bir şekilde çalışmadığı belirlenmiştir.
4. Dolguda yapılan incelemede dolgu gövdesini de içine alan bir heyelanın meydana gelmiş olduğu görülmüştür. Buna yönelik olarak, şev topuk bölgesinde topuk yüklemesi amaçlı ilave bir dolgunun yapıldığı ancak bu önlemin de heyelanları önlemede yetersiz kaldığı görülmüştür.
5. Sonuç olarak; gerek dolgu gerekse yetersiz taşıma gücüne sahip temel zemininin iyileştirilmesi gerekmektedir. Kutu menfezin hasar almış olmasından dolayı yeniden imal edilebilmesi için doğal zemin üzerindeki dolgunun tamamen kaldırılması gerekmektedir. Dolgu kaldırıldıktan sonra yol güzergahı boyunca doğal zeminde jet grout yöntemi ile iyileştirme yapılması öngörülmektedir. Böylece doğal zeminin taşıma gücü ve oturma karakteristikleri iyileştirilecek ve dolgudan gelen yükleri güvenle taşıyabilecektir. Jet grout imalatından sonra menfez imalatı gerçekleştirilecektir. İnşa edilecek dolgu, mühendislik dolgusu olarak tasarlanacak ve tabakalar halinde sıkıştırılarak gerekli laboratuvar ve arazi kontrol testlerine tabi tutulacaktır. Sıkıştırmaya uygun dolgu malzemesi seçilecek ve dolgu malzemesi ile geogrid ara katmanlar kullanılarak dolgu imalatı gerçekleştirilecektir. Yamaçtan gelen suyun, dolgu yakınlarında kolaylıkla toplanarak kutu menfezden iletilebilmesi için, dolgunun hemen bitiminde bir drenaj hattı oluşturulmalıdır.
6. İyileştirme öncesi mevcut durum analizlerinde, zemin incelemesi sonucu elde edilen parametreler kullanılarak gerçekleştirilen analiz ile oluşan deplasmanlar ve güvenlik sayısı elde edilmiştir. Analizlerde, öncelikle trafik yükü altında, deplasman ve gerilme değerleri elde edilmiş, ikinci aşamada ise mukavemet azaltma yöntemi (strength reduction method) ile güvenlik sayısı elde

edilmiştir. Yapılan analizlerden, sisemde toplam deplasmanlar 26,72 cm olarak elde edilmiştir. Dolgu şevinin kaymaya karşı güvenlik sayısı ise GS=1,12 olarak bulunmuştur.

7. Çalışmada, jet grout kolon boylarının optimum değerinin belirlenmesi için farklı boy değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde en büyük toplam deplasman değerinin jet kolon boylarının 5 metre olduğu durumda elde edildiği, jet kolon boyunun 10 metre ve 15 metre olduğu durumlarda ise deplasman değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve L=5 metre durumuna göre yaklaşık %65 azaldığı görülmektedir. Jet kolon boyu ile güvenlik sayısı ilişkisi incelendiğinde, en düşük güvenlik sayısı değerinin jet kolon boylarının 5 metre olduğu durumda elde edildiği, jet kolon boyunun 10 metre ve 15 metre olduğu durumlarda ise güvenlik sayılarının birbirine çok yakın olduğu ve L=5 metre durumuna göre yaklaşık %10 arttığı görülmektedir. Jet kolon boyları için analizlerden elde edilen değerlere göre, toplam deplasmanlar ve güvenlik sayıları ele alındığında, jet kolon optimum boyu L=10 metre olarak belirlenmiştir.
8. Jet grout kolon çaplarının optimum değerinin belirlenmesi için farklı çap değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, kolon çapının D=0,60 cm. olduğu durumda güvenlik sayısı değerinin daha büyük kolon çaplarından elde edilen güvenlik sayısı değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Jet kolon çapları için analizlerden elde edilen değerlere göre, güvenlik sayıları ele alındığında, jet kolon optimum çapı D=60 cm olarak belirlenmiştir.
9. Çalışmada, jet grout kolon aralıklarının optimum değerinin belirlenmesi için farklı aralık değerleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları incelendiğinde, merkezden merkeze kolon aralıklarının d=2×2 metre. olduğu durumda güvenlik sayısı değerinin daha küçük aralık durumunda elde edilen güvenlik sayısı değerlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Jet kolon aralıkları için analizlerden elde edilen değerlere göre, güvenlik sayıları ele alındığında, merkezden merkeze jet kolon optimum aralıkları d=2m×2m olarak belirlenmiştir.
10. Geogridlerin, h=0,50-1,00-1,50-2,00 metre aralıklarla yerleştirilmesi durumunda güvenlik sayıları elde edilmiş ve optimum geogrid aralık değeri

belirlenmiştir. Dolgu şevi içerisine donatı tabakaları yerleştirilmesi durumunda şevin güvenlik sayısının 2 kattan fazla bir artış gösterdiği görülmektedir. Geogrid tabakaları arasındaki mesafe arttıkça şevin güvenlik sayısı azalmaktadır. Her ne kadar geogridler arası mesafenin 0,50 metre olması durumunda en yüksek güvenlik sayısı elde edilse de, hem geleneksel uygulamalar hem de ekonomiklik göz önüne alınarak geogrid tabakaları arasındaki mesafe değeri 1 metre olarak seçilmiştir.

11. Optimum değerler kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda sistemin güvenlik sayısı GS=2,48, sistemde oluşan toplam deplasmanlar ise s=9,45 cm olarak elde edilmiştir. İyileştirme öncesi değerler ile karşılaştırıldığında (GS=1,12 ve s=26,72 cm), güvenlik sayısının yaklaşık %220 arttığı, toplam deplasman değerinin ise, yaklaşık %65 azaldığı belirlenmiştir.
12. İyileştirme yapılmış sistemde, doğal zemindeki yer altı su seviyesinin (YASS), dolgu şevin güvenlik sayısına etkisi analiz edilmiştir. Yeraltı su seviyesinin doğal zemin yüzeyinden başladığı durumda güvenlik sayısı değerinin düşük olduğu, sonraki derinliklerde ise ciddi bir değişimin olmadığı görülmüştür.
13. İyileştirme yapılmış zeminde depremli analizler gerçekleştirmek amacıyla, sisteme yatay yer ivmeleri etkitilerek dinamik analizler yapılmıştır. Yatay yer ivme katsayısı değeri arttıkça güvenlik sayısı değerleri hızla düşmektedir. Yatay yer ivme katsayısının 0,30 olduğu durumda güvenlik sayısı sınırda iken (1,04), yatay yer ivme katsayısının 0,40 olduğu durumda güvenlik sayısı 1,00'in altına düşmekte ve sistemde göçme oluşmaktadır.
14. Elde edilen analiz sonuçları incelendiğinde, jet grout yönteminin zemin iyileştirmesinde, geogrid tabaka kullanımının ise dolgu şevi güçlendirilmesinde etkili yöntemler olduğu değerlendirilmiştir. Sonlu elamanlar yöntemi, hem optimum iyileştirme ve güçlendirme parametrelerinin elde edilmesi hem de göçme, deplasman ve gerilme mekanizmalarının anlaşılması bakımından etkili çözümler ortaya koymakta ve geoteknik problemlerin anlaşılmasına olanak sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

Aksangür, Z. (2017). Yüksek Modüllü Kolonların Zemin İyileştirilmesinde Kullanılması ve Hesap Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı. (2014). Geosentetikler Derneği, İstanbul.

Baş, K. (2006). Temel Takviye Yöntemleri ve Uygulamadan Örnekler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı. (2004). Geosentetikler Derneği, İstanbul.

Bonaparte, R., Christopher,B.,R. (2016). Design and Construction of Reinforced Embankments Over Weak Foundations (p. 26-39), Transportation Research Record, Georgia.

Bowles, J.,E. (1997). Foundation Analysis And Design, 5th ed., The McGraw-Hill Companies, Peoria, Illinois.

Çetinkaya, N. (2009). Geosentetikle Güçlendirilmiş Kazıkla Desteklenmiş Dolgular, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Das, B.M. (2014). Principles of Foundation Engineering, CENGAGE Learning, Boston,USA.

Doğan, S. (2009). Sonlu Elemanlar Metodu İle Dolgu Zemin Modellemesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.

Erdil, B. (2008). Jet Grout Kolonu Tasarım Taşıma Gücü Hesabı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Erol, A.O., Bayram, Z.Ç. (2018). Jet Enjeksiyon Yöntemi, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Ankara.

Erkan, İ.H. (2013). Jet Grout Kolonların Performansını Etkileyen Faktörlerin Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Gökalp, A, Düzceer, R. (2002). Ground Improvement by Jet Grout Technique for Foundations of a Natural Gas Combined Cycle Power Plant in Turkey. Ninth International Conference and Exhibition on Piling and Deep Fountadions, France.

Han, J. (2015). Principles and Practices of Ground Improvement, Wiley, USA.

Karagül, B.Ç. (2007). Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Karayollarında Zayıf Zemin Problemleri ve Önlemler. (2012). T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No 266.

Kocaer, M. (2011). Geosentetiklerin Karayolu Yapılarında Kullanımı: Türkiye Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Koerner, M.,R. (2016). Designing With Geosythetics 6th Edition, Philadelphia.

Kumbasar, V., Kip, F. (2016). Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi.

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

Özalp, H.K. (2003). Soil Improvement Using Jet Grout Technology, Master Thesis, Istanbul Technical University, İstanbul.

Özaydın, K. (2011). Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi.

Plaxis Tutorial (2016). Program kullanım klavuzu

Rowe, R.K., Li, A.L. (2002). Geoynthetic-Reinforced Embankments Over Soft Foundations, RA, Ontario,Canada.

Sağlam, R. (2009). Karayolu Yapımında Geotekstil Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Sigurdsson, O. (1993). Geosynthetic Stabilization of Unpaved Roads on Soft Ground: a Field Evaluation, Master Thesis, British Columbia University, Canada.

Shukla, S., K., Yin, J., H. (2006). Fundamentals of Geosynthetic Engineering, London, United Kingdom.

Sleiman, M. (2020). 2D Modelling of Geosynthetically Reinforced Piled Embankments, Master Thesis, Stockholm, Sweden.

Töremiş, E.İ. (2003). Geotekstiller ve Plaxis Sonlu Elemanlar Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı. (2008). Geosentetikler Derneği, İstanbul.

Xiao, M. (2015). Geotechnical Engineering Design, Wiley, Oxford,United Kingdom.

Yayla, N. (2015). Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi.

Yıldırım, D. (2009). Geogrid Donatılı Stabilize Dolgu Tabakası İle Kil Zeminlerin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.

Yıldırım, Ü. (2019). Köprü Yaklaşım Dolgularının İyileştirilmesi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Yıldız, R. (2017). Jet Grout Kolon Yöntemi İle Zemin İyileştirilmesi Yapılması, İzmir İnşaat Mühendisleri Odası Semineri, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Soyad, Ad		ŞAYBAK, Veysel
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)		
Eğitim Bilgileri		
Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi	-
Lisans	Dicle Üniversitesi	2018
Lise	Diyarbakır Anadolu Lisesi	2012
İş Deneyimi		
Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2019-2021	Avşar İnşaat	Şantiye Şefi
2021-Devam	Ay-Set Mühendislik	Şantiye Şefi
Yabancı Dil		
İngilizce		
Yayınlar		
1.		
2.		
3.		
4.		
Özel İlgiler		

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Veysel ŞAYBAK		
Öğrenci No	19806013		
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği ABD		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☒	Doktora ☐
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Doç. Dr. Mehmet Salih KESKİN		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)			
Tez Başlığı	Zayıf Zeminler Üzerindeki Yol Dolgularının Analizi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	153		
Raporlama Tarihi	09/03/2022		
Benzerlik Oranı (%)	21		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 153 sayfalık kısmına ilişkin, 09/03/2022 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %21 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) dahil

☐Kaynaklar dahil

☐Alıntılar dâhil

☐Diğer (Açıklayınız)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir, gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Veysel ŞAYBAK
Tarih:09/03/2022
İmza:

Danışman Adı,Soyadı: Mehmet Salih KESKİN Tarih:09/03/2022	İmza:
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Z. Fuat TOPRAK Tarih:09/03/2022	İmza: