

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEOTEKSTİLLER ve PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. E. İlke TÖREMİŞ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Geoteknik

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Mete İncecik

EKİM 2003

**GEOTEKSTİLLER ve PLAXIS SONLU ELEMANLAR
PROGRAMI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. E. İlke TÖREMİŞ
501011562**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Eylül 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 22 Ekim 2003**

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

EKİM 2003

ÖNSÖZ

Yüksek lisans 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 Arş. Gör. Müge Balkaya'ya teşekkür ederim.

Beni maddi manevi yönden destekleyen ve her zaman yanımda olan aileme gösterdikleri sabır ve anlayış için teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

İstanbul, Ekim 2003

E. İlke TÖREMİŞ

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	vi
TABLO LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
1.GİRİŞ	1
1.1. Geotekstil Donatılı Zeminler	2
1.1.1. Geosentetikler	2
1.1.1.1. Geotekstillerin tanımı ve kullanımında temel sebepler	4
1.1.1.2. Geotekstil ürün özelliklerinin dağılımı	5
2. GEOTEKSTİLLERİN ÖZELLİKLERİ VE İŞLEVLERİ	7
2.1. Genel	27
2.2. Geotekstil Üretimindeki Hammaddeler	7
2.3. Üretim Metodları	7
2.3.1. Örgülü geotekstiler	9
2.3.1.1. Örgülü geotekstilin kullanım amaçları	10
2.3.1.2. Örgülü geotekstilin kullanım alanları	12
2.3.2. Örgüsüz Geotekstiler	12
2.3.2.1. Örgüsüz geotekstilin kullanım amaçları	13
2.3.2.2. Örgüsüz geotekstilin kullanım alanları	13
2.4. Geotekstillerin İşlevleri	14
2.4.1. Ayırma	14
2.4.2. Filtrasyon	14
2.4.3. Drenaj	14
2.4.4. Güçlendirme	16
2.4.5. Koruma	17
2.4.6. Yalıtım	17
2.5. Geotekstillerin Özellikleri ve Test Yöntemleri	19
2.6. Geotekstil Serilebilir Yerler	21
2.7. Geotekstillerin Uzun Vadede Özellik Değişimleri	22
2.8. Geotekstil ve Geogridlerde Ek Yeri	24
2.8.1. Genel	24
2.8.2. Ek tipleri	24

2.8.2.1. Örgülü ekler	24
2.8.2.2. Yapıştırma ekler	25
2.8.2.3. Şişleme ekler	25
2.8.3. Test yorulması	25
2.8.3.1. Örgülü ekler	25
2.8.3.2. Yapıştırma ekler	26
2.8.3.3. Şişleme ekler	26
2.8.4. Sonuçlar	26
2.9. Arazide Dikkat Edilecek Hususlar	27
3. DOLGULARDA GEOTEKSTİL UYGULAMALARI, TASARIMI, PARAMETRİK DEĞERLERİ ve HESAP YÖNTEMLERİ	29
3.1. Geotekstil Destekli Kaplamasız Yol Tasarımı	29
3.2. Geotekstilde Hesap ve Tasarım Metodları	30
3.2.1. Ayırma fonksiyonu	30
3.2.2. Filtrasyon fonksiyonu	30
3.2.2.1. Zemin sıklılığı	31
3.2.2.2. Geçirimsizlik	31
3.2.3. Drenaj ve sert yüzey	32
3.2.4. Güçlendirme fonksiyonu	32
4. PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI	35
4.1. Sayısal Yöntemler	35
4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi	36
4.3. Plaxis Programı	38
5. PLAXIS PROGRAMI İLE YUMUŞAK BİR KİL ZEMİN ÜZERİNE DOLGU YAPILMASININ İNCELENMESİ	43
5.1. Analizde Esas Alınan Zemin Ortamının Simetrik Kesiti	44
5.2. Dolgunun Kum Zemin Üzerine Geotekstil Donatılı Olarak Serilmesi	47
5.2.1. Dolgunun yumuşak zemine oturtulması ve arasına geotekstil serilmesi	47
5.2.2. Tabandaki yumuşak zeminin kazılarak 1 m. kum şilte serilmesi ve üzerine donatılı dolgunun oturtulması	50
5.2.3. Tabandaki yumuşak zeminin kazılarak 1,5 m kum şilte serilmesi ve şilte içine üç sıra geotekstil serili dolgu oturtulması	54
5.2.4. Tabandaki yumuşak zeminin kazılarak kum şilte serilen ve üzerine 6 m donatılı dolgu oturtulan 3 farklı analizin karşılaştırılması	58
5.3. Kum Zemin Üzerine Daha Yüksek Bir Geotekstil Donatılı Dolgu Serilmesi	60
5.3.1. Tabandaki yumuşak zeminin kazılarak 1,5 m kum şilte serilmesi ve üzerine 12 m kalınlığındaki donatılı dolgunun oturtulması	60
5.3.2. Tabandaki yumuşak zeminin kazılarak 1,5 m kum şilte serilmesi ve üzerine 10 m kalınlığındaki donatılı dolgunun oturtulması	64

5.3.3. Tabandaki yumuşak zeminin kazılarak 1,5 m kum şilte serilmesi ve üzerine yüksekliği arttırılan 2 farklı donatılı dolgunun analizlerinin karşılaştırılması	67
5.4. Konsolidasyon Oturmasının Tahkiki	69
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR	74
EKLER	77
ÖZGEÇMİŞ	83

KISALTMALAR

ASTM	: American Society of Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio
PVC	: Polivinil Klorid
AOS	: Görünür Açıklık Boyutu
POA	: Açık Alan Oranı
H	: Hammit, G
S	: Sellmeijer
B	: Barenberg, E.J
MC	: Mohr-Coulomb
HS	: Hardening Soil Model
SSC	: Soft Soil Creep Model

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Polimer malzemelerin özellikleri	8
Tablo 2.2. Örgüsüz geotekstillerin kullanım alanları.....	13
Tablo 2.3. Geotekstillerin işlevleri	18
Tablo 2.4. Geotekstil seçiminde etken özellikler ve parametreler.....	19
Tablo 2.5. Geotekstillerin uzun vadede mukavemet değişimleri.....	23
Tablo 5.1. Ortamdaki Zemin Parametreleri.....	43
Tablo 5.2. Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar.....	49
Tablo 5.3. Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar.....	53
Tablo 5.4. Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar.....	57
Tablo 5.5. Yapılan analizlerin nümerik değerleri.....	59
Tablo 5.6. Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar.....	62
Tablo 5.7. Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar.....	65
Tablo 5.8. Yapılan analizlerin nümerik değerleri.....	67
Tablo 5.9. Zemin için (U- T_v) bağıntısı.....	69
Tablo 6.1. Yapılan bütün analizlerin nümerik değerleri.....	73

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : Geotekstilin ayırma amacı.....	10
Şekil 2.2 : Geotekstilin takviye amacı.....	10
Şekil 2.3 : Alt zeminin bölgesel oturması.....	11
Şekil 2.4 : Alt zeminin bölgesel çökmesi.....	11
Şekil 2.5 : Geotekstilin ayırma işlevi.....	14
Şekil 2.6 : Geotekstilin filtrasyon işlevi.....	15
Şekil 2.7 : Geotekstilin drenaj işlevi.....	16
Şekil 2.8 : Geotekstilin koruma işlevi.....	17
Şekil 2.9 : Örgülü eklerde dikiş tipleri.....	25
Şekil 2.10 : Yapıştırma ek tipleri.....	27
Şekil 4.1 : Analizde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları.....	39
Şekil 5.1 : Analizi yapılacak gerçek zemin ortamı.....	44
Şekil 5.2 : Donatısız dolgunun detaylı görünümü.....	44
Şekil 5.3 : Donatısız dolgunun yüklenmesi sırasında topuk noktasındaki (20;45) noktası) yer değiştirme-zaman grafiği.....	46
Şekil 5.4 : Donatısız dolgunun 2 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40) noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği.....	46
Şekil 5.5 : 1 m kum tabakası üzerindeki 3 sıra donatılı dolgunun zemin ortamı.....	47
Şekil 5.6 : 1 m kum tabakası üzerindeki 3 sıra donatılı dolgunun detaylı görünümü.....	48
Şekil 5.7 : 3 sıra donatılı zeminin topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme- zaman grafiği.....	49
Şekil 5.8 : 3 sıra donatılı zeminin 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği....	50
Şekil 5.9 : 1 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun donatılı zemin ortamı.....	51
Şekil 5.10 : 1 m kum tabakası üzerine serilen 6 sıra donatılı dolgunun detaylı görünümü.....	51
Şekil 5.11 : 1 m. kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun topuk noktasındaki (20;45 noktası) yerdeğiştirme-zaman grafiği	53
Şekil 5.12 : 1 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği.....	54
Şekil 5.13 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun	

donatılı zemin ortamı.....	55
Şekil 5.14 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilen 6 sıra donatılı dolgunun detaylı görünümü.....	55
Şekil 5.15 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği	57
Şekil 5.16 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği.....	58
Şekil 5.17 : Yapılan 3 ayrı analizin topuk noktasındaki (20;45 noktası) deformasyonlarının karşılaştırılması.....	59
Şekil 5.18 : Yapılan 3 ayrı analizin simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.19 : Grafik 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra 12 m kalınlığındaki donatılı dolgunun detaylı görünümü.....	61
Şekil 5.20 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 12 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı zeminin topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği.....	63
Şekil 5.21 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 12 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği.....	63
Şekil 5.22 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra 10 m kalınlığındaki donatılı dolgunun detaylı görünümü.....	64
Şekil 5.23 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 10 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı zeminin topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği.....	66
Şekil 5.24 : 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 10 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği.....	66
Şekil 5.25 : Dolgu yüksekliği 12 m ve 10 m olan iki ayrı dolgunun topuk noktasındaki (20;45 noktası) deformasyonlarının karşılaştırılması	67
Şekil 5.26 : Dolgu yüksekliği 12 m ve 10 m olan iki ayrı dolgunun simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması.....	75
Şekil A1.1 : 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun toplam deformasyonu	
Şekil A1.2 : 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun efektif gerilmesi.....	75
Şekil A1.3 : 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun toplam gerilmesi.....	75
Şekil A1.4 : 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun boşluk suyu basıncı..	75
Şekil A2.1 : 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam deformasyonu.....	76
Şekil A2.2 : 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m dolgunun efektif gerilmesi.....	76
Şekil A2.3 : 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam gerilmesi.....	76
Şekil A2.4 : 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m	

dolgunun boşluk suyu basıncı.....	76
Şekil A3.1 : 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam deformasyonu.....	77
Şekil A3.2 : 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun efektif gerilmesi.....	77
Şekil A3.3 : 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam gerilmesi.....	77
Şekil A3.4 : 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun boşluk suyu basıncı.....	77
Şekil A4.1 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam gerilmesi.....	78
Şekil A4.2 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun efektif gerilmesi.....	78
Şekil A4.3 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam gerilmesi.....	78
Şekil A4.4 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun boşluk suyu basıncı.....	78
Şekil A5.1 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 12 m dolgunun toplam deformasyonu.....	79
Şekil A5.2 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 12 m dolgunun efektif gerilmesi.....	79
Şekil A5.3 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 12 m dolgunun toplam gerilmesi.....	79
Şekil A5.4 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 12 m dolgunun boşluk suyu basıncı.....	79
Şekil A6.1 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 10 m dolgunun toplam deformasyonu.....	80
Şekil A6.2 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 10 m dolgunun efektif gerilmesi.....	80
Şekil A6.3 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 10 m dolgunun toplam gerilmesi.....	80
Şekil A6.4 : 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 10 m dolgunun boşluk suyu basıncı.....	80

SEMBOL LİSTESİ

A,B,C,D ve E	: Sabit katsayılar
B	: Yol genişliği (m)
B_p	: Göçme genişliği (m)
B_t	: Tekerlek genişliği (m)
c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma direnci
c_v	: Konsolidasyon Katsayısı
d	: Duvar kalınlığı (m)
D_{max}	: Maksimum agregatane çapı (m)
e	: Yük dağılım faktörü
E	: Elastisite modülü (kN/m ²)
EI	: Eğilme rijitliği
EA	: Elastik normal rijitlik
F	: Aks yükü (kN)
F_{max}	: Maksimum kuvvet (kN/m)
H	: Agregat tabakası kalınlığı (m)
H_d	: Drenaj mesafesi (m)
h_g	: Geotekstilde hidrolik yük
i	: Hidrolik eğim
k	: Permeabilite katsayısı (m/sn)
k_h	: Düşey permeabilite katsayıları (m/sn)
k_v	: Yatay permeabilite katsayıları (m/sn)
L_s	: Destek aralığı (m)
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı (cm ² /kg)
N	: Tekerlek sayısı
N_c	: Taşıma gücü faktörü
O₉₀	: Zemin sıkılığı
q_o	: Dağılan tekerlek yükü (kN)
q₁	: Taban zemini taşıma kapasitesi
t	: Zaman
T_g	: Geotekstil kalınlığı
T_v	: Zaman Faktörü
U	: Konsolidasyon yüzdesi
v	: Filtre hızı (m/sn)
w	: Taban zemini su kapsamı
w	: Eleman ağırlığı (kN)
Ψ	: Genleşme açısı
ΔH	: Nihai konsolidasyon oturması (m)
ΔH_t	: t zamanındaki konsolidasyon oturması (m)
Δp	: Basınç artışı
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)
ν	: Poisson oranı
ΣM_{sf}	: Toplam çarpan
$\emptyset$	: Taban zemini içsel sürtünme açısı

GEOTEKSTİLLER ve PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

ÖZET

Geosentetikler, klasik geoteknik problemlerin çağdaş çözümüdür. Genellikle donatı amaçlı kullanılan geosentetikler birçok inşaat mühendisliği uygulamasında farklı amaçlarla da kullanılmaktadır. Başlıca geosentetik türlerinden olan geotekstiller ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıtım işlevleriyle geosentetik grubun en önemli bölümünü oluşturur.

Toprak dolguların ve daha birçok inşaat yapılarının geotekstil donatılı olarak tasarlanması özellikle son yıllarda geoteknik mühendisliği alanında giderek yaygınlaşan ve geniş uygulama alanı bulan bir tasarım yöntemidir. Geotekstil donatılı zemin yapısı uygulamalarının yaygın hale gelmesinin nedeni, bu yöntemle alışlagelmiş büyük temel boyutlarına ve betonarme duvar kesitlerine ihtiyaç duyulmadan daha ekonomik ve daha estetik yapıların inşa edilebilmesidir.

Bu yüksek lisans çalışmasında, modern yol inşaatlarında giderek yaygınlaşan, klasik geoteknik problemlere çağdaş çözüm olan geotekstillerin tarihçesi, işlevleri, üretim metodları, hammaddeleri, uygulama alanları, uzun vadede özellik değişimleri, arazide dikkat edilmesi gereken hususlar gibi konulara yer verilmiştir.

Geotekstil donatılı dolgu ve şevlerin tasarımı için literatürde birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada geotekstil donatılı bir dolgunun tasarımında, geoteknik mühendisliği problemlerinde yaygın olarak kullanılan PLAXIS sonlu elemanlar programından faydalanılmıştır. Yumuşak temel zemini üzerine inşa edilmiş bir dolgunun stabilite analizleri bu programla yapılmıştır. Burada, sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçların klasik hesaplarla bulunan değerlerle uyumlu olduğu ve geotekstil donatılı yapının performansının temel zemini davranışından büyük oranda etkilendiği görülmüştür.

GEOTEXTILES and PLAXIS FINITE ELEMENTS PROGRAMME

SUMMARY

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 compose the most important part of the geosynthetics because of its functions such as separation, filtration, drainage, strengthen, protection and protection.

In the recent years, the design of earth fills with geotextile reinforcement has become a widely used method in Geotechnical Engineering. The geotechnical community has advanced considerably in the last twenty years in terms of usage and attitudes concerning geotextiles. This thesis reviews the past and the future of geotextiles in geotechnical engineering. First, the history of geotextiles is presented and basic concepts are discussed with emphasis on the functions performed by geotextiles. Fundamental reasons for the growth of geotextiles, the transformation of geotechnical engineering through the increased usage of geotextiles is reviewed. The last part of the first section is the expected evolution of the geotextile discipline.

In the first part of this thesis, the history of geotextiles, its functions, methods of production, raw materials, application areas, property changings in long term and points that are important in land are given.

In the second step, stability analysis of a test fill constructed on a soft foundation soil have been investigated by the means of PLAXIS program. The results obtained from the finite element analyses were found to be in good agreement with the classic calculations and it was seen that the behaviour of the foundation soil had a great effect on the performance of the geotextiles reinforced earth structure.

The findings of this investigation have shown that the behaviour of reinforced earth structures and foundation layers can be realistically modelled with finite element method and the predicted and observed behaviour seems to be in a quite good agreement.

1. GİRİŞ

Donatılı zemin uygulaması insanoğlunun ilk çağlardan beri başvurduğu zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Örneğin bataklık v.b. yumuşak zeminler içerisine ağaç gövdeleri ve dallar yerleştirilerek zeminlerin ıslahına çalışılmıştır. Ancak uygulamalar esnasında pek çok zorlukla karşılaşmıştır. Karşılaşılan zorluklardan bazıları; donatı olarak kullanılan malzemenin yumuşak zemin içerisine batması, yumuşak zeminin donatı malzemesinin boşluklarından kabarması ve donatı malzemesinin zamanla çürümesiydi. İşte zaman içerisinde karşılaşılan tüm bu zorluklar insanları daha dayanıklı ve kullanışlı çözümler üretmeye itmiştir.

Binlerce yıl boyunca bu tür donatılı zemin uygulamaları devam etmesine rağmen bu alandaki esas gelişme 1960'lı yılların sonlarına doğru gerçekleşmiştir. Mimar Henri Vidal Fransa'da bir sahilde dolaşırken küçük kum yığınları içerisine yerleştirilen çam yapraklarının kumun stabilitesini artırdığını farketmiştir. Bu gözlem Henri Vidal'da donatılı zemin fikrini oluşturmuştur. Henri Vidal'ın konu ile ilgili patentini alabilmek için 1963 yılında yaptığı başvuru 1969'da kabul edilmiştir. 1966 yılında Fransa'da ilk donatılı istinat duvarının inşa edilmesinin ardından 1972'de ise A.B.D'de ilk donatılı duvar inşa edilmiştir. Her iki duvarın inşaatında da donatı malzemesi olarak metal çubuklar kullanılmıştır.

1970'li yılların ortalarında ise Bob Holtz geotekstillerin metal donatıların yerine zemin içerisinde donatı olarak kullanılmasına yönelik ilk çalışmayı gerçekleştirmiştir [3]. Dokuma türü malzemenin inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılması fikri daha önceleri de ortaya atılmış ve denenmiş olmakla beraber "geosentetik" veya "geotekstil" olarak isimlendirilen malzemenin geliştirilmesi 1960'lı yılların sonlarında gerçekleşmiştir. Bu gelişmeyi etkileyen en önemli faktör; ikinci dünya savaşı sonrasında yüksek teknolojiye ve sentetik hammadde kullanımına yönelik batı tekstil endüstrisinin kapasite fazlalığı yaşaması nedeniyle inşaat sektöründe pazar arayışına başlamasıdır.

1977’de Paris’te yapılan “International Conferance on the Use of Fabrics in Geotechnics”, (Dokumaların Geoteknikte Kullanımı Uluslararası Konferansı) bir dönüm noktası olmuş ve geosentetiklerin mekanik, hidrolik ve geoteknik kavramlara dayandırılarak kullanılmasının gerekliliği vurgulanmıştır. Bu tarihten günümüze kadar gelişmeler hızla devam etmiş ve zaman içerisinde farklı geosentetik türleri ve farklı uygulama yöntemleri geliştirilmiştir.

Türkiye’de geosentetiklerin kullanımı batılı ülkelere oranla daha geç başlamasına rağmen tüm dünyada olduğu gibi giderek yaygınlaşmaktadır. Önceleri filtre malzemesi olarak kullanılan geosentetikler Türkiye’de ilk olarak Elmadağ üstgeçidinde donatılı zemin uygulamasında kullanılmıştır. Karayollarının geosentetiklerle ilgili şartname ve yönetmelikleri hazırlamasının ardından geosentetiklerin kullanımı daha da yaygınlaşmıştır [8].

1.1. Geosentetik Donatılı Zeminler

Donatı amaçlı kullanılan sentetik tekstil ürünleri (geosentetikler) bunun yanı sıra başka birçok inşaat mühendisliği uygulamasında da farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Aşağıda önce özet olarak bu malzemelerin tanımı ve genel kullanım amaçlı kullanımı hakkında ayrıntılı bilgiler sunulmaktadır.

1.1.1. Geosentetikler

Geosentetik ismi “geo” ve “sentetik” kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır. Buradaki “geo” ön ismi bu malzemenin daha çok geoteknik mühendislerinin ilgi alanına girmesinden ve genellikle zemin ile ilgili işlerde kullanılıyor olmasından gelmektedir. “Sentetik” eki ise bu malzemenin büyük oranda insan yapımı yani sentetik bir malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Başlıca geosentetik türleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Geogridler
- Geotekstiller
- Geomembranlar
- Geokompozitler

Geogridler, birbirine dik iki grup polimer bazlı damarın kesişmesinden oluşur ve açık yapı sergiler. Geogridin yüksek mukavemete sahip (üretim yönü) damarlar boyuna

damar, bunun dik istikametindeki damarlar ise enine damar olarak nitelendirilir. Piyasada çok çeşitli geogrid tipleri mevcuttur. Birbirlerinden geometrik ve mekanik farklarla ayrılırlar. Bununla beraber, geogridler, fiziksel ve geometrik özelliklerine göre iki ana grupta toplanır.

İlk kategoride, bir poliolefin (polietilen veya polipropilen) polimer şiltesinden üretilen geogridler yer almaktadır. Uniform boşluklu bir model sergiler. Bu tip geogridlere “rijit geogridler” adı verilir. Üründen istenilen mukavemete göre polimer şilte tek veya çift yönde gerilir. Germe işlemi, polimer molekül yapısının uzamasını sağlar. Belirli bir süre germe kuvveti altında bırakılan şilte, kuvvet uygulamasına son verdikten sonra da pozisyonunu korur. Sonuçta, orjinal şilteye göre mukavemeti ve sünmeye karşı direnci artar. Boyuna ve enine yöndeki damarların birleşme yerleri, orjinal şiltenin bir parçası olduğundan, bu tip geogridler “birleşik rijit yapı” gösterir. Bu kategoride tek yönde gerilen geogridler polietilenden, çift yönde gerilen geogridler ise polipropilenden imal edilir.

İkinci kategoride yer alan geogridler ise birbirlerine örgü (knitting) veya yapıştırma metoduyla birleştirilen tekil boylamasına ve enlemesine damarlardan oluşur. Bu gruptaki geogridlere “örgülü esnek geogridler” adı verilir. Bu tip geogridler yüksek dayanımlı polyester liflerinden üretilir ve daha sonra üzeri polivinil klorid, bitüm ya da kauçuk ile kaplanır. Birleşim liflerin mukavemeti, isteğe bağlı olarak tek veya çift yönde oluşturulur. Kanada’da camelyafından geogrid üretilmiştir. Boylama ve enleme damarların birleşim yeri örülerek oluşturulmuştur.

Christopher ve Holtz (1991), geosentetikleri yumuşak taban zemini ile agrega arasına yerleştirerek, ayırma işlevini incelediler. Geosentetik kullanımıyla, agrega tabakasından taban zeminine agrega kaybının önüne geçildiği tespit edildi. Geotekstil kullanımıyla agrega kalınlığı % 50’ye kadar düşürülebilir.

Geogridin ayraç işlevi tam olarak bilinmemektedir. Buna rağmen Giroud (1984), agrega tabakası içerisinde geogrid kullanımıyla temel tabakasının yanal hareketinin önüne geçildiğini savunmuştur. Geogridin agrega ile kenetlenmesi, sistemin yanal deplasmanını önlemektedir.

Böylece çatlakların yürümesi ve malzemenin karışması sınırlı boyutta olmaktadır. Aslında, malzeme karışımının çeşitli nedenleri vardır. Bunlar arasında taban zemini kıvamı, su muhtevası ve kayma mukavemeti, temel tabakasının dane dağılımı

sayılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi Barksdale (1989), karışım derinliğini 2,5 4,0 cm olarak vermiştir [16].

Tez çalışmasının konusu geotekstil donatılı dolgu olduğu için burada diğer geosentetik türlerine oranla geotekstiller hakkında daha geniş bilgi verilecektir.

1.1.1.1 Geotekstillerin Tanımı ve Kullanımında Temel Sebepler

Geotekstillerin geoteknik mühendisliği uygulamalarındaki geçmişi 35 yıl gibi kısa bir süre olmasına rağmen bu süreç içerisinde hızlı bir gelişim gerçekleşmiştir.

Amerikan standartlarında (American Society of Testing and Materials-ASTM) geotekstil şu şekilde tanımlanmaktadır: 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 beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünüdür.

Genel anlamda geotekstiller bir tekstil ürünü olmakla beraber keten, yün ve ipek gibi doğal liflerin yerine sentetik lifler kullanılarak üretilmektedir. Bu nedenle biyolojik ayrışma sorun olmamaktadır.

Aşağıda, geotekstillerin kullanımını gerekli kılan temel nedenler sunulmuştur:

İlk temel neden, geoteknik mühendisliğinde membran benzeri malzemeye gereksinim duyulmasıdır:

- i. Membran, zemin ile bir bütün oluşturarak, erozyon, oturma, su ile taşınma etkilerinden zemini korur.
- ii. Geoteknik yapı, çoğunlukla tabakalı büyük kütleler halindedir. Geotekstilin tabakalar arasına serilmesi, pozitif sonuçlar vermiştir. Zemin kütlelerinin yüzeyine serildiğinde ise dış etkenlerden koruyucu bir görev üstlenir.
- iii. Geoteknik yapı, farklı hareketlere maruz kalır ve esnektir. Bu nedenle, kullanılacak malzemenin de esnek olması gerekir. Tanıma uygun olarak, membran iki boyutlu ve esnektir. Bu nedenle membran benzeri malzemeler, geoteknik yapıya uygundur.

Diğer bir temel neden membran benzeri malzemenin pek bulunmaması ve geotekstilin gereksinimi karşılayacak en iyi malzeme olduğunu kanıtlamasıdır:

- i. Membran benzeri doğal malzeme az sayıda mevcuttur. Geçmişte hayvan postu kullanılırdı. Fakat bunlar hem küçük hem de bakteri etkisiyle bozulabiliyordu.
- ii. Söğüt dalı veya hurma dalı zemin içerisinde geçmiş dönemlerde kullanılmıştır. Ama bunlarda hayvan postu gibi zaman içerisinde bozulduğu için kalıcı bir çözüm değildir.
- iii. Geotekstiller, iki boyutlu ve esnektir. Zamanla ayrışmaz, bozulmaz ve istenilen boyutta üretilebilir. Bu nedenle yukarıda söz edilen tüm gereksinimlere yanıt verir.

Geotekstil başarısında rol oynayan bir diğer temel neden, geoteknik mühendisliğinde çoğu yapıların üç boyutlu olmasıdır. Üç boyutlu yapıların tasarımı, iki boyutlu ve tek boyutlu yapıların tasarımından daha güçtür. Üç boyutlu yapı yapmanın etkin yolu, onu, iki boyutlu bir eleman ile takviye etmektir (örneğin; üç boyutundan biri –mesela kalınlık- diğer iki boyutu yanında ihmal edilebilecek kadar küçük olan malzemeler). Benzer şekilde, iki boyutlu malzeme yapmanın etkin yolu, tek boyutlu malzemenin (fiber) birleştirilmesidir. Moleküler oryantasyon sonucu, fiberin mukavemeti, orjinal polimerine göre çok daha fazladır. Özet olarak, konuya önerilecek etkin çözüm yolu, tek boyutlu elementlerden oluşmuş iki boyutlu elementler kullanarak, üç boyutlu yapı oluşturmaktır. Zemin takviyesinde başarının nedenlerinden biri de geotekstil ve polimer ızgaralarıdır (grids).

Yapılan tetkikler sonucu, filtrasyon amacıyla kullanılan örgüsüz geotekstil ile kumdaki boşluk oranı aynı olduğu zaman, aynı permeabiliteye sahiptirler. Aynı hesaplar geotekstilin yoğunluğunun kumun yoğunluğunun 1/10'u mertebesinde olduğunu göstermiştir. Çünkü geotekstil, kuma göre çok daha gözeneklidir. Sonuç olarak, geotekstil, 1/10 malzemeye kum zeminin göstereceği filtrasyon özelliklerinin tümüne sahiptir. Ayrıca bir geotekstil filtresinin kalınlığı, kum filtre kalınlığının 1/100 ile 1/1000'i kadardır. Bu durum geotekstilin “sürekli” (kesintisiz) bir malzeme oluşunun sonucudur. Özetle, geotekstil filtre ağırlığı, aynı filtrasyon karakteristiklere sahip kum filtre ağırlığının 1/1000 ile 1/10000'i kadardır [1].

1.1.1.2. Geotekstil Ürün Özelliklerinin Dağılımı

1970'li yılların ortalarına doğru, serbest rekabetin sonucu olarak, piyasaya birçok geotekstil girmiştir. Birçok marka ismi, satıcıların yoğun ve baskıcı politikaları geoteknik mühendislerini konuya şüpheli yaklaştırmıştır. Önceleri örgülü veya örgüsüz geotekstilin farkını bilmenin yeterli olduğunu düşünen tasarımcılar daha

sonra hayal kırıklığına uğramışlardır. Yeni ürünler karşısında, örneğin hasır (mats), ağ (nets), ızgara (grids) ve webbing, optimum çözüme yaklaşmakta zorlanmışlardır. Karakteristik değerleri aşağıda sunulan geotekstil, günümüzde geniş ürün çeşidine sahiptir:

- Birim ağırlık : 0.1 kg/m^2 ile 1.0 kg/m^2 arasındadır;
- Açıklık : örgüsüz tip için 0.05 ile 0.5 mm arasındadır;
örgülü tip için 0.01 ile 0.1 mm arasındadır;
hasır tip (mat) için 5 ile 10 mm arasındadır;
ağ (net) ve ızgara (grid) için 5 ile 100 mm arasındadır;
- Geçirimsizlik : örgülü tip için ihmal edilebilir boyutta, iğne delikli örgüsüz tip için 10^{-6} ile 10^{-5} m/s , ağ tipi için 10^{-4} ile 10^{-2} m/s , drenaj geokompozitler için 10^{-4} ile 10^{-1} m/s arasındadır.
- Çekme Dayanımı : çok kullanılan örgüsüz tip için 10 ile 30 kN/m ,
sağlam örgüsüz tip için 30 ile 100 kN/m , çok kullanılan örgülü tip için 20 ile 50 kN/m ,
sağlam örgülü tip için 50 ile 100 kN/m çok sağlam örgüsüz ve webbings için 100 ile 1000 kN/m ,
çok kullanılan polimer ızgara için 30 ile 200 kN/m ,
sağlam polimer ızgara için 200 ile 400 kN/m

arasında değişir.

2. GEOTEKSTİLLERİN ÖZELLİKLERİ ve İŞLEVLERİ

2.1 Genel

Geotekstiller, 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. Klasik geoteknik problemlere çağdaş çözümler sunar. Pratik ve ekonomik çözümler sağladığı için Türkiye’de de kullanılmaya başlanmıştır.

İyi tasarlanmış ve uygulanmış geotekstillerin yerine getirdiği işlevler, ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme (membran etkisi), koruma ve yalıtım olarak sıralanabilir. Tasarımda geotekstil, bu işlevlerden birkaçını aynı anda yerine getirebilir. Örneğin CBR<%1 olan killi taban zemini ile üzerine yerleştirilecek granüler malzeme arasına serilen geotekstil ayırma, filtrasyon, drenaj ve güçlendirme işlevlerinin tümünü aynı anda görebilir.

2.2 Geotekstil Üretimindeki Hammaddeler

Geotekstiller, sentetik polimerlerden oluşur. Esas olarak, plastik dokuma olduklarından plastiğin üretim ve işleme özelliklerini taşırlar. Plastikte iki önemli ayırım mevcuttur: Termoplastikler ve Termosetlingler. Termoplastikler mum gibidir; yani, ısıtılıp soğutulabilirler. Termosetlingler ise sertleştikten sonra şekillerini her koşulda korurlar. Termoplastikler, geotekstillerin hammaddesidir ve monomerlerden oluşur. Birkaç atomdan oluşan monomerlerin kimyasal işlemler altında birleştirilip, uzun moleküler zincirler oluşturması sonucu polimerler meydana gelir. Farklı kimyasal katkı maddeleri ile farklı polimerler elde edilir. Bunlardan birkaçı; polipropilen, polietilen, polyester, poliamid (nylon), polivinil klorid (PVC) ve etenekopolimer bitümdür [26].

Tablo 2.1. Polimer malzemelerin özellikleri

Polimer Grubu	Polipropilen	Polyester	Polietilen	Poliamid
Özellikler				
Dayanım	•	□	•	•
Kopmada Uzama	□	•	□	•
Elastisite Modülü	•	□	•	•
Birim Ağırlık	•	□	•	•
Sünme	□	•	□	•
Maliyet	•	□	•	•
U.V. Dayanımı	•	□	•	•
Alkali	□	•	□	□
Mikro Organizma	•	•	□	•
Fuel Oil	•	•	•	•
Deterjan	□	□	□	□

• DÜŞÜK □ YÜKSEK

Geotekstil yapımında en çok kullanılan polimerler, polipropilen ve polyesterdir. Bu polimer malzemelerle ilgili detaylı bilgi (Tablo 2.1)'de sunulmuştur. Tablodan da izlenebildiği gibi polyester, pil değeri yüksek alkali maddelere karşı az olan dayanımı dışında çok olumlu özelliklere sahiptir. Bunlardan aynı zamanda ucuz olan polipropilen, en fazla kullanılan hammadde olup, onu polyester izlemektedir. Geotekstillerin özellikleri, hammaddelerinin yanında üretim metoduna da bağlıdır.

2.3. Üretim Metodları

Geotekstil üretimi en az üç aşamadan oluşur:

- Çeşitli katkılarla polimerlerin üretimi
- Elemanların üretilmesi
- Liflerin geotekstile dönüştürülmesi

Polimerler, genellikle kimyasal işlemlerin gerçekleştirildiği santrallerde oluşturulur ve geotekstil üreticisine toprak halinde sunulur. Bu topraklar ısıtılarak temel eleman elde edilir. Bunlara üç tip fiziksel şekil verilebilir:

- a) Birkaç metre genişliğinde ve birkaç milimetre kalınlığında şilteler.
- b) Genişliği birkaç milimetre, kalınlığı milimetreden az olan sonsuz uzunlukta şerit lifler.
- c) Milimetreden küçük çapta ve sonsuz uzunlukta silindirik lifler.

Bu elemanlardan herbiri farklı özelliklere sahip geotekstil şiltesi oluşturur. Burada, en çok kullanılan iki tipten söz edilecektir:

2.3.1. Örgülü Geotekstiller

Bu tip geotekstiller, geleneksel dokuma tezgahlarında örülerek elde edilirler. Düz örgü sık kullanılan bir methodur. Üretim, bir yönde uzatılan lifler veya şeritler arasından dik istikamette lifler veya şeritler geçirilerek oluşturulur. Sonuçta, kalınlığı bir milimetre kadar olan ve uniform gözenekli bir geotekstil elde edilir. Örgülü tip geotekstiller, kullanılan lif veya şerit malzeme bakımından üç grupta toplanır:

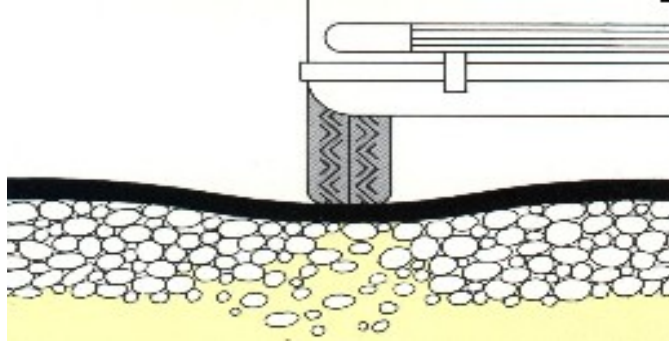
- Monofilament örgülüler : Tekil ve kalın ipliklerden oluşur.
- Multifilament örgülüler : İnce liflerin birleşiminden oluşur.
- Şerit veya film örgülüler : İnce, uzun filmlerin şerit halinde kesilmesi sonucu oluşur.

Örgülü geotekstil; yük taşıma kapasitesinin artırılması, alt temel tabakasının kalınlığının sınırlandırılması, zemin ile alt temel tabakasının ayrılması amacıyla geliştirilmiştir [1].

2.3.1.1. Örgülü Geotekstilin Kullanım Amaçları

- a) Ayırma Amacı Şekil 2.1’de görüldüğü gibi örgülü geotekstil alt temel ile zemin arasında bir ayırım oluşturur. Bu, pahalı alt temel malzemesinin zeminle karışmasını

önleyerek yük taşıma kapasitesinin korumasını ve zaiyatın minimuma indirilmesini sağlar.

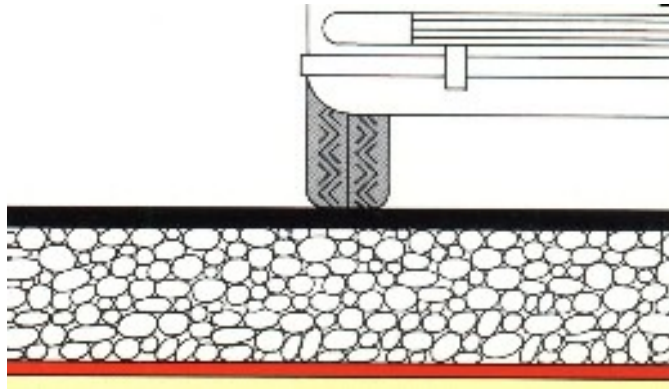


Şekil 2.1. Geotekstilin ayırma amacı [31]

b) Takviye Amacı Örgülü geotekstil, yüksek çekme kuvveti altında düşük uzama oluşturması nedeniyle takviye tabakası olarak kullanılabilir. Takviye amacı aşağıdaki mekanizmalarla gösterilir.

Alt temel tabakasının lastik genişliğine göre daha geniş bir alanda esnemesi Şekil 2.2’de görüldüğü gibidir.

Bu esneme ile örgülü geotekstilde betonarme plaka içindeki çeliğinkine benzer bir çekme kuvveti oluşur. Bunun sonucunda iyi bir yük dağılımı, uniform oturma ve tekerleğin yaptığı oyulmaların asgariye indirilmesi sağlanmış olur. Bu da alt temelin büyük bir esneme özelliği kazandığını gösterir.

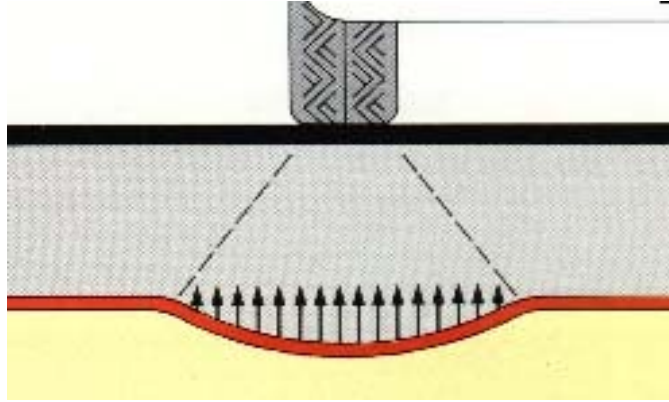


Şekil 2.2. Geotekstilin takviye amacı [31]

c) Alt zeminin bölgesel oturması

Bu durumda tekerlek yükü kısmen alt zemin, kısmen örgülü geotekstil tarafından

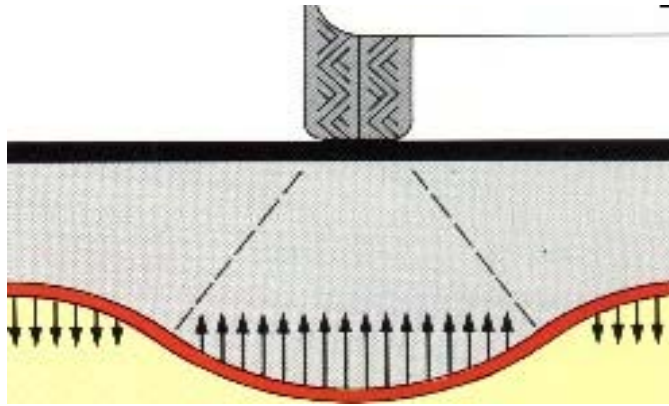
taşınır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi yükün yayılma yüzeyi genişler ve temel altındaki zemin üzerinde basınç azalır. Böylece oturmalar ve oyulmalar minimuma indirilir.



Şekil 2.3. Alt zeminin bölgesel oturması [31]

d) Alt zemin bölgesel çökmesi

Lokal çökmenin belli bir değeri aşması halinde plastik deformasyon oluşur. Örgülü geotekstil tekerlek yükünün bir kısmının hemen abzorbe eder ve lokal çökmenin olduğu bölgenin kenarlarında ters yönde kuvvet oluşturarak yoldaki bozulmayı önler. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi daha az oturma ve oyulmalar ile bir yük dağılımı sağlanır.



Şekil 2.4. Alt zeminin bölgesel çökmesi [31]

2.3.1.2. Örgülü Geotekstilin Kullanım Alanları

1. Otoyollar
2. Şehir içi otoyolları
3. Karayolları
4. Kırsal kesim yolları
5. Geçici yollar
6. Takviyeli toprak duvarlar
7. Demiryolları
8. Tramvay ve hafif raylı sistemler
9. Bisiklet yolları-yaya yolları
10. Hava alanları
11. Drenaj sistemleri
12. Araba parkları
13. Hendek geçişleri
14. Spor sahaları
15. Tenis kortları

2.3.2. Örgüsüz Geotekstiller

Bu tip ürünler, örgü metodu kullanılmadan üretilirler. Bu üretimde, polimer lifleri, hareketli konveyör üzerine yerleştirilir ve birbirine bağlanır. Bu bağlama işlemi mekanik, termik (ısı) veya kimyasal yolla olur.

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 [1].

Örgüsüz tip geotekstiller, kullanılan liflerin boyutuna göre iki gruba ayrılırlar:

- Sonsuz (kesintisiz) lifler.
- Parça lifler (5-20 cm uzunluğunda kısa lifler).

2.3.2.1. Örgüsüz Geotekstilin Kullanım Amaçları

Geotekstil, geosentetik çatısı altında bir bölümdür. Geotekstil işlevleri olarak ayırma, filtrasyon, güçlendirme, drenaj, koruma ve yalıtım sayılabilir.

2.3.2.2. Örgüsüz Geotekstillerin Kullanım Alanları

Tablo 2.2. Örgüsüz geotekstillerin kullanım alanları [31]

Yol inşaatları Kalıcı yollar Geçici yollar Park alanları Yol genişletme Asfalt yenileme Havaalanları Demiryolları	Bina inşaatları Temeller Taban betonları Ses emme özelliği Teras çatılar Bahçe çatılar	Zemin uygulamaları Borular ve kanalları Depolama alanları Spor sahaları Şevler
Drenaj ve Filtrasyon sistemleri Drenaj boruları Drenaj kanalları Yüzey drenajı Bina drenajları	Hidrolik yapılar Kıyı koruma yapıları Barajlar Liman inşaatları Nehir yataklarının ve kanalların korunması Suni Göletler Su rezervuarları	Çöp ve atık depolama alanları Çöp ve atık depolama alanları Çevresel su arıtma sistemleri

2.4. Geotekstillerin İşlevleri

2.4.1. Ayırma

Geotekstil, ince daneli zemin ile kaba daneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde “ayırma” işlevi görür. Bu, pahalı alt temel malzemesinin zeminle karışmasını önleyerek yük taşıma kapasitesinin korumasını ve zaiyatın minimuma indirilmesini sağlar. Aynı zamanda, üst yapıdan gelen dinamik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımı önlenmiş olur. Şekil 2.5’te görüldüğü gibi geotekstiller, süreklilik, esneklik, deforme olabilme, permeabilite ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinin sonucu olarak suyun tabii sirkülasyonuna engel olmadan değişik geoteknik özelliklere sahip iki zemini birbirinden ayırır.

Bu işlev sayesinde, alt zemin malzemesinin (agrega), düşük taşıma kapasiteli ($CBR < \%2$) taban zemini içerisindeki ince daneli malzemenin dinamik yük altında boşluk suyu basıncı etkisiyle alt temele pompalanması (borulanma) önlenmektedir. Sonuçta daha az malzemeyle (agrega) daha yüksek performans sağlanmaktadır.



Şekil 2.5. Geotekstilin ayırma işlevi [31]

2.4.2. Filtrasyon

Şekil 2.6’da görüldüğü gibi geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Filtrasyon işinde kullanılacak geotekstilin uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan

az etkilenme ve yüksek poroziteye sahip olması istenir. Geotekstilin yerleştirilmesinden sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince daneli zemin de taşınır. Bu ilk etapta taşınan malzeme geotekstilden mutlaka geçmelidir. Böylece, geotekstilin karşısında içerisinde ince daneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu “doğal olarak elenmiş” tabaka filtre işlevi görerek küçük parçacıkların geotekstile hareketini önler. 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 2.6. Geotekstilin filtrasyon işlevi [31]

2.4.3. Drenaj

Geotekstil, kendi düzlemi boyunca (bünyesinde) sıvı veya gazı istenilen çıkışa doğru taşır. Şekil 2.7’de de görüldüğü gibi bu iletim sırasında, sıvı ya da gaz geotekstilin bünyesinde toplanır ve hareket kendi düzlemi içerisinde olduğundan drenaj terimi yerine “transmisyon” terimi de kullanılabilir.



Şekil 2.7. Geotekstilin drenaj işlevi [31]

İyi bir drenaj fonksiyonu için geotekstilin kendi düzleminde yüksek geçirgenlik, basınca yüksek dayanım ve iyi filtre özelliğine sahip olması gerekir.

Drenaj için kompozit malzemeler tercih edilmelidir. Bu malzemeler, basınca dayanıklı bir geonet ve iki tarafından örgüsüz geotekstilden oluşur.

2.4.4. Güçlendirme

Geotekstiller, zeminin gerilme direncini ve göçmeden önceki deformasyon kapasitesini artırarak global bir kuvvetlendirme sağlarlar. Geotekstillerin güçlendirme fonksiyonu iki tipte gerçekleştirilir :

a) Membran Mekanizması : Tekerlek izi sonucu taban zemini deforme olduğu an harekete geçer. Taşıma kapasitesi düşük taban zeminlerde çok önem taşır ($CBR < 2$). Üst yapıdan gelen konsantre yük, geotekstil üzerinde dağılarak etkisini kaybeder. Membran etkisi, yüksek modüllü geotekstillerde daha fazladır. Bu durumda, yüksek çekme gerilmesine karşı uzamalar küçük boyuttadır.

b) Yanal Hapsolme : Yatay destekleme diye de adlandırılır. Geotekstil kullanımıyla temel tabakası ve taban zeminindeki yatay deformasyonlar önlenir. Geotekstil, sürtünme kuvveti oluşturarak, taban zemini ve temel malzemesini tutar. Geotekstille temel malzemesi arasındaki etkiye “temel hapsolması”, geotekstille taban zemini arasındakine de “taban zemini hapsolması” adı verilir. Yanal hapsolme etkisi, çok zayıf zeminlerde ve çok ağır taşıt yüklerinde kendini pek gösteremez. Bu konuda hesap yapacak düzeye gelinmemiştir. Pozitif yanı şudur ki, temel tabakasında daha iyi yük dağılımı yapmaktadır ve taban zemine daha az yük gelmektedir. Buna ek

olarak, geotekstil, deformasyonun bir kısmını karşıladığından taban zemini daha az deforme olmaktadır. Böylece daha az tekerlek izi derinliği oluşur ve daha sağlam yol yapısı meydana gelir. Yanal hapsolme miktarını, malzeme pürüzlülüğünün etkilediği düşünülmektedir.

2.4.5. Koruma

Geotekstil, deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak ya da yayarak istenilen malzemeyi korur. Koruma iki tipte gerçekleşir :

- a) Yüzey Koruması : Zemine yerleştirilen geotekstil, hava koşulları ve trafik gibi etkilere yüzeyi korur.
- b) Ara yüzey Koruma : İki malzeme arasına yerleştirilen geotekstil (örneğin asfalt kaplama ile eski yol kaplaması arasına veya geomembran ile agrega arasına) malzemelerden birini korur (asfalt kaplama veya geomembran).



Şekil 2.8. Geotekstilin koruma işlevi [31]

2.4.6. Yalıtım

Geotekstil, geçirimsiz bir folyo oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilir. Bir çeşit membran görevi görür. Özellikle yeni kaplama yapılacak eski kaplamalı yolların üzerine serilir. Geotekstilin, yeterli miktarda bitümü tutma (nüfus etme) özellikte olması gerekir.

Tablo 2.3 Geotekstillerin işlevleri

İşlevler	Ayırma	Filtrasyon	Drenaj	Güçlendirme	Koruma	Yalıtım
Uygulama Alanı						
Kaplamasız Yollar	•	○	○	○		
Kaplamalı yol&Pistler	•	○	○	○		•
Yeni Asfalt Kaplama Altı				○		
Dolgu Altı Drenaj Şiltesi	•	○	○	○		
Kapilerite Şiltesi	•	○				
Demiryolları	•	•	○	○		
Erozyon Kontrolü		•	○	○		
Sahil Koruma	•	•	○	○		
İstinat Duvarları	○	○		•		
Köprü Ayakları		•	○			
Drenaj Sistemlerinde		•	○			
Esnek Kalıp		•		•		
Kazıkla Taşınan Dolgular	○			•		
Geomembran Altında			•		•	

• ANA İŞLEV ○ İKİNCİL İŞLEM

2.5. Geotekstillerin Özellikleri ve Test Yöntemleri

Geotekstilin işlevini iyi şekilde yerine getirebilmesi onu oluşturan özelliklere bağlıdır. Amerikan kaynakları baz alınarak, geotekstilin genel (üretici firma tarafından verilen) özellikleri ile zemin/geotekstil ilişkisinin özellikleri bir tablo halinde Tablo 2.4'te sunulmuştur.

Test tekniği ve standardizasyonu bakımından geotekstile uygulanan mekanik testler en gelişmiş testlerdir. Mekanik testler ikiye ayrılır :

- Yük/uzama karakteristiklerini inceleyen deneyler
- Direnç ve dayanımı inceleyen deneyler

Yük/uzama ilişkisi, çekme deneyleri yapılarak elde edilir. Dayanım ve direnç karakteristikleri ise patlama, delinme ve yırtılma testleri sonucunda elde edilir.

Geotekstil, birçok durumda güçlendirme elemanı olarak kullanıldığında bunu çekme dayanımı oluşturarak gerçekleştirmektedir. Bu nedenle, doğru çekme mukavemetinin saptanması tasarım aşamasında büyük önem taşır. Geotekstil çekme mukavemeti üç tip testle belirlenir [19].

- Dar mesnetli çekme deneyi (ASTM-D 4632)
- Dar numune çekme deneyi (ASTM-D 1682)
- Geniş numune çekme deneyi (ASTM-D 4595)

Tablo 2.4. Geotekstil Seçiminde Etken Özellikler ve Parametreler (Christopher ve Holtz, 1985)

I. Genel Özellikler:

- a. Tip ve İmalat Yöntemi
- b. Polimer Cinsi
- c. Ağırlık
- d. Kalınlık
- e. Rulo Uzunluğu
- f. Rulo Ağırlığı x Genişliği
- g. Rulo Çapı
- h. Özgül Ağırlık ve Yoğunluğu
- i. Emme Yeteneği
- j. Yüzey Karakteristikleri

II. Endeks Özellikleri :

1. Mekanik Mukavemet

a) Çekme Mukavemeti

1-Dar Mesnetli Çekme Mukavemeti (ASTM-D 4632)

2-Dar Numune Çekme Mukavemeti (ASTM-D 1682)

3-Geniş Numune Çekme Mukavemeti (ASTM-D 4595)

b) Poisson Oranı

c) Gerilme-Deformasyon Karakteristikleri

d) Dinamik Yükleme

e) Sünme Direnci (ASTM-D 2990)

f) Sürtünme/Adhezyon Özellikleri

g) Dikiş Mukavemeti

h) Yırtılma Mukavemeti (ASTM-D 4533)

i) Patlama Mukavemeti (ASTM-D 3786)

j) Delinme Mukavemeti (ASTM-d 751)

k) Penetrasyon Direnci

l) Kesilme Direnci

m) Esneklik (ASTM-D 1388)

2. Dayanım Özellikleri

a) UV Dayanımı (ASTM-D 4355)

b) Kimyasal Direnç

c) Biyolojik Direnç

d) Sıcaklık Dayanımı

e) Aşınma/Yıpranma Direnci

3. Hidrolik Özellikler

a) Açıklık Karakteristikleri

1-Görünür Açıklık Boyutu (AOS)

2-Poremetri (Gözenek Boyutu Dağılımı)

3-Açık Alan Oranı (POA)

4-Porozite

b) Permeabilite (ASTM D4491)

c) Zemin Tutma Yeteneği

- d) Tıkanma Direnci
- e) Düzlem Boyunca Akma Kapasitesi

III- Zemin / Geosentetik İlişkisi Özellikleri

- 1-Sünme
- 2-Sürtünme / Adhezyon
- 3-Dinamik ve Tekrarlı Yükleme Direnci
- 4-Zemin Tutma ve Filtrasyon Özellikleri

Bunlardan kalite kontrolünü belirleyen ve en yaygın olarak kullanılan dar mesnetli çekme deneyidir. Dar numune çekme deneyi de hızlı kalite kontrolü için çok kullanılan deney yöntemidir [1]. Yapılan birçok çalışma sonrası, örgüsüz tip geotekstillerde en gerçekçi çekme mukavemeti değerlerini “geniş numune” testinin verdiği saptanmıştır [15].

Geotekstilin performansını etkileyen başlıca iki hidrolik özellik vardır. Bunlardan, gözenek açıklığı, geotekstil filtreden geçebilecek maksimum dane çapını verir. Permeabilite ise geotekstil filtreden geçen su miktarını gösterir. İşte bu özellikler, geotekstilin filtre rolünü belirleyen parametrelerdir. Yaygın olarak ASTM metodu kullanılır. Bu metodda, O_{95} , gözenek açıklığının %95’inin bu çaptan daha küçük olduğunu gösterir.

Geotekstil, fiziko-kimyasal dayanıma sahip olmalıdır. Dış tesirlere uzun süre direnç göstermelidir. Geotekstili oluşturan sentetik polimerlerin herbirinin farklı özellikleri ve dış etkenlere karşı dayanımı vardır.

2.6. Geotekstil Serilebilir Yerler

Geotekstilller, üç değişik konumda yerleştirilebilir. Bunlardan ilki, alt temel/tabân zemini ara yüzeyidir. Bu konumuyla geotekstil;

- Agregaların taban zeminine girmesini önler.
- Taban zeminindeki ince daneli malzemenin agrega tabakasına borulanmasını önler.
- Yumuşak, ince daneli taban zemini hafriyatını azaltır.
- Agrega yerleştirilmesini hızlandırır.
- Alt temel tabakası kalınlığını azaltır.
- Alt temelde tekerlek izini azaltır.

Taban zemini üzerinde ayırma amacıyla kullanılan geotekstilin yerleştirilmesinden önce 5 cm kalınlığında kum tabakası serilirse hem delinmeye karşı dayanımı hem de işlevsel etkisi artar [20].

Geotekstil, ikinci konum olarak yol yapısı içerisine yerleştirilebilir. Bu durumda optimum konum, temel tabakası içerisi veya temel tabakası ile aşınma tabakası arasındır. Bu bölgelerde asfalt sıcaklığı 125-190°C olduğundan geotekstil yerine geogrid kullanılması uygundur. Bu konumda geotekstil, yansıma çatlaklarını sınırlar, tekerlek izini ve yorulma etkilerini azaltır.

Geotekstilin üçüncü uygulama yeri, yüzey kaplaması altıdır. Mevcut (eski) kaplamanın üzerine serilen geotekstil, yansıma çatlaklarını önler ve kaplamanın ömrünü uzatır. Bu amaçlı uygulamalar için de geogrid önerilir. Bu konumdaki geotekstilin bir diğer avantajı ise yalıtım sağlayarak, üst kaplamayı korumasıdır. Bu uygulama için en uygun tip örgüsüz geotektildir. Bu metod, ABD’de sıkça kullanılmaktadır [10].

2.7. Geotekstillerin Uzun Vadede Özellik Değişimleri

Geotekstillerin, zemin içerisinde, uzun sürede özelliklerindeki değişim, İsveç Geoteknik Enstitüsü tarafından 9 ayrı tip geotekstil incelenerek yapılmıştır. Araştırmada 5 ve 10 yıllık süreler gözönüne alınmıştır. Her geotekstil tipi, 25 m genişliğindeki yola serilmiştir.

Deney çukurlarından alınan numuneler üzerinde çekme gerilmesi deneyi (DIN 53 857) ve yırtılma testi (DIN 53 363) yapılmıştır [6]. Her bir deney çukurundan, geotekstilin üzerinde yer alan alt temelden 5 ve 10 yıl arayla zemin numuneleri alınmış ve dane dağılımları incelenmiştir.

Yol inşaatlarında, ayırma görevindeki geotekstillerde zamana bağlı mukavemet değişimleri görülmüştür. Tablo 2.5’de de görülebileceği gibi geotekstilller arasında büyük farklar mevcuttur. 10 yıl sonra, en güçlü geotekstil (60-67 N/mm) çekme mukavemetinin % 50’sini kaybetmektedir. Bu geotekstil, örgülü tiptir ve polyester liflerinden imal edilmiştir. Buna mukabil, kimi zayıf örgüsüz tipler, ilginç bir değişim sergilemektedirler (- % 41). Bu değerlerdeki pozitif değişim, başlangıç mukavemet değerlerinin (2-5 N/mm) oldukça düşük olması ve yapılan test sayılarının az olmasıyla açıklanabilir. Bu istisnalar dışında şu sonuca varılabilir :

örgüsüz geotekstiller, 10 yıl boyunca çekme mukavemetlerini çok az değişimle korumaktadırlar (-% 10 ile -% 14 arası)

Tablo 2.5 Geotekstillerin uzun vadede mukavemet değişimleri

Geotekstil Tipi	Geotekstillerin Ortalama Mukavemetleri, N/mm							
	Başlangıç		5 yıl sonra		10 yıl sonra		Başlangıca Göre Fark (%)	
	BY	EY	BY	EY	BY	EY	BY	EY
FOV 600	60.6	66.6	41.7	36.0	31.8	30.6	-48	-54
BIDIM	18.6	15.6	15.2	11.6	17.9	14.1	-4	-10
COLBOND P 500	10.4	7.8	9.2	6.6	10.6	6.0	-2	-23
VAG 170	3.1	2.0	2.9	2.0	2.6	2.8	-16	-41
COLBACK-L	5.4	4.2	4.9	3.6	3.4	3.9	-38	-7
LINZ TS 400	20.2	9.6	21.4	9.4	20.8	10.3	-3	-7
LINZ TS 300	13.0	8.0	11.4	7.9	12.9	8.0	-1	0
FIBERTEX	6.1	8.0	4.4	7.7	6.6	9.1	-8	-14
ICI PRF 140	5.3	3.5	5.1	3.4	5.0	3.8	-6	-9

Numunelerin kopma anındaki uzama oranları da 5 ve 10 yıl arayla ölçülmüş ve ilk orjinal oranlarıyla kıyaslanmıştır [6]. En büyük düşüş, ısıyla birleştirilen örgüsüz geotekstillerde kaydedilmiştir (-% 50). Bunu müteakiben en büyük düşüş, çok sert örgülü tip geotekstilde tespit edilmiştir (- % 40 civarı). İstisnalar dışında, kopma anındaki uzama oranlarındaki düşme % 12 ile % 36 arasında değişmektedir. Orjinal uzama oranı % 50 olan iğne delgili geotekstillerde bu düşüş % 12 ile % 26 arasında değişmektedir [6].

Numuneler üzerinde, 5 ve 10 yıl arayla yapılan yırtılma testi sonuçlarına göre, orjinal değerler itibariyle azalma % 25 ile % 67 arasında değişmektedir [18].

Sonuç olarak, geotekstil, yol inşaatlarında rahatlıkla kullanılan mükemmel bir malzemedir. Yapılan elek analizlerinde de, 5 ve 10 yıl süreler zarfında granüler yapıda kayda değer hiçbir değişme rastlanmamıştır. Geotekstilin işlevleri, çekme

mukavemeti ve uzama değerlerindeki düşüşten fazla etkilenmez (ayırma ve filtrasyon işlevleri gibi). Ayrıca geotekstilin, yerleştirilmesi ve üstünün granüler alt temel ile örtülmesi sırasında ağır iş makinelerin hareketi nedeniyle maksimum gerilme ve deformasyona maruz kalabileceği gözönünde bulundurulmalıdır.

2.8. Geotekstil ve Geogridlerde Ek Yeri

2.8.1. Genel

Geotekstil ve geogridte ek yeri oluşturulması malzemenin performansı açısından önemlidir. Geotekstiller, mekanik olarak örerek ya da kimyasal olarak yapışkan bağlayıcılarla birleştirilir. Ağ ve ızgara türü malzemeler ise başlıklarından çubuk geçirilmesi yardımıyla birleştirilir. İdeal bir ek, ana malzemenin gösterdiği özelliklere sahiptir.

Eklerin performansını gösteren kriterler arasında yük aktarması ve yük altındaki deformasyonu sayılabilir.

2.8.2. Ek Tipleri

Başlıca üç tip ek vardır. Örgü ve yapıştırma tipi geotekstillerde, şişleme tipi ise geogridlerde kullanılır.

2.8.2.1. Örgülü Ekler

Geotekstil eklemelerinde kullanılan 5 tip örgü tipi vardır. Bu tipler (Şekil 2.9)'da sunulmuştur. Bu örgü tipleri, taşınabilir örgü makinasıyla arazide gerçekleştirilir. Dikiş aralığı 3 ile 8,5 mm arasında değişir ve maksimum dikiş kalınlığı 9,5 mm'dir. Tek sıra dikiş yapılabileceği gibi gerektiğinde çift sıra dikiş de yapılabilir. Örgülü tip geotekstillerde naylon iplik kullanılırken, örgüsüz iğne delgili ve ısı bileşikli tiplerde ise polyester ve polipropilen iplikler kullanılır. Kullanılan ipliklerin çekme mukavemeti 80 ile 360 N arasında değişmektedir. Dikiş mesafesi 30 ile 100 mm arasında değişmektedir. “J” ve “kelebek” tipi dikişlerde ve mesafe geotekstil özelliğine göre değişir [22,24].

ŞEKİL DETAYI					
DİKİŞ TİPİ	A	B	C	D	E
KODU	Ssa	SSn	SSd	SSp	SSr
ADI	düz	J	kelebek	-	-

Şekil 2.9. Örgülü eklerde dikiş tipleri

2.8.2.2. Yapıştırma Ekler

İki tip yapıştırma eki vardır. Bunlar kayma ve çekme eki olarak adlandırılır. Sıvı yapıştırıcılar ve iki taraflı yapışkan bantlar olmak üzere iki ana malzeme grubu mevcuttur. Yapışacak yüzeyler kuru ve temiz olmalıdır.

2.8.2.3. Şişleme Ekler

Bu ek tipi, geonet ve geogrid birleşimlerinde kullanılır. Birinci tip (A), 10 ile 25 mm arası çaplı HDPE için; ikinci tip (B), 12 ile 18 mm genişliğinde 2,8 veya 4,5 mm kalınlığındaki dikdörtgen kesitli HDPE için ve üçüncü tip (C), 4x20 mm boyutunda dikdörtgen kesitli PVC (geogridler) için geçerlidir.

2.8.3. Test Yorulması

2.8.3.1. Örgülü Ekler

Konuyla ilgili Murray, McGown, Andrawes ve Swan tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu bölümde yapılan çalışmalar değerlendirilecektir.

Test edilen örgülü tip geotekstillerde “kelebek” ve “J” tipi dikişler, % 80 dolayında (ana geotekstile göre) yük taşıma potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Geliştirilmiş “J” tipi dikişlerde bu oran daha yüksek, deformasyon miktarı daha düşüktür. Sonuçlar incelendiğinde, A tipi (düz tip) dikişlerin en düşük değerlere sahip olduğu görülür.

Test edilen örgüsüz geotekstillerde, % 90 taşıma gücü ve 10 ile 20 mm ek yeri deplasmanına sahip (ki bu diğerlerine göre daha düşüktür) A tipi (düz tip) dikişlerin çok iyi sonuç verdiği görülmüştür.

2.8.3.2. Yapıştırma Ekler

Kimi yapıştırıcılar geotekstilin bünyesindeki boşlukları doldurarak mükemmel bir bağlayıcı olmuşlardır. “Kayma” tipi ekte yapılan test sonuçlarında, taşıma gücü bakımından % 100’lük bir değere ulaşılırken, ek yeri deplasmanı 0 ile 15 mm arasında kalmıştır. “Çekme” tipi ekler ve bant yapıştırıcılar tatmin edici sonuçlar vermemiştir. Yapıştırılacak yüzeylerin çok temiz ve kuru olmasına özen gösterilmelidir.

2.8.3.3. Şişleme Ekler

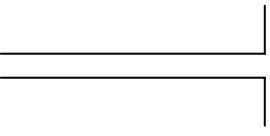
Geogridlerin birleştirilmesinde kullanılan “tığlı” ek, taşıma kapasitesi yönünden % 90’ın üzerinde sonuç verirken, ek yeri deplasmanı (öngerme sonrası) 15 ile 30 mm arasında değişme gösterir.

2.8.4. Sonuçlar

Yapılan test sonuçları değerlendirildiğinde, hem örgülü hem de örgüsüz tip geotekstiller uygulanabilir yüksek yük taşıma kapasiteli ve düşük deformasyonlu ekin “kayma” tipinde “yapıştırma” metodu olduğu (Şekil 2.10)’da görülür [24]. Unutulmamalıdır ki, bu sonuçlar laboratuvarı elde edilmiştir. Arazide de çalışmalar yapıp, sonuçlar karşılaştırılmalıdır. İki taraflı yapışkan bantların kullanımı tatmin edici sonuçlar vermemiştir (taşıma kapasitesi % 10 ile % 40 arasında).

Örgülü tip ekler, %90 civarında taşıma kapasitesine sahip olmalarına karşın, ek deformasyonu açısından olumsuz sonuçlar vermiştir. Burada uygun dikiş tipinin geotekstil cinsine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Deformasyonları azaltmak için ek yerinde öngerme işlemi yapıldığı takdirde, şişli ek (geogrid) mükemmel sonuçlar vermiştir.

ŞEKİL DETAYI		
	KAYMA EKİ	ÇEKME EKİ

Şekil 2.10. Yapıştırma ek tipleri

2.9. Arazide Dikkat Edilecek Hususlar

Geotekstil, sahada delinir ya da yırtılırsa, işlevini yerine getiremez. Eğer, geotekstil kıvrımları ve katlanmış kısımları düzeltilmezse gerilme imkanı bulamaz, bu nedenle de “güçlendirme” fonksiyonu işlemez. Sahada yaşanan diğer problemler arasında, geotekstil üzerindeki örtü malzemesi kalınlığının (alt temel) yetersizliği, geotekstil serilmeden önce taban zemininde oluşan tekerlek izi, üstte yer alan malzemelerin ağırlığı sonucu taban zemini taşıma gücünün aşılması sayılabilir.

Arazide dikkat edilecek hususlar maddeler halinde sunulmuştur :

I) Sahada tasarlanan kotta hafriyat yapıp, bu kottaki zeminin üstü temizlenmelidir. Üstte çok yumuşak zemin yer alıyorsa, bu da sıyırılmalıdır.

II) Sıyırma işlemi sırasında taban zeminin örselenmemesine dikkat edilmelidir.

III) Geotekstil, hazırlanmış zemin üzerine yerleştirilmelidir. Ruloyu gereğinden fazla açmak, yırtılma ve delinme gibi riskleri artırır. Açılan rulolar zemin üzerinde sürüklenmemelidir. Tüm rulo açıldıktan sonra hiçbir katlanma ya da kıvrımın olmadığına dikkat edilmelidir.

IV) Paralel rulolar, kenarları üst üste bindirilerek dikilmelidir.

V) Kurbalarda geotekstile, dönüş yönünde ya kesilerek ya da katlanarak bindirme yapılır. Geotekstil katlı yeri merkezde 150 cm (min.) uzunluğunda olmalıdır

VI) Geotekstilin üstü kapanmadan önce yetkili kişilerce üzerinde delik, yırtık vb. bulunup bulunmadığı kontrol edilmelidir. Eğer geotekstil zarar görmüşse, ek bir malzemeyle bindirme payları dikkate alınarak onarım yapılmalıdır.

VIII) Alt temel agregası geotekstilin kenarından boşaltılmalı ya da daha önce elle serilen (minimum 20 cm) agrega tabakası üzerine boşaltılmalıdır.

IX) Alt temel için serilen ilk kat agregası, vibratör ya da silindir yardımıyla sıkıştırılmalıdır.

X) Eğer geotekstil “güçlendirme” görevi de üstlenecekse, malzemeye öngerme verilmesi unutulmamalıdır. Bu durumda, serilmiş olan agregası tabakası (en az 30 cm) üzerinde lastik tekerlekli araçlar gezdirilerek (bir kesitten en az 4 kez geçerek), altta yer alan geotekstile öngerme verilir.

XI) Yapım sırasında oluşan tekerlek izleri, aynı malzemeyle doldurulmalıdır.

XII) İlk sergiden sonra, agregası (alt temel) tabakasının kalan malzemesi, her bir sergi 25 cm’i geçmeyecek kalınlıkta (gevşek malzeme kalınlığı) serilir ve sıkıştırılır.

3. DOLGULARDA GEOTEKSTİL UYGULAMALARI, TASARIMI, PARAMETRİK DEĞERLERİ ve HESAP YÖNTEMLERİ

3.1. Geotekstil Destekli Kaplamasız Yol Tasarımı

Daha önceki bölümlerde de belirtildiği gibi geotekstil, taban zemininin taşıma kapasitesini arttırarak, zemin içinde bir kuvvetlendirici rol üstlenir. Membran işleviyle üst yapıdan gelen yükü karşılamaya çalışır. Günümüze dek yapılan tasarım metodları çerçevesinde, istenilen agreg a yüksekliğinin, taban zemininin dayanımı, izin verilen tekerlek izi derinliği, tekerlek yükü, trafik yoğunluğu, dokuma cinsi ve yük dağılımının bir fonksiyonu olduğu kabul edilir.

Geotekstiller, killi, siltli ve organik zeminler üzerinde rahatlıkla kullanılabilir duruma gelmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi geotekstiller, ayırma, filtrasyon, drenaj ve destekleme işlevlerinden en az birini yerine getirmektedir.

Bu bölümde, geotekstil konusunda önemli isimlerin “donatma” işlevi üzerinde yaptıkları bir dizi çalışmaların karşılaştırılması sunulmuştur. Bu karşılaştırmalarda, verilmiş olan taban zemini dayanımı, dokuma cinsi ve izin verilen çekme değerlerine göre “agrega yüksekliği” ne olmalıdır sorusuna da yanıt aranmıştır.

Geotekstil, nadir olarak taban zemininin içine yerleştirilir. Çoğunlukla agreg a ile taban zemini ara yüzeyine yerleştirilir. Agreganın takviye edilmesi gereken durumlarda ise –ara yüzeye ek olarak- agreg a içine de geotekstil yerleştirilir. Bu uygulama, agreganın pahalı ve kalitesinin kuşku lu olduğu durumlarda ekonomiktir [17].

Amerika’da, 1978 yılında Su İşleri Dairesi tarafından yapılan deneyler, tekerlek izi bakımından örgülü tip geotekstilin örgüsüz tip geotekstillere göre daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur.

3.2. Geotekstilde Hesap ve Tasarım Metodları

3.2.1. Ayırma Fonksiyonu

Bu fonksiyon, agreganın taban zeminine karışmasını engeller. Böylece agreganın tabakasının orjinal mukavemeti ve kalınlığı korunmuş olur. Özellikle kaplamasız yol uygulamalarında, geotekstilin ayırma işlevi çok önemlidir. Geotekstilin ayırma fonksiyonuna bağlı parametreleri şunlardır :

- Delinme mukavemeti
- Yırtılma mukavemeti
- Patlama mukavemeti
- Gerilme enerjisi (zayıf taban zeminlerde önemlidir)

3.2.2. Filtrasyon Fonksiyonu

Geotekstil, taban zeminindeki ince daneli malzemenin temel tabakasına karışmasına engel olmalı aynı zamanda suyu geçirmelidir. Bu durumda iki kriterden söz edilir : zemin sıklılığı (0_{90}) ve geçirimsizlik (k).

3.2.2.1. Zemin Sıklılığı

Geotekstil, taban zemini içindeki ince daneli malzemenin suyun etkisiyle temel tabakasına taşınmasını önlemelidir. Bu duruma etkileyen faktörler :

- a) Geotekstil-taban zemini ara yüzeyindeki boşluk suyu basıncı değişimi
- b) Taban zemini su kapsamı (w) ve kohezyonu (c)
- c) Taban zemini dane dağılımı
- d) “Kum sıklılığı” adı verilen ve geotekstilin gözenek boyutu ve dağılımına bağlı değer sayılabilir.

Su kapsamı ve kohezyon ise taşınan malzeme miktarını etkileyen faktörlerdir. Bunu açıklayan en önemli parametre, C_u değeri 100 kN/m^2 'den büyükse, taban zeminin de temel tabakasına ince daneli malzeme kaybı olmaz. Bu nedenle (C_u)'nun 100 kN/m^2 'den büyük olması durumunda geotekstil kullanımı (filtrasyon ve ayraç olarak) gereksizdir. C_u değeri 100 kN/m^2 'nin altındaysa geotekstil kullanılması gerekir. Geotekstil gözenek boyutu, taban zemini dane dağılımı dikkate alınarak belirlenmelidir. Tasarımda, zemin içindeki en büyük dane ($d_{\max}$), geotekstilin en

büyük gözeneginden (0_{max}) geçemeyeceği düşünülür. Delft (Hollanda) Hidrolik Laboratuvarı tarafından geliştirilen metodla 0_{90} değeri şu şekilde tanımlanır [11]:

- örgülü tipler için, $0_{90} < d_{90}$
- örgüsüz tipler için, $0_{90} < 1,8 d_{90}$
- her ikisi için, $0,3 < 0,90 < 0,7 \text{ (mm)}$

3.2.2.2. Geçirimsizlik

Permeabilite hesaplarında Darcy formülünden yararlanılır :

$$v = k \cdot i = k \cdot \frac{h_g}{T_g} = \frac{k}{T_g} \cdot h_g \quad (3.1)$$

Burada,

v = Filtre hızı

k = Permeabilite katsayısı

i = Hidrolik eğim

h_g = Geotekstilde hidrolik yük

T_g = Geotekstil kalınlığı

Taban zemini içerisindeki ince daneli malzemenin geotekstil bünyesine girmesi sonucu tıkanma oluşmaktadır. Bu durumda, permeabilite değeri düşmektedir. Bu tip tıkanmalar, çoğunlukla sahil ve nehir korumalarındaki uygulamalarda yoğunlaşmakta olup, yol inşaatı uygulamalarında pek rastlanmamaktadır.

Geotekstilde gerekli permeabilite değeri, taban zemini permeabilitesinin 10 katıdır. Yani $k_g > 10 k_s \text{ (m/s)}$. Bu durumda boşluk suyu basıncı da önlenmiş olur.

3.2.3. Drenaj ve “Sert Yüzey”

Yanal drenaj, geotekstilin kendi düzlemi boyunca ve düşey yönde suyu drene etmesi olarak tanımlanır. Uzun vadede nasıl rol aldığı halen kesinlik kazanmamıştır.

“Sert yüzey” fonksiyonu, geotekstilin agrega tabakasının sıkışabilirliğini arttırır. Bu işlev, ayırma ve yanal hapsedme işlevlerinin bir bileşimidir.

3.2.4. Güçlendirme Fonksiyonu

Geotekstil, zemini ve agregayı çeşitli şekillerde güçlendirerek destekler. Bu zeminin geometrisine, taşıma kapasitesine, trafik yüklerine ve yoğunluğuna bağlı olarak değişir. Eğer tekerlek yükü ağır, taban zemini zayıf veya agrega tabakası inceyse, alt zemin daha ilk yükün geçmesiyle göçecektir. Genelde bu göçme büyük deformasyonlar doğurur. Geotekstilin membran hareketi, tekerleklerin altına yukarıya doğru kaldırma kuvveti sağlayarak taşıma gücünü artırır. Bu tip desteklemeye “membran hareketi” adı verilir.

Eğer tekerlek yükleri daha az ve zemin koşulları daha elverişliyse, alt zemin hemen göçmez; fakat önemli deformasyonlar gösterir. Bu deformasyonlar giderek artar. Geotekstil, yanal gerilmeleri karşılayarak, agregada oluşan kayma gerilmesini azaltır. İşte bu “yanal hapsolme” etkisi, temelin taşıma kapasitesini artırır. Buna ek olarak, taban zeminin yanal deplasmanı da geotekstil ile zemin arasındaki kayma gerilmesine bağlı olarak sınırlanmaktadır. Bu etkiye de “taban zeminin hapsolmesi” adı verilir. Bu etki sonucunda, tekerlek izi derinliğinde büyük düşüşler kaydedilmiştir.

Güçlendirme fonksiyonuna etkiyen geotekstil parametreleri şunlardır :

- Elastisite Modülü : Yüksek modüle sahip olan geotekstillerin membran etkisi daha fazladır.
- Çekme Mukavemeti : Geotekstilde oluşacak maksimum gerilme, onun çekme mukavemetini geçmemelidir.
- Sünme ve Gevşeme Davranışı : Bu özellik, bilhassa tekerlek izi ve yük dağılımı konularında önemlidir.

Bu konuda en güvenilir metod Sellmeijer (1983) tarafından önerilmiştir. Kısaca, önerdiği formüllerden bahsedilecektir [13].

Zemin taşıma gücü aşağıdaki gibi saptanır :

$$q_1 = N_c \left(C + \frac{3}{4} B \cdot \gamma \cdot \tan^2 \theta \right) \quad (3.2)$$

Burada,

q_1 = taban zemini taşıma kapasitesi (kN / m²)

c = kohezyon (kN / m²)

θ = taban zemini içsel sürtünme açısı

γ = taban zemini birim hacim ağırlığı (kN / m³)

N_c = taşıma gücü faktörü

B = yol genişliği (m)

olarak tanımlanır.

Dağılan tekerlek yükü ise aşağıdaki gibi bulunur :

$$q_0 = \frac{F}{2(nB_t + 2eH)(B_t + 2eH)} \quad (3.3)$$

Burada,

q_0 = dağılan tekerlek yükü (kN / m²)

F = aks yükü (kN)

B_t = tekerlek genişliği (m)

N = tekerlek sayısı (-)

H = agregata tabakası kalınlığı (m)

e = agregata yük dağıtım faktörü (-)

Göçme genişliğini de aşağıdaki formülle bulmak mümkündür :

$$B_p = \frac{F}{2(q + \gamma_a H)(B_t + 2eH)} \quad (3.4)$$

Burada,

B_p = göçme genişliği (m)

F = tekerlek yükü (kN)

q = taban zemini taşıma gücü (kN/m²)

γ_a = agregata birim hacim ağırlığı (kN/m³)

H = tabaka kalınlığı (m)

B_t = tekerlek genişliği (m)

e = agregata yük dağıtım faktörü

Agrega yük dağıtım faktörü (e), yükün agregada içinde dağılım açısının tanjantı olarak tanımlanır. Bu dağıtım faktörü, tabakanın sertlik derecesine göre alınabilecek “e” değerleri verilmiştir :

<u>CBR (%)</u>	<u>e</u>
5	0,25
10-12	0,30
15-20	0,35
25-50	0,40
50-70	0,50

4. PLAXIS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

Bu bölümde ilk olarak nümerik analiz yöntemleri ve sonlu elemanlar analizleri ile ilgili genel bilgi verilmiştir. Daha sonra ise geotekstil donatılı dolguların analizinde kullanılan PLAXIS programı ve programda kullanılan malzeme modelleri ile parametreler hakkında bilgi verilmiştir. PLAXIS programı geoteknik mühendisliği problemlerinin nümerik analizleri için geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır.

4.1. Sayısal Yöntemler

Jeolojik ortamların analizinde, ortamın karmaşık oluşu ve davranışının çok çeşitli etkenlere bağlı olması nedeni ile genellikle ampirik bağıntılardan yararlanılmaktadır. Bu durum özellikle nümerik yöntemlerin ve bilgisayarların gelişmediği, yaygınlaşmadığı dönemlerde daha yaygın görülmüştür. Geoteknik mühendisliğinin çoğu uygulamasında, geliştirilen bu bağlantıların kullanılması ile yapılan analizler genelde yaklaşık sonuçlar vermekle birlikte bazen gerçek değerlerden çok uzak sonuçlar verebilmektedir.

Geoteknik problemlerinin analizinde aynı anda birçok karakteristik özelliği göz önünde bulundurmak oldukça zordur. Ele alınan her bir ampirik bağıntı yeni kabulleri getirmekte, bu da problemde gerçek çözümden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle jeolojik ortamlar bir sürekli ortam gibi düşünülerek çeşitli etkiler karşısında davranışı (yükleme, sızıntı, konsolidasyon v.b.) için fiziksel bir temele dayanan teoriler ileri sürülmüştür. Bu konuya Terzaghi (1943) önderlik etmiş ve geliştirdiği konsolidasyon teorisi geoteknik mühendisliğinde bu esasa dayanan önemli bir etki olmuştur. Geliştirilen bu teoriler genelde matematiksel olarak diferansiyel denklemlerden meydana geldiğinden kapalı çözümlere ulaşmak için bir takım basit kabuller yapmak gerekmektedir. Bu yaklaşım çoğu pratik durumlar için yeterli çözümü sağlamasına karşın jeolojik ortamların homojen olmayan yapısı, non-lineer malzeme davranışı, gelişigüzel geometrisi, içerisindeki süreksizlikler, malzeme özelliklerinin zaman ve ortamla değişimi v.b. karmaşık özellikler nedeniyle

problemin gerçekçi çözümlere ulaşmasına olanak vermemektedir. Bu nedenle geomekanik problemlerin analizinde yukarıda adı geçen faktörlerin birçoğunu aynı anda göz önüne alan nümerik yöntemler geliştirilmiş olup bunların çoğu yukarıda sözü edilen teorilerin matematiksel ifadesi, diferansiyel denklemleri çözümünde nümerik analiz yöntemlerinin uygulanmasıdır. Nümerik analiz yöntemlerinin gelişmesi ve birçok özelliği aynı anda göz önüne alabilmesi bilgisayarların gelişmesine bağlı olarak gerçekleşmiştir.

Sonlu elemanlar nümerik analiz yöntemi, Zeinkiewicz (1977), tarafından, matematiksel ifadelerle tanımlanan sürekli problemlerin genel çözüm yöntemi olarak tanımlanmıştır. Geoteknik problemler için matematiksel ifadeler, su akışı (boşluk suyu basıncını içeren problemler), denge eşitlikleri, sınır durumların ve deformasyonların uygunluğu ile gerilme-şekil değiştirme arasındaki ilişkiyi tanımlayan eşitliklerdir.

4.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi nümerik analiz yöntemleri arasında bilgisayar yazılımı için en uygun formülasyona sahiptir. Bunun nedeni, karmaşık sınır koşulları ve non-lineer malzeme davranışı, homojen olmayan malzemeler gibi zor ve karmaşık problemlerin çözümünde sistematik bir programlamaya müsaade etmesidir. Diğer yandan bu yöntem mühendisliğin çok geniş bir alanında sınır değer problemlerine uygulanabilmektedir (katı cisim mekaniği, termoelastisite, termodinamik, akışkanlar mekaniği, magnetizma v.b.) [4].

Sonlu elemanlar yöntemi, sürekli bir sistemi bir problemin karakterine uygun sonlu elemanlara ayırarak, elde edilen elemanlar üzerinde iç ve dış kuvvetlerin enerjisinin minimum olması ve sonra bu elemanların birleştirilmesi şeklinde bir çözüm yöntemi uygulamaktadır. Bunun sonucu olarak sınır koşulları, sisteme ait özellikler, dış yüklerin sürekli veya ani değişimleri kolayca göz önüne alınabilmektedir. Ayrıca sürekli sistemin tipik bölgelerinde eleman boyutları küçültülerek o bölgenin daha ayrıntılı incelenmesi mümkün olmaktadır. Bu yöntemin diğer bir avantajı ise sınır şartlarının problemin çözüm sırasına göre en son adımda hesaplara dahil edilmesidir. Böylece çeşitli sınır şartlarını probleme uygularken başlangıçtaki yoğun hesapların tekrarına gerek kalmamaktadır.

Geoteknik mühendisliğinde sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasına 1996 yılında başlanmıştır. Cloung ve Woodward (1967), dolguda gerilmeleri, yanal ve düşey hareketleri belirlemek amacıyla ve Reyes ve Deene (1966), yeraltında kayada kazı yapılması uygulamasında bu yöntemi kullanmışlardır. Geçen 34 yıllık zaman süresince bu yöntem kullanılarak teoride ve pratikte birçok avantaj sağlanmıştır. Geoteknik mühendisliği uygulamalarında sonlu elemanlar analizlerinde gerçek durumu modelleyebilmek açısından adım adım (aşamalı yükleme, aşamalı kazı) yapılmaktadır. Analizin adımlar halinde yapılabilmesi iki önemli avantaj sağlamaktadır.

1-Analizlerde dolgu yerleştirilmesi veya kaldırılması durumunda, geometri her bir adımda değişmektedir. Geometrideki değişim sonlu elemanlar ağına eleman ekleyerek veya kaldırarak modellenenilmektedir.

2-Analizlerde, zemin kütlesi içinde gerilmelerin değişimi sonucu her bir yükleme kademesinde zemin özellikleri değişmektedir.

Geoteknik mühendisliği problemlerinde sonlu elemanlar analizleri sonucunda gerilmeler, yanal ve düşey hareketler, boşluk suyu basınçları ve zemin suyu akışı v.b. belirlenmektedir. Zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışı non-lineer olduğundan geoteknik mühendisliği sonlu eleman analizlerinde bu davranışın modellenmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapımdan önceki başlangıç gerilme durumu, zeminin non-lineer gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özellikleri ile yükleme aşamaları arasındaki bekleme süreleri analizlerde gerçek duruma yakın olarak belirlenmelidir [21].

Sonlu elemanlar analiz yöntemi özellikle geotekstil donatılı şevlerin ve istinat yapılarının tasarımında önemli bir araçtır. Donatılı yapı ve temel zemini malzeme parametrelerindeki belirsizlikleri gidermek için parametrik çalışma yapılabilir ve sonuç olarak elde edilen gerilmelere, yatay ve düşey hareketlere bakılarak tasarımın yeterliliği hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Bu çalışmada geotekstil donatılı şevlerin ve istinat yapılarının davranışı sonlu elemanlar analiz yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Geotekstillerin donatılı olarak kullanıldığı yapılarda geotekstildeki çekme dayanımının mobilize olabilmesi için belirli bir miktar deformasyonun meydana gelmesi gerekmektedir. Geotekstildeki nihai çekme dayanımının mobilize olabilmesi için belirli bir miktar deformasyonun

meydana gelmesi gerekmektedir. Geotekstildeki nihai çekme dayanımı ise ancak göçme anında meydana gelen büyük deformasyonlar sonucunda mobilize olabilmektedir. Zemin ile geotekstil donatı arasındaki bu etkileşim en iyi sonlu elemanlar yöntemi ile modellenebilmektedir. Çalışmada geotekstil donatılı şevlerin ve istinat yapılarının sonlu elemanlar analizinde geoteknik mühendisliği problemlerinin çözümüne yönelik olarak geliştirilen PLAXIS isimli bilgisayar programı kullanılmıştır.

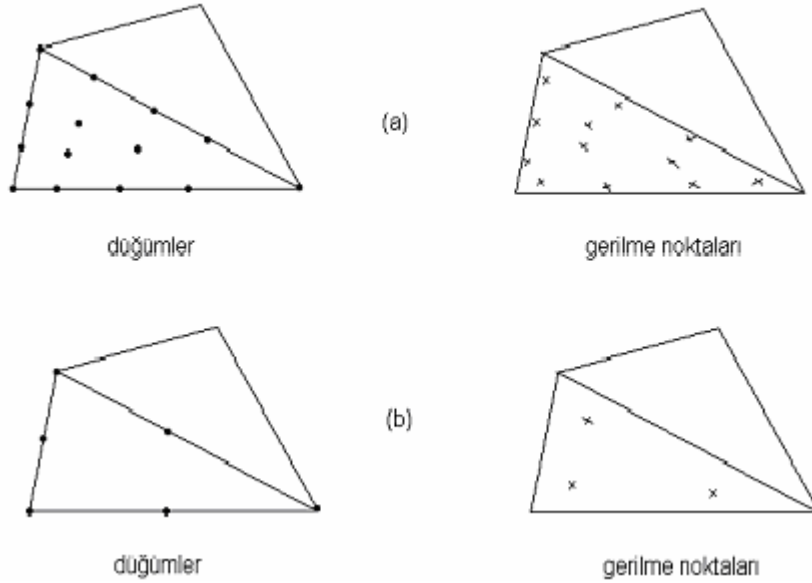
4.3. Plaxis Programı

PLAXIS programı geoteknik mühendisliği problemlerinin nümerik analizi için geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır. Program, grafik bilgi girişine olanak sağlayan bir giriş (input) programı, analizlerin gerçekleştirildiği hesap (calculation) programı, analiz sonuçlarını grafik olarak sergileyebilen çıkış (output) programı ve elde edilen sonuçlarla ilgili istenilen eğrilerin oluşturulmasına olanak sağlayan eğri (curve) programından oluşmaktadır. Bu program, 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.

Uygulanan sonlu elemanlar formülasyonunda deplasman (yer değiştirme) yöntemi kullanılmıştır, yani deplasmanlar esas bilinmeyen olarak kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre, bir sürekli ortam birçok elemana ayrılır ve her bir eleman üzerindeki düğüm noktaları bir 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. Düğüm noktalarının elemanlar üzerindeki dağılımı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Analizlerde yer değiştirmeler düğüm noktalarında, gerilmeler ise Şekil 5.1’deki gibi gerilme noktalarında hesaplanmaktadır. 6 düğüm noktalı üçgen elemanda 3 gerilme noktası, 15 düğüm noktalı üçgen elemanda ise 12 gerilme noktası vardır. Bu çalışmada, sonlu

elemanlar modellerinin karşılaştırmasını yapmak için gerçekleştirilen analizlerde 15 düğüm noktalı elemanlardan faydalanılmıştır.



Şekil 4.1. Analizde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları

Programın kullanımı sırasında öncelikle geometrinin oluşturulması gereklidir. Bu amaçla 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.

Geometrinin oluşturulmasından sonra projede kullanılacak yapısal elemanlar (temel, palplanş, geotekstil, yatay destek, ankraj) yerine göre BEAM, GEOTEXTILE, NODE TO NODE ANCHOR ve FIXED END ANCHOR komutları yardımıyla modellenir.

Tünel hesapları için ayrı bir komut olan TUNNEL komutu kullanılmaktadır. Tünel hesaplarında tüneli üç farklı şekilde tanımlamak mümkündür (sol yarım tünel kesiti, sağ yarım tünel ve tam tünel kesiti). Bu komut BEAM komutunun farklı bir kullanımı olduğundan, palplanş ve temel hesaplarında kullanılanların aynısıdır.

Tünel geometrisini belirlemek için ise TUNNEL DESIGNER komutu kullanılır. Burada tünelin yarıçapı ve her dilim için o dilimin merkez açısı belirlenir. Dairesel tünellerde bu açılar her bir dilim için aynı iken, değişik kesitli tüneller için bu açılar

değiştirilerek farklı geometriler elde edilebilir. Ayrıca bu komut altında tünel etrafındaki kaplama malzemesi ve zemin-yapı etkileşimini hesaba katmak için ara yüzey elemanlar (INTERFACE ELEMENTS) tariflenebilir. Buna ilave olarak, fleksibl yapılar için geçerli olan şekil değiştirebilme yüzdesi yine bu komut altında tünel kesitine atanabilir.

PLAXIS programı, önceden belirlenmiş yer değiştirmeler, çizgisel ve yayılı yükleri kullanmamıza da olanak sağlar. Bu amaçla, sırasıyla PDESCRIBED DISPLACEMENTS, POINT FORCES ve TRACTION LOADS komutları kullanılabilir.

Malzeme özellikleri atanmadan önce, sınır şartlarını belirlemek amacıyla STANDART FIXITIES komutu kullanılır. Programda bu düğmeye basıldığında otomatik olarak düşey yönde harekete izin verilirken yatay yöndeki hareket sınırlandırılır. Ancak, gerekli hallerde bu sınır şartlarına müdahale edilerek gerekli düzenlemeler yapılabilir.

PLAXIS programında MATERIAL PROPERTIES ana başlığı altında malzeme özellikleri SOIL&INTERFACE, BEAM, ANCHOR ve GEOTEXTILE elemanlar tanımlanır.

Çubuk elemanlar için (BEAM ELEMENT), Normal rijitlik (EA), Eğilme rijitliği (EI), duvar kalınlığı (d), eleman ağırlığı (w) ve Poisson oranları (ν); ankraj ve destek elemanlarını tanımlamakta kullanılan NODE TO NODE ANCHOR komutu için Normal rijitlik (EA), destek aralığı (L_s) ve maksimum kuvvet (F_{max}) değerleri; ankraj kökü ve geotekstil malzemesini tanımlamak için kullanılan GEOTEXTILE komutu için ise Normal rijitlik (EA) değerleri program girdileri kısmında verilmelidir.

Programda zemin özelliklerini belirlemek amacıyla zemin mekaniği problemlerinin analizinde çok yaygın olarak kullanılan Mohr-Coulomb (MC), kum, çakıl gibi kohezyonsuz zeminlerde ve çok aşırı konsolide kohezyonlu zeminlerde kullanılan Hardening Soil Model (HS), geoteknik problemlerinin analizinde sıkça kullanılan efektif gerilmelere göre analiz yapan ve yumuşak zeminlerin davranışını daha iyi modelleyebilen Soft Soil Creep Model (SSC) ve Lineer Elastic Model olmak üzere dört farklı zemin modeli kullanılabilir. Bu çalışma kapsamında Mohr-Coulomb modelinden yararlanıldığı için burada Mohr-Coulomb modeli

parametrelerinden bahsedilecektir. Bu modelde malzeme davranışı ideal elasto plastik olarak alınmıştır.

Bu modelde Young Modülü (E), Poisson oranı (ν), içsel sürtünme açısı (ϕ), genleşme açısı (ψ), zeminin kuru ve doğal birim hacim ağırlıkları (γ_k ve γ_n), yatay ve düşey permeabilite katsayıları (k_v ve k_h) ve zeminin herhangi bir yapısal elemanla temasta olması durumunda arayüzey elemanlar tanımlanmaktadır. Tüm malzeme parametreleri tanımlandıktan sonra her bir malzeme ilgili ortama atanarak sonlu elemanlar ağının oluşturulması safhasına geçilir.

Sonlu elemanlar ağı da, MESH komutu ile 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 düğmesine basılır. 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.

Bu adımdan sonra CALCULATION komutuna basılarak ortam son haline getirilir ve hesaplamalara geçilir. Bu aşamada kademeli inşaat yapılması durumunda STAGED CONSTRUCTION, tekil ya da yayılı yük tanımlanması durumunda ise TOTAL MULTIPLIERS (toplam çarpanlar) 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 [2,5].

Plaxis'te 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.

Çalışmada geotekstil ile zemin arasındaki etkileşimi modellemede ara yüzey elemanlarından faydalanılmıştır. Ann, Hoe ve Chiat (2000) Plaxis programını kullanarak bir patlama sonucu geotekstil donatılı bir duvarda dinamik yüklerin etkisi altında meydana gelebilecek gerilmeleri arazi ölçümleri ile analiz sonuçlarını karşılaştırarak incelemişlerdir. Yapılan karşılaştırma sonucunda geotekstil donatılı yapının davranışının ara yüzey özelliklerinden önemli oranda etkilendiğini görmüşlerdir. Tez kapsamında gerçekleştirilen analizlerde de benzer şekilde geotekstil donatılı yapının davranışının ara yüzey özelliklerinden önemli oranda etkilendiği ve yapının davranışının ve geotekstile etkiyecek kuvvetlerin doğru olarak belirlenebilmesi için ara yüzey katsayısının doğru seçilmesi gerektiği görülmüştür.

Analizlerde yapının kademeli olarak inşaatı (stage construction) göz önünde bulundurabilmektedir ve bu nedenle program arazide adım adım inşa edilen geotekstil donatılı yapıların analizi için oldukça uygundur. Programda ayrıca güvenlik faktörünün hesaplanması amacıyla geliştirilmiş Phi-c azaltma (Phi-c reduction) seçeneği de vardır. Burada zemin parametreleri ϕ 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.

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

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 azaltma analizlerinden faydalanılmıştır.

5. PLAXIS PROGRAMI İLE YUMUŞAK BİR KİL ÜZERİNE DOLGU YAPILMASININ İNCELENMESİ

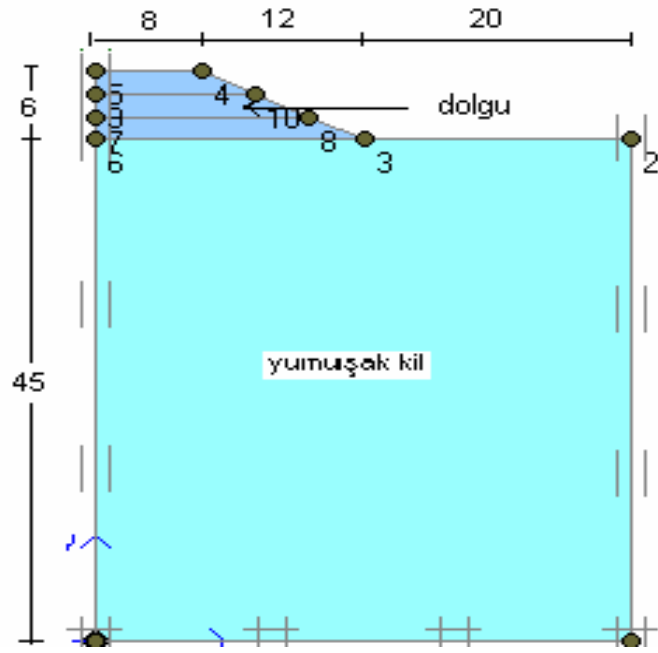
Bu çalışmada geoteknik mühendisliği problemlerinin sonlu elemanlar analizi ile geliştirilmiş PLAXIS programı kullanılarak, geometrisi Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de verilen örnekte görüldüğü gibi yumuşak zemin üzerine oturtulan dolgu bir zemin problemi ele alınmış, zemin ve dolgunun malzeme özellikleri ve arazi yapısı dikkate alınarak incelenmiş ve zemin taşıma gücü yeterli olmadığı için geotekstil ile zemin iyileştirilmesi, 4 değişik durum için analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yer altı su seviyesi zemin yüzeyindedir ve doğal zemin yumuşak kildir. Tablo 5.1’de sonlu elemanlar analizinde kullanılan parametreler gösterilmektedir.

Tablo 5.1 Ortamdaki zemin parametreleri

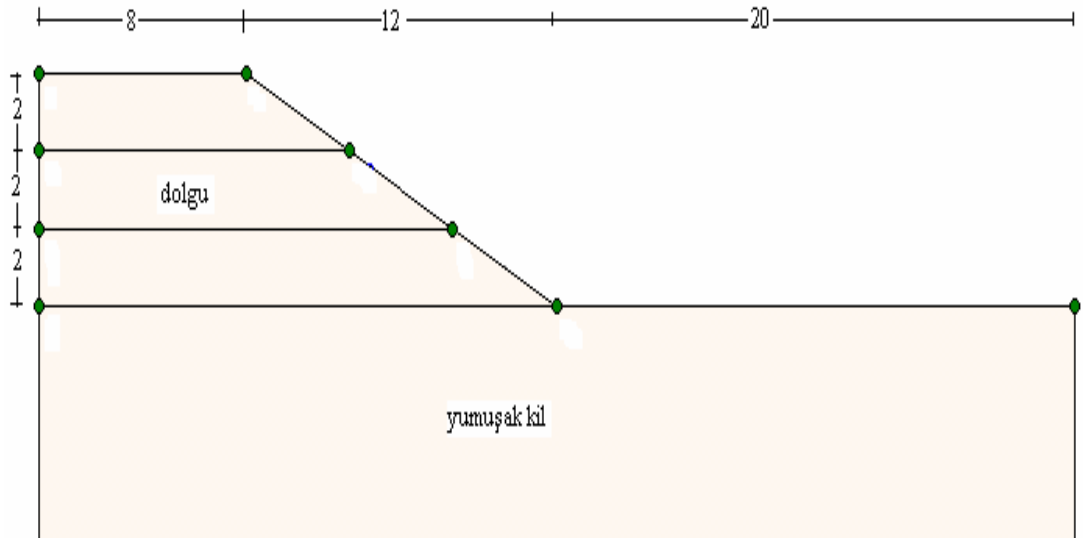
Malzeme Cinsi	E	γ	γ_k	k_x k_y	ν	C	$\emptyset$	Ψ
	[kN/m ²]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	m/s	-	[kN/m ²]	[°]	[-]
Kil	2000	18,5	16	0,0001 0,0001	0,33	3.00	25	0.00
Dolgu	50000	20	16	1.00 1.00	0,30	1.00	30	0.00
Kum Şilte	30000	20	16	1.00 1.00	0,30	1.00	30	0.00

E:Young Modülü, γ :Birim hacim ağırlığı, k:permeabilite katsayısı, ν :Poisson oranı
c:kohezyon, $\emptyset$:İçsel sürtünme açısı, Ψ :Genleşme açısı

Yapılan analizler sırasında, simetriden dolayı zemin profilinin yarısı modellenmiştir. Simetrik kenar yanal hareketleri sınırlandıracak, buna karşılık düşey yönde harekete izin verecek şekilde yatay yönde tutulu, düşey yönde serbest olarak modellenmiştir.



Şekil 5.1 Gerçek zemin ortamı



Şekil 5.2 Donatısız dolgunun detaylı görünümü

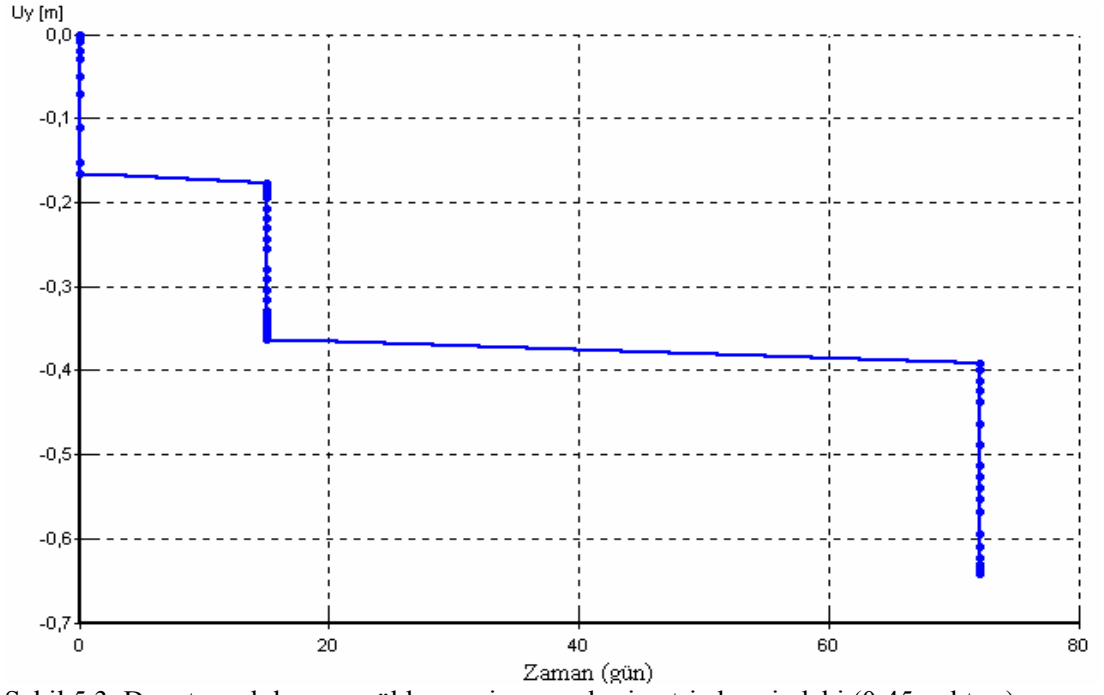
5.1. Analizde Esas Alınan Zemin Ortamının Simetrik Kesiti

Problemi en doğru şekilde analiz edebilmek ve aşırı boşluk suyu basıncının değişimini izleyebilmek amacıyla kademeli kazı ve dolgu yapılmıştır. Bu sayede zemin davranışının her aşamada değişimi izlenebilmiştir. Zemin, her dolgu

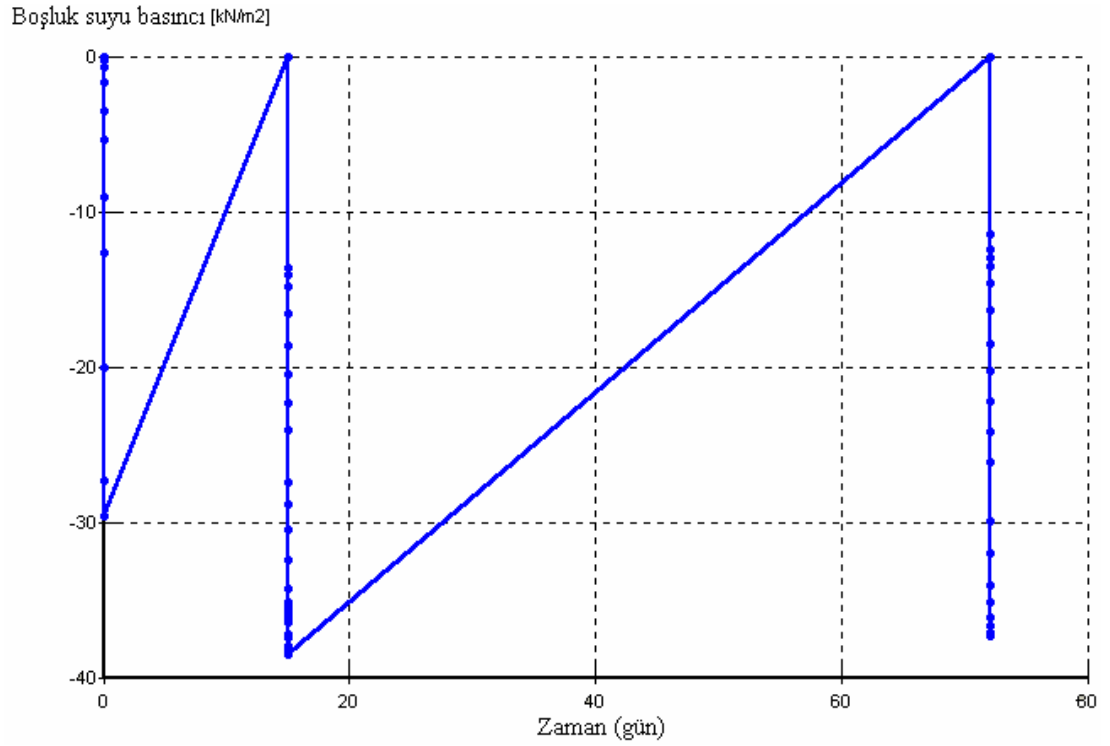
yüklemesinde 15 günlük konsolidasyona bırakılmıştır. Yapılan işlem 7 adımda gerçekleşecektir. Bu aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

1. Aşama: 1. kademe 2 m dolgunun yüklenmesi
2. Aşama: 15 günlük 1. konsolidasyon
3. Aşama: 2. kademe 2 m dolgunun yüklenmesi
4. Aşama: 15 günlük 2. konsolidasyon
5. Aşama: 3. kademe 2 m dolgunun yüklenmesi
6. Aşama: Minimum boşluk basıncı 1 kN/m^2 ye kadar süren konsolidasyon
7. Aşama: Güvenlik faktörünün hesaplanması

Plaxis programıyla yapılan bu analiz sonucunda yumuşak zemin ikinci kademe dolgu (4.0 m) yüklemesinin ardından, zemin göçtüğü için bundan sonraki adımlarda hesap yapılamamıştır. Zemin göçtüğü anda sonlu eleman ağı içerisindeki maksimum toplam deformasyon 72 cm olarak bulunmuştur. Simetri eksenindeki (0;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.3'te verilmiştir. Maksimum efektif gerilme $403,24 \text{ kN/m}^2$, maksimum toplam gerilme $862,82 \text{ kN/m}^2$, maksimum boşluk suyu basıncı ise $460,59 \text{ kN/m}^2$ dir. Simetri eksenindeki (0;45 noktası) boşluk suyu basınç grafiği Şekil 5.4'de verilmiştir. Bu yüzden zemini güçlendirmek, zeminin göçmesini engellemek, oturma ve deformasyonun en az olduğu duruma erişmek amacıyla 5 farklı durum için geotekstil donatılı zemin modeli geliştirilmiştir. Donatısız dolgu için yapılan analizin sonlu eleman ağı içerisindeki deformasyon, efektif gerilme, toplam gerilme ve boşluk suyu basıncı sonuçları Ek A1'de verilmiştir.



Şekil 5.3 Donatısız dolgunun yüklenmesi sırasında simetri eksenindeki (0;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği

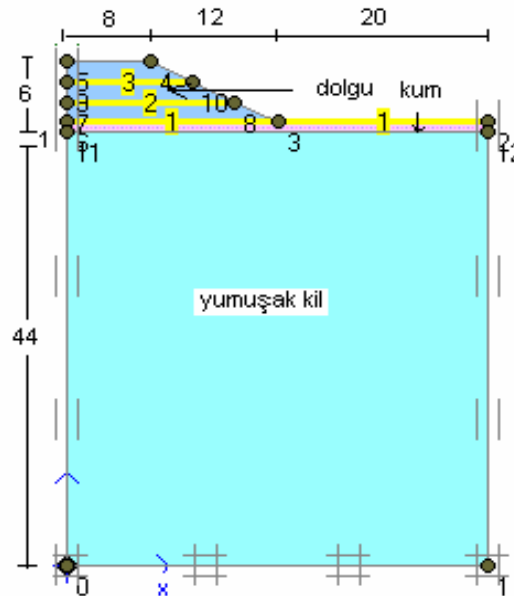


Şekil 5.4 Donatısız dolgunun 2 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;45 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği

5.2 Dolgunun Kum Zemin Üzerine Geotekstil Donatılı Olarak Serilmesi

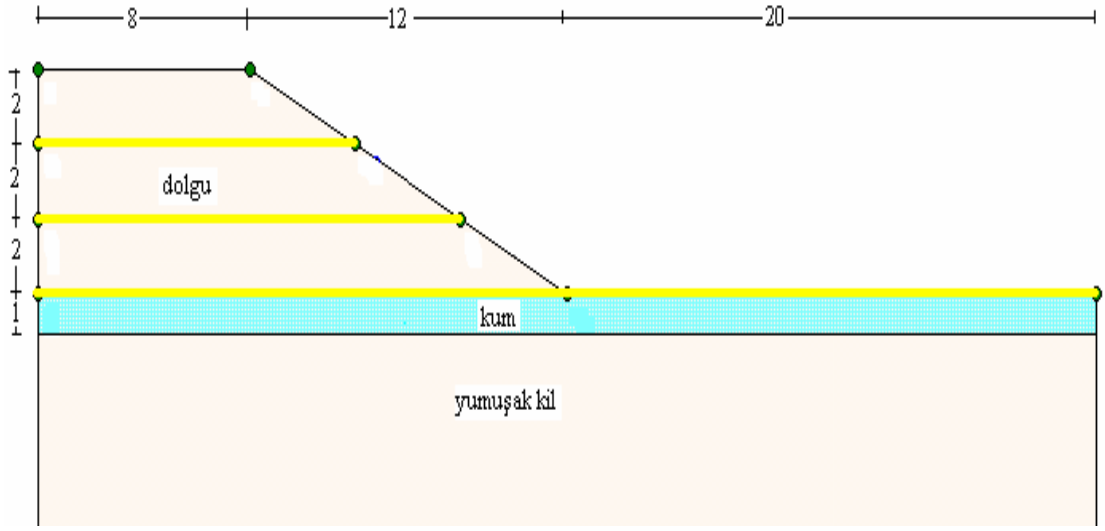
5.2.1. Dolgunun Yumuşak Zemine Oturtulması ve Arasına Geotekstil Serilmesi

Arazide geotekstil donatılı yapılar tabakalar halinde geotekstilin serilmesi ve üzerine dolgu teşkil edilmesi şeklinde kademeli olarak gerçekleştirilmektedir. Dolgunun kademeli olarak inşa edilmesi, dolgu ve temel zemini içerisinde oluşacak gerilmelerle şekil değiştirmeler üzerinde etkili olmaktadır. Bu nedenle analizlerde bu durumu modellemek amacı ile PLAXIS programındaki kademeli inşaat (stage construction) hesap modelinden faydalanılmıştır ve dolgu 2 metre'lik tabakalar halinde inşa ediliyormuş gibi modellenmiştir. Geotekstiller, yumuşak zeminler üzerine serildiklerinde yeterli verimi veremediklerinden, alt katmanına yatak görevi üstlenecek kum tabakası serilmesi gerekmektedir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum tabakası üzerine 2 metreyle arayla serilen, Elastik rijitliği 1200 kN/m olan 3 sıra geotekstil donatılı dolgunun Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla analizi yapılmıştır. Geotekstil donatının parametrik değerleri Plaxis programının internet sitesinden alınmıştır. Burada dolgu işlemi 8 adımda tamamlanmıştır. Bu aşamalar aşağıda özetlenmiştir.



Şekil 5.5 1 m kum tabakası üzerine serilmiş 3 sıra donatılı dolgunun donatılı zemin ortamı

1. Aşama: 1 metre kalınlığındaki killi zeminin yerine kum tabakasının serilmesi
2. Aşama: 1. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 1. kademe 2 m dolgunun yüklenmesi
3. Aşama: 15 günlük 1. konsolidasyon
4. Aşama: 2. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 2. kademe 2 m dolgunun yüklenmesi



Şekil 5.6 1 m kum tabakası üzerine serilmiş 3 sıra donatılı dolgunun detaylı görünümü

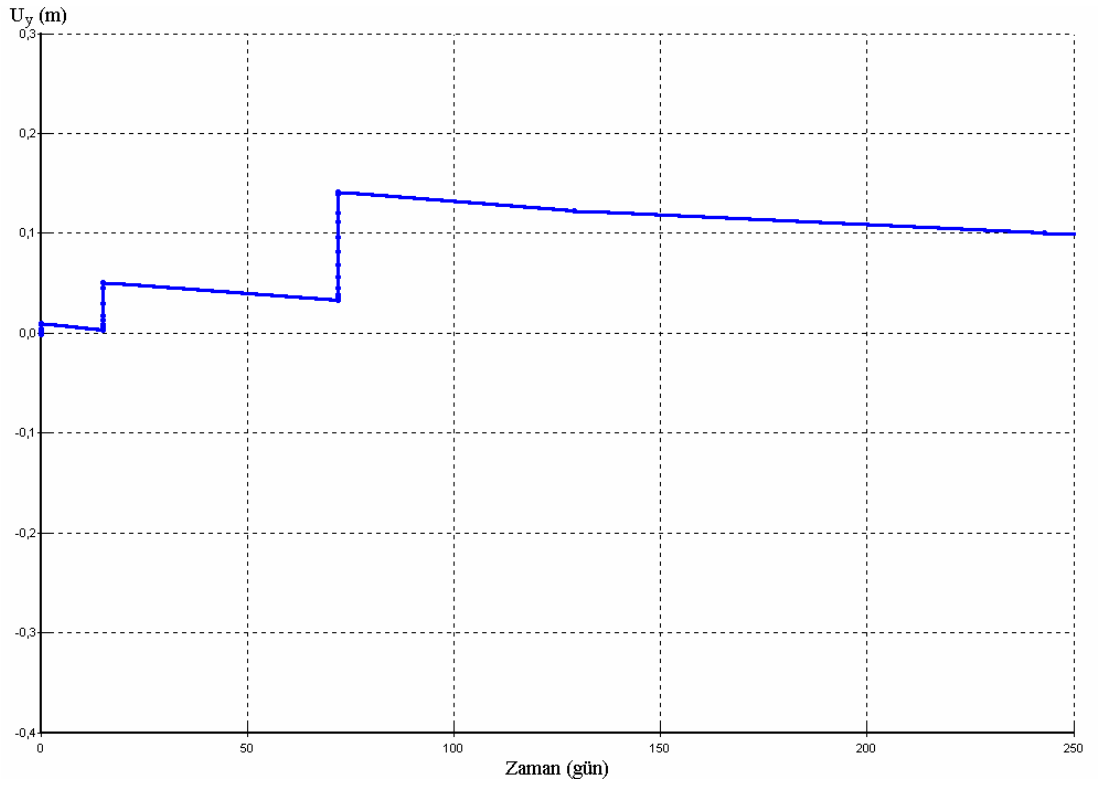
5. Aşama: 15 günlük 2. konsolidasyon
6. Aşama: 3. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 3. kademe 2 m dolgunun yüklenmesi
7. Aşama: Minimum boşluk basıncı 1 kN/m^2 'ye kadar süren konsolidasyon
8. Aşama: Güvenlik faktörünün hesaplanması

Bu analize göre, sonlu eleman ağı içerisindeki maksimum toplam deformasyon 48 cm olarak bulunmuştur. Topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.7'de verilmiştir. Maksimum efektif gerilme $410,44 \text{ kN/m}^2$, maksimum toplam gerilme $867,09 \text{ kN/m}^2$, maksimum boşluk suyu basıncı ise $466,39 \text{ kN/m}^2$ 'dir. (0;40) noktasındaki boşluk suyu basınç grafiği Şekil 5.8'de verilmiştir. Geotekstil donatılı zeminde oluşan oturma miktarı ve boşluk suyu basıncının geotekstil donatının kullanılmadığı durumdaki değerlerle karşılaştırıldığında bu değerlerde azalma olduğu görülmüştür. Yapılan analizin deformasyon, efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı sonuçları Ek A2'de, analiz sonucunda geotekstil donatılara etkiyen

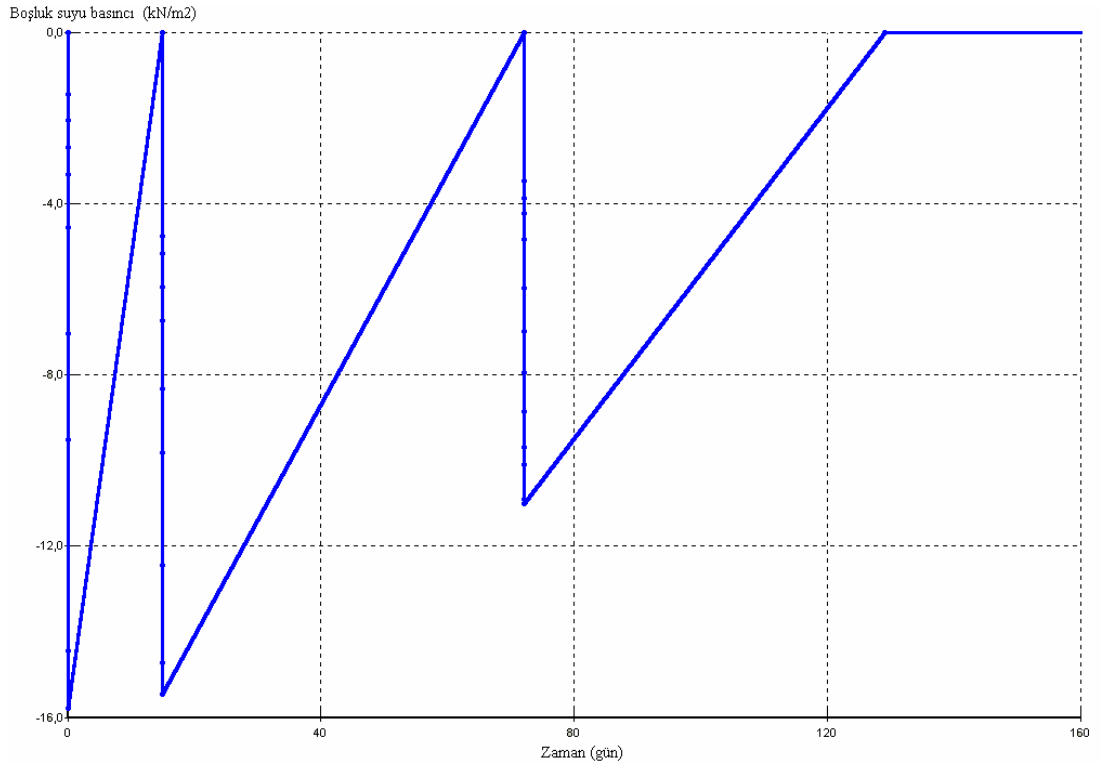
eksenel kuvvetler ve toplam deformasyonların nümerik değerleri Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2 Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar

Geotekstil	Toplam Deformasyon (cm)	Eksenel Kuvvet kN/m
1	46,50	29,21
2	47,28	22,33
3	47,67	6,95



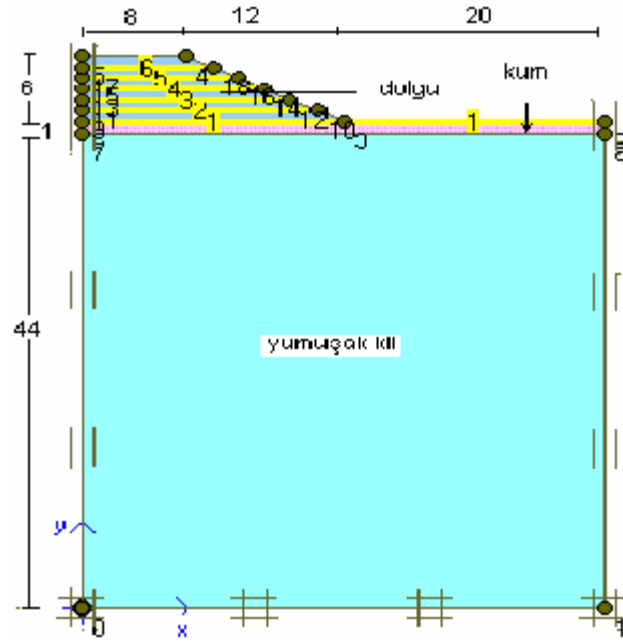
Şekil 5.7 3 sıra donatılı zeminin topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği



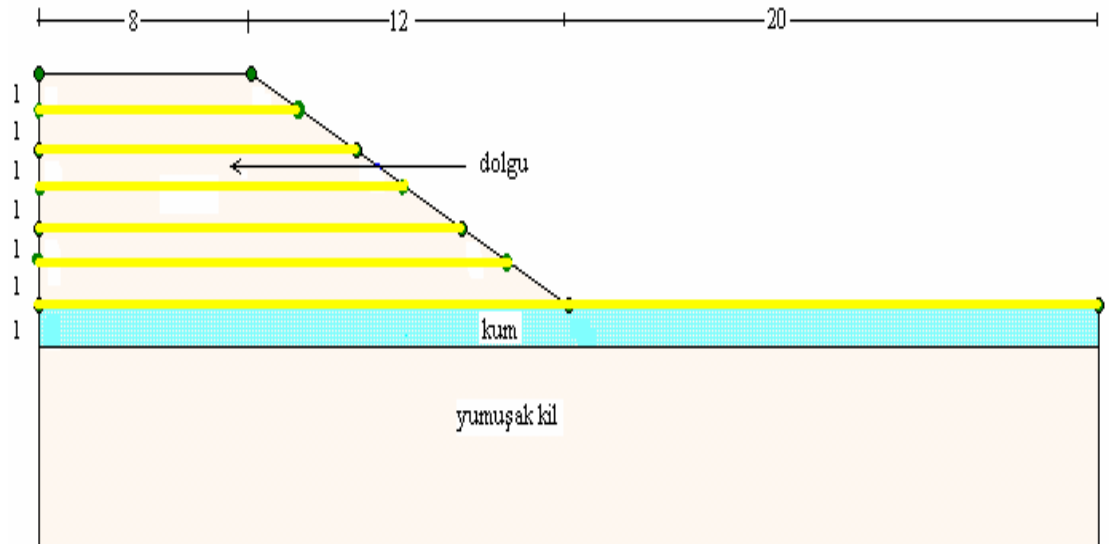
Şekil 5.8 3 sıra donatılı zeminin 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği

5.2.2. Tabandaki Yumuşak Zeminin Kazılarak 1 m. Kum Şilte Serilmesi ve Üzerine Donatılı Dolgunun Oturtulması

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum tabakası üzerine 1 metreyle arayla serilen 6 sıra geotekstil donatılı dolgunun Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla analizi yapılmıştır.



Şekil 5.9 1 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun donatılı zemin ortamı



Şekil 5.10 1 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun detaylı görünümü

Kademeli kazı ve dolgu ile yapılan analiz 11 adımda tamamlanmıştır. Bu aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

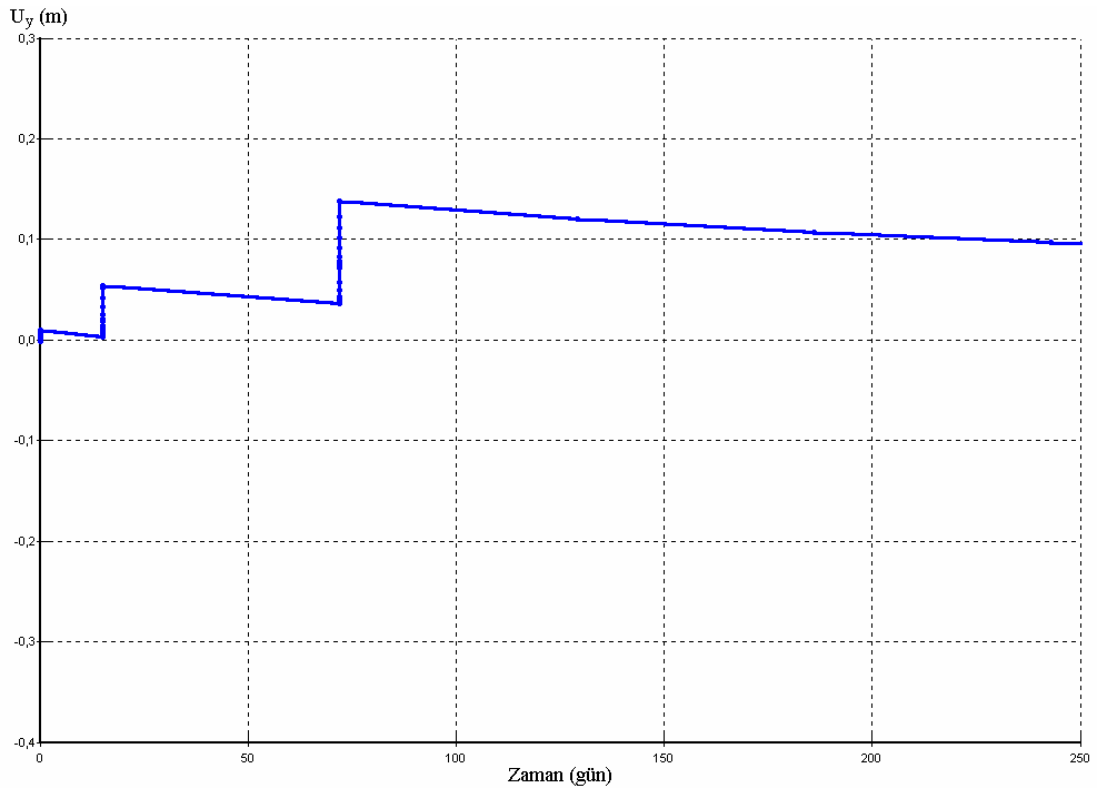
1. Aşama: 1 metre kalınlığındaki killi zeminin kaldırılıp yerine kum tabakasının serilmesi
2. Aşama: 1. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi ve 1. tabaka geotekstil donatının serilmesi

3. Aşama: 2. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi ve 2. tabaka geotekstil donatının serilmesi
4. Aşama: 15 günlük 1. konsolidasyon
5. Aşama: 3. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi ve 3. tabaka geotekstil donatının serilmesi
6. Aşama: 4. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi ve 4. tabaka geotekstil donatının serilmesi
7. Aşama: 15 günlük 2. konsolidasyon
8. Aşama: 5. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi ve 5. tabaka geotekstil donatının serilmesi
9. Aşama: 6. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi ve 6. tabaka geotekstil donatının serilmesi
10. Aşama: Minimum boşluk basıncı 1 kN/m^2 'ye kadar süren konsolidasyon
11. Aşama: Güvenlik faktörünün hesaplanması

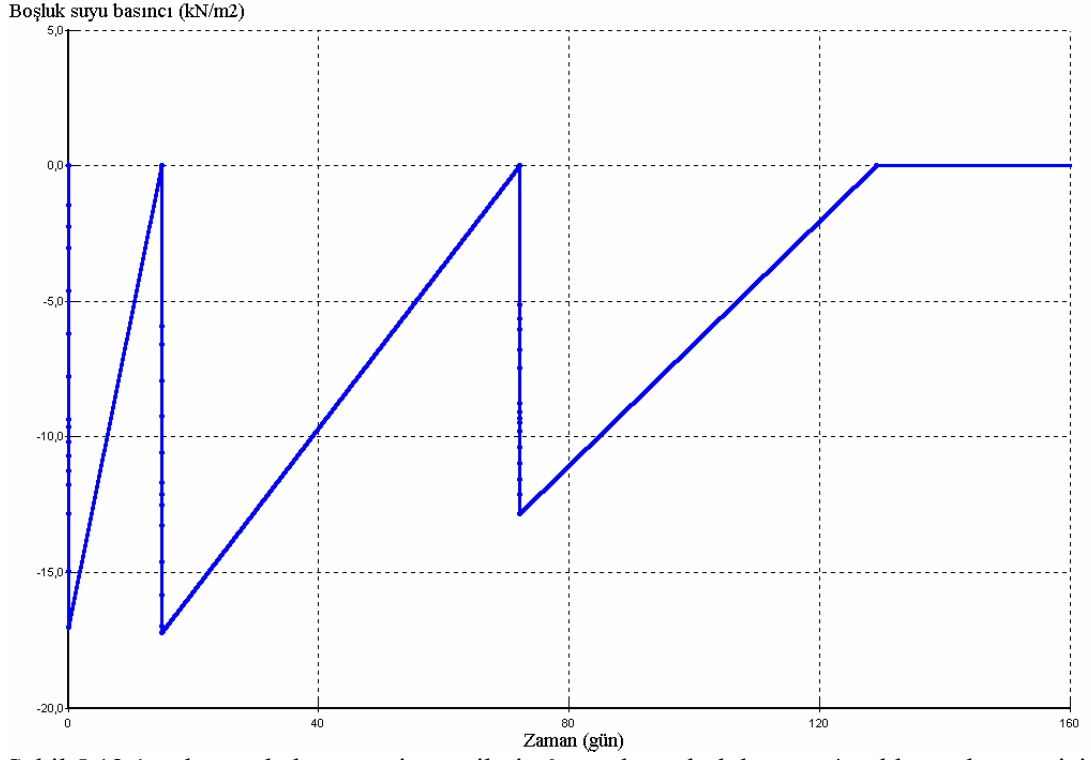
Bu analize göre, sonlu eleman ağı içerisindeki maksimum toplam deformasyon 43 cm olarak bulunmuştur. Topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir. Maksimum efektif gerilme $413,69 \text{ kN/m}^2$, maksimum toplam gerilme $869,53 \text{ kN/m}^2$, maksimum boşluk suyu basıncı ise $463,50 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. (0;40) noktasındaki boşluk suyu basınç grafiği Şekil 5.12'de verilmiştir. Geotekstil donatılı zeminde oluşan oturma miktarı ve boşluk suyu basınç değerlerinin 3 sıra geotekstil donatılı zeminin değerleriyle karşılaştırıldığında sistemde oturma bakımından iyileşme olduğu görülmektedir. Yapılan analizin deformasyon, efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı sonuçları Ek A3'te, analiz sonucunda geotekstil donatılara etkiyen eksenel kuvvetler ve toplam deformasyonların nümerik değerleri Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3 Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar

Geotekstil Donatı	Toplam Deformasyon (cm)	Eksenel Kuvvet (kN/m)
1	41,88	30,91
2	42,03	24,48
3	42,17	15,12
4	42,24	5,01
5	42,32	4,21
6	42,23	2,28



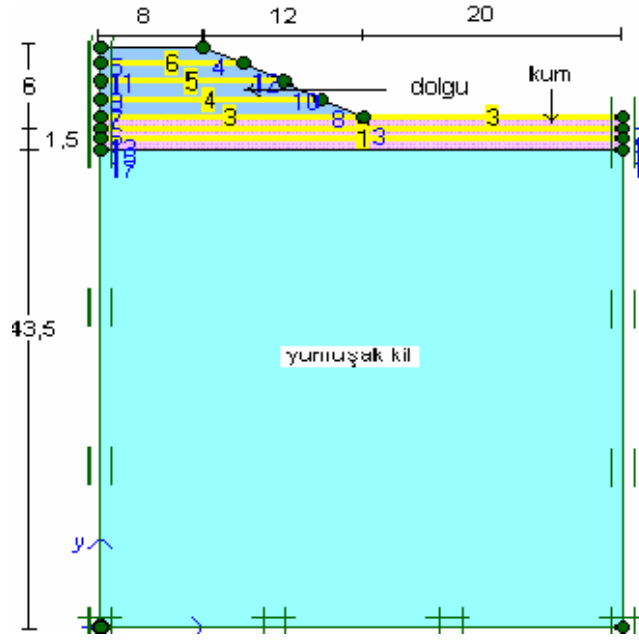
Şekil 5.11 1 m. kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme - zaman grafiği



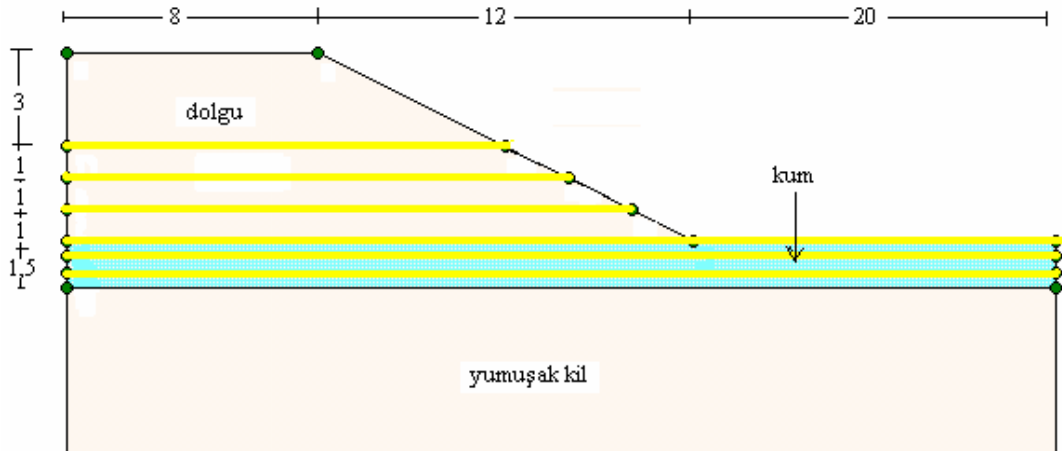
Şekil 5.12 1 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği

5.2.3 Tabandaki Yumuşak Zeminin Kazılarak 1,5 m Kum Şilte Serilmesi ve Şilte İçine Üç Sıra Geotekstil Serili Dolgulu Oturtulması

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1,5 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum tabakası arasına 0,5 m arayla 3 sıra geotekstil donatı ve üzerine 1 metreyle arayla serilen 3 sıra donatılı dolgunun Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla analizi yapılmıştır.



Şekil 5.13 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun donatılı zemin ortamı



Şekil 5.14 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun detaylı görünümü

Kademeli kazı ve dolgu ile yapılan analiz 11 adımda tamamlanmıştır. Bu aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

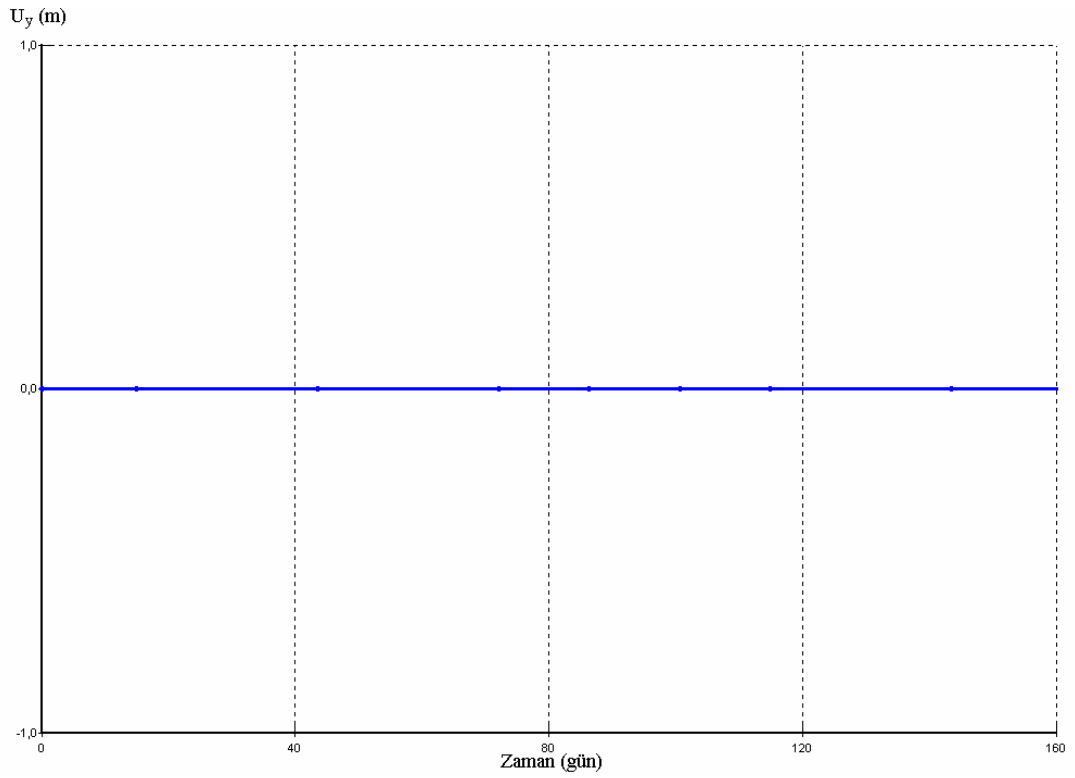
1. Aşama: 1,5 metre kalınlığındaki killi zeminin kaldırılıp yerine ilk 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
2. Aşama: 1. tabaka geotekstil donatının ve ikinci 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
3. Aşama: 2. tabaka geotekstil donatının ve üçüncü 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
4. Aşama: 15 günlük 1. konsolidasyon

5. Aşama: 3. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 1. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
6. Aşama: 4. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 2. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
7. Aşama: 15 günlük 2. konsolidasyon
8. Aşama: 5. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 3. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
9. Aşama: 6. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 4. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
10. Aşama: Minimum boşluk basıncı 1 kN/m^2 'ye kadar süren konsolidasyon
11. Aşama: Güvenlik faktörünün hesaplanması

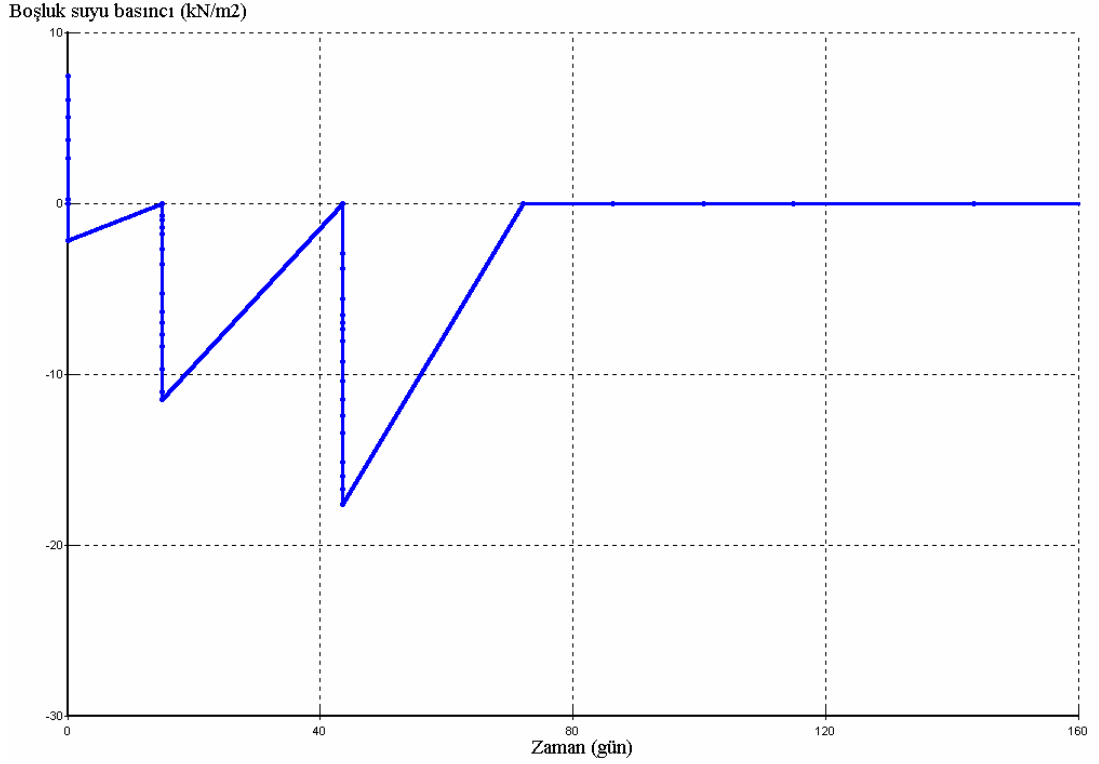
Bu analize göre, sonlu eleman ağı içerisindeki maksimum toplam deformasyon 55 cm olarak bulunmuştur. Topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.15'te verilmiştir. Maksimum efektif gerilme $403,97 \text{ kN/m}^2$, maksimum toplam gerilme $869,69 \text{ kN/m}^2$, maksimum boşluk suyu basıncı ise $474,26 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basınç grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir. Son çalışmada, geotekstil donatılı zeminde oluşan oturma miktarı ve boşluk suyu basınç değerlerini daha önceki analiz sonuçlarına göre değerlendirdiğimizde, oturma miktarında önemli ölçüde değişiklik olduğu görülmektedir. 4 farklı çeşit zemin profiline göre yapılan analizlerde, minimum yer değiştirmenin Şekil 5.9'da verilen örnekte olduğu görülmüştür. Yapılan analizin deformasyon, efektif gerilme ve Şekil 5.16'da grafiği verilen boşluk suyu basıncı sonuçları Ek A4'te, analiz sonucunda geotekstil donatılara etkiyen eksenel kuvvetler ve toplam deformasyonların sayısal değerleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4 Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar

Geotekstil Donatı	Toplam Deformasyon (cm)	Eksenel Kuvvet (kN/m)
1	53,75	22,60
2	53,79	20,02
3	53,98	27,40
4	53,89	25,89
5	54,21	15,97
6	54,20	7,53



Şekil 5.15 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği



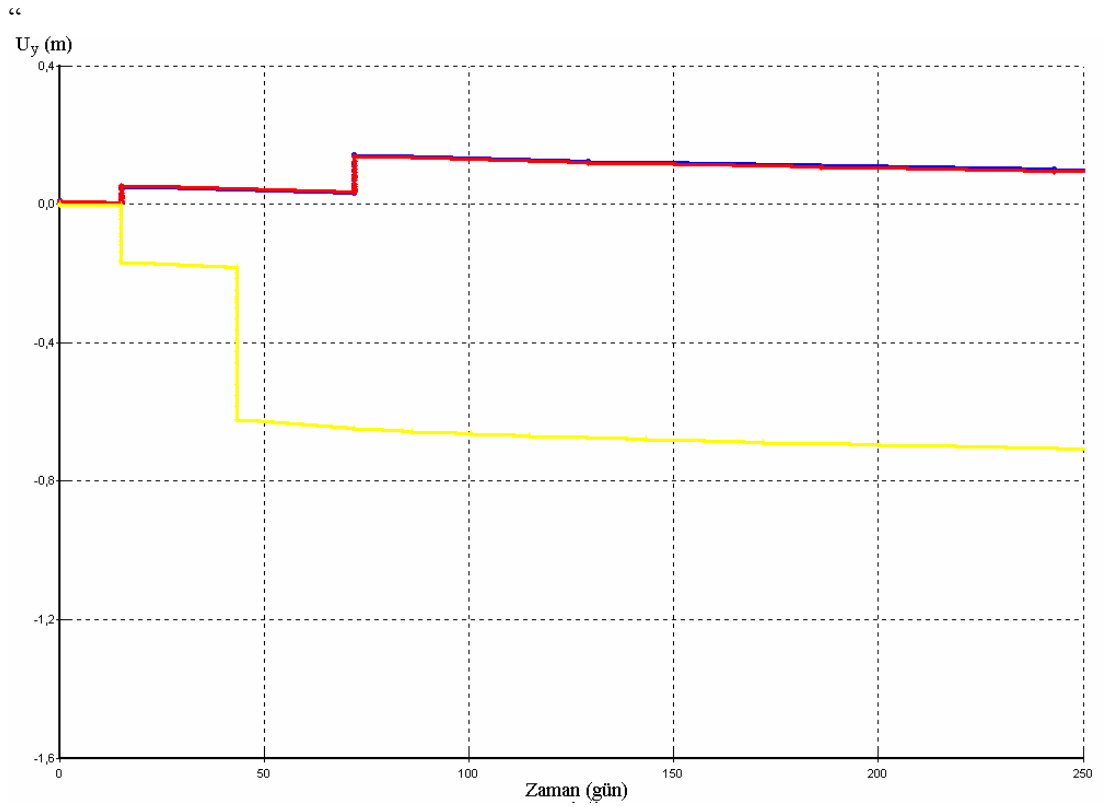
Şekil 5.16 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği

5.2.4. Tabandaki Yumuşak Zeminin Kazılarak Kum Şilte Serilen ve Üzerine 6 m Donatılı Dolgu Oturtulan 3 Farklı Analizin Karşılaştırılması

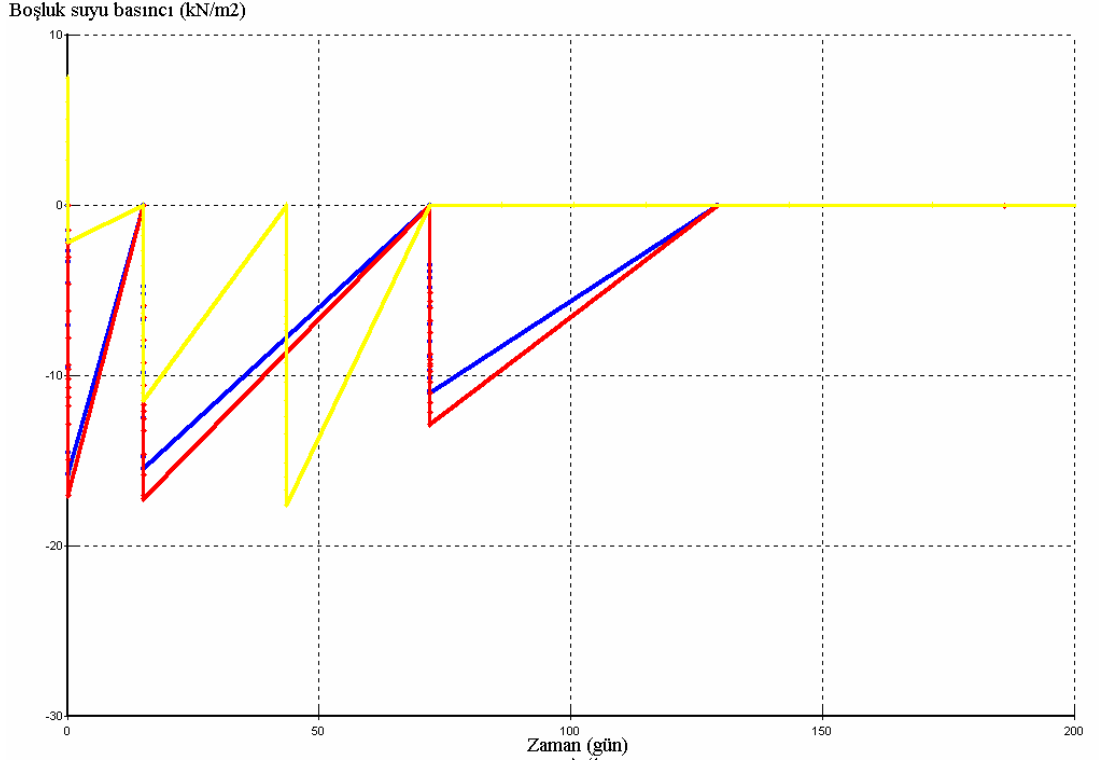
Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum şiltesi üzerine 2 metreyle arayla serilen, 3 sıra geotekstil donatılı dolgunun, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum tabakası üzerine 1 metreyle arayla serilen 6 sıra geotekstil donatılı dolgunun ve Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1,5 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum tabakası arasına 0,5 m arayla 3 sıra geotekstil donatı ve üzerine 1 metreyle arayla serilen 3 sıra donatılı dolgunun toplam deformasyon, efektif gerilme, toplam gerilme ve boşluk suyu basınçları Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla yapılan analiz sonucunda değerlendirilmiştir. Tablo 5.5'de sonuçları verilen bu değerlendirme sonucunda Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de de görüldüğü gibi Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilen 6 sıra donatılı zemin profilindeki oturma miktarının ve boşluk suyu basıncının en düşük olduğu saptanmıştır.

Tablo 5.5 Yapılan analizlerin nümerik değerleri

Analiz	1. Analiz	2. Analiz	3. Analiz
Deformasyon (cm)	48	43	55
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	466,39	463,50	474,26
Efektif Gerilme(kN/m ²)	410,44	413,69	403,97
Toplam Gerilme (kN/m ²)	867,09	869,53	869,69



Şekil 5.17 Yapılan 3 ayrı analizin topuk noktasındaki (20;45 noktası) deformasyonlarının karşılaştırılması

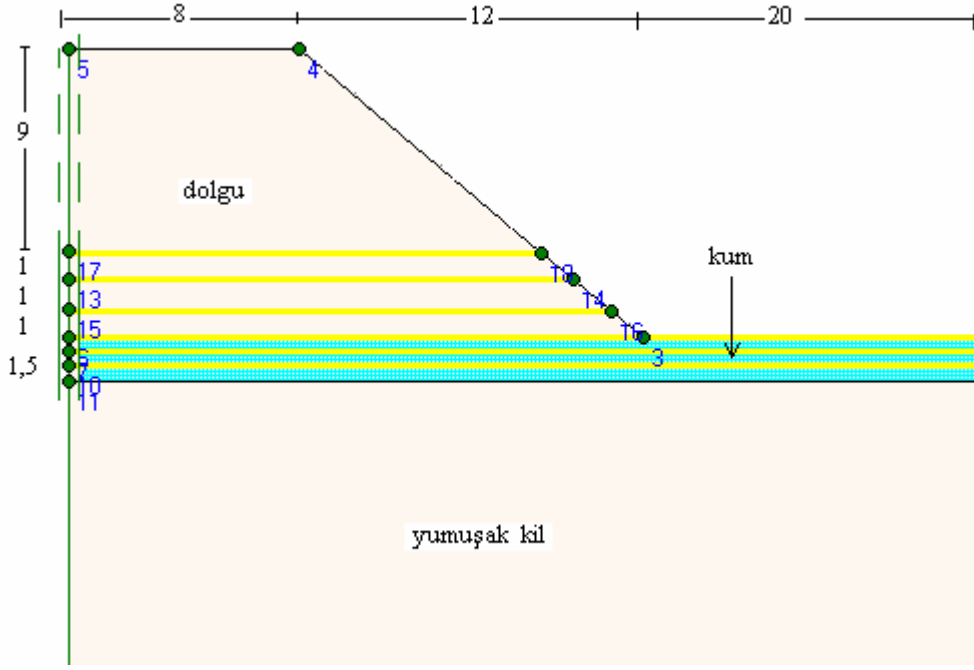


Şekil 5.18 Yapılan 3 ayrı analizin simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

5.3 Kum Şilte Üzerine Daha Yüksek Bir Geotekstil Donatılı Dolgu Serilmesi

5.3.1 Tabandaki Yumuşak Zeminin Kazılarak 1,5 m Kum Şilte Serilmesi ve Üzerine 12 m Kalınlığındaki Donatılı Dolgunun Oturtulması

Şekil 5.19 'da verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1,5 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum tabakası arasına 0,5m arayla 3 sıra geotekstil donatı ve üzerine 1 metreyle arayla serilen 3 sıra donatılı 12 m yüksekliğindeki dolgunun Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla analizi yapılmıştır.



Şekil 5.19 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra 12 m kalınlığındaki donatılı dolgunun detaylı görünümü

Kademeli kazı ve dolgu ile yapılan analiz 11 adımda tamamlanmıştır. Bu aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

1. Aşama: 1,5 metre kalınlığındaki killi zeminin kaldırılıp yerine ilk 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
2. Aşama: 1. tabaka geotekstil donatının ve ikinci 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
3. Aşama: 2. tabaka geotekstil donatının ve üçüncü 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
4. Aşama: 15 günlük 1. konsolidasyon
5. Aşama: 3. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 1. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
6. Aşama: 4. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 2. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
7. Aşama: 15 günlük 2. konsolidasyon
8. Aşama: 5. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 3. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
9. Aşama: 6. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 4. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi

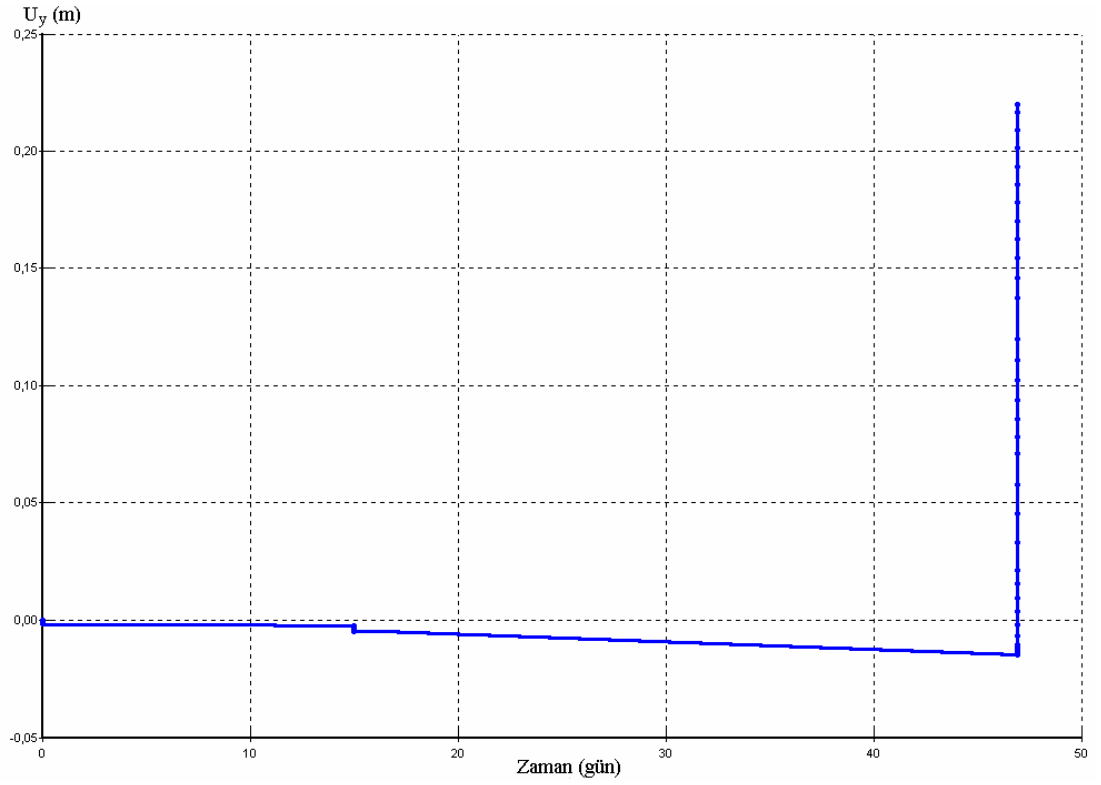
10. Aşama: Minimum boşluk basıncı 1 kN/m² 'ye kadar süren konsolidasyon

11. Aşama: Güvenlik faktörünün hesaplanması

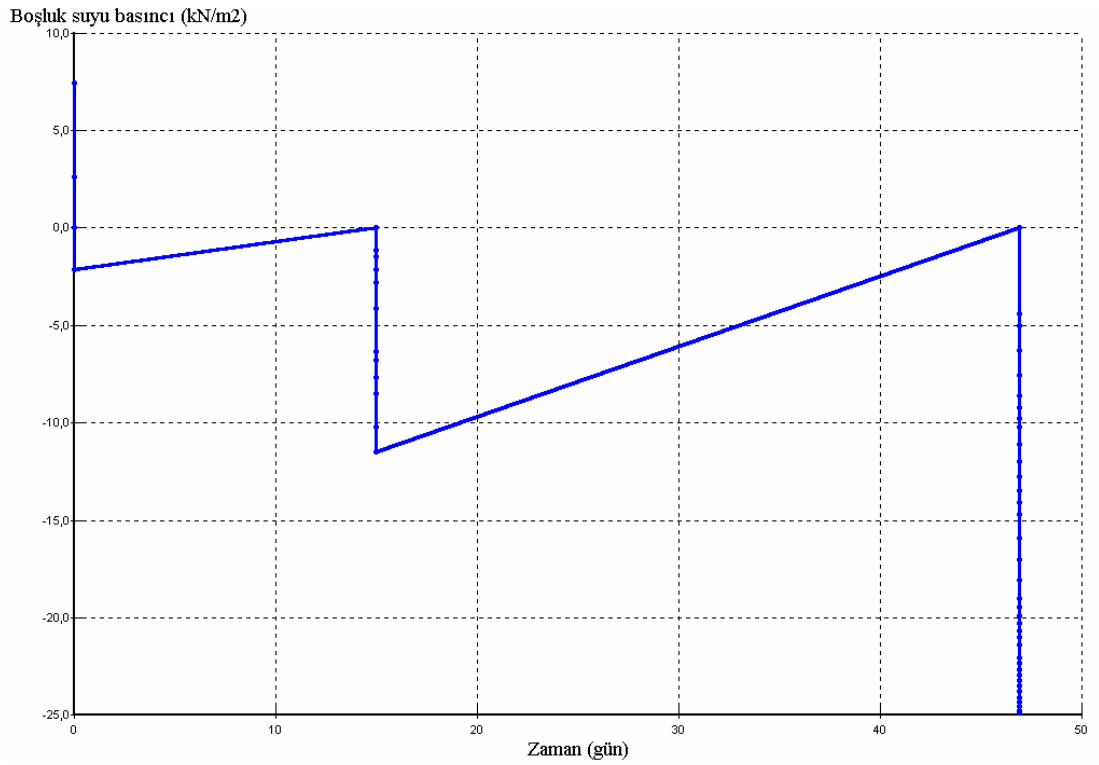
Plaxis programıyla yapılan bu analiz sonucunda yumuşak zemin dördüncü kademe dolgu (4.0 m) yüklemesinin ardından, zemin göçtüğü için bundan sonraki adımlarda hesap yapılamamıştır. Bu analize göre, zeminin göçtüğü anda sonlu eleman ağı içerisindeki maksimum toplam deformasyon 84 cm olarak bulunmuştur. Simetri eksenindeki (0;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.20'de verilmiştir. Maksimum efektif gerilme 390,34 kN/m², toplam gerilme 876,58 kN/m², maksimum boşluk suyu basıncı ise 486,66 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basınç grafiği Şekil 5.21'de verilmiştir. Yapılan analizin deformasyon, efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı sonuçları Ek A5'de, analiz sonucunda geotekstil donatılara etkiyen eksenel kuvvetler ve toplam deformasyonların nümerik değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.6 Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar

Geotekstil Donatı	Toplam Deformasyon (cm)	Eksenel Kuvvet (kN/m)
1	76,30	31,87
2	77,31	28,16
3	78,45	24,86
4	79,82	19,51
5	81,15	15,96
6	82,30	13,20



Şekil 5.20 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 12 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı zeminin topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği



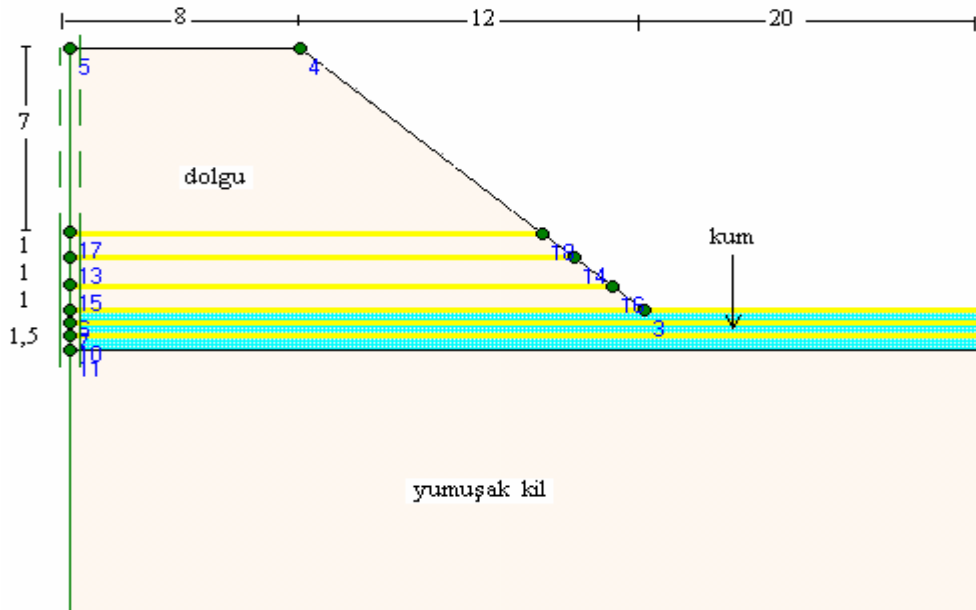
Şekil 5.21 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 12 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı-zaman grafiği

5.3.2 Tabandaki Yumuşak Zeminin Kazılarak 1,5 m Kum Şilte Serilmesi ve Üzerine 10 m Kalınlığındaki Donatılı Dolgunun Oturtulması

Şekil 5.22’de verilen zemin profiline göre yumuşak zemin üstünden 1,5 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum tabakası arasına 0,5m arayla 3 sıra geotekstil donatı ve üzerine 1 metreyle arayla serilen 3 sıra donatılı 10 m yüksekliğindeki dolgunun Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla analizi yapılmıştır.

Kademeli kazı ve dolgu ile yapılan analiz 11 adımda tamamlanmıştır. Bu aşamalar aşağıda özetlenmiştir.

1. Aşama: 1,5 metre kalınlığındaki killi zeminin kaldırılıp yerine ilk 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
2. Aşama: 1. tabaka geotekstil donatının ve ikinci 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
3. Aşama: 2. tabaka geotekstil donatının ve üçüncü 0,5 metre kalınlığındaki kumun serilmesi
4. Aşama: 15 günlük 1. konsolidasyon
5. Aşama: 3. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 1. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi



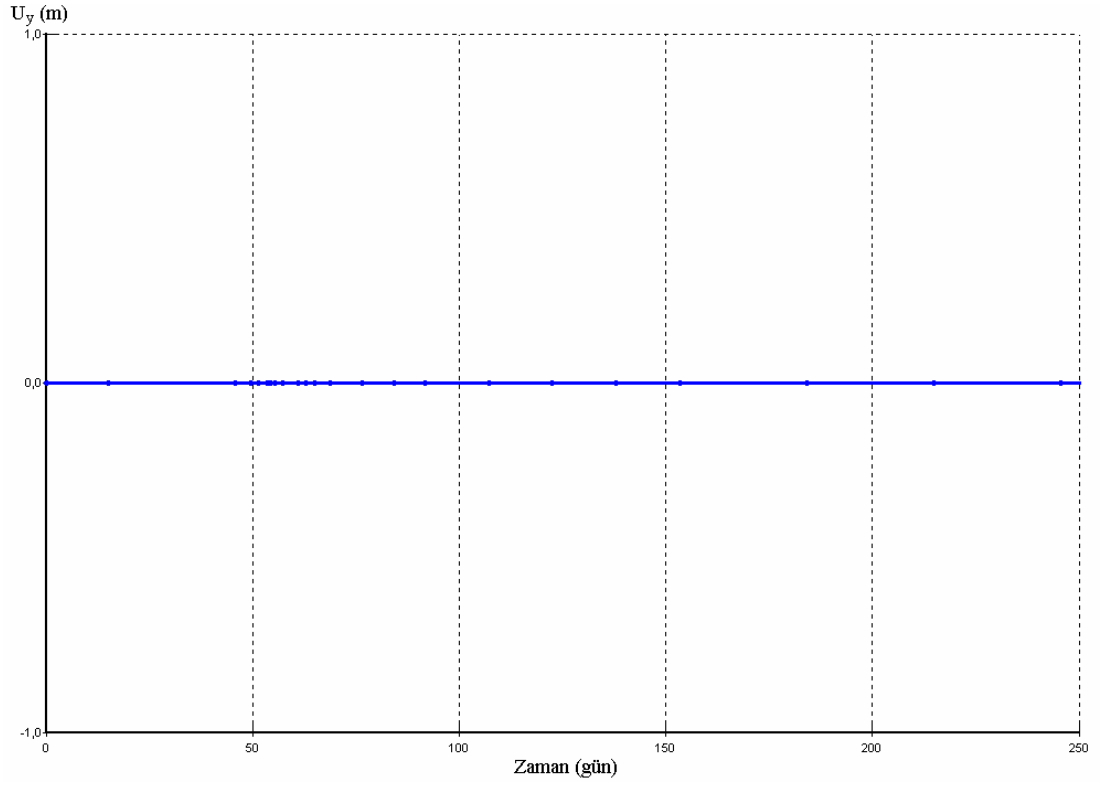
Şekil 5.22 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 6 sıra 10 m kalınlığındaki donatılı dolgunun detaylı görünümü

6. Aşama: 15 günlük 2. konsolidasyon
7. Aşama: 5. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 3. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
8. Aşama: 6. tabaka geotekstil donatının serilmesi ve 4. kademe 1 m dolgunun yüklenmesi
9. Aşama: Minimum boşluk basıncı 1 kN/m^2 'ye kadar süren konsolidasyon
10. Aşama: Güvenlik faktörünün hesaplanması

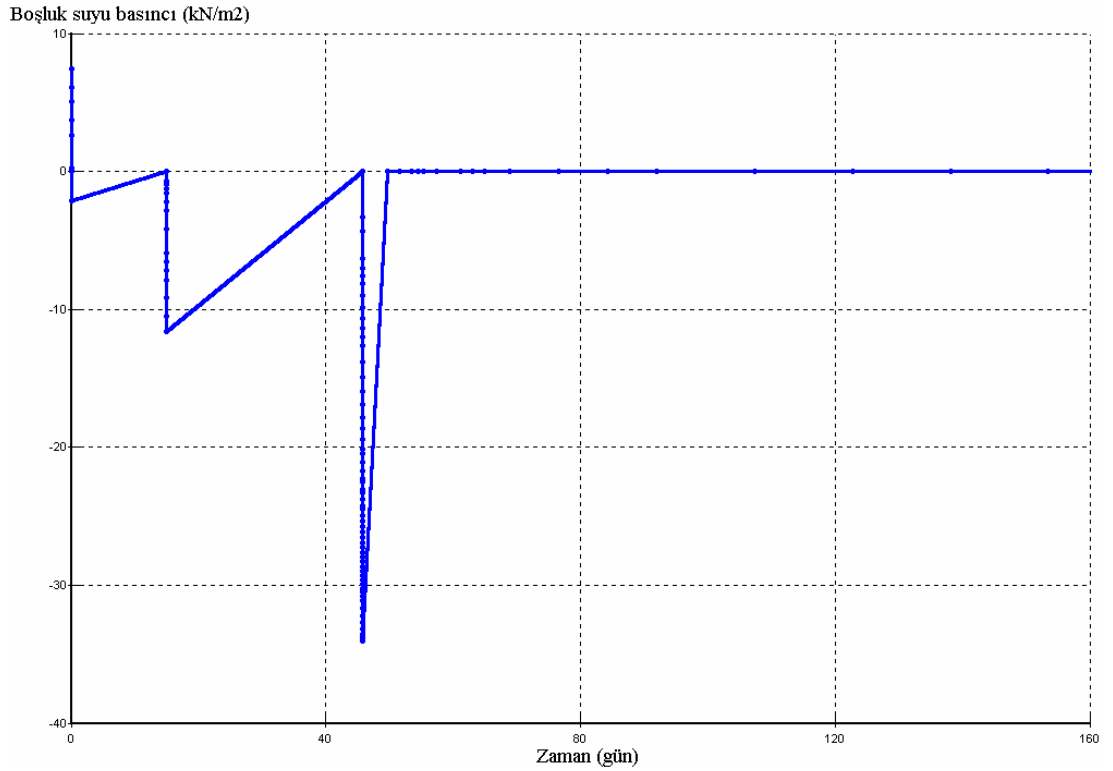
Bu analize göre, sonlu eleman ağı içerisindeki maksimum toplam deformasyon 169 cm olarak bulunmuştur. Topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 5.23'te verilmiştir. Maksimum efektif gerilme $445,54 \text{ kN/m}^2$, maksimum toplam gerilme $891,35 \text{ kN/m}^2$, maksimum boşluk suyu basıncı ise $445,81 \text{ kN/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basınç grafiği Şekil 5.24'te verilmiştir. 10 metre yüksekliğindeki geotekstil donatılı zeminde oluşan oturma miktarı ve boşluk suyu basınç değerlerinin 12 metre yüksekliğindeki geotekstil donatılı zeminin değerleriyle karşılaştırıldığında sistemde iyileşme olduğu görülmektedir. Yapılan analizin deformasyon, efektif gerilme ve boşluk suyu basıncı sonuçları Ek A6'da, analiz sonucunda geotekstil donatılara etkiyen eksenel kuvvetler ve toplam deformasyonların nümerik değerleri Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7 Geotekstil donatılara etkiyen kuvvetler ve deformasyonlar

Geotekstil Donatı	Toplam Deformasyon (cm)	Eksenel Kuvvet (kN/m)
1	2,09	98,25
2	2,10	90,8
3	2,16	83,78
4	2,01	78,38
5	2,09	69,93
6	2,08	56,26



Şekil 5.23 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 10 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı zeminin topuk noktasındaki (20;45 noktası) yer değiştirme-zaman grafiği



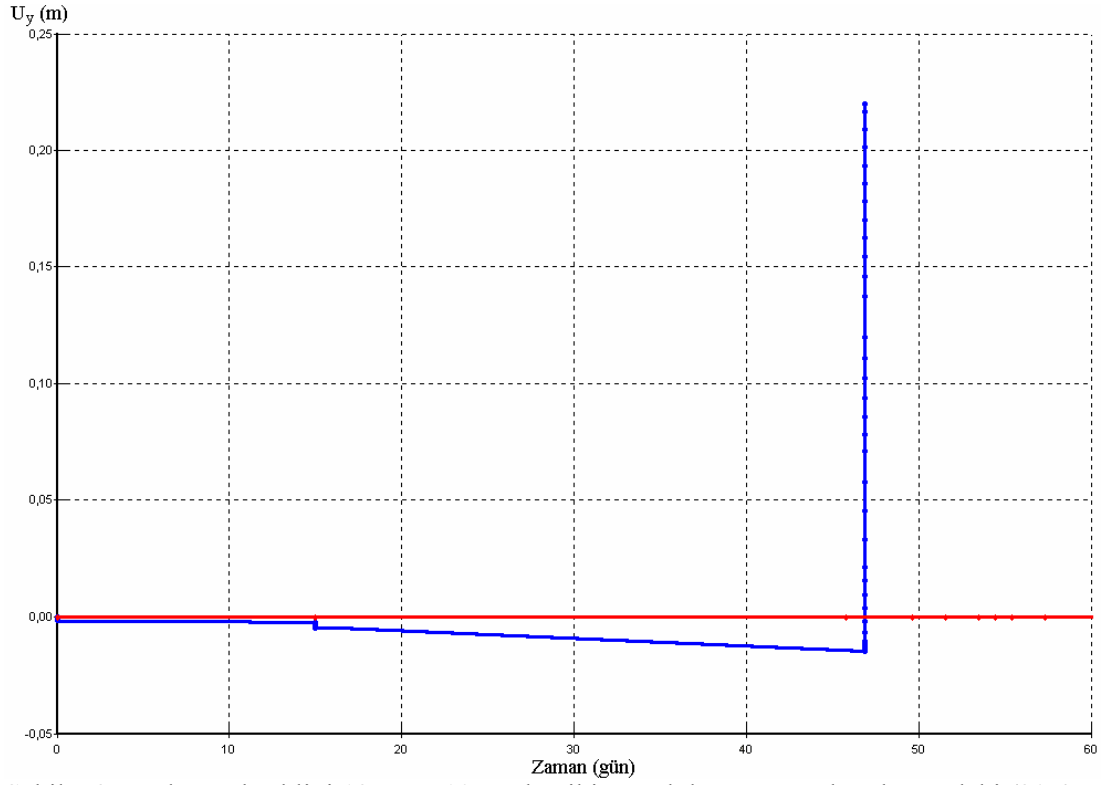
Şekil 5.24 1,5 m kum tabakası üzerine serilmiş 10 m kalınlığındaki 6 sıra donatılı dolgunun 4 yükleme durumu için simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basıncı

5.3.3 Tabandaki Yumuşak Zeminin Kazılarak 1,5 m Kum Şilte Serilmesi ve Üzerine Yüksekliği Arttırılan 2 Farklı Donatılı Dolgunun Analizlerinin Karşılaştırılması

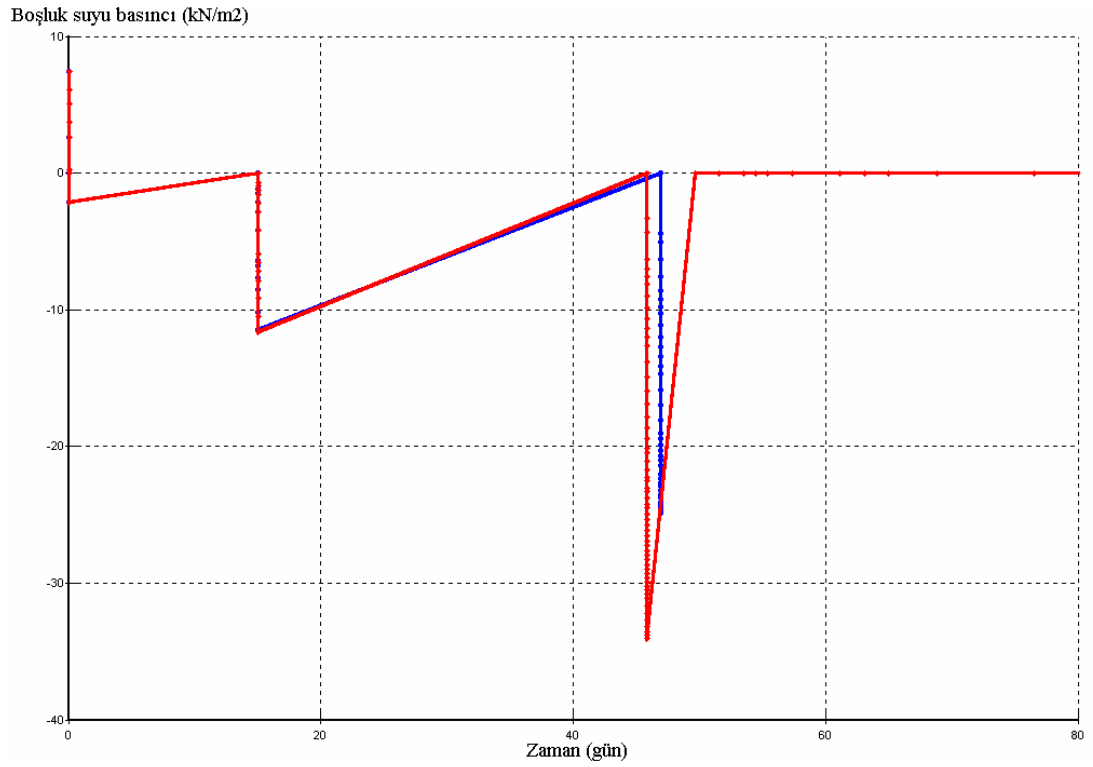
Şekil 5.19 ve Şekil 5.22’de verilen zemin profillerine göre yumuşak zemin üstünden 1,5 m kazılarak yatak görevi üstlenen kum şiltesi üzerine 1 metre arayla serilen, 6 sıra geotekstil donatılı 12 m ve 10 m yüksekliğindeki dolguların efektif gerilme, toplam gerilme ve boşluk suyu basınçları Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla yapılan analiz sonucunda değerlendirilmiştir. Tablo 5.5’de deformasyon ve boşluk suyu basınçlarının karşılaştırma sonuçları verilen bu değerlendirme sonucunda 12 m yüksekliğindeki dolgunun göçmüş olduğu ve 10 m yüksekliğindeki dolgunun göçmeden yüklenebildiği görülmektedir. Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da deformasyon ve boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılmaları grafik olarak verilmiştir.

Tablo 5.8 Yapılan analizlerin nümerik değerleri

Analiz	1. Analiz	2. Analiz
Deformasyon (cm)	84	169
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m ²)	486,66	445,81
Efektif Gerilme(kN/m ²)	390,34	445,54
Toplam Efektif Gerilme (kN/m ²)	876,58	891,35



Şekil 5.25 Dolgu yüksekliği 12 m ve 10 m olan iki ayrı dolgunun topuk noktasındaki (20;45 noktası)deformasyonlarının karşılaştırılması



Şekil 5.26 Dolgu yüksekliği 12 m ve 10 m olan iki ayrı dolgunun simetri eksenindeki (0;40 noktası) boşluk suyu basınçlarının karşılaştırılması

5.4. Konsolidasyon Oturmasının Tahkiki

Bu oturma, yük altında zemin içindeki suyun dışarı atılması ile zamanla meydana gelen düşey doğrultudaki deplasman olup killi, siltli zeminler için söz konusudur. Bu zeminlerde k permeabilite katsayısı küçük olduğundan suyun dışarı atılması uzun zaman alır. Dolayısı ile bu oturma da zamana bağlı olarak gelişir.

Killi zeminlerde boşluklardaki suyun statik basınç altında dışarı çıkması ile oluşan konsolidasyonun zamanla artışının $v = ki$ boşluk suyu akım hızına bağlı olacağı tabiidir. Bu bakımdan kohezyonlu zeminlerde nihai oturma değeri yanında oturma-zaman bağıntısının da hesaplanması gerekmektedir.

Ortalama Δp basınç artışının H sıkışabilir tabaka boyunca etkimesinden t zamanı sonunda doğan oturma,

$$\rho_t = \rho_i + U \rho_c \quad (5.1)$$

$$U = \Delta H_t / \Delta H \quad (5.2)$$

dir.

Burada U , konsolidasyon yüzdesi olup boyutsuz bir sayıdır. ΔH_t , t zamanındaki konsolidasyon oturması, ΔH nihai konsolidasyon oturmasıdır.

$$U = f(T_v) \quad (5.3)$$

olup, Δp nin üniform veya yamuk şeklinde değişmesi hali ile tabanı üstte olan üçgen değişme için bu bağıntı sayısal olarak, Tablo 5.9' da verilmiştir.

Tablo 5.9 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	∞

$$T_v = \frac{c_v}{H^2} t \quad (5.4)$$

dır. Burada, T_v , boyutsuz bir sayı olup *Zaman Faktörüdür*. H_d drenaj mesafesi olup, iki tarafı geçirimli K kalınlığındaki tabakada,

$$H_d = \frac{H}{2} \quad (5.5)$$

altı geçirimsiz tabakada,

$$H_d = H \quad (5.6)$$

dır. c_v *Konsolidasyon Katsayısı* olup,

$$c_v = \frac{k}{m_v \gamma_w} \quad (5.7)$$

şeklinde hesap edilir. Burada,

k Permeabilite katsayısı (L/T)
 m_v Hacimsel sıkışma katsayısı (L^2/F)
 γ_w Suyun Birim hacim ağırlığı (F/L^3)

dir.

Plaxis Sonlu Elemanlar programıyla oturma analizini yaptığımız, üzerinde 6 metre boyunda dolgu ve 1,5 metre kalınlığında kum bandı olan 43,5 metrelik yumuşak killi zeminde, oturma miktarının ne kadar zamanda meydana geleceğini hesaplamak için bu sayısal yönteme başvurulmuştur. Yumuşak killi zeminin her iki tarafı da kum olduğu için $H_d = H/2$ alınacaktır.

Hesap için gerekli bilgiler aşağıda verilmiştir.

$$k = 1 \times 10^{-4} \text{ m/gün}$$

$$m_v = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{kg}$$

$$\gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$H_d = 21,75 \text{ m}$$

$$\text{Buradan, } c_v = 500 \text{ cm}^2/\text{gün}$$

Oturmanın % 50 miktarının ne kadar zamanda oluşacağını bulmak için ise yukarıda verilen formüller ve $T_v = 0,848$ alınarak,

$t = 5$ yıl bulunmuştur.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Geosentetikler, geoteknik problemlerinde yeni çözümler üretmektedir. Geotekstiller ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıtım işlevleriyle geosentetik grubun en önemli bir bölümünü oluşturur. Polipropilen, polyester, poliamid gibi polimer bazlı yapıya sahip olan geotekstiller, örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki gruba ayrılır. Örgülü tip geotekstiller klasik tekstil yöntemiyle üretilirken, örgüsüz tipler modern teknoloji ürünüdürler.

Geotekstiller, yeni teknolojide değişik şekillerde imal edilir. Arazide değişik yükleme ve atmosfer tesiri altında mekanik (patlama, delinme, yırtılma), hidrolik (permeabilite, gözenek açıklığı), kimyasal (uv, alkali) özellikleri taşımaktadır. Geotekstilin hangi amaçla kullanılacağı ve tip seçimi, işlevi yerine tam olarak getirebilmesi açısından önemlidir.

Sonlu elemanlar yöntemi, birçok mühendislik dalında karşılaştığımız matematiksel problemlere yaklaşık sonuçlar bulmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, inşaat mühendisliğinde 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. Bu sayede herhangi bir mühendislik projesi için tasarım aşamasında çeşitli alternatifler deneyerek en uygun ve en ekonomik çözümü elde etmek mümkün olmaktadır.

Bu çalışmada, 45 m kalınlığındaki yumuşak kil temel zemini üzerine serilen 6 m kalınlığındaki dolgunun, geotekstil donatılı ve donatısız olmak üzere 6 ayrı sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Burada zemin, dolgunun yüklenmesinin tamamlanmasına kadar olan durum için 15 günlük konsolidasyonlara bırakılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda PLAXIS programı ile gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizleri sonucunda, geotekstil donatılı yapının performansının temel zemini davranışından büyük oranda etkilendiği görülmüştür. Bu nedenle bu tür yapıların

analizinde temel zemini ile donatılı yapı arasındaki etkileşimin muhakkak göz önünde bulundurulması gerektiği ve bunun da sonlu elemanlar analiz yöntemleri ile gerçekleştirilebileceği görülmüştür.

Program ile yükleme işlemini en iyi şekilde modelleyebilmek amacıyla kademeli kazı ve dolgu yapılmıştır. Bu sayede zemin davranışının her aşamada değişimi izlenebilmiştir.

Geotekstil donatılar esnek yapıda olmaları ve geotekstil donatılarda eksenel kuvvetlerin deformasyonlara bağlı olarak oluşması nedeniyle, klasik analiz yöntemlerle hesaplanacak eksenel donatı kuvvetlerinin, gerçek durumu yansıtmadığı ve buradaki durumun PLAXIS sonlu elemanlar programı ile modellenebileceği görülmüştür.

Yapılan tüm analizler sonucunda esnek yapıdaki geotekstil donatı ile zeminin oluşturduğu kompozit yapının davranışının sonlu elemanlar analizleri ile açıklanabileceği anlaşılmıştır. Analizlerde kullanılan PLAXIS sonlu elemanlar programının ise geotekstil donatılı yapıların performansını incelemek için ihtiyaç duyulan özelliklere sahip olduğu, ancak analizlerde kullanılacak parametrelerin doğru olarak belirlenmesinin analiz sonuçları üzerine çok etkili olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, 45 m yüksekliğindeki yumuşak bir zemin tabakası üzerine değişik kalınlıklarda donatılı dolgu yüklenmiştir. 1. Analizde; 2 m arayla donatısız 6 m yüksekliğinde dolgu, 2. analizde; yumuşak zemin üzerinden 1 m kazılıp kum şilte serilerek 2 m arayla 3 sıra donatılı 6 m yüksekliğinde dolgu, 3. analizde; yumuşak zemin üzerinden 1 m kazılıp kum şilte serilerek 1 m arayla 6 sıra donatılı 6 m yüksekliğinde dolgu, 4. analizde yumuşak zemin üzerinden 1,5 m kazılıp arasına 0,5 m arayla 2 sıra donatı serilen kum şiltenin üzerine 1m arayla 4 sıra donatılı 6 m yüksekliğinde dolgu, 5. analizde yumuşak zemin üzerinden 1,5 m kazılıp arasına 0,5 m arayla 2 sıra donatı serilen kum şiltenin üzerine 1m arayla 4 sıra donatılı 12 m yüksekliğinde dolgu ve 6. analizde yumuşak zemin üzerinden 1,5 m kazılıp arasına 0,5 m arayla 2 sıra donatı serilen kum şiltenin üzerine 1m arayla 4 sıra donatılı 10 m yüksekliğinde dolgu yüklemesi ile 6 farklı analiz yapılmıştır. Yapılan bütün analizlerin simetri eksenindeki (0;45 noktasındaki) deformasyon, efektif gerilme, toplam gerilme ve boşluk suyu basıncı değerleri Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 6.1 Yapılan bütün analizlerin sonuçları

Analiz No	1. Alternatif	2. Alternatif	3. Alternatif	4. Alternatif	5. Alternatif	6. Alternatif
Deformasyon (cm)	72	48	43	55	84	169
Efektif Gerilme (kN/m²)	403,24	410,44	413,69	403,97	390,34	445,54
Toplam Gerilme (kN/m²)	862,82	867,09	869,53	869,69	876,58	891,35
Boşluk Suyu Basıncı (kN/m²)	460,59	466,39	463,5	474,26	486,66	445,81
Özelliği	Donatısız dolgu 6 m	Kum şilte üzerine 3 sıra donatılı 6 m dolgu	Kum şilte üzerine 6 sıra donatılı 6 m dolgu	İki sıra donatılı kum şilte üzerine 4 sıra donatılı 6 m dolgu	İki sıra donatılı kum şilte üzerine 4 sıra donatılı 12 m dolgu	İki sıra donatılı kum şilte üzerine 4 sıra donatılı 10 m dolgu

Tablo 6.1’de de görüldüğü gibi, zemindeki deformasyon bakımından en elverişli durum 3. analizde gerçekleşmiştir.

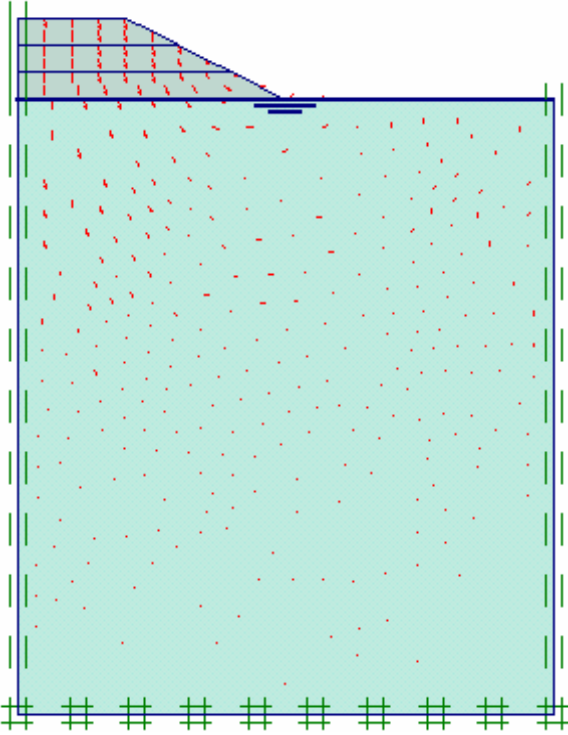
Ayrıca Plaxis Sonlu Elemanlar Programı ile bulunan oturma süresi ile Terzaghi bağıntısı ile yapılan oturma tahkiki sonucunda bulunan oturma süresinin aynı olduğu gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

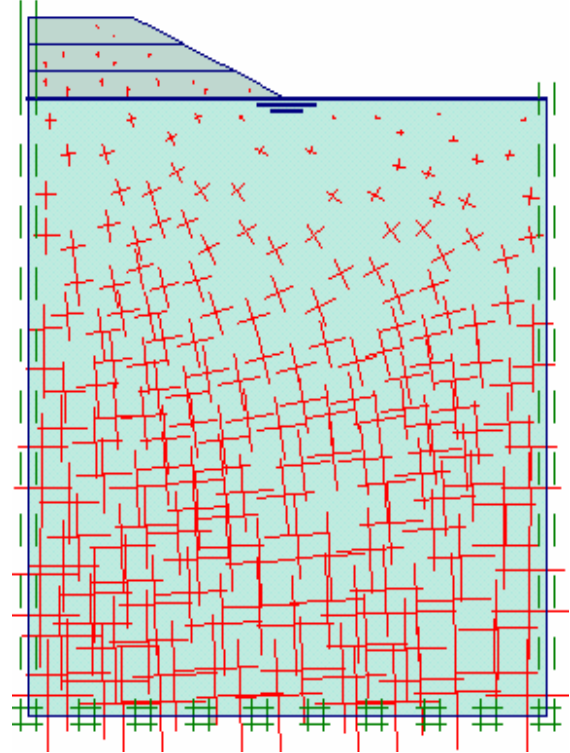
- [1] **Aksoy, İ. M.**, 1993. Modern yol inşaatında geotekstil ve geogrid uygulaması konularında araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Anon, A.**, 2002. International Course on Computational Geotechnics, İstanbul, September 1-3
- [3] **Barret, B., Ruckman A., Richardson G.**, 1998. Geotextile-Reinforced Retaining Walls Using Granular Backfills, Geotechnical Fabrics Report
- [4] **Berilgen, M.M.**, 1996. Ankrajlı Perdelerde Zemin Yapı Etkileşiminin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] **Brinkgreve, R.B.J. and Vermeer, P.A.**, 1998. Plaxis Version 7 Manual, Balkema, Rotterdam.
- [6] **Brorsson, I., Eriksson, L.**, 1986. Long Term Properties of Geotextiles and Their Function as a Separator in Road Construction, Vienna Austria.
- [7] **Carrol, R.F., Richardson, G.N.**, 1986. Geosynthetic Reinforced Retaining Walls, Third International Conference on Geotextiles, Vienna.
- [8] **Chai, J., Bergado, D.T.**, 1993. Performance of Reinforced Embankment on Muar Clay Deposit, Soils and Foundation.
- [9] **Chapman and Hall**, 1988. Durability of Geotextiles, New York.
- [10] **Christopher, B.R., Holtz, R.D.**, 1988. Geotextile Designing and Construction Guidelines, Federal Aighway Institute, Washington, USA.
- [11] **Christopher, B.R., Holtz, R.D.**, 1991. Geotextiles for Subgrade Stabilization in Permanent Roads and Highways, Proc. of Geosynthetics, Atlanta.
- [12] **Cindemir, O.**, 1997. Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstilller, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] **De Groot, M., Janse, E.**, 1986. Design Method and Guidelines For Geotextile Application in Road Construction, Pro. Of 3. Int. Conf. On Geotextiles, Vienna, Austria, Vol. 3.
- [14] **Durukan, Z.S., Tezcan, S.S.**, Reinforced Soil Retaining Walls.
- [15] **Exxon Chemical Geopolymers Limited**, 1989. Designing for Soil Reinforcement, England.

- [16] **Haas, R.**, 1988. Geogrid Reinforcement of Granular Bases in Flexible Pavements, Transportation Research Board, T.R.
- [17] **Haliburton, T.A.**, 1983. Optimum Depth Method for Design of Fabric Reinforced Unsurfaced Roads, Transportation Research Board, Annual Meeting.
- [18] **Hoffman, G.L., Turgeon, R.**, 1983. Long-Term In Situ Properties of Geotextiles, Transportation Research Report, Washington.
- [19] **Holtz, R.D.**, 1988. Geosynthetics For Soil Improvement, Geotechnical Special Publication, New York.
- [20] **John, N.W.M.**, 1987. Geotextiles, New York.
- [21] **Kılıç, H.**, 2000. Yumuşak Zeminler Üzerine Oturan Dolgu Barajlarda Deformasyonların Nümerik ve Deneysel Yöntemlerle Belirlenmesi, Doktora Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [22] **Ko, F.**, 1987. Seaming and Joining Methods, Geotextiles and Geomembranes.
- [23] **Miura, N., Sakai, A., Yamanouchi, T., Yasuhara, K.**, 1990. Polymer Grid Reinforced Pavement on Soft Grounds, Geotextiles and Geomembranes.
- [24] **Murray, R.T., McGown, A.**, 1986. Testing Joints in Geotextiles and Geogrids Pro. Of 3. International Conf. On Geotextiles, Vienna, Austria.
- [25] **Özalay, M.**, 1997. Yumuşak Zemin Üzerine İnşa Edilen Dolguların Geotekstil ile Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] **Özener, A.**, 2001. Geotekstil Donatılı Şevlerin ve İstinat Yapılarının Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27] **Öztekin, A.**, 1992. Geotekstil Üzerine Bir İnceleme, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [28] **Plaxis 7.12**, Finite Element Code for Soil Rock Analyses, User Manual, 2000.
- [29] **Peggs, I.D.**, 1989. Geosynthetics: Microstructure and Performance, Chelsea, Milch.
- [30] **Van Impe, W.F.**, 1989. Soil Improvement Techniques and Their Evolution, A.A. Balkema Publishers, USA.
- [31] **www.sistek2000.com**
- [32] **Zanten, V.**, 1986. Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, A.A. Balkema, Boston.

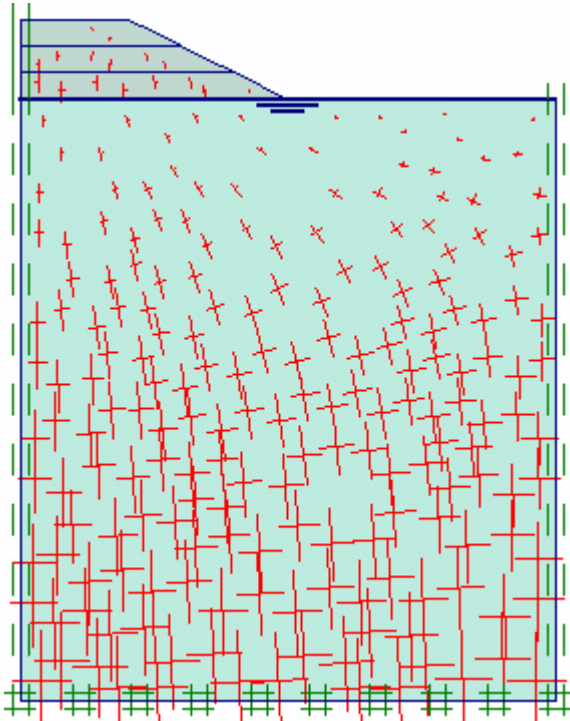
EK A



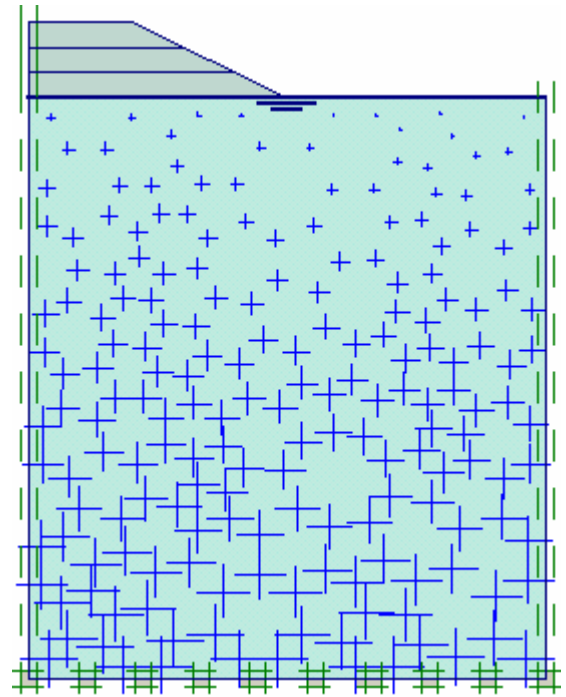
Şekil A1.1 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun toplam deformasyonu (72 cm)



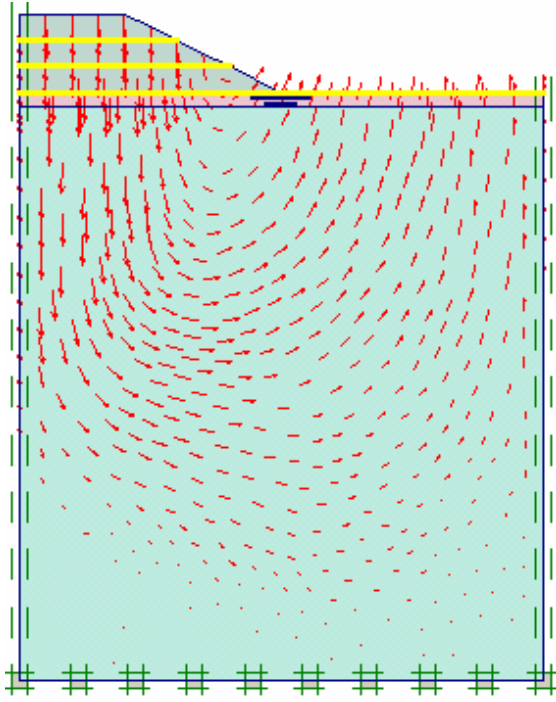
Şekil A1.3 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun toplam gerilmesi (862,82 kN/m²)



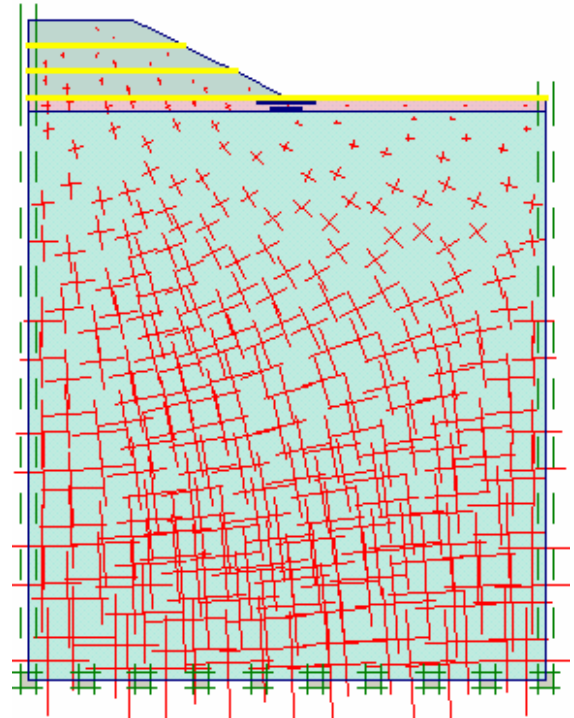
Şekil A1.2 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun efektif gerilmesi (403,24 kN/m²)



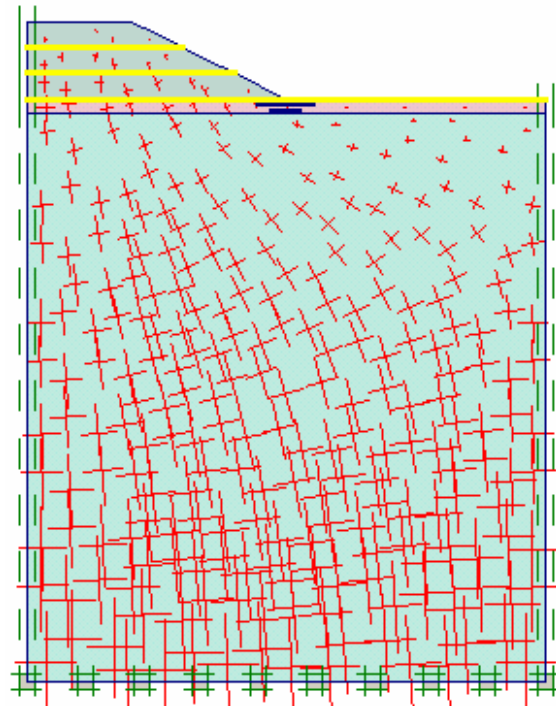
Şekil A1.4 2 m arayla serilen 6 m donatısız dolgunun boşluk suyu b. (460,59 kN/m²)



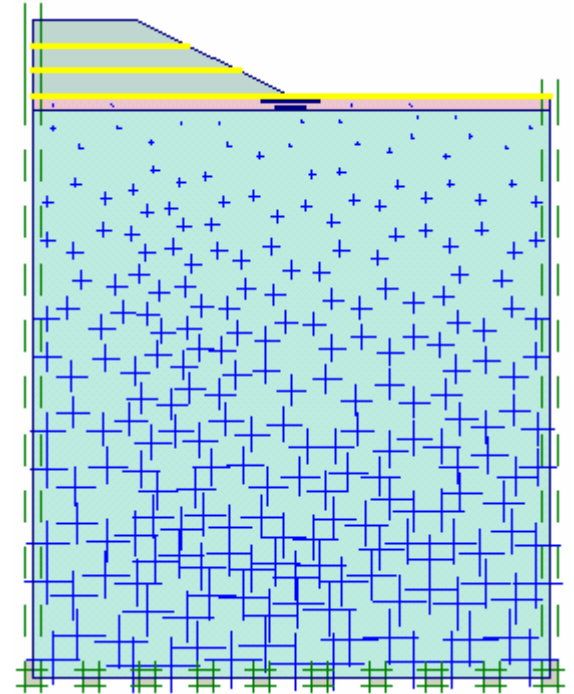
Şekil A2.1 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam deformasyonu (48 cm)



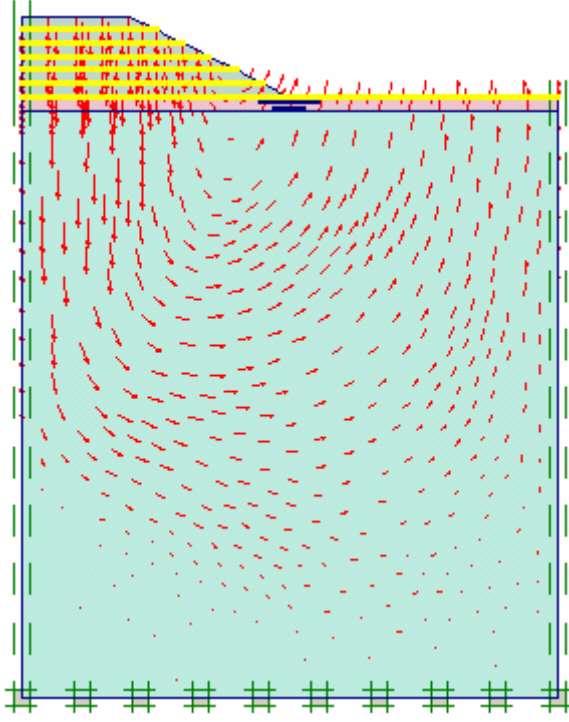
Şekil A2.3 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam gerilmesi (867,09 kN/m²)



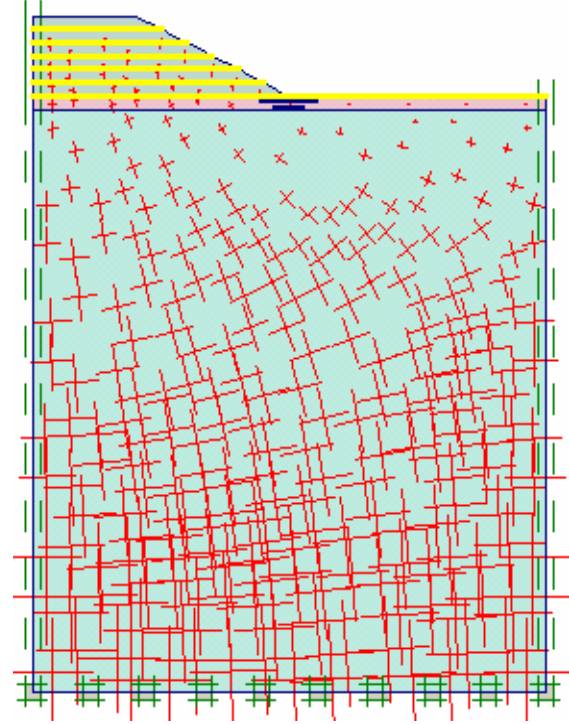
Şekil A2.2 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m dolgunun efektif gerilmesi (410,44 kN/m²)



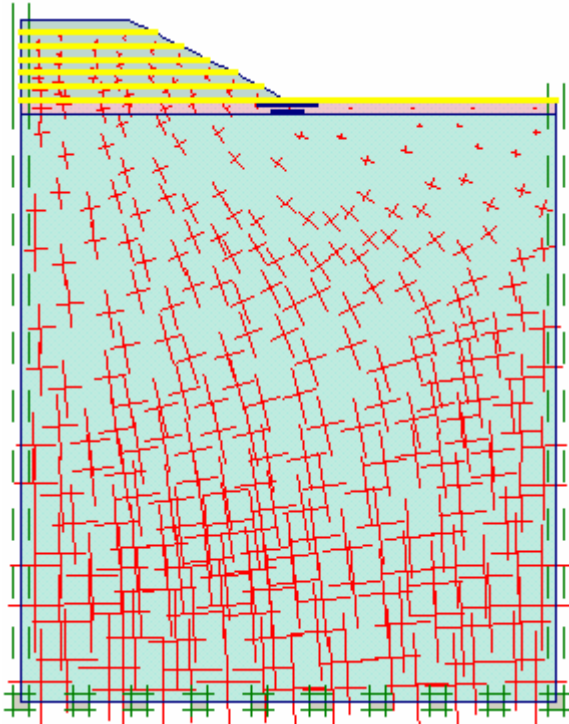
Şekil A2.4 1 m kum şilte üzerine 2 m arayla serilen 3 sıra donatılı 6 m dolgunun boşluk suyu basıncı (466,39 kN/m²)



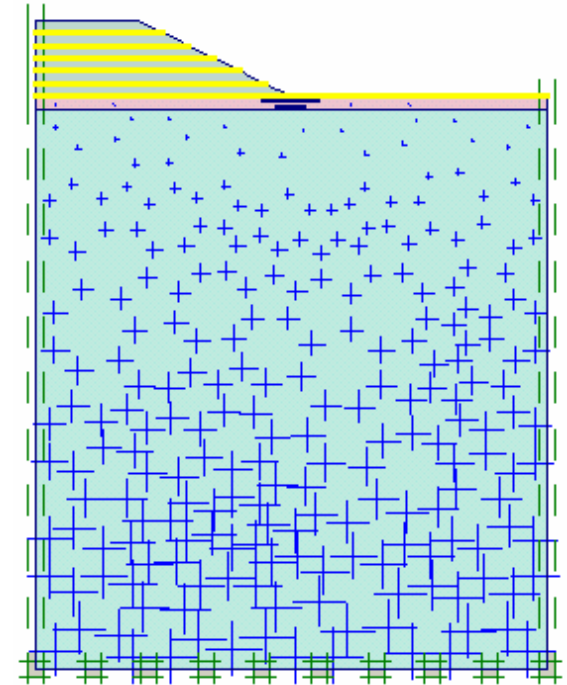
Şekil A3.1 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam deformasyonu (**43 cm**)



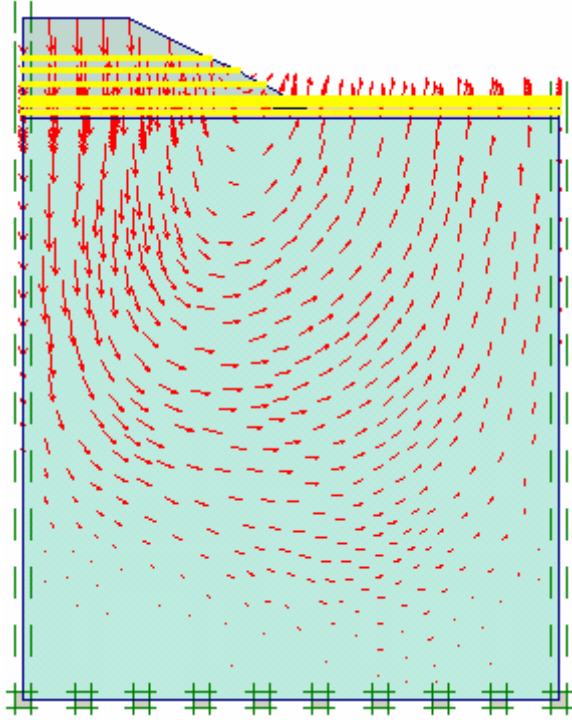
Şekil A3.3 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam gerilmesi (**869,53 kN/m²**)



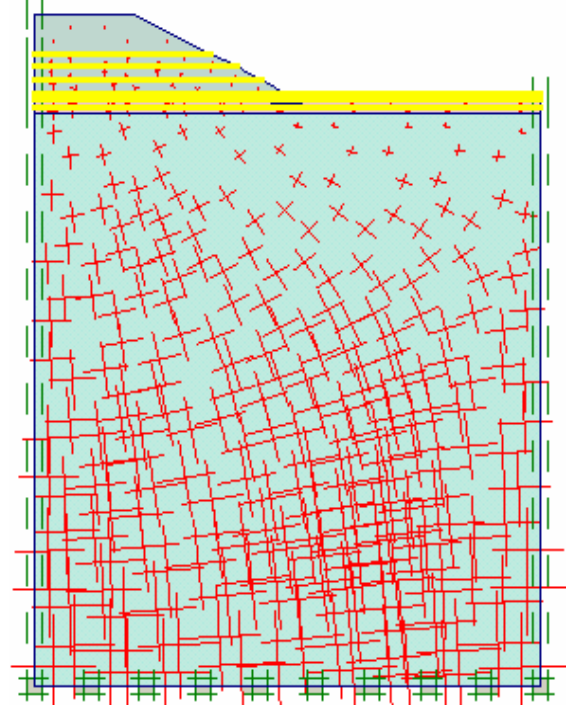
Şekil A3.2 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun efektif gerilmesi (**413,69 kN/m²**)



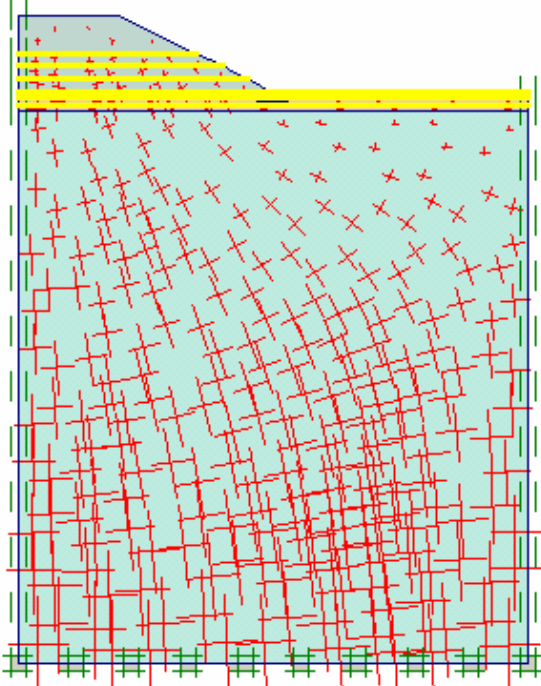
Şekil A3.4 1 m kum şilte üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun boşluk suyu basıncı (**463,50 kN/m²**)



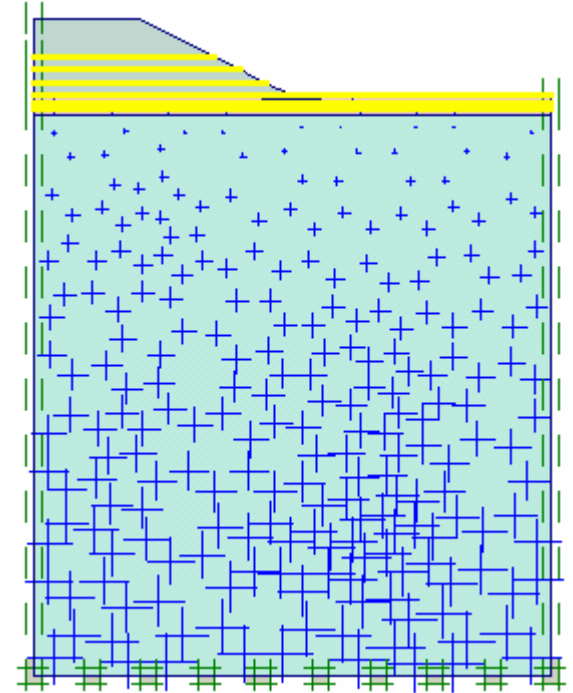
Şekil A4.1 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun toplam gerilmesi (**55 cm**)



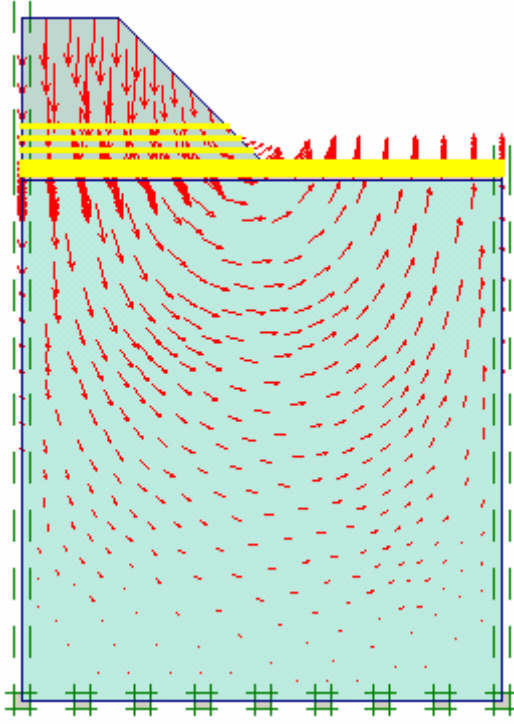
Şekil A4.3 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1m arayla serilen 6 sıra donatılı 6m dolgunun toplam ger. (**869,69 kN/m²**)



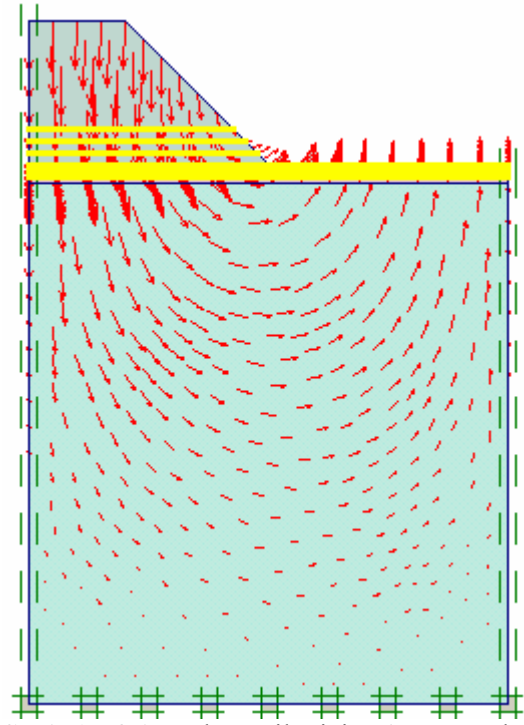
Şekil A4.2 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun efektif ger. (**403,97 kN/m²**)



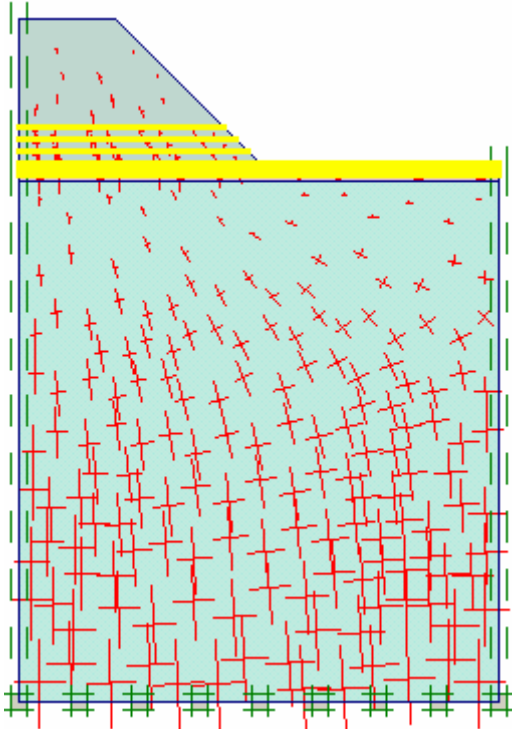
Şekil A4.4 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 6 m dolgunun boşluk suyu b. (**474,26 kN/m²**)



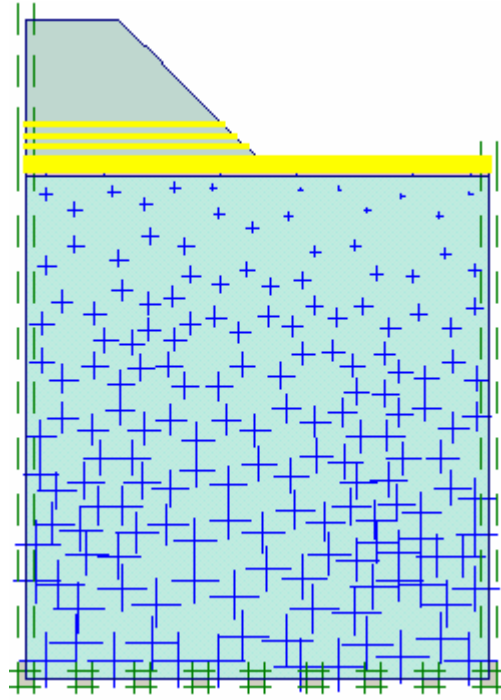
Şekil A5.1 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 12 m dolgunun toplam deformasyonu (**84 cm**)



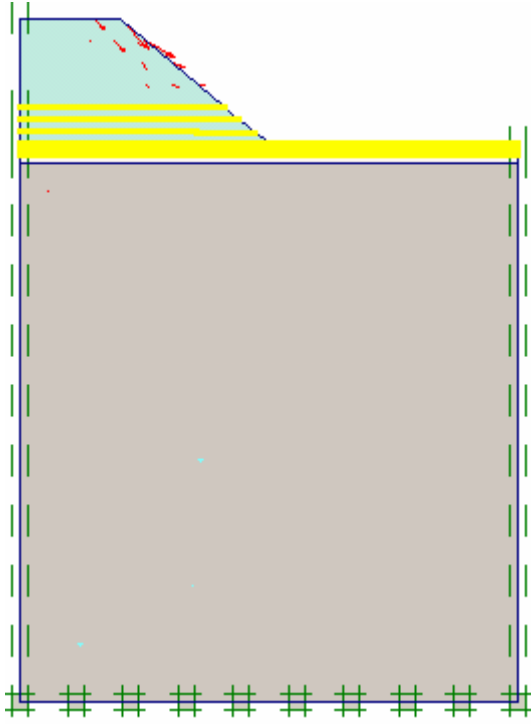
Şekil A5.3 1,5m kum şilte içine 0,5m arayla 2 sıra ve üzerine 1m arayla serilen 6 sıra donatılı 12m dolgunun toplam ger. (**876,58 kN/m²**)



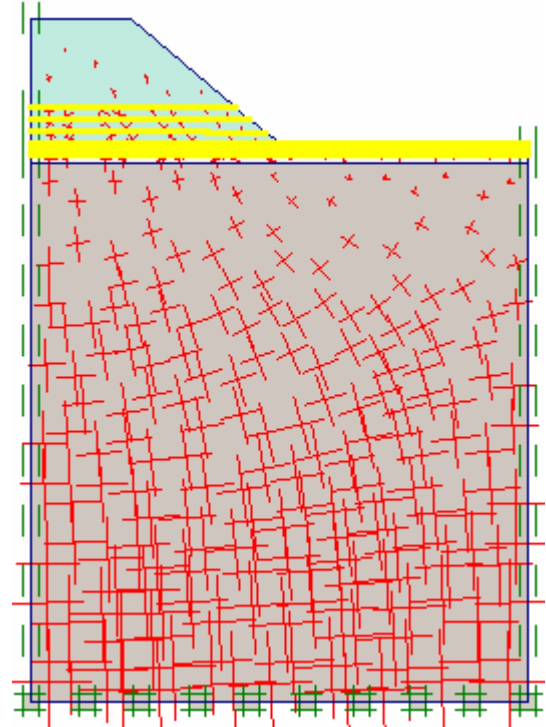
Şekil A5.2 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 12 m dolgunun efektif ger. (**390,34 kN/m²**)



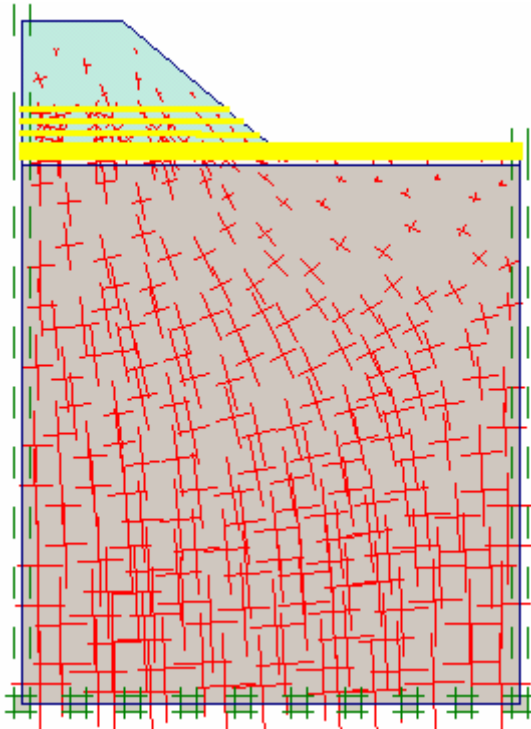
Şekil A5.4 1,5m kum şilte içine 0,5m arayla 2 sıra ve üzerine 1m arayla serilen 6 sıra donatılı 12m dolgunun boşluk suyu b. (**486,66 kN/m²**)



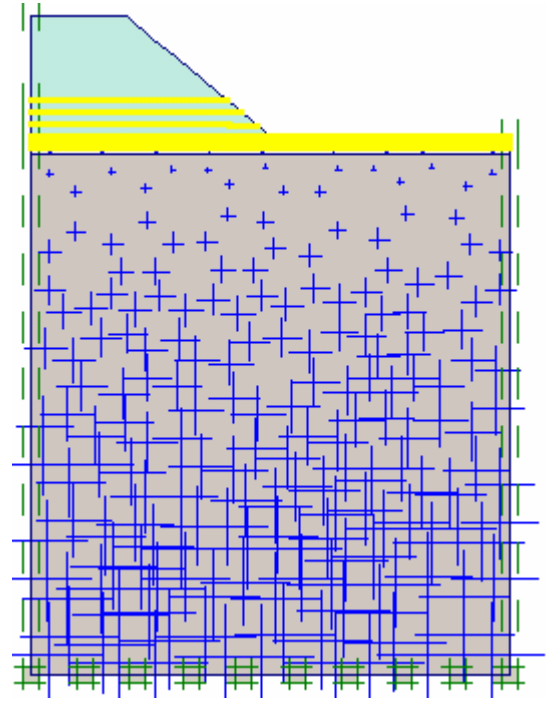
Şekil A6.1 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 10 m dolgunun toplam def. **(169 cm)**



Şekil A6.3 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 10 m dolgunun toplam ger. **(891,35 kN/m²)**



Şekil A6.2 1,5 m kum şilte içine 0,5 m arayla 2 sıra ve üzerine 1 m arayla serilen 6 sıra donatılı 10 m dolgunun efektif ger. **(445,54 kN/m²)**



Şekil A6.4 1,5m kum şilte içine 0,5m arayla 2 sıra ve üzerine 1m arayla serilen 6 sıra donatılı 10m dolgunun boşluk s. b. **(445,81 kN/m²)**

ÖZGEÇMİŞ

E. İlke Töremiş, 1978 yılında Kayseri’de doğdu. Orta ve lise öğrenimini Ankara Gazi Anadolu Lisesi’nde tamamladıktan sonra, 1997 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi’ne girdi ve bölümünü 2001 yılında bitirdi. İnşaat Anabilim Dalı, Geoteknik Programı’ndaki yüksek lisans öğrenimine 2001 yılında başladı. Şu anda KASKTAŞ A.Ş.’de çalışmaktadır.