

152351

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YUMUŞAK KİL ZEMİNE OTURAN KUM
DOLGUNUN TAŞIMA GÜCÜ GÜVENLİĞİNİN
GEOTEKSTİLLER VE TAŞ KOLONLARLA
ARTTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Hakan Anıl AFATOĞLU
(501011567)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Nisan 2004
Tezin Savunulduğu Tarih : 20 Mayıs 2004

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Mete İNCECİK
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Recep İYİSAN
Yrd. Doç. Dr. Mehmet BERİLGİN (Y.T.Ü)

MAYIS 2004

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca bilgi birikimini, deneyimini ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Sn. Prof. Dr. Mete İNCECİK'e teşekkürlerimi sunarım.

Gerek analizler esnasında gerekse tezimin diğer aşamalarında deneyimlerini benimle paylaşan Sn. Yrd. Doç. Dr. Mehmet Berilgen teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasındaki gösterdiği her türlü destek ve yardımından dolayı Arş. Gör. Müge Balkaya'ya teşekkürü borç bilirim.

Her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme sevgi ve saygılarımı sunarım.

İstanbul, Haziran 2004

H. Aml AFATOĞLU

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
SUMMARY	xvii
1.GİRİŞ	1
2. GEOSENTETİKLER	2
2.1. Geotekstiller	2
2.1.1. Geotekstillerin hammaddeleri ve üretim metodları	3
2.1.2. Geotekstillerin sınıflandırılması	3
2.1.2.1. Örgülü geotekstiller	4
2.1.2.2. Örgüsüz geotekstiller	4
2.1.3. Geotekstillerin işlevleri	5
2.1.3.1. Ayırma	5
2.1.3.2. Filtrasyon	7
2.1.3.3. Drenaj	8
2.1.3.4. Güçlendirme	8
3. TAŞ KOLONLAR (DREN KAZIKLAR)	9
3.1. Taş Kolon Uygulama Yöntemleri	10
3.1.1. Vibrafilotasyon metodu	11
3.1.2. Eksenel delme metodu (Franki Method)	11
3.1.3. Su jeti metodu	11
3.1.4. Mandrel metodu	12
3.1.5. Sürekli burgu metodu	12
4. PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI	13
4.1. Plaxis Programı ile Çözüm	13

5. YUMUŞAK KİL ZEMİN ÜZERİNE OTURAN KUM DOLGUNUN TAŞIMA GÜCÜ GÜVENLİĞİNİN PLAXIS PROGRAMI İLE İNCELENMESİ	18
5.1. Donatısız Kum Dolgunun Kil Zemine Oturtulması	21
5.2. Kum Dolguda Geotekstil Uygulamaları	26
5.2.1. 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması	26
5.2.2. 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması	32
5.2.3. Kum dolgunun 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulması	38
5.2.4. Yumuşak kil zemin üzerine yüklenen kum dolgu analizlerinin karşılaştırılması	44
5.3. Yumuşak Kil Zemin İçerisine Taş Kolon (Çakıl Kolon) Uygulanması	46
5.3.1. $\phi 40$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	46
5.3.2. $\phi 40$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	53
5.3.3. $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	58
5.3.4. $\phi 60$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	63
5.3.5. $\phi 60$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	68
5.3.6. $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	73
5.3.7. $\phi 80$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	78
5.3.8. $\phi 80$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	83
5.3.9. $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	88
5.3.10. Farklı çaptaki çakıl kolonların farklı mesafelerde yerleştirildiği analizlerin karşılaştırılması	93
5.4. Yumuşak Kil Zemin Üzerine Oturan 12 m'lik Kum Dolgunun Taşıma Gücü Güvenliğinin Plaxis Programı ile İncelenmesi	100
5.5. Donatısız Kum Dolgunun Kil Zemine Oturtulması	103
5.6. Kum Dolguda Geotekstil Uygulamaları	107
5.6.1. 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması	107

5.6.2. 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması	112
5.6.3. Kum dolgunun 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulması	117
5.6.4. Yumuşak kil zemin üzerine yüklenen kum dolgu analizlerinin karşılaştırılması	122
5.7. Kil Zemin İçerisine Taş Kolon (Çakıl Kolon) Uygulaması	124
5.7.1. $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	124
5.7.2. $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	130
5.7.3. $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması	135
5.7.4. Farklı çaptaki çakıl kolonların farklı mesafelerde yerleştirildiği analizlerin karşılaştırılması	140
5.8. Konsolidasyon Oturmasının ve Süresinin Tahkiki	143
5.9. Güvenlik Faktörünün Tayini	152
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	153
KAYNAKLAR	155
EKLER	157
ÖZGEÇMİŞ	164

KISALTMALAR

ASTM	: American Society of Testing and Materials
ISSMFE	: International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering
MC	: Mohr-Coulomb
LE	: Linear Elastic



TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 Uygulamada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Parametreleri	19
Tablo 5.2 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	23
Tablo 5.3 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	23
Tablo 5.4 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	29
Tablo 5.5 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	29
Tablo 5.6 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	35
Tablo 5.7 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	35
Tablo 5.8 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	41
Tablo 5.9 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	41
Tablo 5.10 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler	44
Tablo 5.11 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	50
Tablo 5.12 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	50
Tablo 5.13 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	56
Tablo 5.14 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	56
Tablo 5.15 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	61
Tablo 5.16 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	61
Tablo 5.17 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	66
Tablo 5.18 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	66
Tablo 5.19 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	71
Tablo 5.20 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	71
Tablo 5.21 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	76
Tablo 5.22 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	76
Tablo 5.23 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	81
Tablo 5.24 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	81
Tablo 5.25 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	86
Tablo 5.26 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	86
Tablo 5.27 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	91

Tablo 5.28 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	91
Tablo 5.29 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler	94
Tablo 5.30 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler	96
Tablo 5.31 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler	98
Tablo 5.32 Uygulamada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Parametreleri	101
Tablo 5.33 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	105
Tablo 5.34 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	110
Tablo 5.35 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	110
Tablo 5.36 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	115
Tablo 5.37 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	115
Tablo 5.38 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	120
Tablo 5.39 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	120
Tablo 5.40 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler	122
Tablo 5.41 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	128
Tablo 5.42 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	128
Tablo 5.43 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	133
Tablo 5.44 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	133
Tablo 5.45 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler	138
Tablo 5.46 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları	138
Tablo 5.47 Çakıl Kolon Analizleri Sonucunda Elde Edilen Değerler	140
Tablo 5.48 Uygulamada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Parametreleri	145
Tablo 5.49 Dolgu Merkez Düşeyinde Zeminde Meydana Gelen Gerilmeler	147
Tablo 5.50 Dolgu Merkez Düşeyinde Oturma Analizi	148
Tablo 5.51 Zemin İçin (U-Tv) Bağıntısı	149
Tablo 5.52 Radyal Dogrultuda Akım Halinde (Ur - Tr) Bağıntısı	150
Tablo 5.53 Çakıl Kolon Uygulanan Zeminde Konsolidasyon Süresinin Hesaplanması	151

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Geotekstilin ayırıcı olarak kullanıldığı bazı alanlar	6
Şekil 2.2 Filtrasyon amacıyla kullanılan geotekstile örnek.....	7
Şekil 2.3 Geotekstil ile yapılan bir drenaj uygulaması	8
Şekil 3.1 Taş kolon uygulaması.....	10
Şekil 3.2 Franki ve Vibraflasyon metodları ile taş kolon uygulaması	11
Şekil 3.3 Sürekli burgu ve Mandrel metodlarının incelenmesi	12
Şekil 4.1 Genel ayarlar Sayfası.....	14
Şekil 4.2 Input anasayfası.....	14
Şekil 4.3 Malzeme özelliklerinin girilmesi.	15
Şekil 4.4 Sonlu elemanlar oluşturulmuş zemin	16
Şekil 4.5 Hesaplama safhası	16
Şekil 5.1 8 m'lik kum dolgu ve zemin profili	18
Şekil 5.2 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin Plaxis ile modellenmesi	20
Şekil 5.3 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	20
Şekil 5.4 8 m'lik kum dolgunun kil zemine oturtulması	21
Şekil 5.5 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	21
Şekil 5.6 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	22
Şekil 5.7 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	24
Şekil 5.8 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü	24
Şekil 5.9 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.	25
Şekil 5.10 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü. ...	25
Şekil 5.11 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m'lik kum yastık üzerine oturtulması.	27
Şekil 5.12 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	28
Şekil 5.13 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	28
Şekil 5.14 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.....	30
Şekil 5.15 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.....	30
Şekil 5.16 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	31
Şekil 5.17 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.....	31

Şekil 5.18 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m'lik kum yastık üzerine oturtulması	32
Şekil 5.19 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	33
Şekil 5.20 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin	34
Şekil 5.21 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	36
Şekil 5.22 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.	36
Şekil 5.23 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği	37
Şekil 5.24 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.	37
Şekil 5.25 8 m'lik kum dolgunun 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulması	38
Şekil 5.26 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	39
Şekil 5.27 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin	40
Şekil 5.28 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	42
Şekil 5.29 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü	42
Şekil 5.30 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği	43
Şekil 5.31 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü	43
Şekil 5.32 Yapılan 4 ayrı analizin simetri eksenindeki (0;45) noktası deformasyonlarının karşılaştırılması	45
Şekil 5.33 Yapılan 4 ayrı analizin simetri eksenindeki boşluk suyu basınçlarını karşılaştırılması	45
Şekil 5.34 Etrafı geotekstillere sarılmış $\phi 40$ çakıl kolonların 2 m ara ile kil zemine uygulanması.	47
Şekil 5.35 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	48
Şekil 5.36 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin	49
Şekil 5.37 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	51
Şekil 5.38 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü	51
Şekil 5.39 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği	52
Şekil 5.40 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü	52
Şekil 5.41 Etrafı geotekstillere sarılmış $\phi 40$ çakıl kolonların 3 m ara ile kil zemine uygulanması	53
Şekil 5.42 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	54
Şekil 5.43 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin	55

Şekil 5.44 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	57
Şekil 5.45 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	57
Şekil.5.46 Etrafı geotekstillerle sarılmış $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile kil zemine uygulanması	58
Şekil 5.47 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	59
Şekil 5.48 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	60
Şekil 5.49 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	62
Şekil 5.50 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	62
Şekil.5.51 Etrafı geotekstillerle sarılmış $\phi 60$ çakıl kolonların 2 m ara ile kil zemine uygulanması	63
Şekil 5.52 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	64
Şekil 5.53 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	65
Şekil 5.54 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	67
Şekil 5.55 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	67
Şekil.5.56 Etrafı geotekstillerle sarılmış $\phi 60$ çakıl kolonların 3 m ara ile kil zemine uygulanması	68
Şekil 5.57 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	69
Şekil 5.58 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	70
Şekil 5.59 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	72
Şekil 5.60 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	72
Şekil.5.61 Etrafı geotekstillerle sarılmış $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile kil zemine uygulanması	73
Şekil 5.62 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	74
Şekil 5.63 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	75
Şekil 5.64 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	77
Şekil 5.65 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	77
Şekil 5.66 Etrafı geotekstillerle sarılmış $\phi 80$ çakıl kolonların 2 m ara ile kil zemine uygulanması	78
Şekil 5.67 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	79
Şekil 5.68 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	80
Şekil 5.69 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	82

Şekil 5.70 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0,37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	82
Şekil 5.71 Etrafi geotekstillerle sarılmış $\phi 80$ çakıl kolonların 3 m ara ile kil zemine uygulanması	83
Şekil 5.72 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	84
Şekil 5.73 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin	85
Şekil 5.74 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0,45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	87
Şekil 5.75 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0,37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	87
Şekil 5.76 Etrafi geotekstillerle sarılmış $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile kil zemine uygulanması	88
Şekil 5.77 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	89
Şekil 5.78 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	90
Şekil 5.79 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0,45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.	92
Şekil 5.80 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0,37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	92
Şekil 5.81 2 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0,45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	95
Şekil 5.82 2 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0,37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği. ...	95
Şekil 5.83 3 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0,45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	97
Şekil 5.84 3 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0,37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği. ...	97
Şekil 5.85 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0,45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	99
Şekil 5.86 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0,37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği. ...	99
Şekil 5.87 12 m'lik kum dolgu ve zemin profili.....	100
Şekil 5.88 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin Plaxis ile modellenmesi	102
Şekil 5.89 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	102
Şekil 5.90 12 m'lik kum dolgunun kil zemine üzerine oturtulması.....	103
Şekil 5.91 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	104
Şekil 5.92 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	104
Şekil 5.93 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0,45) noktası yerdeğiştirme – zaman	106
Şekil 5.94 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0,39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.	106
Şekil 5.95 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m'lik kum yastık üzerine oturtulması.	108
Şekil 5.96 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları.....	109
Şekil 5.97 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	109
Şekil 5.98 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0,45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.....	111

Şekil 5.99 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	111
Şekil 5.100 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m’lik kum yastık üzerine oturtulması	112
Şekil 5.101 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	113
Şekil 5.102 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	114
Şekil 5.103 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği... ..	116
Şekil 5.104 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	116
Şekil 5.105 12 m’lik kum dolgunun 1,5 m’lik kum yastık üzerine oturtulması.....	117
Şekil 5.106 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	118
Şekil 5.107 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	119
Şekil 5.108 1,5 m’lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme - zaman grafiği.....	121
Şekil 5.109 1,5 m’lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	121
Şekil 5.110 Yapılan 3 ayrı analizin simetri eksenindeki (0;45) noktası deformasyonlarının karşılaştırılması	123
Şekil 5.111 Yapılan 3 ayrı analizin simetri eksenindeki boşluk suyu basınçlarını karşılaştırılması	124
Şekil 5.112 $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile kil zemine uygulanması.....	125
Şekil 5.113 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	126
Şekil 5.114 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	127
Şekil 5.115 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ ’lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği... ..	128
Şekil 5.116 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ ’lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	129
Şekil 5.117 $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile kil zemine uygulanması.....	130
Şekil 5.118 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	131
Şekil 5.119 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	132
Şekil 5.120 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ ’lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği... ..	134
Şekil 5.121 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ ’lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	134
Şekil 5.122 $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile kil zemine uygulanması.....	135
Şekil 5.123 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları	136
Şekil 5.124 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin.....	137
Şekil 5.125 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ ’lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği... ..	139
Şekil 5.126 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ ’lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	139
Şekil 5.127 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği	142

Şekil 5.128 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.....	142
Şekil 5.129 Trapez şerit yüklü alanlara ait Ip tesir sayıları grafiği.....	146
Şekil 5.130 Düşey gerilmenin derinlikle değişimini gösteren grafik.....	147
Şekil A1.1 8 m'lik kum dolgu için şev stabilitesi kritik kayma yüzeyi	159
Şekil A1.2 12 m'lik kum dolgu için şev stabilitesi kritik kayma yüzeyi	163



SEMBOL LİSTESİ

c_{ref}	: Kohezyon
c_r	: Yatay yöndeki konsolidasyon katsayısı
c_v	: Düşey yöndeki konsolidasyon katsayısı
ΔH	: Nihai konsolidasyon oturması (m)
ΔH_t	: t zamanındaki konsolidasyon oturması (m)
Δp	: Basınç artışı
E	: Elastisite modülü (kN/m^2)
EA	: Elastik normal rijitlik
γ_k	: Zeminin kuru birim hacim ağırlıkları (kN/m^3)
γ_n	: Zeminin doğal birim hacim ağırlıkları (kN/m^3)
γ_w	: Suyun Birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
H	: Tabaka kalınlığı (m)
H_d	: Drenaj mesafesi (m)
I	: Tesir sayısı
k	: Permeabilite katsayısı (m/sn)
k_h	: Düşey permeabilite katsayıları (m/sn)
k_v	: Yatay permeabilite katsayıları (m/sn)
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı (cm^2/kg)
ν	: Poisson oranı
q_1	: Taban zemini taşıma kapasitesi
R	: Taş kolon etki çapı
$\Delta \sigma_z$	: Gerilme artışı
s	: Toplam oturma
s_i	: Ani oturma
s_c	: Konsolidasyon çarpan
s_s	: Sekonder çarpan
t	: Zaman
T_r	: Radyal konsolidasyon zaman faktörü
T_v	: Düşey konsolidasyon zaman faktörü
$\emptyset$	: Taban zemini içsel sürtünme açısı
U	: Konsolidasyon yüzdesi
U_r	: Radyal konsolidasyon yüzdesi
U_v	: Düşey konsolidasyon yüzdesi
Ψ	: Genleşme açısı
z	: Derinlik

YUMUŞAK KİL ZEMİNE OTURAN KUM DOLGUNUN TAŞIMA GÜCÜ GÜVENLİĞİNİN GEOTEKSTİLLER VE TAŞ KOLONLARLA ARTTIRILMASI

ÖZET

Zemin mühendisliğinde sıkça karşılaşılan zemin güçlendirme problemi çelik, betonarme yapı elemanları, taş kolonlar, geotekstiller gibi çeşitli yapı malzemeleri ile çözüme ulaşmaktadır. Bu yapı malzemelerinden geotekstiller; düşük maliyetleri ve ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma, yalıtım gibi geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmaları bakımından günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

Taş kolonlar ise günümüzde sıkça kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Gerek ince daneli gerekse kaba daneli zeminlere uygulanabilen taş kolonlar; konsolidasyonu hızlandırmak, taşıma kapasitesini arttırmak, sıvılaşma potansiyelini azaltmak, dolgu ve şev stabilitesini sağlamak gibi bir çok amaçla kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada, yumuşak kil zemin üzerine inşa edilen kum dolgunun taşıma gücü güvenliğinin geotekstiller ve taş kolonlar (çakıl kolonlar) ile artırılması incelenmiştir. Yumuşak kil ve orta katı kil katmanlarından oluşan zemin üzerine 8 ve 12 m'lik iki farklı kum dolgu oturtularak zeminde meydana gelen deformasyon ve boşluk suyu basıncı değişimleri Plaxis sonlu elemanlar programı ile incelenmiştir.

Kum dolgunun inşaatı sonucunda meydana gelen deformasyonları kabul edilebilir mertebelere indirmek amacıyla dolgu içerisine farklı aralıklarda geotekstil donatı uygulanmıştır. Dolgu topuk noktasında meydana gelebilecek lokal deformasyonları önlemek amacıyla analizlerde kum dolgu altında 1,5 m kalınlığında kum yastık yerleştirilmiştir. Geotekstil donatı uygulamaları sonucunda zeminde meydana gelen oturmalarda azalmalar meydana gelmiştir ancak bu azalmalar istenilen seviyede olmamakta ve zeminde meydana gelen konsolidasyon çok uzun sürede tamamlanmaktadır.

Çalışmanın ikinci aşamasında kum dolgu altında, yumuşak kil zemin içerisine farklı çap ve aralıklarda çakıl kolonlar yerleştirilmiştir. 23,5 m boyunda ve geotekstiller ile sarılı olan çakıl kolonlar zemin içerisinde radyal drenaja imkan sağlayarak konsolidasyon süresini %99,6 gibi büyük bir oranda kısaltmışlardır. Ayrıca çakıl kolon uygulamalarında zeminde meydana gelen oturma miktarında büyük oranda azalma meydana gelmiştir. Kum dolgunun şev stabilitesi güvenlik faktöründe de artma meydana gelmiştir.

THE BEHAVIOR OF GEOTEXTILE – STONE COLUMN – REINFORCED EMBANKMENT CONSTRUCTED ON SOFT CLAY

SUMMARY

In some cases it is possible to improve the strength and stiffness of an existing soil deposit by installing discrete inclusions that reinforce the soil. These inclusions may consist of structural materials, such as steel, concrete, stone columns, geosynthetic.

Geosynthetics are modern solutions of classic geotechnical problems. Geosynthetics which are generally used for the purpose of fittings are also used for other purposes in several civil engineering applications. Geotextiles, the main type of geosynthetics, function such as separation, filtration, drainage, strengthen, protection and protection.

Soil deposits can be improved by installation of dense columns of gravel known as stone columns. Stone columns may be used in both fine- and coarse-grained soils. In fine-grained soils, stone columns are usually used to shear strength beneath structures and embankments by accelerating consolidation (by allowing radial drainage) and introducing columns of stronger material. For mitigation of seismic hazards, they are commonly used for improvement of liquefiable soil deposit.

This study is undertaken to investigate the behavior of geotextile-stone column-reinforced embankment constructed on a soft clay deposit. The stability analysis of the embankment have been investigated by means of Plaxis Program. The results of finite element analysis shows that geotextile-stone column reinforcement has great effect on the stability of the embankment constructed on the clay deposit.

1. GİRİŞ

İkinci Dünya Savaşı sonrasında dünya devletleri, tekstil endüstrisinde yüksek teknoloji ve sentetik hammadde kullanımına yönelmiştir. İç pazarda rekabetin ve talebin düşmesi sonucunda tekstil endüstrisi, kapasite fazlalığıyla karşı karşıya kalmış ve bu durum tekstil üreticilerinin başka sektörlerde pazar arayışına girmelerine neden olmuştur[17]. Bu arayış sonucunda bugün inşaat sektöründe sıkça kullanılan geosentetik malzeme geliştirilmiştir.

Zemin mühendisliği problemlerine getirdikleri hızlı ve etkili çözümlerle günümüzde kullanımı hızla yaygınlaşan geosentetik malzemeler 1950'li yılların başlarında Hollanda'da geliştirilmiştir. 1953 yılının Şubat ayında Hollanda'nın güneyinde gerçekleşen ve 2,000 insanın ölümü ile sonuçlanan su baskını sonucunda böyle bir felaketin tekrarlanmaması amacıyla ülke çapında bir projeye başlanmıştır. Delta Works adı verilen proje sonucunda "Pluimpot" adı verilen, sentetik malzemeden yapılmış 1,500 kg'lık kum torbaları geliştirilmiş ve başarı ile uygulanmıştır. Bu uygulama, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISSMFE) tarafından ilk geosentetik uygulaması olarak kabul edilmiştir [7].

Daha sonraki yıllarda geosentetik malzemeler üzerindeki çalışmalara hızla devam edilmiş, zaman içerisinde farklı geosentetik türleri ve farklı uygulama yöntemleri geliştirilmiştir. Sağladığı kolaylık ve diğer fonksiyonlarından dolayı geosentetiklerin kullanımı inşaat mühendisliğinin tüm dallarında hızla artmaya başlamıştır. 1977'de Paris'te yapılan International Conference on the Use of Fabrics in Geotechnics bir dönüm noktası olmuş ve geosentetiklerin mekanik, hidrolik ve geoteknik kavramlara dayandırılarak kullanılmasının gerekliliği vurgulanmıştır.

Ülkemizde geosentetik malzemelerin kullanımına batılı ülkelere nazaran çok daha geç başlanmış olmasına rağmen Karayolları'nın geosentetiklerle ilgili şartname ve yönetmelikleri hazırlamasının ardından geosentetiklerin kullanımı hızla yaygınlaşmıştır [4]. Ülkemizde geosentetikler ilk olarak Elmedağ Üstgeçidinde uygulanmıştır.

2. GEOSENTETİKLER

Geosentetikler, inşaat mühendisliği uygulamalarında farklı amaçlarda kullanılan sentetik tekstil ürünleridir. Geosentetik ismi malzemenin zeminle ilgili olduğunu belirten “geo” ve malzemenin büyük oranla insan yapımı olduğunu belirten “sentetik” kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Geosentetik terimi;

- Geogridler
- Geotekstilller
- Geomembranlar
- Geokompozitler

gibi benzeri ürünleri kapsamaktadır. Özellikleri ve kullanım alanları birbirinden farklı birçok geosentetik malzeme tek bir ortak noktaya sahiptirler: Tüm geosentetikler istenilen özellikler doğrultusunda titiz ve dikkatli bir çalışma ile üretilirler [7].

2.1 Geotekstilller

Geotekstilller, esnek, ince, geçirgen, belirli deformasyon altında çekme mukavemeti sayesinde güçlendirici rol üstlenen, inşaat mühendisliği ile ilgili alanlarda zeminin performansını arttırmak amacıyla kullanılan sentetik polimer bazlı malzemelerdir. Amerikan Standartlarına (ASTM) göre geotekstil; insan yapısı bir proje, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya ve toprakla veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile kullanılan geçirimli tekstil ürünüdür.

Bugün bilindiği ve kullanıldığı şekliyle geotekstilller ilk defa erozyon kontrolü uygulamalarında ve granüler zemin filtrelerine alternatif olarak kullanıldılar. Geotekstillerin yaygınlaşması sadece inşaat ve tekstil mühendisliği ile yakından ilişkili olmayıp; çevre mühendisliği, kimya ve plastik sanayilerindeki gelişmelerle de yakından ilgilidir.

Geotekstillerin inşaat sektöründe kısa sürede yaygınlaşmasının en önemli sebeplerinden biri de zemin mühendisliğinde membran benzeri malzemeye duyulan

ihtiyaçtır. Organik malzemeler gibi zamanla ayrışma ve bozulma göstermeden istenilen boyut ve özelliklerde üretilebilen geotekstiller bu ihtiyaca cevap vermektedir.

2.1.1 Geotekstillerin hammaddeleri ve üretim metodları

Geotekstiller, sentetik polimerlerden oluşur. Polipropilen, polietilen, poliester ve poliamid en çok kullanılan polimerlerdir. Bu polimerler fabrikasyon işlemler sonucunda; sürekli lifler, 50 –150 mm boyunda kesilmiş kısa lifler ve değişik boyutlarda kesilmiş bantlar haline getirilerek geotekstil üretiminde kullanılır.

Günümüzde geotekstil üretiminde bir çok method kullanılmaktadır. Bu üretim metodları, başlıca dört ana metod içerisinde yer almaktadır. Bu metodlar;

- Örgü metodu : Kalın lif veya birbirine paralel ince liflerden oluşan bir lif demetinin; çapraz veya birbirine dik olarak diğer bir lif veya lif demeti ile ağ şeklinde örülerek birleştirilmesi
- Mekanik metod : Sürekli liflerin veya çeşitli boyda kesilmiş kısa liflerin, iğnelerle dikilerek birbirine birleştirilmesi
- Isıl metod : Sürekli liflerin birbirleriyle birleşim noktalarının sıcaklık ve basınç ile birleştirilmesi
- Kimyasal metod : Çeşitli boylarda kesilmiş kısa liflerin ve özel amaçlar için üretilen geotekstillerin kimyasal metodlar ile birbirine birleştirilmesi

şeklinde sıralanabilir. Bu metodlar sonucunda herbiri farklı özelliklere sahip geotekstiller elde edilir.

2.1.2 Geotekstillerin sınıflandırılması

Geotekstiller yapım tekniğine göre, polimer bileşimine göre, ağırlığa göre, mühendislik fonksiyonlarına göre sınıflandırılabilir. En geniş anlamda sınıflandırma yapım tekniğine göre yapılandır.

Yapım tekniğine göre geotekstiller iki ana sınıfa ayrılırlar:

- Örgülü geotekstiller
- Örgüsüz geotekstiller

Bu gruplarda kendi aralarında yapıldıkları ipliğin ve fiberin türüne göre alt gruplara ayrılırlar. Örgülü geotekstilleri belirli bir geometrik yaklaşım ve lif çeşitlerine göre ayırmak mümkünken, örgüsüz geotekstiller bağlama prosesleri esas alınarak ayrılırlar.

2.1.2.1 Örgülü geotekstiller

İnşaat mühendisliğinde kullanılan geotekstillerin büyük bir kısmı bu grupta yer alır. Yüksek çekme mukavemetine sahip olan örgülü geotekstiller, iki yönde kesintisiz iplik içermektedirler. Bu bakımdan ipliğin tüm teknik avantajlarından yararlanılarak düşük uzamalarda yüksek mukavemetler elde edilir.

Filtrasyon, drenaj, ayırma, takviye amacıyla kullanılan örgülü geotekstiller, geleneksel dokuma tezgahlarında örülerek elde edilirler. Bir dizi boyuna eleman (atkı) ve bir dizi enine eleman (çözü) kullanılarak üretilirler. Sonuçta, kalınlığı bir milimetre kadar olan ve uniform gözenekli bir geotekstil elde edilir. Örgülü geotekstiller, kullanılan lif çeşitlerine göre beş gruba ayrılabilir[7]:

- Monofilament örgülüler : Tekil ve kalın ipliklerden oluşur.
- Şerit örgülüler : Çok uzun ve gerilmiş liflerden oluşur.
- Ayrık film örgülüler : İnce liflerin birleşiminden oluşur.
- Multifilament örgülüler : Poliamid ya da poliester malzeme kullanılarak kumaş görünümlü örgü yapısına sahiptir.
- Ağ tipi örgülüler : Multifilament yapı ile benzerlik taşır.

2.1.2.2 Örgüsüz geotekstiller

Geotekstillerin dünya pazarındaki asıl gelişmeleri örgüsüz geotekstillerin ortaya çıkmasıyla olmuştur. Yurdumuzda da üretimleri yapıldığı için kullanım alanı oldukça yaygındır.

Polimer liflerin hareketli bantlar üzerine yerleştirilip mekanik, termik veya kimyasal yollarla bağlanmasıyla elde edilir[7]. Mekanik bağlamada, gevşek bir ağ durumundaki lifler konveyörün üzerine serilir ve bu ağ karşılıklı kancalı iğnelerle donatılmış bir panonun altından geçirilir. Bu kancalı iğneler, ağın tüm kalınlığı boyunca iner ve çıkar. Yukarı çıkma sırasında ağdaki bir kısım lif, iğnelere takılır ve aşağı indiğinde tekrar bu liflerin yer değiştirip birbirlerine iyice karışması sağlanır. Her bir iğne tablasında binlerce iğne bulunur. Bu iğnelerin dağılım yoğunluğunu ayarlayarak, geotekstilin sıklığını ve yoğunluğunu ayarlamak mümkündür. Bu tip ürünler, iğne delgili olarak adlandırılır.

Termik (ısı yoluyla) bağlama yönteminde ağın üstü eritilerek yapışkanlık verilir ve liflerin birbirlerine bağlanması sağlanır. Termik bağlama, liflerden oluşan ağ ya sıcak rulolar arasından ya da bir fırından geçirilerek gerçekleştirilir.

Kimyasal bağlamada ise akrilik yapıştırıcılar kullanılır. Lifler üzerine genellikle akrilik püskürtülür veya akrilik banyosuna batırılır. Daha sonra fırından geçirilerek kür yapılır. En az kullanılan metottur [2].

Örgüsüz geotekstillerin başlıca kullanım alanları arasında ayırma, filtrasyon, güçlendirme, drenaj, koruma ve yalıtım sayılabilir.

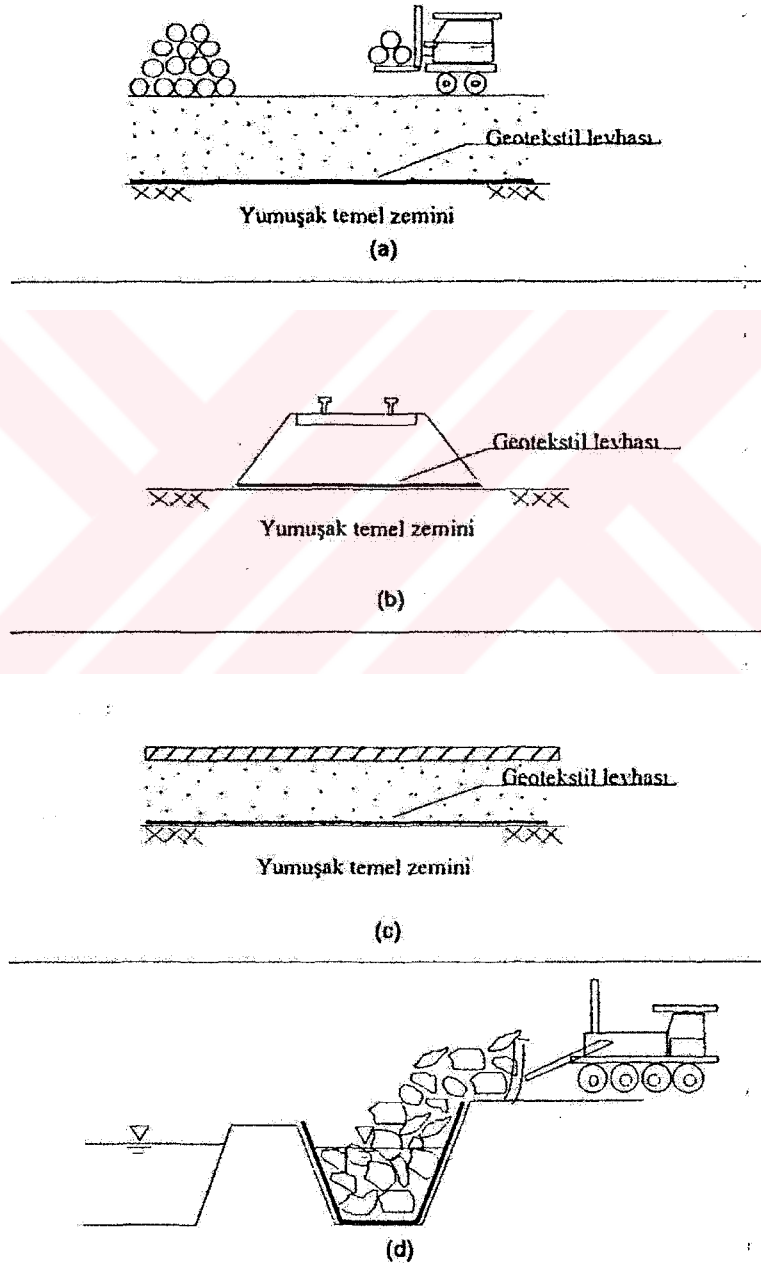
2.1.3 Geotekstillerin işlevleri

2.1.3.1 Ayırma

Ayırma, geotekstilin en yaygın kullanım alanıdır. Değişik dane boyutundaki zeminlerin birbirleriyle karışmasını önleyerek yük taşıma kapasitesinin korunmasını sağlar. Şekil 2.1’de geotekstilin ayırıcı olarak kullanıldığı alanların bazıları örnek olarak gösterilmiştir. Şekil 2.1 (a)’da kaplamasız yol granüler tabaka ile alt taban zemini arasına yerleştirilmiş geotekstil; Şekil 2.1 (b)’de demiryolunda balastın altına yerleştirilmiş geotekstil; Şekil 2.1 (c)’de kaplamalı yolun altına yerleştirilmiş geotekstil; Şekil 2.1 (d)’de ise dolgu altına serilmiş geotekstil gösterilmektedir[11].

Sürekliliğe, esnekliğe ve yüksek çekme dayanımına sahip olan geotekstiller; yapı olarak ayırdıkları zemin tabakalarından oldukça farklıdır. Bu yüzden ayırma amacı ile kullanılacak geotekstiller şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Sivri, keskin vs. malzemelere karşı yırtılma dayanımı
- Yerel deformasyonlara karşı dayanıklılık
- Yüksek çekme dayanımı
- İnce zemin parçalarını tutarak borulanmaya izin vermeden su akımına izin



Şekil 2.1 Geotekstilin ayırıcı olarak kullanıldığı bazı alanlar[11].

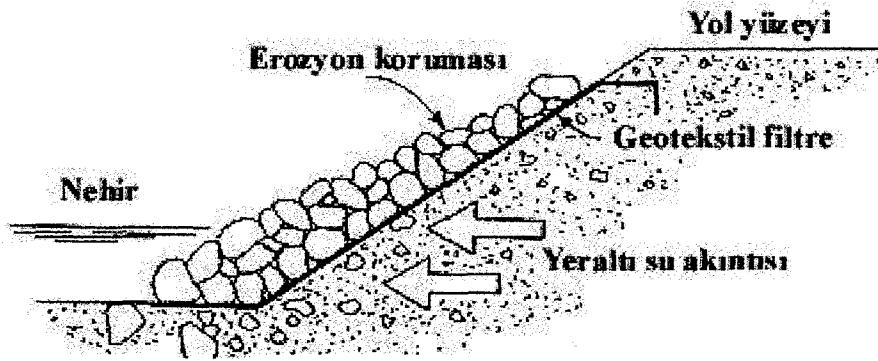
2.1.3.2 Filtrasyon

Geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstiller geçirimli oldukları için, filtre olarak kullanılabilirler. İyi derecelendirilmiş granüler filtre tabakası yerine kullanıldıklarında, yüksek su geçirgenliği ve ucuz dolgu sağlanır. Geotekstiller çürümeye, küflenmeye ve kimyasallara karşı dayanıklıdır. İnşaatları hızlı ve ekonomiktir.

Filtrasyon amacı ile kullanılan geotekstiller şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Zemin borulanmasına engel olacak şekilde maksimum gözenek açıklığı
- Yüksek porozite
- Yeterli su geçirgenliği
- Sıkışmadan az etkilenme

Geotekstil yerleştirildikten sonra zeminden gelen su akımı ile birlikte ince zemin daneleri de taşınır. Bu daneler geotekstilden geçmelidir. Eğer bu ince daneler geotekstil bünyesinde tutulursa, burada az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akışına engel olmamak ve boşluk suyu basıncı oluşumunu önlemek için, geotekstilin geçirgenliği en az zeminin geçirgenliği kadar olmalıdır. Tıkanma riskini ve geotekstilin sıkışabilirliğini de göz önüne alarak emniyet katsayısı 10 veya 100 (önemli barajlarda) olarak alınır. Şekil 2.2’de filtrasyon amacıyla kullanılan geotekstile bir örnek verilmiştir.



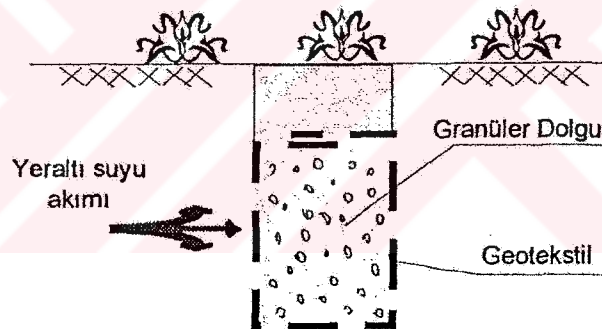
Şekil 2.2 Filtrasyon amacıyla kullanılan geotekstile örnek

2.1.3.3 Drenaj

Geotekstiller, su taşıma kapasitesi bakımından zemine kıyasla oldukça geçirgendirler[7]. Yeterli eğim sağlandığında geotekstil düzlemi üzerinde su akımı sağlanabilir. Drenaj amacı ile kullanılacak olan geotekstiller şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Kendi düzleminde yüksek geçirgenlik,
- Basınca yüksek dayanım
- İyi filtre özelliği

Drenaj uygulamaları için etrafı zemin parçacığı girişini engelleyen örgüsüz geotekstille sarılı, basınca dayanıklı bir çekirdekten oluşan kompozit malzemeler tercih edilmelidir. Şekil 2.3’de geotekstil ile yapılmış bir drenaj uygulaması gösterilmektedir[8].



Şekil 2.3 Geotekstil ile yapılan bir drenaj uygulaması

2.1.3.4 Güçlendirme

Zeminlerin aksine geotekstiller gerilme direncine sahiptir. Bu sayede zeminin gerilme direncini ve göçmeden önceki deformasyon kapasitesini arttırarak güçlendirme sağlarlar. Güçlendirme amacı ile kullanılacak geotekstiller şu özelliklere sahip olmalıdır:

- Yüksek çekme modülü
- Yüksek dayanıklılık ve maksimum yükte yeterli uzama

3. TAŞ KOLONLAR (ÇAKIL KOLONLAR)

Taş kolon uygulaması günümüzde sıkça kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Gerek ince daneli gerekse kaba daneli zeminlere uygulanabilen taş kolonların başlıca kullanım amaçları[3];

- Konsolidasyonu hızlandırmak
- Taşıma kapasitesini arttırmak
- Sıvılaşma potansiyelini azaltmak
- Dolgu ve şev stabilitesini sağlamak

olarak özetlenebilir.

İnce daneli zeminlerde taş kolon uygulamalarının başlıca amacı zeminde meydana gelecek konsolidasyon oturmasını hızlandırarak yapı öncesi temel için gerekli sıkılık ve dayanımı arttırmaktır[6]. Taş kolon uygulaması ile zemin içerisindeki su, hidrolik eğim sayesinde yüksek enerji potansiyelinden düşük enerji potansiyeline doğru hareket eder. Suyun hareketi zemine oranla taş kolon içerisinde çok daha hızlı olduğundan, taş kolonlar düşük enerji potansiyeline sahiptir. Bu nedenle, zemin suyu taş kolonlar ile kolayca drene edilir[3].

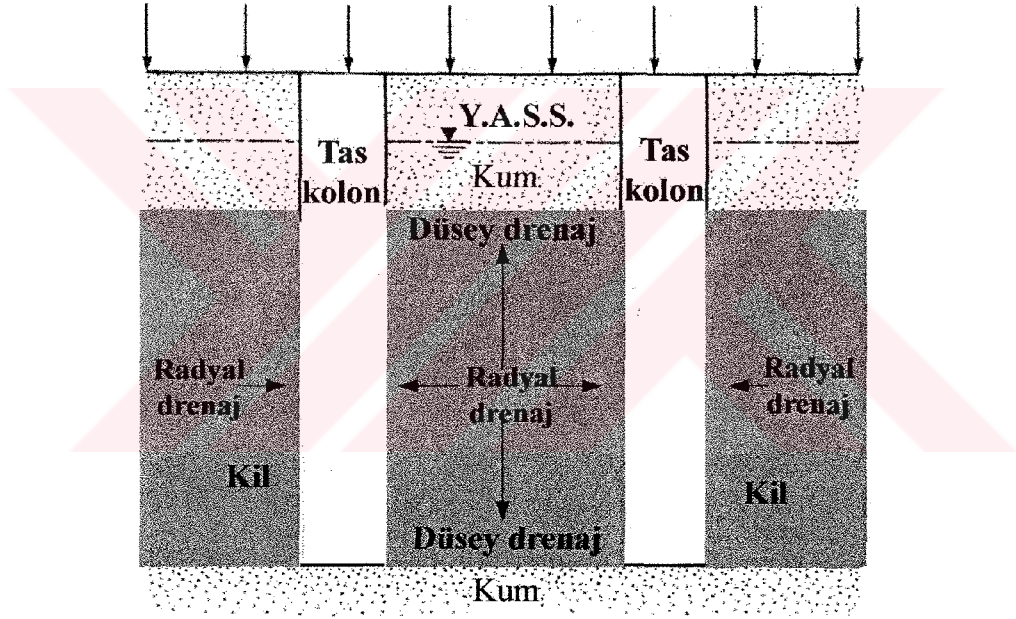
Şekil 3.1’de görüldüğü üzere normalde tek boyutlu konsolidasyonun meydana geldiği zeminde taş kolon uygulaması ile fazla basınç taşıyan boşluk suyunun yatay yönde hareket imkanı bulması sağlanır ve konsolidasyon iki veya üç boyutlu hal alır. Bu durumda boşluk suyunun zemini terketmek için katedeceği yol kısalmış ve konsolidasyon oturması daha kısa sürede gerçekleşmiş olmaktadır.

Taş kolonlar ayrıca zeminlerdeki sıvılaşma potansiyelini azaltmak amacıyla uygulanmaktadır. Sıvılaşma potansiyeline karşı taş kolonların zeminlere kazandırdığı özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Taş kolonlar, sahip oldukları yüksek dayanım ve yoğunluk ile zemini takviye görevini üstlenirler.

- Taş kolonlar, sahip oldukları yüksek dayanım ve yoğunluk ile zemini takviye görevini üstlenirler.
- Aşırı boşluk suyu basıncının oluşmasını önler.
- Taş kolon yüklemesi sırasında oluşan titreşim ve yerdeğiştirme sayesinde zeminde sıkılaşma sağlanır.
- Taş kolon uygulanması ile kolon etrafındaki zeminde yanal gerilmelerde artış meydana gelir.

Zemine kazandırdığı bu özellikler sayesinde taş kolonlar sıvılaşmaya karşı yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 3.1 Taş kolon uygulaması

3.1 Taş Kolon Uygulama Yöntemleri

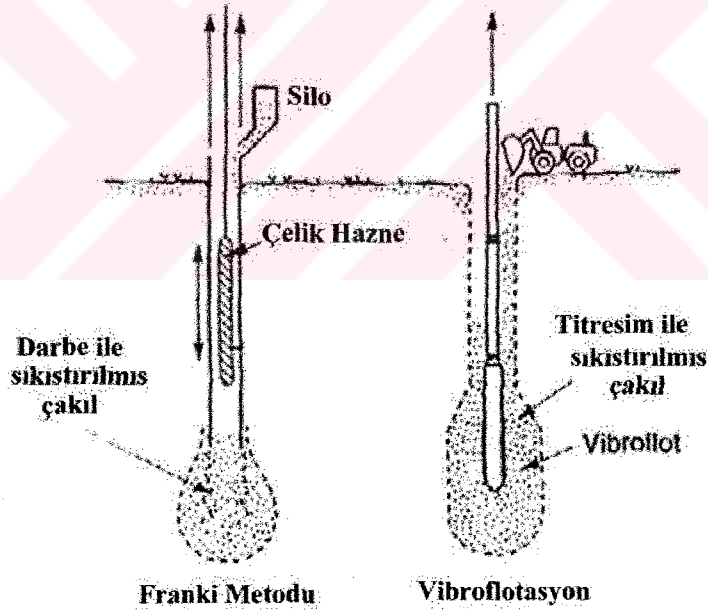
Taş kolonlar, farklı uygulama metodları ile değişik çap ve uzunluklarda uygulanabilmektedir. Uygulanacak zemine göre değişen metodlardan bazıları şunlardır[3]:

3.1.1 Vibroflotasyon metodu

“Keller Procedure” olarak da adlandırılan bu metotta uygulanacak zemine bağlı olarak büyük uzunluklarda taş kolon uygulamaları gerçekleştirilebilmektedir. Ağırlığı 5 ila 20 kN arasında değişen, torpido şekline sahip ve “vibroflat” adı verilen vibratör sayesinde taş kolon zemine uygulanmaktadır[16]. Uygulama sırasında vibroflatın kendi ağırlığı dışında basınçlı hava ve su yardımı ile istenilen derinliğe inilmektedir. Bu yöntemle, zemin yapısına bağlı olarak, 0,75 ila 1,80 m çap genişliğine sahip taş kolon uygulanabilmektedir.

3.1.2 Eksenel delme metodu (Franki metodu)

Bu uygulamada taş kolon için gerekli malzeme çelikten yapılmış bir hazne içerisinde açılan zemin içerisine sürülür. Çelik hazne geri çekilirken içerisindeki malzeme boşaltılır ve uygun yoğunlukta sıkıştırılır. Sıkıştırma sonucunda taş kolon çapında genişleme meydana gelir. Şekil 3.2’te vibroflotasyon ve Franki metodları gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Franki ve Vibroflotasyon metodları ile taş kolon uygulaması

3.1.3 Su jeti metodu

Taş kolon uygulamasının yapılacağı zemin yüksek basınçta sahip su jeti yardımı ile gerekli derinlik ve çapta kazılır. Kazı sırasında içeriye yerleştirilen boru kazı

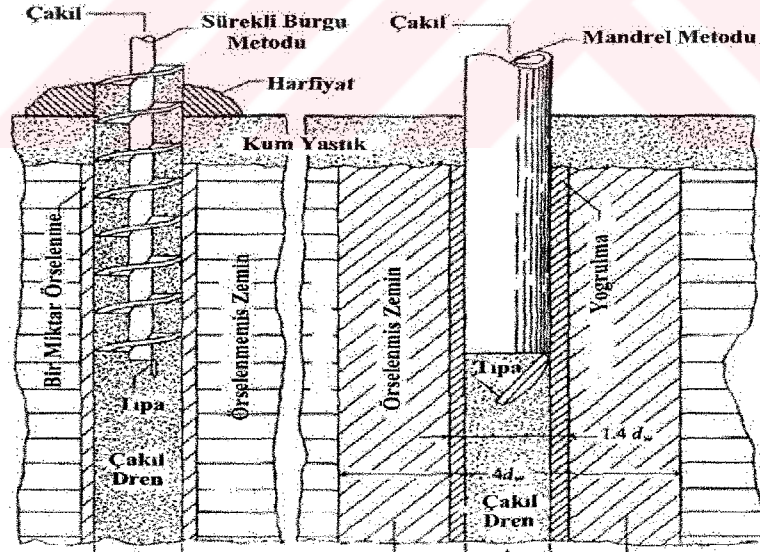
işleminin sona ermesinin ardından yukarı çekilirken taş zemin malzemesi zemindeki boşluğa doldurulur. Sürekliliği ve gerekli yoğunluğun sağlanması amacıyla yükleme sırasında basınçlı hava ile sıkıştırma yapılır.

3.1.4 Mandrel metodu

Bu yöntemde taş kolonu teşkil edecek olan malzeme mandrel yardımı ile zemine sürülen boru içerisine yerleştirilir. Yeterli derinliğe inildiğinde mandrel ucundaki tıpa açılır ve boru geri çekilirken taş kolon malzemesi açılan zemine boşaltılır. Boşaltma sırasında taş kolon malzemesinin sürekli ve yoğun bir yapı oluşturabilmesi için basınçlı hava ile sıkıştırma yapılır.

3.1.5 Sürekli burgu metodu

Bu yöntemde zemin, burgu yardımıyla gerekli çap ve derinlikte kazılır. Burgu gerekli gerinliğe indirildiğinde burgu merkezinden geçen ve ucu bir tıpa ile kapalı olan borudan taş kolon malzemesi zemin basınçlı hava ile sıkıştırılarak zemin içerisine yerleştirilir. Şekil 3.3’de sürekli burgu metodu ile mandrel metodu karşılaştırılmıştır. Görüldüğü üzere Mandrel metodunda, sürekli burguya oranla, uygulama yapılan zeminde yoğrulma ve geniş çapta örselenme meydana gelmektedir.



Şekil 3.3 Sürekli burgu ve Mandrel metodlarının incelenmesi.

4. PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

Plaxis programı, geoteknik mühendisliği projelerinin deformasyon ve stabilite analizlerini gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır. Basit grafiksel veri girişi sayesinde ele alınan problemin basit ve detaylı bir şekilde incelenmesi ve çözüme ulaşılması sağlanmaktadır.

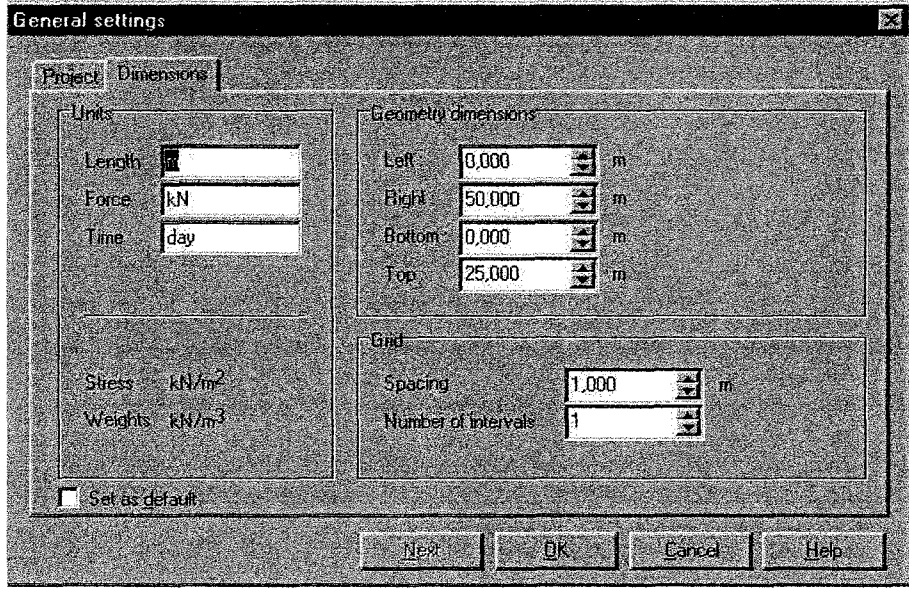
Plaxis programı ele alınan problemin grafiksel ve nümerik özelliklerinin girişine olanak sağlayan bir “Input”, analizlerin gerçekleştirildiği “Calculation”, analiz sonuçlarını grafik olarak sergileyebilen “Output” ve elde edilen sonuçlarla ilgili istenilen eğrilerin oluşturulmasına olanak sağlayan “Curve” sayfalarından oluşmaktadır.

Plaxis programı, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan deformasyon ve stabilite analizleri, zemin-yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, yükleme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme çeşitliliği olan durumlarda kullanılmakta ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir.

4.1 Plaxis Programı ile Çözüm

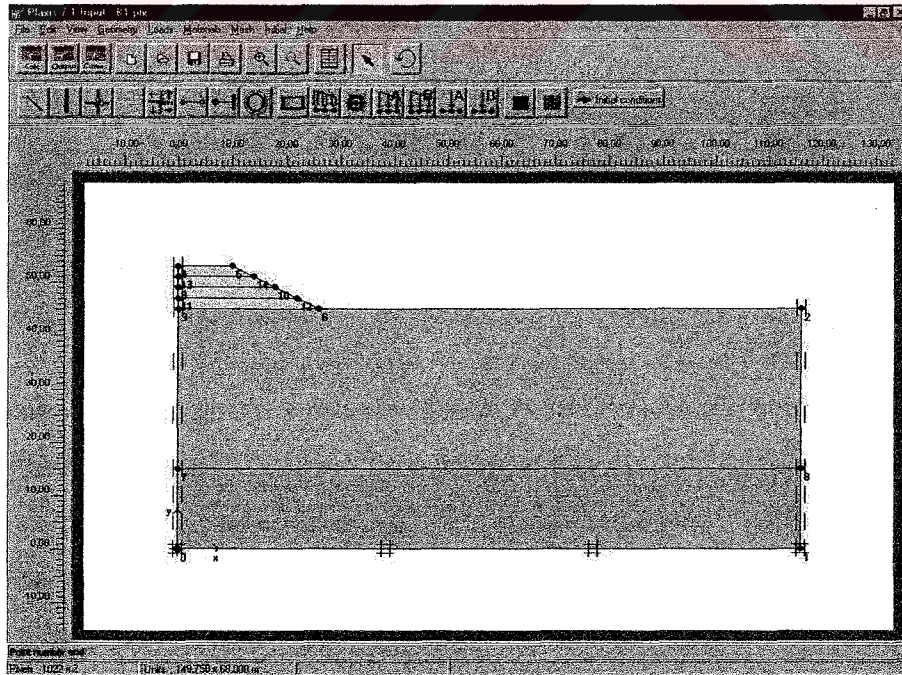
Plaxis programı ile bir analize başlanırken öncelikle incelenecek projenin genel özelliklerinin verilmesi gerekmektedir. Şekil 4.1’de gösterilen genel ayarlarda proje ismi, düğüm noktası sayısı ve geometrik ölçüler girilerek analize başlanır.

Plaxis programında sonlu elemanlar yöntemine göre deplasmanlar esas bilinmeyen olarak kabul edilmiştir. Sürekli ortam birçok elemana ayrılır ve her bir eleman üzerindeki düğüm noktaları iki serbestlik derecesine sahiptir. Plaxis programında sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında üçgen elemanlar kullanılmaktadır. Bu üçgen elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı olarak seçilebilmektedir. Gerilmelerin ve göçme yüzeylerinin daha doğru hesaplanabilmesi için 15 düğüm noktalı elemanın seçilmesi daha doğru olmaktadır.



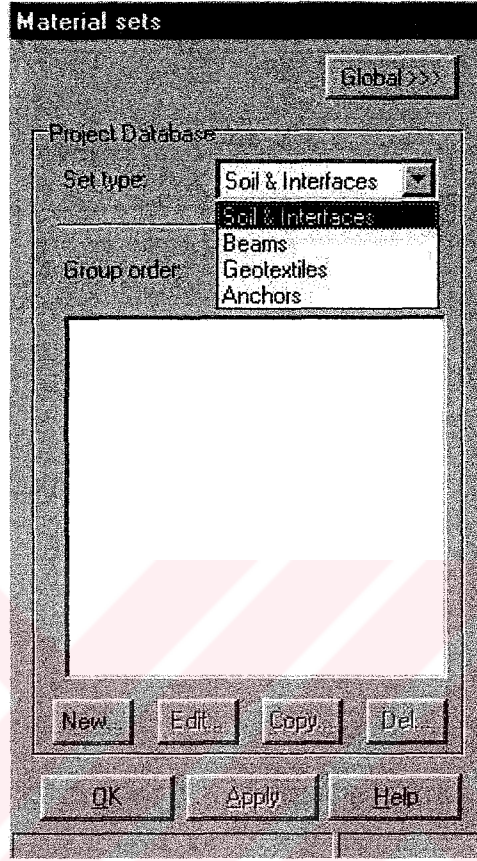
Şekil 4.1 Genel ayarlar

Programın kullanımı sırasında öncelikle geometrinin oluşturulması gereklidir. Bu amaçla Şekil 4.2’de görüldüğü üzere “Lines” komutu ile çizgisel elemanlar kullanılabilir ve çalışma alanının sınırları belirlenir. Çok tabakalı bir zemin profili üzerinde çalışılacağı zaman yine bu çizgisel elemanlar yardımıyla arazi istenilen noktalardan ayrılarak farklı zemin bölgeleri tanımlanabilir.



Şekil 4.2 Input ana sayfası

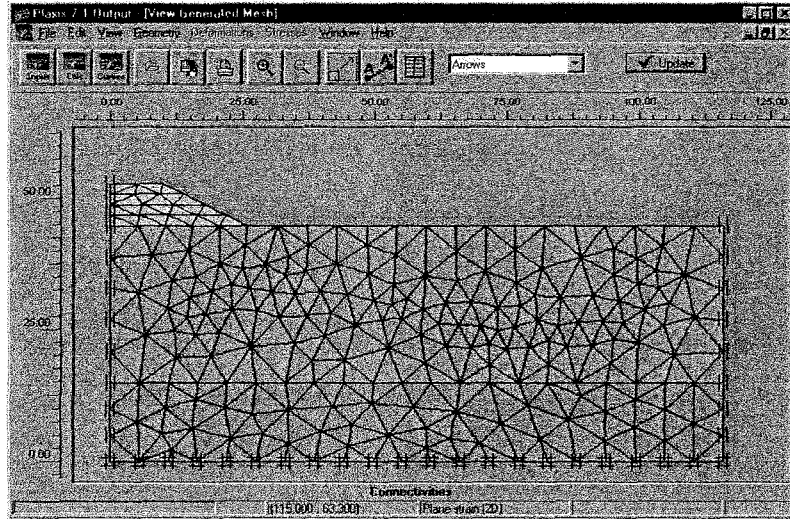
Geometrinin oluşturulmasından sonra projede verilen zemin ve yapısal elemanların özellikleri girilir. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi malzeme özellikleri dört ana kategoriye ayrılmıştır.



Şekil 4.3 Malzeme özelliklerinin girilmesi

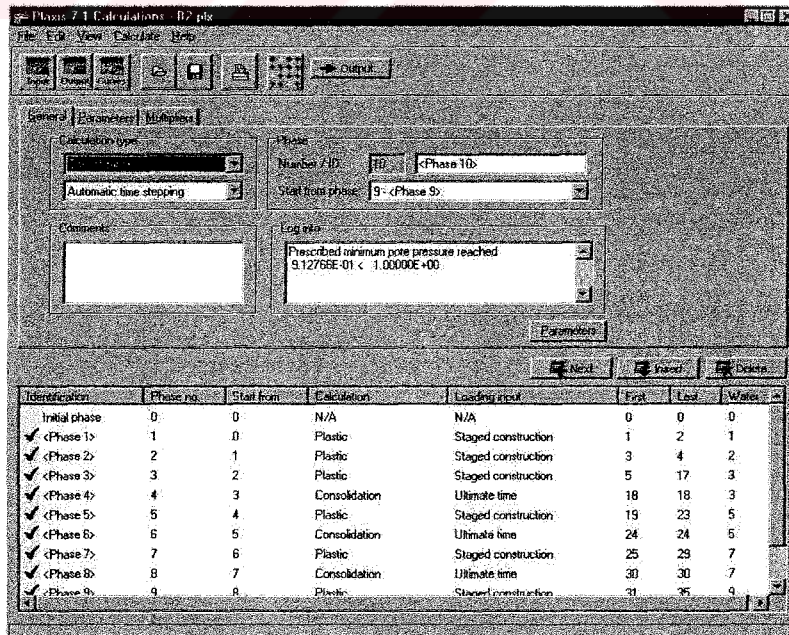
Zemin ve malzeme özellikleri girildikten sonra “Mesh” komutu ile Şekil 4.4'teki gibi sonlu elemanlar ağı oluşturulur. Programın normal işleyişinde sonlu elemanlar ağı çok ince olarak oluşturulmaz, ancak istendiği takdirde tüm zemin ortamı ya da sadece incelenmek istenen kısım için çok ince bir sonlu elemanlar ağı oluşturulabilir.

Sonlu elemanlar ağı da oluşturulduktan sonra başlangıç koşullarını belirlemek amacıyla “Initial Conditions” safhasına geçilir. Burada varsa yer altı su seviyesi çizilir ve boşluk suyu basıncı hesaplanır. Daha sonra zemin, üzerinde herhangi bir yapısal eleman olmadığı ilk haline getirilir ve efektif gerilmeler belirlenir.



Şekil 4.4 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Bu adımdan sonra Şekil 4.5'te görülen “Calculation” safhasına geçilerek hesaplamalara başlanır. Bu aşamada kademeli inşaat yapılması durumunda “Staged Construction”, tekil ya da yayılı yük tanımlanması durumunda ise “Total Multipliers” komutuyla işlem yapılır. Tüm aşamalar tamamlanıp ortam son haline geldiğinde ise “Calculate” komutuyla zemin ve yapısal elemanların bu şartlar altındaki davranışı görülebilir. İstenildiği takdirde “Curves” komutuyla istenilen grafikler çizilerek gerekli karşılaştırmalar yapılabilir.



Şekil 4.5 Hesaplama safhası

Plaxis programında geotekstil donatılar sadece çekme kuvveti alabilen malzemeler olarak modellenmektedir. Geotekstilin tanımlanmasında ihtiyaç duyulan tek malzeme özelliği elastik eksenel rijitliktir. Elastik eksenel rijitlik (EA) geotekstilin elastisite modülü ile kalınlığının çarpımından elde edilmektedir. Analizler sonucunda geotekstilde meydana gelecek deformasyonlar ve kuvvetler belirlenebilmektedir. Deformasyon olarak toplam deformasyonlar ile yatay ve düşey deformasyonlar hesaplanmaktadır. Kuvvet olarak ise sadece eksenel kuvvet hesaplanmaktadır.

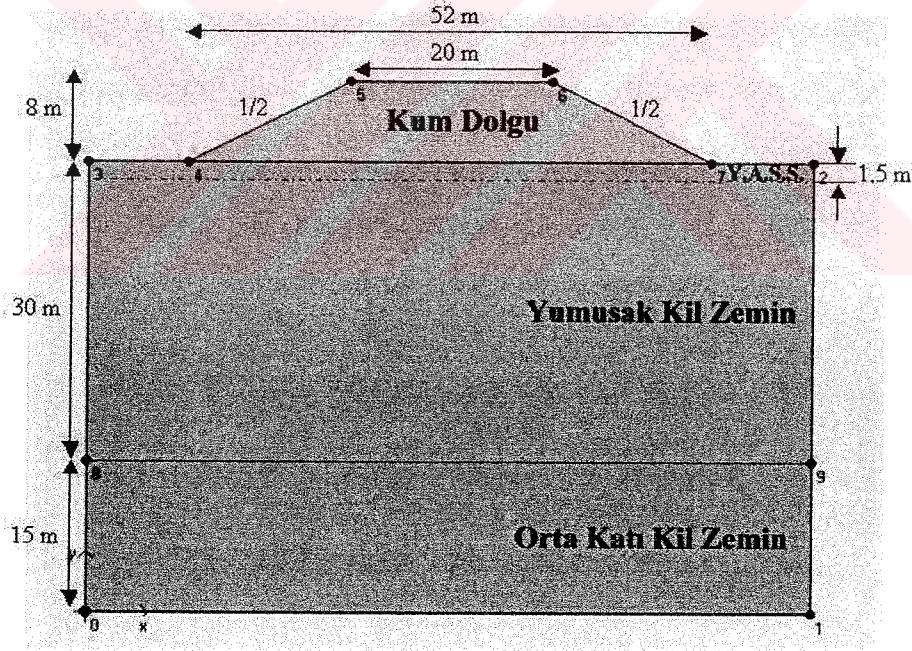
Programda ayrıca güvenlik faktörünün hesaplanması amacıyla geliştirilmiş “Phi-c reduction” seçeneği de vardır. Burada zemin parametreleri $\tan \phi$ ve c kademeli olarak azaltılarak yapının göçtüğü an belirlenmekte ve bu şekilde geotekstil donatılı bir yapının, herhangi bir inşaat safhası için göçmeye karşı güvenlik katsayısı belirlenebilmektedir. Analizin herhangi bir safhasında zemin dayanımı parametrelerinin değerinin belirlenmesinde toplam çarpan ΣM_{sf} kullanılmaktadır.

$$\Sigma M_{sf} = \frac{\tan \phi_i}{\tan \phi_r} = \frac{c_i}{c_r} \quad (4.1)$$

Burada parametrelerdeki i indisi malzeme özellikleri tanımlanırken girilen değerleri, r indisi ise analizlerde kullanılan azaltılmış değerleri belirtmektedir. Analizlerde başlangıçta toplam çarpan, $\Sigma M_{sf} = 1$ alınarak tüm malzeme parametreleri azaltılmamış değerine getirilmektedir. Daha sonra ise $\tan \phi$ ve c parametreleri kademeli olarak azaltılarak yapının göçme durumuna ulaşması sağlanmaktadır ve bu göçme anındaki güvenlik sayısı ise toplam çarpan ΣM_{sf} 'in göçme anındaki değerine eşit olmaktadır. Bu çalışmada da geotekstil donatılı dolguların göçmeye karşı güvenliğinin belirlenmesinde ve göçme anında oluşacak deformasyonların incelenmesinde “Phi-c reduction” analizlerinden faydalanılmıştır.

5. YUMUŞAK KİL ZEMİN ÜZERİNE OTURAN KUM DOLGUNUN TAŞIMA GÜCÜ GÜVENLİĞİNİN PLAXIS PROGRAMI İLE İNCELENMESİ

Bu bölümde, Şekil 5.1’de görüldüğü gibi orta katı kil ve yumuşak kil katmanlarından oluşan zemin üzerine yüklenen kum dolgunun yükleme sonucunda göstereceği davranış biçimlerinin ve açığa çıkabilecek problemlerin Plaxis sonlu elemanlar programı yardımı ile incelenmesi ve çözümlenmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere 20 m genişlikte ve 8 m yükseklikteki kum dolgu; geçirimsiz kaya zemin üzerinde yer alan 15 m’lik orta katı kil ve onun üzerinde yer alan 30 m’lik yumuşak kil zeminden oluşan 45 m’lik zemin tabakası üzerine oturtulmaktadır. Yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinin 1,5 m altındadır.



Şekil 5.1 8 m’lik kum dolgu ve zemin profili.

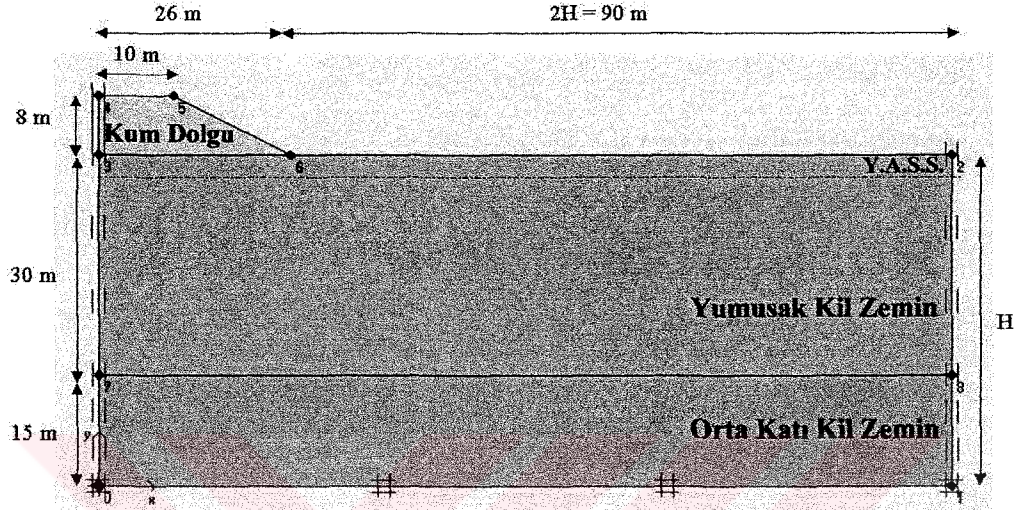
Tablo 5.1’de verilen zemin parametrelerinden de anlaşılacağı üzere zeminin taşıma gücü oldukça düşük olmakta ve bu nedenle kum dolgunun uygulanmasında farklı yöntemler denenerek optimum çözüme ulaşmak istenmektedir.

Tablo 5.1 Uygulamada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Parametreleri

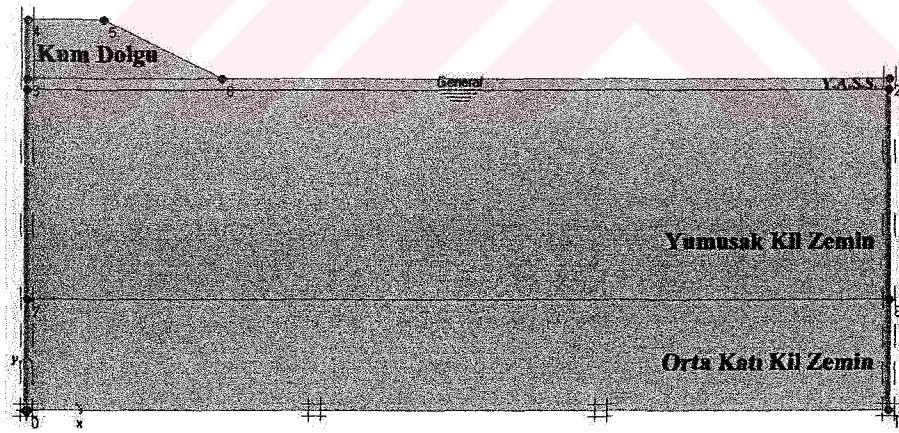
Parametreler	Sembol	Kil Zemin I	Kil Zemin II	Kum Dolgu	Kum Yastık	Çakıl Kolon	Birim
Malzeme Modeli	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Linear Elastik	Mohr Coulomb	-
Davranış Biçimi	-	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	γ_{dry}	16	16	16	16	20	kN/m ³
Suya Doygun Birim Hacim Ağırlığı	γ_{wet}	18,5	18,5	20	20	23	kN/m ³
Yatay Permeabilite	k_x	10^{-4}	10^{-4}	1	1	1	m/gün
Düşey Permeabilite	k_y	10^{-4}	10^{-4}	1	1	1	m/gün
Young Modülü	E_{ref}	5.000	10.000	50.000	30.000	240.000	kN/m ²
Poisson Oranı	ν	0,33	0,33	0,3	0,3	0,3	-
Kohezyon	c_{ref}	3	10	1	1	1	kN/m ²
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ	25	28	30	30	36	(°)
Genleşme Açısı	ψ	0	0	0	0	6	(°)
Hacimsel Sıkışma Katsayısı	m_v	2×10^{-4}	1×10^{-4}	2×10^{-5}	3×10^{-5}	4×10^{-6}	m ² /kN

Uygulamada kullanılan zemin profili simetrik olduğundan dolayı analizler sırasında zemin profilinin yarısı modellenmiştir. Ayrıca Şekil 5.2'den de görüldüğü üzere modelleme sırasında, tüm analizlerde, 2H genişlik alınmaktadır. Bu genişlik

alınmadığı takdirde gerilmelerde istenmeyen artışlar meydana gelmektedir. Şekil 5.3'te görülen modellemelerde gerek simetri eksenini gerekse diğer kenar yanal hareketlere ve zemin suyunun serbest akımına karşı sınırlandırılmış; buna karşılık düşey yönde harekete izin verilmiştir.



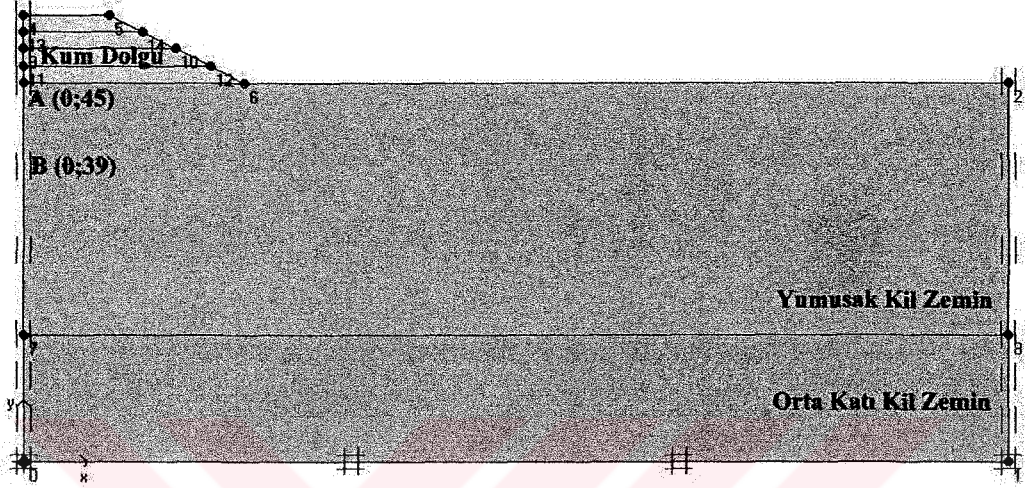
Şekil 5.2 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin Plaxis programı ile modellenmesi



Şekil 5.3 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

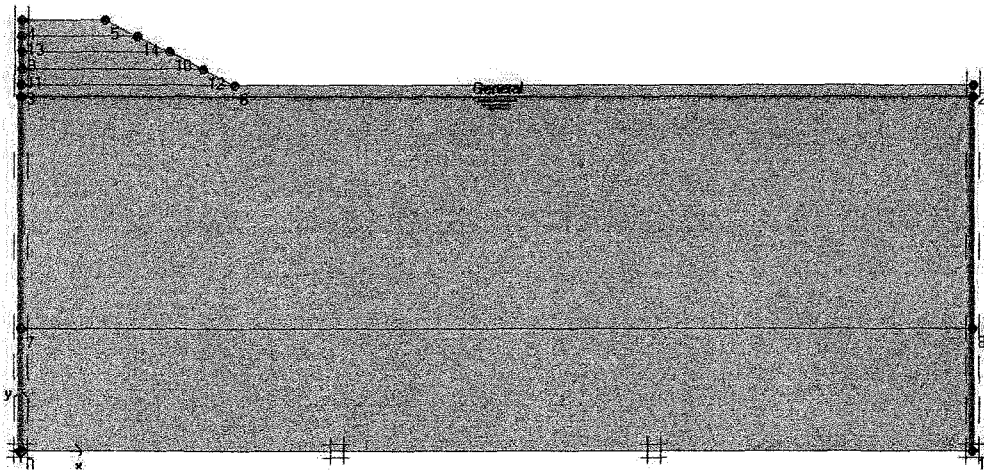
5.1 Donatısız Kum Dolgunun Kil Zemine Oturtulması

İlk aşamada kum dolgu, Şekil 5.4'te görüldüğü gibi, kil zemin üzerine her biri 2 m'lik dört yükleme ile yüklenerek normal koşullar altında herhangi bir güvenlik artırıcı müdahale olmaksızın zeminde ve dolguda meydana gelecek değişimler incelenmiştir.



Şekil 5.4 8 m'lik kum dolgunun kil zemine oturtulması

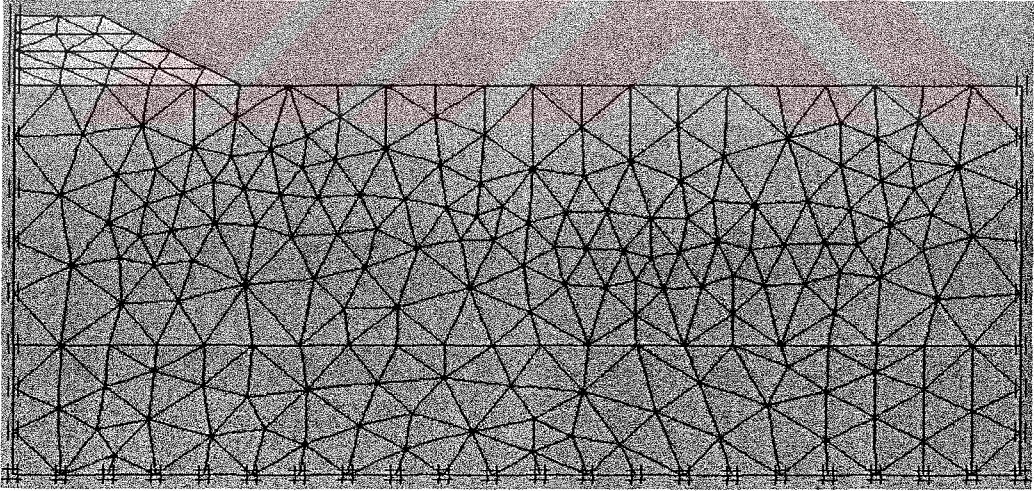
Plaxis'le gerçekleştirilen yükleme analizi 9 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.5'de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.5 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha: Kum dolgunun 2m’lik birinci kademesinin yüklenmesi
2. Safha: 15 günlük konsolidasyon süresi
3. Safha: Kum dolgunun 2m’lik ikinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha: 15 günlük konsolidasyon süresi
5. Safha: Kum dolgunun 2m’lik nc kademesinin yüklenmesi
6. Safha: 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha: Kum dolgunun 2m’lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
9. Safha: Güvenlik faktörü analizi
8. Safha: Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m² değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.6 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.2’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo5.3’te verilmiştir. Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman

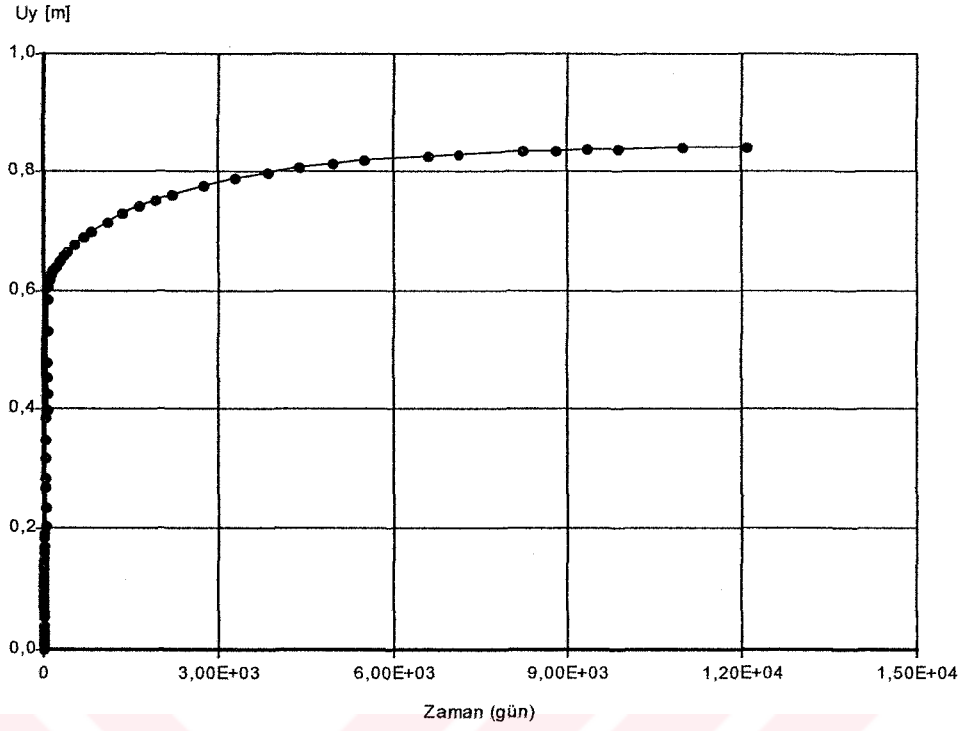
grafikleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de; simetri eksenindeki (0;39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafikleri ise Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo5.3’te verilmiştir.Dolgu yükünden dolayı kil zeminde meydana gelen maksimum toplam deformasyon oldukça yüksektir. Bu nedenle diğer analizlerde zeminde meydana gelen deformasyonu azaltmak ve dolgunun güvenli bir şekilde taşınmasını sağlamak amacıyla çeşitli uygulamalar analiz edilecektir.

Tablo 5.2 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

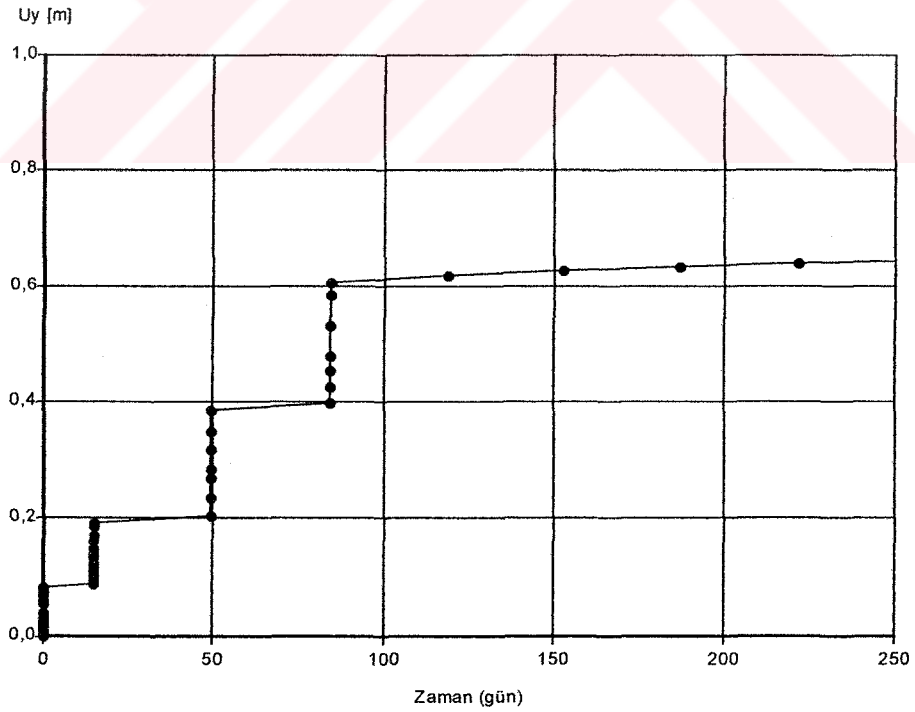
Maksimum Toplam Deformasyon (0;52) Kotu	90,4	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	84,1	cm
Efektif Gerilme	439,87	kN/m ²
Toplam Gerilme	873,64	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,77	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,89	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	1,054	

Tablo 5.3 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
8,2	0,5	10,5	1,2	18,2	1,2	20,9	23,4

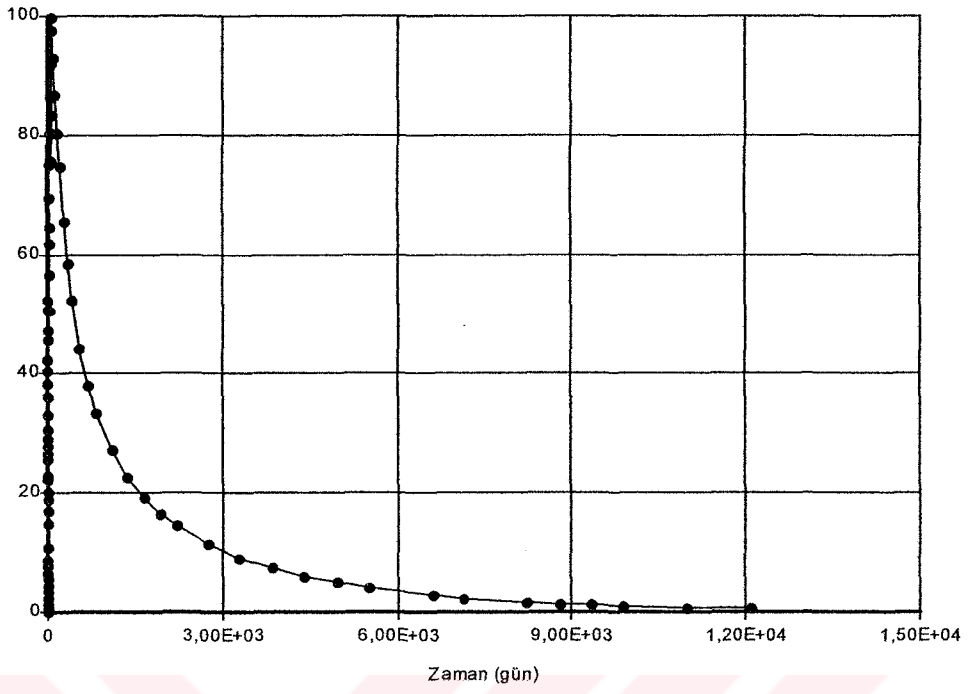


Şekil 5.7 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.



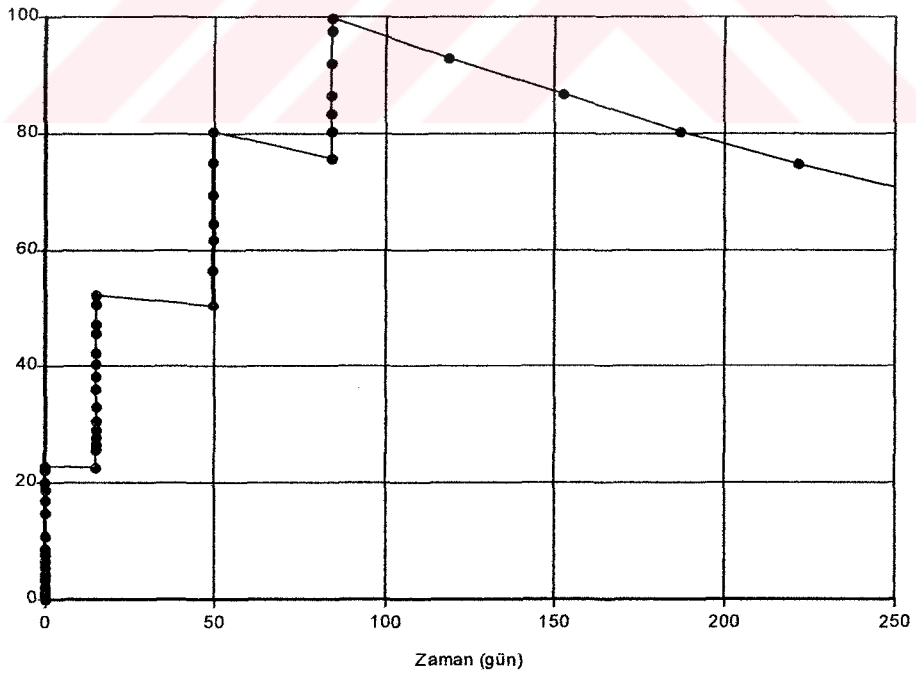
Şekil 5.8 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.

Boşluk Suyu Basıncı [kN/m²]



Şekil 5.9 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

Boşluk Suyu Basıncı [kN/m²]



Şekil 5.10 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.

5.2 Kum Dolguda Geotekstil Uygulamaları

Normal koşullarda kum dolgunun, kil zemine oturtulması sonucunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları kabul edilemez derecede yüksek bulunmuştur. Oturma değerlerinin kabul edilebilir ölçülere indirilebilmesi ve kil zeminin dolguyu güvenli bir şekilde taşıyabilmesi amacıyla gerek kum dolguda gerekse yumuşak kil zeminde geotekstil uygulamaları gerçekleştirilecektir. Plaxis programı sayesinde farklı modellemeler ile analizler yapılarak sonuçları karşılaştırılacak; bu karşılaştırma sonucunda da uygulamada kullanılabilecek en uygun modelleme belirlenecektir.

5.2.1 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması

Şekil 5.11’de verilen zemin profilinde, kum dolgu, kil zemin üzerine kademeli olarak yükleme ile yüklenirken, her 2 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 4 sıra geotekstil donatı serilmiştir. Kum dolgunun geotekstil ile donatılabilmesi yumuşak kil zeminde taşıma gücünün aşılmasını engellediği gibi dolgu şevinin de stabilitesine katkıda bulunmaktadır. Geotekstil donatılar yumuşak zeminler üzerine serildiklerinde yeterince verimli olamamaktadır. Gerekli verimin alınabilmesi ve dolgu topuk noktasında meydana gelebilecek lokal deformasyonları azaltmak amacıyla yumuşak kil zeminin 1 m’lik kısmı kazılarak yerine taşıma gücü yüksek kum yastık yerleştirilmiştir. Kum dolgu, bu kum yastık üzerine inşa edilecektir. Kum yastığının stabilizasyonunu sağlamak amacı ile kil zemin ile arasına tek sıra geotekstil yerleştirilmiştir.

Plaxis’le gerçekleştirilen analiz 11 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her bir yükleme kademesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.12’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.13’te gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



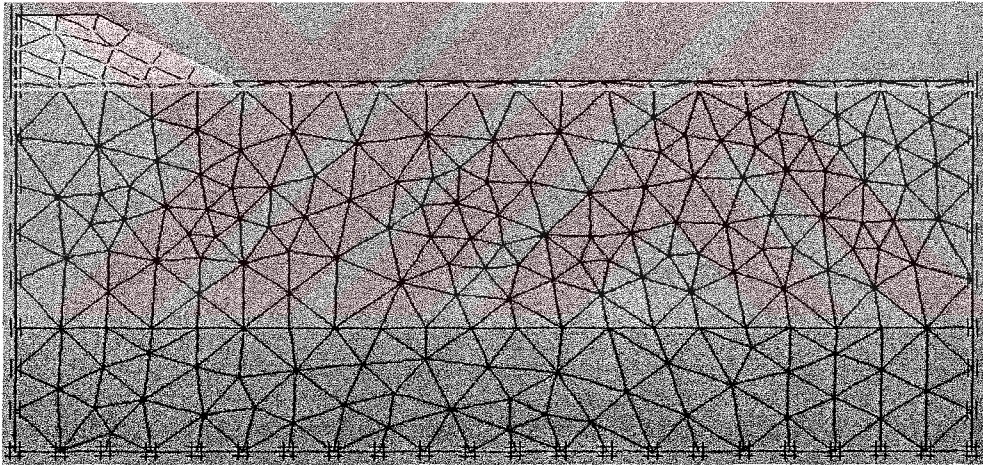
Şekil 5.11 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m'lik kum yastık üzerine oturtulması

2. Safha : Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine 1 m'lik kum yastığının serilmesi
3. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
5. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
8. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
9. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
11. Safha : Güvenlik faktörü analizi
10. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.12 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.4'te verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.5'de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda zeminde oluşan kabarmalar da eklenmiştir.



Şekil 5.13 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

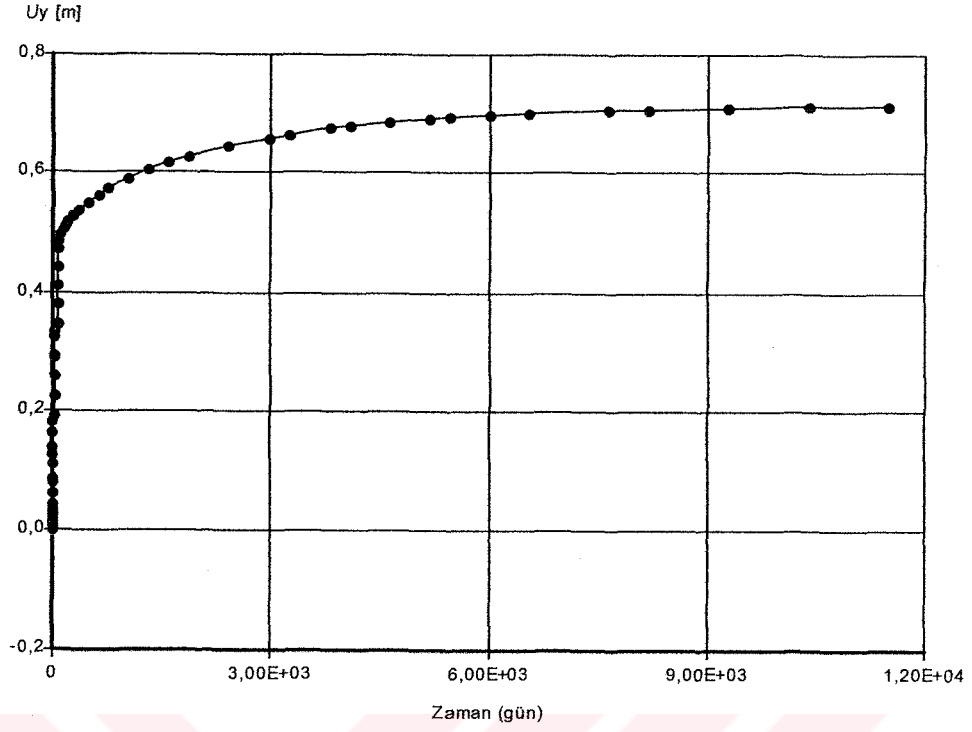
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafikleri Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'de; simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafikleri ise Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'te verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi dolgu yükünden dolayı kil zeminde meydana gelen maksimum toplam deformasyonda azalma meydana gelmiştir.

Tablo 5.4 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

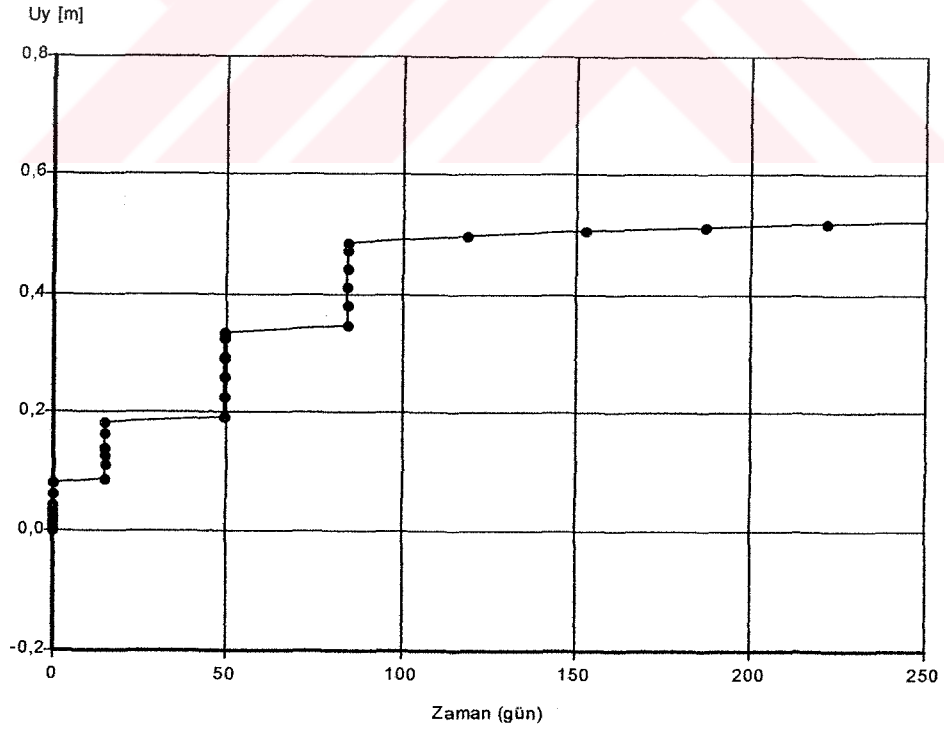
Maksimum Toplam Deformasyon (0;50) Kotu	73,7	Cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	71,3	Cm
Efektif Gerilme	445,66	kN/m ²
Toplam Gerilme	879,42	kN/m ²
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	433,77	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	0,95	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	2,51	

Tablo 5.5 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

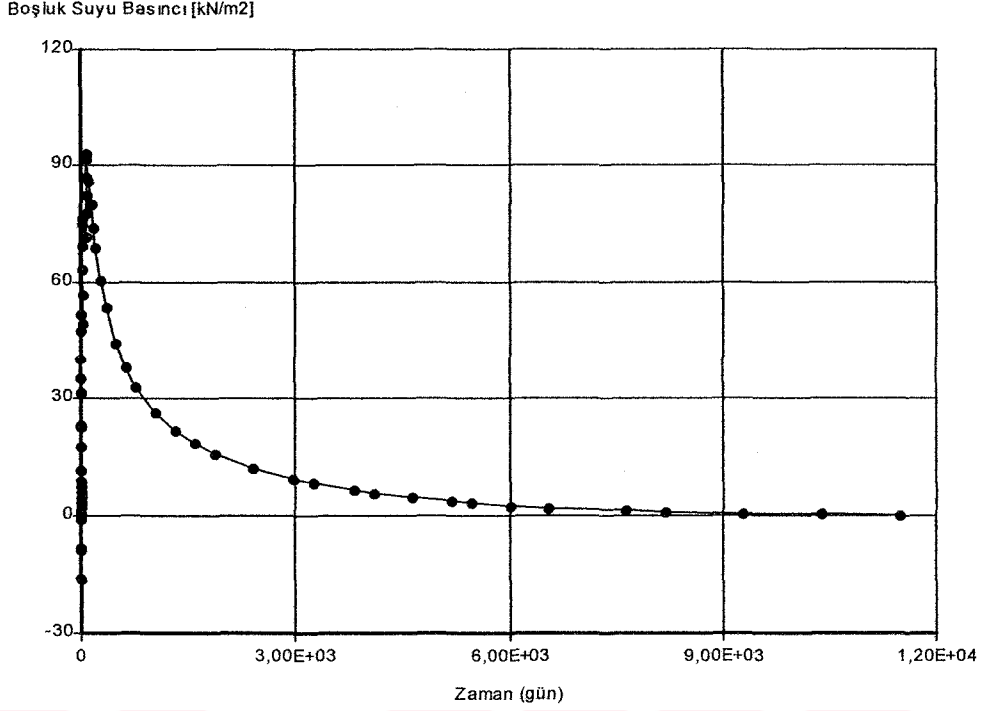
Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
8,05	0,5	9,6	1,2	14,3	1,3	13,8	22,8



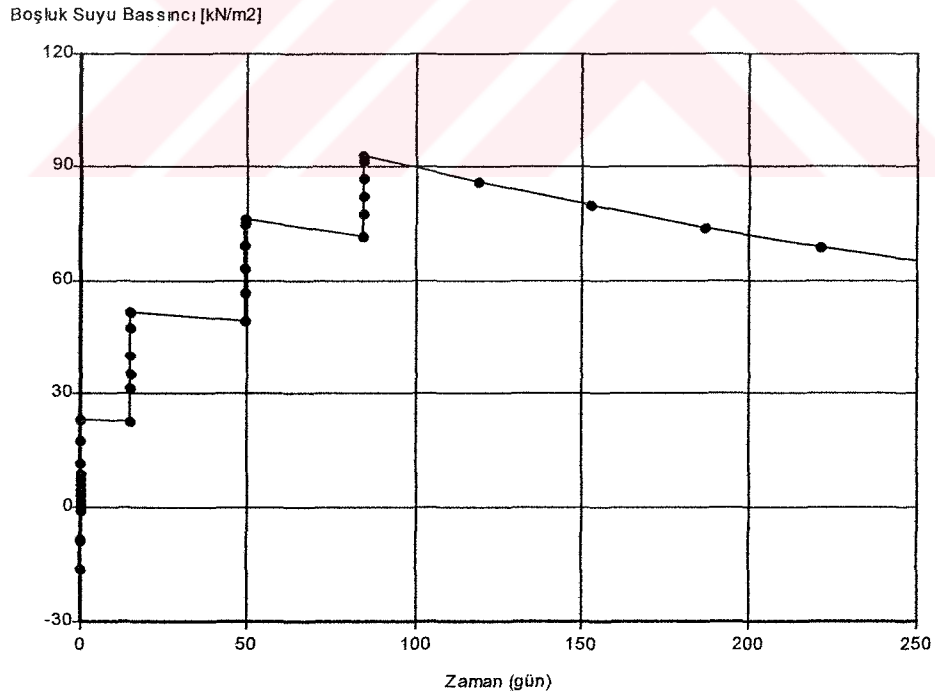
Şekil 5.14 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.



Şekil 5.15 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü



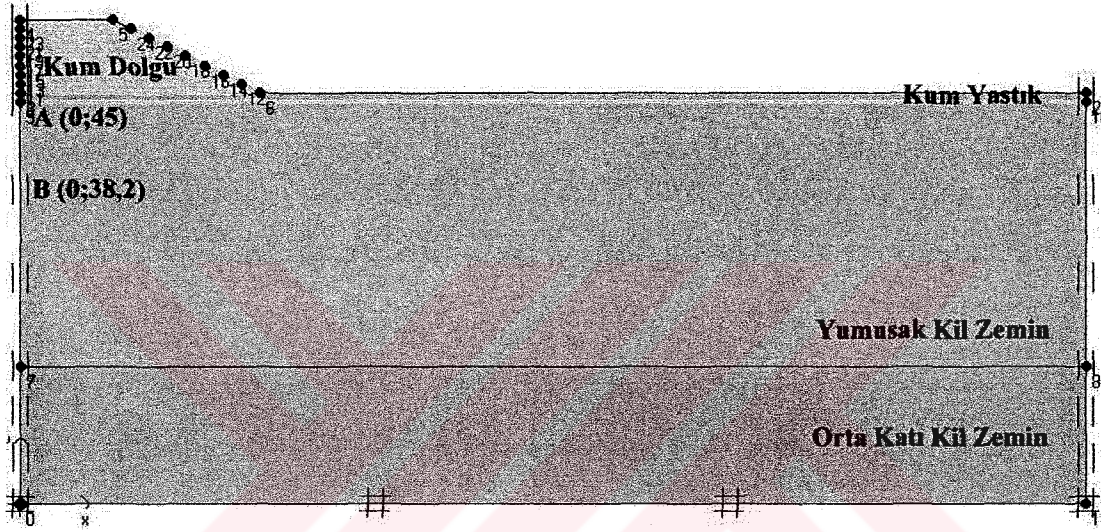
Şekil 5.16 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2 noktası) boşluk suyu basıncı – zaman grafiği



Şekil 5.17 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.

5.2.2 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması

Şekil 5.18’te verilen zemin profilinde, kum dolgu, kil zemin üzerine kademeli olarak yüklenirken; her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir. Bir önceki analizde olduğu gibi kum dolgu 1 m’lik kum yastık üzerine yüklenerek geotekstillerin verimli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Kum yastığının stabilizasyonunu sağlamak amacı ile kil zemin ile arasına tek tabaka geotekstil yerleştirilmiştir.

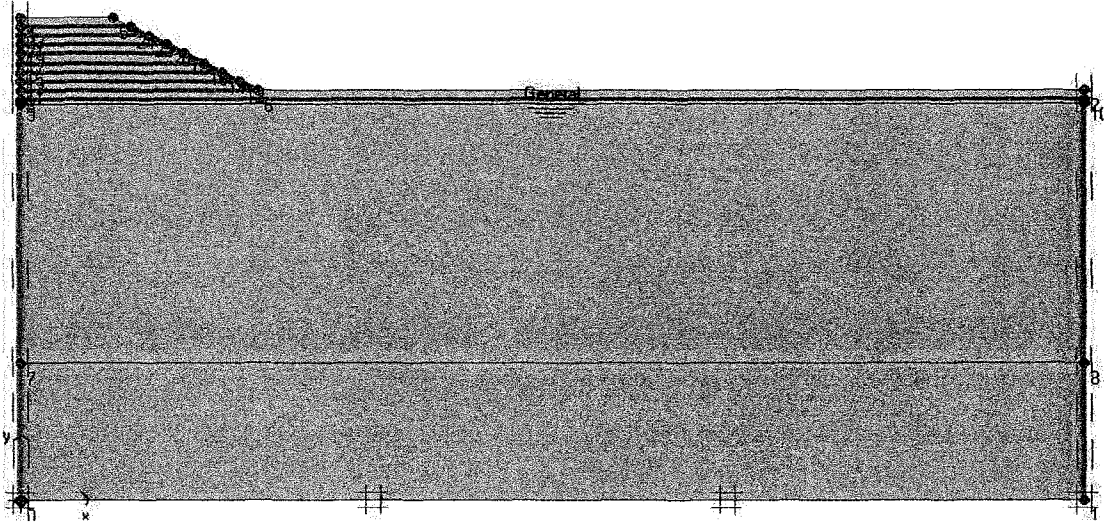


Şekil 5.18 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m’lik kum yastık üzerine oturtulması

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 15 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.19’da; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.20’de gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha : Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine 1 m’lik kum yastığının serilmesi
3. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m’lik birinci kademesinin yüklenmesi



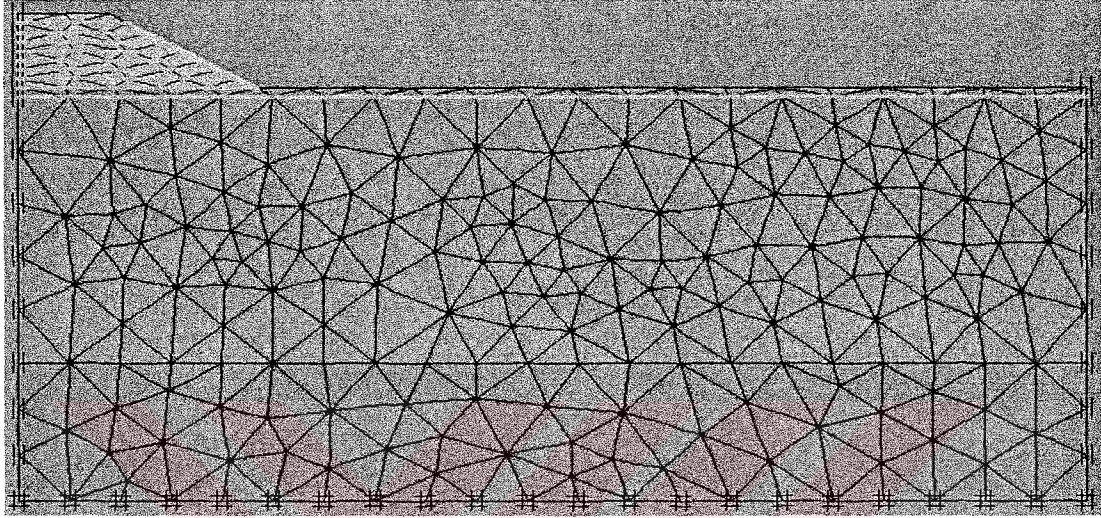
Şekil 5.19 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

4. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
6. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
8. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
9. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi
11. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
12. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

15. Safha : Güvenlik faktörü analizi

14. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.20 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.6'da verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.7'de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda zeminde oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

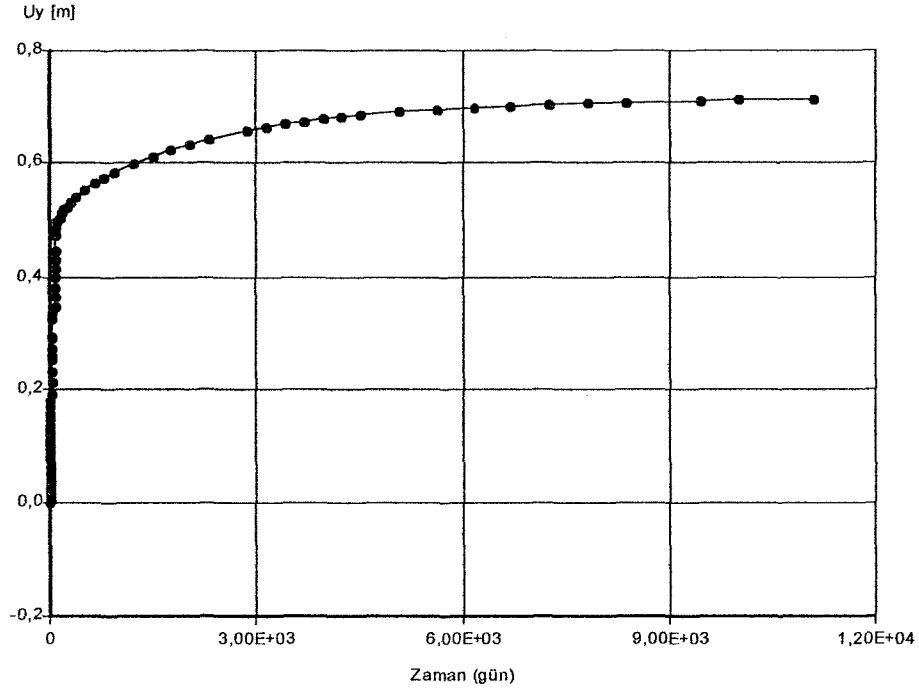
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafikleri Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'de; simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafikleri ise Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere bir önceki analizde elde edilen sonuçlarla benzer sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 5.6 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

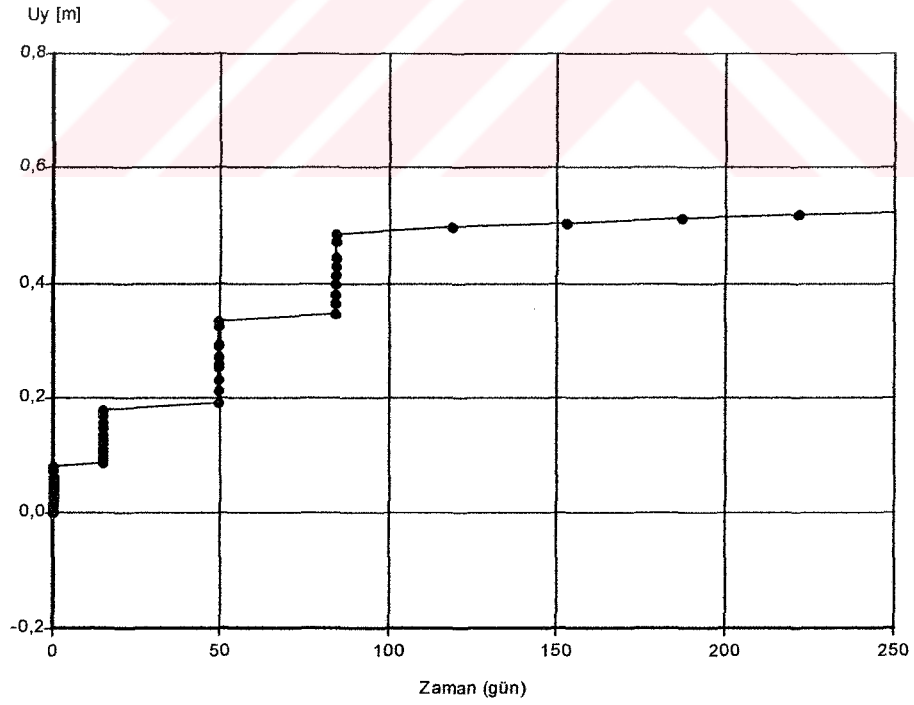
Maksimum Toplam Deformasyon (0;50) Kotu	73,5	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	71,2	cm
Efektif Gerilme	445,74	kN/m ²
Toplam Gerilme	879,51	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,77	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,81	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	2,468	

Tablo 5.7 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

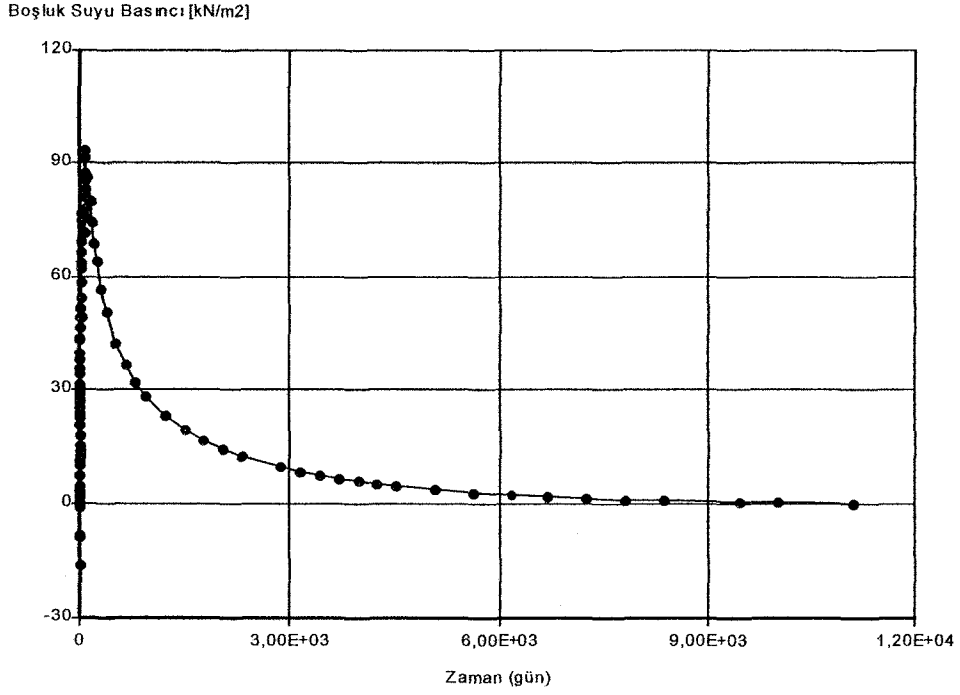
Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
8,05	0,5	9,5	1,2	14,4	1,2	13,8	22,8



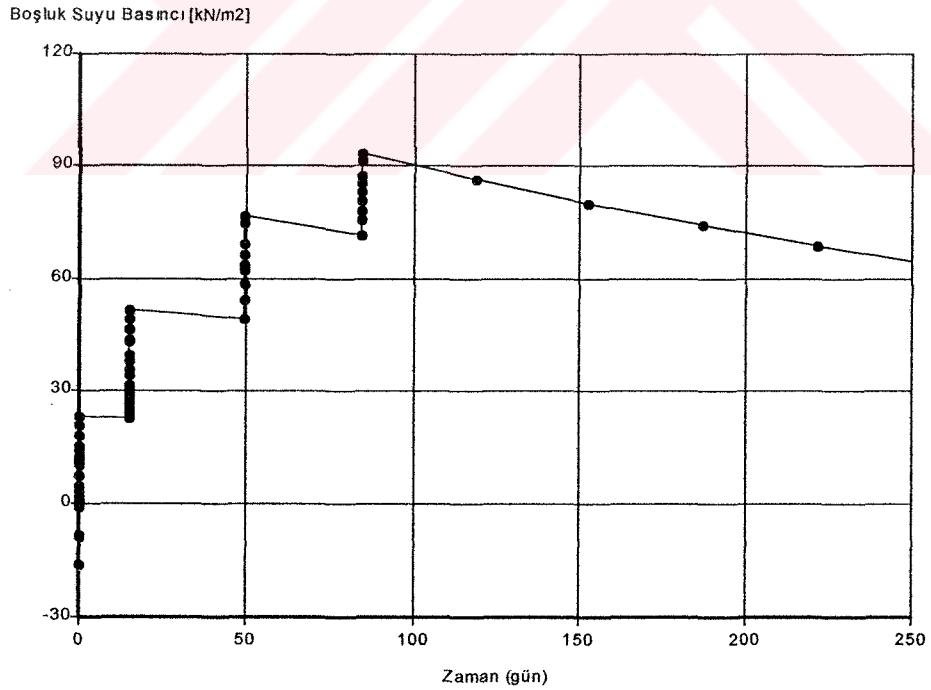
Şekil 5.21 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.



Şekil 5.22 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.



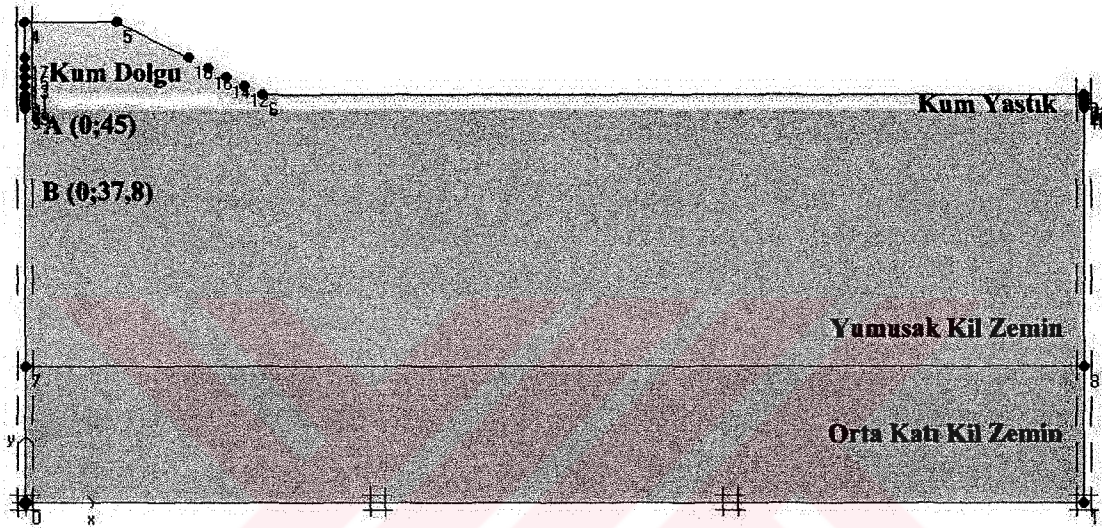
Şekil 5.23 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.



Şekil 5.24 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü

5.2.3 Kum dolgunun 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulması

Şekil 5.25'da verilen zemin profilinde, kum dolgunun 4 m'lik kısmı 1 m'lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 4 sıra geotekstil donatı serilmiştir. Dolgunun geri kalan 4 m'lik kısmı ise tek bir tabaka halinde yüklenmiştir. Kil zemin 1,5 m kazılarak; kum dolgu altına serilecek olan kum yastık, 0,5 m'lik tabakalar halinde ve her tabaka arasına tek sıra geotekstil donatı serilerek yerleştirilmiştir.

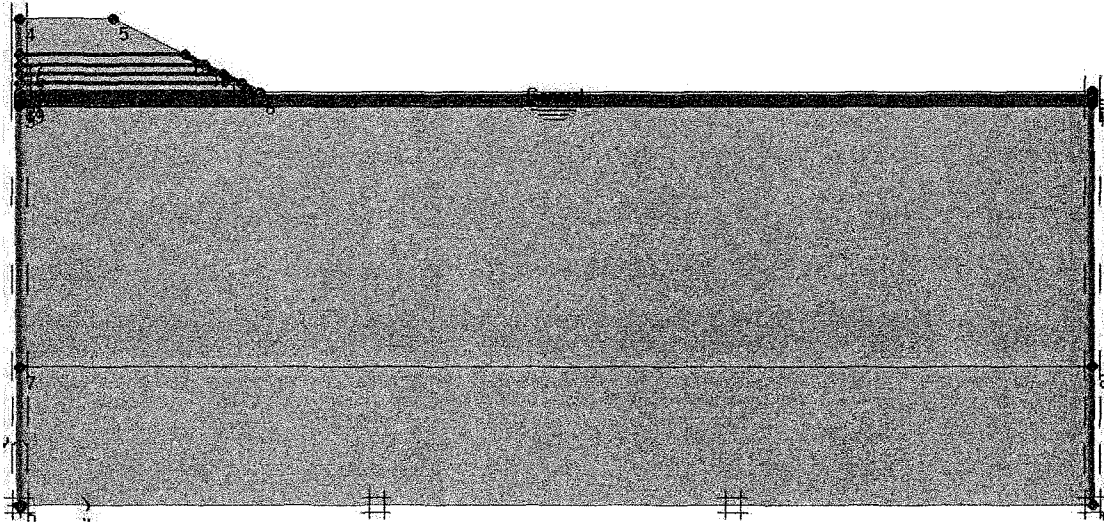


Şekil 5.25 8 m'lik kum dolgunun 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulması

Plaxis'le gerçekleştirilen yükleme analizi 14 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.26'da; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.27'de gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

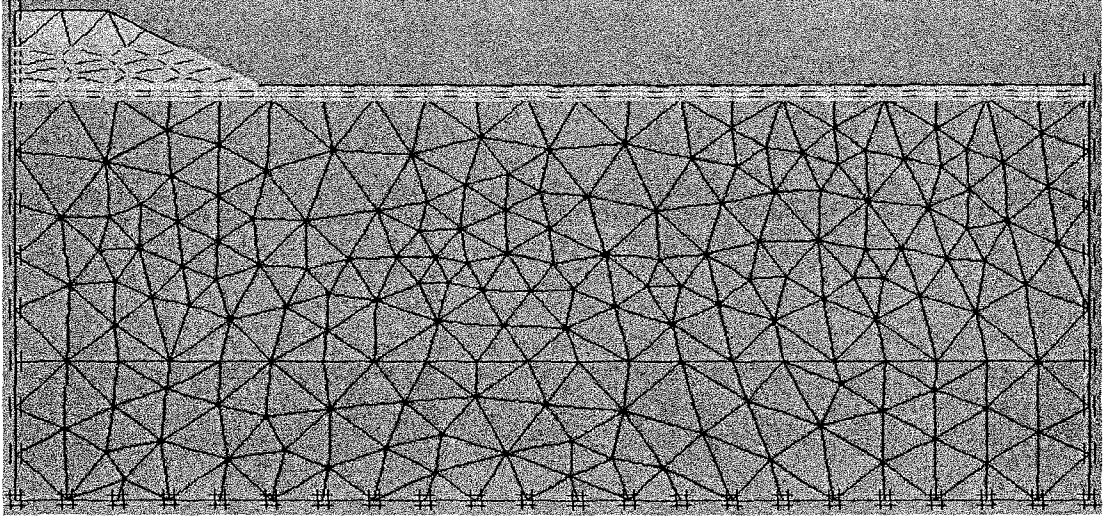
1. Safha: 1,5 m'lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha: Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
3. Safha: Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.26 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

4. Safha: Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
5. Safha: 15 günlük konsolidasyon süresi
6. Safha: Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
7. Safha: Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha: 15 günlük konsolidasyon süresi
9. Safha: Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
10. Safha: Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
11. Safha: 15 günlük konsolidasyon süresi
12. Safha: Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun kalan 4 m'lik kısmının yüklenmesi
14. Safha: Güvenlik faktörü analizi

13. Safha: Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.27 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.8’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.9’da verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda zeminde oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafikleri Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da; simetri eksenindeki (0; 37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafikleri ise Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de verilmiştir.

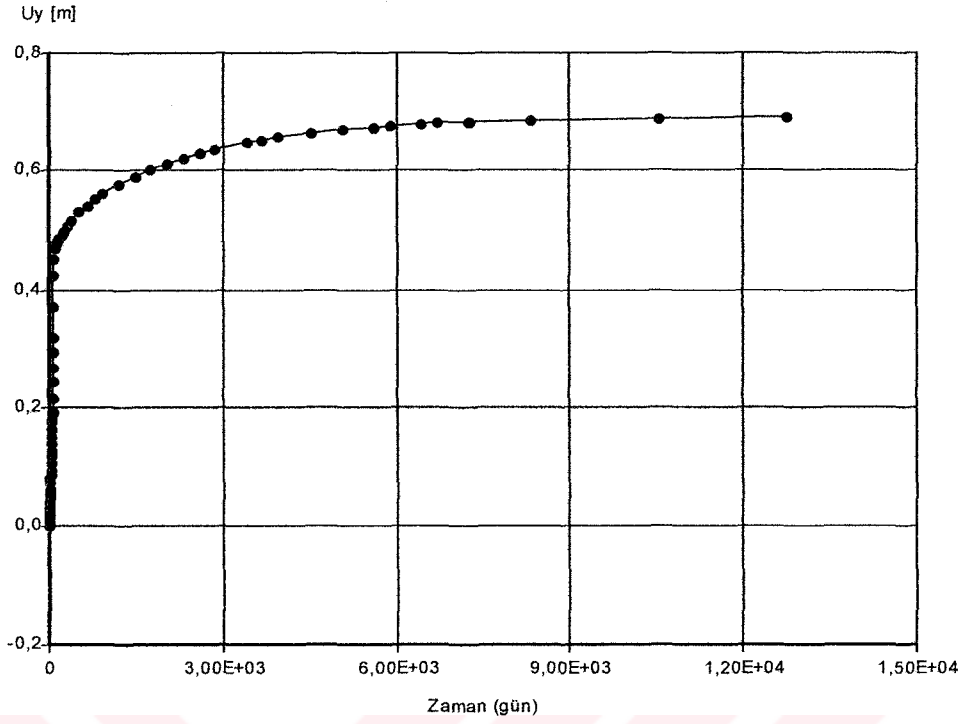
Analiz sonucunda elde edilen değerlerde daha önceki analizlere oranla, küçükte olsa, iyileşme görülmüştür. Maksimum toplam deformasyonda yaklaşık olarak 3 cm’lik bir azalma görülmektedir.

Tablo 5.8 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

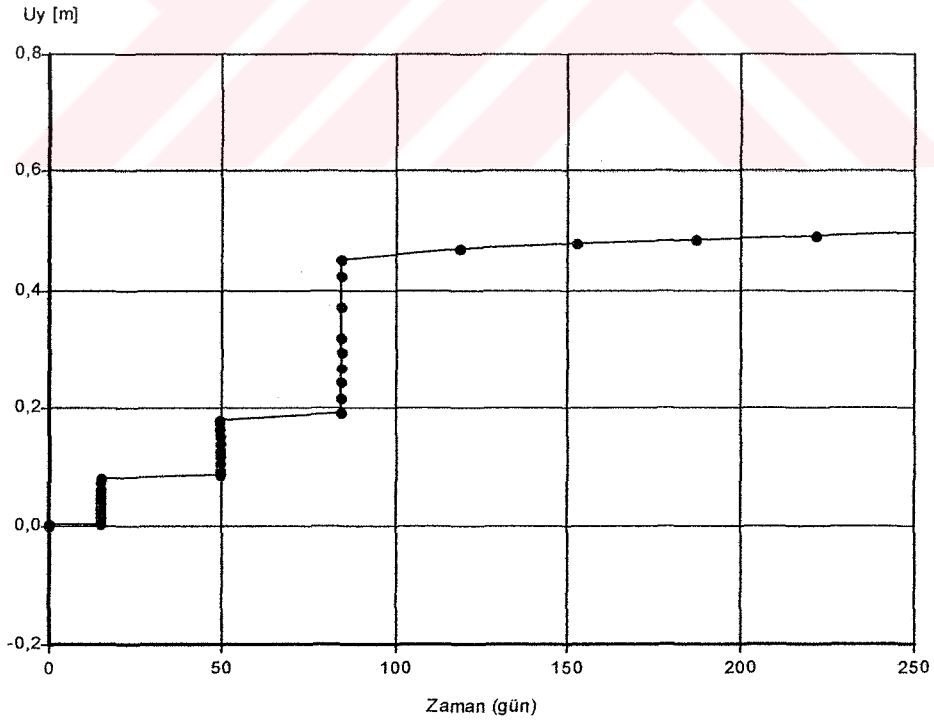
Maksimum Toplam Deformasyon (0;50) Kotu	70,8	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	69	cm
Efektif Gerilme	447,43	kN/m ²
Toplam Gerilme	881,20	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,77	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,66	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,186	

Tablo 5.9 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
0,09	0	7,75	0,8	9,2	1,1	26,2	23,9

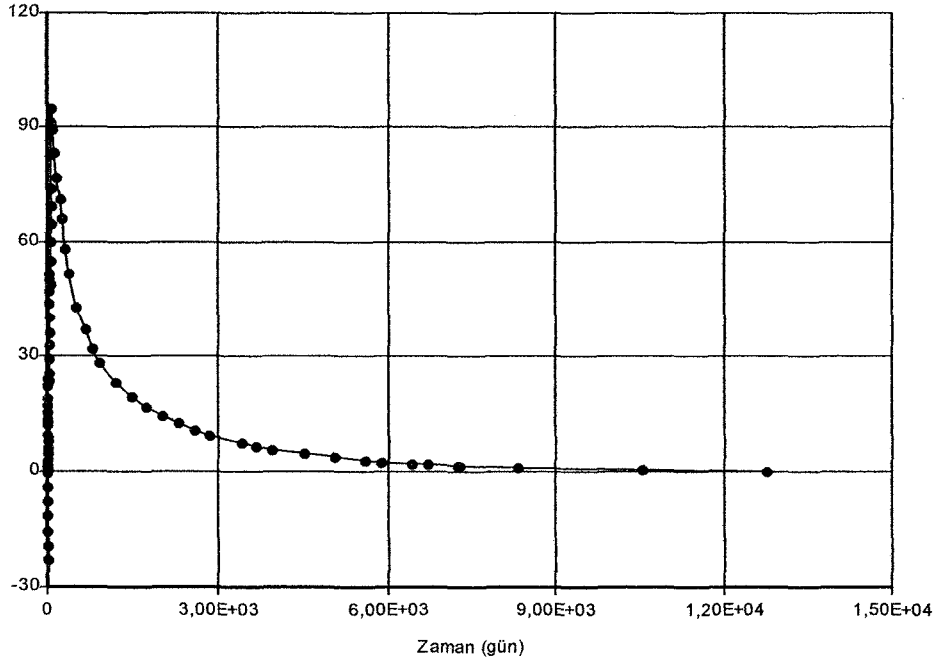


Şekil 5.28 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.



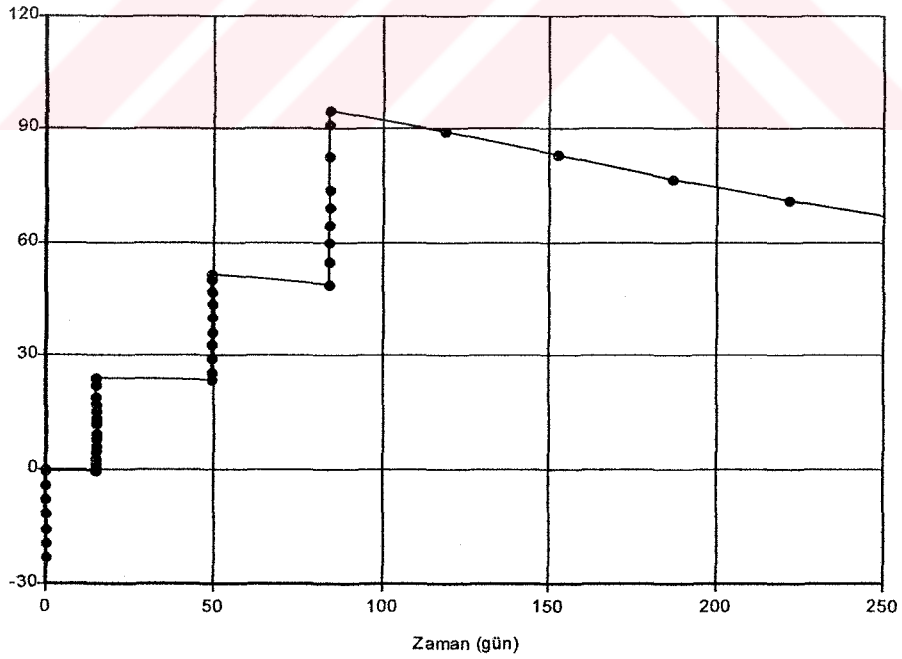
Şekil 5.29 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü

Boşluk Suyu Basıncı [kN/m²]



Şekil 5.30 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

Boşluk Suyu Basıncı [kN/m²]



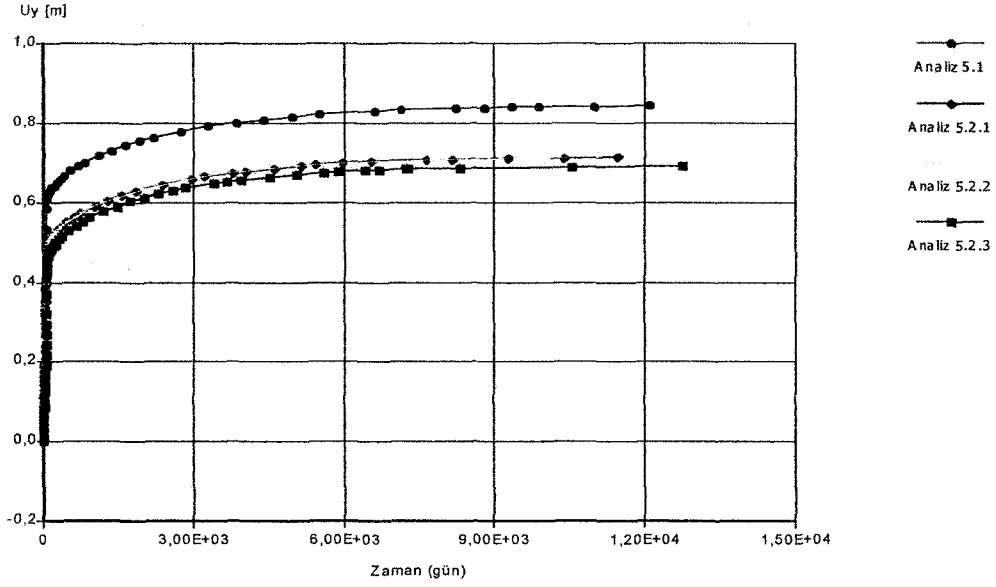
Şekil 5.31 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü

5.2.4 Yumuşak kil zemin üzerine yüklenen kum dolgu analizlerin karşılaştırılması

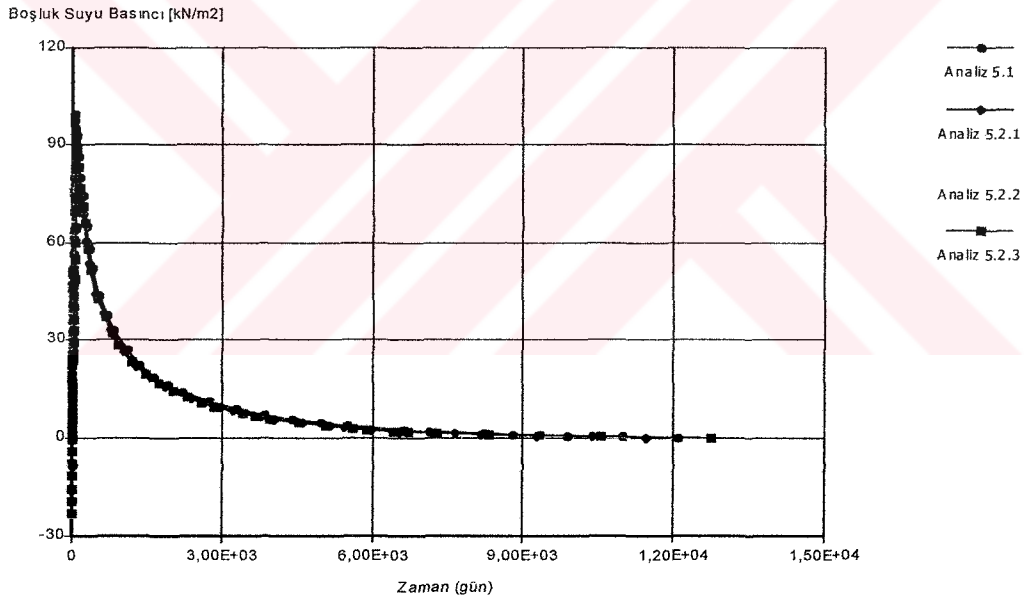
Orta katı kil ve yumuşak kil tabakalarında oluşan 45 m derinlikteki kil zemine 8 m'lik kum dolgunun uygulanması sonucunda büyük miktarda oturma meydana gelmiş ve istenilen değerler elde edilememiştir. Bu nedenle kum dolgu, geotekstillerin de kullanıldığı, farklı türde kademeli yüklemeler ile yüklenmiştir. Analizlerde elde edilen değerler Tablo 5.10'da verilmiştir. Görüldüğü gibi normal koşullar altında 90 cm'lik bir oturma meydana gelirken, geotekstillerin kullanıldığı kademeli yükleme ile bu miktar 70 cm'ye kadar düşürülmüştür.

Tablo 5.10 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler

	Donatısız Kum Dolgu	2 m Arayla Geotekstil Uygulaması	1 m Arayla Geotekstil Uygulaması	Dolgunun Yarisına Kadar 2 m Arayla Geotekstil Uygulanması
Maksimum Toplam Deformasyon (cm)	90,4	73,7	73,5	70,7
Dolgu Merkezinde Deformasyon (cm)	84,1	71,3	71,2	69
Efektif Gerilme (kN/m ²)	439,87	445,66	445,74	447,43
Toplam Gerilme (kN/m ²)	873,64	879,42	879,51	881,20
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	433,77	433,77	433,77	433,77
Artık Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	0,89	0,95	0,81	0,66
Güvenlik Faktörü	1,054	2,51	2,468	3,186



Şekil 5.32 Yapılan 4 ayrı analizin simetri eksenindeki (0;45) noktası deformasyonlarının karşılaştırılması



Şekil 5.33 Yapılan 4 ayrı analizin simetri eksenindeki boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te dört farklı analiz sonucunda elde edilen yerdeğiştirme – zaman ve boşluk suyu basıncı – zaman grafikleri verilmiştir. Buradan, 1,5 m'lik kum yastık uygulamasında elde edilen oturma miktarının en düşük değer olduğu görülmektedir.

5.3 Yumuşak Kil Zemin İçerisine Taş Kolon (Çakıl Kolon) Uygulanması

Daha önce gerçekleştirilen analizlerde, dolgunun yüklenmesi sonucunda elde edilen oturma miktarı azaltılmaya çalışılmış ve sonuç olarak da 20 cm'e yakın bir iyileştirme elde edilmiştir. Ancak tüm bu analizlerde elde edilen oturma değerleri nihai oturma değerleridir. Yani konsolidasyon oturması sona erdiğinde elde edilen değerlerdir. Bölüm 5.8'de verilen konsolidasyon analizinden de görüldüğü üzere kil zeminde konsolidasyon 29 yıl gibi çok uzun bir süre tamamlanmaktadır. Zeminde bulunan suyun atılmasını kolaylaştırarak konsolidasyon süresi azaltılabilir. Bu amaçla yumuşak kil zemin içerisine gerek drenajı sağlayacak gerekse zeminin taşıma gücünü arttıracak olan çakıl kolon uygulanması analiz edilecektir.

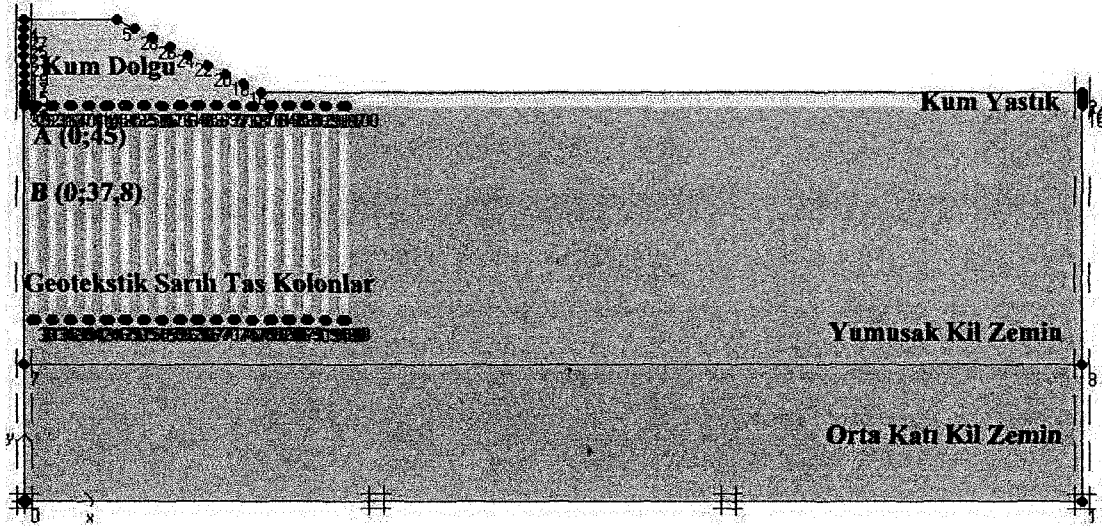
Analizlerde $\phi 40$, $\phi 60$, $\phi 80$ olmak üzere üç değişik çapta çakıl kolon; merkezden merkeze 200 cm, 300 cm, 400 cm olmak üzere üç farklı aralıkta yerleştirilerek elde edilen değerler karşılatılacaktır. Çakıl kolonların etrafına geotekstiller sarılacak ve kolonlar 23,5 m derinliğe indirilecektir.

Çakıl kolonlarda kullanılacak olan çakıl malzeme için Tablo 5.1'de $E_{ref} = 240.000 \text{ kN/m}^2$ olarak verilmiştir. Ancak uygulamada kolon rijitliklerinde azaltılmaya gidilecektir. Birim genişlik için çözüm yapan Plaxis programında çakıl kolonların tanımlanabilmesi amacıyla çakıl malzemenin $E_{ref} = 240.000 \text{ kN/m}^2$ değeri kolon ara mesafesine bölünerek rijitlik azaltması gerçekleştirilecektir.

5.3.1 $\phi 40$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.34'te verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 36 adet $\phi 40$ 'lık çakıl kolon 2 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastik rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/2 = 120.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m'lik tabakalar halinde yüklenmiştir. Her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin

üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m'lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

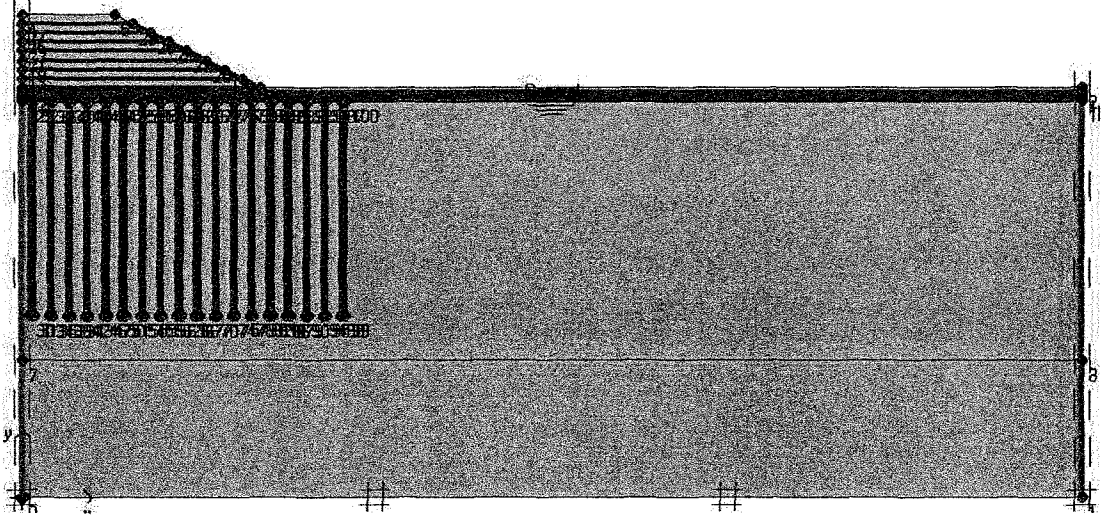


Şekil 5.34 Etrafı geotekstillikle sarılmış $\phi 40$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Plaxis'le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.35'te; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.36'da gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m'lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha : 18 adet $\phi 40$ 'lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi



Şekil 5.35 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

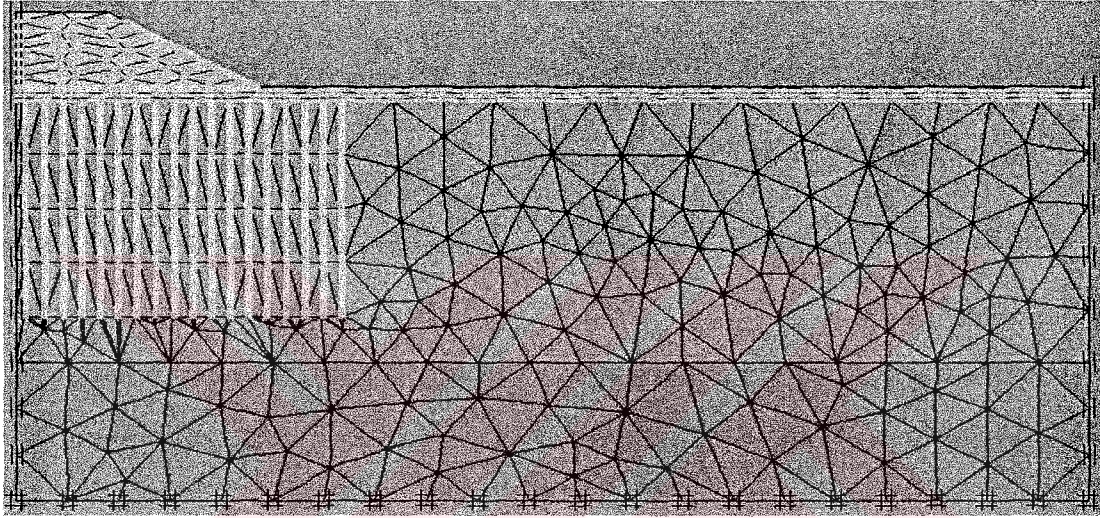
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi
14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.36 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.11'de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.12'de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda zeminde oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

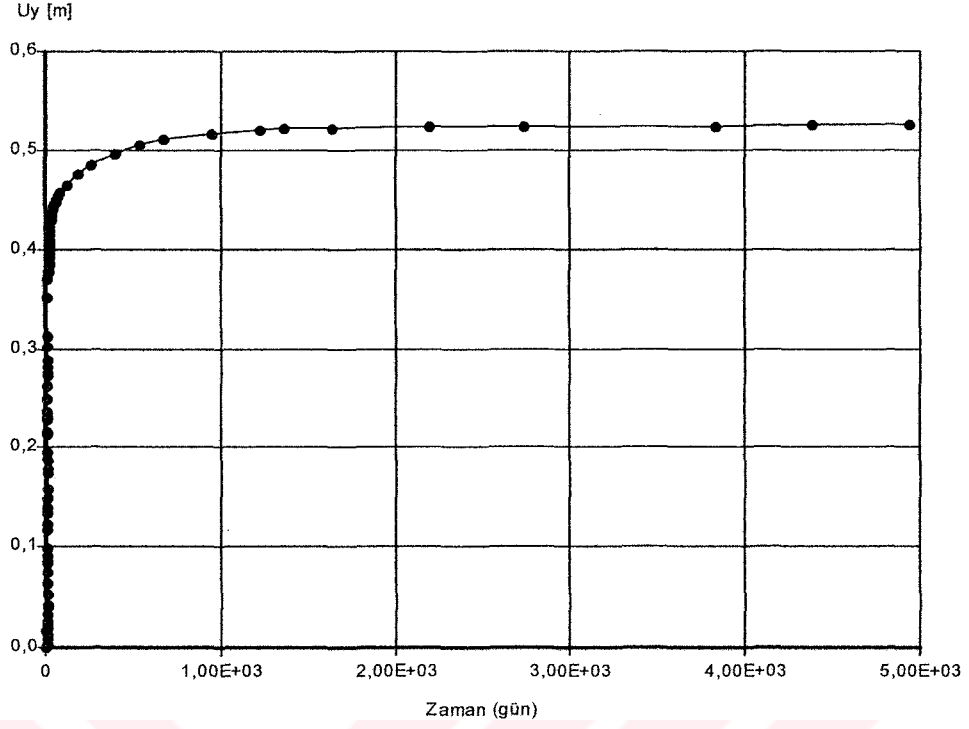
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafikleri Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de; simetri eksenindeki (0; 37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafikleri ise Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da verilmiştir.

Tablo 5.11 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

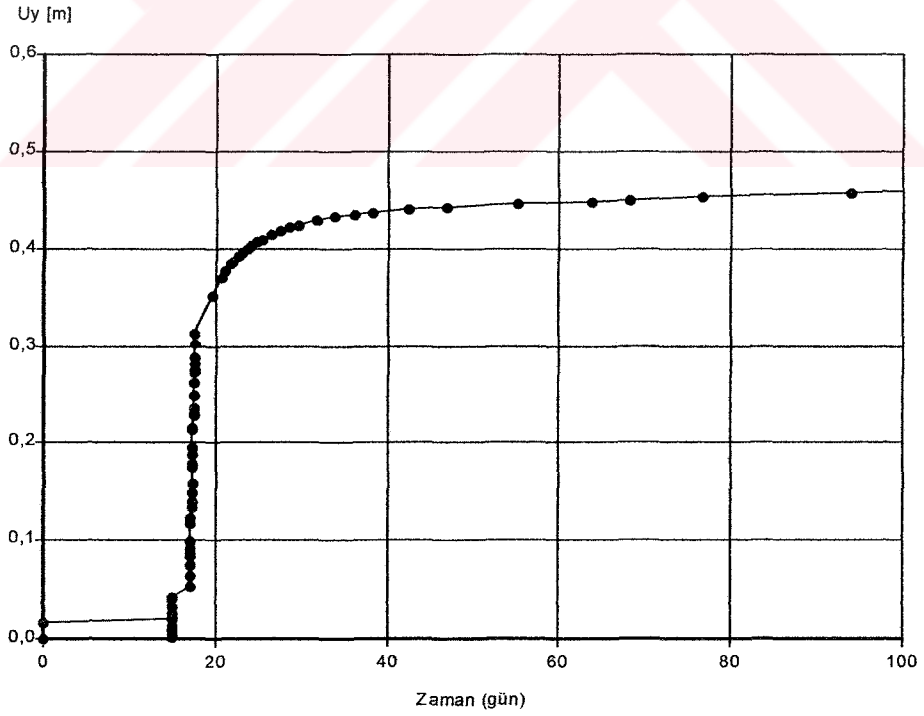
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	53,6	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	52,4	cm
Efektif Gerilme	532,05	kN/m ²
Toplam Gerilme	904,76	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,93	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,401	

Tablo 5.12 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
3,2	0,3	2,3	1,1	6,9	1,2	8,2	1,1	8,7	21

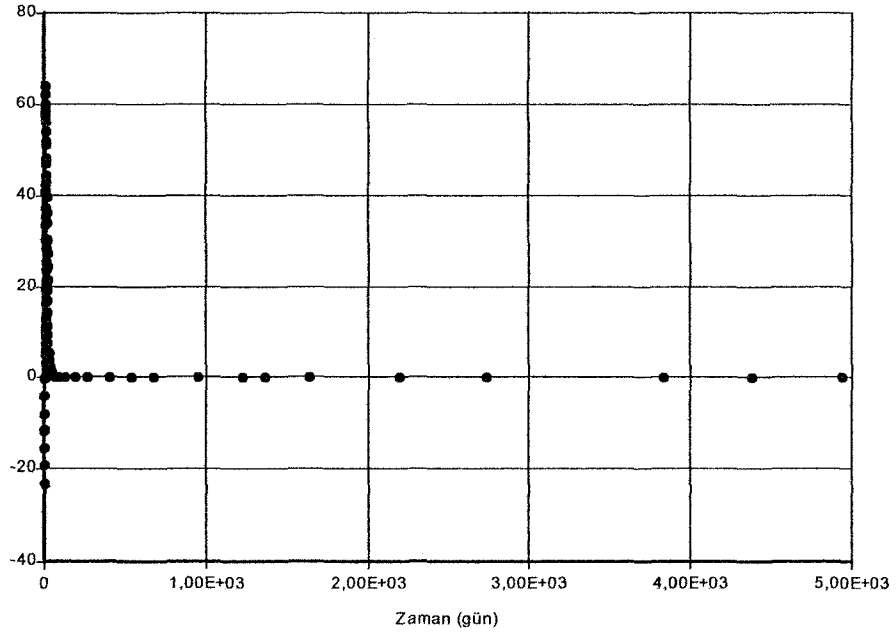


Şekil 5.37 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.



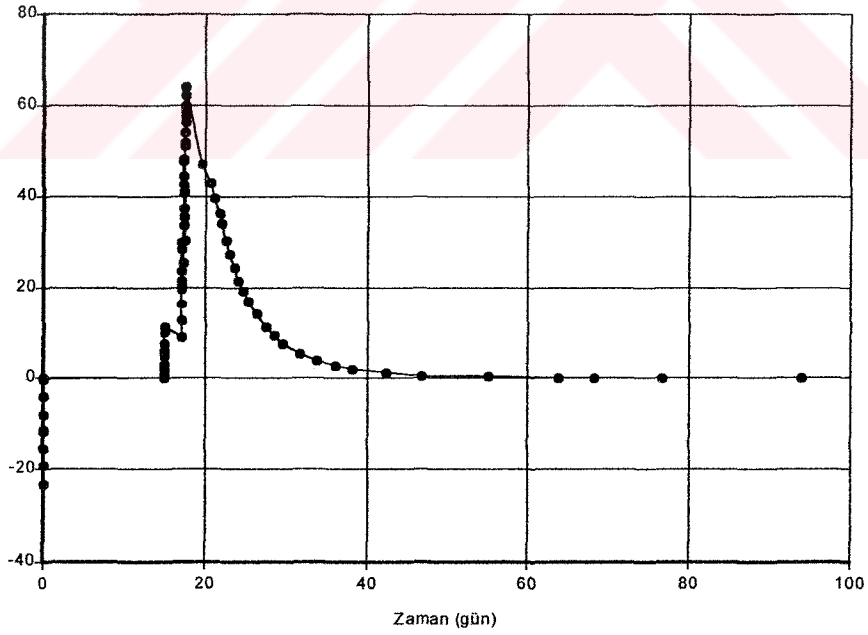
Şekil 5.38 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü.

Boşluk Suyu Basıncı [kN/m²]



Şekil 5.39 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.

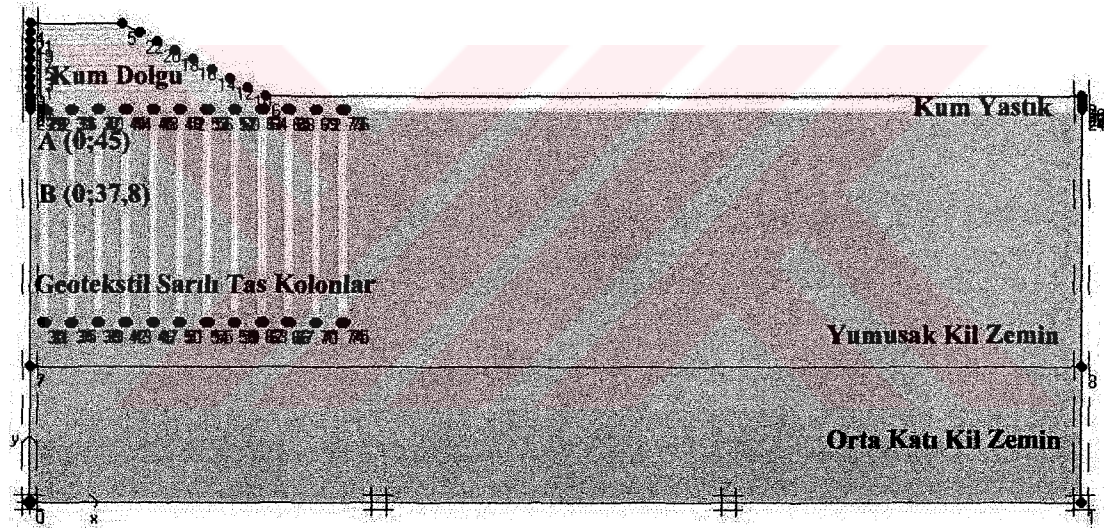
Boşluk Suyu Basıncı [kN/m²]



Şekil 5.40 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiğinin ayrıntılı görünümü

5.3.2 $\phi 40$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.41’de verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 24 adet $\phi 40$ ’lık çakıl kolon 3 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/3 = 80.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

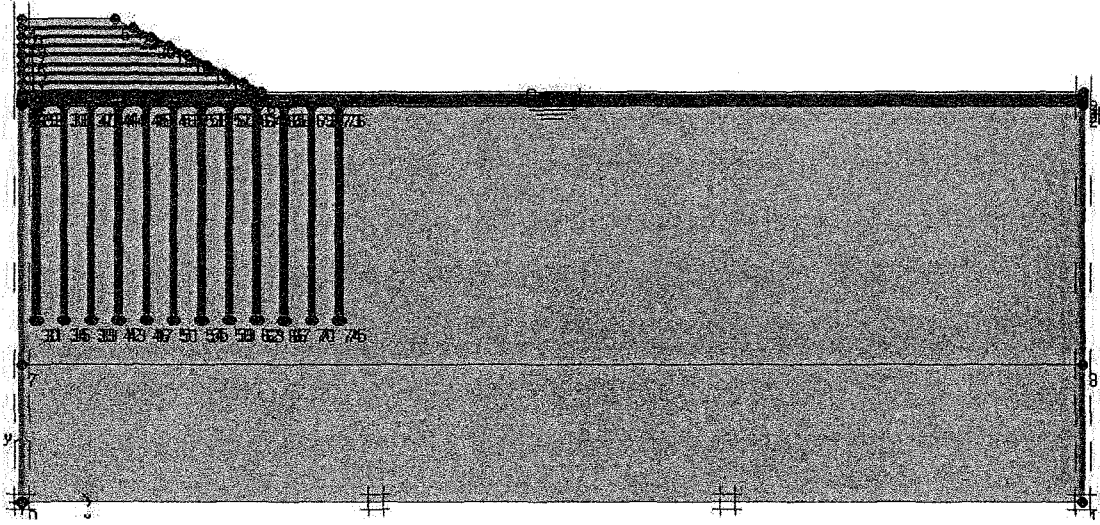


Şekil 5.41 Etrafı geotekstillere sarılmış $\phi 40$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması.

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.42’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.43’te gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.42 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 12 adet $\phi 40$ 'lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

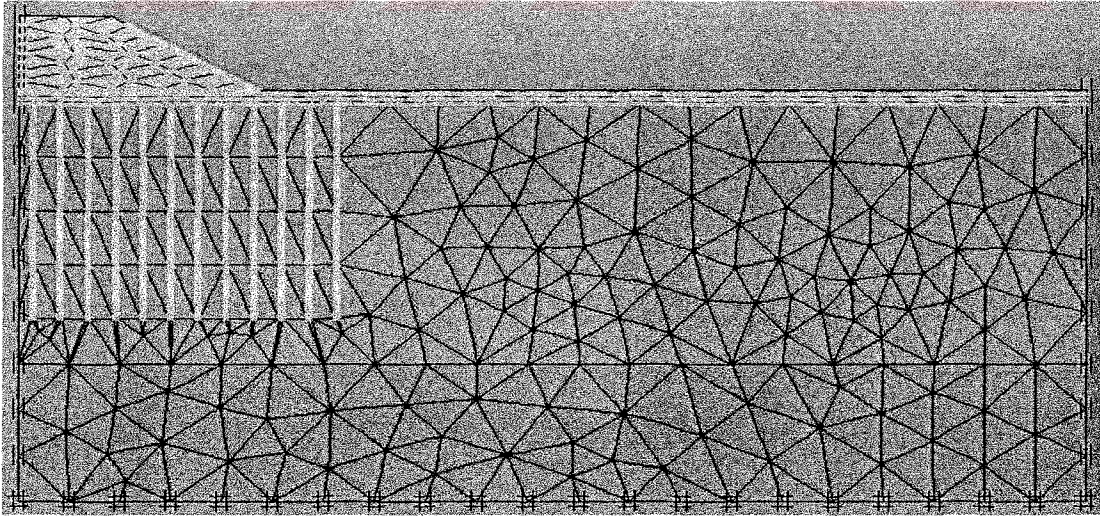
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.43 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.13'te verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.14'te verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda zeminde oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

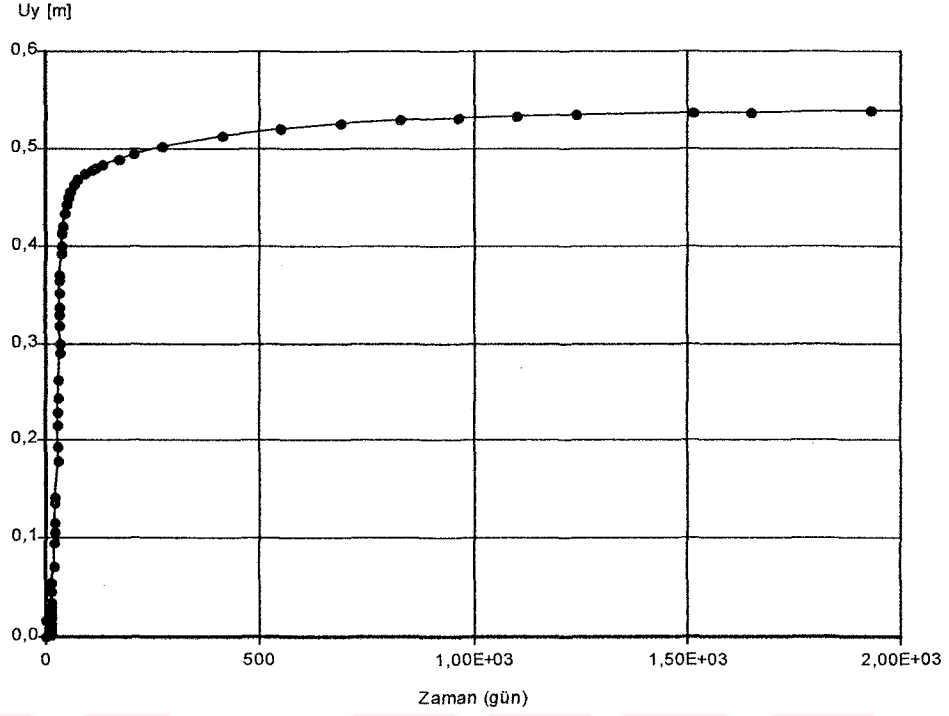
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.44'te; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.45'te verilmiştir.

Tablo 5.13 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler.

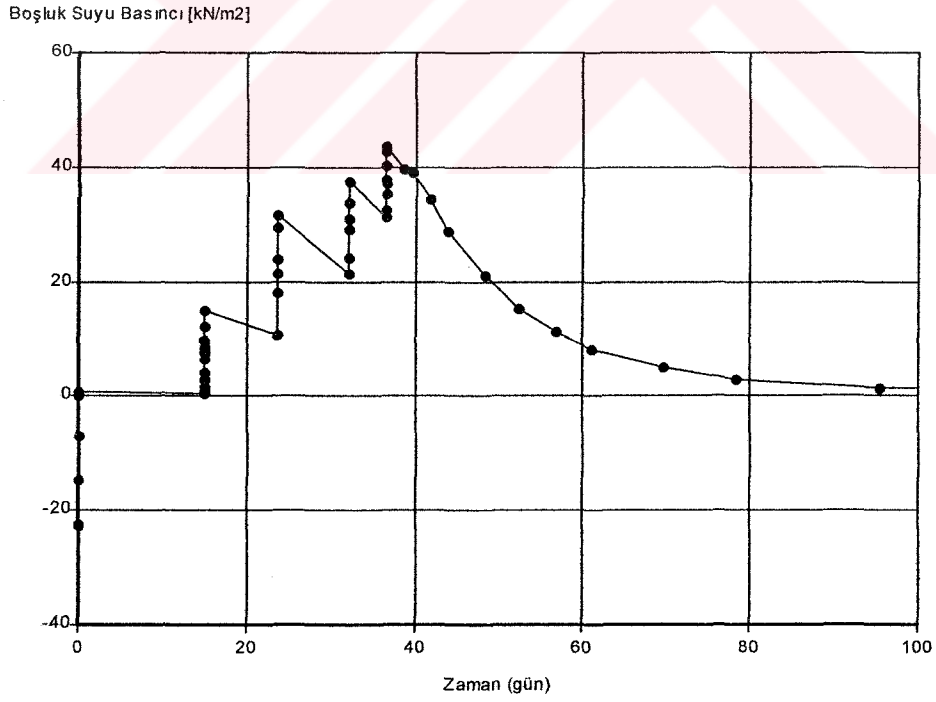
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	54,9	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	53,9	cm
Efektif Gerilme	544,47	kN/m ²
Toplam Gerilme	899,99	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,67	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,65	

Tablo 5.14 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
3,0	0,2	3,7	1,8	7	3,7	8,2	3	7,9	16,9



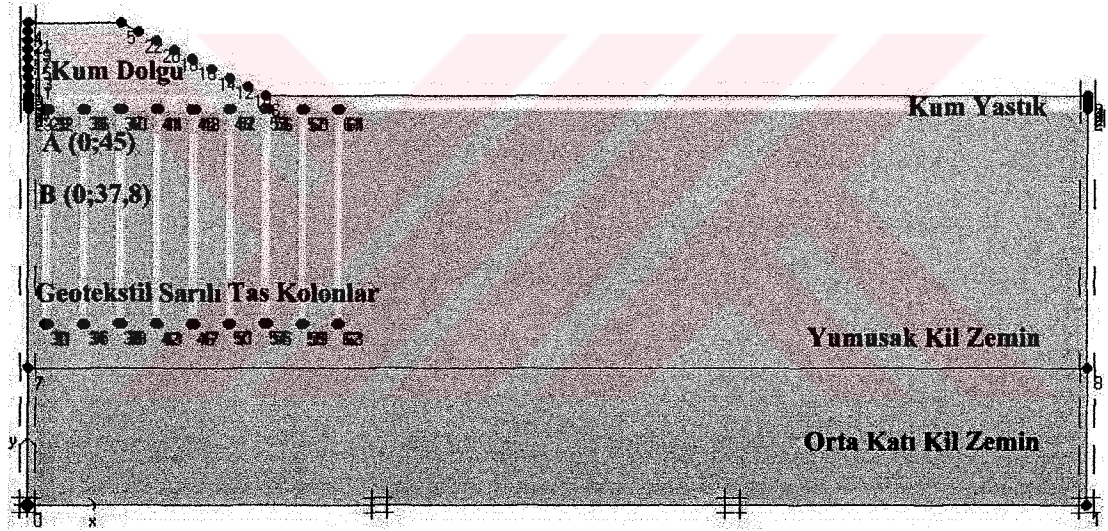
Şekil 5.44 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.45 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.3.3 $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.46’da verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 18 adet $\phi 40$ ’lık çakıl kolon 4 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/4 = 60.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

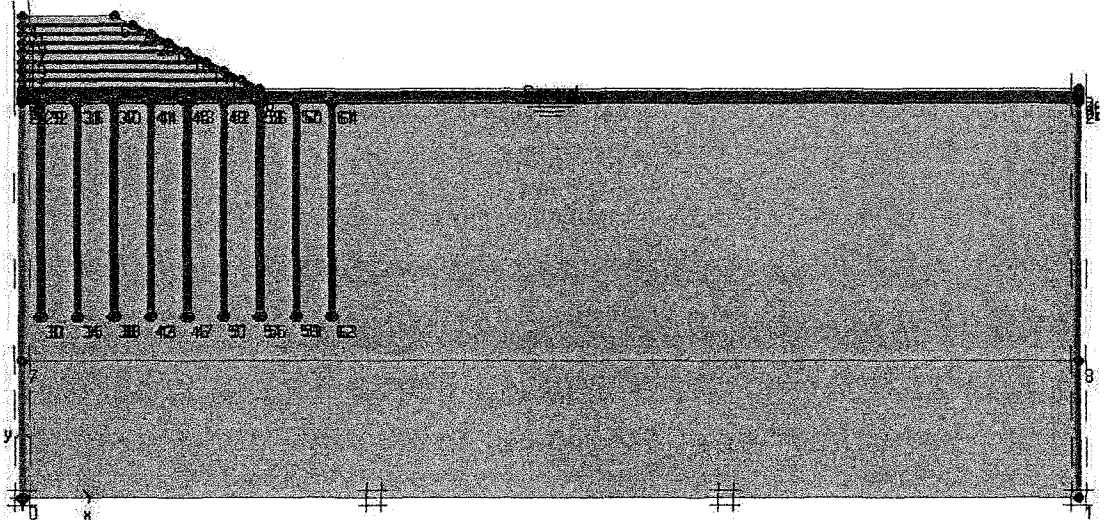


Şekil 5.46 Etrafi geotekstillikle sarılmış $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması.

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.47’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.48’de gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.47 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 9 adet $\phi 40$ 'lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

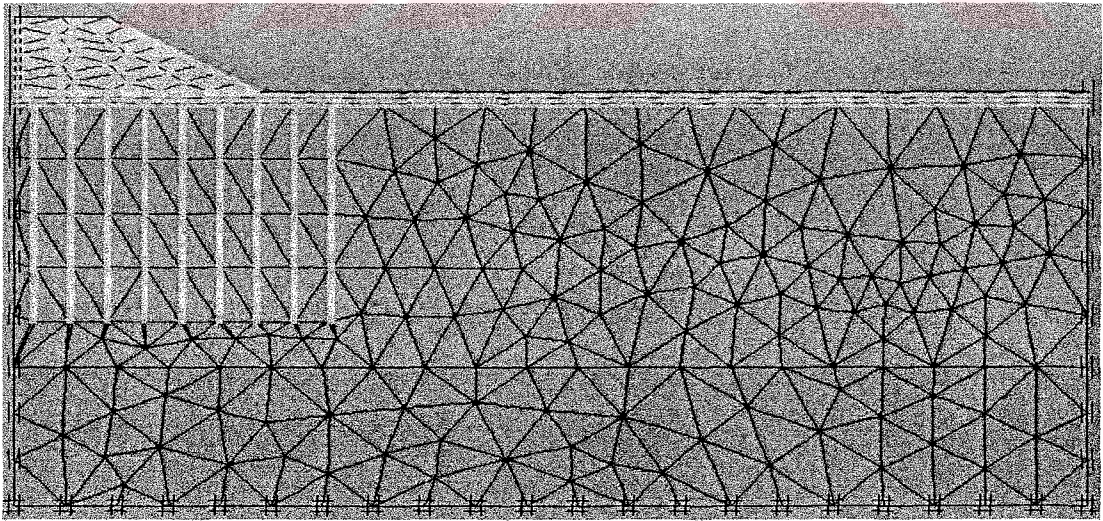
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.48 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.15'te verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.16'da verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

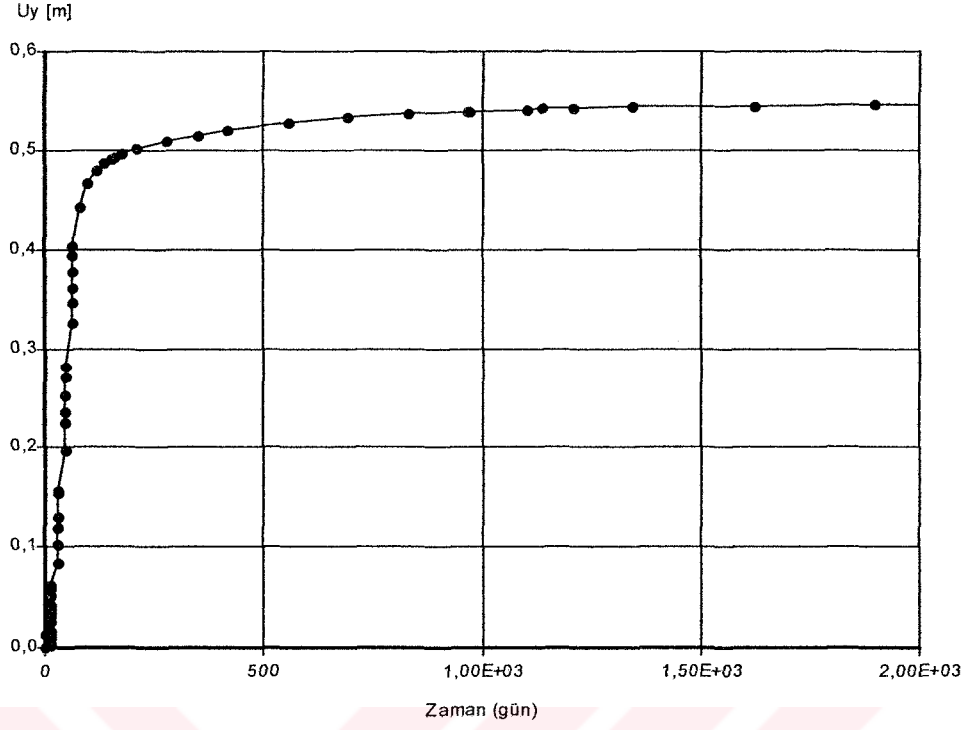
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.49'da; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.50'de verilmiştir.

Tablo 5.15 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

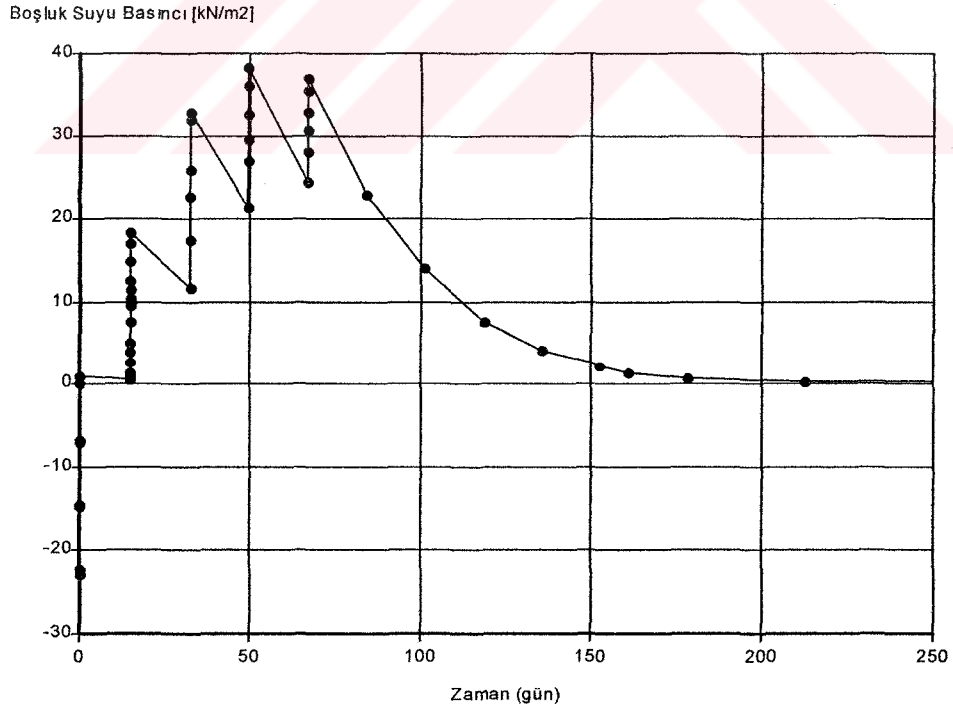
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	55,5	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	54,7	cm
Efektif Gerilme	547,95	kN/m ²
Toplam Gerilme	897,46	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,78	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,84	

Tablo 5.16 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
2,6	0,1	4,8	2,2	7,3	4	8,5	4,4	7,8	14,3



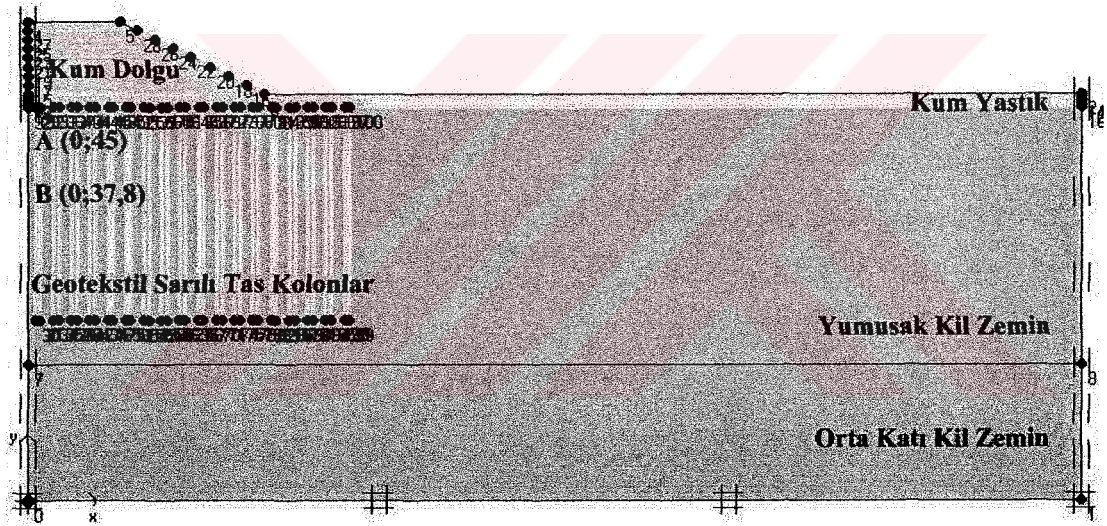
Şekil 5.49 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.50 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.3.4 $\phi 60$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.51’de verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 36 adet $\phi 60$ ’lık çakıl kolon 2 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/2 = 120.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

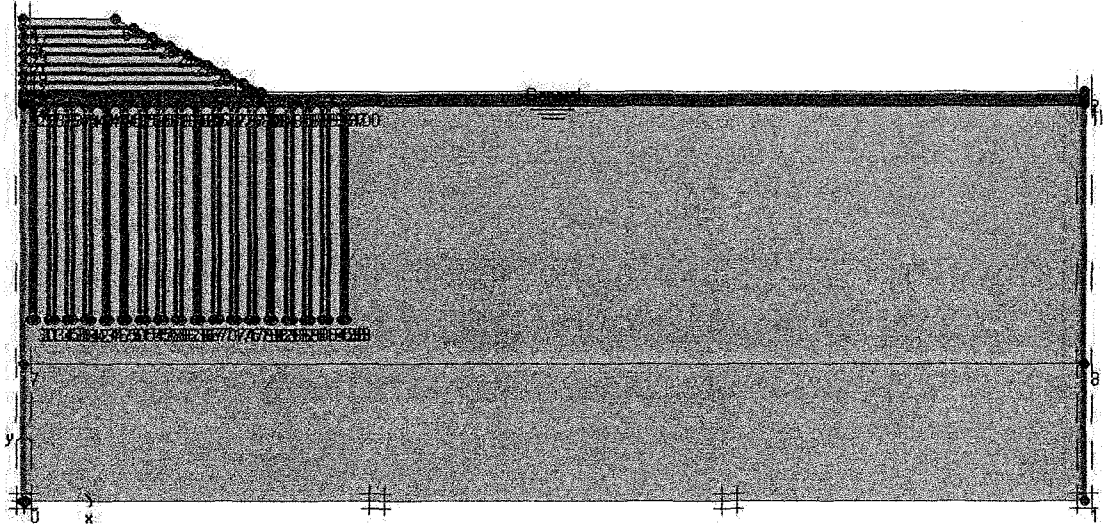


Şekil 5.51 Etrafı geotekstillikle sarılmış $\phi 60$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.52’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.53’te gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

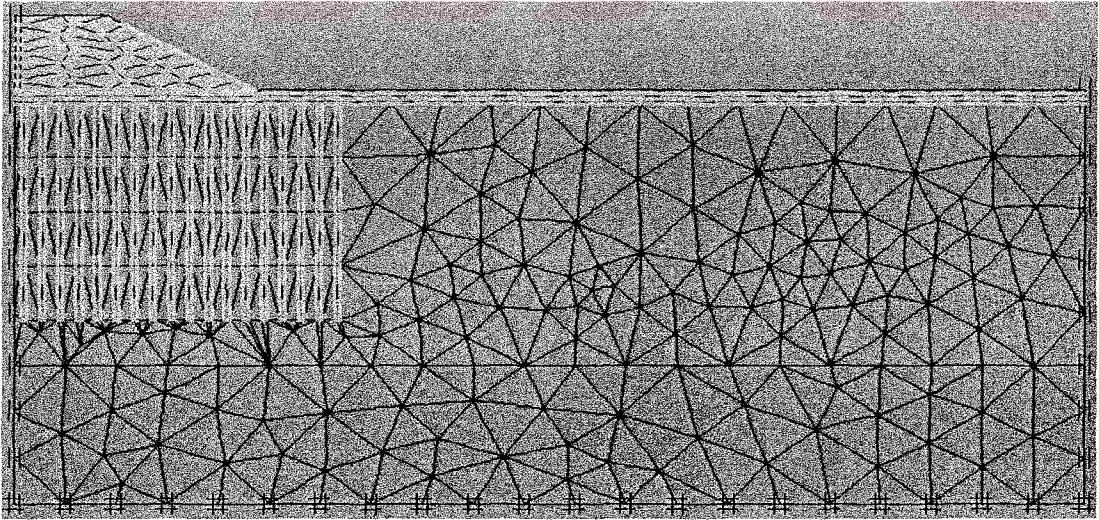
1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.52 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 18 adet $\phi 60$ 'lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi
14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi
17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi
19. Safha : Güvenlik faktörü analizi
18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.53 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.17’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.18’de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

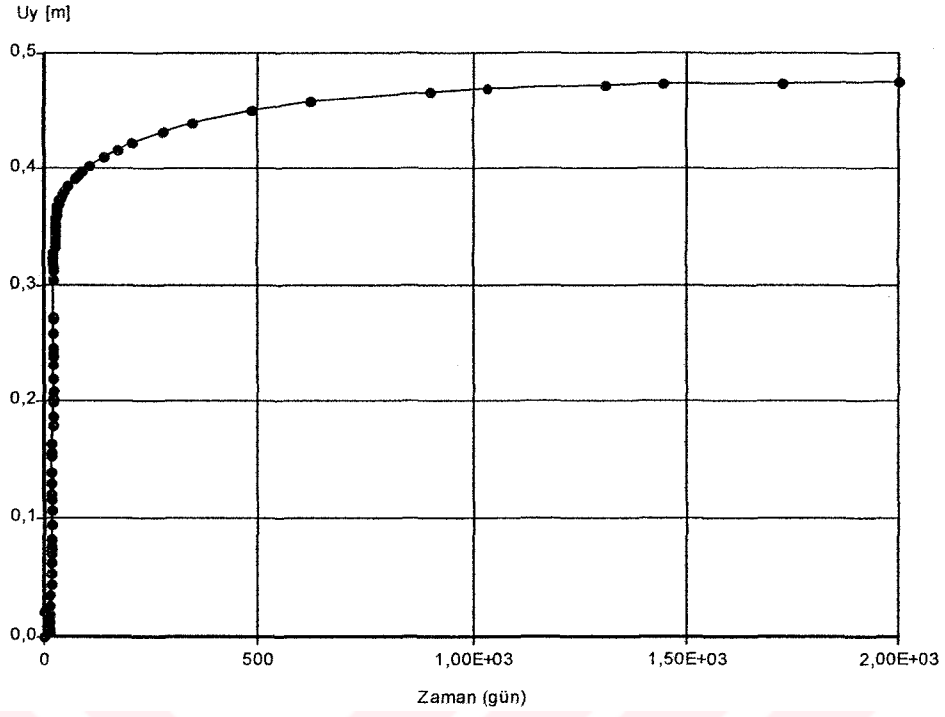
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.54’te; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.55’te verilmiştir.

Tablo 5.17 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

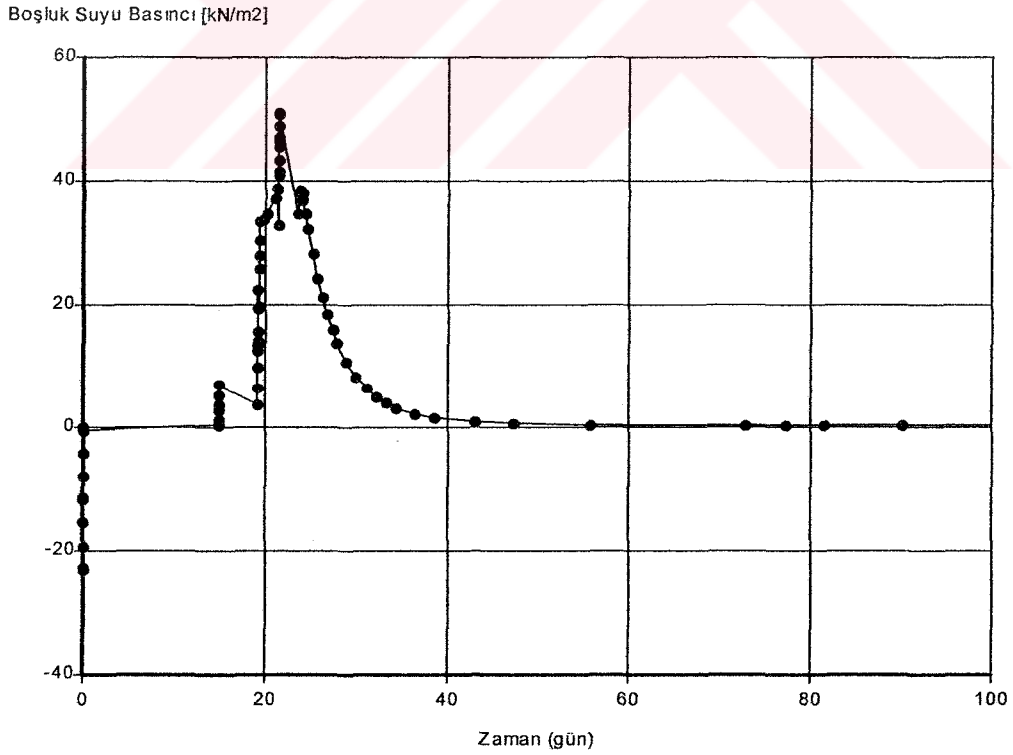
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	48,5	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	47,6	cm
Efektif Gerilme	520,84	kN/m ²
Toplam Gerilme	915,79	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,91	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,501	

Tablo 5.18 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
4,2	0,5	0,9	0,9	6,3	1	7	1,3	7,3	20,3



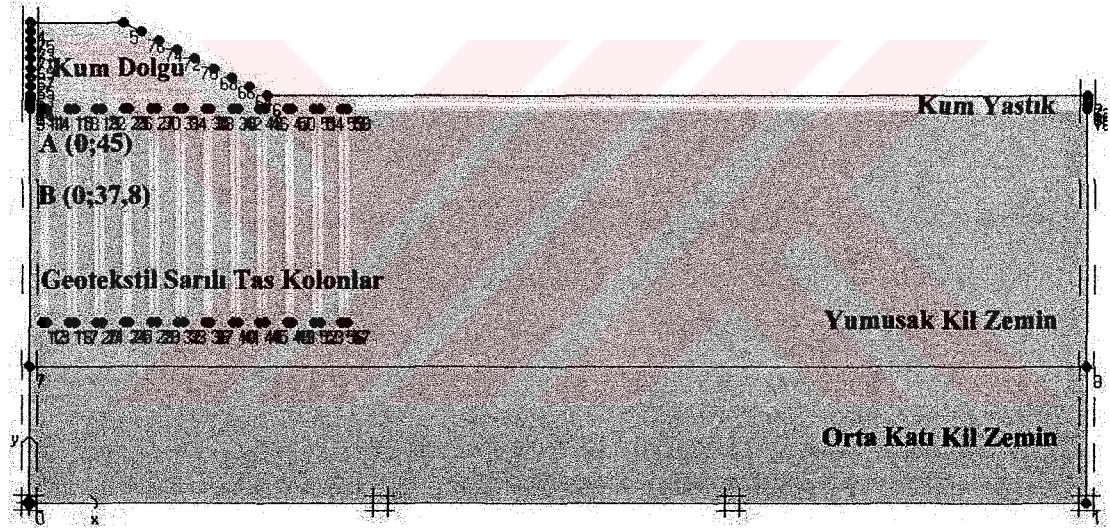
Şekil 5.54 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği.



Şekil 5.55 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.

5.3.5 $\phi 60$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.56’da verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 24 adet $\phi 60$ ’lık çakıl kolon 3 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/3 = 80.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

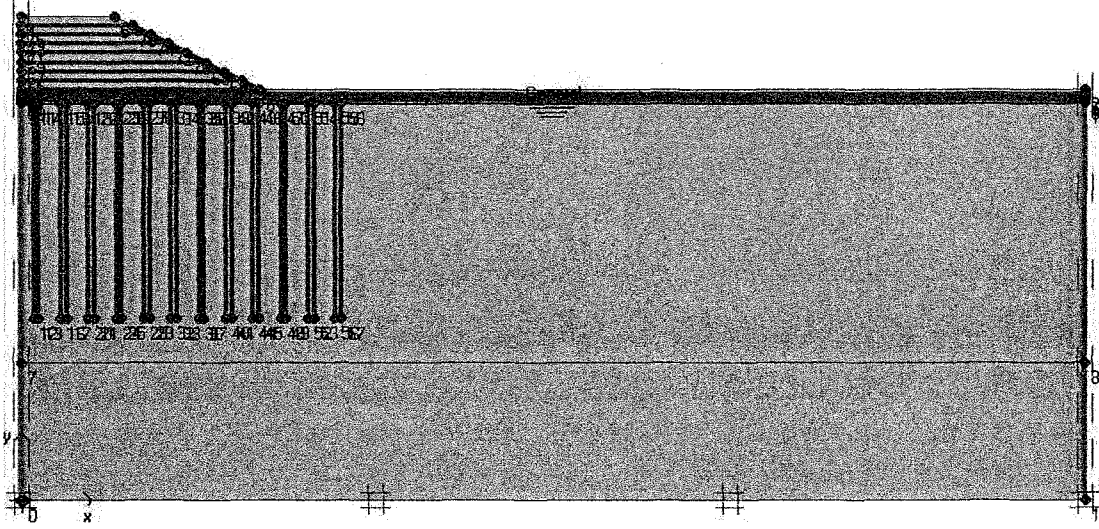


Şekil 5.56 Etrafı geotekstillere sarılmış $\phi 60$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Paxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.57’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.58’de gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.57 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 12 adet $\phi 60$ 'lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

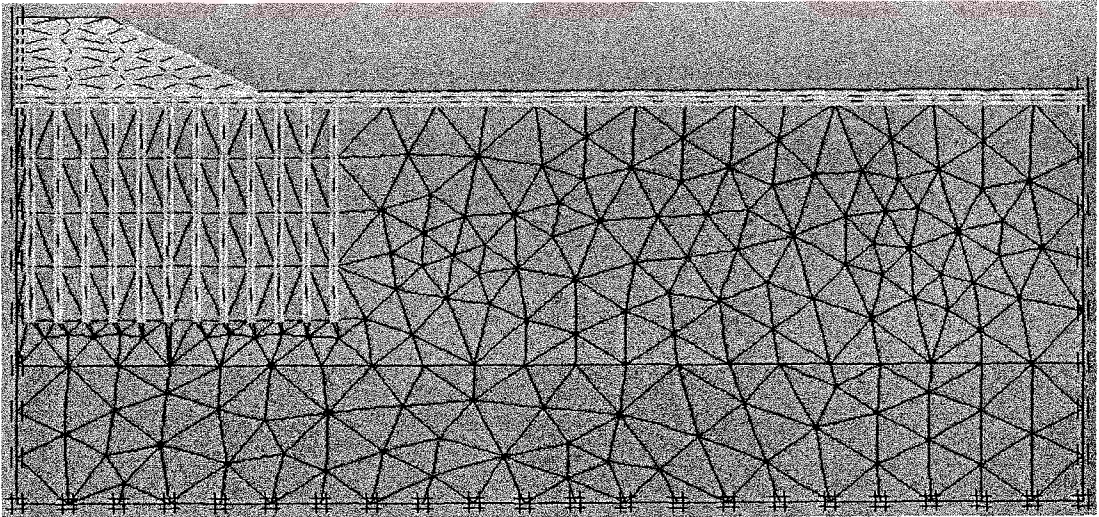
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.58 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.19’da verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.20’de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

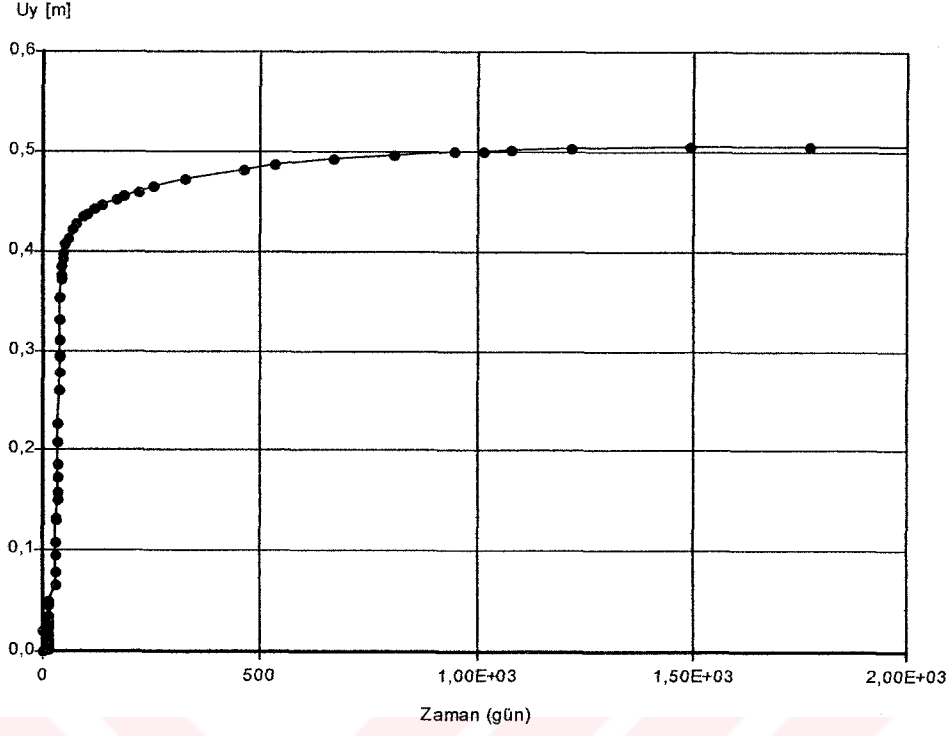
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.59’da; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.60’da verilmiştir.

Tablo 5.19 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

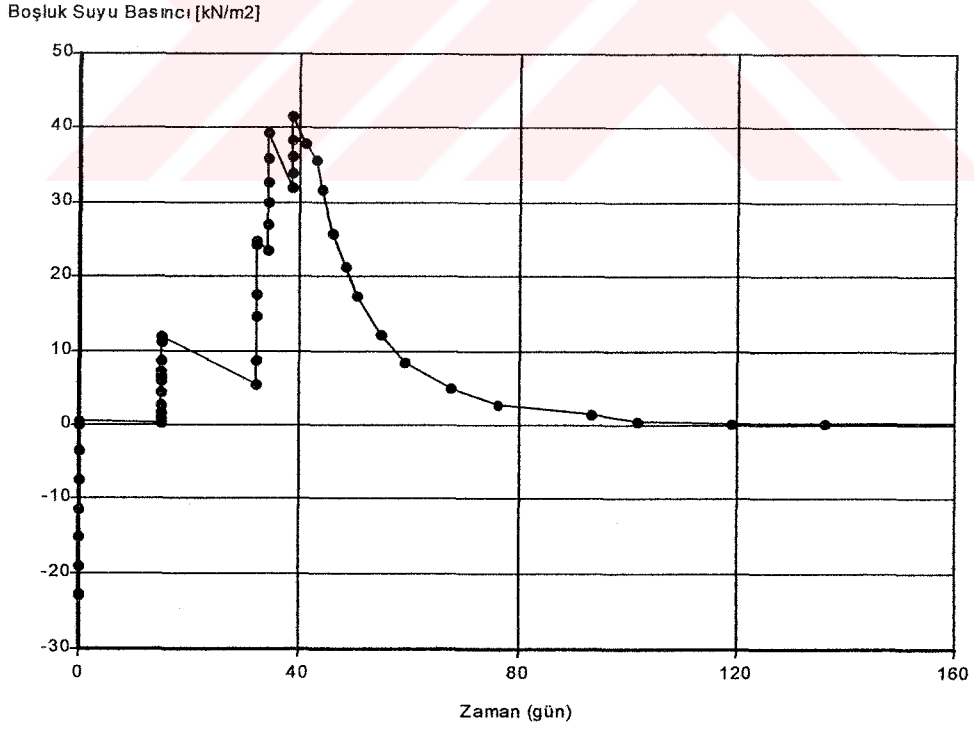
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	51,6	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	50,7	cm
Efektif Gerilme	532,84	kN/m ²
Toplam Gerilme	906,9	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,89	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,66	

Tablo 5.20 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
3,9	0,2	2,6	1,8	6,5	1,9	7,5	3,4	7,2	17,6



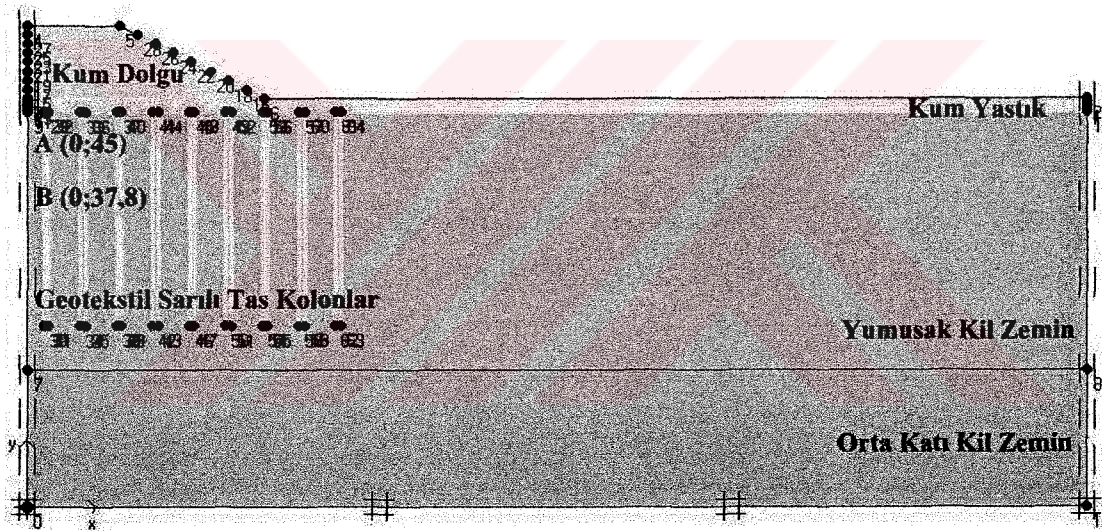
Şekil 5.59 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.60 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.3.6 $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.61’de verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 18 adet $\phi 60$ ’lık çakıl kolon 4 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/4 = 60.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

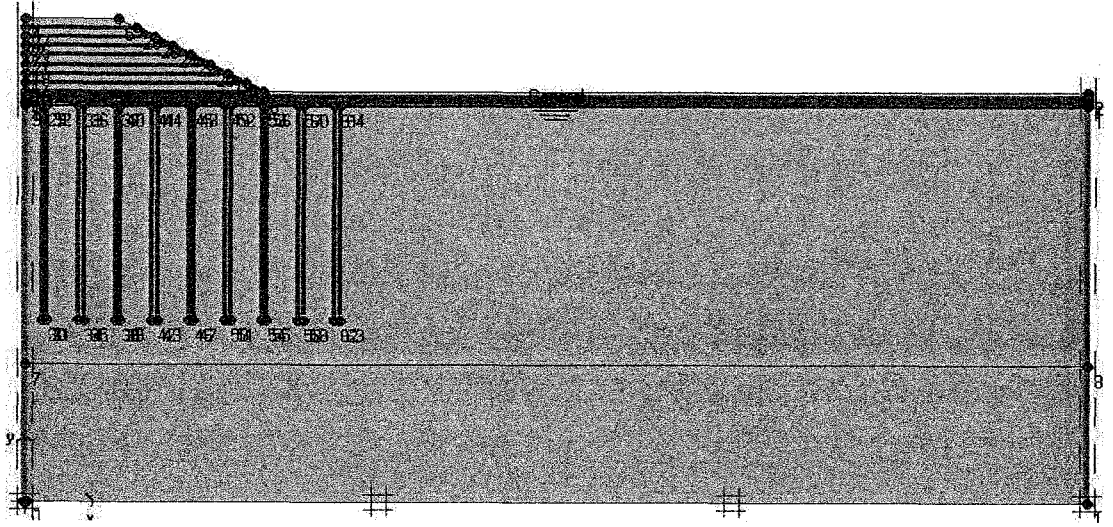


Şekil 5.61 Etrafı geotekstillikle sarılmış $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.62’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.63’te gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.62 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 9 adet $\phi 60$ 'lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

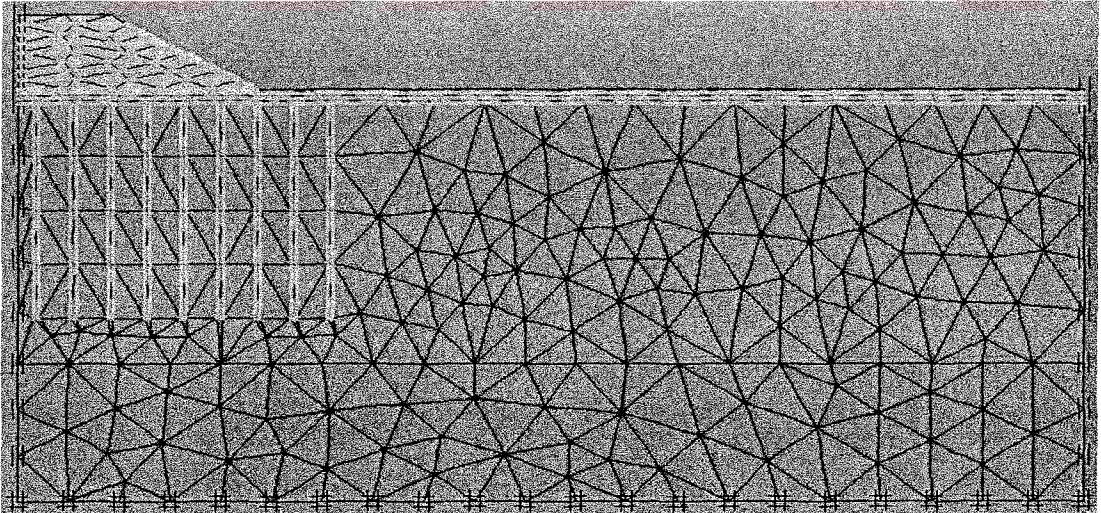
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.63 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.21’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.22’de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

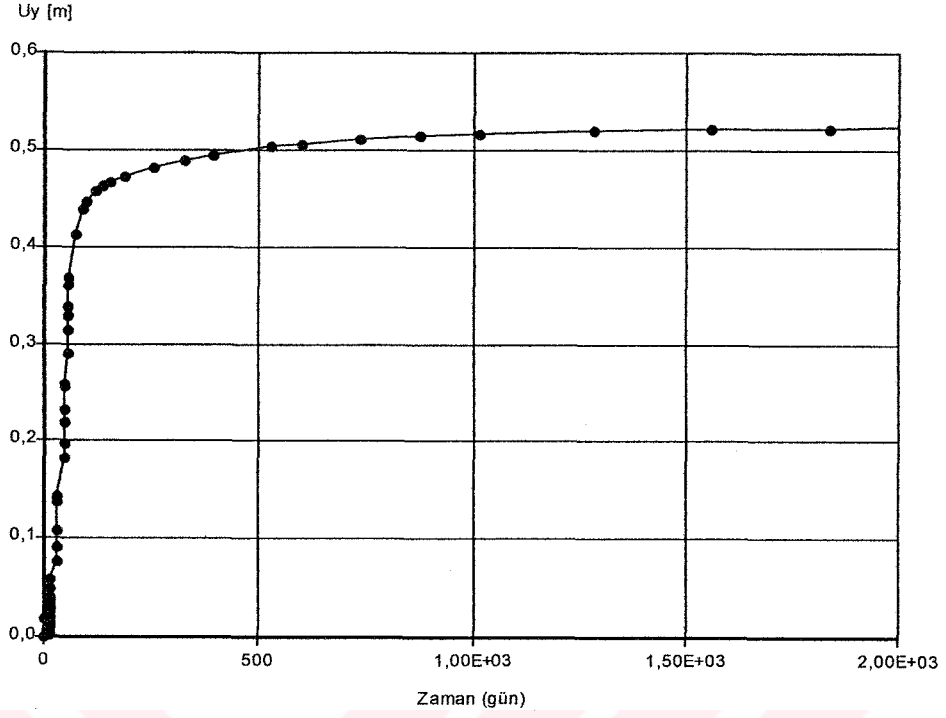
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.64’te; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.65’de verilmiştir.

Tablo 5.21 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

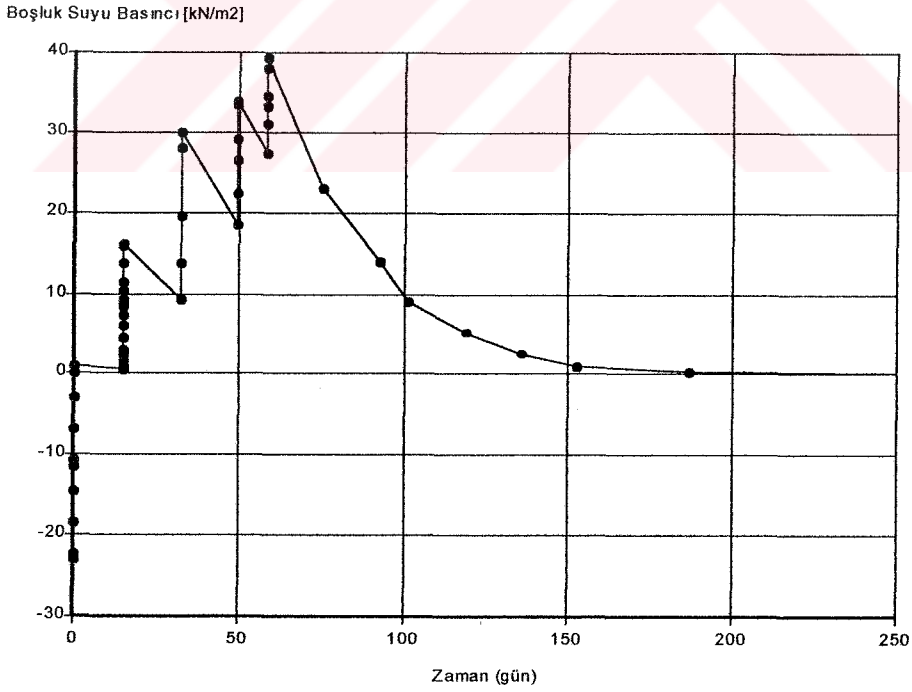
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	53,3	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	52,4	cm
Efektif Gerilme	546,93	kN/m ²
Toplam Gerilme	902,75	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,85	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,74	

Tablo 5.22 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
3,5	0,2	3,8	1,8	6,8	3,8	7,6	3,3	7,8	15,5



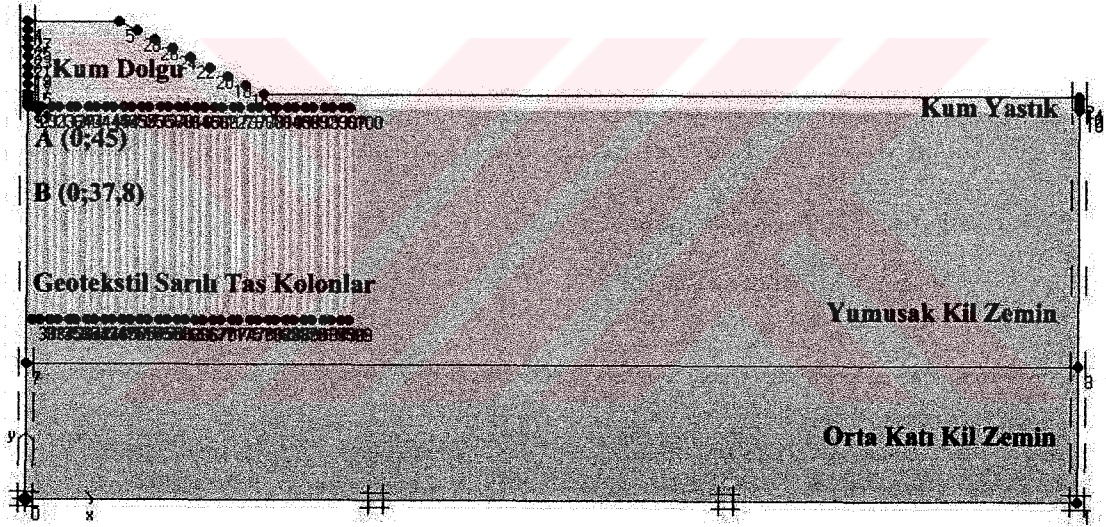
Şekil 5.64 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60'$ lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.65 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60'$ lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği.

5.3.7 $\phi 80$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.66’da verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 36 adet $\phi 80$ ’lik çakıl kolon 2 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/2 = 120.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

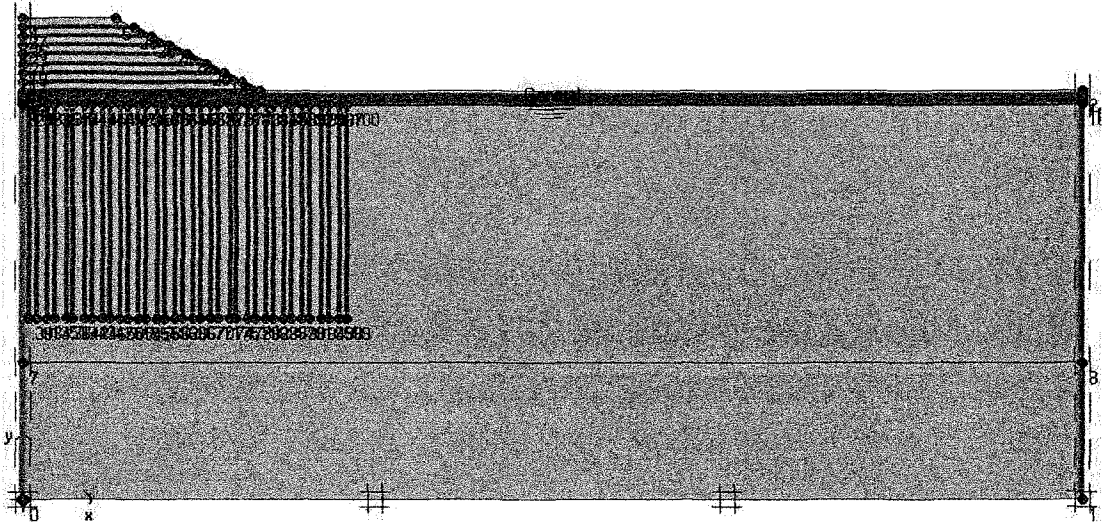


Şekil 5.66 Etrafı geotekstillerle sarılmış $\phi 80$ çakıl kolonların 2 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.67’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.68’de gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.67 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 18 adet $\phi 80$ 'lik çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

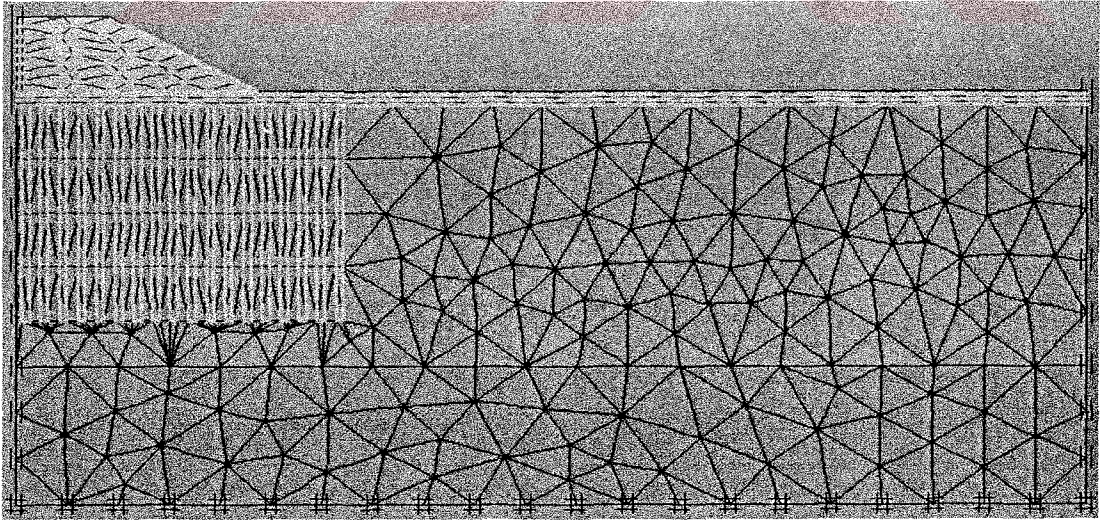
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.68 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.23'te verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.24'te verilmiştir. İlk yüklemde meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

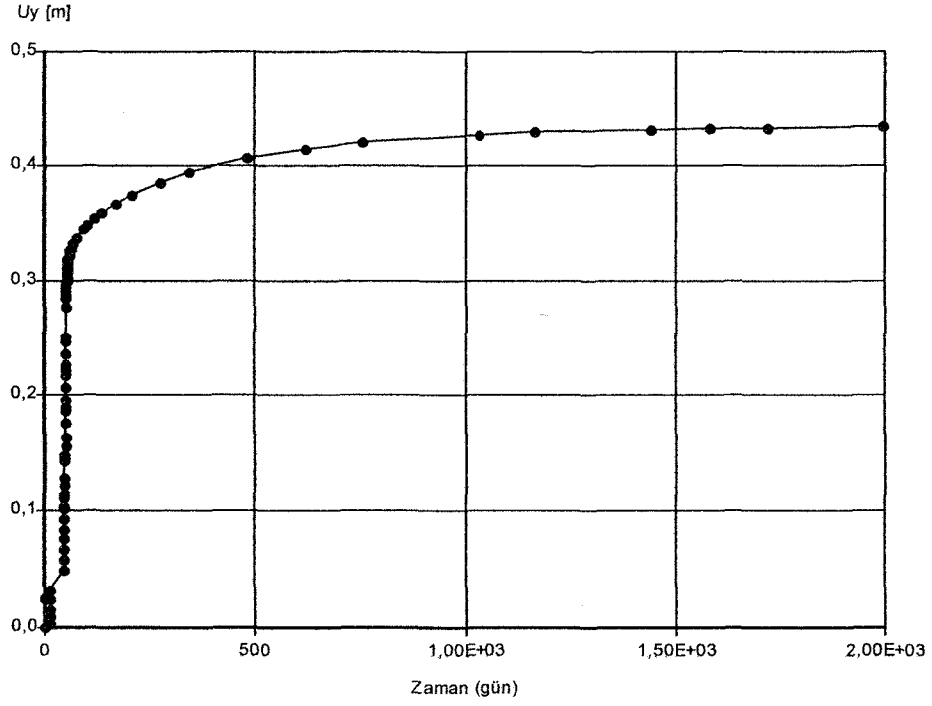
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.69'da; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.70'te verilmiştir.

Tablo 5.23 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

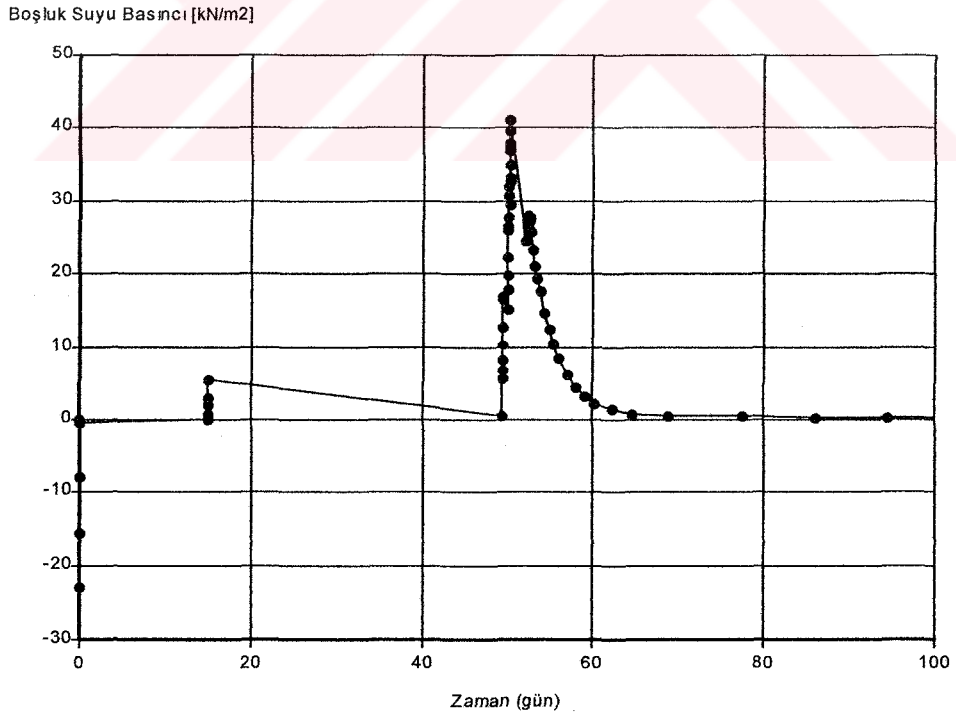
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	44,3	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	43,5	cm
Efektif Gerilme	501,62	kN/m ²
Toplam Gerilme	926,32	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,77	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,64	

Tablo 5.24 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
5	0,7	0,8	0,9	5,6	0,8	6,3	1,2	6,4	18,4



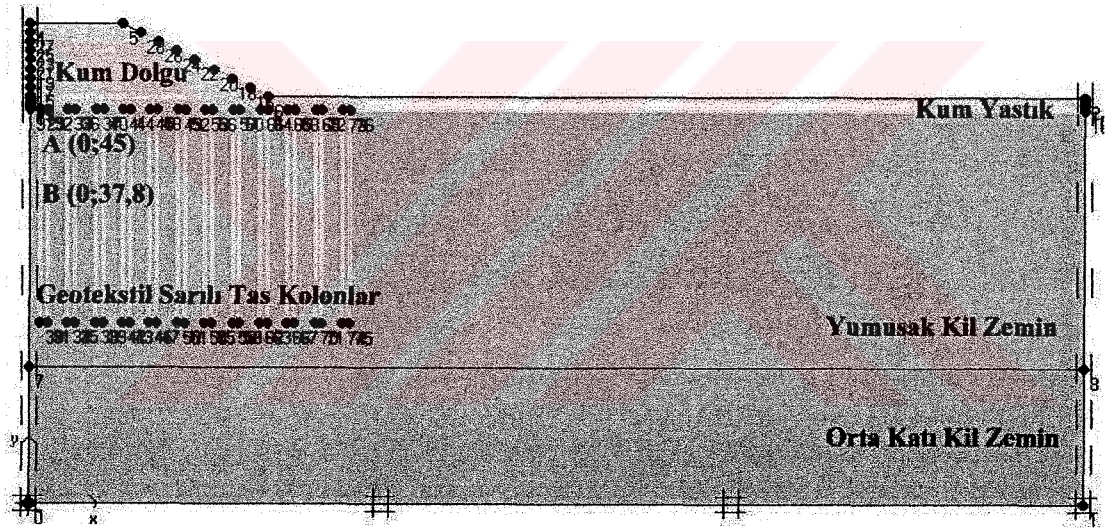
Şekil 5.69 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.70 2 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.3.8 $\phi 80$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.71’de verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 24 adet $\phi 80$ ’lik çakıl kolon 3 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/3 = 80.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

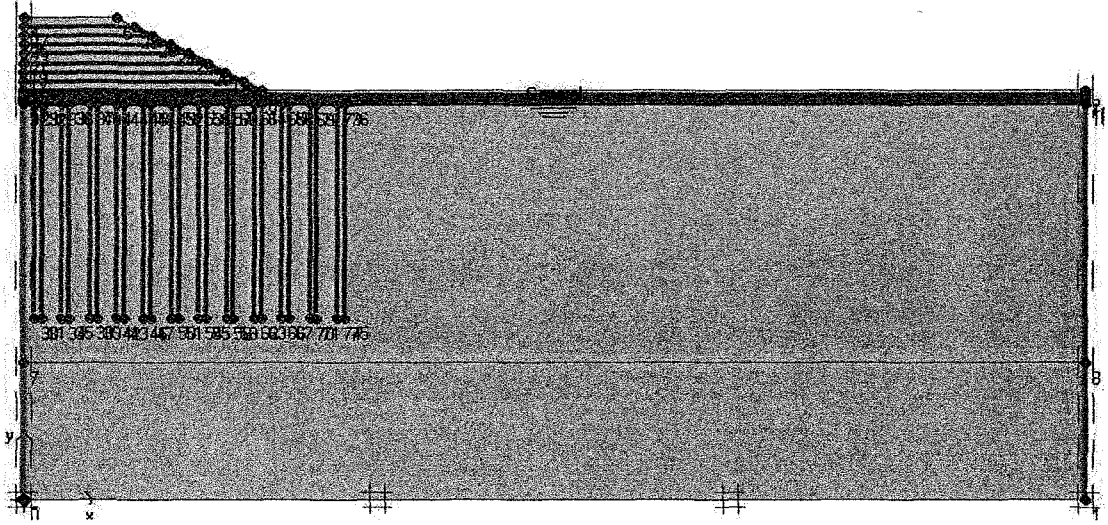


Şekil 5.71 Etrafı geotekstillere sarılmış $\phi 80$ çakıl kolonların 3 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.72’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.73’te gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.72 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 12 adet $\phi 80$ 'lik çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

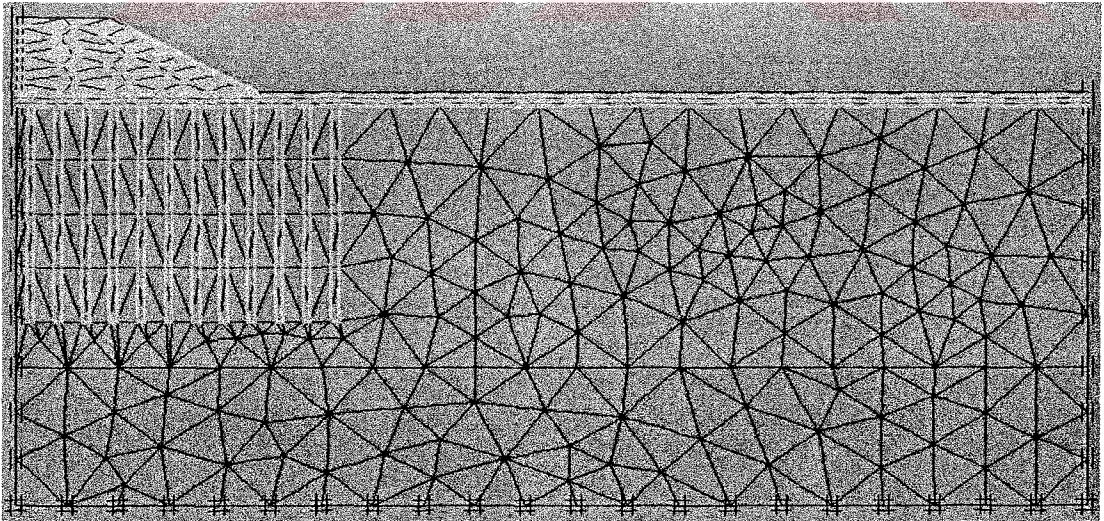
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.73 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.25’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.26’da verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

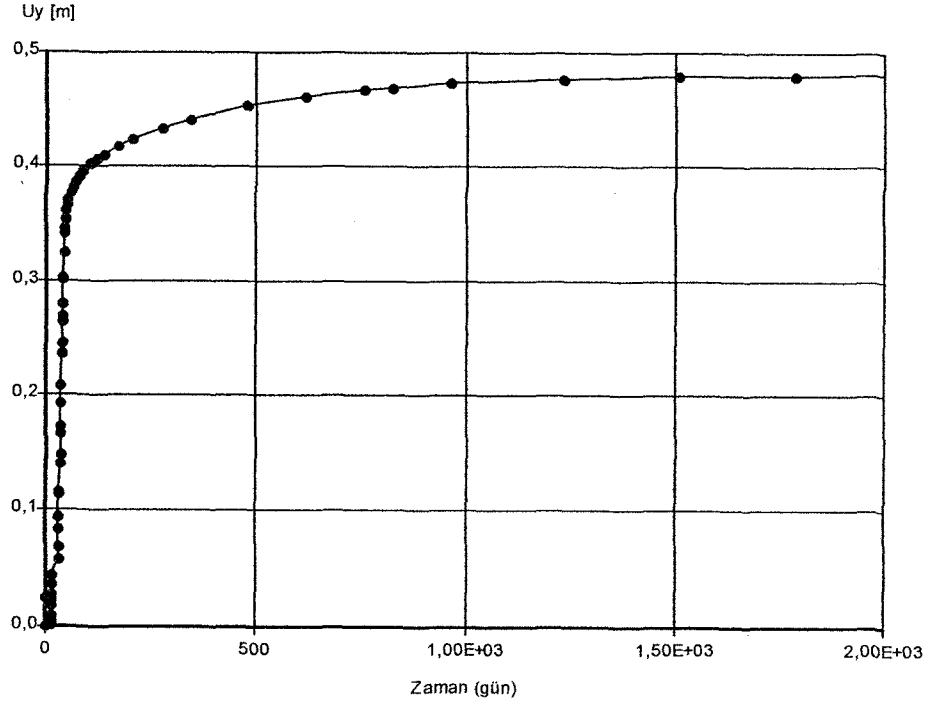
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.74’te; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.75’te verilmiştir.

Tablo 5.25 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

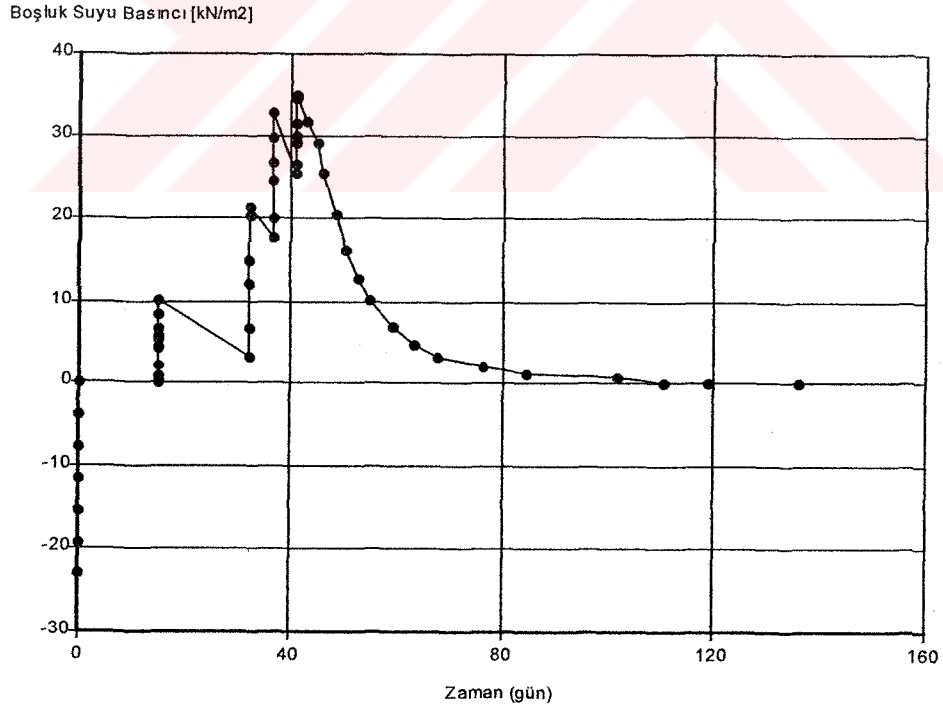
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	49	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	48,2	cm
Efektif Gerilme	517,1	kN/m ²
Toplam Gerilme	913,57	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,99	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,78	

Tablo 5.26 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
4,7	0,4	1,6	1,4	5,8	2,5	6,8	2,9	6,5	17,9



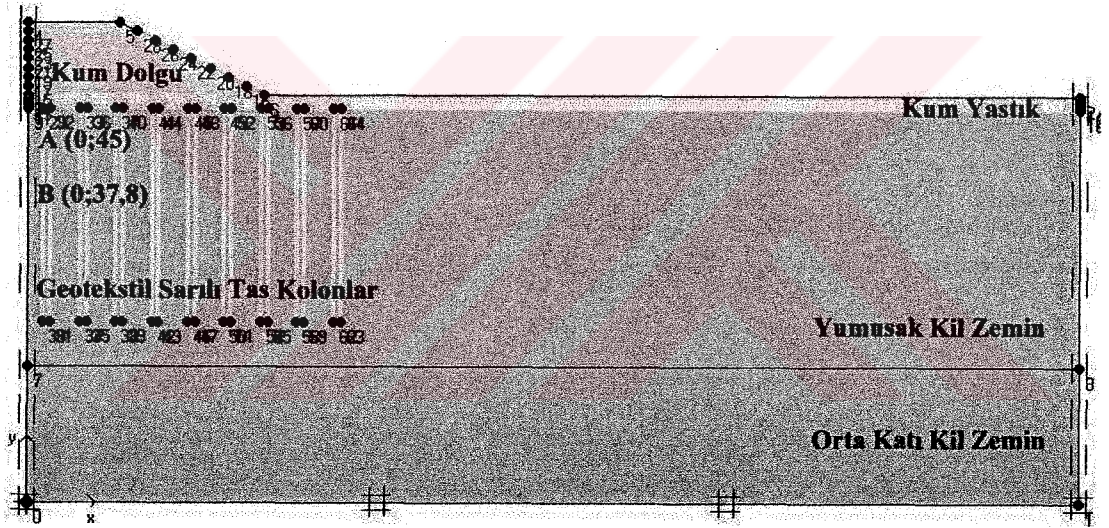
Şekil 5.74 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.75 3 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.3.9 $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.76’da verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 18 adet $\phi 80$ ’lik çakıl kolon 4 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastisite rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/4 = 60.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 8 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

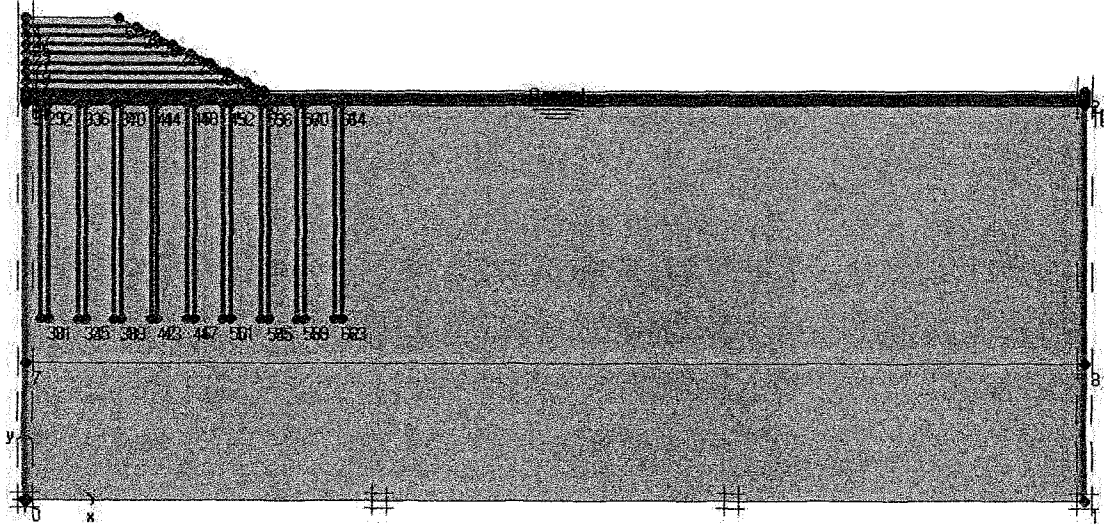


Şekil 5.76 Etrafı geotekstillerle sarılmış $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 19 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.77’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.78’de gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.77 8 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

2. Safha : 9 adet $\phi 80$ 'lik çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi

11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

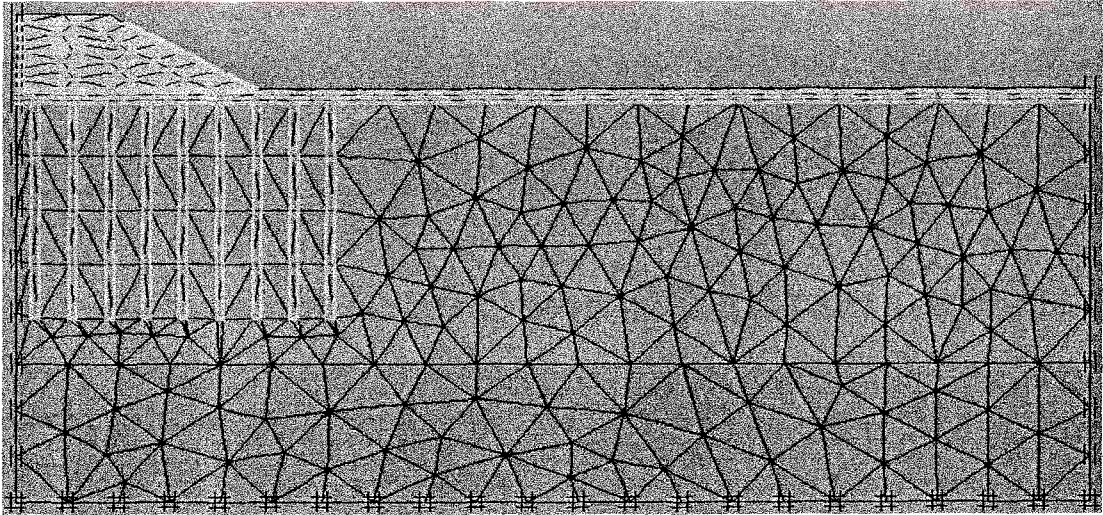
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

19. Safha : Güvenlik faktörü analizi

18. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.78 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.27’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.28’de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

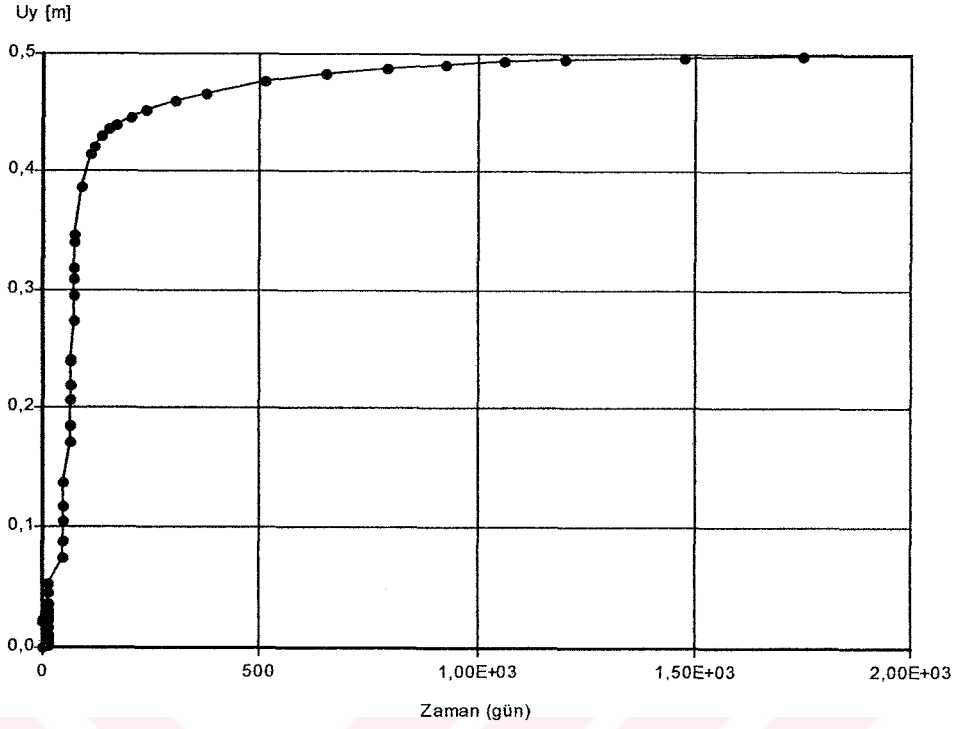
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.79’da; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.80’de verilmiştir.

Tablo 5.27 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

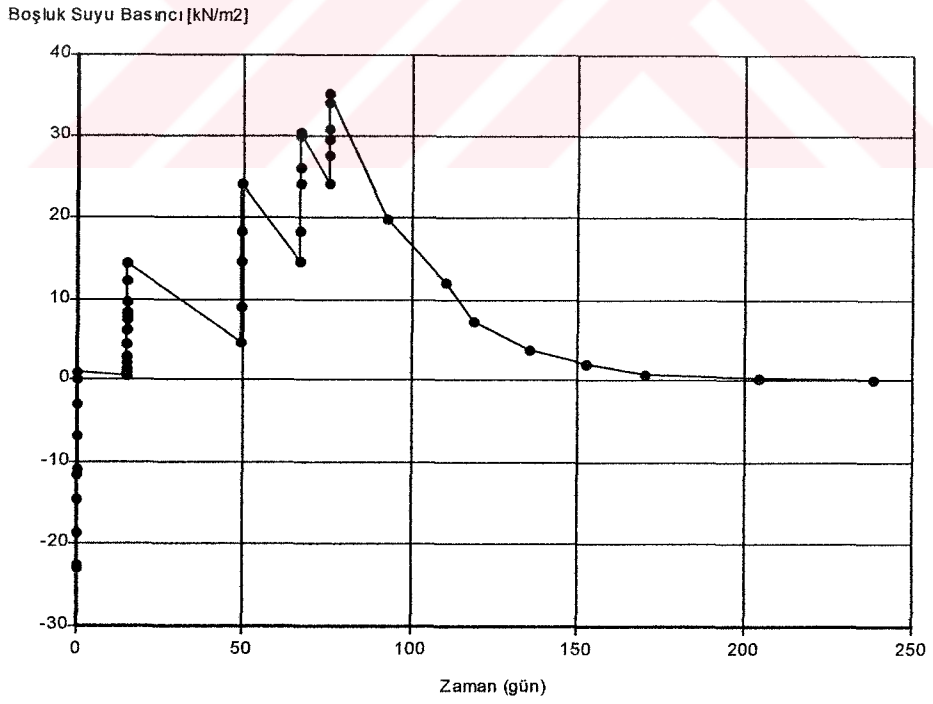
Maksimum Toplam Deformasyon (0;49,5) Kotu	50,7	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	49,9	cm
Efektif Gerilme	527,83	kN/m ²
Toplam Gerilme	908,03	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,76	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,80	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	3,82	

Tablo 5.28 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)	Si (cm)	Sc (cm)
4,3	0,3	2,9	2,1	6,3	3,4	7,1	3,1	7,3	15,3



Şekil 5.79 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.80 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.3.10 Farklı çaptaki çakıl kolonların farklı mesafelerde yerleştirildiği analizlerin karşılaştırılması

$\phi 40$, $\phi 60$, $\phi 80$ olmak üzere üç değişik çapta çakıl kolonun; merkezden merkeze 200 cm, 300 cm, 400 cm olmak üzere üç farklı aralıkta yerleştirildiği analizlerde, üzerine kum dolgu uygulanacak olan yumuşak kil zeminin taşıma kapasitesi artırılarak dolguda meydana gelecek deformasyonları minimuma indirmeye çalışılmıştır. Tablo 5.29, Tablo 5.30 ve Tablo 5.31’de analizlerde elde edilen değerler bir arada gösterilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere çakıl kolon sayesinde zeminde meydana gelen oturma miktarı, normal koşullarda elde edilen değerlere nazaran, yaklaşık olarak yarı yarı azalma göstermiştir. Ayrıca Bölüm 5.8’de verilen konsolidasyon analizinden elde edilen sonuçlara göre normal koşullar altında gerçekleştirilen yükleme sonucunda konsolidasyon süresi 29 yılda tamamlanırken; yumuşak kil zeminde drenajı sağlayan çakıl kolon uygulamaları sayesinde hem düşey hem de yatay yönde konsolidasyon meydana gelmekte ve konsolidasyon 45 gün gibi kısa bir sürede tamamlanmaktadır.

Şekil 5.81 ve Şekil 5.82’de verilen grafiklerde 2 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolonun yerdeğiştirme – zaman ve boşluk suyu basıncı – zaman grafiklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

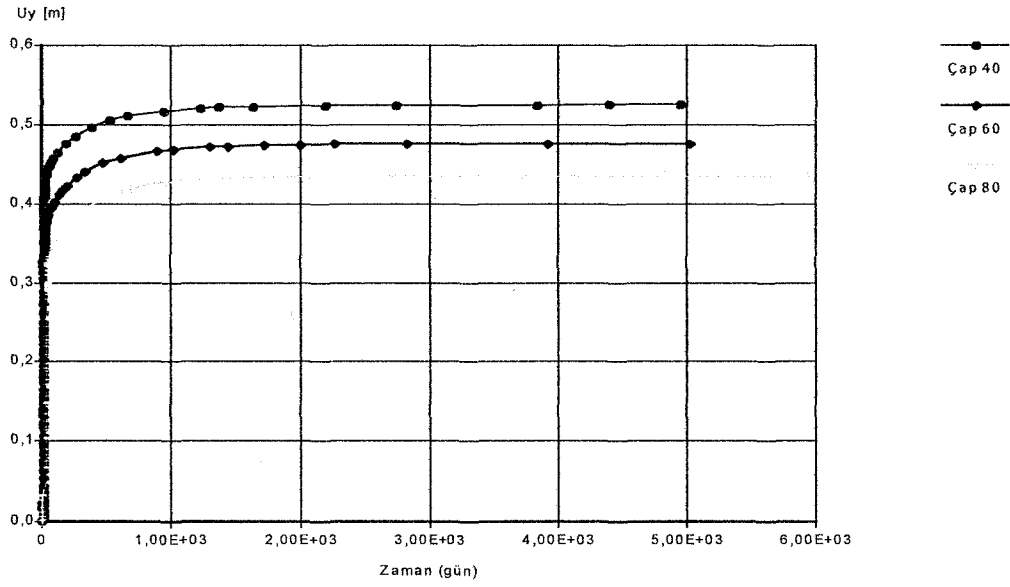
Şekil 5.83 ve Şekil 5.84’te verilen grafiklerde 3 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolonun yerdeğiştirme – zaman ve boşluk suyu basıncı – zaman grafiklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Şekil 5.85 ve Şekil 5.86’da verilen grafiklerde 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolonun yerdeğiştirme – zaman ve boşluk suyu basıncı – zaman grafiklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

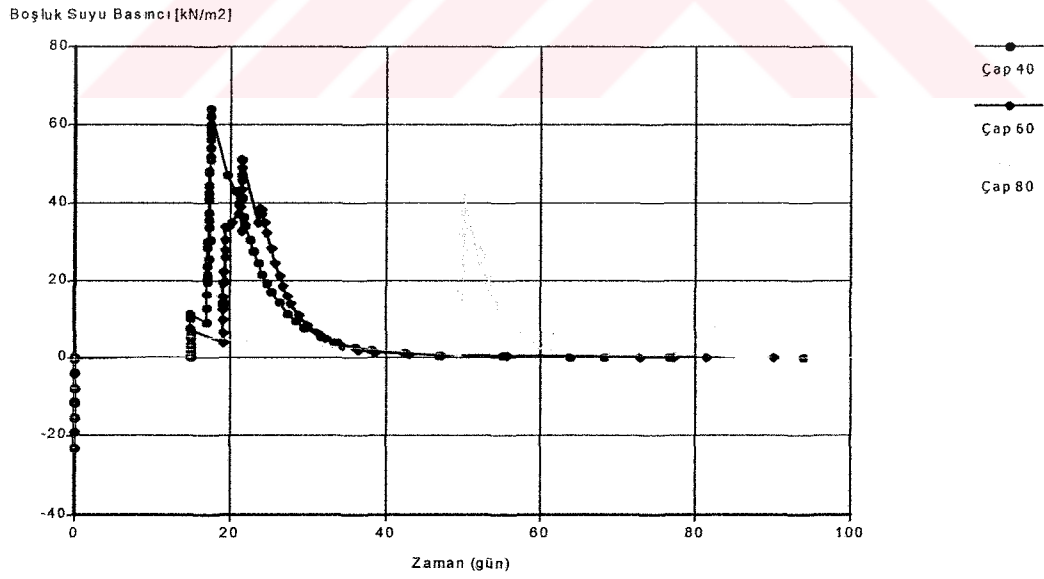
Grafiklerden görüldüğü üzere yapılan analizler sonucunda yakın değerler elde edilmektedir. Her ne kadar en düşük oturma miktarı 2 m arayla yerleştirilen $\phi 80$ ‘lik çakıl kolonda elde edilse de, oturma miktarları arasında farklar gözardı edilebilecek kadar az olduğundan, maliyet ve işçilik bakımından incelendiğinde 4 m arayla yerleştirilen $\phi 40$ ’lık çakıl kolonlar optimum sonucu vermektedir.

Tablo 5.29 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler

	2 m arayla $\phi 40$ çakıl kolon	2 m arayla $\phi 60$ çakıl kolon	2 m arayla $\phi 80$ çakıl kolon
Maksimum Toplam Deformasyon (cm)	53,6	48,5	44,3
Dolgu Merkezinde Deformasyon (cm)	52,4	47,6	43,5
Efektif Gerilme (kN/m ²)	532,05	520,84	501,67
Toplam Gerilme (kN/m ²)	904,76	915,79	926,41
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	433,76	433,76	433,76
Artık Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	0,93	0,91	627,63
Güvenlik Faktörü	3,401	3,501	3,64



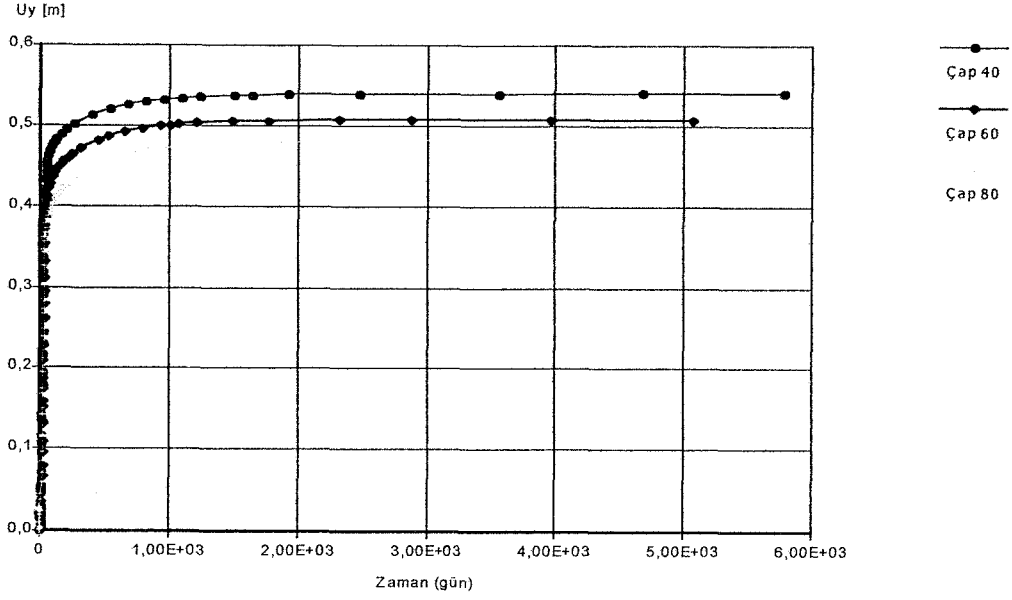
Şekil 5.81 2 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;45) noktası deformasyon değerlerinin karşılaştırılması



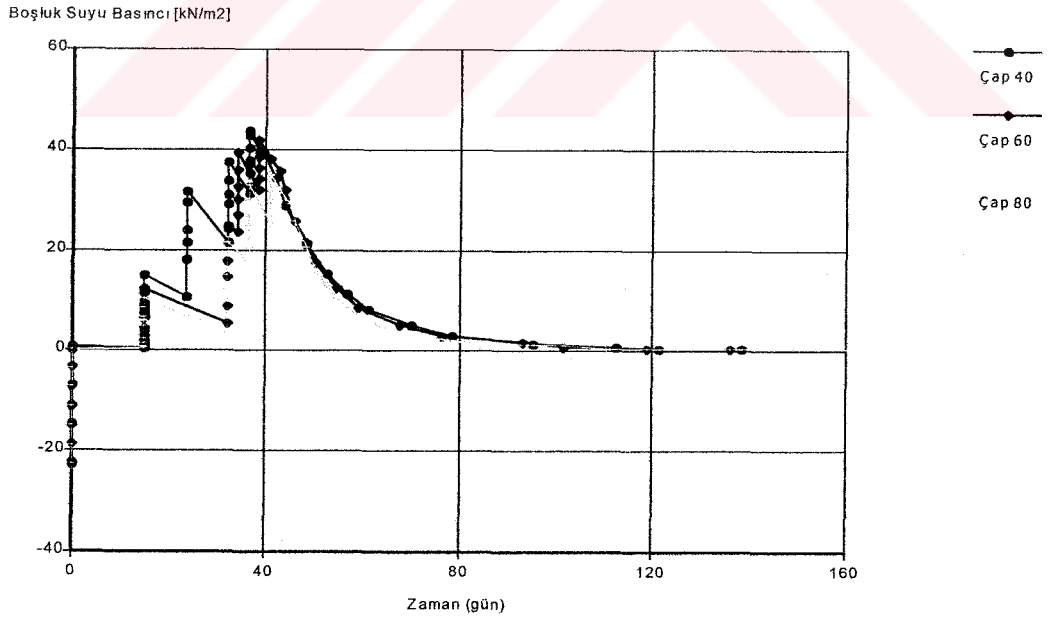
Şekil 5.82 2 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 5.30 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler

	3 m arayla φ40 çakıl kolon	3 m arayla φ60 çakıl kolon	3 m arayla φ80 çakıl kolon
Maksimum Toplam Deformasyon (cm)	54,9	51,6	49
Dolgu Merkezinde Deformasyon (cm)	53,9	50,7	48,2
Efektif Gerilme (kN/m ²)	544,47	532,84	517,1
Toplam Gerilme (kN/m ²)	899,99	906,9	913,57
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	433,76	433,76	433,76
Artık Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	0,67	0,89	0,99
Güvenlik Faktörü	3,65	3,66	3,78



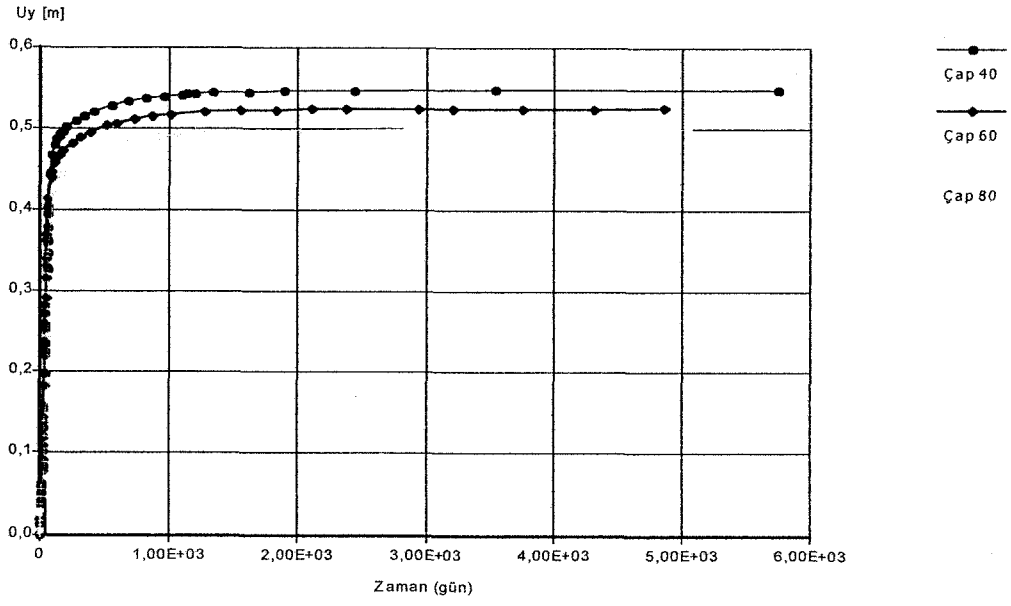
Şekil 5.83 3 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;45) noktası deformasyon değerlerinin karşılaştırılması



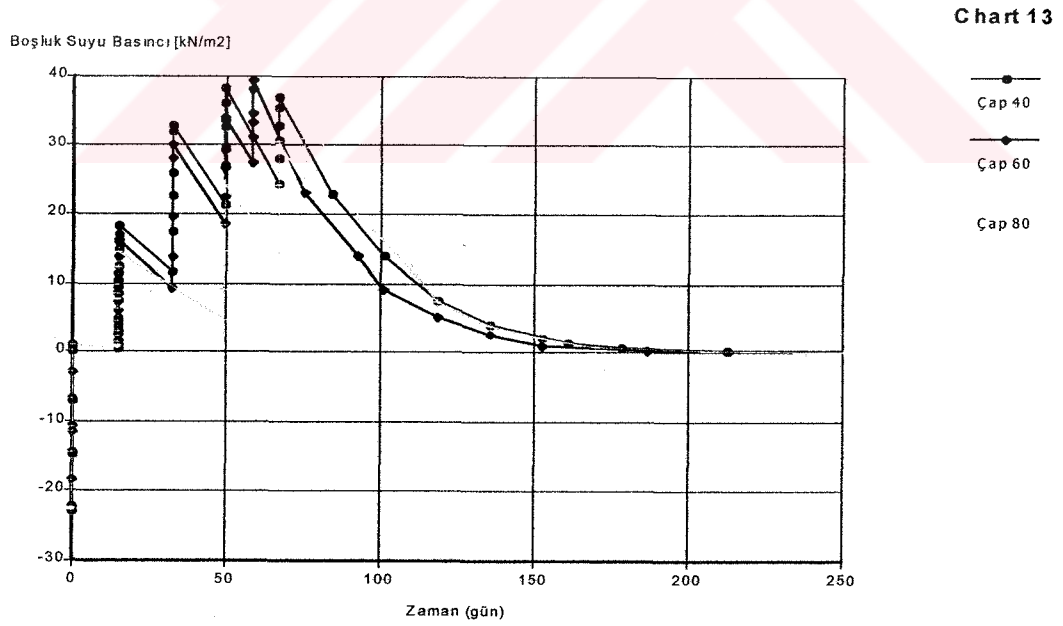
Şekil 5.84 3 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı değerlerinin karşılaştırılması

Tablo 5.31 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler

	4 m arayla φ40 çakıl kolon	4 m arayla φ60 çakıl kolon	4 m arayla φ80 çakıl kolon
Maksimum Toplam Deformasyon (cm)	55,5	53,3	50,7
Dolgu Merkezinde Deformasyon (cm)	54,7	52,4	49,9
Efektif Gerilme (kN/m ²)	547,95	546,93	527,83
Toplam Gerilme (kN/m ²)	897,46	902,75	908,03
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	433,76	433,76	433,76
Artık Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	0,78	0,85	0,81
Güvenlik Faktörü	3,84	3,74	3,82



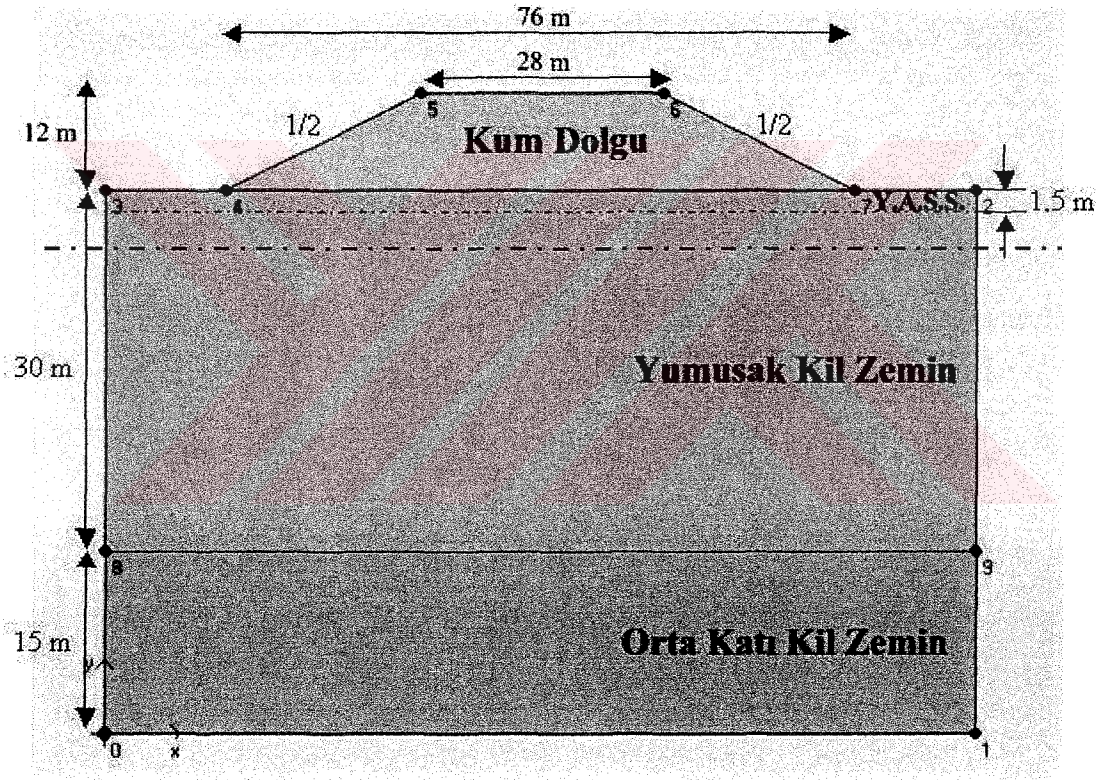
Şekil 5.85 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;45) noktası deformasyon değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.86 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı değerlerinin karşılaştırılması

5.4 Yumuşak Kil Zemin Üzerine Oturan 12 m'lik Kum Dolgunun Taşıma Gücü Güvenliğinin Plaxis Programı İle İncelenmesi

Bu bölümde, Şekil 5.87'de görüldüğü gibi orta katı kil ve yumuşak kil katmanlarından oluşan zemin üzerine yüklenen kum dolgunun yükleme sonucunda göstereceği davranış biçimlerinin ve açığa çıkabilecek problemlerin Plaxis sonlu elemanlar programı yardımı ile incelenmesi ve çözümlenmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.87'de görüldüğü üzere 28 m genişlikte ve 12 m yükseklikteki kum dolgu; geçirimsiz kaya zemin üzerinde yeralan 15 m'lik orta katı kil ve onun üzerinde yeralan 30 m'lik yumuşak kil zeminden oluşan 45 m'lik zemin tabakası üzerine oturtulmaktadır. Yeraltı su seviyesi (0;43,5) kotunda bulunmaktadır.



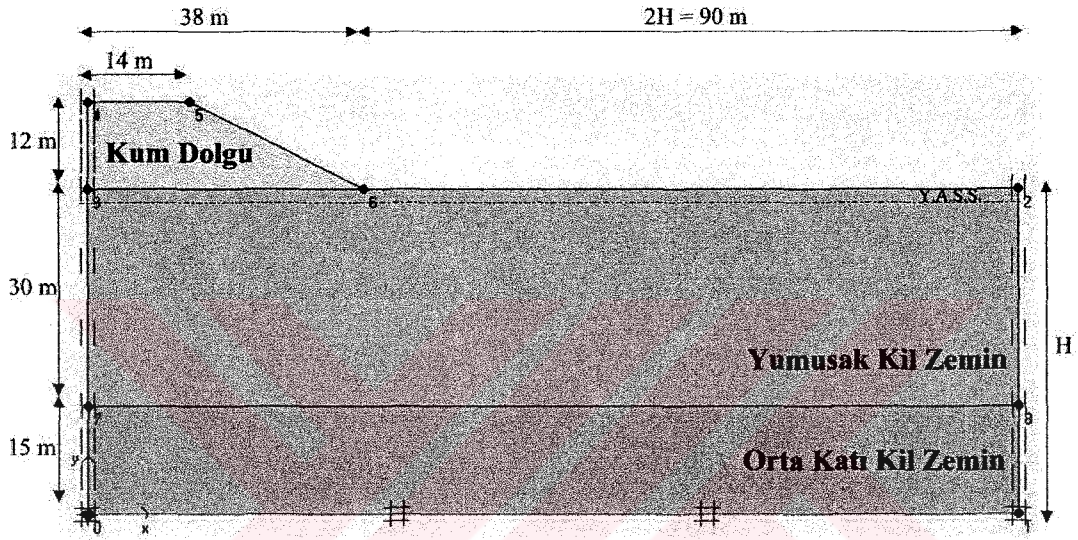
Şekil 5.87 12 m'lik kum dolgu ve zemin profili.

Tablo 5.32'de kil zemin, kum dolgu ve analizlerde kullanılacak kum ve çakıl malzemelerin değerleri verilmiştir. Görüldüğü gibi malzeme değerleri 8 m'lik kum dolguda kullanılanlarla aynı değerdedir.

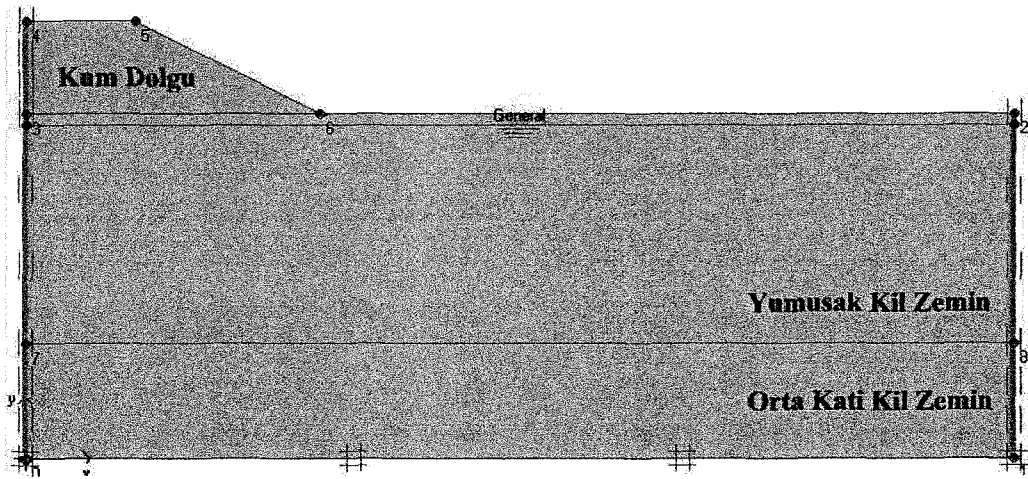
Tablo 5.32 Uygulamada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Parametreleri

Parametreler	Sembol	Kil Zemin I	Kil Zemin II	Kum Dolgu	Kum Yastık	Çakıl Kolon	Birim
Malzeme Modeli	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb b	Linear Elastik	Mohr Coulomb b	-
Davranış Biçimi	-	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	γ_{dry}	16	16	16	16	20	kN/m ³
Suya Doymun Birim Hacim Ağırlığı	γ_{wet}	18,5	18,5	20	20	23	kN/m ³
Yatay Permeabilite	k_x	10^{-4}	10^{-4}	1	1	1	m/gün
Düşey Permeabilite	k_y	10^{-4}	10^{-4}	1	1	1	m/gün
Young Modülü	E_{ref}	5.000	10.000	50.000	30.000	240.000	kN/m ²
Poisson Oranı	ν	0,33	0,33	0,3	0,3	0,3	-
Kohezyon	c_{ref}	3	10	1	1	1	kN/m ²
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ	25	28	30	30	36	(°)
Genleşme Açısı	ψ	0	0	0	0	6	(°)
Hacimsel Sıkışma Katsayısı	m_v	2×10^{-4}	1×10^{-4}	2×10^{-5}	3×10^{-5}	4×10^{-6}	m ² /kN

Uygulamada kullanılan zemin profili simetrik olduğundan dolayı analizler sırasında zemin profilinin yarısı modellenmiştir. Ayrıca Şekil 5.88’de de görüldüğü üzere modelleme sırasında, tüm analizlerde, $2H$ genişlik alınmaktadır. Bu genişlik alınmadığı takdirde gerilmelerde istenmeyen artışlar meydana gelmektedir. Şekil 5.89’da görülen modellemelerde gerek simetri eksenini gerekse diğer kenar yanal hareketlere ve zemin suyunun serbest akımına karşı sınırlandırılmış; buna karşılık düşey yönde harekete izin verilmiştir.



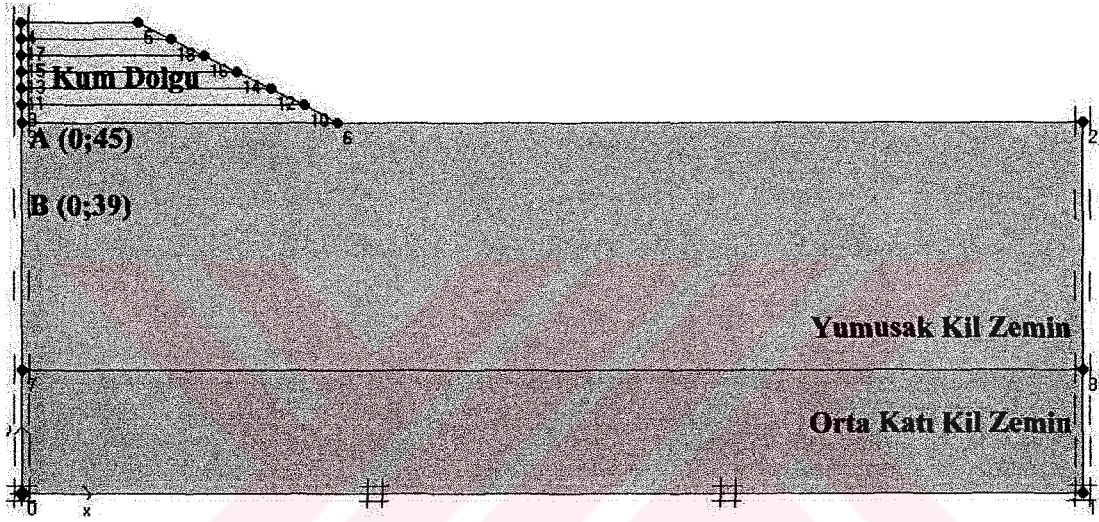
Şekil 5.88 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin Plaxis programı ile modellenmesi



Şekil 5.89 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

5.5 Donatısız Kum Dolgunun Kil Zemine Oturtulması

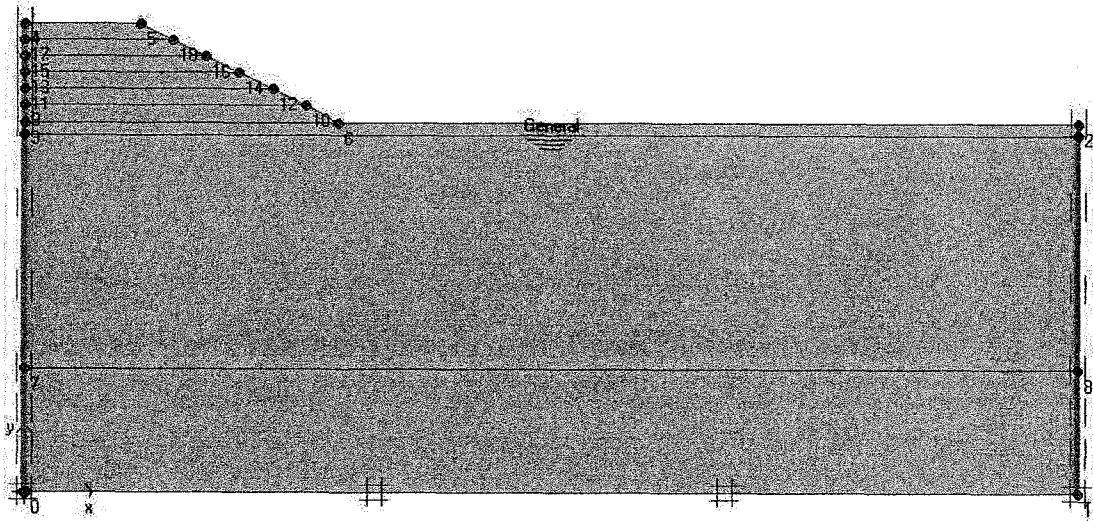
İlk aşamada kum dolgu, Şekil 5.90'da görüldüğü gibi, kil zemin üzerine her biri 2 m'lik dört yükleme ile yüklenerek normal koşullar altında herhangi bir bir güvenlik artırıcı müdahale olmaksızın zeminde ve dolguda meydana gelecek değişimler incelenmiştir. Plaxis'le gerçekleştirilen yükleme analizi 13 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.91'de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.92'de gösterilmiştir.



Şekil 5.90 12 m'lik kum dolgunun kil zemin üzerine oturtulması

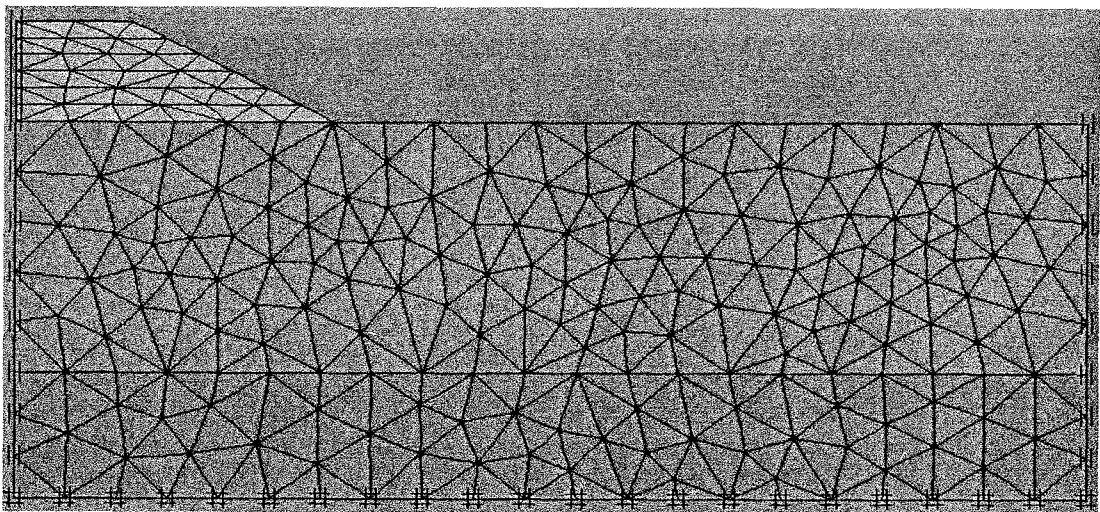
Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : Kum dolgunun 2m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
2. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
3. Safha : Kum dolgunun 2m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
5. Safha : Kum dolgunun 2m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Kum dolgunun 2m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.91 12 m’lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

8. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
9. Safha : Kum dolgunun 2m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi
10. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
11. Safha : Kum dolgunun 2m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi
13. Safha : Güvenlik faktörü analizi
12. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



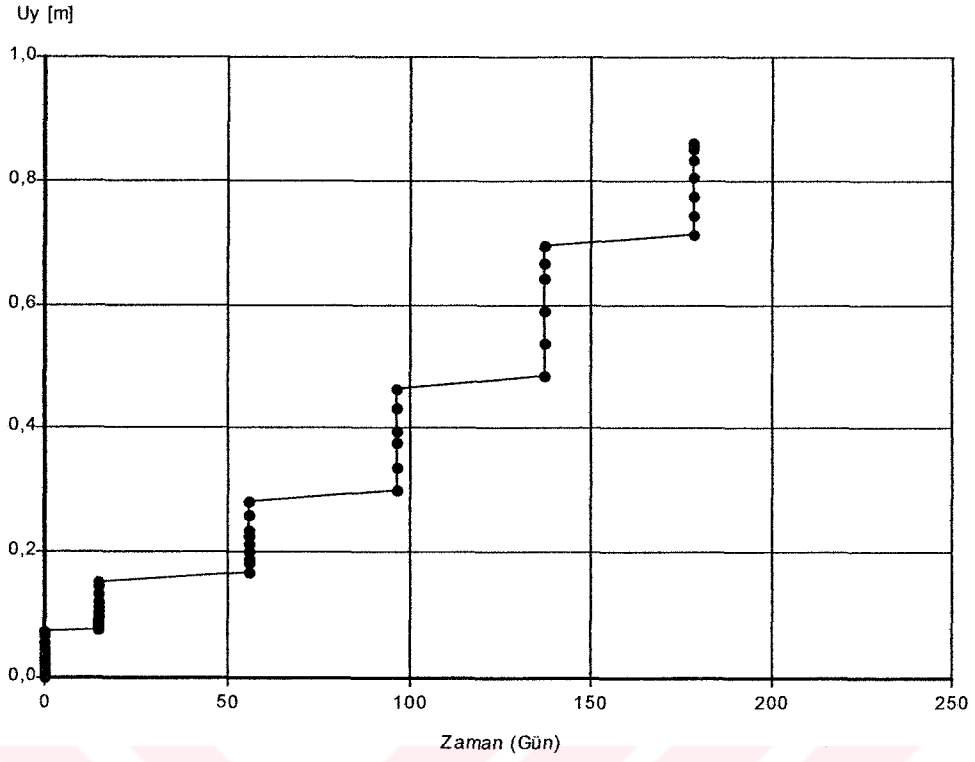
Şekil 5.92 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Analizin 11. safhasında, dolgunun 2 m'lik son tabakası yüklendiğinde zeminin taşıma kapasitesi aşılmış ve dolgu taşınamayarak zeminde çökme meydana gelmiştir. Zemin göçtüğü anda elde edilen değerler Tablo 5.33'te verilmiştir. Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.93'te; simetri eksenindeki (0;39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.94'te verilmiştir.

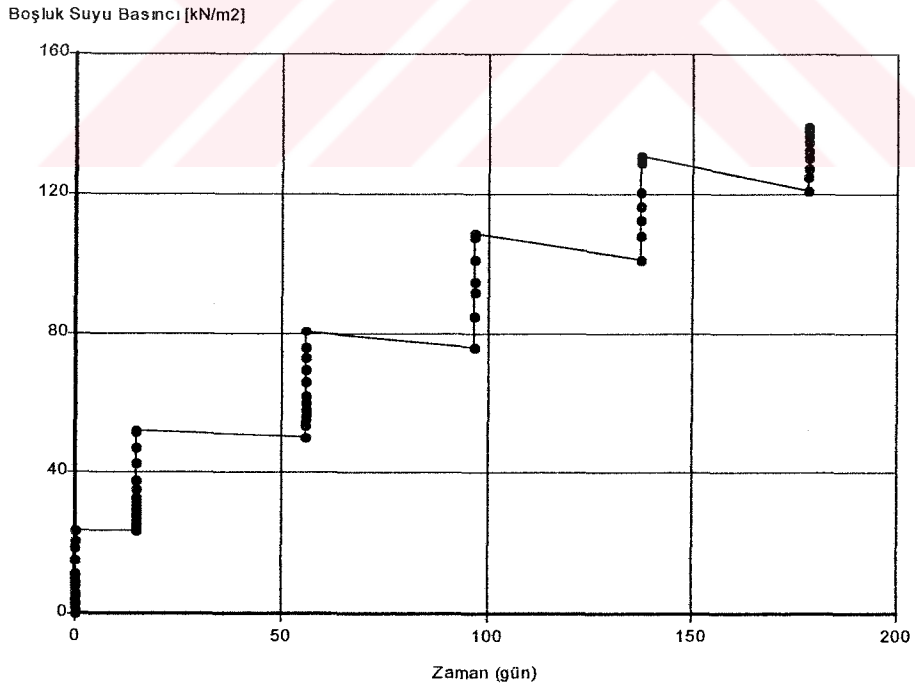
Yumuşak kil zemin, 12 m'lik kum dolguyu taşıyamadığından zeminde iyileştirmeye gitmek zorunlu olmuştur. Bu nedenle diğer analizlerde zeminde meydana gelen deformasyonu azaltmak ve dolgunun güvenli bir şekilde taşınmasını sağlamak amacıyla çeşitli uygulamalar analiz edilecektir.

Tablo 5.33 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

Maksimum Toplam Deformasyon (0;54) Kotu	101	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45)Kotu	86,1	cm
Efektif Gerilme	478,46	kN/m ²
Toplam Gerilme	918,77	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	442,24	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	146,68	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	-	



Şekil 5.93 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgunun simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.94 Kil zemin üzerine yüklenen donatısız kum dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;39) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.6 Kum Dolguda Geotekstil Uygulamaları

Normal koşullarda 12 m'lik kum dolgu, yumuşak kil zemin üzerine yüklendiğinde kil zemin dolguyu taşıyamamakta ve zeminde göçme meydana gelmektedir. Dolgunun kil zemin üzerine güvenli bir şekilde yüklenebilmesi için kil zeminin taşıma kapasitesini arttırmak, dolgudan gelen yükün etkisini azaltmak başlıca yapılması gerekenler arasındadır. Bu nedenle; kil zeminin dolguyu güvenli bir şekilde taşıyabilmesi amacıyla gerek kum dolguda gerekse yumuşak kil zeminde geotekstil uygulamaları gerçekleştirilecektir. Plaxis programı sayesinde farklı modellemeler ile analizler yapılarak sonuçları karşılaştırılacak; bu karşılaştırma sonucunda da uygulamada kullanılabilecek en uygun modelleme belirlenecektir.

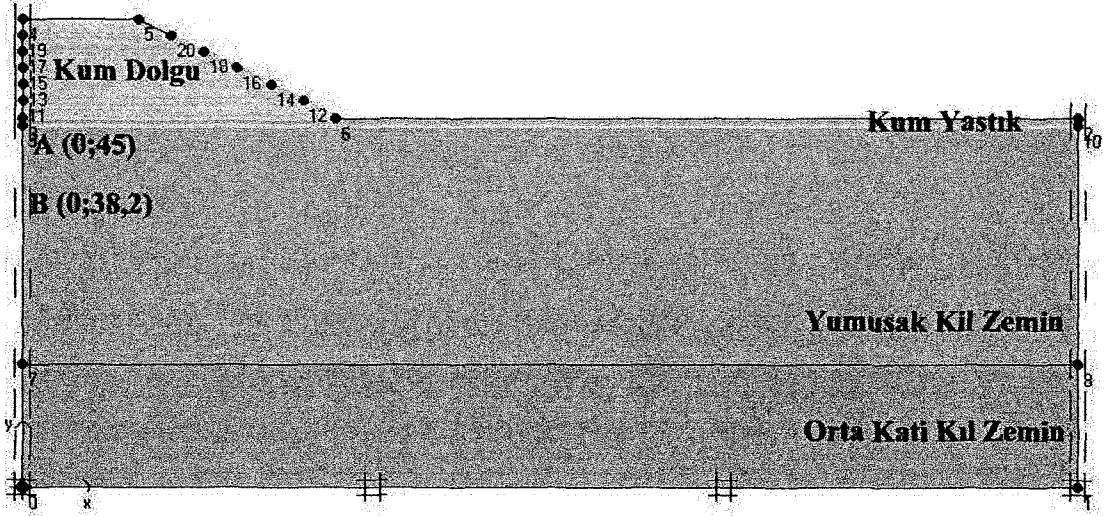
5.6.1 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması

Şekil 5.95'te verilen zemin profilinde, kum dolgu, kil zemin üzerine kademeli olarak yüklenirken, her 2 m'lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 6 sıra geotekstil donatı serilmiştir. Kum dolgunun geotekstil ile donatılandırılması yumuşak kil zeminde taşıma gücünün aşılmasını engellediği gibi dolgu şevinin de stabilitesine katkıda bulunmaktadır. Geotekstil donatılar yumuşak zeminler üzerine serildiklerinde yeterince verimli olamamaktadırlar. Gerekli verimin alınabilmesi ve dolgu topuk noktasında meydana gelebilecek lokal deformasyonları azaltmak amacıyla yumuşak kil zeminin 1 m'lik kısmı kazılarak yerine taşıma gücü yüksek kum yastık yerleştirilmiştir. Kum dolgu, bu kum yastık üzerine inşa edilecektir. Kum yastığının stabilizasyonunu sağlamak amacı ile kil zemin ile arasına tek sıra geotekstil yerleştirilmiştir.

Plaxis'le gerçekleştirilen analiz 15 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her bir yükleme kademesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.96'da; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.97'de gösterilmiştir.

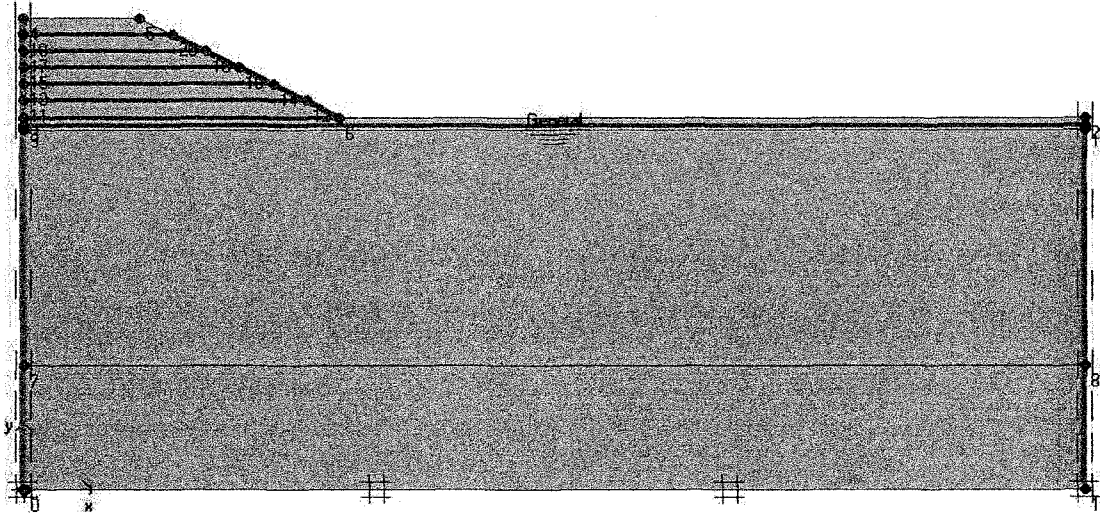
Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1 m'lik yumuşak kil zeminin kazılması



Şekil 5.95 2 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m'lik kum yastık üzerine oturtulması

2. Safha : Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine 1 m'lik kum yastığın serilmesi
3. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
5. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
8. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
9. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
10. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi



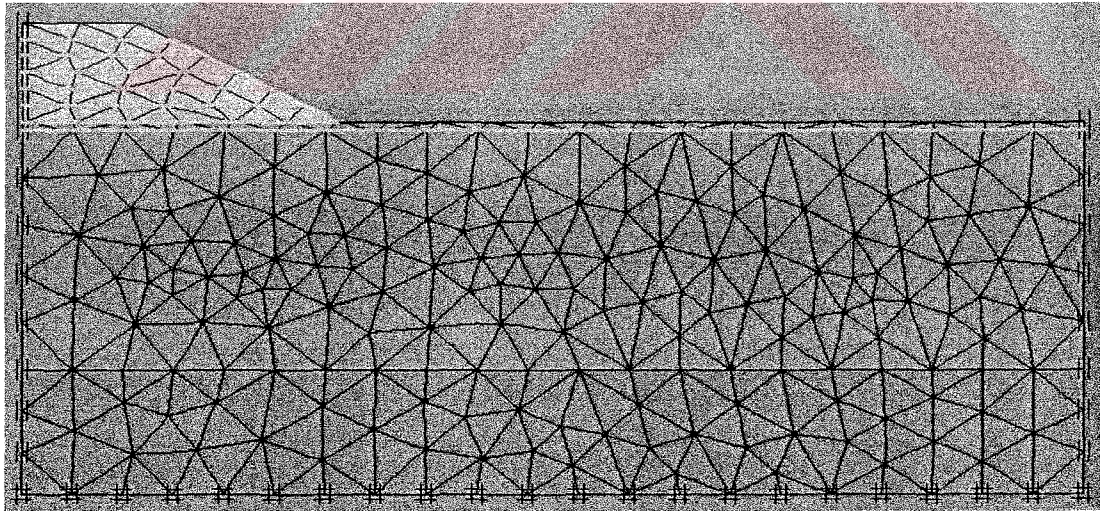
Şekil 5.96 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 2 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

15. Safha : Güvenlik faktörü analizi

14. Safha : Minimum boşluk basıncının 1 kN/m^2 'ye konsolide olması



Şekil 5.97 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.34'te verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları

Tablo 5.35'te verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

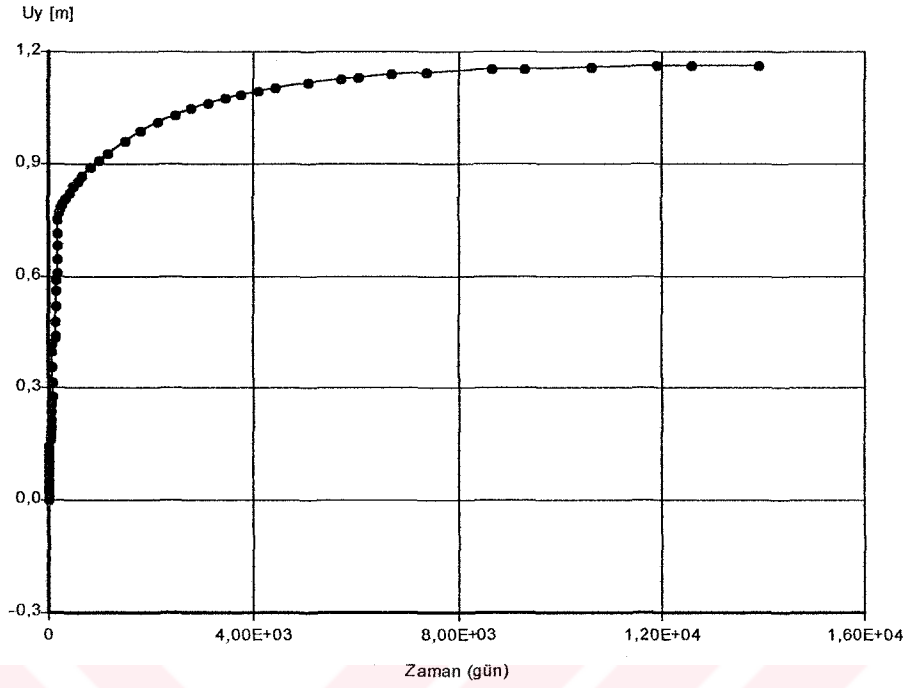
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.98'de; simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.99'da verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi dolgu yükünden dolayı kil zeminde meydana gelen maksimum toplam deformasyonda azalma meydana gelmiştir.

Tablo 5.34 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

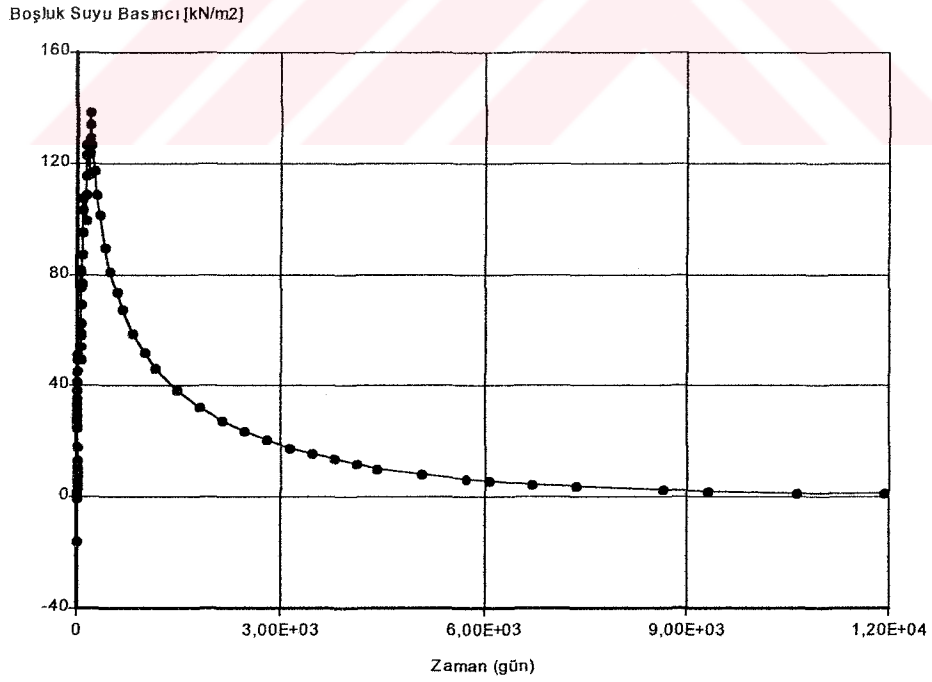
Maksimum Toplam Deformasyon (0;54)Kotu	124	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	116,2	cm
Efektif Gerilme	492,64	kN/m ²
Toplam Gerilme	925	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,65	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,83	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	2,087	

Tablo 5.35 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme		Altıncı Yükleme	
Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
6,6	0,5	7,3	1,5	9,8	1,7	14,3	1,9	15,3	1,9	14,3	41,2



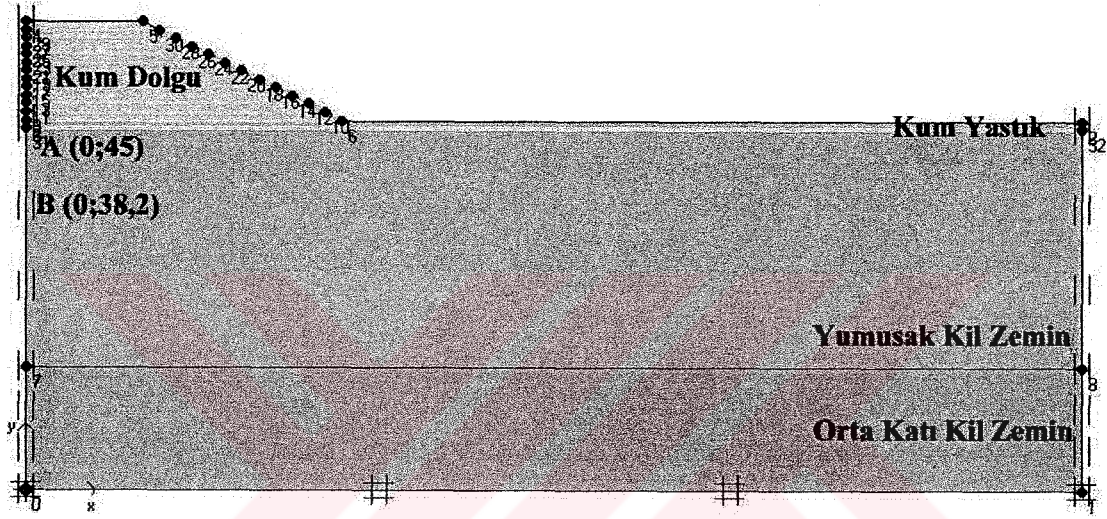
Şekil 5.98 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.99 2 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.6.2 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun kum yastık üzerine oturtulması

Şekil 5.100'de verilen zemin profilinde, kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken; her 1 m'lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 12 sıra geotekstil donatı serilmiştir. Bir önceki analizde olduğu gibi kum dolgu 1 m'lik kum yastık üzerine yüklenerek geotekstillerin verimli bir şekilde çalışması sağlanmaktadır. Kum yastığının stabilizasyonunu sağlamak amacı ile kil zemin ile arasına tek tabaka geotekstil yerleştirilmiştir.

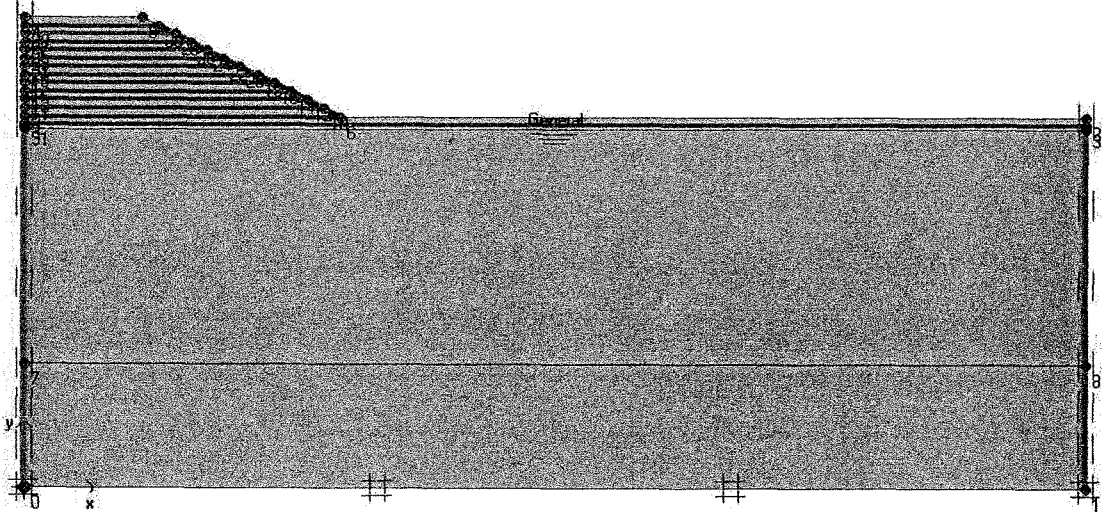


Şekil 5.100 1 m arayla geotekstil uygulanan dolgunun 1 m'lik kum yastık üzerine oturtulması

Plaxis'le gerçekleştirilen yükleme analizi 21 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.101'de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.102'de gösterilmiştir.

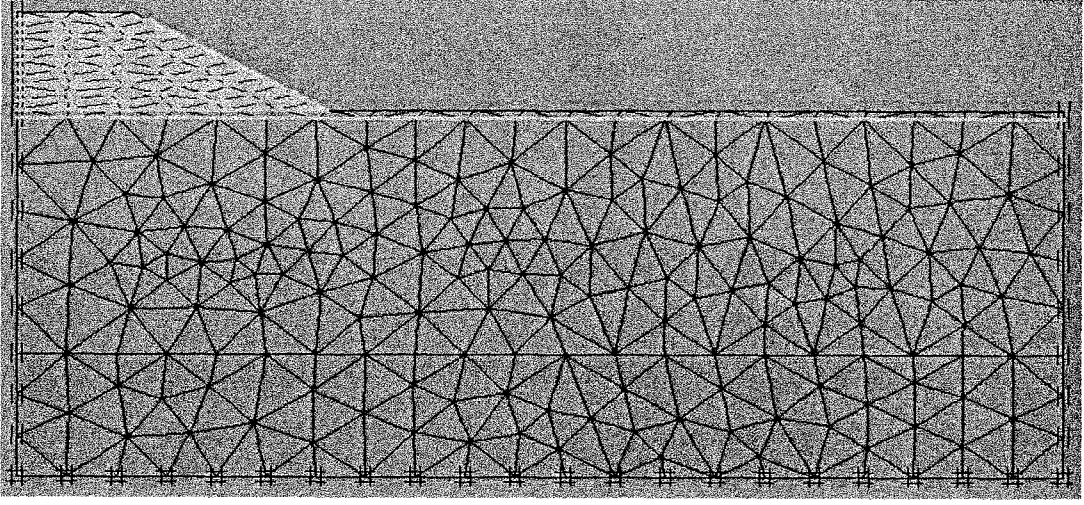
Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1 m'lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha : Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine 1 m'lik kum yastığının serilmesi



Şekil 5.101 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

3. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
6. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
8. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
9. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi
11. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi



Şekil 5.102 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

12. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi
13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi
14. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
15. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dokuzuncu kademesinin yüklenmesi
16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onuncu kademesinin yüklenmesi
17. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
18. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onbirinci kademesinin yüklenmesi
19. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onikinci kademesinin yüklenmesi
21. Safha : Güvenlik faktörü analizi

20. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.36’da verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.37’de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

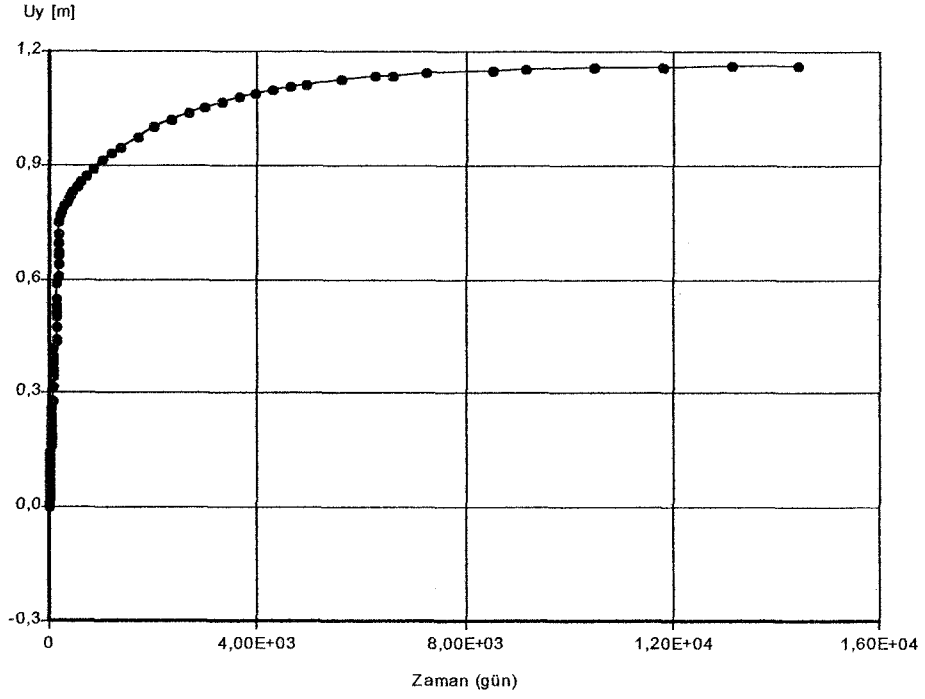
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.103’te; simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.104’te verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşılacağı üzere bir önceki analizde elde edilen sonuçlarla benzer sonuçlar bulunmuştur.

Tablo 5.36 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

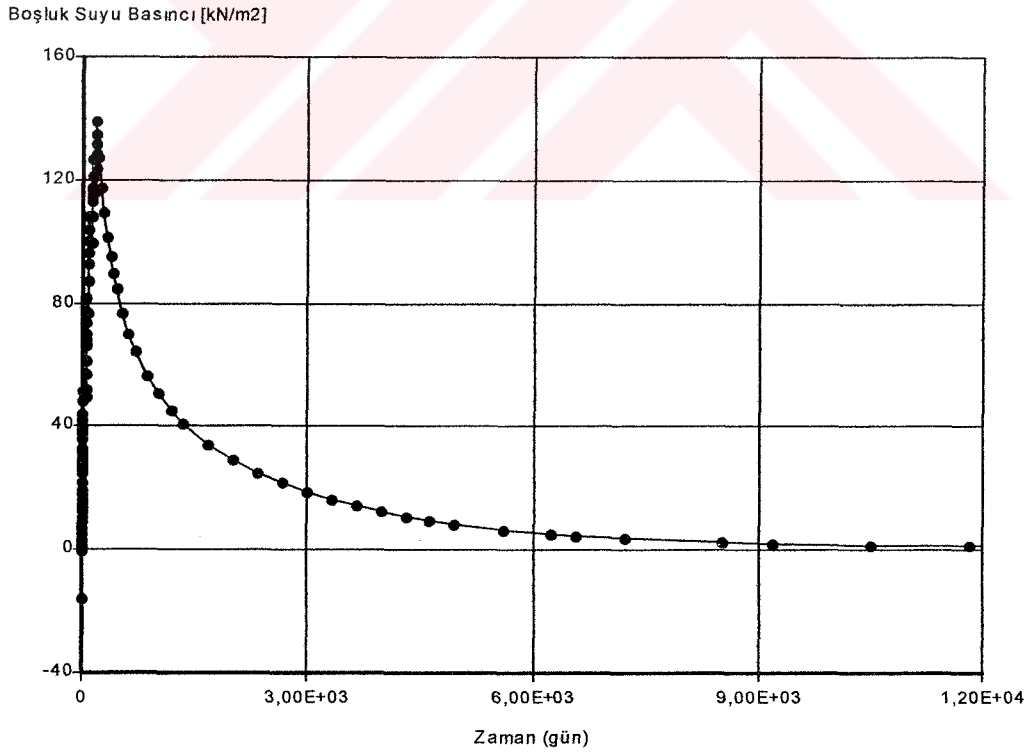
Maksimum Toplam Deformasyon (0;54) Kotu	123	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	161,1	cm
Efektif Gerilme	492,74	kN/m^2
Toplam Gerilme	925,09	kN/m^2
Boşluk Suyu Basıncı	433,65	kN/m^2
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,76	kN/m^2
Güvenlik Faktörü	2,075	

Tablo 5.37 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme		Altıncı Yükleme	
Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
6,6	0,5	7,3	1,5	9,8	1,7	14,3	1,9	15,2	1,9	14,2	41,3



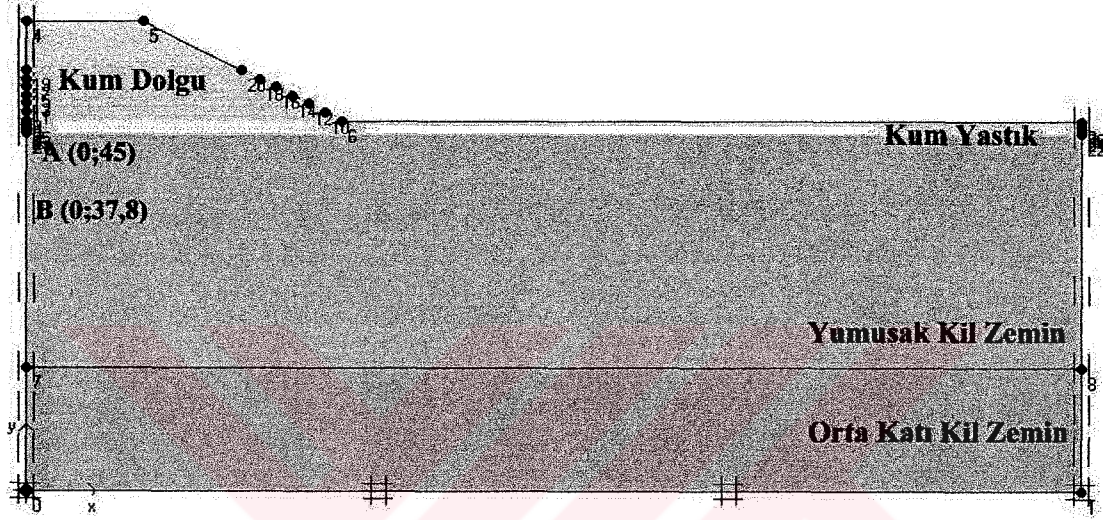
Şekil 5.103 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.104 1 m arayla geotekstil uygulanarak kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;38,2) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.6.3 Kum dolgunun 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulması

Şekil 5.105'te verilen zemin profilinde, kum dolgunun 6 m'lik kısmı 1 m'lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka arasına elastisite rijitliği 1200 kN/m olan 6 sıra geotekstil donatı serilmiştir. Dolgunun geri kalan 6 m'lik kısmı ise tek bir tabaka halinde yüklenmiştir. Kil zemin 1,5 m kazılarak; kum dolgu altına serilecek olan kum yastık, 0,5 m'lik tabakalar halinde ve her tabaka arasına tek sıra geotekstil donatı serilerek yerleştirilmiştir.

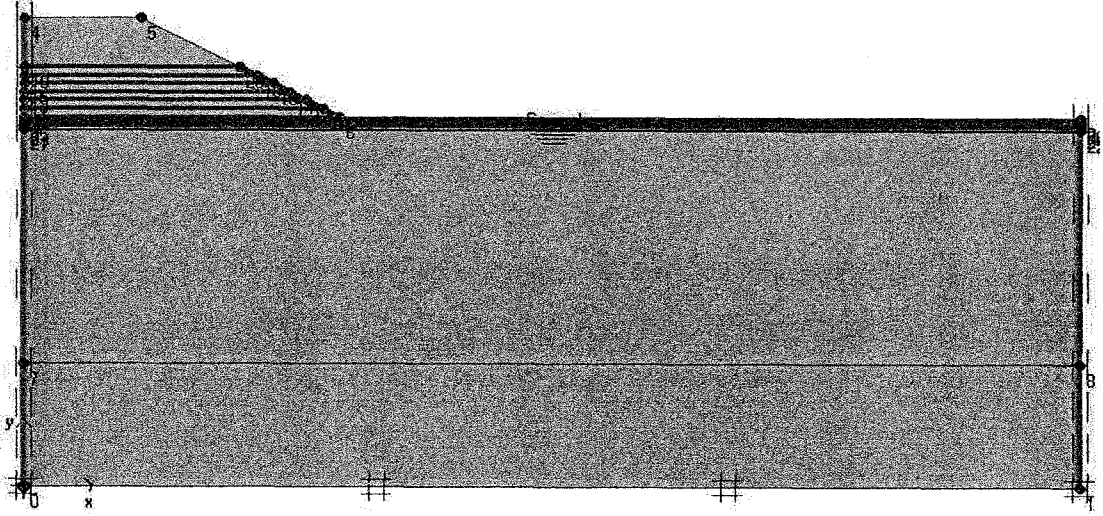


Şekil 5.105 Kum dolgunun 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulması

Plaxis'le gerçekleştirilen yükleme analizi 17 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.106'da; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.107'de gösterilmiştir.

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m'lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha : Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
3. Safha : Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.106 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

4. Safha : Kazılan kil zemin yerine, bir sıra geotekstil serilip üzerine kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
5. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
6. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
9. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
11. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
12. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi

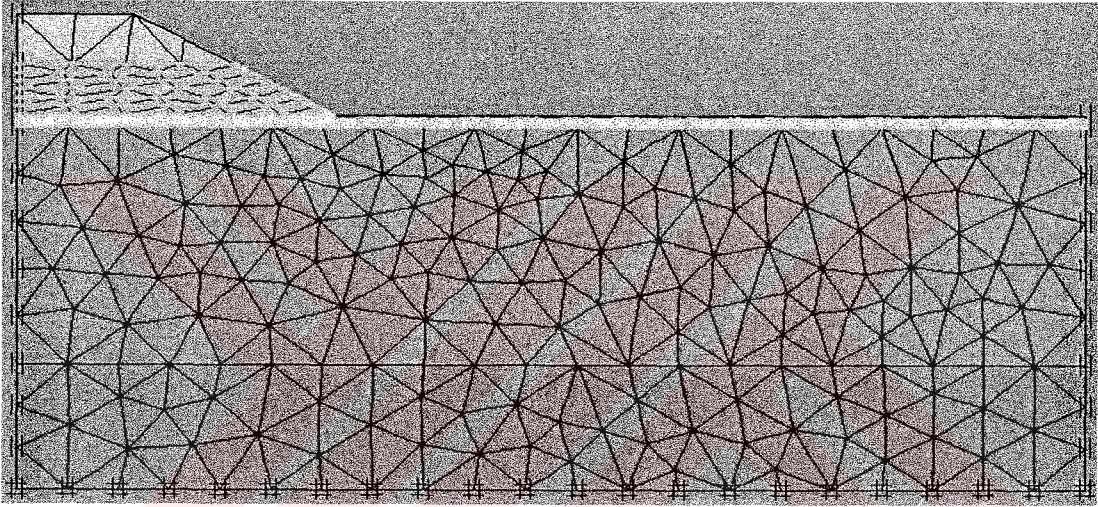
13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m’lik altıncı kademesinin yüklenmesi

14. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

15. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun kalan 6 m’lik kısmının yüklenmesi

17. Safha : Güvenlik faktörü analizi

16. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m² değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.107 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.38’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.39’da verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

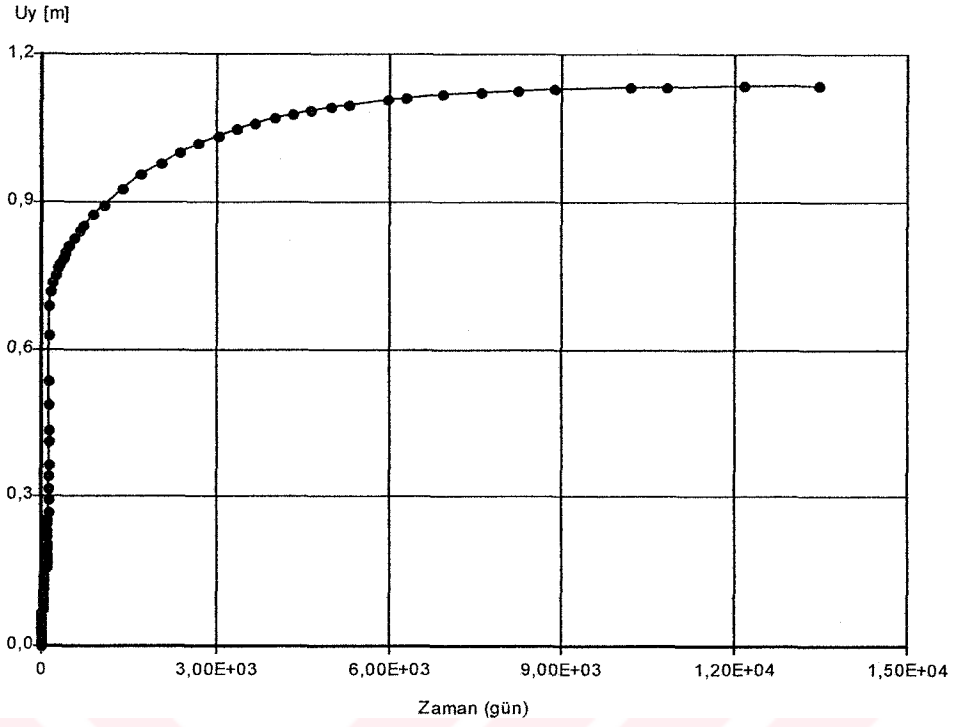
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.108’de; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.109’da verilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen değerlerde daha önceki analizlere oranla, küçükte olsa, iyileşme görülmüştür. Maksimum toplam deformasyonda yaklaşık olarak 5 cm’lik bir azalma görülmektedir.

Tablo 5.38 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

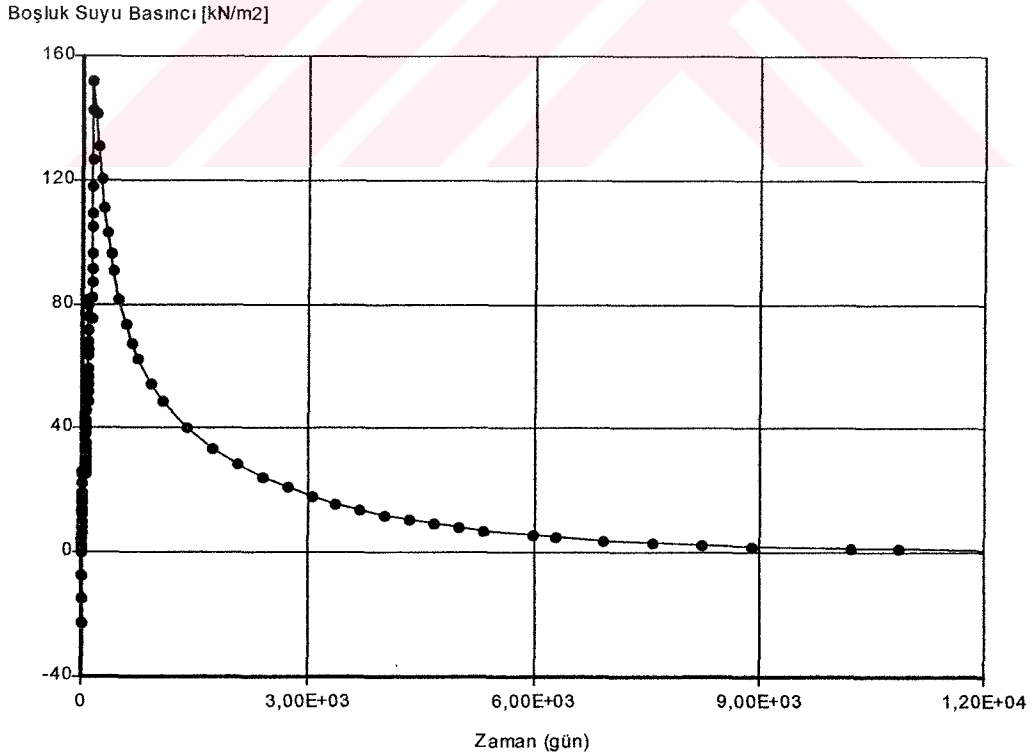
Maksimum Toplam Deformasyon (0;54) Kotu	119	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	113,6	cm
Efektif Gerilme	494,32	kN/m ²
Toplam Gerilme	926,68	kN/m ²
Boşluk Suyu Basıncı	433,65	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,83	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	2,272	

Tablo 5.39 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme	
Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
0,05	0	6,5	0,9	7	1,4	9,4	1,7	42,1	44,6



Şekil 5.108 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.109 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

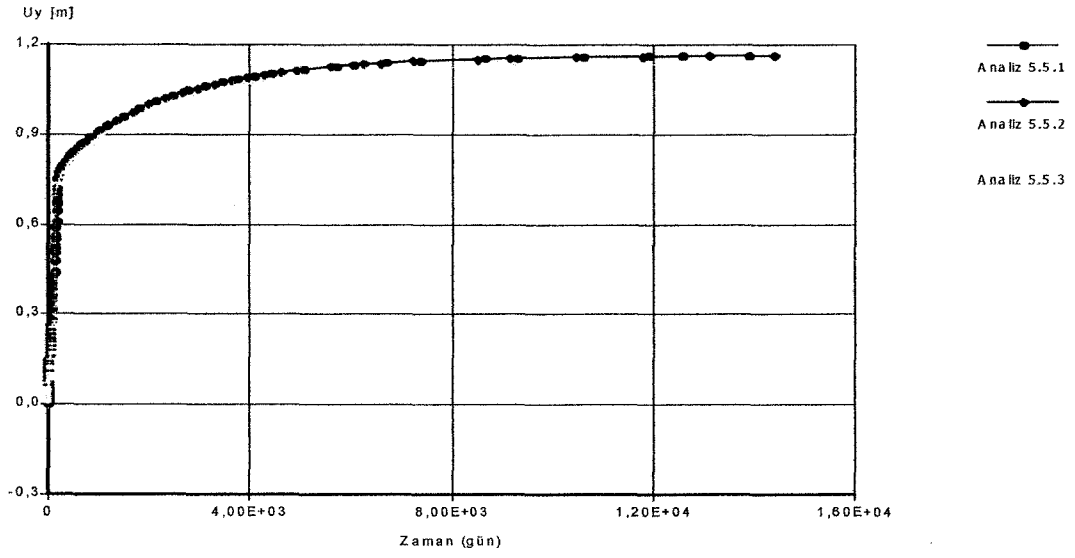
5.6.4 Yumuşak kil zemin üzerine yüklenen kum dolgu analizlerin karşılaştırılması

Orta katı kil ve yumuşak kil tabakalarında oluşan 45 m derinlikteki kil zemine 12 m'lik kum dolgunun uygulanması sonucunda büyük miktarda oturma meydana gelmiş ve istenilen değerler elde edilememiştir. Bu nedenle kum dolgu, geotekstillerin de kullanıldığı, farklı türde kademeli olarak yüklenmiştir. Analizlerde elde edilen değerler Tablo 5.40'ta verilmiştir. Görüldüğü gibi normal koşulda zeminde çökme meydana gelirken, geotekstillerin kullanıldığı kademeli yükleme ile dolgu çökme meydana gelmeden taşınabilmiştir. Ancak oturma miktarları halen istenilen değerlerin çok üstündedir.

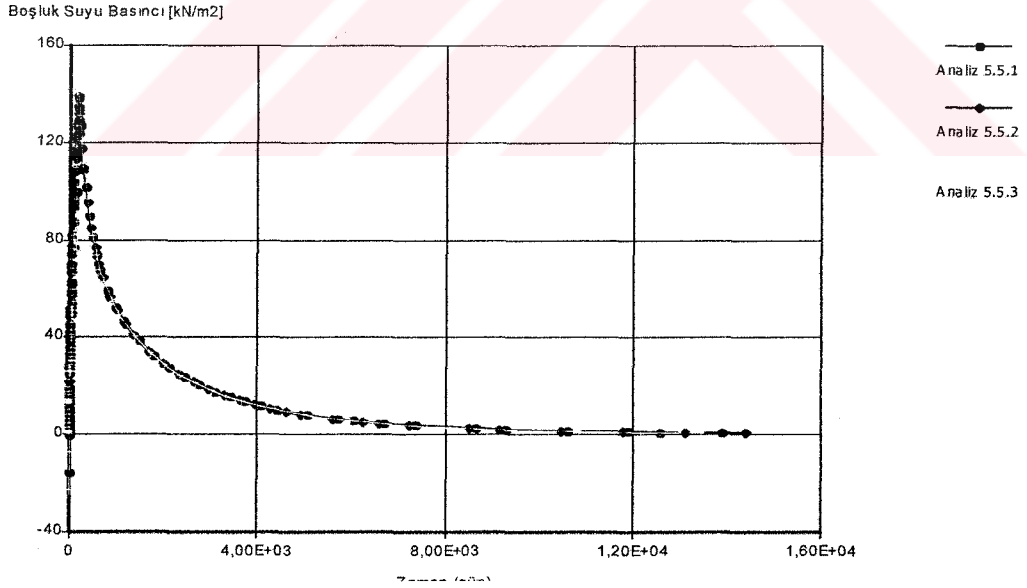
Tablo 5.40 Yapılan Analizler Sonucunda Elde Edilen Değerler

	2 m Arayla Geotekstil Uygulaması	1 m Arayla Geotekstil Uygulaması	Dolgunun Yarısına Kadar 2 m Arayla Geotekstil Uygulanan
Maksimum Toplam Deformasyon (cm)	123	124	119
Dolgu Merkezinde Deformasyon (cm)	116,2	116,1	113,6
Efektif Gerilme (kN/m ²)	492,64	492,74	494,32
Toplam Gerilme (kN/m ²)	925	925,09	926,68
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	433,65	433,65	433,65
Artık Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	0,83	0,76	0,83
Güvenlik Faktörü	2,087	2,075	2,272

Şekil 5.110 ve Şekil 5.111'de üç farklı analiz sonucunda elde edilen yerdeğiştirme – zaman ve boşluk suyu basıncı – zaman grafikleri verilmiştir. Buradan 1,5 m'lik kum yastık üzerine oturtulan dolgunun oturma miktarının en düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 5.110 Yapılan 3 ayrı analizin simetri eksenindeki (0;45) noktasındaki deformasyonlarının karşılaştırılması



Şekil 5.111 Yapılan 3 ayrı analizin boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

5.7 Kil Zemin İçerisine Taş Kolon (Çakıl Kolon) Uygulanması

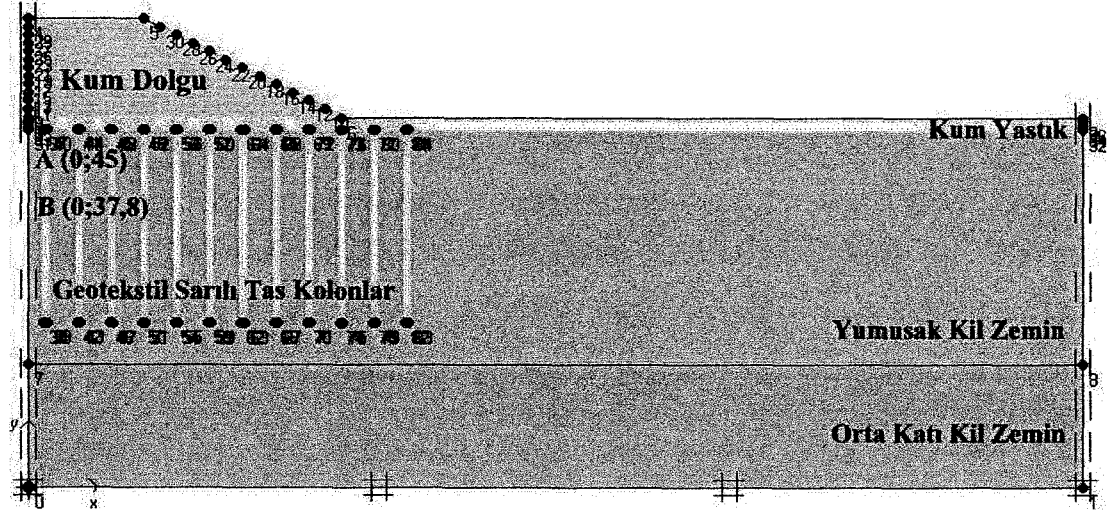
Daha önce gerçekleştirilen analizlerde; dolgu yükü altında çöken kil zeminin, kum dolguyu emniyetli şekilde taşıyabilmesi için geotekstiller yardımı ile kademeli yükleme yapılmış ve dolgunun taşınması sağlanmıştır. Ancak oturma miktarları 1 m'nin üzerinde olmaktadır. Tüm bu analizlerde elde edilen oturma değeri nihai oturma değeri değildir. Yani konsolidasyon oturması sona erdiğinde elde edilen değeri dir. Daha önceki analizlerden de gördüğümüz üzere kil zeminde konsolidasyon çok uzun sürede tamamlanmaktadır. Gerek konsolidasyon süresini kısaltmak gerekse zeminin taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla kil zemin içerisine $\phi 40$, $\phi 60$, $\phi 80$ olmak üzere üç değişik çapta çakıl kolon; merkezden merkeze 200 cm ara ile yerleştirilecektir. Çakıl kolonlar 23,5 m derinliğe indirilecektir.

Çakıl kolonlarda kullanılacak olan çakıl malzeme için Tablo 5.32'de $E_{ref} = 240.000 \text{ kN/m}^2$ olarak verilmiştir. Ancak uygulamada kolon rijitliklerinde azaltılmaya gidilecektir. Birim genişlik için çözüm yapan Plaxis programında çakıl kolonların tanımlanabilmesi amacıyla çakıl malzemenin $E_{ref} = 240.000 \text{ kN/m}^2$ değeri kolon ara mesafesine bölünerek rijitlik azaltması gerçekleştirilecektir.

5.7.1 $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Şekil 5.112'de verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 24 adet $\phi 40$ 'lık çakıl kolon 4 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastik rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/4 = 60.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m'lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m'lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 12 sıra geotekstil donatı serilmiştir.

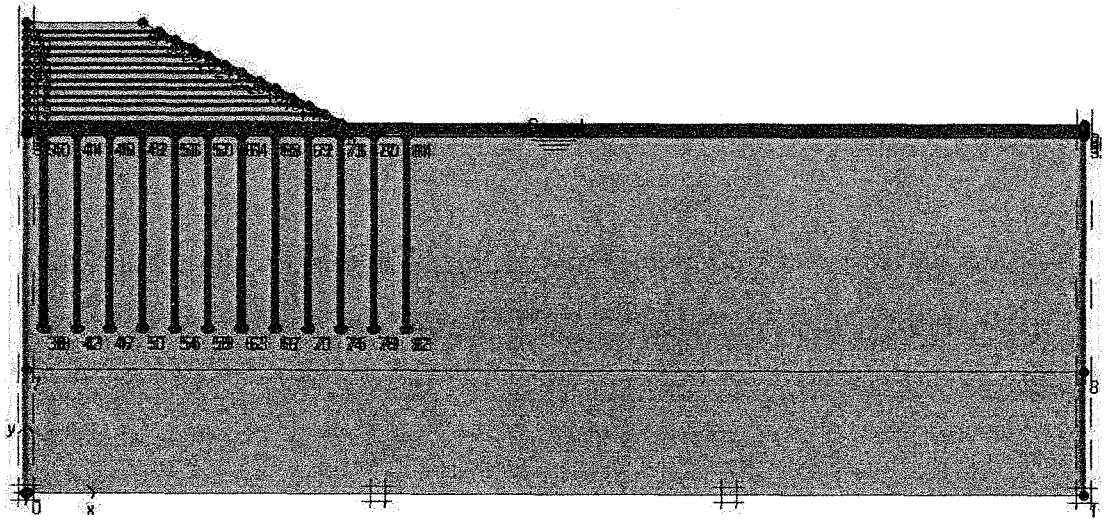
Plaxis'le gerçekleştirilen yükleme analizi 25 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.113'te; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.114'te gösterilmiştir.



Şekil 5.112 $\phi 40$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m'lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha : 12 adet $\phi 40$ 'lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.113 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi
14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

18. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

19. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dokuzuncu kademesinin yüklenmesi

20. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onuncu kademesinin yüklenmesi

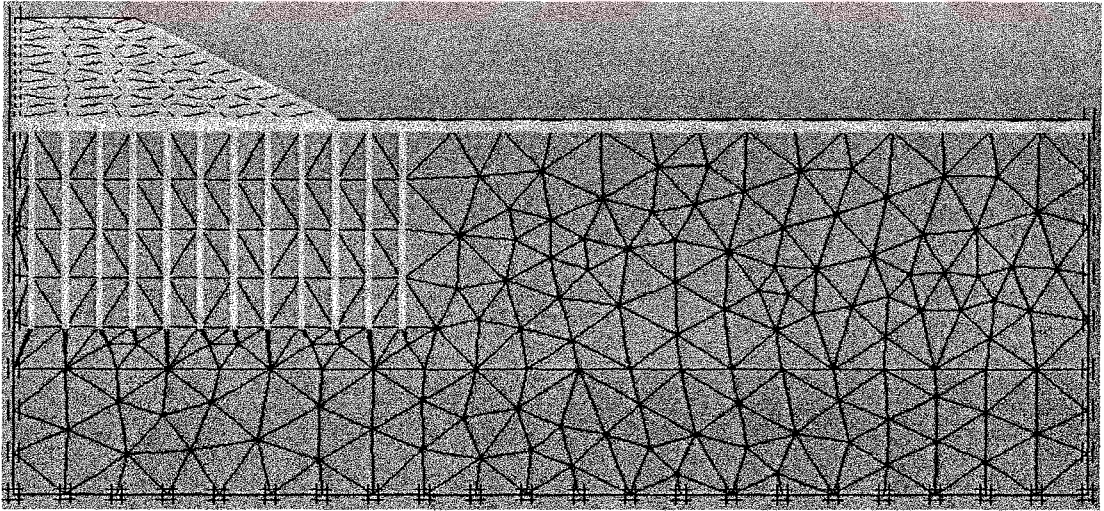
21. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

22. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onbirinci kademesinin yüklenmesi

23. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onikinci kademesinin yüklenmesi

25. Safha : Güvenlik faktörü analizi

24. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi



Şekil 5.114 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.41’de verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.42’de verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

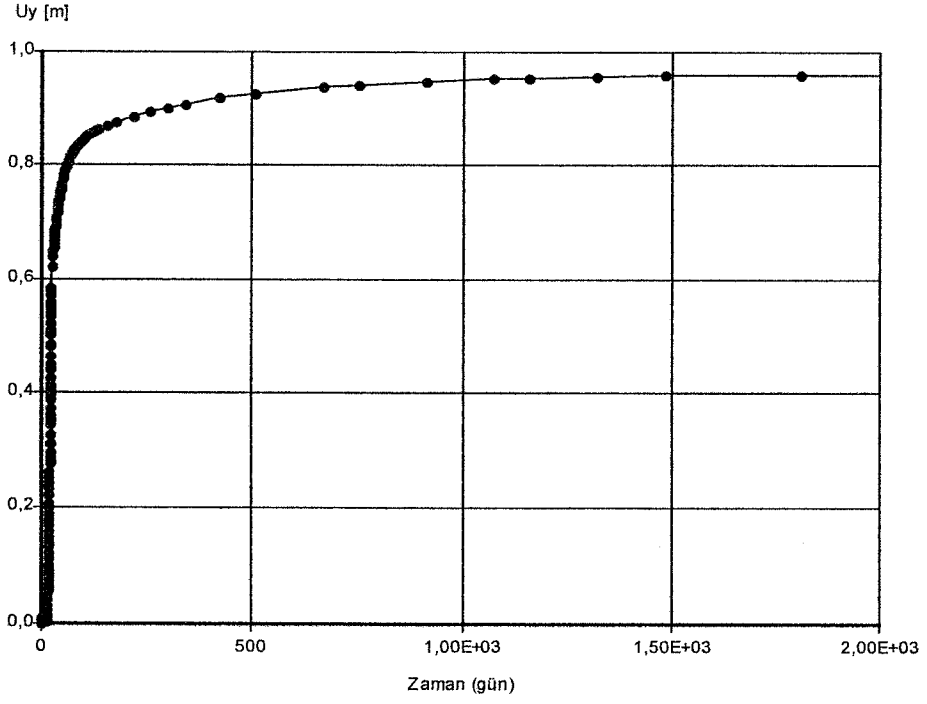
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.115’te; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.116’de verilmiştir.

Tablo 5.41 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

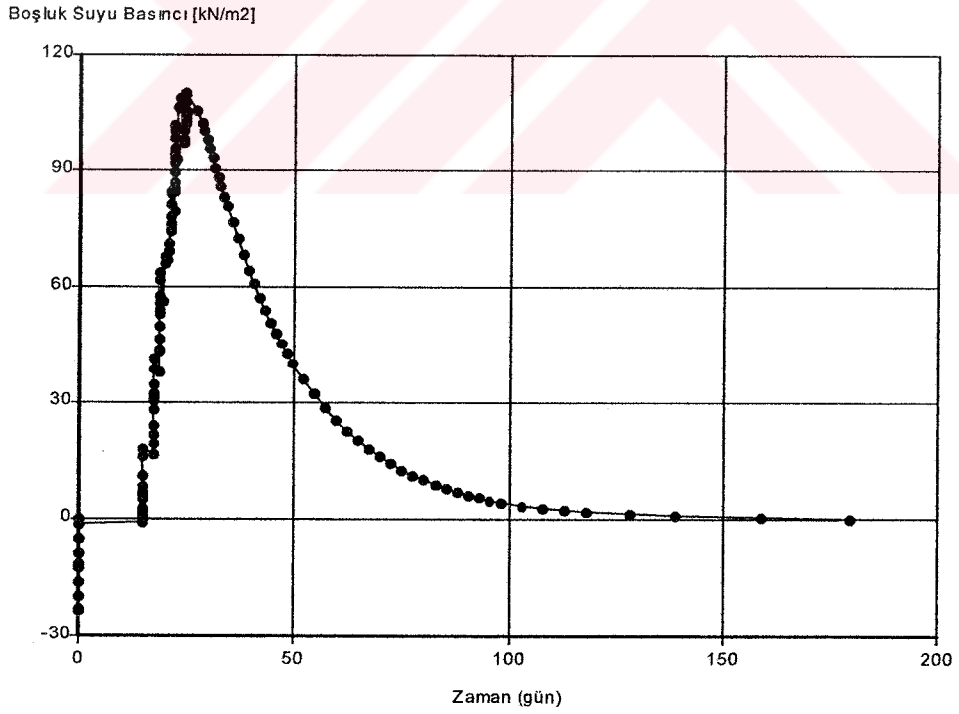
Maksimum Toplam Deformasyon (0;54) Kotu	102	m
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	97,4	m
Efektif Gerilme	701,55	kN/m ²
Toplam Gerilme	940,85	kN/m ²
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	433,65	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,79	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	2,479	

Tablo 5.42 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme		Altıncı Yükleme		Yedinci Yükleme	
Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
1,2	0,14	3,8	0,9	6,4	1,3	7,5	2,1	4,7	0,4	4,5	1,9	10,5	52,4



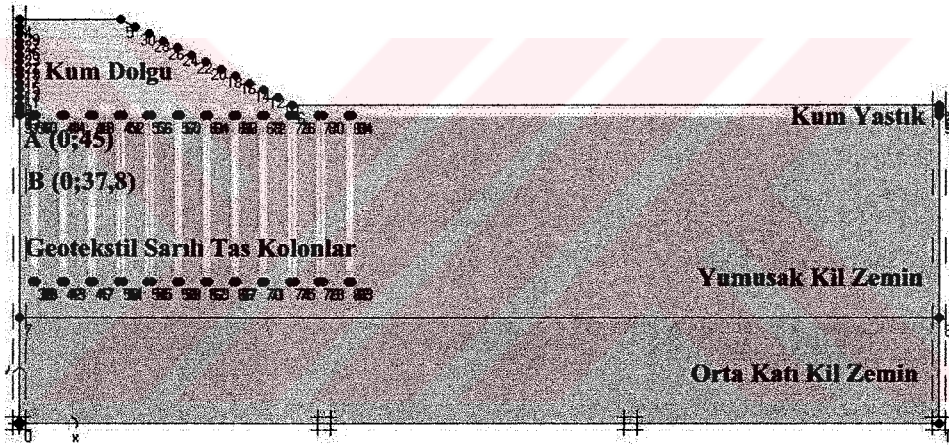
Şekil 5.115 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40'$ lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.116 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 40'$ lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.7.2 $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

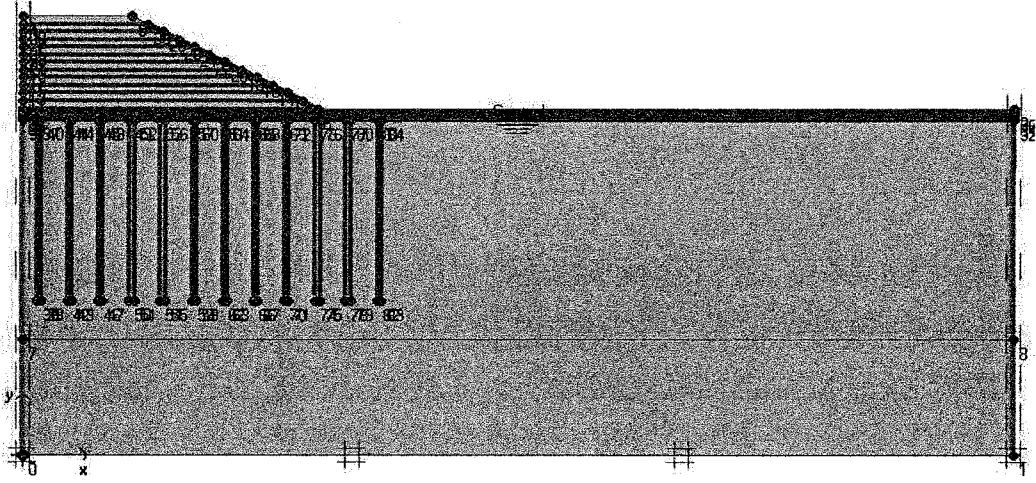
Şekil 5.117’de verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 24 adet $\phi 60$ ’lık çakıl kolon 4 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastik rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/4 = 60.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 12 sıra geotekstil donatı serilmiştir.



Şekil 5.117 $\phi 60$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

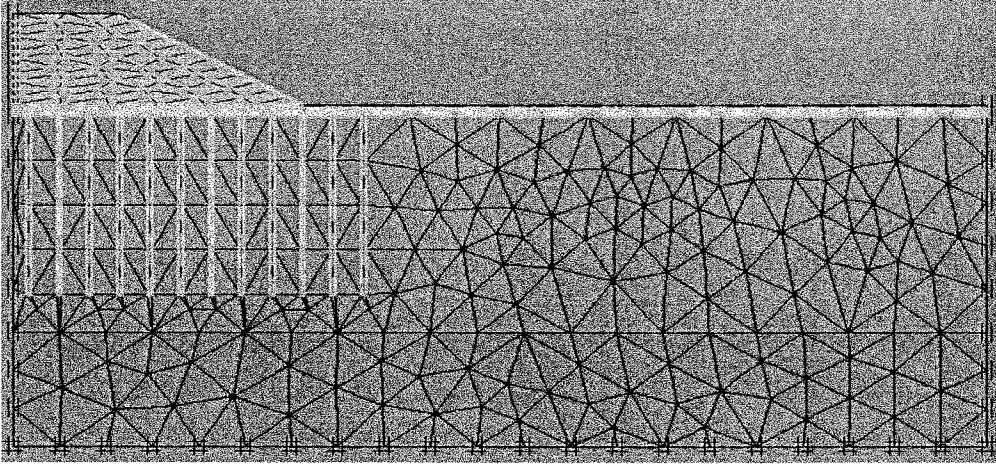
Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 25 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.118’de; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.119’da gösterilmiştir. Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha : 12 adet $\phi 60$ ’lık çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m’lik birinci kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.118 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.119 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi
15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi
17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi
18. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
19. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dokuzuncu kademesinin yüklenmesi
20. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onuncu kademesinin yüklenmesi
21. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
22. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onbirinci kademesinin yüklenmesi
23. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onikinci kademesinin yüklenmesi

25. Safha : Güvenlik faktörü analizi

24. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m² değerine ulaşana kadar beklenmesi

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.43'te verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.44'te verilmiştir. İlk yüklemde meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

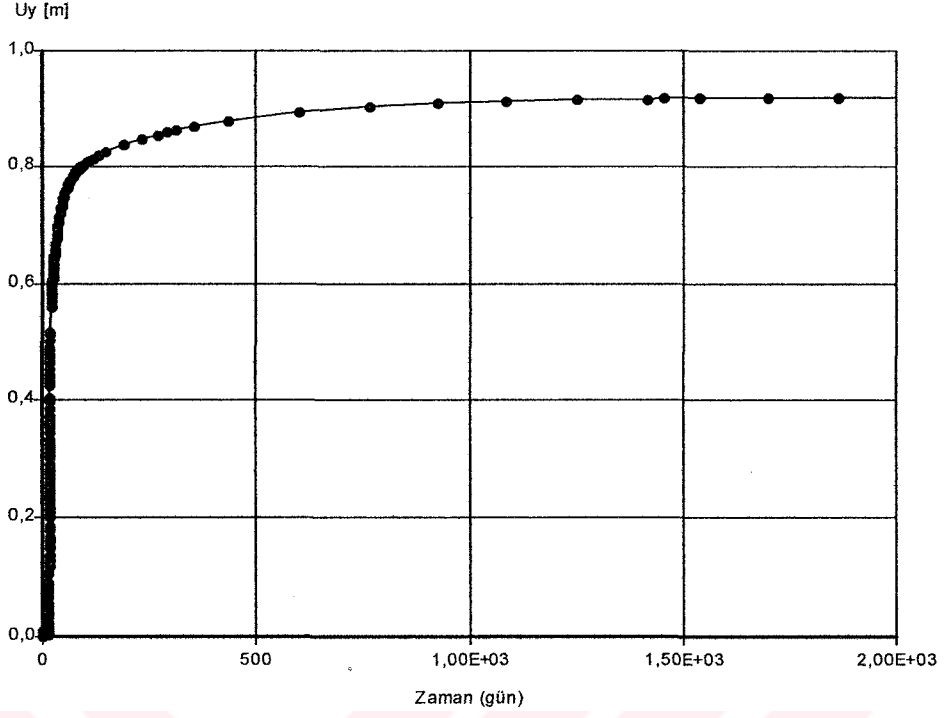
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.120'de; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.121'de verilmiştir.

Tablo 5.43 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

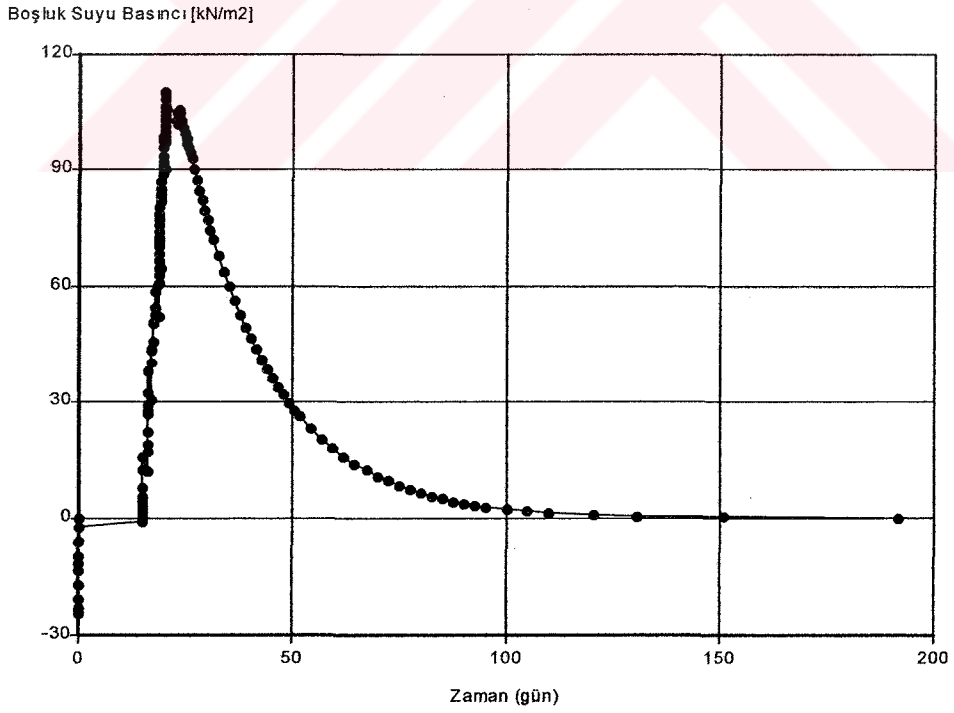
Maksimum Toplam Deformasyon (0;54) Kotu	96,4	m
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	92,1	m
Efektif Gerilme	710,47	kN/m ²
Toplam Gerilme	946,18	kN/m ²
Aktif Boşluk Suyu Basıncı	433,65	kN/m ²
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,96	kN/m ²
Güvenlik Faktörü	2,524	

Tablo 5.44 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturma ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme		Altıncı Yükleme		Yedinci Yükleme	
Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
1,6	0,3	3	0,7	5,9	0,1	3,3	1,4	8,4	0,7	7,9	1,4	16,3	40,3



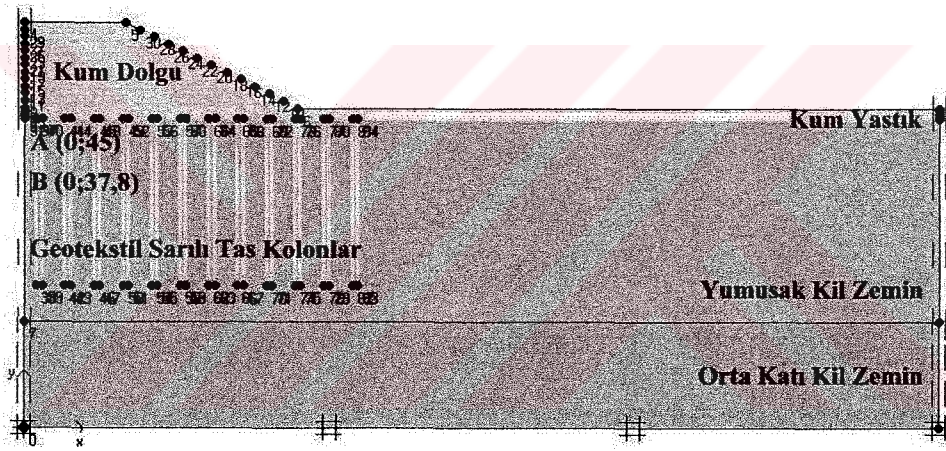
Şekil 5.120 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.121 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 60$ 'lık çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.7.3 $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

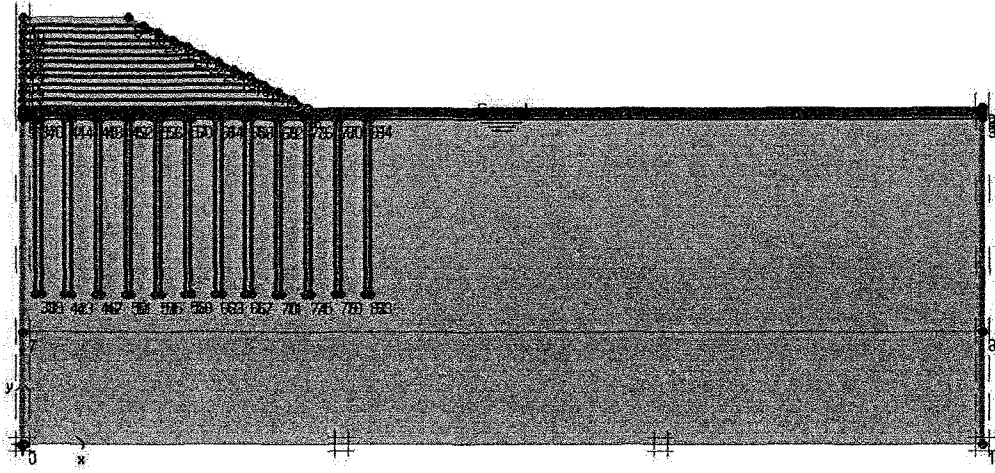
Şekil 5.122’de verilen zemin profilinde, kum dolgu yüklenmeden önce; taşıma gücünü arttırmak ve konsolidasyon süresini kısaltmak amacı ile kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. Öncelikle kil zemin, kum yastık için, 1,5 m kazılmış daha sonra 24 adet $\phi 80$ ’lik çakıl kolon 4 m ara mesafe ile dolgu altındaki kil zemine yerleştirilmiştir. Yerleştirilen çakıl kolonların çevresi elastik rijitliği 1200 kN/m olan geçirimli geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Rijitlik azaltması nedeniyle çakıl kolon malzemesi için $E_{ref} = 240.000/4 = 60.000 \text{ kN/m}^2$ alınacaktır. Çakıl kolon uygulamasının ardından kum yastık 0,5 m’lik tabakalar halinde yüklenirken, her tabaka tek sıra geotekstil donatı üzerine serilmiştir. Daha sonra kum dolgu, kil zemin üzerine kademli yükleme ile yüklenirken, her 1 m’lik yükleme sırasında tabakalar arasına elastik rijitliği 1200 kN/m olan 12 sıra geotekstil donatı serilmiştir.



Şekil 5.122 $\phi 80$ çakıl kolonların 4 m ara ile yumuşak kil zemine uygulanması

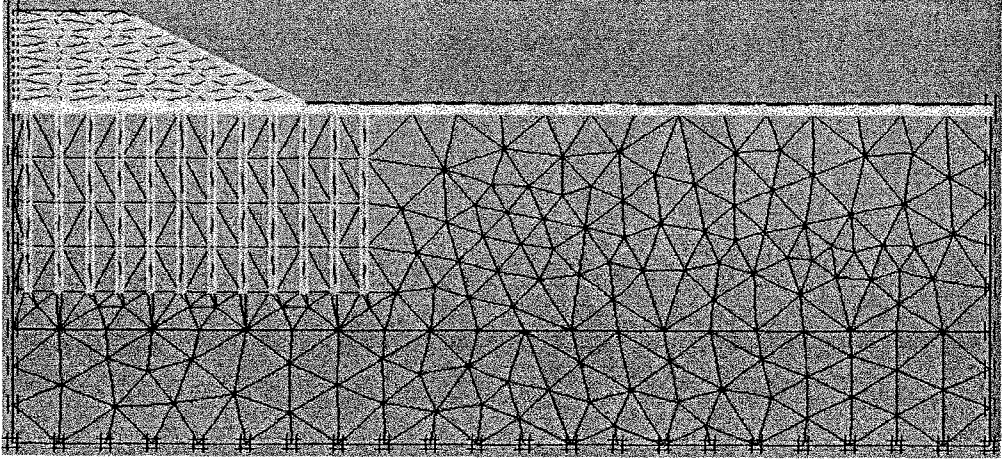
Plaxis’le gerçekleştirilen yükleme analizi 26 safhadan meydana gelmektedir. Dolgunun her yüklenmesinden sonra zemin 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Zeminin sınır koşulları Şekil 5.123’te; sonlu elemanlar ağı ise Şekil 5.124’te gösterilmiştir. Analizde gerçekleştirilen safhalar aşağıda verilmiştir:

1. Safha : 1,5 m’lik yumuşak kil zeminin kazılması
2. Safha : 12 adet $\phi 80$ ’lik çakıl kolonun yüklenmesi ve geotekstil ile sarılması
3. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığının 0,5 m’lik birinci kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.123 12 m'lik kum dolgu ve kil zeminin sınır koşulları

4. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
5. Safha : Çakıl kolon uygulanmış kil zemin üzerine bir sıra geotekstil serilip, kum yastığın 0,5 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
6. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
7. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik birinci kademesinin yüklenmesi
8. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik ikinci kademesinin yüklenmesi
9. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
10. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik üçüncü kademesinin yüklenmesi
11. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dördüncü kademesinin yüklenmesi
12. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi
13. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik beşinci kademesinin yüklenmesi



Şekil 5.124 Sonlu elemanlar ağı oluşturulmuş zemin

14. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik altıncı kademesinin yüklenmesi

15. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

16. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik yedinci kademesinin yüklenmesi

17. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik sekizinci kademesinin yüklenmesi

18. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

19. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik dokuzuncu kademesinin yüklenmesi

20. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onuncu kademesinin yüklenmesi

21. Safha : 15 günlük konsolidasyon süresi

22. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onbirinci kademesinin yüklenmesi

23. Safha : Bir sıra geotekstil serilerek üzerine kum dolgunun 1 m'lik onikinci kademesinin yüklenmesi

25. Safha : Güvenlik faktörü analizi

24. Safha : Konsolidasyonda boşluk suyu basıncının 1 kN/m^2 değerine ulaşana kadar beklenmesi

Gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen değerler Tablo 5.45'te verilmiştir. Ayrıca zeminde meydana gelen ani oturmalar ve konsolidasyon oturmaları Tablo 5.46'da verilmiştir. İlk yüklemede meydana gelen ani oturmaya kum yastık için yapılan kazı sonucunda oluşan kabarmalar da eklenmiştir.

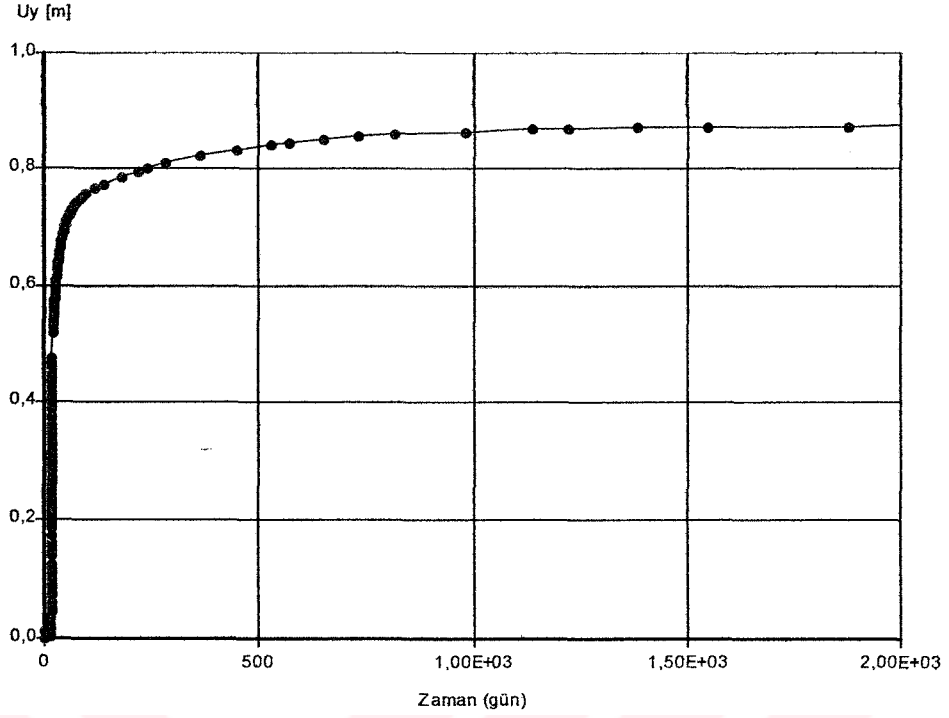
Simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği Şekil 5.125'te; simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği ise Şekil 5.126'da verilmiştir.

Tablo 5.45 Analiz Sonucunda Elde Edilen Değerler

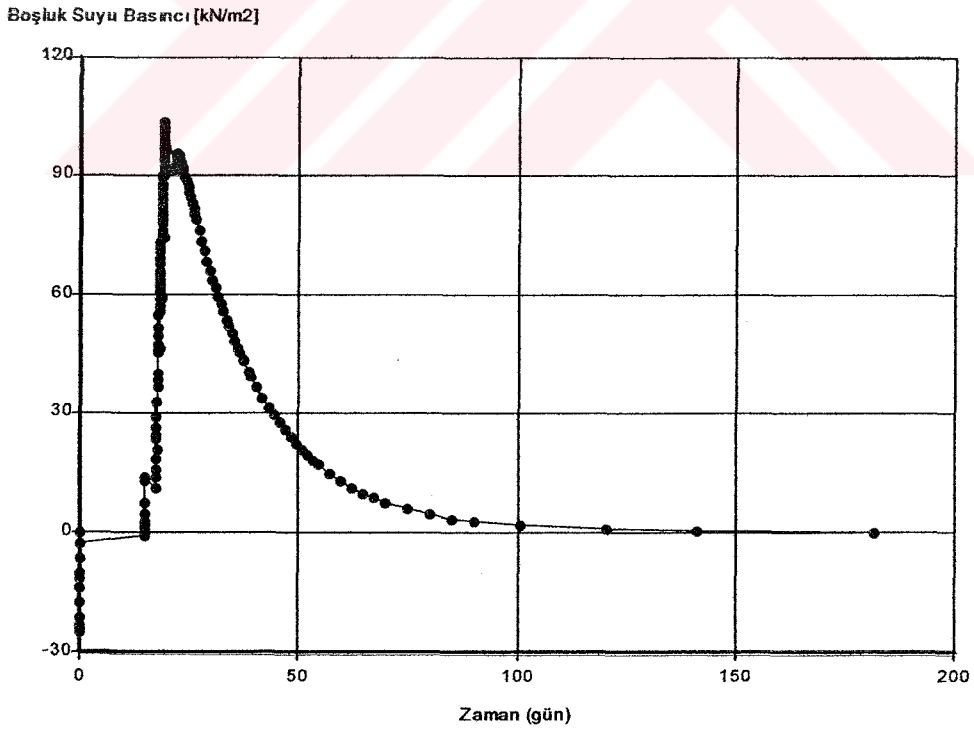
Maksimum Toplam Deformasyon (0;54) Kotu	91,6	cm
Dolgu Merkezinde Deformasyon (0;45) Kotu	87,6	cm
Efektif Gerilme	739,52	kN/m^2
Toplam Gerilme	959,87	kN/m^2
Boşluk Suyu Basıncı	433,65	kN/m^2
Artık Boşluk Suyu Basıncı	0,96	kN/m^2
Güvenlik Faktörü	2,587	

Tablo 5.46 Analiz Sonucunda Elde Edilen Ani Oturmalar ve Konsolidasyon Oturmaları

Birinci Yükleme		İkinci Yükleme		Üçüncü Yükleme		Dördüncü Yükleme		Beşinci Yükleme		Altıncı Yükleme		Yedinci Yükleme	
Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc	Si	Sc
(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)		(cm)	
2	0,4	2,2	0,8	5,7	0,7	6,6	1,3	8,4	1,2	9,3	1,4	8,9	39,7



Şekil 5.125 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;45) noktası yerdeğiştirme – zaman grafiği



Şekil 5.126 4 m ara ile yerleştirilen $\phi 80$ 'lik çakıl kolonlar üzerine oturtulan dolgudan dolayı simetri eksenindeki (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı – zaman grafiği

5.7.4 Farklı çaptaki çakıl kolonların farklı mesafelerde yerleştirildiği analizlerin karşılaştırılması

$\phi 40$, $\phi 60$, $\phi 80$ olmak üzere üç değişik çapta çakıl kolonun; merkezden merkeze 400 cm aralıkla yerleştirildiği analizlerde, üzerine kum dolgu uygulanacak olan yumuşak kil zeminin taşıma kapasitesi artırılarak zeminde bir göçme meydana gelmeden kum dolgunun taşınması sağlanmıştır. Tablo 5.47’de analizlerde elde edilen değerler bir arada gösterilmiştir. Buradan da anlaşıldığı üzere çakıl kolon sayesinde zeminde meydana gelen oturma miktarı, geotekstil malzemelerin kullanıldığı kademeli yüklemelerde elde edilen değerlere nazaran oldukça düşüktür.

Tablo 5.47 Çakıl Kolon Analizleri Sonucunda Elde Edilen Değerler

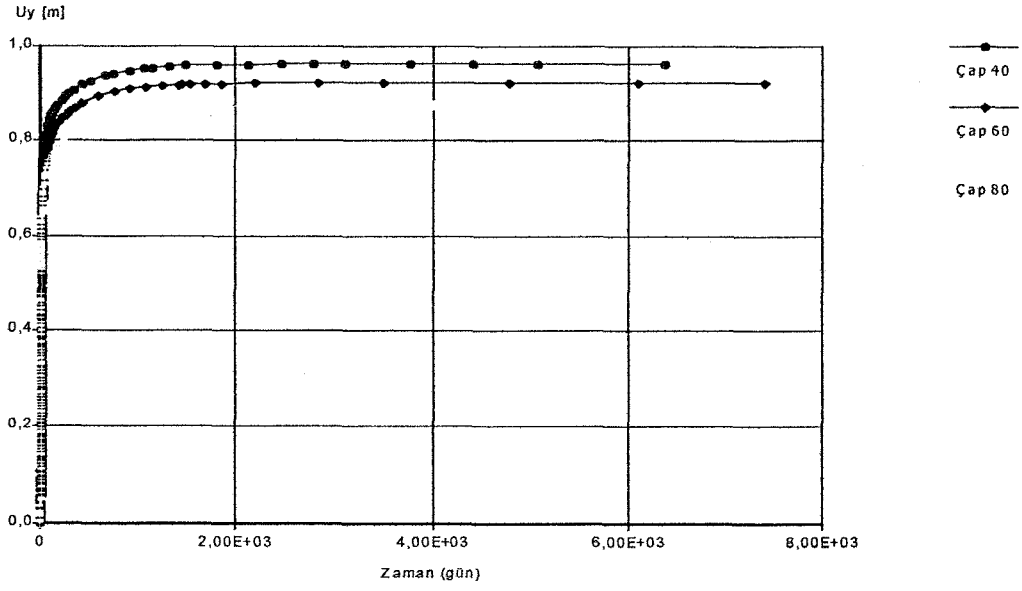
UYGULAMA	4 m Ara ile $\phi 40$ Çakıl Kolon	4 m Ara ile $\phi 60$ Çakıl Kolon	4 m Ara ile $\phi 80$ Çakıl Kolon
Maksimum Toplam Deformasyon (cm)	102	96,4	91,6
Dolgu Merkezinde Deformasyon (cm)	97,4	92,1	87,6
Efektif Gerilme (kN/m^2)	701,55	710,47	739,52
Toplam Gerilme (kN/m^2)	940,85	946,18	959,87
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m^2)	433,65	433,65	433,65
Artık Boşluk Suyu Basıncı (kN/m^2)	0,79	0,96	0,96
Güvenlik Faktörü	2,479	2,524	2,587

Daha önceki analizlerden de gördüğümüz üzere kil zeminde konsolidasyon çok uzun sürede tamamlanmaktadır. Çakıl kolon uygulamaları ile zeminde sağlanan çok yönlü konsolidasyon sayesinde bu süre çok düşük bir mertebeye indirilmiştir.

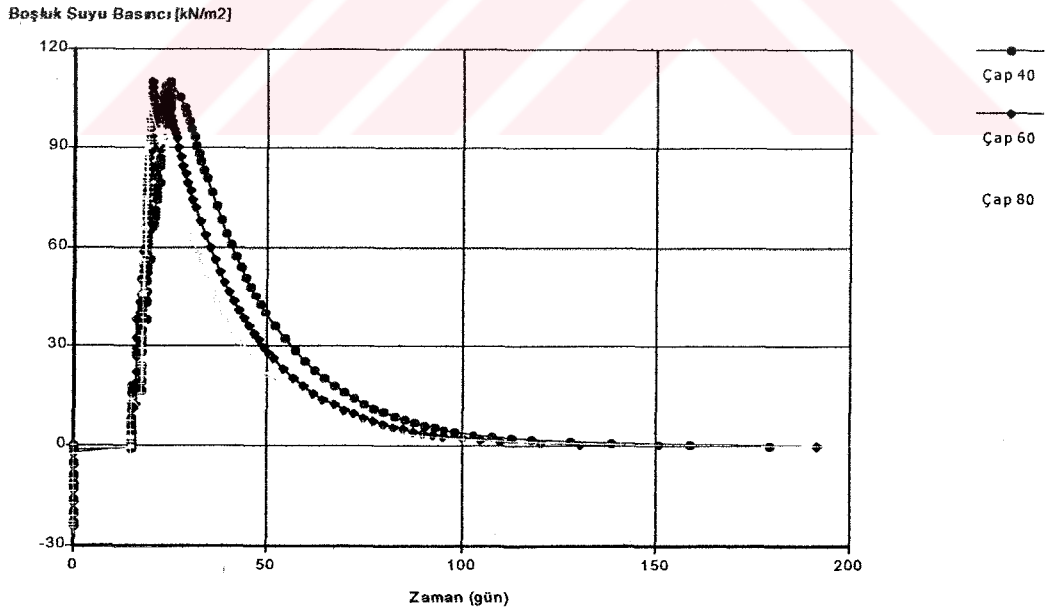
Şekil 5.127 ve Şekil 5.128’de verilen grafiklerde 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolonun yerdeğiştirme – zaman ve boşluk suyu basıncı – zaman grafiklerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

Grafiklerden görüldüğü üzere yapılan analizler sonucunda yakın değerler elde edilmektedir. Her ne kadar en düşük oturma miktarı 4 m arayla yerleştirilen $\phi 80$ ‘lık çakıl kolonda elde edilse de, oturma miktarları arasında farklar gözardı edilebilecek kadar az olduğundan, maliyet ve işçilik bakımından incelendiğinde 4 m arayla yerleştirilen $\phi 40$ ’lık çakıl kolonlar optimum sonucu vermektedir.





Şekil 5.127 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenindeki (0;45) noktası deformasyon değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 5.128 4 m ara ile yerleştirilmiş üç farklı çaptaki çakıl kolon uygulamalarının simetri eksenini (0;37,8) noktası boşluk suyu basıncı değerlerinin karşılaştırılması

5.8 Konsolidasyon Oturmasının Ve Süresinin Tahkiki

Yapılardan, toprak dolgulardan temel zmine aktarılan yükler ve diğer dış yükler altında zemin tabakalarının sıkışması sonucu meydana gelen düşey şekil değiştirmelerin zemin yüzeyindeki toplamı, oturmalar şeklinde meydana çıkmaktadır. Genellikle, toplam oturmanın üç bileşenden meydana geldiği kabul edilmektedir :

$$S = S_i + S_c + S_s \quad (5.1)$$

Burada;

S_i = ani oturma

S_c = konsolidasyon oturması

S_s = sekonder konsolidasyon oturması

Ani oturma zeminin yüklenmesi ile beraber çok çabuk olarak meydana gelirken, konsolidasyon ve sekonder konsolidasyon oturmaları zamana bağımlı olarak ortaya çıkmaktadır[12]. Bunun sebebi; konsolidasyonun meydana geldiği killi, siltli zeminlerde k permeabilite katsayısı oldukça küçük olmakta ve bu nedenle suyun dışarı atılması uzun zaman almaktadır. Şekil 5.1’de verilen; orta katı kil ve yumuşak kil katmanlarından oluşan zemin üzerine oturtulan 8 m’lik kum dolgudan dolayı zeminde meydana gelecek oturma miktarı Tablo 5.48’de verilen veriler ışığında hesaplanabilir.

Tablo 5.48’de verilen m_v değerleri, malzemelerin Plaxis programında hesap için kullanılan elastisite modüllerine göre belirlenmiştir. Plaxis programı düzlem deformasyon esasına göre çözüm yapmaktadır. Elle yapılan çözümlerde ise ödometre deney esasları kullanılmaktadır. Bu nedenle aşağıda yapılan çözümlerde kil zemin için Tablo 5.48’de verilen elastisite modülü, Denklem 5.2 yardımıyla ödometre modülüne çevrilmiştir.

$$E_{od} = \frac{(1-\nu)E}{(1-2\nu)(1+\nu)} \quad (5.2)$$

Burada;

E_{od} : Ödometre modülü

E : Kil Zemin I için elastisite modülü

v : Poisson oranı

olarak verilmiştir. Bu değerler Denklem 5.2’de yerine konursa kil zemin için;

$$E_{od} = \frac{(1-0,33).5000}{(1-0,66)(1+0,33)} = 7408 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad (5.3)$$

elde edilir. Ödometre modülü değeri;

$$m_v = \frac{1}{E_{od}} \quad (5.4)$$

denkleminde yerine konulursa kil zemin için hacimsel sıkışma katsayısı, m_v ;

$$m_v = \frac{1}{7408} = 1,35 \times 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{kN} \quad (5.5)$$

olarak bulunur. Aynı işlemler kum dolgu için de tekrarlanırsa;

$$m_v = 1,35 \times 10^{-5} \text{ m}^2 / \text{kN} \quad (5.6)$$

değeri elde edilir. 8 m’lik kum dolgudan dolayı zeminde meydana gelecek oturma miktarı bu veriler ışığında hesaplanabilir.

Dolgu merkezinde, dolgunun kendi ağırlığından ileri gelen gerilme artışı dolgu üst seviyesinde sıfır ve altta $\gamma.H$ olan bir üçgen şeklindedir. Bu durumda dolgunun oturması,

$$\Delta H_{Dolgu} = \frac{1}{2} m_v \gamma H^2 \quad (5.7)$$

olur. Şu halde değerlerin yerlerine konulması ile, dolgunun kendi ağırlığı altında oturması,

$$\Delta H_{Dolgu} = 0,5.1,35 \times 10^{-5} .16.8^2 = 6,9 \times 10^{-3} \text{ m} = 0,69 \text{ cm} \quad (5.8)$$

bulunur.

Tablo 5.48 Uygulamada Kullanılan Zemin Malzemelerinin Parametreleri

Parametreler	Sembol	Kil Zemin I	Kil Zemin II	Kum Dolgu	Kum Yastık	Çakıl Kolon	Birim
Malzeme Modeli	-	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Linear Elastik	Mohr Coulomb	-
Davranış Biçimi	-	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	
Kuru Birim Hacim Ağırlığı	γ_{dry}	16	16	16	16	20	kN/m ³
Suya Doygun Birim Hacim Ağırlığı	γ_{wet}	18,5	18,5	20	20	23	kN/m ³
Yatay Permeabilite	k_x	10^{-4}	10^{-4}	1	1	1	m/gün
Düşey Permeabilite	k_y	10^{-4}	10^{-4}	1	1	1	m/gün
Young Modülü	E_{ref}	5.000	10.000	50.000	30.000	240.000	kN/m ²
Poisson Oranı	ν	0,33	0,33	0,3	0,3	0,3	-
Kohezyon	c_{ref}	3	10	1	1	1	kN/m ²
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ	25	28	30	30	36	(°)
Genleşme Açısı	ψ	0	0	0	0	6	(°)
Hacimsel Sıkışma Katsayısı	m_v	2×10^{-4}	1×10^{-4}	2×10^{-5}	3×10^{-5}	4×10^{-6}	m ² /kN

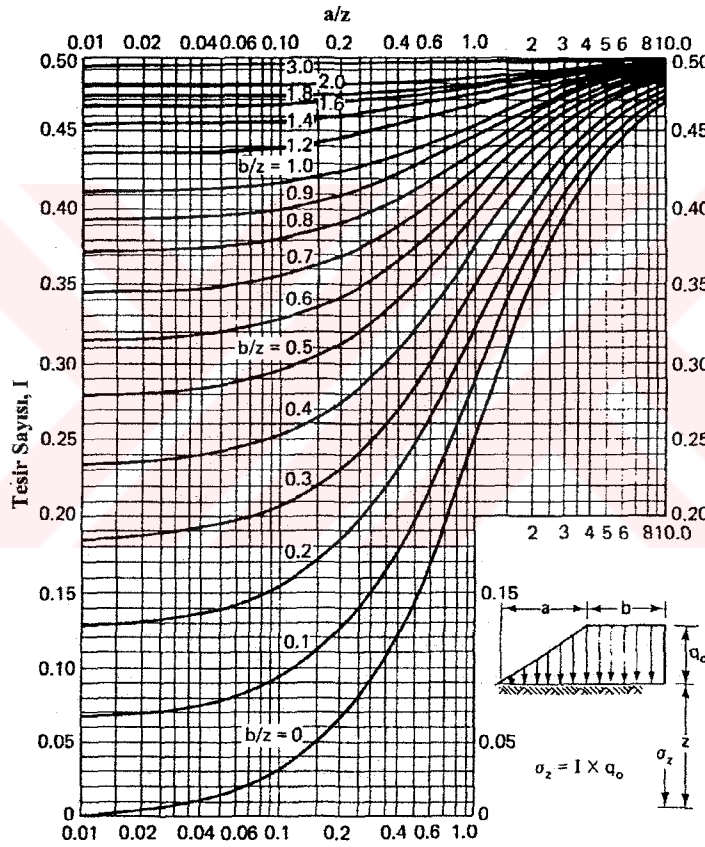
Burada, dolgu suya doymadığından, bu oturmanın süratle meydana geleceği gözönünde tutulmalıdır. Şüphesiz sıkıştırma iyi değilse, m_v büyük ve dolayısı ile oturma büyük olacak, malzeme iyi ve sıkıştırma usulüne göre tabakalar halinde yapılmışsa bu oturma ihmal edilebilir mertebede kalacak ve dolgu yapımı sırasında büyük kısmı tamamlanacaktır.

Dolgu merkezi boyunca 8 m'lik dolgu yükünden zemine aktarılan maksimum taban basıncı,

$$\gamma.H = 16 \times 8 = 128 \text{ kN/m}^2 \quad (5.9)$$

olarak hesaplanır. Dolgu merkez düşeyinde zeminde yer alacak gerilme dağılımlarının hesabı için Şekil 5.129'da verilen diyagramdan yararlanılmıştır.

Tablo 5.49'da 30 m kalınlığındaki sıkışabilir kil zeminde derinlik boyunca meydana gelen gerilme artışları gösterilmektedir. Bu veriler doğrultusunda dolgu temel zemininin merkezinde meydana gelen oturmalar hesaplanarak Tablo 5.50'de sunulmuştur.

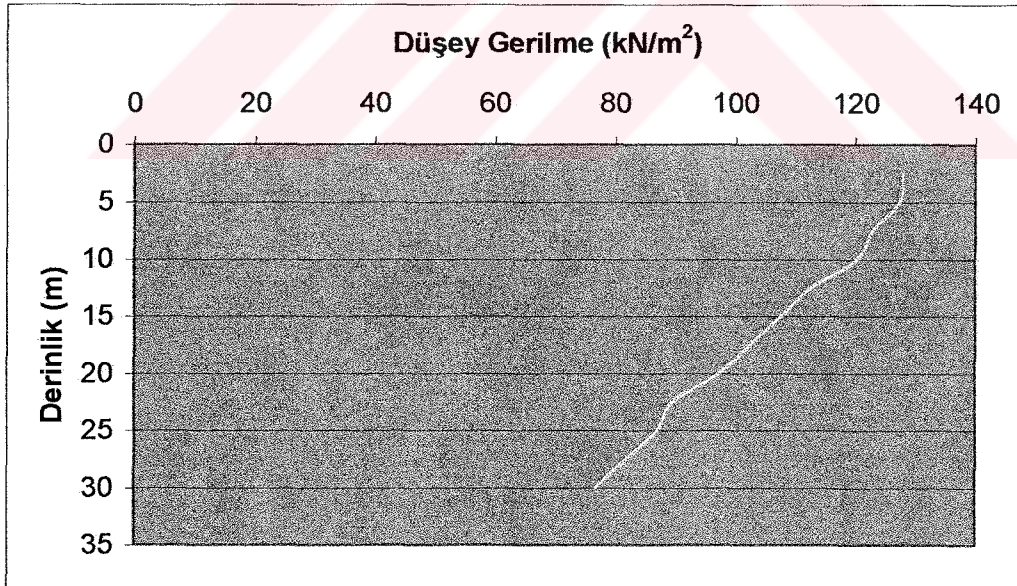


Şekil 5.129 Trapez şerit yüklü alanlara ait I_p tesir sayıları grafiği [14]

Tablo 5.49 Dolgu Merkez Düşeyinde Zeminde Meydana Gelen Gerilmeler

Derinlik z (m)	a/z	b/z	Tesir Sayısı I_p	Dolgunun Üniform Yüğü (kN/m ²)	GerilmeArtışı $\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)
2,5	6,4	4	0,50	128	128
5	3,2	2	0,498	128	127,49
7,5	2,13	1,33	0,48	128	122,88
10	1,6	1	0,47	128	120,32
12,5	1,28	0,8	0,44	128	112,64
15	1,06	0,67	0,42	128	107,52
17,5	0,91	0,57	0,40	128	102,40
20	0,8	0,5	0,38	128	97,28
22,5	0,71	0,44	0,35	128	89,60
25	0,64	0,4	0,34	128	87,04
27,5	0,58	0,36	0,32	128	81,92
30	0,53	0,33	0,30	128	76,80

Şekil 5.130'da ise Tablo 5.28'de elde edilen düşey gerilme değerlerinin derinlikle değişimini gösteren grafik yer almaktadır.



Şekil 5.130 Düşey gerilmenin derinlikle değişimi

Tablo 5.50 Dolgu Merkez Düşeyinde Oturma Analizi

Derinlik z (m)	Gerilme Artışı $\Delta\sigma_z$ (kN/m ²)	Sıkışma Modülü m_v (m ² /kN)	Tabaka Kalınlığı H (m)	Oturma Miktarı $S = m_v \cdot H \cdot \Delta\sigma_z$ (m)
5	127,49	$1,35 \times 10^{-4}$	5	$8,61 \times 10^{-3}$
10	120,32	$1,35 \times 10^{-4}$	5	$8,12 \times 10^{-3}$
15	107,52	$1,35 \times 10^{-4}$	5	$7,26 \times 10^{-3}$
20	97,28	$1,35 \times 10^{-4}$	5	$6,57 \times 10^{-3}$
25	87,04	$1,35 \times 10^{-4}$	5	$5,88 \times 10^{-3}$
30	76,80	$1,35 \times 10^{-4}$	5	$5,18 \times 10^{-3}$
			Toplam	41,62 cm

Dolgu üst yüzünde eksen boyunca oturmadan ileri gelen toplam oturma ise,

$$H = \Delta H_{Dolgu} + \Delta H_{Zemin} = 0,69 + 41,62 = 42,31 \text{ cm} \quad (5.10)$$

olarak hesaplanır.

Zeminde meydana gelecek olan konsolidasyonun süresini hesaplayacak olursak; çakıl kolon kullanılmadan önce zeminde meydana gelen 42,31 cm'lik konsolidasyon oturmasının ne kadar bir sürede meydana geldiğini

$$Tv = \frac{c_v}{H_d^2} \cdot t \quad (5.11)$$

denklemden elde edebiliriz.

Burada,

T_v : Zaman Faktörü.

H_d : Drenaj mesafesi olup, iki tarafı geçirimli zemin tabakasında,

$$H_d = \frac{H}{2} \quad (5.12)$$

altı geçirimsiz tabakada,

$$H_d = H \quad (5.13)$$

dır. Ele aldığımız problemde zemin yalnız üstten drenajlı olduğundan uygulamada Denklem 5.13 kullanılacaktır.

c_v : Konsolidasyon katsayısı olup,

$$c_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_w} \quad (5.14)$$

denklemini ile hesap edilir. Burada,

k : Permeabilite katsayısı

m_v : Hacimsel sıkışma katsayısı

γ_w : Suyun Birim hacim ağırlığı

olarak verilmiştir. Verilen değerler Denklem 5.14'te yerine konulduğunda;

$$c_v = \frac{10^{-4}}{1,35 \times 10^{-4} \cdot 10} = 0,074 \text{ m}^2 / \text{gün} \quad (5.15)$$

olarak bulunur.

Tablo 5.51 Zemin için (U- T_v) bağıntısı

U	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00
T_v	0.008	0.031	0.071	0.126	0.197	0.287	0.403	0.567	0.848	∞

Verilen değerler doğrultusunda, zemine çakıl kolon uygulaması yapılmadan önce kil zeminde meydana gelen konsolidasyon oturmasının %90'a ulaşması için gerekli süre; Tablo 5.51 ve Denklem 5.11 yardımı ile aşağıda verildiği gibi hesaplanabilir.

$$U = \%90 \quad T_v = 0,848 \quad (5.16)$$

$$0,848 = \frac{0,074}{30^2} t \Rightarrow t = 10313 \text{ gün} \cong 29 \text{ yıl} \quad (5.17)$$

Görüldüğü üzere çakıl kolon kullanılmadığı takdirde zeminin konsolidasyon süresi 29 yıl gibi çok uzun bir süre teşkil etmektedir. Bu süreyi kısaltmak amacıyla zemine farklı çap ve aralıklarda çakıl kolon uygulaması gerçekleştirilebilir. Zemin içerisine yerleştirilen çakıl kolonlar, konsolidasyonun hem düşey hem de yatay yönde meydana gelmesine sebep olur ve konsolidasyon tek boyutlu olmaktan çıkıp drenaj

şartlarına göre iki veya üç boyutlu olur. Boşluk suyunun zemini terketmesi kolaylaşacağından zemin oturması daha kısa sürede gerçekleşecektir. Bu bağlamda zemine uygulanan çakıl kolon sonrası meydana gelen üç boyutlu konsolidasyon, tek boyutlu konsolidasyon ile radyal doğrultudaki akımdan doğan konsolidasyondan faydalanılarak hesaplanabilir[12].

$$1 - U = (1 - U_r)(1 - U_v) \quad (5.18)$$

Burada;

U : Üç boyutlu akımdan doğan konsolidasyon yüzdesi

U_v : Düşey doğrultudaki akımdan doğan konsolidasyon yüzdesi

U_r : Radyal doğrultudaki akımdan doğan konsolidasyon yüzdesi

olarak verilmiştir. $U_v = f(T_v)$ bağıntısı Tablo 5.51'de ve $U_r = f(T_r)$ bağıntısı Tablo 5.52'de verilmiştir.

Tablo 5.52 Radyal Doğrultuda Akım Halinde ($U_r - T_r$) Bağıntısı

$U_r(\%)$	n						
	5	10	20	40	60	90	100
10	0,012	0,021	0,030	0,039	0,044	0,048	0,051
20	0,026	0,044	0,063	0,082	0,092	0,107	0,110
30	0,042	0,070	0,101	0,131	0,149	0,162	0,172
40	0,060	0,101	0,144	0,188	0,214	0,232	0,246
50	0,081	0,137	0,195	0,255	0,290	0,315	0,334
60	0,107	0,180	0,258	0,337	0,383	0,416	0,441
70	0,137	0,231	0,330	0,431	0,490	0,532	0,564
80	0,188	0,317	0,453	0,592	0,673	0,730	0,775
90	0,270	0,455	0,649	0,847	0,693	1,046	1,110
95	0,351	0,590	0,844	1,102	1,253	1,360	1,444

Radyal konsolidasyon için;

$$T_r = \frac{c_r}{(2R)^2} t \quad (5.19)$$

dir. Burada;

c_r : Yatay yöndeki konsolidasyon katsayısıdır.

R : Çakıl kolonlar kare şeklinde yerleştirildiğinden;

$$R = 0,564.S \quad (5.20)$$

olarak hesaplanır.Burada;

S : çakıl kolonlar arası mesafe

olarak verilmiştir. Bu durumda verilen değerler yerine konduğunda;

$$R = 0,564S = 0,564 \times 300 = 169,2 \text{ cm}$$

$$n = \frac{R}{r_o} = \frac{169,2}{30} = 5,64 \quad (5.21)$$

elde edilir. Burada r_o çakıl kolon yarıçapı olarak verilmiştir. $U = \%90$ olması için gerekli zaman, ancak U konsolidasyon yüzdesi ile t zaman arasındaki bağıntının belirlenmesi ile bulunabilir. Bu bağıntı ise, çeşitli zamanlara tekabül eden U değerlerinin Denklem 5.18 yardımı ile hesaplanmasıyla belirlenebilir. Tablo 5.53'te düşey ve radyal doğrultudaki akımdan doğan konsolidasyonun zaman faktörleri hesaplanmış ve bu zaman faktörlerine tekabül eden konsolidasyon yüzdeleri Tablo 5.51 ve Tablo 5.52'den, değerler arasında enterpolasyon yapılarak belirlenmiştir. Belirlenen konsolidasyon değerleri Denklem 5.18'de yerine konularak üç boyutlu akımdan doğan konsolidasyon yüzdesi, $U = \%90,5$ 'e tekabül eden $t_{90} = 45$ gün değeri bulunmuştur.

Tablo 5.53 Çakıl Kolon Uygulanan Zeminde Konsolidasyon Süresinin Hesaplanması

t (gün)	$T_r = \frac{c_v}{(2R)^2} t$	$T_v = \frac{c_v}{H_d^2} t$	U_r %	U_v %	U %
1	2	3	4	5	6
40	0,256	$3,29 \times 10^{-3}$	86	4,11	86,6
45	0,288	$3,71 \times 10^{-3}$	90	4,62	90,5
60	0,384	$4,93 \times 10^{-3}$	95	6,16	95,3
80	0,512	$6,58 \times 10^{-3}$	95	8,22	95,4
100	0,640	$8,22 \times 10^{-3}$	95	10,27	95,5

Görüldüğü gibi, dolgu altına çakıl kolon uygulanması oturma için gerekli zamanı %99,6 oranında azaltmıştır.

$$(10313-45) / 10313 = \%99,6 \quad (5.22)$$

oranında azaltmaktadır.

5.9 Güvenlik Faktörünün Tayini

Yumuşak kil zemin üzerine oturtulan 8 m'lik kum dolgunun şev stabilitesinin tahkiki GGU – Stability programı ile gerçekleştirilmiştir. Dolgu ve zemin boyut ve özellikleri programa girilir, zemin ve dolgu modellenir. Program, çok sayıda kayma yüzeyi oluşturarak bu kayma yüzeyleri için güvenlik faktörlerini inceler. Sonuç olarak elde edilen en düşük güvenlik faktörü dikkate alınır.

Analizler sonucunda 8 m'lik kum dolgu için güvenlik faktörü, $G_s = 1,369$; 12 m'lik kum dolgu için $G_s = 1,316$ olarak bulunmuştur. Analiz sonucunda elde edilen program çıktıları Ek 1'de verilmiştir.

6. SONUÇ

Zemin mühendisliğinde sıkça karşılaşılan zemin güçlendirme problemi çelik, betonarme yapı elemanları, taş kolonlar, geotekstiller gibi çeşitli yapı malzemeleri ile çözüme ulaşmaktadır. Bu yapı malzemelerinden geotekstiller; düşük maliyetleri ve ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma, yalıtım gibi geniş bir kullanım yelpazesine sahip olmaları bakımından günümüzde yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

Taş kolonlar ise günümüzde sıkça kullanılan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Gerek ince daneli gerekse kaba daneli zeminlere uygulanabilen taş kolonlar; konsolidasyonu hızlandırmak, taşıma kapasitesini arttırmak, sıvılaşma potansiyelini azaltmak, dolgu ve şev stabilitesini sağlamak gibi bir çok amaçla kullanılmaktadırlar.

Bu çalışmada, yumuşak kil zemine oturan kum dolgunun taşıma gücü güvenliğinin geotekstiller ve çakıl kolonlarla artırılması incelenmiştir. 8 ve 12 m'lik kum dolgular, geçirimsiz kaya zemin üzerinde yeralan 15 m'lik orta katı kil ve onun üzerinde yeralan 30 m'lik yumuşak kil zeminden oluşan 45 m'lik zemin üzerine oturtulmuşlardır. Dolguların taşıma gücü güvenliğini arttırmak üzere dolgu ve zeminde geotekstil ve çakıl kolon uygulamaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Analizlerde Plaxis programından faydalanılarak, belirli aralıklarda geotekstil donatı uygulanan kum dolgular, topuk noktasında meydana gelebilecek local deformasyona karşı kum yastık üzerine oturtularak incelenmişlerdir. Analizler sonucunda elde edilen sonuçlarda zeminde meydana gelen deformasyonlarda azalma meydana geldiği görülmüştür. Ancak bu uygulamalarda elde edilen iyileştirmeler yeterli görülmemekte ve özellikle konsolidasyon çok uzun sürede tamamlanmaktadır.

Oturma miktarını ve konsolidasyon süresini azaltmak amacıyla dolgu altındaki yumuşak kil zemine çakıl kolon uygulanmıştır. $\phi 40$, $\phi 60$ ve $\phi 80$ olmak üzere üç değişik çapta çakıl kolon; sırasıyla 2 m, 3 m ve 4 m olmak üzere üç farklı aralıkta uygulanmıştır. 20 m'lik çakıl kolonların çevresi elastik rijitliği 1200 kN/m olan geotekstillerle sarılmıştır. Kullanılacak çakıl kolonların rijitliklerinde azaltılmaya

gidilecektir. Birim genişlik için çözüm yapan Plaxis programında çakıl kolonların tanımlanabilmesi amacıyla çakıl malzemenin $E_{ref} = 240.000 \text{ kN/m}^2$ değeri kolon ara mesafesine bölünerek rijitlik azaltması gerçekleştirilecektir. Çakıl kolon uygulamaları sonucunda zeminde meydana gelen deformasyonlarda % 50'ye varan azalma gözlenmiştir. Ayrıca radyal drenaja imkan sağlayan çakıl kolonlar sayesinde konsolidasyon süresinde %99.6'ya varan bir kısalma elde edilmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **Abramson, L.W., Lee, T.S., Sharma, S., Boyce, G.M.,** 1996. Slope Stability and Satbilzation Methods, John Wiley & Sons, Inc., New York
- [2] **Aksoy, İ. M.,** 1993. Modern yol inşaatında geotekstil ve geogrid uygulaması konularında araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] **Bowles, J.E.,** 1997. Foundation Analysis and Design, 5th Ed., McGraw-Hill Book Company, Singapore
- [4] **Chai, J., Bergado, D.T.,** 1993. Performance of Reinforced Embankment on Muar Clay Deposit, Soils and Foundation.
- [5] **Çoruh, H.T.,** 1993. Geosentetikler, D.S.İ. Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı, Ankara
- [6] **Das, M.B.,** 1999. Principles of Foundation Engineering, 4th Ed., PWS Publishing, U.S.A.
- [7] **Gerard P.T.M.,** 1994. Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, A.A. Balkema, Rotterdam
- [8] **Güler, E.,** 1987. Şev Stabilizasyonunda Yeni Bir Malzeme: Geotekstil, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 2. Ulusal Kongresi, İstanbul
- [9] **Holtz, R.D., & Kovacs, W.D.,** (1981) "An Introduction to Geotechnical Engineering," Prentice Hall, Inc., New Jersey
- [10] **Holtz, R.D.,** 1988. Geosynthetics For Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, New York.
- [11] **Jewell, R.A.,** 1996. Soil Reinforcement with Geotextile, Construction Industry Research and Information Association, London
- [12] **Kip, F., & Kumbasar, V.,** (1984) "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği," Çağlayan Kitabevi
- [13] **Lancellotta, R.,** 1995. Geotechnical Engineering, A.A. Balkema, Rotterdam
- [14] **Özaydın, K.,** (1988) "Zemin Mekaniği," Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [15] **Rowe, R.K.,** 2001. Geotechnical and Geoenviromental Engineering Handbook, Kluwer Academic Publishers, U.S.A.

- [16] **Van Impe, W.F.**, 1989. Soil Improvement Techniques and Their Evolution, A.A. Balkema Publishers, USA.
- [17] **Wasti, Y.**, 1992. Geotekstillerin Kullanım ve Seçim Esasları, Vateks A.Ş. Teknik Yayınları
- [18] **Yetimoğlu, T.**, 1991. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstiller, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Komitesi Bülteni, İstanbul



sonuc case B.txt

Slope stability analysis acc. to EC 7
using circular sliding surfaces

Parameter list

1/f = utilisation factor acc. to EC 7
xm,ym = x,y value of sliding circle centre-point
rad = slip circle radii

Movement direction of sliding body to the left

Coordinates of surface points

No.	x [m]	y [m]
1	0.000	15.000
2	50.000	15.000
3	66.000	23.000
4	86.000	23.000
5	102.000	15.000
6	152.000	15.000

Partial safety factors

Friction angle (drained) = 1.000
Cohesion (drained) = 1.000
Friction angle (undrained) = 1.000
Cohesion (undrained) = 1.000
Unit weight = 1.000

Characteristic soil properties

Soil	phi [°]	c [kN/m ²]	gamma [kN/m ³]	pw [-]	designation
1	30.00	1.00	16.00	0.00	kum dolgu
2	25.00	3.00	16.00	0.00	yumusak kil
3	25.00	3.00	18.50	0.00	yumusak kil
4	28.00	10.00	18.50	0.00	orta kati kil

Design soil properties

Soil	phi [°]	c [kN/m ²]	gamma [kN/m ³]	pw [-]	drained	designation
1	30.00	1.00	16.00	0.00	Yes	kum dolgu
2	25.00	3.00	16.00	0.00	Yes	yumusak kil
3	25.00	3.00	18.50	0.00	Yes	yumusak kil
4	28.00	10.00	18.50	0.00	Yes	orta kati

Coordinates of layers and soil numbers

No.	x(left) [m]	y(left) [m]	x(right) [m]	y(right) [m]	soil no.
1	50.000	15.000	102.000	15.000	1
2	0.000	13.500	152.000	13.500	2
3	0.000	-15.000	152.000	-15.000	3
4	0.000	-30.000	152.000	-30.000	4

Coordinates of porewater press. polygon course

No.	x [m]	y [m]
1	0.000	13.500
2	152.000	13.500

Earthquake loads (as acceleration values)

horizontal eh/g = 0.0000
vertikal ev/g = 0.0000

sonuc case B.txt

Water level in front of slope left [m] = 13.50
Water level in front of slope right [m] = 13.50

Gamma water [kN/m³] = 10.000

Calculation with consideration of passive earth pressure wedge

Results

Search grid

Type of search radius

"Perpendicular" tangents

x / y (start): 50.0000 15.0000

x / y (end): 49.9977 -8.9766

No. of radii = 40

Sliding body no. 152

$1/f = 0.7274 = [M(Gi) + M(S)] / [M(Ti) + M(R)]$

xm = 45.5105

ym = 45.7442

Radius = 30.7437

Numer. = 3069.2169

Denom. = 4219.3340

M(Ti) = 4219.3340

M(R) = 0.0000

- from anchors = 0.0000

- from soil dowels = 0.0000

- from soil-nails = 0.0000

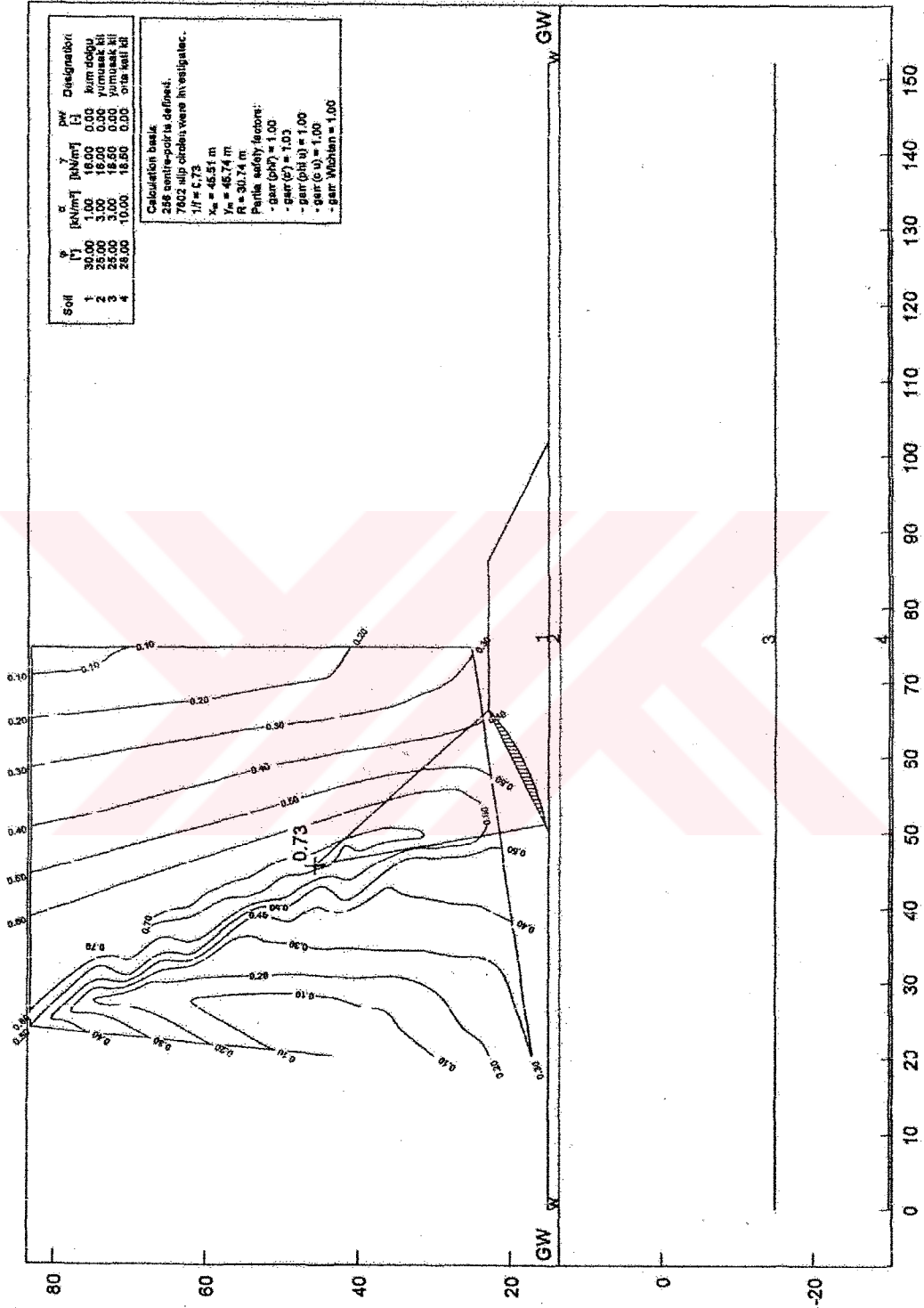
- from geosynthetics = 0.0000

- from point loads = 0.0000

M(Gi) = 3069.2169

M(S) = 0.0000

- from anchors = 0.0000



Şekil A1.1 8 m'lik kum dolgu için şev stabilitesi kritik kayma yüzeyi

Slope stability analysis acc. to EC 7
using circular sliding surfaces

Parameter list

1/f = utilisation factor acc. to EC 7
xm,ym = x,y value of sliding circle centre-point
rad = slip circle radii

Movement direction of sliding body to the left

Coordinates of surface points

No.	x [m]	y [m]
1	0.000	15.000
2	50.000	15.000
3	74.000	27.000
4	102.000	27.000
5	126.000	15.000
6	176.000	15.000

Partial safety factors

Friction angle (drained) = 1.000
Cohesion (drained) = 1.000
Friction angle (undrained) = 1.000
Cohesion (undrained) = 1.000
Unit weight = 1.000

Characteristic soil properties

Soil	phi [°]	c [kN/m ²]	gamma [kN/m ³]	pw [-]	designation
1	30.00	1.00	16.00	0.00	kum dolgu
2	25.00	3.00	16.00	0.00	yumusak kil
3	25.00	3.00	18.50	0.00	yumusak kil
4	28.00	10.00	18.50	0.00	orta kati kil

Design soil properties

Soil	phi [°]	c [kN/m ²]	gamma [kN/m ³]	pw [-]	drained	designation
1	30.00	1.00	16.00	0.00	Yes	kum dolgu
2	25.00	3.00	16.00	0.00	Yes	yumusak kil
3	25.00	3.00	18.50	0.00	Yes	yumusak kil
4	28.00	10.00	18.50	0.00	Yes	orta kati kil

Coordinates of layers and soil numbers

No.	x(left) [m]	y(left) [m]	x(right) [m]	y(right) [m]	Soil no.
1	50.000	15.000	126.000	15.000	1
2	0.000	13.500	176.000	13.500	2
3	0.000	-15.000	176.000	-15.000	3
4	0.000	-30.000	176.000	-30.000	4

Coordinates of porewater press. polygon course

No.	x [m]	y [m]
1	0.000	13.500
2	176.000	13.500

Earthquake loads (as acceleration values)

horizontal eh/g = 0.0000
vertikal ev/g = 0.0000

water level in front of slope left [m] = 13.50

water level in front of slope right [m] = 13.50

Gamma water [kN/m³] = 10.000

calculation with consideration of passive earth pressure wedge

sliding body no. 54

$1/f = 0.7620 = [M(Gi) + M(S)] / [M(Ti) + M(R)]$
 $xm = 38.2259$
 $ym = 70.3707$
Radius = 56.5685
Numer. = 13200.7043
Denom. = 17324.5297
 $M(Ti) = 17324.5297$
 $M(R) = 0.0000$
- from anchors = 0.0000
- from soil dowels = 0.0000
- from soil-nails = 0.0000
- from geosynthetics = 0.0000
- from point loads = 0.0000
 $M(Gi) = 13200.7043$
 $M(S) = 0.0000$
- from anchors = 0.0000

Sum M due to horizontal water pressure = 0.0000

slice values

$x = x$ (slice toe)
 $y = y$ (slice toe)
 $b =$ slice width
 $\phi =$ friction angle
 $c =$ cohesion
PWP = porewater press. coeff.
tet = inclination of slice
 $g =$ weight
 $n =$ normal force
 $t =$ tangential force
pw = porewater pressure
pw(con) = excess porewater pressure due to consolidation
wv = vertical water pressure
wh = horizontal water pressure
pst = permanent loads and foundation
pv = live loads
fakpv = factor for live loads

No.	x	y	b	phi	c	PWP	tet	g	n
	[m]	[m]	[m]	[°]	[kN/m ²]	[-]	[°]	[kN/m]	[kN/m]
pw	pw(con)	wv	pst	pv	fakpv				
[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]	[-]				
1	50.551	15.161	0.813	30.0	1.0	0.00	12.6	1.5	1.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
2	51.364	15.349	0.813	30.0	1.0	0.00	13.4	4.3	4.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
3	52.177	15.550	0.813	30.0	1.0	0.00	14.3	7.0	6.5
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
4	52.991	15.763	0.813	30.0	1.0	0.00	15.1	9.5	8.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
5	53.804	15.990	0.813	30.0	1.0	0.00	16.0	11.9	11.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
6	54.617	16.229	0.813	30.0	1.0	0.00	16.8	14.0	13.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
7	55.431	16.482	0.813	30.0	1.0	0.00	17.7	16.0	14.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
8	56.244	16.749	0.813	30.0	1.0	0.00	18.6	17.9	16.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
9	57.057	17.029	0.813	30.0	1.0	0.00	19.4	19.5	17.9
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
10	57.871	17.323	0.813	30.0	1.0	0.00	20.3	21.0	19.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
11	58.684	17.631	0.813	30.0	1.0	0.00	21.2	22.3	20.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
12	59.497	17.954	0.813	30.0	1.0	0.00	22.1	23.4	21.4
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
13	60.310	18.291	0.813	30.0	1.0	0.00	23.0	24.3	22.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
14	61.124	18.644	0.813	30.0	1.0	0.00	23.9	25.0	22.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
15	61.937	19.012	0.813	30.0	1.0	0.00	24.8	25.5	23.3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				

				2.22.erg					
16	62.750	19.395	0.813	30.0	1.0	0.00	25.7	25.8	23.6
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
17	63.564	19.794	0.813	30.0	1.0	0.00	26.6	25.9	23.7
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
18	64.377	20.210	0.813	30.0	1.0	0.00	27.5	25.7	23.6
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
19	65.190	20.642	0.813	30.0	1.0	0.00	28.5	25.4	23.3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
20	66.004	21.092	0.813	30.0	1.0	0.00	29.4	24.9	22.9
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0				
21	66.817	21.559	0.813	30.0	1.0	0.00	30.4	24.1	22.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
22	67.630	22.045	0.813	30.0	1.0	0.00	31.3	23.0	21.3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
23	68.444	22.549	0.813	30.0	1.0	0.00	32.3	21.8	20.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
24	69.257	23.073	0.813	30.0	1.0	0.00	33.3	20.2	18.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
25	70.070	23.617	0.813	30.0	1.0	0.00	34.3	18.5	17.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
26	70.884	24.181	0.813	30.0	1.0	0.00	35.3	16.4	15.3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
27	71.697	24.767	0.813	30.0	1.0	0.00	36.3	14.1	13.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
28	72.510	25.375	0.813	30.0	1.0	0.00	37.3	11.4	10.8
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
29	73.324	26.007	0.813	30.0	1.0	0.00	38.3	8.5	8.1
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				
30	74.137	26.663	0.813	30.0	1.0	0.00	39.4	4.4	4.2
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1				

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
-----	-----	-----	-----	-----

533.0

ÖZGEÇMİŞ

H. Anıl Afatoğlu, 1977 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğrenimini Hasan Ali Yücel İlkokulu’nda; orta ve lise öğrenimini Kadıköy Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra, 1996 yılında Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne öğrenimine başladı. 2001 yılında bu bölümden mezun olduktan sonra aynı yıl İ.T.Ü. İnşaat Anabilim Dalı Geoteknik Programında yüksek lisans öğrenimine başladı.

