

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAVA ALANLARI PİST DOLGULARININ
GEOSENTETİK MLAZEMELER KULLANILARAK
GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Andaç BAYRAM**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2006

**HAVA ALANLARI PİST DOLGULARININ
GEOSENTETİK MALZEMELER KULLANILARAK
GÜÇLENDİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Andaç BAYRAM
501011551**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mete İNCECİK (İTÜ)

Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Recep İYİSAN (İTÜ)

Yrd.Doç.Dr. Mehmet BERİLGİN (YTÜ)

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bu çalışmada başta değerli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Mete İNCECİK olmak üzere tezimi hazırlamamda gösterdikleri sabır ve teknik destek ile yardımcı olan, ENGİNE Müm. Müh. San. ve Tic. A.Ş. firmasında çalışan değerli yönetici ve mühendislere ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2006

Andaç BAYRAM

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. HAVAALANI PİST TASARIMI	3
2.1 Giriş	3
2.2 Uçak Özellikleri	4
2.3 Hava Alanları Sınıflandırması	8
2.3.1 FAA sınıflandırması	8
2.3.2 ICAO sınıflandırması	9
2.4 Pistlerin Geometrik Özellikleri	10
2.4.1 ICAO Sınıflandırmasına göre pistlerin geometrik özellikleri	11
2.4.2 FAA Sınıflandırmasına göre pistlerin geometrik özellikleri	13
2.4.2.1 FAA Sınıflandırmasına göre pist genişliği	13
2.4.2.2 Pistlerin uzunluklarının belirlenmesi	14
2.5 Hava Alanları Kaplama Kalınlığının Belirlenmesi	16
2.5.1 Tasarım uçağını belirleme	17
3. GEOSENTETİKLER	20
3.1 Geosentetiklerin Sınıflandırılması	21
3.2 Geosentetiklerin Genel kullanım Amaçları	22
3.3 Geosentetik Malzeme Özellikleri ve Yapısı	23
3.4 Geosentetiklerin Üretim Metodlarına Göre Sınıflandırılması	27
3.4.1 Örgülü geotekstiller	28
3.4.2 Örgüsüz geotekstiller	28
3.5 Geotekstillerin Kullanım Fonksiyonları	30
3.5.1 Ayırma	30
3.5.2 Donatı	32

3.5.3 Filtrasyon	33
3.5.4 Drenaj	34
3.5.5 Yalıtım	35
3.6 Havaalanı Dolguların Güçlendirilmesinde Geogrid Kullanımı	36
3.6.1 Güçlendirme mekanizması	38
3.6.2 Malzeme özellikleri	40
3.6.3 Güçlendirilmiş yol dizaynı	40
3.6.4 Yol üst yapıları için geosentetik uygulaması	40
4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXİS PROGRAMI	44
4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	44
4.2 Plaxis Programı	45
4.2.1 Program modülleri	45
4.2.1.1 Input modül	45
4.2.1.2 Hesaplama modülü	46
4.2.1.3 Output modülü	46
4.2.1.4 Curves modülü	47
5. GEOGRİD İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ HAVA ALANI PİST TEMEL DOLGULARININ PLAXİS İLE İNCELENMESİ	48
5.1 Plaxis Analizlerindeki Kabuller	49
5.2 Analiz Yapılması	51
5.3 Analiz Sonuçları	61
6. SONUÇLAR	74
KAYNAKLAR	77
ÖZGEÇMİŞ	79

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACN	: Aircraft Classification Number (Uçak Sınıflandırma Numarası)
ASTM	: American Standards of Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Standartları)
CBR	: California Bearing Ratio (Kalifornia Taşıma Gücü Oranı)
FAA	: Federal Aviation Administration (Federal Havacılık Dairesi)
GRI	: Geosynthetics Research Institute (Geosentetik Araştırma Enstitüsü)
ICAO	: International Civil Aviation Organization (Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu)

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Çeşitli uçakların karakteristik özellikleri ve ölçüleri.....	5
Tablo 2.2. Çeşitli uçakların iniş takımı düzenleri ve geometrik ölçüleri.....	7
Tablo 2.3. Yaklaşım hızına göre FAA hava alanı sınıflandırması.....	8
Tablo 2.4. Kanat açıklığına göre FAA hava alanı sınıflandırılması.....	9
Tablo 2.5. ICAO Hava alanı sınıflandırmasını göstermektedir.....	10
Tablo 2.6. ICAO Sınıflandırmasına göre pist genişliği.....	12
Tablo 2.7. ICAO Sınıflandırmasına göre pist eğimleri.....	12
Tablo 2.8. ICAO Sınıflandırmasına göre pist şerit genişlikleri.....	12
Tablo 2.9. ICAO Sınıflandırmasına göre pist şerit eğimleri.....	12
Tablo 2.10. Yaklaşım kategori A ve B ye göre pist boyutları.....	13
Tablo 2.11. Yaklaşım kategori C,D ve E ye göre pist boyutları.....	14
Tablo 2.12. FAA Sınıflandırmasına göre pist eğimleri.....	14
Tablo 2.13. İniş takımları dönüşüm katsayılarını göstermektedir.....	18
Tablo 3.1. Polimerlerin bazı fiziksel özellikleri.....	25
Tablo 3.2. Geosentetiklerin hammaddelerine göre özellikleri.....	26
Tablo 5.1. Bazı doğal maddelerin Elastisite modülleri ve CBR değerleri.....	50
Tablo 5.2. Donatısız durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler.....	53
Tablo 5.3. Donatısız durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler.....	54
Tablo 5.4. İkinci donatısız durum modellemelerdeki parametreler.....	55
Tablo 5.5. İkinci donatısız durum modellemelerdeki parametreler.....	56
Tablo 5.6. Tek kat donatılı durum modellemelerdeki parametreler.....	57
Tablo 5.7. Tek kat donatılı durum modellemelerdeki parametreler.....	58
Tablo 5.8. Çift kat donatılı durum modellemelerdeki parametreler.....	59
Tablo 5.9. Çift kat donatılı durum modellemelerdeki parametreler.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Groton Hava Alanında pistlerin ve diğer yapıların genel görünüşü.....	4
Şekil 2.2 : Tipik bir hava alanının pist ve diğer yapılarının üstten görünüşü.....	11
Şekil 2.3 : Rijit kaplama kesiti.....	17
Şekil 2.4 : Esnek kaplama kesiti.....	17
Şekil 3.1 : Geosentetiklerin genel dağılım şeması.....	23
Şekil 3.2 : Geosentetik hammaddeleri.....	24
Şekil 3.3 : Örgülü-örgüsüz geotekstil örnekleri.....	27
Şekil 3.4 : Örgülü geotekstiller.....	28
Şekil 3.5 : Isıl işlemlerle birleştirilmiş örgüsüz geotekstiller.....	29
Şekil 3.6 : Farklı yöntemlerle üretilmiş örgüsüz geotekstil.....	29
Şekil 3.7 : Mono filament, multi filament, film örgülü geotekstiller.....	30
Şekil 3.8 : Ayırma amaçlı Geotekstil kullanımı.....	31
Şekil 3.9 : Geotekstil kullanımı ile ayırma fonksiyonunun çalışma şekli.....	31
Şekil 3.10 : Geotekstilli ve geoteksilsiz durumlardaki yapı davranışı.....	32
Şekil 3.11 : Dolguda uygulanan geotekstilin çalışma mekanizması gösterimi.....	32
Şekil 3.12 : Geotekstil kullanılarak yapılan duvar imalatı.....	33
Şekil 3.13 : Yol dolgusunda geotekstil ve geogrid uygulaması.....	33
Şekil 3.14 : Filtrasyon için Geotekstil kullanımı.....	34
Şekil 3.15 : Drenaj için geotekstil kullanımı.....	35
Şekil 3.16 : Geomembran kullanım şekli şematik gösterimi.....	36
Şekil 3.17 : Geomembran uygulaması.....	36
Şekil 3.18 : Tek ve çift yönlü geogrid örneği.....	37
Şekil 3.19 : Yanal tutma mekanizması gösterimi.....	39
Şekil 3.20 : Taşıma gücü çalışma mekanizması gösterimi.....	39
Şekil 3.21 : Kenetlenerek düşey yönde hareket engelleme mekanizması.....	40
Şekil 3.22 : CBR ve kayma mukavemeti değerleri arasındaki korelasyonu.....	41
Şekil 3.23 : Temel tabakası tespiti.....	43
Şekil 5.1 : Donatısız modellenen kesit.....	49

Şekil 5.2 : Donatılı modellenen kesit.....	49
Şekil 5.3 : Uçağa ait tandem ve lastik yerleşimi.....	51
Şekil 5.4 : Donatısız durum kesiti.....	52
Şekil 5.5 : Toplam deformasyon-kesit grafiği.....	61
Şekil 5.6 : Birinci durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi.....	61
Şekil 5.7 : Birinci durum yüzey kesiti toplam gerilme grafiği.....	62
Şekil 5.8 : Birinci durum gerilme diyagramı.....	62
Şekil 5.9 : Birinci durum konsolidasyon eğrisi.....	63
Şekil 5.10 : Birinci durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi.....	63
Şekil 5.11 : İkinci donatısız toplam deformasyon-kesit grafiği.....	64
Şekil 5.12 : İkinci donatısız durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi.....	64
Şekil 5.13 : İkinci donatısız durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi.....	65
Şekil 5.14 : İkinci donatısız durum gerilme diyagramı.....	65
Şekil 5.15 : İkinci donatısız durum konsolidasyon eğrisi.....	66
Şekil 5.16 : İkinci donatısız durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi.....	66
Şekil 5.17 : Üçüncü tek donatılı durum toplam deformasyon-kesit grafiği.....	67
Şekil 5.18 : Üçüncü tek donatılı durum toplam deformasyon-kesit eğrisi.....	67
Şekil 5.19 : Üçüncü tek donatılı durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi.....	68
Şekil 5.20 : Üçüncü tek donatılı durum gerilme diyagramı.....	68
Şekil 5.21 : Üçüncü tek donatılı durum konsolidasyon eğrisi.....	69
Şekil 5.22 : Üçüncü tek donatılı durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi.....	69
Şekil 5.23 : Dördüncü iki donatılı durum toplam deformasyon-kesit grafiği.....	70
Şekil 5.24 : Dördüncü iki donatılı durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi.....	70
Şekil 5.25 : Dördüncü iki donatılı durum yüzey kesiti toplam gerilme grafiği.....	71
Şekil 5.26 : Dördüncü iki donatılı durum gerilme diyagramı.....	71
Şekil 5.27 : Dördüncü iki donatılı durum konsolidasyon eğrisi.....	72
Şekil 5.28 : Dördüncü iki donatılı durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi.....	72
Şekil 5.29 : Bütün durumlar için güvenlik tahkiki.....	73
Şekil 5.30 : Genel modellenen donatılı kesiti.....	73

SEMBOL LİSTESİ

α	: Gerilme dağıtım açısı
A	: Lastik temas yüzeyi alanı
a, b	: Lastik temas alanı boyutları
c_u	: Drenajsız kayma dayanımı
d	: Beton tabakanın kalınlığı
E	: Elastisite modülü
F	: Düşey yük
h	: Derinlik
k	: Yatak katsayısı
μ	: Betonun poison oranı
m	: Taşıma gücü mobilizasyon katsayısı
N_c	: Taban zemini taşıma gücü katsayısı
N_w	: İniş takımındaki lastik adedi
P	: Lastik basıncı
q	: Taban zemininin taşıma gücü
q_f	: Dolgunun taşıma gücü
q_r	: Donatılı halde dolgu kalınlığı
q_u	: Donatısız halde dolgu kalınlığı
r	: Lastik temas alanı yarıçapı
R_1	: Tasarım uçağı eşdeğer yıllık kalkış sayısı
R_2	: Tasarım uçağı iniş takımı cinsinden yıllık kalkış sayısı
t	: Esnek kaplama kalınlığı
T_{all}	: İzin verilen çekme dayanımı
T_{ult}	: Nihai çekme dayanımı
W_1	: Tasarım uçağı lastik yükü
W_2	: Hesaplanan uçağın lastik yükü
z	: Sehim
z_r	: Donatılı halde zeminin taşıma gücü
z_u	: Donatısız halde zeminin taşıma gücü

HAVA ALANLARI PİST DOLGULARININ GEOSENTETİK MALZEMELER KULLANILARAK GÜÇLENDİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmada; hava alanlarında, temel dolgusunun geosentetikler kullanılarak taşıma gücünün artırılması ve tasarım yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Geosentetikler dolgu içinde çekme dayanımını arttırdığı için düşey deformasyonu azaltmış ve taşıma gücü kriterini iyileştirmiştir. Donatılı zemin, zeminin kritik yönlerdeki mukavemetini arttırmak amacı ile içerisine çekmeye dayanıklı ve zeminle arasında yeterli sürtünmeye sahip polimer malzemelerden üretilmiş geotekstiller veya metal şeritler yerleştirilerek elde edilen kompozit bir yapı olarak tanımlanabilmektedir. Havaalanı pist dolgularında trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmelere dayanımı arttırmak ve gerekli taşıma gücü ve oturma parametrelerini sağlamak için geotekstiller veya geogridler kullanılmaktadır. Genel olarak Hava alanı temel dolgularında çekme dayanımı ve diğer donatı özellikleri daha yüksek olan geogridler kullanılır.

Geosentetik malzemelerin bir dolguda kullanıldığı zaman bu dolgunun aynı kesitle dizayn edilen yükten daha fazla taşınması sağlanır. Bu mantık çerçevesinde geotekstil malzeme kullanılarak daha az dolgu yapılarak istenilen taşıma gücü ve diğer şartlar sağlanabilir. Bu durumda ekonomik getirileri önem kazanır. Bu malzemelerin kullanımının diğer başka avantajı yapılan imalatın daha uzun ömürlü olmasıdır. Bu tez çalışmasında temel olarak geosentetik malzemeler kullanılarak yapılan imalatın dolgu kalınlığının azalması incelenmiştir. Yapılan analizler, sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan bilgisayar programı yardımı ile yapılmıştır. Bu programlar dizayn yükleri altındaki kesitin davranışını görebilmemizi sağlamaktadır.

REINFORCEMENT OF AIRPORT RUNWAY FILL BY USING GEOSYNTHETIC MATERIALS

ABSTRACT

In this thesis; the behavior of geosynthetic reinforced airport runways foundation fill under design loads and the increase on the bearing capacity of reinforced runways fill was examined. The geosynthetics increases the tensional strength of the fill and that's why the vertical deformation decreases and the bearing capacity criteria improves. The reinforced earth can be defined as; the composite structure with soil and polymeric material like geotextile or kind of geotextile material placed to increase the strength of the soil on the critical directions. We use Geogrids or Geotextiles to obtain the necessary bearing capacity and settlement parameters and to increase the strain that is made by traffic loads in the airport runway fill. Generally Geogrids are used in airport runway fills that Geogrids have much more reinforcement characteristics and tensile strength than the others.

When the Geosynthetic materials used in a fill, the fill has much more bearing capacity than the design. By using geosynthetics with less fill in the section, we can obtain the necessary bearing capacity and other requirements. In that situation the economical data has importance. The other advantage of the use of these materials is the durable of the fabrication. In this study, generally the decrease in the depth of the geosynthetics reinforced fill was examined. The analysis are made by using a software which has finite element method working system. This software help us to see the behavior of the soil section under the design loads.

1. GİRİŞ

Geosentetik malzemeler inşaat sektöründe alt yapı imalatlarında 1970 li yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır. İlk dönemlerde yalnızca donatı olarak kullanılmış, fakat daha sonra günümüzdeki gibi çok çeşitli amaçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Geosentetiklerin donatı olarak kullanılması, zeminin kritik yönlerdeki mukavemetini arttırmak amacı ile içerisine çekmeye dayanıklı ve zeminle arasında yeterli sürtünmeye sahip polimer malzemelerden üretilmiş geosentetikler yerleştirilerek oluşturulan kompozit yapıya denilmektedir.

Günümüzde geosentetikler yaygın olarak zeminlerin tasarım ve inşasında ve su koruma yapılarında kullanılmaktadır. Geosentetiklerin başlıca kullanım amaçları ayırma, donatı, filtre, drenaj ve yalıtım olarak sınıflandırılabilir. Geosentetikler ayrıca drenajın borulamaya ve erozyona karşı geliştirilmesinde ve dolgu malzemelerin ayırmasında ve güçlendirilmesinde de kullanılmaktadır. Kullanım amaçlarındaki farklılıklardan dolayı, bu malzemelerin doğru seçimi çok önemlidir. Bu seçimde kullanılacak malzemenin kullanım amacı, açıklık ölçüleri, ağ açıklık alanı, çekme dayanımı, dayanıklılığı ve diğer faktörler malzeme seçiminde kullanım amacına göre dikkat edilmesi gerekli hususlardır. Bu çalışmada Geosentetik malzemelerin havaalanı temel dolgusu içinde kullanımıyla elde edilen zemin iyileştirmesi ve sonucunda gerekli taşıma gücü kriterlerini daha az kalınlıktaki dolgu ile sağlandığı incelenmiştir. Hava taşıtlarının ebat ve ağırlıklarından dolayı oluşan gerilmelerin havaalanları temel dolgularında kullanılan Geosentetik donatı malzemeleri tarafından karşılanarak, inşaa edilen sistemin daha uzun ömürlü ve daha az maliyetli olduğu yapılan analizlerle gösterilmiştir. Hava alanlarında, temel dolgusunun geosentetikler kullanılarak taşıma gücünün arttırılması ve tasarım yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Geosentetikler dolgu içinde çekme dayanımını arttırdığı için düşey deformasyonu azaltmış ve taşıma gücü kriterini iyileştirmiştir.

Geosentetik kullanımı ile;

- Aynı kesit ile daha fazla yük taşınabilmesi

- Yapılan imalatın daha uzun ömürlü olması
- Aynı yüklerin daha küçük kesitlerle taşınabilmesi

sağlanabildiği bilinmektedir.

Hava alanlarındaki yükler karayollarında kabul edilen tasarım yüklerinden çok daha fazladır. Uçakların yere temas şekilleri iniş takımlarının farklı olması sebebiyle uçak yükleri karayolu taşıtlarından farklıdır. Uçakların kalkış ağırlıkları iniş ağırlıklarından fazla olmasından dolayı pist üzerine etkileri kalkış anında çok daha fazla olmaktadır. Günümüzde hava taşımacılığının gelişmesi ve geçmiş senelere göre çok daha fazla tercih edilmesi nedeniyle tasarlanan uçakların kapasitesi artmış ve gelişmiş, bu durum beraberinde daha büyük yüklere maruz kalan pistleri tasarlamayı gerektirmiştir. Bu amaçla Bölüm 2’de hava alanlarının sınıflandırılması ve pistlerin geometrik yapısının tasarlanması incelenmiştir.

Bölüm 3’te Geosentetik malzemeler tanıtılmıştır. Geosentetik malzemelerden donatı olarak kullanılabilen geotekstiller ve geogridler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4’te bir sonlu elemanlar programı olan Plaxis programı hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 5’de ise tipik bir hava alanı pist dolgu kesiti ve tasarım uçağının yükleri Plaxis programında modellenmiş, modellenen tasarım geogrid ile ve geogridsiz olarak çözümlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. HAVAALANI PİST TASARIMI

2.1 Giriş

Günümüzde hava yolu ile yapılan yolcu ve kargo taşımacılığı, ulaşım sektöründe önemli bir paya sahiptir. Bu da uçak tasarımındaki gelişmelerin bir sonucudur. Bu gelişim zaman içerisinde uçakların geometrik boyutlarında önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Bu artış eğilimi günümüzde de sürmektedir. Uçakların geometrik boyutlarının artması ile taşıma kapasiteleri arasında doğrudan bir ilişki vardır. Taşıma kapasiteleri arttıkça uçakların boyutları da artmaktadır. Havaalanlarının maruz kaldığı trafik yüklerinin gün geçtikçe artması, pistlerin ekonomik olarak tasarımında yeni malzemeler kullanımını zorunlu hale getirmektedir. Bu sebepten günümüzde pist kaplamalarında gerekli durumlar ve şartlar için kullanılan geosentetik malzemeler, gelecekte daha sık kullanılacaktır.

Hava alanı tasarımında uçakların karakteristik özellikleri göz önüne alınmaktadır. Kullanılmakta olan uçakların karakteristik özellikleri farklılıklar gösterdiği için havaalanı sınıflandırılmasında genel olarak uçakların karakteristik özellikleri göz önüne alınır. Havaalanları sınıflandırılması ile pist, taksiyolu, apron ve diğer bölümlerin tasarımı ve inşasında bir standart sağlanmaktadır. Şekil 2.1 tipik bir hava alanında pistlerin, apronların, taksiyollarının diğer yapıların görünüşüne örnektir.



Şekil 2.1 Groton Hava Alanında pistlerin ve diğer yapıların genel görünüşü

Uçakların inip kalktığı dikdörtgen şeklindeki kaplanmış alanlara “Pist” denilmektedir. Uçakların piste, apronlara giriş- çıkış, manevra yaptıkları kaplanmış yollar “taksiyoları” olarak adlandırılmaktadır. Yükleme-boşaltma, yakıt ikmali, bakım için uçakların kullandığı bölümlere “apron” denilmektedir. Pistlerin, apronların ve diğer hava alanı yapılarının geometrik ölçülerinin belirlenmesinde uçakların performans ve fiziksel özelliklerinden faydalanılmaktadır.

2.2 Uçak Özellikleri

Uçakların sahip olduğu, her uçakta farklı olabilecek özellikler, hava alanlarının tasarımındaki en önemli etkidir. Bir uçağın ağırlığı; kaplamaların dolgu kalınlığını, iniş ve kalkış pistlerinin uzunluğunu belirlenmesindeki en büyük etkidir. Uçakların geometrik özellikleri ise pistlerin genişliğini, uçaklar arası mesafeyi, apron büyüklüklerini, binaların yerleşimini, uçakların dönme özelliklerini ve yarıçaplarını belirlemektedir.

Pist tasarımında kullanılmak üzere uçakların özelliklerini belirlenmesinde kullanılan ana parametreler Tablo 2.1 de özetlenmiştir.[1]

Uçak boş ağırlığı: personel ağırlığı ve uçağın donanımlarından oluşan ağırlıklardır.

Maksimum kalkış ağırlığı: uçağın boş ağırlığı, seyahat için gerekli yakıt ağırlığı ve taşınan yüklerin toplamıdır.

Maksimum iniş ağırlığı: uçağın boş ağırlığı ve taşınan yüklerin toplamıdır.

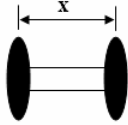
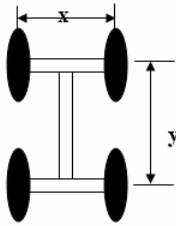
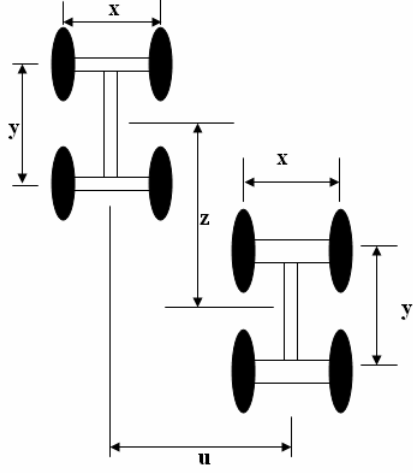
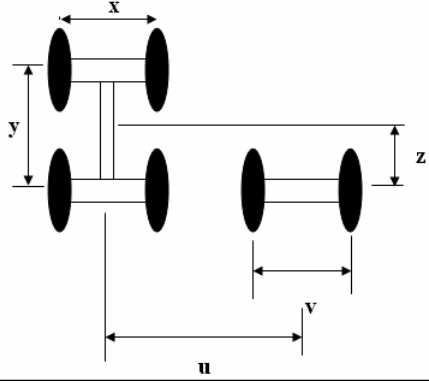
Uçakların kanat açıklıkları 60m nin üzerine, uzunluklarının 70m nin üzerine, maksimum kalkış ağırlıklarının ise 37.000kg a kadar çıkabildiği Tablo 2.1 de incelenebilir. Bu değerler ve diğer başka parametreler yardımıyla havaalanları pist dizaynı yapılabilir. Tablo 2.2 de çeşitli uçakların iniş takımlarının yerleşimleri ve ölçüleri incelenebilir.[1,2]

Tablo 2.1 Çeşitli uçakların karakteristik özellikleri ve ölçüleri.[1,2]

Üretici	Model	Kanat Açıklığı	Uzunluk (m)	İniş Takımları	Ana İniş Takımları	Maksimum Kalkış	Maksimum İniş
Airbus Industrie	A-300-600	44,81	53,36	18,60	9,47	165.001	138.001
Airbus Industrie	A-310-300	43,89	46,64	14,97	9,47	149.998	123.001
Airbus Industrie	A-320-200	33,84	37,50	12,51	7,35	71.999	60.999
Airbus Industrie	A-340-200	60,08	59,44	18,93	4,90	253.513	180.983
Boeing	B-727-200	32,92	46,64	19,21	5,51	83.824	68.039
Boeing	B-737-200	28,35	30,49	11,29	5,19	45.359	43.091
Boeing	B-737-300	28,68	33,44	12,22	5,19	56.472	51.709
Boeing	B-737-400	28,68	36,29	14,05	5,19	62.822	54.885
Boeing	B-737-500	28,68	30,81	10,98	5,19	52.390	49.895
Boeing	B-747-100	59,46	70,44	25,60	11,00	322.050	255.826
Boeing	B-747-200B	59,46	70,44	25,60	11,00	351.534	255.826
Boeing	B-747-300	59,46	70,44	25,60	11,00	322.050	255.826
Boeing	B-747-400	64,92	70,44	25,60	11,00	362.874	260.362

Üretici	Model	Kanat Açıklığı	Uzunluk (m)	İniş Takımları	Ana İniş Takımları	Maksimum Kalkış	Maksimum İniş
Boeing	B-747-SP	59,46	56,11	20,43	10,98	285.763	204.116
Boeing	B-757- 200	37,83	47,25	18,29	7,32	99.790	89.811
Boeing	B-767- 200	47,55	48,47	19,53	9,16	142.881	123.377
Boeing	B-767- 300	47,55	54,87	22,58	9,16	156.489	136.078
Boeing	B-777- 200	60,69	63,71	25,64	10,97	242.672	201.848
McDonnell- Douglas	DC-8-73	45,13	57,01	23,49	6,13	161.025	117.027
McDonnell- Douglas	DC-9-32	28,97	36,28	16,16	4,89	54.885	49.895
McDonnell- Douglas	DC-9-51	28,36	40,56	18,32	4,88	54.885	49.895
McDonnell- Douglas	MD-81	32,64	44,84	21,96	4,90	63.503	58.060
McDonnell- Douglas	MD-87	32,64	39,64	18,93	4,90	67.812	58.967
McDonnell- Douglas	MD-90- 30	32,64	46,35	23,48	4,90	70.760	64.410
McDonnell- Douglas	DC-10- 10	47,26	55,48	21,96	10,67	195.045	164.881
McDonnell- Douglas	DC-10- 30	50,30	55,48	21,96	10,67	259.455	214.549
McDonnell- Douglas	DC-10- 40	50,30	55,48	21,96	10,67	251.744	182.798
McDonnell- Douglas	MD-11	51,83	61,39	24,41	10,67	273.289	195.045
Lockheed	L-1011- 500	50,00	50,00	18,62	10,97	231.332	166.922
British Aerospace	BAe111- 500	28,36	32,61	12,51	4,28	53.999	49.499
Fokker	F-28- 4000	25,00	29,57	10,09	4,90	33.112	31.525
Aerospatiale/BAC	Concorde	25,33	62,50	18,01	7,63	185.066	111.130

Tablo 2.2 Çeşitli uçakların iniş takımı düzenleri ve geometrik ölçüleri.[1,2]

Ana İniş Takımı Şekli	Uçak Modeli	Ölçüler (cm)					Lastik Basınçları (psi)
		x	y	z	u	v	
Çift Lastik 	B-727	86,4					168
	B-737	77,5					148
	MD-81	71,4					170
Çift Tande m 	A-300	92,7	139,7				181
	A-310	78	100,3				172
	A-320	86,4	142,2				149
	B-707-120B	81,3	124,5				170
	B-707-320B	87,9	142,2				180
	B-720B	81,3	124,5				145
	B-757	86,4	114,3				161
	B-767	114,3	142,2				184
	Concorde	67,1	166,9				184
	DC-8-61	76,2	139,7				188
	DC-8-62	81,3	139,7				187
	DC-10-10	137,2	162,6				173
	L1011-500	132,1	177,8				184
İkili Çift Tande m 	B-747-100						192
	B-747-200						204
	B-747-400						195
	B-747-SP	110	137,2	307,6	358,1		205
Çift Tande m-Çift Lastik 	A-340	139,7	198,1	99,1	535,9	96,5	157
	DC-10-30	137,2	162,6	76,2	548,6	95,3	165
	DC-10-40	137,2	162,6	76,2	548,6	95,3	165

2.3 Hava Alanları Sınıflandırılması

Uçaklar, kullanım amaçlarına ve şekillerine göre değişik boyutlarda üretilmektedir. Bu farklılıklardan dolayı uçakların ve hava alanı tesislerinin tasarımında ve imalatlarında belli standartlar kullanılmaktadır. Bu sayede havaalanlarında pistlere gelecek trafik yükleri ile ilgili değer ve parametreler belirlenmiş olacaktır. FAA ve ICAO, bu amaç için sivil havacılık için çeşitli sınıflandırmalar yapan organizasyonlardan en büyükleridir.

2.3.1 FAA sınıflandırması

FAA sınıflandırması, havaalanını kullanması öngörülen uçakların karakteristik özelliklerini baz olarak kullanılmaktadır. Buna göre uçak yaklaşım kategorisi ve uçak tasarım grubu olmak üzere iki kavram göz önüne alınmaktadır. Uçak yaklaşım kategorisini belirleyen uçak yaklaşım hızı, uçak iniş halindeyken ve ağırlığı izin verilen maksimum iniş ağırlığındayken düşmeden uçabileceği minimum hızın 1,3 katı olarak kabul edilmektedir. Uçak tasarım grubu ise uçağın kanat açıklığına göre belirlenir. Bu iki kritere göre havaalanlarının sınıfı tespit edilmektedir. Tablo 2.3 ve Tablo 2.4 e göre yaklaşım hızı 120kn, kanat açıklığı 50m olan bir uçağın FAA sınıflandırmasına göre sınıfı B-IV olacaktır.[1]

Tablo 2.3 Yaklaşım hızına göre FAA hava alanı sınıflandırması.[1]

Yaklaşım Kategorisi	Yaklaşım Hızı (knot) (1,85 km/h)
A	$V < 91$
B	$91 < V < 121$
C	$121 < V < 141$
D	$141 < V < 166$
E	$V > 166$

Tablo 2.4 Kanat açıklığına göre FAA hava alanı sınıflandırması.[1]

Tasarım Grubu	Kanat Açıklığı (a) (m)
I	$a < 15$
II	$15 < a < 24$
III	$24 < a < 36$
IV	$36 < a < 52$
V	$52 < a < 65$
VI	$65 < a < 80$

2.3.2 ICAO sınıflandırması

ICAO sınıflandırması alfabetik ve numerik olarak iki şekilde yapılmaktadır. Numerik sınıflandırma uçağın, rüzgarsız havada, deniz seviyesinde, satndart atmosfer koşullarında ve düz eğimli pistte maksimum kalkış ağırlığındaki gerekli minimum arazi uzunluğunu vermektedir. Alfabetik sınıflandırma ile uçakların kanat açıklıklarını ve ana iniş takımları arasındaki mesafeyi göstermektedir. Tablo 2.4 alfabetik ve numerik sınıflandırma ile ilgili bilgileri vermektedir. Bu tabloya göre Airbus A310-300 uçağının yukarıda belirtilen koşullarda gerekli minimum referans arazi uzunluğu 1845 m, iniş takımları arasındaki mesafe 10,9m ve kanat açıklığı 43,89 m olduğu için ICAO sınıflandırmasına göre sınıfı 4-D olmaktadır.[1,2]

- **Numerik** : Arazi uzunluğu (maksimum kalkış ağırlığı)
- **Alfabetik** : Kanat açıklığı ve ana iniş takımları arasındaki mesafe

Tablo 2.5 ICAO Hava alanı sınıflandırmasını göstermektedir.[1]

Nümerik Sınıf	Arazi Boyu (m)	Alfabetik Sınıf	Kanat Açıklığı (m)	Ana İniş Takım Lastikler Arası Mesafe (m)
1	$b < 800$	A	$k < 15$	$m < 4,5$
2	$800 < b < 1200$	B	$15 < k < 24$	$4,5 < m < 6$
3	$1200 < b < 1800$	C	$24 < k < 36$	$6 < m < 9$
4	$b > 1800$	D	$36 < k < 52$	$9 < m < 14$
		E	$52 < k < 65$	$9 < m < 14$

FAA sınıflandırması ile ICAO sınıflandırmaları arasında tam birebir olmayan ama yaklaşık bir ilişki vardır. Bu ilişkiye göre FAA da ki A, B, C, D ve I, II, III, IV, V ile ICAO nun 1, 2, 3, 4 ve A, B, C, D, E sınıflandırmasına denk gelmektedir.[1]

2.4 Pistlerin Geometrik Özellikleri

Pistlerin yerleşimine ve geometrik özelliklerini belirleyen faktörler,

- Yerel iklim koşulları (Rüzgâr ve görüş mesafesi),
- Hava alanının arazisinin ve çevresinin topografyası,
- Trafik hacmi,
- Uçakların özellikleri ve çevresel kriterler

Olarak sıralanabilir. Bu faktörler pistlerin güvenlik ve verimli kullanım amaçlarına göre tasarlanmasını belirleye faktörlerdir.

Pistlere bağlantılı hava alanı bölgeleri

- Uçak kalkış iniş hareketini yaptığı kaplama,

- Bakım kontrol malzeme ve ekipmanlarına yer sağlamak amacıyla inşa edilen banketler,
- Çeşitli acil durumlarda uçağın pistten çıkması durumunda güvenlik sağlamak amacıyla inşa edilen pist şeridi,
- Pistin başında ve sonunda olmak üzere Tampon bölge,
- Acil durumda uçağın tekrar havalanması veya pist üzerinde inişini veya kalkışını tamamlayamaması durumunda kullanması için pist sonu güvenlik bölgesi,
- Kalkışın tamamlanamaması durumunda gerekecek güvenlik için pistin sonuna eklenen durma ek uzantı yapısı ve
- Pist sonunda uçağın tırmanma açısı azaltılarak kalkış ağırlığının artmasını sağlamak amacıyla engellerin kaldırıldığı pist sonundaki ek bölge dir.



Şekil 2.2 Tipik bir hava alanının pist ve diğer yapılarının üstten görünüşü.

2.4.1 ICAO Sınıflandırmasına göre pistlerin geometrik özellikleri

ICAO Sınıflandırmasına göre pistlerin genişliği Tablo 2.6’da, pist eğimleri Tablo 2.7’de gösterilmiştir. Tablo 2.8’de ICAO Sınıflandırmasına göre pist şerit genişlikleri, Tablo 2.9’ da ICAO Sınıflandırmasına göre pist şerit eğimleri gösterilmiştir.

Tablo 2.6 ICAO Sınıflandırmasına göre pist genişliği (m).[1]

Nümerik Sınıf	Alfabetik Sınıf				
	A	B	C	D	E
1	18	18	23	-	-
2	23	23	30	-	-
3	30	30	30	45	-
4			45	45	45

D ve E sınıflarında banket genişliği en az 60m olmalıdır.

Tablo 2.7 ICAO Sınıflandırmasına göre pist eğimleri (%).[1]

Nümerik Sınıf	1	2	3	4
Maksimum Boyuna Şev	1,5	1,5	1,25	1,25
Maksimum Etkin Eğim	2	2	1	1
Maksimum Boyuna Şev Değişimi	2	2	1,5	1,5
Maksimum Boyuna Şev	A ve B %2, diğer %1,5			

Tablo 2.8 ICAO Sınıflandırmasına göre pist şerit genişlikleri (m).[1]

Nümerik Sınıf	1	2	3	4
Uçakların Radarla Yaklaştığı Pistlerde	150	150	300	300
Uçakların Görsel Yaklaştığı Pistlerde	60	80	150	150

Tablo 2.9 ICAO Sınıflandırmasına göre pist şerit eğimleri (%).[1]

Nümerik Sınıf	1	2	3	4
Maksimum Boyuna Şev	2	2	1,75	1,5
Maksimum Enine Şev	3	3	2,5	2,5

2.4.2 FAA Sınıflandırmasına göre pistlerin geometrik özellikleri

2.4.2.1 FAA Sınıflandırmasına göre pist genişliği

FAA sınıflandırması, pist sistemlerini; kaplama, banketler, tampon bölge, pist güvenlik alanı, engellerden arındırılmış bölgeler ve pist koruma alanı tanımlayarak oluşturmaktadır. Tablo 2.10 ve Tablo 2.11 FAA Sınıflandırmasına göre A, B, C, D ve E yaklaşım kategorilerine göre pist boyutlarını, FAA Sınıflandırmasına göre Tablo 2.12 pist eğimlerini göstermektedir. FAA Sınıflandırmasında pist yapılarını kaplama, banketler, tampon bölge, pist güvenlik alanı, engellerden arındırılmış bölgeler ve pist koruma alanı olarak tanımlayabiliriz. Yukarıda ICAO'nun pist yapılarında tanımladığı pist şeridi ve pist sonu güvenlik bölgesi, FAA'nın pist güvenlik bölgesi olarak tanımladığı bölümleri kapsamaktadır.

Tablo 2.10 Yaklaşım kategori A ve B ye göre pist boyutları (m)

Yaklaşım Tipi	Görsel					Radarla				
Uçak Tasarım Grubu	Ia	I	II	III	IV	Ia	I	II	III	IV
Pistin Genişliği	18,3	18,3	22,9	30,5	45,7	22,9	30,5	30,5	30,5	45,7
Banket Genişliği	3,0	3,0	3,0	6,1	7,6	3,0	3,0	3,0	6,1	7,6
Pist Güvenlik Bölgesi Genişliği	36,6	36,6	45,7	91,4	152,4	91,4	91,4	91,4	121,9	152,4
Pist Güvenlik Bölgesi Uzunluğu	73,2	73,2	91,4	182,9	304,8	182,9	182,9	182,9	243,8	304,8

Tablo 2.11 Yaklaşım kategori C,D ve E ye göre pist boyutları (m)

Uçak Tasarım Grubu	I	II	III	IV	V	VI
Pistin Genişliği	30,5	30,5	30,5	45,7	45,7	61,0
Banket Genişliği	3,0	3,0	6,1	7,6	10,7	12,2
Pist Güvenlik Bölgesi Genişliği	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4	152,4
Pist Güvenlik Bölgesi Uzunluğu	304,8	304,8	304,8	304,8	304,8	304,8

Tablo 2.12 FAA Sınıflandırmasına göre pist eğimleri (%)

Uçak Yaklaşım Kategorisi	A	B	C	D	E
Boyuna Maksimum Eğim	2	2	1,5	1,5	1,5
Enine Maksimum Eğim	2	2	1,5	1,5	1,5
Boyuna Maksimum Değişim	2	2	1,5	1,5	1,5

2.4.2.2 Pistlerin uzunluklarının belirlenmesi

Genel olarak aşağıda sıralanan unsurlar, uçakların motor performanslarına etki ettiği için pist uzunlukları değişmektedir.

Pistlerin uzunluklarına etki eden başlıca unsurlar:

- Pist Eğimi: Ters yöndeki eğimler pist uzunluğunu değiştirir. Her %1 lik eğim artışı için pist uzunluğu %10 oranında arttırılır.
- Hava alanının deniz seviyesinden yüksekliği: rakım arttıkça pist uzunluğu artar. Her 305m için pist yüzeyi %7 arttırılır.
- Sıcaklık: Sıcaklığa bağlı olarak uçak motorlarının performansı değişmektedir. Bu sebeple sıcak bölgelerde pistler aynı tasarım uçağı için daha uzundur. Her 1°C'lik fark için %1 oranında pist uzunluğu arttırılır.
- Yüzeyin Durumu: Su, buz, benzeri bulunan yüzeyler pist uzunluğunun artmasına sebep olur.

- Rüzgâr: Rüzgârın istatistiksel olarak esme yön ve şiddetine bağlı olarak pist uzunluğu değişir.

Pist uzunluğunun belirlenmesi için kritik olarak tanımlanan uçağın boş ağırlığı bulunur. Bu uçağın boş ağırlığına ticari yük ve yakıt, yedek yakıt miktarları ilave edilerek iniş ağırlığı tespit edilir. İniş ağırlığı maksimum iniş ağırlığını geçmemesi gerekmektedir. Aynı şekilde uçağın kalkış ağırlığı da tespit edilir. Bu ağırlık maksimum kalkış ağırlığını geçmemesi gerekir. Daha sonra diğer parametreler, sıcaklık, pistin eğimi, rakım, rüzgar belirlenir. Bu parametreler ve uçağın özelliklerine göre pist uzunluğu belirlenir. Daha sonra belirlenen pist uzunluklarının yukarıda belirtilen çeşitli etkenlere göre düzeltilmesi gerekmektedir. [2,3] Örnek olarak standart koşullardaki iniş için pist uzunluğu 2500m, kalkış için 2000m, rakımın 120m, referans sıcaklığın 23°C, standart sıcaklığın 15°C ve pist eğiminin %0.7 olan pistin düzeltilmiş pist uzunluğu:

Kalkış uzunluğu düzeltmesi:

$$\text{Rakım: } 2000 \times 0.07 \times 120 / 300 + 2000 = 2056 \text{m}$$

$$\text{Sıcaklık: } 2056 \times (22 - 15) \times 1 / 100 + 2056 = 2200 \text{m}$$

$$\text{Eğim: } 2200 \times 0.7 \times 0.1 + 2200 = 2354 \text{m, düzeltilmiş pist kalkış uzunluğudur.}$$

İniş uzunluğu düzeltmesi:

$$\text{Rakım: } 2500 \times 0.07 \times 120 / 300 + 2500 = 2570 \text{m, düzeltilmiş pist iniş uzunluğudur.}$$

Sonuç olarak $2570 > 2354$ olduğu için 2570m pist uzunluğu olarak kullanılmalıdır.

2.5 Hava Alanlarında Kaplama Kalınlığının Belirlenmesi

Uçakların karakteristik özellikleri kaplamaların uçağı taşıyabilirliğini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca kaplamanın sınıfı da kaplama kalınlığını değiştirmektedir.

Kaplama kalınlığının belirlenmesinde belirleyici olan faktörler aşağıdaki gibidir:

1. Uçağın iniş takımı tipine ve geometrisine,

Lastiklerin adedi ve yerleşimi, uçak ağırlığının ön ve ana iniş takımlarına dağılma yüzdesini ve kaplamanın uçak yüklerine karşı gösterdiği reaksiyonu belirler.

2. Trafik yüküne,

Kaplamalar, uçakların maksimum kalkış ağırlıklarına göre hesaplanmalıdır. Kaplama tasarımında uçağın brüt ağırlığının %95'inin ana iniş takımlarının, %5' inin ise ön iniş takımlarının taşıdığı kabul edilir.

3. Lastik basınçlarına,

Lastik basınçları, uçağın brüt ağırlığına ve iniş takımlarına bağılı olarak değişir.

4. Trafik hacmine,

Hava alanını kullanması beklenen uçak tiplerinin ve yıllık kalkış sayılarının tahmini kaplama kalınlığının belirlenmesinde etkindir.

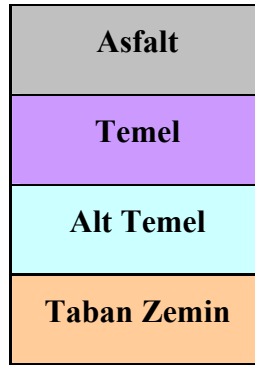
Hava alanlarındaki kaplamaları, her türlü hava koşulunda düzgün, güvenli bir yüzey sağlamak ve gelen yükleri herhangi bir deformasyona sebep vermeden düzgün bir şekilde dağıtabilmek üzere inşa edilirler. Yüzeysel suyun alt tabakalara inmesini önlemek, yüklerin oluşturduğu kesme kuvvetlerini kaplamanın bölümlerinin temel görevleridir. Hava alanı kaplamaları Esnek ve Rijit Kaplama olmak üzere iki temel başlık altında incelenebilir.

Rijit kaplama: Rijit kaplamalarda suyun yüzeysel suyun geçişini önleyen ve yükleri karşılayan tabaka Beton kaplamadır. Alt temel tabakası, beton tabakaya destek sağlamakta ve drenajı temin etmektedir. Minimum alt temel tabakası 10cm kalınlığında olmalıdır. Şekil 2.4 şematik rijit kaplama kesitlerinin gösterimidir.[1,3]



Şekil 2.3 Rijit kaplama kesiti.[1]

Esnek kaplama: Esnek kaplamalar genel olarak birden fazla granüler tabakadan oluşmaktadır. Bu tip kaplamalarda sırası ile bitümlü yüzey tabakası, granüler malzemelerden oluşan temel ve altında alt temel tabakası ve doğal zeminden oluşmaktadır. Yüzey kaplaması yani bitümlü granüler tabaka suyun alt tabakalara geçmesini önlemek, oluşan kesme kuvvetlerine karşı koymak amacı ile inşa edilir. Temel tabakası lastik yüklerini alt tabakalara dağıtan asıl taşıyıcı tabakadır. Alt temel tabakası ise temel tabakasına destek olmak ve drenaja olanak sağlamak amacıyla inşa edilir. Şekil 2.4 şematik esnek kaplama kesitlerinin gösterimidir.



Şekil 2.4 Esnek kaplama kesiti.[1]

2.5.1 Tasarım uçağını belirleme

Kaplama kalınlığının belirlenmesi için ilk olarak tasarım uçağı belirlenmelidir. Trafik hacmi tahmini listesinde bulunan en ağır uçak, tasarım uçağı olmayabilir. Tasarım uçağını belirlemede ki amaç en fazla kalınlığı gerektiren uçağı belirlemektir. Bu sebepten tüm uçak tipleri için kaplama kalınlıkları belirlenir. Bütün uçakların iniş takımı tasarım uçağının iniş takımlarına dönüştürülür. Tablo 2.13 iniş takımları dönüşüm katsayılarını göstermektedir. Aynı şekilde tüm uçakların kalkış sayıları

çarpanları ile toplam yıllık trafik hesaplanır. Bu katsayılar esnek ve rijit kaplamalar için aynıdır.

Tablo 2.13 İniş takımları dönüşüm katsayılarını göstermektedir.[1]

İniş Takımı Tipi	Dönüşüm İniş Takımı Tipi	Kalkış Sayıları Çarpanı
Tek lastik	Çift lastik	0,8
Tek lastik	Çift tandem	0,5
Çift lastik	Çift tandem	0,6
İkili çift tandem	Çift tandem	1,0
Çift tandem	Tek lastik	2,0
Çift tandem	Çift lastik	1,7
Çift lastik	Tek lastik	1,3
İkili çift tandem	Çift tandem	1,7

Daha sonraki aşama aşağıdaki denklem ile tasarım uçağının eşdeğer yıllık kalkış sayısı bulunur. Uçak ağırlığının %95 inin ana iniş takımlarınca %5 inin ön iniş takımlarınca taşındığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır.

$$\log R_1 = R_2 \times (W_2 / W_1)^{0,5} \quad (2.1)$$

R_1 = Tasarım uçağı eşdeğer yıllık kalkış sayısı

R_2 = Tasarım uçağı iniş takımı cinsinden yıllık kalkış sayısı

W_1 = Uçağın lastik yükü

Geniş gövdeli uçaklar çeşitli iniş takımlarına sahip oldukları için lastik yükleri genel bir kabul ile 136 ton ve çift tandem olarak hesaplarda dikkate alınır.

Kaplama kalınlığını aşağıdaki parametreler ile belirlenmektedir;

i) Belirlenen tasarım uçağının özellikleri

- İniş takımı tipi
 - Uçağın maksimum kalkış ağırlığı
- ii) Yıllık kalkış sayısı
- iii) Betonun eğilme dayanımı
- iv) Doğal zeminin yatak katsayısı

Hava alanı uçak trafik listesinde verilen çeşitli uçaklar için hazırlanmış tasarım eğrileri yarımı ile tüm uçaklar için kaplama kalınlığı tayin edilir.

En kalın kaplama gerektirecek uçak, tasarım uçağı olarak kabul edilir. Diğer tüm uçakların iniş takımları belirlenen tasarım uçağının iniş takımlarına yukarıda verilen tablolar yardımı ile dönüştürülür.

Aynı şekilde tüm uçaklar için eşdeğer yıllık kalkış sayıları belirlenir. Tüm uçakların eşdeğer kalkış sayılarının toplamı bulunur.

Sonuç olarak en kalın kaplama kalınlığı gerektirecek uçağın maksimum kalkış ağırlığı, iniş takımı tipi, lastik yükü ve trafik listesindeki tüm uçakların yıllık kalkış sayılarının dönüştürülmüş toplamına göre kaplama kalınlığı tasalanır.

Genel olarak kaplama kalınlığının boyutlandırılması esnek ve rijit kaplamalarda CBR yöntemi ve Westergaard Gerilme Analizi ile yapılmaktadır.[1,3]

3. GEOSENTETİKLER

Tarihsel olarak, teknolojideki gelişmelere paralel, inşaat mühendisliği de gelişmiştir. Daha geniş ve özellikli yapılar, ahşaptan taşa, taştan betona, betondan betonarmeye, betonarmeden, ön gergili betonarmeye geçilerek geliştirilmiştir. Çeliğin inşaatlarda kullanımı geliştikçe, daha uzun köprüler ve daha yüksek bina yapımını mümkün kılmıştır. Geoteknik mühendisliğindeki malzemeler toprak ve kaya olduğu için aynı paralellikte bir gelişme geoteknik mühendisliğinde olmamıştır. İnşaat ekipmanlarındaki teknolojik gelişmeler sıkılaştırma veya diğer zemin iyileştirme tekniklerini geliştirmiştir. Muhtemelen paralel gelişmeye en iyi örnek zemin güçlendirmesidir. Betonarme ile benzerliği, çekme dayanımı olan çelik gibi polimerik malzemeler, çekme dayanımı olmayan zeminlere bu özelliği verirler.[7,8]

Polimerik donatı malzemelerine genel olarak “Geosentetik” malzemeler denilmektedir. Geosentetik malzemeler, inşaat mühendisliğinde zemin iyileştirmesinde (geo) kullanılan polimerik (sentetik) malzemelerdir. 1970 senesinde dünyada 5 veya 6 çeşit Geosentetik var iken günümüzde 600 den fazla Geosentetik çeşidi bulunmaktadır. Günümüzde dünya genelinde $1 \times 10^9 \text{m}^2$ nin üzerinde Geosentetik kullanıldığı bilinmektedir. Alt yapı inşaatlarında geosentetik kullanılan iamlatların toplam maliyeti, bu iamlatta kullanılan geosentetik malzeme maliyetin 4 veya 5 katı olmasına rağmen gerçekte bu malzemelerin çeşitli durumlarda çok büyük etkisi ve faydası olduğu görülmektedir. Geosentetik kullanımı ile genel olarak güvenlik kriteri ve performansı artmaktadır ve klasik dizaynlara göre maliyeti daha düşük olmaktadır.

Yüzyılın başında geosentetiklerin hammaddesi olan sentetik fiber, ilk olarak PVC (Polivinilklorür) den imal edilmiştir. 1934 yılından itibaren ticari olarak üretimine başlanılan geosentetikler, ilk olarak 1930 yılında ABD’de naylon hammaddesi olan sentetik fiber üretilirken 1954 yılında İtalya’da polipropilen fiber üretilmiştir. 1960 ların ortasından itibaren örgüsüz dokumalar fabrikasyon olarak üretilmeye başlanmıştır. 1958 de ABD’de ilk olarak zemin ve riprap taşlarının altında esnek

örgülü dokumalar kullanılmıştır. Bilinen ilk geosentetik uygulaması olan Florida'da sahil erozyonunun kontrolü için kullanılan dokumaların hala işlevine devam ettiği bilinmektedir. 1957 yılında Hollanda'da naylon örgülü dokumalardan kum torbaları üretilerek, bu bölgede yaşanan sel felaketlerinin önlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için on milyon metrekarenin üzerinde geotekstil kullanılmıştır. 1966'da ABD'de otoyol inşaatlarında asfalt üzerine örgüsüz dokumalar serildi. Bu olaydan 6 sene önce Fransa'da iğneleme yoluyla üretilmiş örgüsüz dokumaların farklı uygulamaları yapılmış, kaplamasız yolların güçlendirilmesinde, demiryollarında ballast altında, toprak dolgu barajlarda ve istinat duvarlarında geosentetikler kullanılmıştır. Kayda değer geosentetik satışları 1970'li yıllarda olamaya başlamıştır. 1984 senesinde dünyada yüzbinden fazla projede üçyüz milyon metrekare geosentetik kullanılmıştır. 1990 larda tüm dünyada ikiyüzden fazla geosentetik çeşiti ile 1990'da bir milyar metrekare uygulanmıştır.

Günümüzde mühendisler sürekli olarak altyapı hizmetlerini kısıtlı kaynaklarla geliştirmek ve sağlamak zorunda kalmaktadır. Geleneksel tasarımlar tatmin edici imalatlar için yüksek kaliteli malzemeler gerektirmektedir. Dünyanın birçok bölgesinde yüksek kaliteli malzeme kaynakları kısıtlıdır. Mühendislik, bu durumuma bağlı olarak ticari maliyeti düşük yardımcı malzemeler kullanımına gitmektedirler. Gelişen teknoloji, ticari maliyeti düşük geosentetik malzemelerin inşaat alt yapılarında kullanımının yaygınlaşmasına yol açmıştır. Geosentetik terimi geomembran, geotekstil, geogrid, geonet, geokompozit ve inşaat mühendisliğinde kullanılan benzeri ürünleri kapsamaktadır. Üretim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler ve farklı teknikler ile yapılan üretimler, bu ürünlerin farklı isimlendirilmelerine sebep olmaktadır.

Geosentetikler polimerlerden oluşan çok geniş bir ürün yelpazesine sahiptirler ve geoteknik projelerini geliştirmek üzere dizayn edilmişlerdir.

3.1 Geosentetiklerin Sınıflandırılması

Geosentetik malzemeleri,

- a. Geotekstil
- b. Geogrid

- c. Geomembran
- d. Geokomposit
- e. Geonet

olarak sınıflandırabiliriz. Bunların her biri farklı özelliklere sahip olduğundan dolayı farklı amaçlar için farklı kullanım yerleri vardır.

Polipropilen, polietilen, poliester, poliamid (naylon) ve polivinil klorid gibi sentetik maddelerden imal edildiklerinden ve zemin için kullanıldıklarından dolayı genel anlamda geosentetik malzemeler olarak adlandırılır.

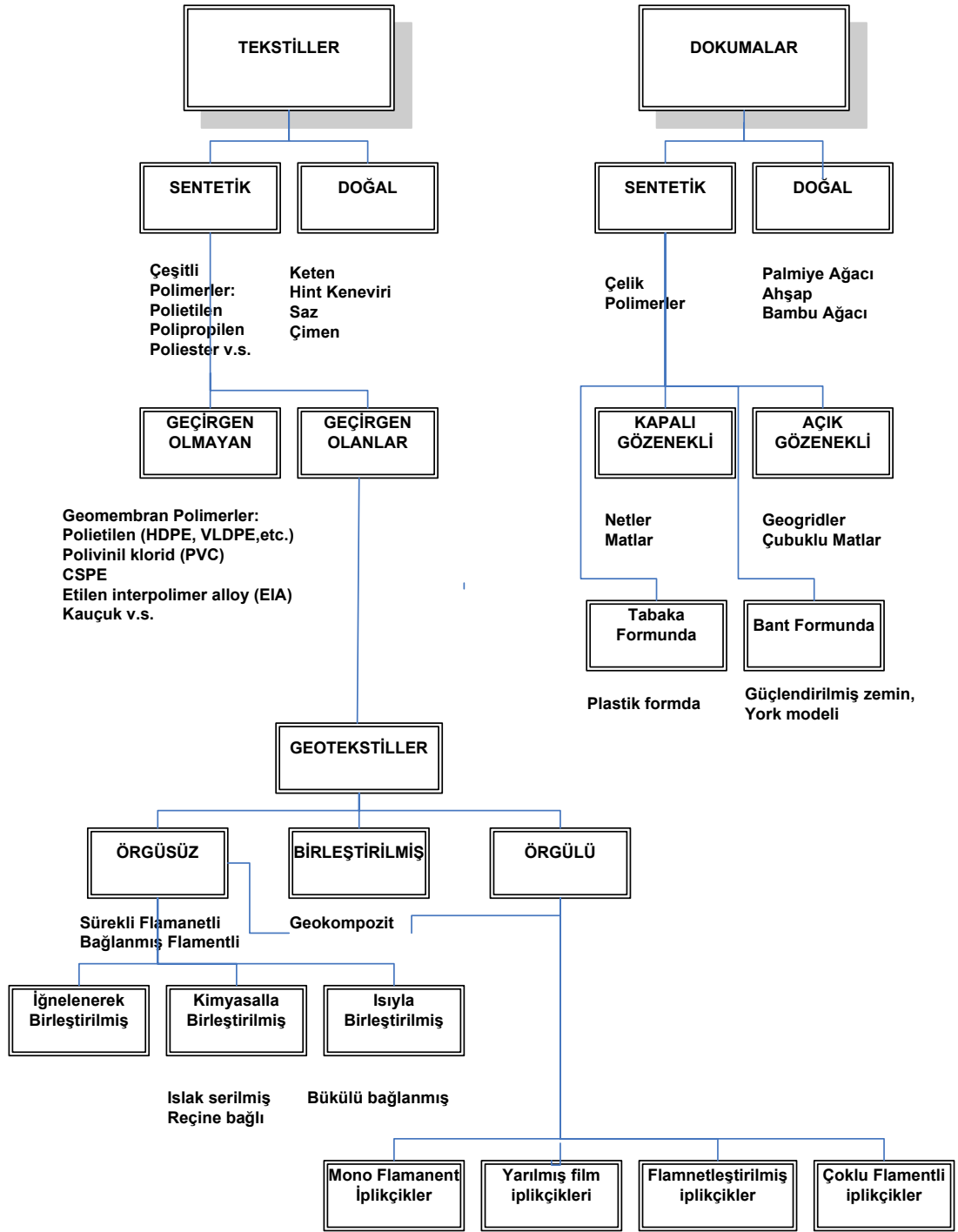
3.2 Geosentetiklerin Genel Kullanım Amaçları

Genel kullanım amaçlarını,

- i. Filtrasyon Geotekstiller
- ii. Drenaj Geonet Geokompozit
- iii. Donatı (Güçlendirme) Geogrid Geotekstil
- iv. Ayırma (Separasyon) Geotekstiller
- v. İzolasyon (Yalıtım) Geomembran
- vi. Koruma (Geotekstil)

olarak ayırabiliriz.[10]

Şekil 3.1 Geosentetiklerin genel dağılım şemasını göstermektedir. Bu şemadan da anlaşılacağı gibi geosentetikler birçok şekilde ve değişik maddelerden elde edilebilmektedir.



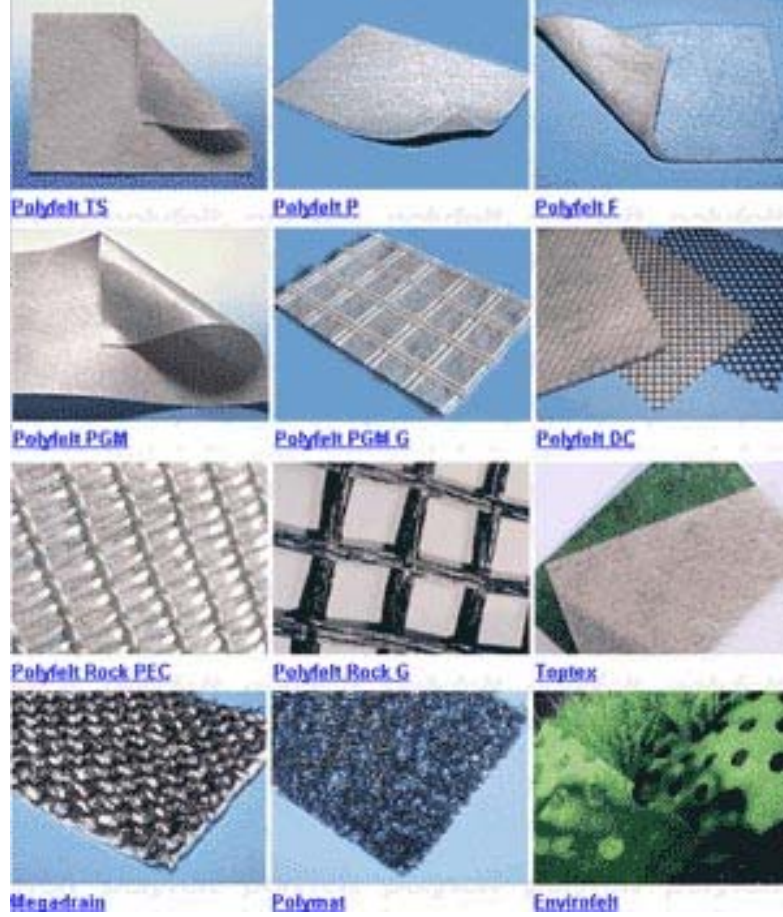
Şekil 3.1 Geosentetiklerin genel dağılım şeması.[10]

3.3 Geosentetik Malzeme Özellikleri ve Yapısı

Geosentetikler başlıca beş çeşit hammaddeden oluşurlar. Bu polimerler

- Poliamid (PA)
- Poliester (PET)

- Polietilen (PE)
- Polivinilklorid (PVC)
- Polipropilen (PP) dir.



Şekil 3.2 Geosentetik hammaddeleri.

- Poliester (PET) (geotekstil, geogrid)
- Polietilen (PE) (geotekstil, geomembran, geogrid, geonet, geokompozit)
- Polivinilklorid (PVC) (geomembran, geokompozit)
- Polipropilen (PP) (geotekstil, geomembran, geogrid, geonet, geokompozit)

Bu polimerler fabrikasyon işlemleri sırasında sürekli lifler (flamentler), 50 – 150 mm boylarında kesilmiş kısa lifler ve değişik boyutlarda kesilmiş film (bant) parçacıkları şekillerine getirilirler. Fiber (flament), bükülebilirliğe ve inceliğe sahip, yüksek boy/kalınlık oranına sahip malzemelerdir. Lifler haline getirilmiş malzemeler çeşitli yöntemler ile birleştirilerek geosentetikler oluşturulur. Tablo 3.1 de geosentetiklerin hammaddesini oluşturan polimerlerin fiziksel özellikleri belirtilmiştir. Bu

hammadelerle üretilen geosentetikler, Tablo 3.1 deki karakteristik özellikleri kazanırlar.[4]

Tablo 3.1 Polimerlerin bazı fiziksel özellikleri

Polimer Tipi	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Kopmada Deformasyon Yüzdesi
PET	1380	800-1200	12000-18000	8-15
PP	900	400-600	2000-5000	10-40
LPDE	920	80-250	200-1200	20-80
HDPE	950	350-600	600-6000	10-45
PA	1140	700-900	3000-4000	15-30
PVC	1250	20-50	10-100	50-150

Polipropilen (PP)

Geotekstil imalatında en yaygın ve fazla olarak kullanılan hammaddedir. Kimyasal direnci çok yüksektir. Organik asitlere karşı dirençleri yüksektir. Erime sıcaklıkları 165°C dir. Güneş ışınlarından etkilenir. Yük karşısında zamanla deformasyonu fazladır. Sünme mukavemeti düşüktür.

Polietilen (PE)

Geotekstil üretiminde LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) ve HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) olmak üzere iki tip polietilen kullanılmaktadır.

LDPE den üretilen geotekstilller bükülme özelliği istenilen durumlarda kullanılır. HDPE geotekstilleri, LDPE geotekstillere göre daha sert ve daha dayanıklıdır. Çeşitli katkı malzemeleri ile özellikleri geliştirilebilir. Organik maddeleriden çabuk etkilenir. Yorulma mukavemeti yüksektir. Sünme mukavemeti PP gibi düşüktür.

Poliester (PEPT)

Geotekstil üretiminde çok fazla kullanılmayan poliester, güneş ışınlarına karşı dayanıklıdır. Doğal maddelere karşı dirençlidir. PH değeri 11 den büyük olan alkali maddelere karşı hassastır, asiteler karşı dayanıklıdır. Yorulma ve sünme mukavemeti yüksektir.

Poliamid (PA)

Geotekstil üretiminde hammadde olarak en az kullanılan poliamid, güneş ışınlarına karşı dayanıklıdır. Sulu ortamlardan etkilenir ve sünme ve benzeri mekanik özellikleri zayıflar. Geotekstil üretiminde PA6 ve PA6,6 kullanılır. Isı ve ışıktan etkilenmemelerini sağlamak amacıyla, geotekstil üretiminde katkı maddeler kullanılabilir.

Tablo 3.2 Geosentetiklerin hammaddelerine göre özellikleri

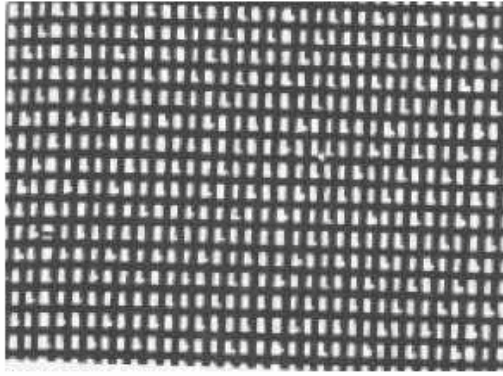
POLYMER	PP	PE	PPET	PA
Birim Ağırlık	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta
Çekme	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta
Elastisite	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta
Kopmada	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta
Maliyet	Düşük	Düşük	Yüksek	Orta
Sünme	Yüksek	Yüksek	Düşük	Orta
U.V. Işığı	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Orta
Alkali	Yüksek	Yüksek	Düşük	Yüksek
Organik	Orta	Yüksek	Orta	Orta

Kullanım amacı ve kullanılacakları ortama göre geosentetikler seçilmelidir. Tablo 3.2 de geosentetiklerin üretildikleri hammaddelere göre sahip olacakları fiziksel özelliklerden bazıları genel olarak belirtilmiştir. Örnek olarak dış ortamda kullanılacak bir geosentetik seçilirken PA dan imal edilmiş olan tipi seçilmemelidir veya donatı olarak kullanılmak isteniyorsa PP veya PE den imala edilen geosentetikler uygun değildir.

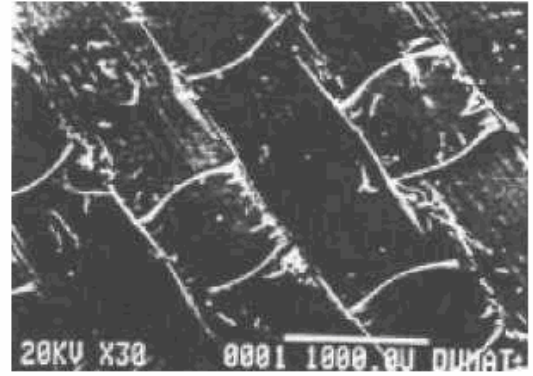
3.4 Geosentetiklerin Üretim Metodlarına Göre Sınıflandırılması

Geotekstiller, geosentetiklerin en çok kullanılanı ve en fazla kullanım alanına sahip sınıfıdır. Geotekstiller için genel olarak iki çeşit üretim tekniği uygulanır. Bu üretim şekillerine göre örgülü ve örgüsüz olarak üzere geotekstilleri ikiye ayırabiliriz. Şekil 3.3 de örgülü ve örgüsüz geotekstil tiplerinin fotoğrafları gözükmemektedir.

- Örgülü (woven)
- Örgüsüz (nonwoven)



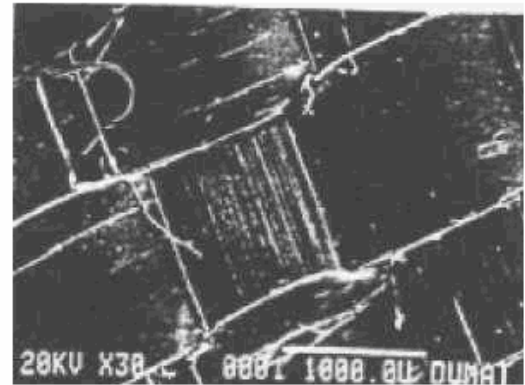
Tek Filamentli Örgülü



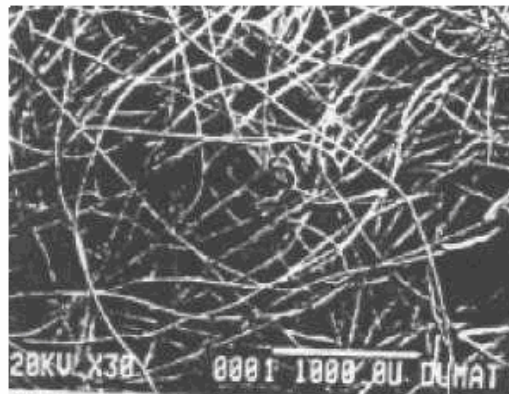
Şerit Tipli Örgülü



Çok Filamentli Örgülü



Geniş Şerit Tipli Örgülü



Mekanik Tip Örgüsüz

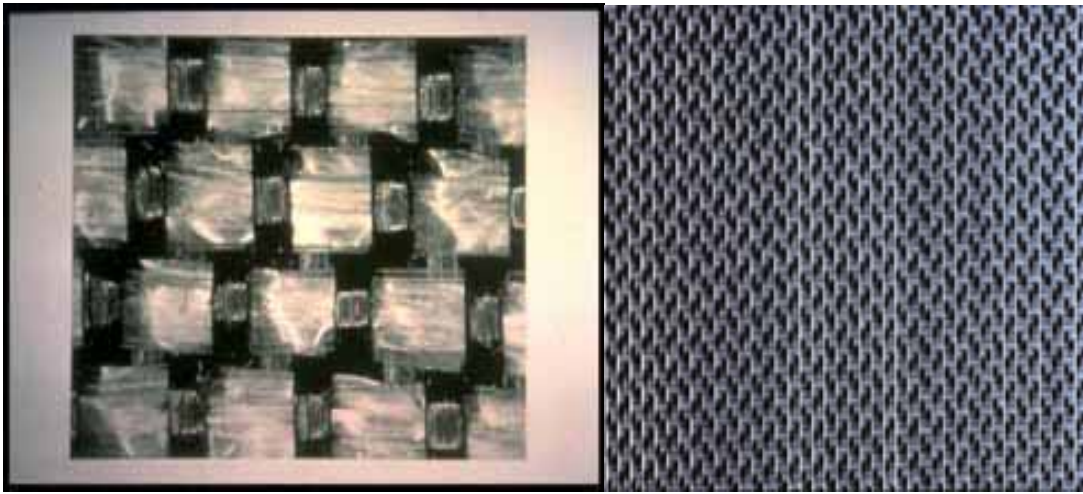


Isıl Tip Örgüsüz

Şekil 3.3 Örgülü-örgüsüz geotekstil örnekleri

3.4.1 Örgülü geotekstiller

Bu tip geotekstiller, kalın veya birbirlerine paralel ince liflerden oluşan bir lif demetinin; çapraz veya dik bir şekilde diğer lif veya lif demetleri ile ağ şeklinde örülmesi ve birleştirilmesi ile oluşur. Şekil 3.4 te örgülü geotekstillere tipik iki örnek gösterilmiştir. Örgülü geotekstilleri tek filamentli, çok filamentli, şerit, kesikli film şeklinde ayırabiliriz. Örgülü geotekstillerin çekme mukavemeti yüksektir. Her iki yönde ipliklerden oluştuğu için bu ipliklerin sürtünme ve sarılma nedeni ile diagonal mukavemete sahiptirler. Kullanılan ipliğin özelliğine göre fiziksel özellikleri değişiklik gösterir.

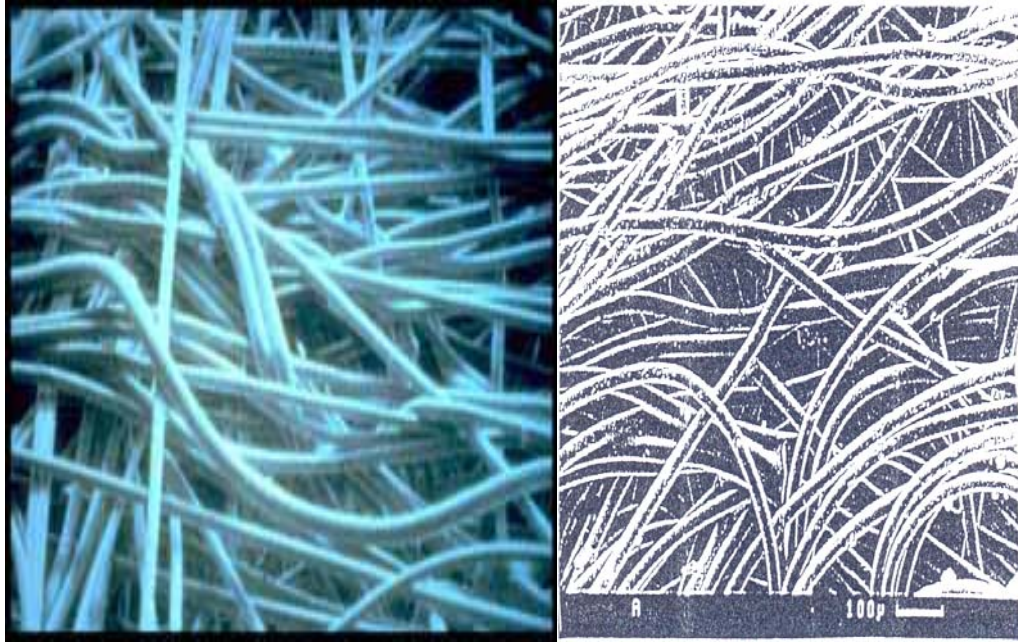


Şekil 3.4 Örgülü geotekstiller

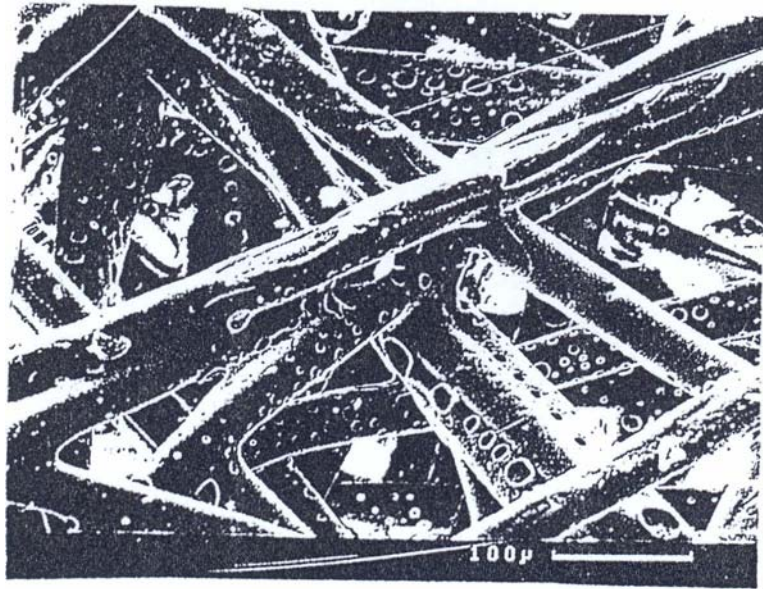
3.4.2 Örgüsüz Geotekstiller

Bu geotekstiller iplik haline dönüştürülmemiş, değişik yöntemlerle birbirlerine tutturulmuş, doğal veya sentetik, kesikli yada sonsuz uzunluktaki elyaflardan meydana getirilirler. Örgülü tip geotekstiller, kullanılan malzemeler bakımından üç ayrı şekilde incelenir. Kalın ve tek ipliklerden oluşan monofilament örgüler, ince liflerin birleşiminden oluşan multifilament örgüler ve uzun filmlerin şerit şeklinde kesilmesi ile oluşan film örgülerdir. Şekil 3.7 monofilament, multifilament ve film örgülerden oluşan geotekstilleri göstermektedir. Mekanik, kimyasal yada fiziksel yöntemlerle geliş güzel veya tek yönlü dizilerek birbirlerine tutturulurlar. Örgüsüz geotekstillerin dokusunun oluşturulması için çeşitli yöntemler uygulanır. Doku oluşturulduktan sonra, bu dokunun sürekli tutulamsı ve daha sonrada son işlemler ile örgüsüz geotekiller üretilir. Kimyasal, ısı veya mekanik işlemler uygulanarak dokuların çekme dayanımları artırılır. Şekil 3.5 te ısı işlemler uygulanarak üretilen,

Şekil 3.6 kimyasal maddeler kullanılarak üretilen geotekstiller gösterilmektedir. Mekanik yöntem yani iğne ile delme yöntemi (needlepunched) yüksek gramajlı doku elde etmek için tercih edilir.

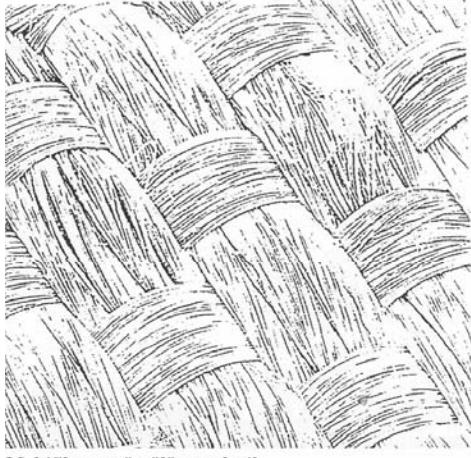


Şekil 3.5 Isıl işlemlerle birleştirilmiş örgüsüz geotekstiller



Şekil 3.6 Farklı yöntemlerle üretilmiş örgüsüz geotekstil

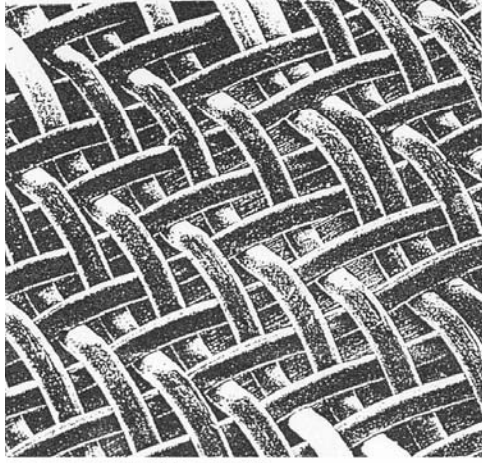
Şekil 3.5 te gelişigüzel şekilde yerleştirilmiş, bağlayıcı olarak yapıştırıcı malzemeler kullanılarak üretilen örgüsüz geotekstil gösterilmektedir.



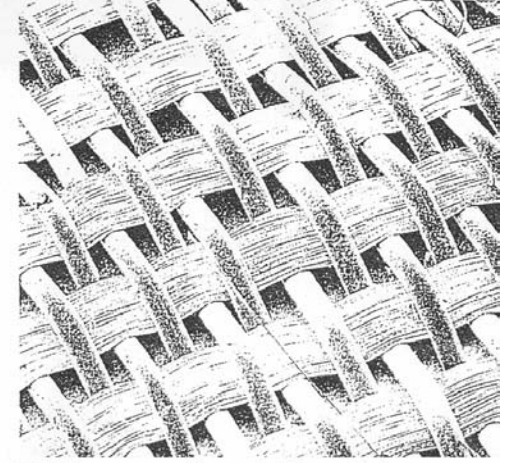
Multifilament örgülü geotekstil



Film örgülü geotekstil



Mono filament örgülü geotekstil



Multifilament-mono filament örgülü geotekstil

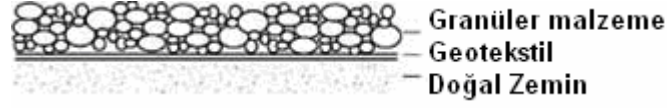
Şekil 3.7 Mono filament, multi filament, film örgülü geotekstiller

3.5 Geosentetiklerin Kullanım Fonksiyonları

Geosentetiklerin başlıca kullanım amaçları beş başlıkta inceleyebiliriz.

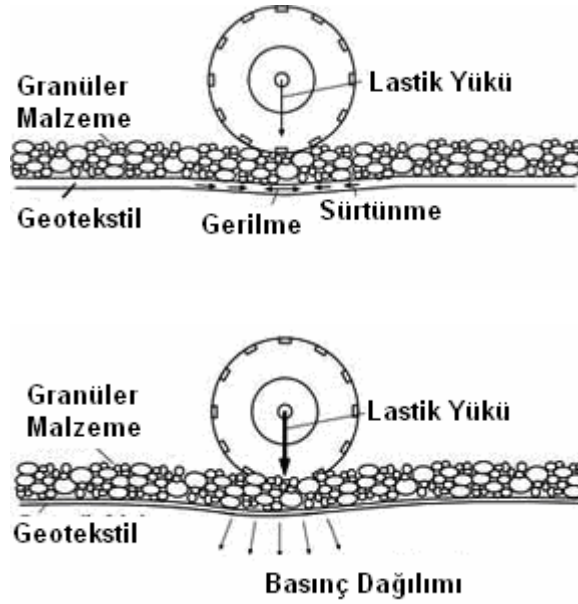
3.5.1 Ayırma (seperasyon)

Bir geosentetik malzeme olan geotekstillerin sık kullanım amaçlarından biridir. Kullanılan malzemenin diğer malzemeler ile karışmasını önlemek amacıyla malzemelerin arasına geotekstil yerleştirilir. Bu şekilde malzemenin karışarak kendi özelliğini kaybetmesi önlenir ve malzeme kaybı önlenmiş olur.

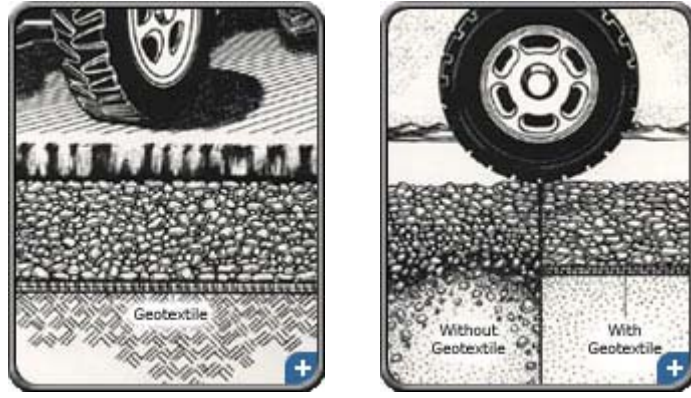


Şekil 3.8 Ayırma amaçlı Geotekstil kullanımı

Ayırma amacı için kullanılacak geotekstillerin ayırmak istenilen malzemelere göre farklı özelliklere sahip olması gerekir. Ayrılması istenilen malzeme keskin hatlara sahip ise ayırma amaçlı kullanılacak geotekstilin delinmeye karşı direncinin yüksek olması gerekir. Ayrıca geotekstilin yeterli uzama özelliği olmalı ve yüksek mukavemete sahip olması gerekir. Su geçişine izin vermelidir. Şekil 3.8 ayırma amaçlı geotekstil kullanımını, Şekil 3.9 ayırma amaçlı geotekstil kullanımının çalışma şeklini göstermektedir. Tekrarlı yükler altında geotekstilin kullanıldığı imalatla hizmet süresi boyunca malzemenin yer değiştirmesi mümkündür. Bu sebeple özellikle tekrarlı yükler altında ayırıcı olarak kullanılması çok faydalıdır. Şekil 3.10 şematik olarak bu durumu göstermektedir. Bu amaçla kullanılmak istenen geotekstillerin uzama oluşmaması için yüksek elastisite modülüne sahip olması gerekmektedir.



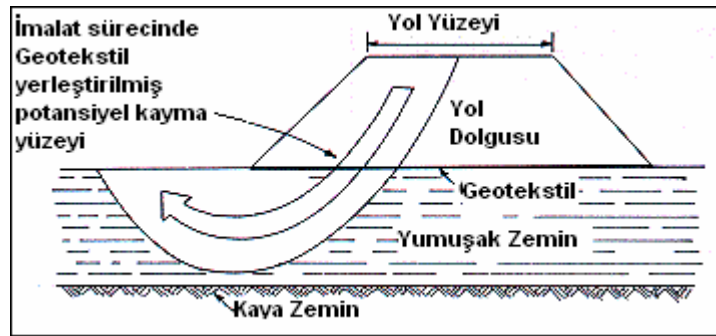
Şekil 3.9 Geotekstil kullanımı ile ayırma fonksiyonunun çalışma şekli



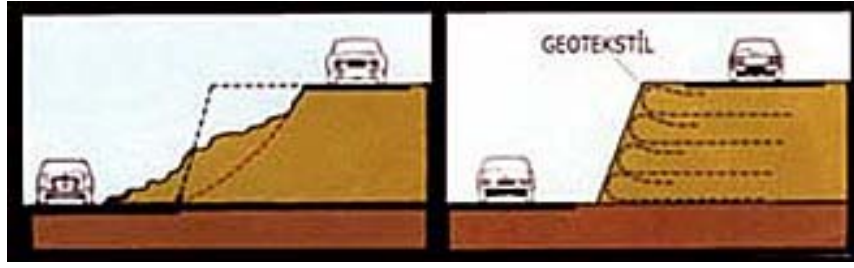
Şekil 3.10 Geotekstilli ve geotekstilsiz durumlardaki yapı davranışı

3.5.2 Donatı (güçlendirme)

Güçlendirme, noktasal yüklerin uniform olarak geniş bir alana yayılması ve oluşan gerilmelerin zemin tarafından karşılanmasına olanak vermesi amacıyla zemin içinde geosentetiklerin kullanılmasıdır. Burada geosentetiklerin sahip oldukları, zeminin tek başına sahip olmadığı gerilme direnci yani çekme mukavemetinden yararlanılır. Bu yöntemle kötü mühendislik özelliğine sahip zeminlerde, kullanılması gereken yüksek kalitedeki malzemeden tasarruf edilir. Güçlendirme amacıyla kullanılacak geosentetiklerde yüksek mukavemet ve maksimum yükte gerekli uzama özelliklerine sahip olması gerekmektedir. Genelde yol imalatlarında ek dayanım sağlamak amacıyla tercih edilmektedir. Şekil 3.11’de, yol dolgusunda geotekstil kullanılarak yapılan güçlendirme gösterilmiştir. Geosentetiklerin kullanımı ile yapılan imalatın inşası sırasında ve daha sonra trafik yükleri altında daha uzun süre dayanması sağlanmaktadır.



Şekil 3.11 Dolguda uygulanan geotekstilin çalışma mekanizması gösterimi



Şekil 3.12 Geotekstil kullanılarak yapılan duvar imalatı



Şekil 3.13 Yol dolgusunda geotekstil ve geogrid uygulaması

Dolgularda donatı (güçlendirme) amaçlı olarak Geotekstil veya Geogrid malzemeler kullanılmaktadır. Şekil 3.12 donatı olarak geotekstil kullanılarak oluşturulan duvar imalatı gösterilmiştir. Şekil 3.13 de geotekstillere ve geogridlere kullanılarak yapılan yol dolgusu güçlendirme uygulaması gösterilmektedir. Geogridlerin malzeme özellikleri, geotekstillere göre donatı olarak granüler dolgularda kullanımı daha iyi sonuçlar vermektedir.

3.5.3 Filtrasyon

Filtrasyon ile sağlanmak istenen; suyun geçişine izin verilmesi fakat zemin parçacıklarının geçişinin önlenmesidir. Bir geosentetik malzeme olan geotekstillere filtrasyon amacı ile genellikle kullanılmaktadır. Geotekstil malzemeler geçirimli oldukları için buna olanak sağlarlar. Doğal şartlara karşı dayanıklı olan geotekstillerin kullanımıyla daha hızlı ve daha uzun ömürlü ekonomik filtrasyon ve drenaj çözümlerine ulaşılmaktadır. Geotekstillere filtrasyon amaçlı kullanılabilmesi, zemin danelerinin geçmemesi için gözeneklerinin yeteri kadar küçük olması, su geçişine engel olamayacak kadar geniş olmasını gerektirir. Şekil 3.14'te filtrasyon amaçlı geotekstil kullanımı gösterilmiştir. Su ile birlikte geçen ince danelerin

geotekstillerin deliklerini tıkamaması gerekir. Seçilecek geotekstilller aşağıdaki kritere uygun olmalıdır:[11]

$$Q_{max} < A \cdot D_n \quad (3.1)$$

Q_{max} = Geotekstilin en büyük açıklığı.

A= Hidrolik koşullar ve geotekstillere bağlı korelasyon faktörü.

D_n = dane dağılımından D_{85}

Sürekli sabit akım şartı;

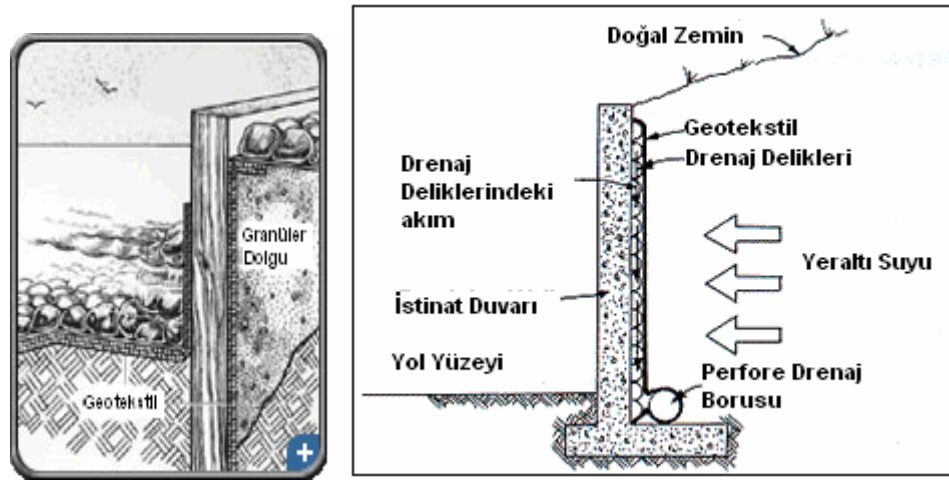
$$Q_{max} < 2 \cdot D_{85} \quad (3.2)$$



Şekil 3.14 Filtrasyon için Geotekstil kullanımı

3.5.4 Drenaj

Drenaj, istenmeyen suyun veya sıvının uzaklaştırılmasıdır. Bir geosentetik malzeme olan geotekstilller genel olarak drenaj için kullanılmaktadır. Geotekstillerin yardımıyla, geotekstillerin yüzeyinden fazla olan su veya sıvı akıtılarak uzaklaştırılır. Buda geotekstillerin geçirgenlik özelliği kullanılır. Gözenekli yapısıyla eğim verildiği zaman su akımı geotekstil üzerinden sağlanmaktadır. Tünel, düşey dren, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi suyun tahliye edilmesi gereken yapılarda kullanılabilir. Şekil 3.15 drenaj amacıyla istinat yapılarında geotekstil kullanımı şeklini göstermektedir. Geotekstillerin drenaj amaçlı kullanıldığı diğer bir amaçta katı atıkların depolanmasıdır. Depolanan katı atıklardan geomembranların altında sızan suları toplamak amacıyla geotekstilller kullanılır.

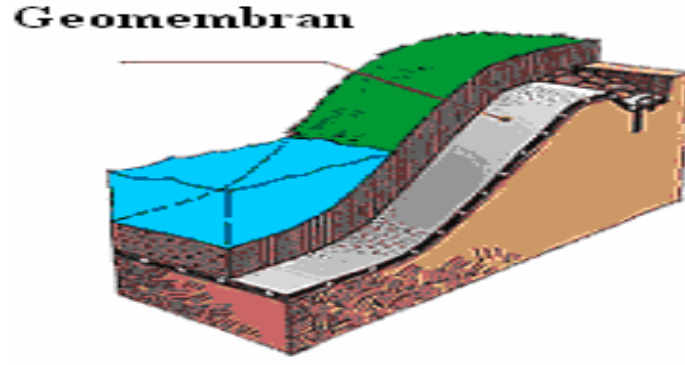


Şekil 3.15 Drenaj için geotekstil kullanımı

Drenaj amaçlı kullanılan geotekstiller düzlemlerinde yüksek geçirgenliğe sahip olmalıdırlar, basınca karşı dayanıklı ve filtre özelliği iyi olmalıdır. İnce olan bu malzemelerin korunmasını sağlamak amacıyla drenaj uygulamaları için kompozit malzemeler tercih edilmelidir.

3.5.5 Yalıtım

Geosentetiğin düzlemi boyunca sıvı geçişini engellemesi genel olarak yalıtım fonksiyonu olarak nitelendirilir. En geniş kullanım alanları su depoları veya hazneleri, havuzlar, deponiler vs.. yalıtım uygulaması bir geosentetik olan Geomembranlar ile yapılmaktadır. Geomembranların kullanıldığı yalıtım amaçlı imalatlarda, amaç istenmeyen sıvı atığın geçişini tamamen engelleyerek izole edilmesini sağlamaktır. Bu malzemenin en önemli kullanım alanlarından biri olan atık depolama alanlarındaki kullanımıdır. Geomembran kullanılarak atık malzemenin sızarak alt doğal zemine ulaşması ve kirletmesi engellenmektedir. Şekil 3.15 geomembran kullanımını, Şekil 3.16 bir katı atık depolama sahasının inşasında geomembran uygulamasını görmektedir. Geomembranlar uygulanırken doğal veya uygulama esnasındaki etkilerle oluşan deformasyonları önlemek amacıyla geotekstiller ile birlikte kullanımı yaygındır.



Şekil 3.16 Geomembran kullanım şekli şematik gösterimi

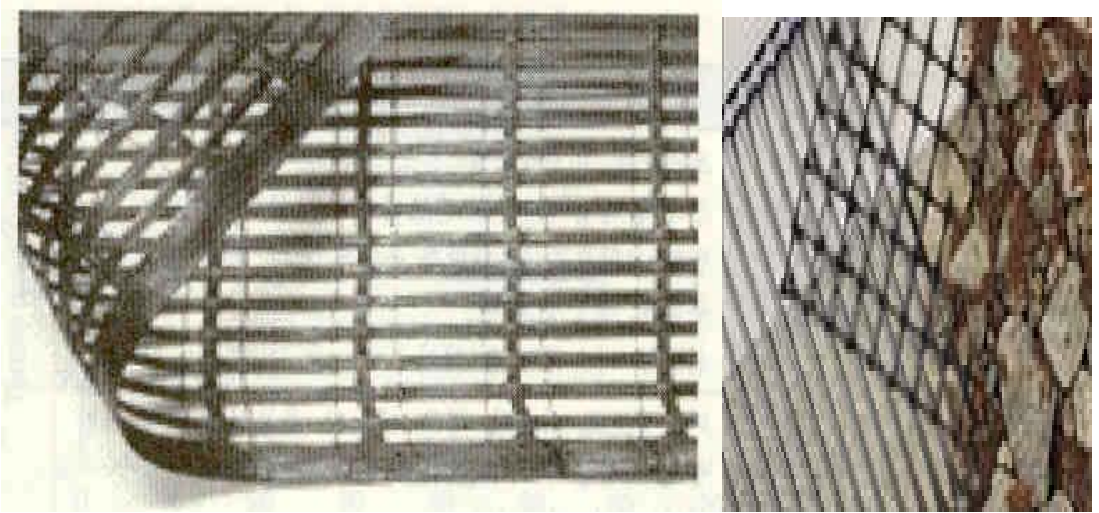


Şekil 3.17 Geomembran uygulaması

3.6 Havaalanı Dolguların Güçlendirilmesinde Geogrid Kullanımı

Geosentetiklerin bir türü olan geogridler son zamanlarda yol inşaatlarında artan bir kabul görmeye başlamıştır. Geniş araştırma programları U.S. silahlı kuvvetleri tarafından yürütülmüştür. Askeri ve sivil kurumlar geogridin yol yapılarında kullanımını geliştirecek dizaynlarda çalışmışlardır. Geogridler, bir geosentetik malzeme olarak, birbirine paralel bağlanmış gerilebilir bağlardan, zemin, kaya v.s. parçalarının içinden geçmesi için yeterli büyüklükteki deliklerden oluşurlar[10]. Günümüzdeki mevcut geogridler, uzatılmış (çekip delme yöntemiyle) geogridler, örgülü geogridler, kaynaklanmış geogridler ve geogrid kompozit malzemelerden

oluşur. Çekip delme yöntemiyle hazırlanan geogridler, iki veya tek yönde çekilen polimer tabakalarının belli aralık ve noktalardan delme yöntemiyle oluşturulur. Örme geogridler, polipropilen ve polyester fiberlerin dokunmasıyla oluşur. Kaynaklanmış geogridler, çekme ile uzatılarak gerdirilen geogridlerin kesişme noktalarında kaynaklanarak tutturulan geogridlerdir. Geogrid kompozitler, başka ürünlerle birleştirilmesiyle oluşur. Çekme yöntemiyle oluşturulan geogridler, yol yapılarındaki uygulamalarda diğer iki tip geogride göre daha iyi performans gösterirler.[12]. Çekme delme yöntemiyle oluşturulmuş geogridler üretimlerine bağlı olarak değişik iki sınıfa, tek yönlü ve çift yönlü olarak ayrılabilir. Tek yönlü ön germe uygulanarak üretilmiş geogridler, tek yönlü olarak adlandırılır ve genel olarak zemin güçlendirmede veya istinat yapılarında donatı olarak kullanılır. Çift yönlü öngerme uygulanarak üretilen geogridler, çift yönlü olarak adlandırılır ve genel olarak yükün nereden geleceği belli olmayan yol yapılarında kullanılır. Şekil 3.18 tek ve çift yönlü geogrid örneklerini göstermektedir. Hemen hemen bütün geogridler polimerlerden üretilmiştir fakat bir kısmı fiber, cam ve metal şeritlerden de üretilir.



Şekil 3.18 Sol resim tek yönlü, sağ resim çift yönlü geogrid örneği

Yol yapılarında kullanılan geogridlerin temel olarak iki görevleri vardır; donatı ve ayırma. Geniş gözenekleri dolayısıyla geogridler yakın özellikteki malzemelerin ayırmasında kullanılmazlar. Bu sebeple ayırma özelliği geogridlerin ikinci öncelikli kullanılan özelliğidir. Geogrid kullanımının birinci amacı zeminin mühendislik özelliklerini arttırdığı güçlendirme, donatı özelliğidir.

Geogrid kullanımı;

- a) Mühendislik özellikleri kötü olan yumuşak zeminler üzerinde uygulanabilir.
- b) İmalatın ömrünü ve servis süresini uzatır.
- c) Belirli servis süresi içinde dizayn kalınlığını düşürür.

Geogridler yumuşak zeminler üzerinde uzun yıllardır başarı ile uygulanabilmektedir. Geogridlerin sıkışma özelliği, dizayn kalınlığının azalmasına, dolayısı ile maliyetlerin azalması sağlanmaktadır. Yapılan birçok araştırmalarda, geogrid kullanılan imalatlar ve kullanılmayan imalatlar arasındaki servis ömrü ve dolgu kalınlıklarının değişimi gösterilmiştir.

Geogridler günümüze kadar 3 değişik yol yapısı uygulamalarında kullanılmıştır.

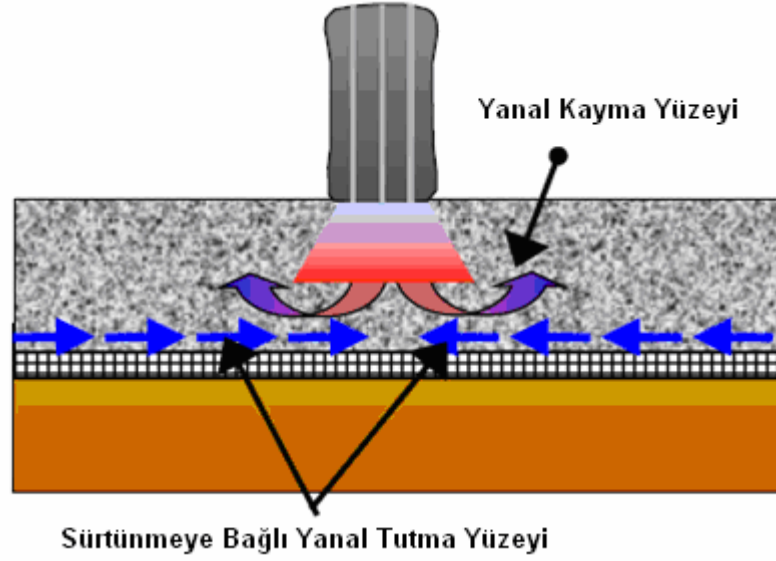
- 1) Mekanik alt temel satbilizasyonu
- 2) Temel stabilizasyonu
- 3) Asfalt beton katmanı güçlendirilmesi

Mekanik temel stabilizasyonları için geogrid maksimum 14 inch kalınlığındaki agrega tabakalarına yerleştirilmelidir. Eğer bir geotekstil ayırma amaçlı kullanılacaksa alt temel tabakası üzerine uygulanmalıdır. Bunun üzerine Geogrid 14 inch kalınlığı aşmadan uygulanmalıdır.

3.6.1 Güçlendirme mekanizması

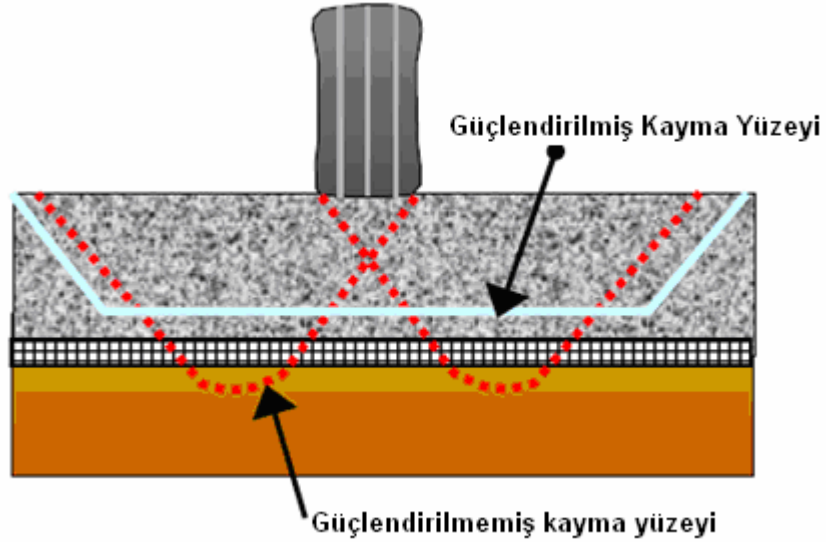
Geogridlerin çalışma sistemi temel olarak 3 ayrı güçlendirme mekanizmasına dayanmaktadır.

- 1) **Yanal tutma:** Geogrid yüzeyindeki granüler malzeme ile oluşan kenetlenme sürtünme kuvveti oluşmasını sağlar. Bu sayede Geogrid üzerindeki granüler malzemenin düzlemsel yönde hareketi engellenmiş olur. Şekil 3.19 de granüler malzemeler ile geogridin yüzeyinde oluşan sürtünmenin şematik gösterimidir.[7]



Şekil 3.19 Yanal tutma mekanizması gösterimi.[7]

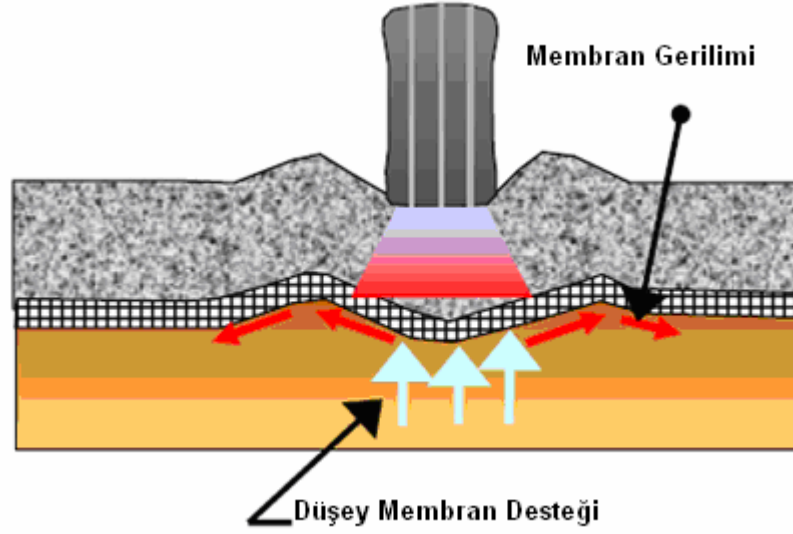
- 2) **Gelişmiş taşıma gücü:** Geogrid kullanılarak çekme dayanımı olmayan zemin malzemelerine dayanım kazandırılır, bu sayede yatay yöndeki yüzey gerilmeleri geogrid tarafından karşılanmış olur. Şekil 3.20’da zemine geogridin çekme dayanımı kazandırmasının şematik gösterimidir.



Şekil 3.20 Taşıma gücü çalışma mekanizması gösterimi.[7]

- 3) **Güçlendirilmiş membran etkisi:** Geogridin gözeneklerinden geçmeyen granüler malzemeler, sıkışmaları sonucu düşey yöndeki gerilmeleri geogrid boyunca yatay doğrultuda aktarırılar. Bu durum gerilmeleri bir membran gibi engellemektedir. Şekil 3.21 geogrid ile granüler malzemeler kenetlenerek bir

membran gibi geçirimsiz tabaka oluşturması ve gerilmeleri yatay düzlemde taşımları şematik olarak gösterilmiştir.



şekil 3.21 Kenetlenerek düşey yönde hareket engelleme mekanizması gösterimi.[7]

3.6.2 Malzeme özellikleri

Birçok çalışma geogridin yol yapılarının güçlendirilmesini geometrik ve mühendislik özellikleri ile açıklamaktadır. Çeşitli test yöntemleri ve standartlar çerçevesinde geogridlerin malzeme özellikleri belirlenmektedir. ASTM D 6637, GRI GG5, GRI GG2, ASTM D5321, ASTM D 4355, ASTM D 4632, 4833, 3786, 4533, 4751, 4491 ve 5261 standartları geogridlerin ve geotekstiller için uyulması gerekli test standartlarıdır.

3.6.3 Güçlendiriliř yol dizaynı

Geogrid yol imalatındaki kullanımı iki aplikasyona destek olma amacıyla uygulanır; mekanik alt tremel ve temel stabilizasyonu. Bu uygulama, alt temel zemin taşıma gücü ve çok yumuşak zeminden oluşan temel altı dolguları üzerine inşa edilemesi gereken geosentetik tipine ve özelliklerine bağlıdır.

3.6.4 Yol üst yapıları için geosentetik uygulaması

Alt Temel CBR < 0,5: Alt temel CBR' ı 0,5 ten düşük olursa, ilk olarak mekanik alt temel stabilizasyonu yapılmalıdır. Bu gibi taşıma gücüne sahip zeminlerde örgüsüz geotekstiller ayırma amacıyla kullanılmalıdır ve çift yönlü geogridler güçlendirme amaçlı dolgu içinde kullanılmalıdır. Bu tip, düşük taşıma gücüne sahip zeminlerde

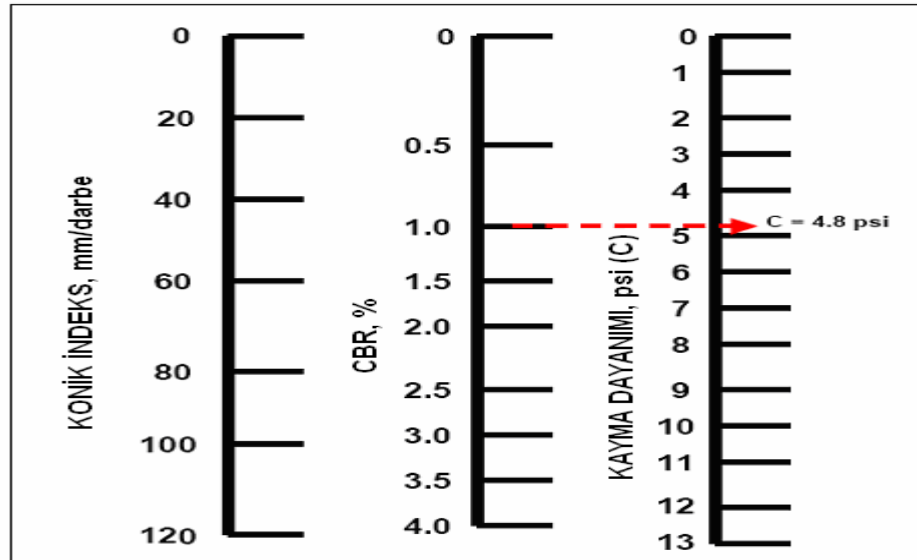
dolgu kalınlığı geogrid uygulamasıyla düşürülmemelidir. Örgüsüz geotekstil granüler dolgunun altına serilmeli ve üstüne geogrid uygulanmalıdır. Daha sonra granüler dolgu yapılmalıdır.

Alt Temel $0,5 < \text{CBR} < 2,0$: Bu durumdada mekanik stabilizasyon ve güçlendirme yapılmalıdır. Örgüsüz geotekstil ve üzerine geogrid uygulaması, yapılacak granüler dolgunun kalınlığı azaltılabilir.

Alt Temel $2,0 < \text{CBR} < 4,0$: Bu durumdada örgsüz geotekstil ayırma amaçlı kullanılmalıdır. Bu durumda kullanılan geotekstiller az da olsa güçlendirme faydasıda sağlayabilmelidir. Geogrid kullanımı yapılan maliyet analizine bağlı olarak uygulanabilir. Bu gibi zeminlerde geogridlerin kullanımı üst yapının ömrünü uzatmakta ve dizayn kalınlığını düşürebilmektedir.

Alt Temel $\text{CBR} > 4,0$: Bu durumda geogrid kullanımı yapılacak maliyet kullanım ömrü analizlerine bağlı olarak uygulanabilir. Genellikle bu taşıma gücüne sahip zeminlerin olduğu imalatlarda geogridler mobilizasyon veya çok özel problemlerin çözümünde kullanılmaktadır.

Güçlendirilmiş bir yol üst yapısı oluşturmanın ilk adımı zeminin özelliklerinin belirlenmesidir. Şekil 3.22’de konik indeks değerleri ve CBR değerlerinden kesme mukavemeti değerine çevirilmeye değerleri görülmektedir.[7]



Şekil 3.22 CBR ve kayma mukavemeti değerleri arasındaki korelasyon

Alt temel dolgularında geogrid kullanımı alt temel tabakasını güçlendirerek daha hızlı, ekonomik ve ilk haline göre daha iyi mühendislik özelliklerine sahip tabakaların oluşmasını sağlamaktadır. Bu şekilde daha ince katmalar, daha hızlı imalat, daha iyi bir sıkışma ve ilk haline göre daha fazla taşıma kapasitesi kazanılabilir. Yumuşak Alt temel tabakası üzerine inşa edilecek tabakada geogrid kullanımı tekerlek yükü ile oluşacak gerilmelerin daha geniş bir alana yayılmasını sağlar. Geogridin ağ etkisi, kayma yüzeyini değiştirir ve lokal taşıma ve genel taşıma kriterlerini değiştirir.[9]. Lokal taşıma gücü;

$$q_u = 3,1 c_u \quad (3.3)$$

c_u = alt temel tabakalarının drenajsız kayma dayanımı

ve genel taşıma gücü;

$$q_r = 6,2 c_u \quad (3.4)$$

Şekil 3.23 Bussinesq denklemindeki parametrelerin ve modellemenin gösterimidir. Bu modele göre Bussinesq denklemi, minimum temel tabakası hesaplamasında lastik ağırlığı, lastik basıncı ve güçlendirilmiş genel taşıma kapasitesine bağlı olarak tekrar yazılır;

Donatısız haldeki dolgu kalınlığı:

$$Z_u = r / [1 / (1 - q_u / p)^{2/3} - 1]^{1/2} \quad (3.5)$$

Donatılı haldeki dolgu kalınlığı:

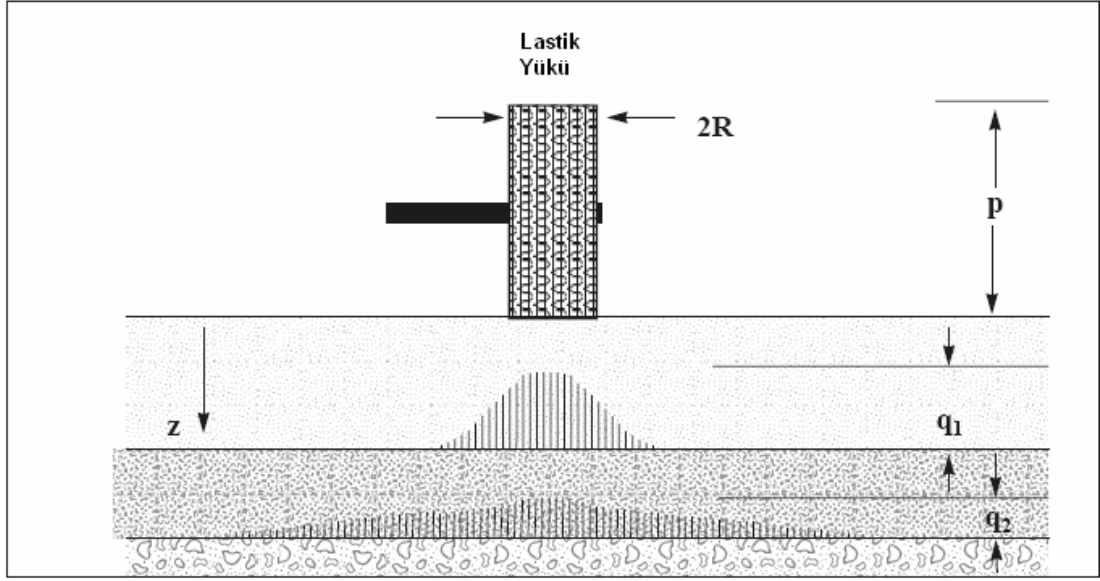
$$Z_r = r / [1 / (1 - q_r / p)^{2/3} - 1]^{1/2} \quad (3.6)$$

$$r = (P / \pi p)^{0.5} = \text{teker temas alanı yarıçapı} \quad (3.7)$$

p = Tek veya çift teker için teker şişme basıncı

P = lastik ağırlığı

z = Yüzeyden itibaren derinlik



Şekil 3.23 Temel tabakası tespiti.

Geogrid kullanılarak aynı dingil yükleri ve aynı lastik basınçları altında z_r ve z_u nun karşılaştırılınca görülürki temel tabakası kalınlığı %30 dan %50 ye kadar azalabilir.

Temel tabakası güçlendirilmesi için çift yönlü geogridler agrega tabakasının altına veya arasına yerleştirilir. Burada geogridin fonksiyonu, periyodik trafik yükleri altında agrega parçalarını sınırlandırmak ve yanlamasına hareketi önlemektir. Geogrid siz bölgelerdeki agreganın hareketi üst yapıya çatlaklar veya deformasyon olarak yansır.

Geliştirilen geogrid kullanımı; uzatılmış üst yapı ömrü, az bakım ve iyileştirme maliyetleri, azaltılmış temel dolgusu ve asfalt kalınlığı maliyetleridirini getirir. Gözden kaçmamalıdırki geogrid kullanımı yalnızca yumuşak ve kötü zeminlerde kullanılarak bir fayda sağlamamaktadır, CBR değeri %8 ve üstündeki sert zeminlerde de aynı fayda görülmektedir.

4. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS PROGRAMI

4.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi diferansiyel denklemlerle ifade edilen mühendislik problemlerinin analizi için geliştirilen nümerik bir çözüm yöntemidir. Sürekli bir ortam sonlu elemanlara bölünerek denklemler bir eleman için yazılır ve integre edilerek sistem denklemleri elde edilmektedir. Bu şekilde, sürekli bir ortam için göz önüne alınan diferansiyel denklem lineer bir denklem takımına indirgenmektedir.

Sonlu elemanlar yönteminin başlıca avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Hız sağlamaktadır.
- Formülasyonu ile bir çok probleme uygulanabilmektedir.
- Kompleks durum, yükleme ve farklı malzemeler dikkate alınabilmektedir.
- Zamana bağlı, gerilme şekil değiştirme ve konsolidasyon gibi incelenmesine olanak sağlamaktadır.

Analiz adımları;

Sonlu elemanlar yönteminde başlıca analiz adımları,

- Ortamın elemanlara ayrılması,
- Model seçimi,
- Malzeme özelliklerinin belirlenmesi,
- Eleman denklemlerinin elde edilmesi,
- Eleman denklemlerinin birleştirilerek sistem denklemlerinin elde edilmesi,

- Sistem denklemleri çözümlenerek birincil bilinmeyenlerin bulunması,
- Birincil bilinmeyenlerden ikincil bilinmeyenlerin hesaplanması,
- Sonuçların yorumu.
olarak sıralanabilir.

4.2 Plaxis Programı

Plaxis programı geoteknik mühendisliği projelerinin deformasyon ve stabilite analizlerini gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır. 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 malzeme çeşitliliği olan durumlarda bu programdan faydalanmaktadır. Grafiksel veri girişi sayesinde ele alınan problemin basit ve detaylı şekilde incelenmesi ve çözüme ulaşılmasını sağlamaktadır.

4.2.1 Program modülleri

Plaxis programında toplam 4 modül bulunmaktadır bunlar; problemlerin şekilsel ve rakamsal özelliklerinin girişine olanak sağlayan “Input” , problemin çözümlendiği “Calculation” , sonuçlarının sergilendiği “Output” sonuçlara ait grafiklerin oluşmasını sağlayan “Curve” modülleridir.

4.2.1.1 Input modül

Plaxis ile analize başlarken problemin genel özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bilgi girişi Plaxis'in “input” modülünde yapılmaktadır. İlk olarak proje ismi, düğüm noktası sayısı ve geometrik ölçüler girilmelidir.

Plaxis programında sonlu elemanlar yöntemine göre deplasmanlar esas bilinmeyenler olarak kabul edilmiştir. Ortam birçok üçgen elemana ayrılır ve her bir eleman üzerindeki düğüm noktaları iki serbestlik derecesine sahiptir. Plaxis sonlu elemanlar ağının oluşturulmasında üçgen elemanlar kullanılmaktadır. Bu elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı elemanlar olarak seçilebilmektedir. Gerilme ve göçme yüzeylerinin daha hassas hesaplanabilmesi için 15 düğüm noktalı elemanlar tercih edilir. Bu düğüm noktalarında deplasmanlar hesaplanmaktadır. Deplasmanların tersine

gerilmeler düğümler yerine gerilme noktaları hesaplanmaktadır. 15 düğüm noktalı üçgende 12 adet gerilme noktası bulunurken 6 düğüm noktalı üçgende 3 adet gerilme noktası bulunmaktadır.

Öncelikle geometrinin oluşturulması gerekmektedir. Tabakalı bir zemin profili üzerinde çalışılacağında çizgiler yardımıyla farklı zemin bölgeleri tanımlanabilmektedir. Geometrinin oluşturulduktan sonra projedeki zemin ve elemanların özellikleri girilir. Plaxis'te malzeme özellikleri 4 ana kategoriye ayrılmıştır. Zemin, kiriş, geotekstil ve ankraj.

Zemin ve diğer özellikler girildikten sonra “Mesh” komutu verilerek sonlu elemanlar ağı oluşturulur.

“Mesh” komutu verilerek sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra başlangıç koşullarının belirlenmesi amacıyla “Initial Conditions” a geçilir. Bu bölümde yer altı suyu seviyesi çizilerek boşluk suyu basıncı hesaplanır. Sonra zemin inşaat öncesindeki ilk duruma getirerek yani tüm yapısal elemanların olmadığı ilk haline getirilir ve efektif gerilmeler hesaplanır. Bu aşamada başlangıç gerilmeleri K_0 yöntemine göre hesaplanmaktadır [13].

Projede yer altı akımı, şev veya düşey olarak farklı malzemebandları mevcut ise başlangıç gerilmeleri K_0 yöntemi yerine “Gravity Loading” yöntemi ile “Calculation” modülünde belirlenmelidir.

4.2.1.2 Hesaplama modülü

Başlangıç koşullarının belirlenmesi ile input modülü tamamlanmış olur ve 'Calculation' modülüne geçilebilir. Bu aşamada eğer kademeli inşaat yapılması durumunda “Staged Construction” , tekil veya yayılı yük yük çarpanları “Total Multipliers” komutu ile atanır. Tüm bu aşamalardan sonra “Calculate” komutu ile hesap yaptırılır.

4.2.1.3 Output modülü

Hesap tamamlandıktan sonra sistem “Output” modülü başlatılarak inşaatın tamamlanmasından sonraki zemin ve yapı elemanlarına ait çeşitli özellikler, ağ, efektif gerilmeler, toptan gerilmeler, artık boşluk suyu basıncı ve yapı elemanlarında oluşan kuvvetler incelenebilir.

4.2.1.4 Curves Modülü

Output modülünden sonra bu komutla daha önceden seçilmiş geometri üzerindeki çeşitli noktaların özellikleri hakkında çok sayıda eğri çizilebilmektedir.

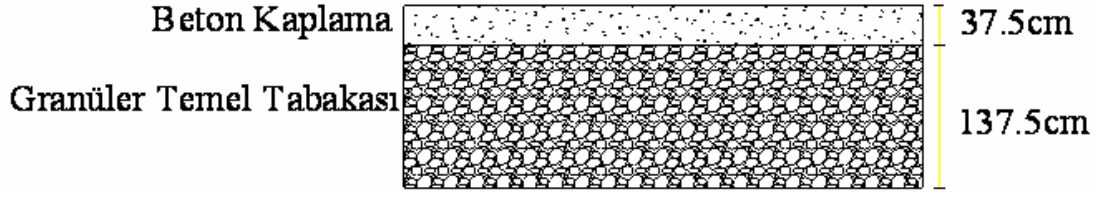
5. GEOGRID İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ HAVA ALANI PİST TEMEL DOLGULARININ PLAXİS İLE İNCELENMESİ

Bu bölümde geogrid kullanımının hava alanı temel dolgu kalınlıklarına etkisi incelenmiştir. İnceleme dört ayrı durum için yapılmıştır. Birinci durumda geogrid donatı kullanılmadan tasarlanan kalınlıktaki temel ve beton kaplamanın tasarım yükleri altındaki davranışı incelenmiştir. İkinci durumda dolgu kalınlığı düşürülerek aynı yükler uygulanmış ve zeminin davranışı incelenmiştir. Üçüncü durumda azaltılan temel dolgusu içine tek sıra geogrid donatı yerleştirilmiştir ve yine aynı parametreler incelenmiştir. Dördüncü ve son durumda azaltılmış temel dolgusu içine iki sıra geogrid yerleştirilerek zeminin davranışı incelenmiştir. Bu analizler sırasında malzeme özellikleri değiştirilerek, dolgu malzemelerinin etkisi gözlenmiştir. İncelenen problemde tasarım uçağı olarak A-320-200 tipi Airbus kabul edilmiştir. Bu uçağa ait fiziksel parametreler:

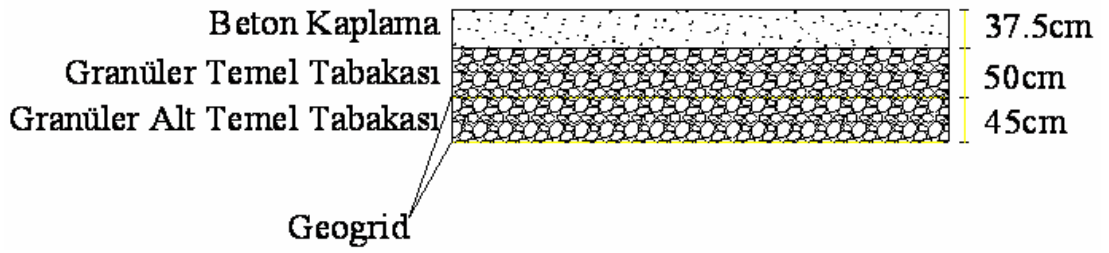
- Maksimum kalkış ağırlığı: 72.000 kg
- Lastik taban temas alanı: 0.15 m²
- Ana iniş takımları arası mesafe: 7,35 m
- İniş takımı tipi: Çift tandem
- İniş takımları lastikler arasındaki mesafe: 0,40 m
- İniş takımı lastik taban değme genişliği: 0,40 m olarak alınmıştır.

Pist temelinin oturacağı doğal zeminin CBR değeri %2,9 olarak değerlendirilmiştir. Analiz için belirlenen probleme ait geogrid donatı kullanılmayan modele ait zemin profile Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu modele göre 37,5 cm beton kaplama altında 137,5 cm granüler temel ve alt temel dolgusu bulunmaktadır. Bütün bu sistemin oturduğu doğal zemin kilden oluşmaktadır. Geogrid donatı kullanılarak yapılan model Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Bu modelde yine 37,5 cm beton kaplama altında

95 cm granüler temel ve alt temel dolgusu bulunmakta ve sistem yine kil malzeme üzerine oturmaktadır.



Şekil 5.1 Donatısız modellenen kesit



Şekil 5.2 Donatılı modellenen kesit

5.1 Plaxis Analizlerindeki Kabuller

Analizlerde yapılan kabul ve varsayımlar aşağıdaki gibidir;

- Düzlemsel deformasyon “Plane Strain” modeli kullanılmıştır,
- 15 düğüm noktsal üçgen sonlu elemanlar kullanılmıştır,
- SI birim sisteminde m, kN, gün birimleri ile çalışılmıştır,
- Malzeme modelilerinden “Mohr-Coulomb” ve “Linear Elastic” kullanılmıştır,
- Malzeme davranış tipi drenajsız olarak dikkate alınmıştır,
- “G” Kayma modülü için Plaxis programının verdiği değer kabul edilmiştir,
- Temel zemininin dolgu malzemesi için $c=1 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.
- Kullanılan Geogridin Elastisite modülü $69\text{E}+07 \text{ kN/m}^2$, kalınlığı 0,5 cm alınmış ve EA değeri: $3,450\text{E}+05 \text{ kN/m}$ olarak hesaplanmıştır.

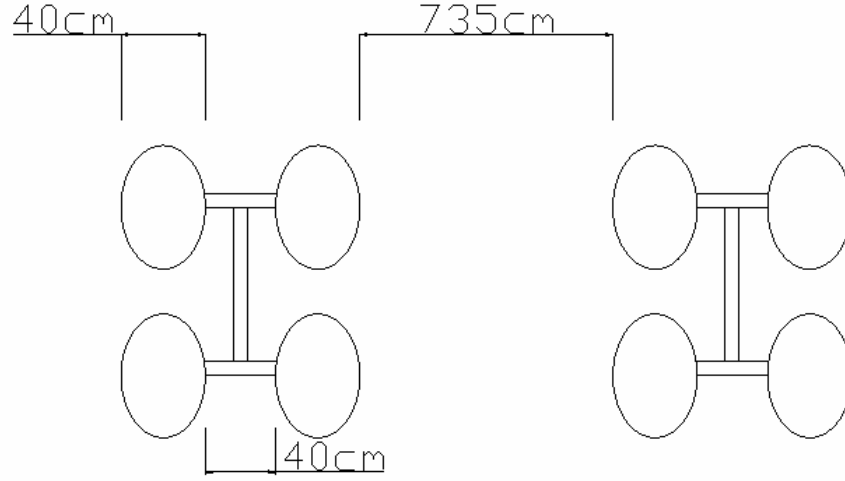
- Beton kaplamanın Elastisite Modülü $2,700E+07 \text{ kN/m}^2$ olarak alınmıştır.

Tablo 5.1 de doğal malzemelerin elastisite modülleri ve CBR değerlerinin bulunduğu aralıklar özetlenmiştir. 1 Psi yaklaşık olarak $6,895 \text{ kN/m}^2$ ye eşittir. Doğal kil zeminin CBR %2,9 olarak kabul edildiğinden, kil zeminin kayma dayanımı Şekil 3.21'den 10 Psi olarak bulubur. Bu değer yaklaşık olarak 70 kN/m^2 ye eşittir. Diğer malzemeler için kullanılan Elastisite modülleri Tablo 5.1'den yararlanarak saptanmıştır.

Tablo 5.1 Bazı doğal maddelerin Elastisite modülleri ve CBR değerleri.

Malzeme	CBR (%)	Elastisite Modülü (psi)
Elmas	-	170,000,000
Çelik	-	30,000,000
Alüminyum	-	10,000,000
Ağaç	-	1 - 2,000,000
Kırma taş (GW, GP, GM)	20 - 100	20,000 - 40,000
Kumlu zemin (SW, SP, SM, SC)	5 - 40	7,000 - 30,000
Siltli zemin (ML, MH)	3 - 15	5,000-20,000
Killi zemin (CL, CH)	3 - 10	5,000 - 15,000
Organik zemin (OH, OL, PT)	1 - 5	< 5,000

Kaplama üzerindeki trafik yüklerinin geometrisi Şekil 5.3'teki gibidir. Burada uçağın toplam ağırlığından yola çıkılarak her bir lastiğe gelen yük hesaplanmış ve lastik taban değme genişliğine bölünerek gerilmeler elde edilmiştir. Elde edilen gerilme birim genişlikte yayılı yük olarak modelde tanıtılmıştır.



Şekil 5.3 Uçağa ait tandem ve lastik yerleşimi

Maksimum kalkış ağırlığı: 72.000 kg

Lastik taban temas alanı: 0,15 m²

Ana iniş takımları arası mesafe: 7,35 m

İniş takımı tipi: Çift tandem

Toplam Tandem adedi: 2

Toplam lastik adedi: 2x4= 8

Tek lastiğe gelen yük: 72.000/8= 9000 kg

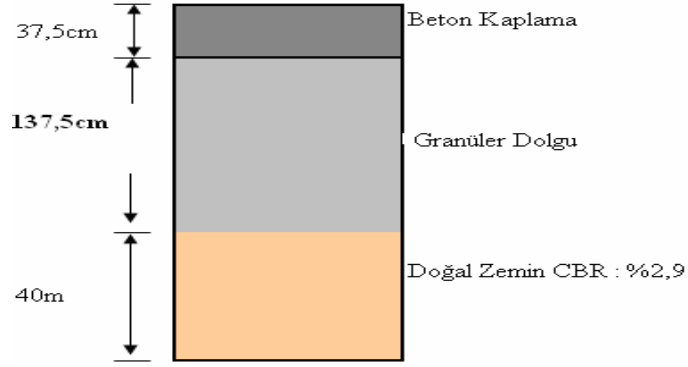
Tek lastiğin tabanında oluşturduğu yük: 9000 kg/m= 9 ton/m dir.

Lastik taban değme yüzeyi 0,40 cm olduğundan gelen yük birim genişlikte $9/0,40= 22,5$ ton/m/m olarak etkir. Bu değer 225 kN/m/m ye eşittir. Analizde 0,40 cm genişliğinde bir aks üzerinde dört adet 225 kN/m/m değerinde yayılı yük alınmıştır.

5.2 Analiz Yapılması

Donatılı ve donatısız durum için çeşitli şekillerde analiz yapılmıştır. Bu analizler için kullanılan parametreler ve sonuçları Tablo 5.2’de özetlenmiştir. Bu durum için toplam dokuz adet analiz yapılmış ve oturmalar, gerilmeler, konsolidasyon ve güvenlik katsayıları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar çeşitli kesitler alınarak

grafikler ile özetlenmiştir. Şekil 5.4' te verilen kesit Plaxis' te tanıtılmış ve yükleme yapılmıştır.



Şekil 5.4 Donatısız durum kesiti

Tablo 5.2 ve Tablo 5.3 deki 22, 25, 26 ve 55 numaralı analizler granüler dolgu malzemesi ile doğal kil zeminin malzeme tipleri değiştirilerek, drenajlı ve drenajsız olarak, 56 numaralı analiz granüler malzemenin içsel sürtünme açısı değiştirilerek, 57 numaralı analiz kil zeminin Elastisite modülü değiştirilerek, 58 numaralı analiz “Phi/c reduction” hesap yöntemiyle; güvenlik katsayısı tespiti için, 59 numaralı analiz yeraltı suyu kabul edilerek ve diğer 59 numaralı analiz son yeraltı suyunun bulunduğu durum için konsolidasyon analizi yapamak amacıyla yapılmıştır.

Tablo 5.2 Donatısız durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

Geogridsiz Durum					
H= 1,75m					
	Analiz: 22	Analiz: 27	Analiz: 26	Analiz: 55	Analiz: 56
Beton Kaplama		H=0,375m			
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel		H=1,375m			
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °	30 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin		Orta Katı Kil			
E	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Yer altı Su Seviyesi:					
Toplam oturma	4,13 mm	4,12 mm	6,87 mm	6,87 mm	4,20 mm
Toplam Gerilme	365,25 kN/m ²	365,28 kN/m ²	363,81 kN/m ²	363,75 kN/m ²	365,27 kN/m ²
Efektif Gerilme	355,16 kN/m ²	355,18 kN/m ²	363,81 kN/m ²	363,75 kN/m ²	355,17 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	22,46 kN/m ²	58,63 kN/m ²	54,58 kN/m ²	0,00 kN/m ²	21,29 kN/m ²

Tablo 5.3 Donatısız durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

Geogridsiz Durum				
H= 1,75m				
	Analiz: 57	Analiz: 58	Analiz: 59	Analiz: 59
Beton Kaplama	H=0,375m			
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel	H=1,375m			
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin	Orta Katı Kil			
E	20.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Yer altı Su Seviyesi:			-0,375m	-0,375m
Toplam oturma	7,89 mm	16,02 m	4,41 mm	2,01 mm
Toplam Gerilme	365,16 kN/m ²	352,23 kN/m ²	410,36 kN/m ²	397,45 kN/m ²
Efektif Gerilme	355,12 kN/m ²	349,35 kN/m ²	187,78 kN/m ²	184,09 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	22,44 kN/m ²	319,74 kN/m ²	225,29 kN/m ²	217,06 kN/m ²

Tablo 5.4 ve Tablo 5.5 deki 23, 28, 47 ve 51 numaralı analizler granüler dolgu malzemesi ile doğal kil zeminin malzeme tipleri değiştirilerek, drenajlı ve drenajsız olarak, 48 numaralı analiz granüler malzemenin içsel sürtünme açısı değiştirilerek, 52 numaralı analiz kil zeminin Elastisite modülü değiştirilerek, 53 numaralı analiz

“Phi/c reduction” hesap yöntemiyle; güvenlik katsayısı tespiti için, 54 numaralı analiz yeraltı suyu kabul edilerek ve diğer 54 numaralı analiz son yeraltı suyunun bulunduğu durum için konsolidasyon analizi yapmak amacıyla yapılmıştır.

Tablo 5.4 İkinci donatısız durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

Geogridsiz					
H= 1,325m					
	Analiz: 23	Analiz: 47	Analiz: 28	Analiz: 51	Analiz: 48
Beton Kaplama	H=0,375m				
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel	H=0,95m				
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °	30 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajsız	Drenajsız	Drained	Drained
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin	Orta Katı Kil				
E	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Yer altı Su Seviyesi:					
Toplam oturma	4,23 mm	4,21 mm	7,10 mm	7,11 mm	8,10 mm
Toplam Gerilme	365,21 kN/m ²	365,23 kN/m ²	363,76 kN/m ²	363,72 kN/m ²	365,22 kN/m ²
Efektif Gerilme	354,73 kN/m ²	354,75 kN/m ²	363,76 kN/m ²	354,73 kN/m ²	354,74 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	30,49 kN/m ²	35,74 kN/m ²	59,50 kN/m ²	0,00 kN/m ²	30,44 kN/m ²

Tablo 5.5 İkinci donatısız durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

Geogridsiz				
H= 1,325m				
	Analiz: 52	Analiz: 53	Analiz: 54	Analiz: 54
Beton Kaplama	H=0,375m			
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel	H=0,95m			
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drained	Drained	Drained	Drained
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin	Orta Katı Kil			
E	20.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Yer altı Su Seviyesi:			-0,375m	-0,375m
Toplam oturma	8,06 mm	2,40 m	4,44 mm	1,64 mm
Toplam Gerilme	365,15 kN/m ²	352,46 kN/m ²	410,00 kN/m ²	396,69 kN/m ²
Efektif Gerilme	354,70 kN/m ²	349,23 kN/m ²	186,02 kN/m ²	182,28 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	25,26 kN/m ²	180,86 kN/m ²	226,46 kN/m ²	216,09 kN/m ²

Tablo 5.6 ve Tablo 5.7 deki 21, 31, 60 ve 61 numaralı analizler granüler dolgu malzemesi ile doğal kil zeminin malzeme tipleri değiştirilerek, drenajlı ve drenajsız olarak, 63 numaralı analiz granüler malzemenin içsel sürtünme açısı değiştirilerek, 62 numaralı analiz kil zeminin Elastisite modülü değiştirilerek, 64 numaralı analiz

“Phi/c reduction” hesap yöntemiyle; güvenlik katsayısı tespiti için, 65 numaralı analiz yeraltı suyu kabul edilerek ve diğer 65 numaralı analiz son yeraltı suyunun bulunduğu durum için konsolidasyon analizi yapamamak amacıyla yapılmıştır.

Tablo 5.6 Tek kat donatılı durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

Geogridli Durum - Tek Kat					
H= 1,325m					
	Analiz: 21	Analiz: 31	Analiz: 60	Analiz: 61	Analiz: 63
Beton Kaplama	H=0,375m				
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel	H=0,95m				
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °	30 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drained	Drenajsız	Drenajsız	Drained	Drained
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin	Orta Katı Kil				
E	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Geogrid					
EA	345.000 kN/m	H= -1,325 m			
Yer altı Su Seviyesi:					
Toplam oturma	4,05 mm	4,06 mm	7,00 mm	6,94 mm	4,20 mm
Toplam Gerilme	365,15 kN/m ²	365,20 kN/m ²	363,79 kN/m ²	363,71 kN/m ²	365,34 kN/m ²
Efektif Gerilme	354,70 kN/m ²	354,72 kN/m ²	363,79 kN/m ²	363,71 kN/m ²	354,78 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	24,04 kN/m ²	51,50 kN/m ²	50,53 kN/m ²	0,00 kN/m ²	35,28 kN/m ²

Tablo 5.7 Tek kat donatılı durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

Geogridli Durum - Tek Kat				
H= 1,325m				
	Analiz: 62	Analiz: 64	Analiz: 65	Analiz: 65
Beton Kaplama	H=0,375m			
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel	H=0,95m			
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drained	Drained	Drained	Drained
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin	Orta Katı Kil			
E	20.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Geogrid				
EA	345.000 kN/m	H= -1,325 m		
Yer altı Su Seviyesi:			-0,375 m	-0,375 m
Toplam oturma	7,91 mm	663,20 m	4,24 mm	1,74 mm
Toplam Gerilme	365,33 kN/m ²	352,41 kN/m ²	409,93 kN/m ²	396,73 kN/m ²
Efektif Gerilme	354,77 kN/m ²	349,22 kN/m ²	186,00 kN/m ²	182,33 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	30,03 kN/m ²	175,29 kN/m ²	226,43 kN/m ²	217,10 kN/m ²

Tablo 5.8 ve Tablo 5.9 deki 33, 66, 67 ve 68 numaralı analizler granüler dolgu malzemesi ile doğal kil zeminin malzeme tipleri değiştirilerek, drenajlı ve drenajsız olarak, 69 numaralı analiz granüler malzemenin içsel sürtünme açısı değiştirilerek, 70 numaralı analiz kil zeminin Elastisite modülü değiştirilerek, 71 numaralı analiz

“Phi/c reduction” hesap yöntemiyle; güvenlik katsayısı tespiti için, 72 numaralı analiz yeraltı suyu kabul edilerek ve diğer 72 numaralı analiz son yeraltı suyunun bulunduğu durum için konsolidasyon analizi yapamak amacıyla yapılmıştır.

Tablo 5.8 Çift kat donatılı durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

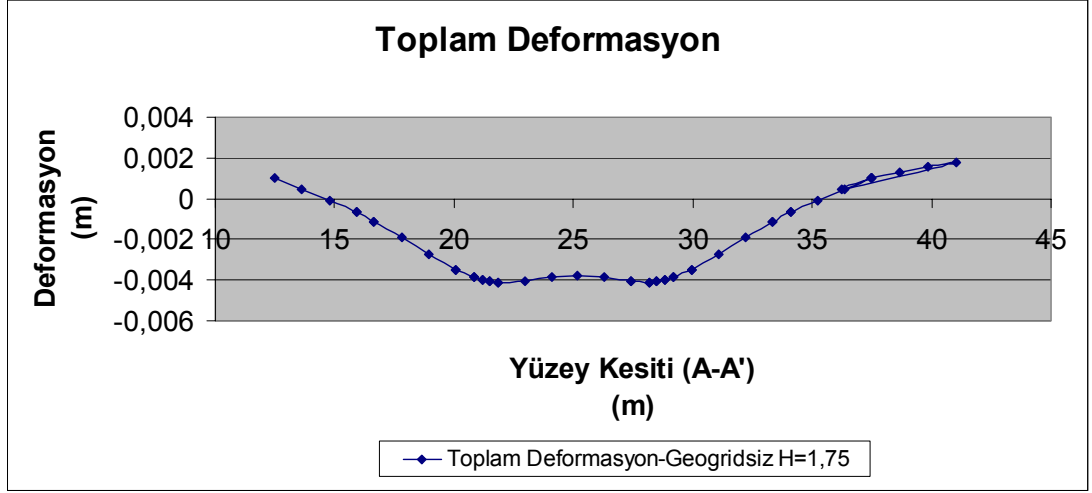
Geogridli Durum - İki Kat					
H= 1,325m					
	Analiz: 66	Analiz: 33	Analiz: 67	Analiz: 68	Analiz: 69
Beton Kaplama		H=0,375m			
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel		H=0,95m			
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °	30 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drained	Drenajsız	Drenajsız	Drained	Drained
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin		Orta Katı Kil			
E	40.000 kN/m ²	20.000 kN/m ²	20.000 kN/m ²	20.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajlı	Drenajlı	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Geogrid					
EA	345.000 kN/m	H= -0,88 m	H= -1,325 m		
Yer altı Su Seviyesi:			0,88		
Toplam oturma	4,01 mm	4,04 mm	6,98 mm	6,91 mm	4,07 mm
Toplam Gerilme	364,48 kN/m ²	364,55 kN/m ²	362,89 kN/m ²	362,82 kN/m ²	364,53 kN/m ²
Efektif Gerilme	354,20 kN/m ²	354,23 kN/m ²	362,89 kN/m ²	362,82 kN/m ²	354,22 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	25,14 kN/m ²	52,74 kN/m ²	51,85 kN/m ²	0,00 kN/m ²	26,35 kN/m ²

Tablo 5.9 Çift kat donatılı durum için yapılan çeşitli modellemelerdeki parametreler

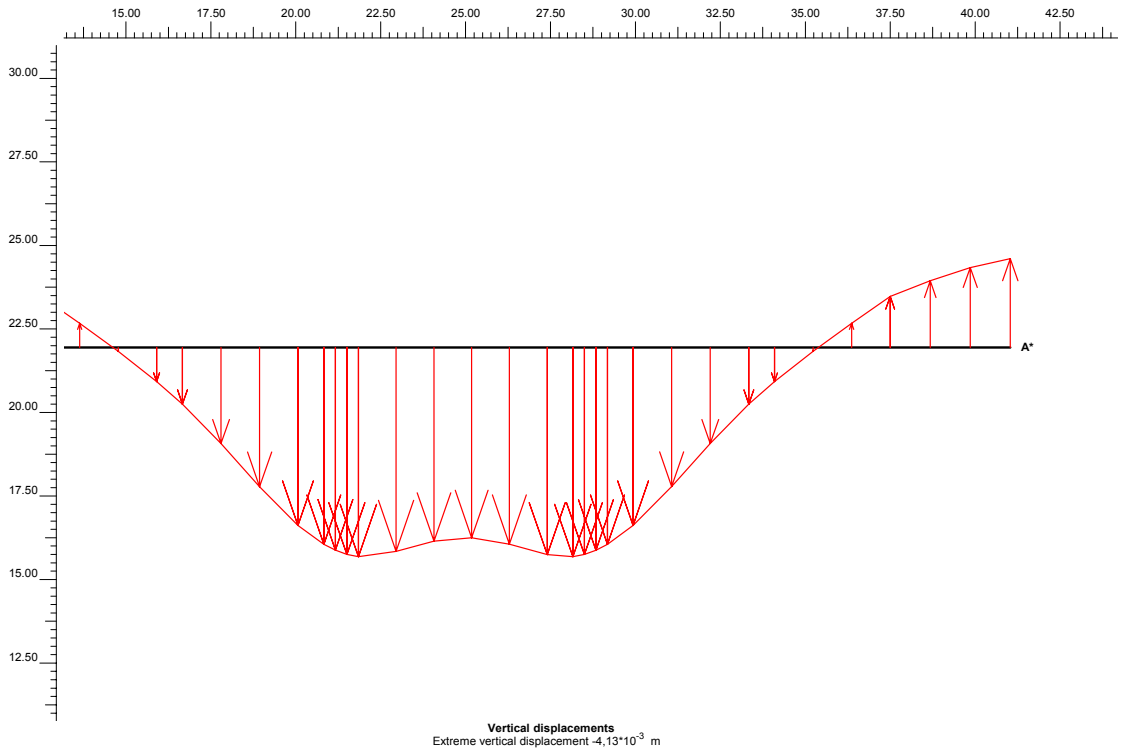
Geogridli Durum - İki Kat				
H= 1,325m				
	Analiz: 70	Analiz: 71	Analiz: 72	Analiz: 72
Beton Kaplama	H=0,375m			
E	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²	27.000.000 kN/m ²
ν	0,12	0,12	0,12	0,12
γ_{dry}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
γ_{wet}	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³	24,00 kN/m ³
ϕ	- °	- °	- °	- °
C	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²	- kN/m ²
Malzeme Tipi	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz	Geçirimsiz
Malzeme Modeli	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic	Linear elastic
k_x	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
k_y	- m/day	- m/day	- m/day	- m/day
Mekanik Temel-Alt Temel	H=0,95m	Phi-c	sulu durum	consolidasyon
E	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²	275.000 kN/m ²
ν	0,20	0,20	0,20	0,20
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³	20,00 kN/m ³
ϕ	45 °	45 °	45 °	45 °
C	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²	1 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drained	Drained	Drained	Drained
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
k_y	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day	1,00 m/day
Doğal Zemin	Orta Katı Kil			
E	20.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²	40.000 kN/m ²
ν	0,35	0,35	0,35	0,35
γ_{dry}	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³	16,00 kN/m ³
γ_{wet}	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³	18,00 kN/m ³
ϕ	1 °	1 °	1 °	1 °
C	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²	70 kN/m ²
Malzeme Tipi	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız	Drenajsız
Malzeme Modeli	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb	Mohr Coulomb
k_x	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
k_y	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day	0,001 m/day
Geogrid				
EA	345.000 kN/m	H= -0,88 m	H= -1,325 m	
Yer altı Su Seviyesi:			-0,375m	-0,375m
Toplam oturma	7,50 mm	2,73 m	4,18 mm	1,75 mm
Toplam Gerilme	364,31 kN/m ²	351,74 kN/m ²	409,08 kN/m ²	395,83 kN/m ²
Efektif Gerilme	354,12 kN/m ²	348,72 kN/m ²	186,38 kN/m ²	182,76 kN/m ²
Aktif Boşluk Basıncı	22,64 kN/m ²	23,87 kN/m ²	224,57 kN/m ²	216,50 kN/m ²

5.3 Analiz Sonuçları

Yapılan analizler sonucu her durum için çeşitli parametreler saptanmıştır. Elde edilen bu değerler, çeşitli durumlarda geogridin donatı olarak etkisini göstermektedir. İlk donatısız durumdan elde edilen toplam oturma miktarını gösteren deformasyon-kesit grafiği Şekil 5.5 ve program çıktısı Şekil 5.6 da gösterilmektedir. Maksimum oturma miktarı birinci durum için 4,13 mm dir.

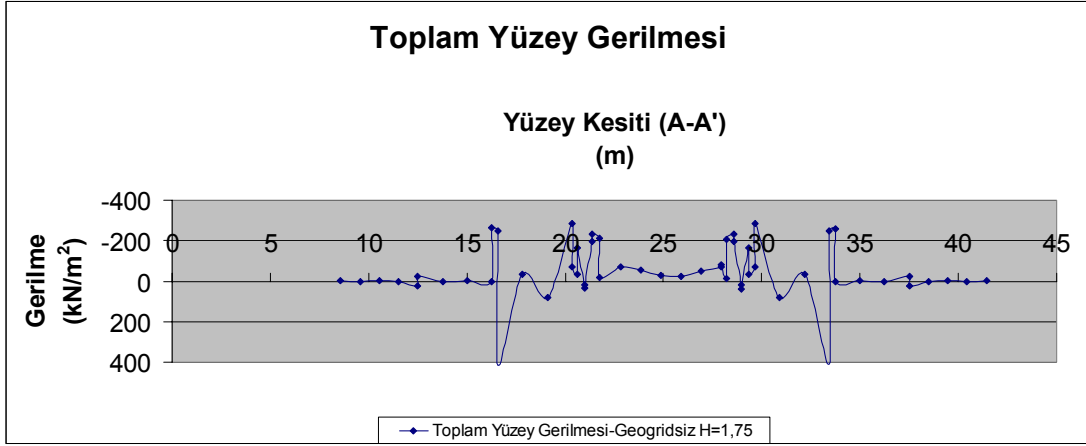


Şekil 5.5 Toplam deformasyon-kesit grafiği

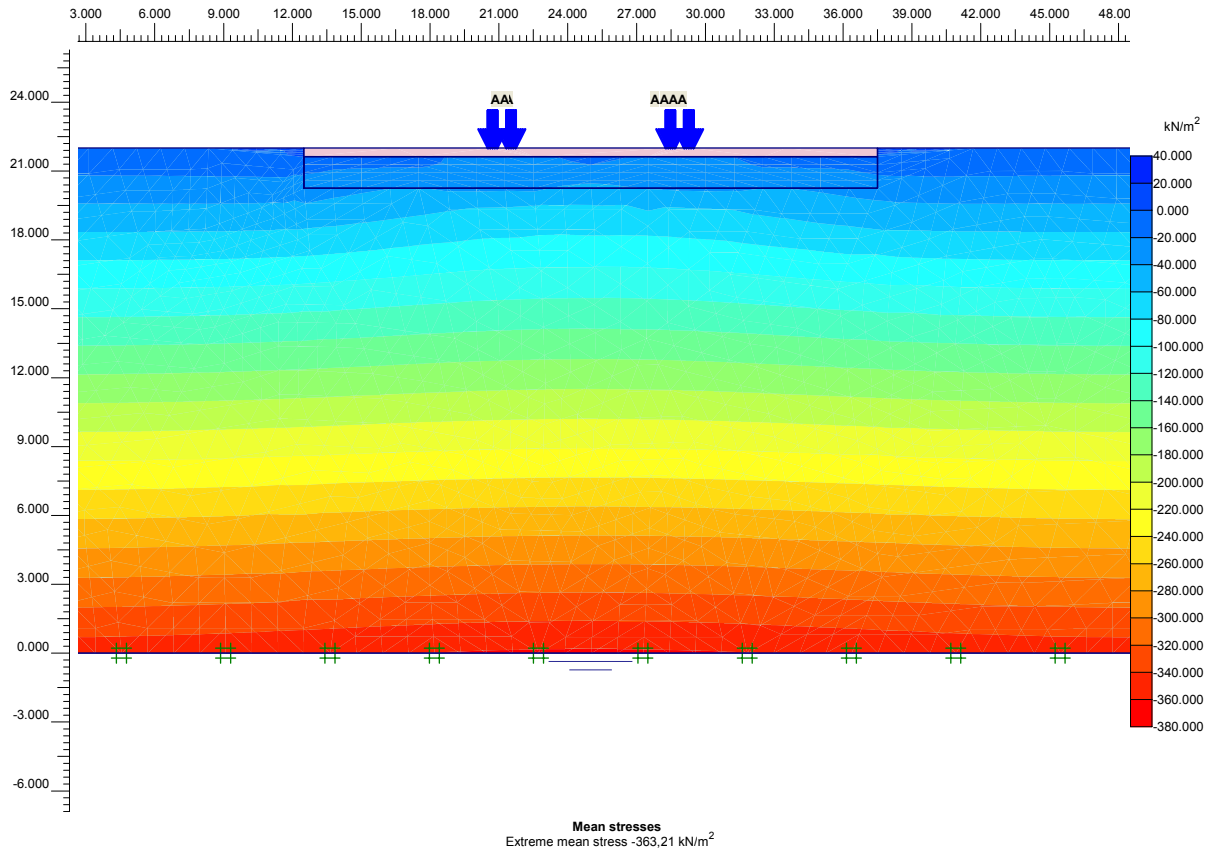


Şekil 5.6 Birinci durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi

Maksimum toplam gerilme $365,27 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8 yüzey kesiti üzerinde oluşan sistemin maksimum toplam gerilmelerini göstermektedir.



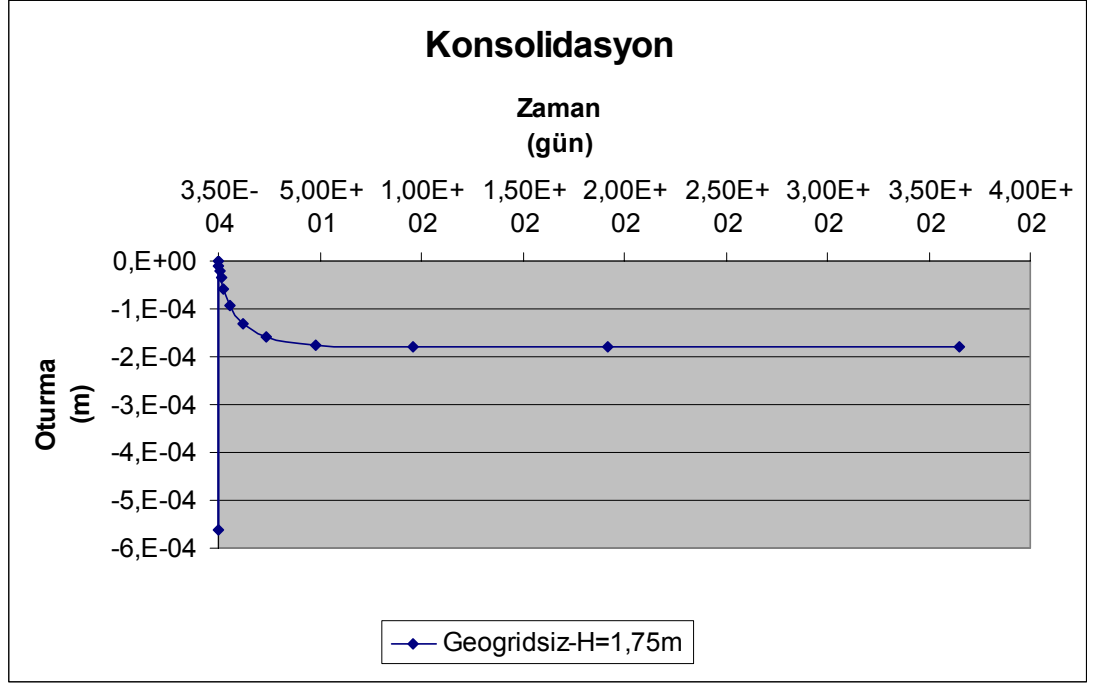
Şekil 5.7 Birinci durum yüzey kesiti toplam gerilme grafiği



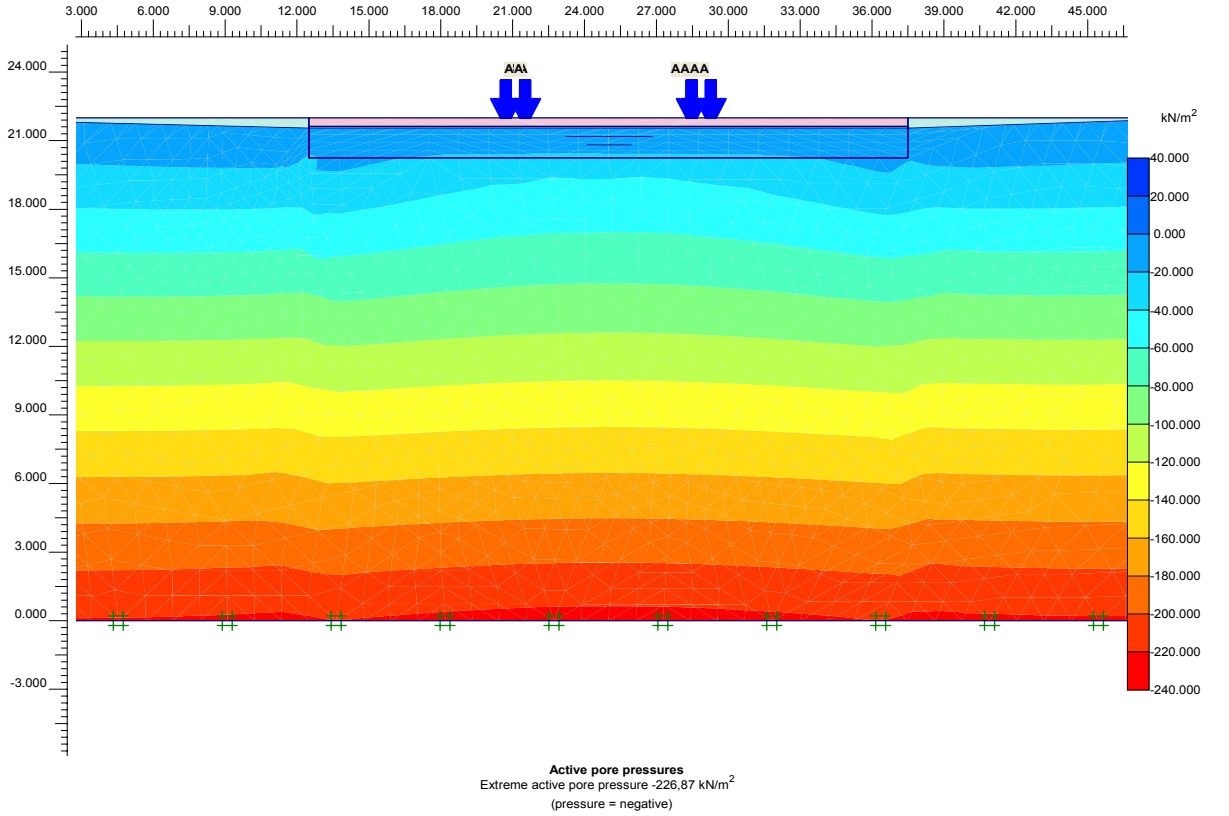
Şekil 5.8 Birinci durum toplam gerilme diyagramı

Birinci donatısız duruma ait konsolidasyon eğrisi Şekil 5.9 da gibi oluşmuştur. Bu eğriden görülebileceği bir senelik süre sonunda 2 mm lik bir oturma oluşmaktadır.

Şekil 5.10 da ise aktif boşluk basıncı görülebilmektedir. Bu duruma göre maksimum boşluk basıncı $225,29 \text{ kN/m}^2$ olarak gözlenmiştir.

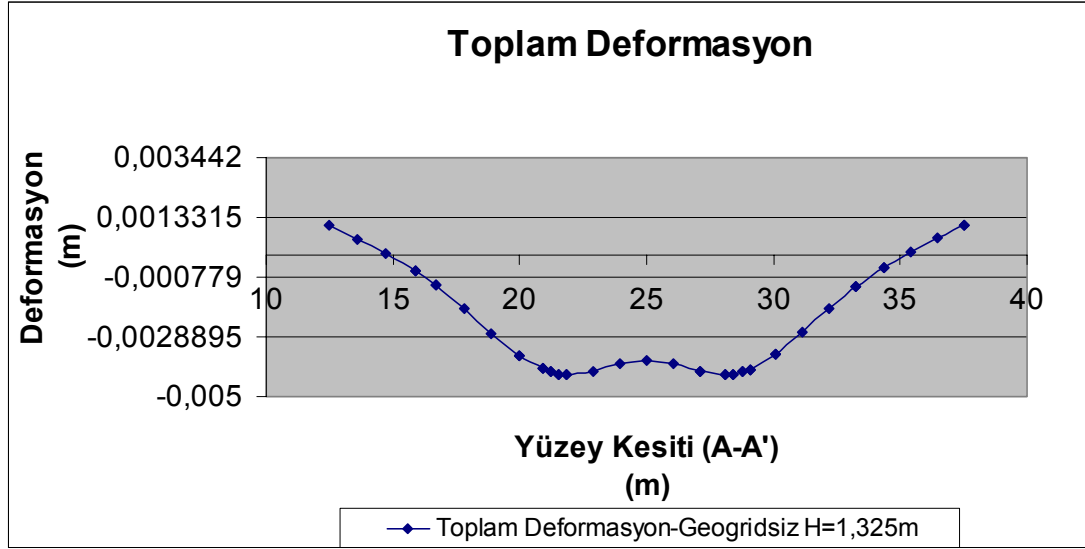


Şekil 5.9 Birinci durum konsolidasyon eğrisi

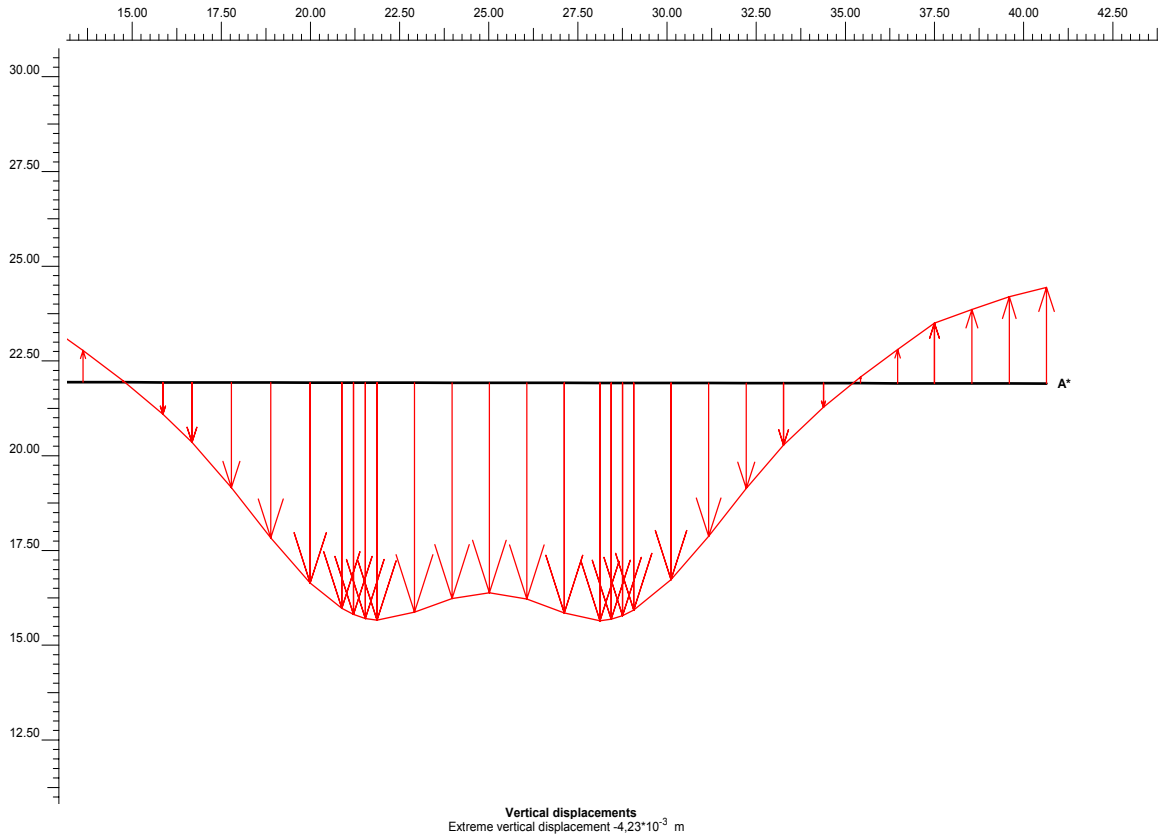


Şekil 5.10 Birinci durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi

İkinci donatısız durumdan elde edilen toplam oturma miktarını gösteren deformasyon-kesit grafiği Şekil 5.11 ve program çıktısı Şekil 5.12 de gösterilmektedir. Maksimum oturma miktarı ikinci durum için 4,23 mm dir.

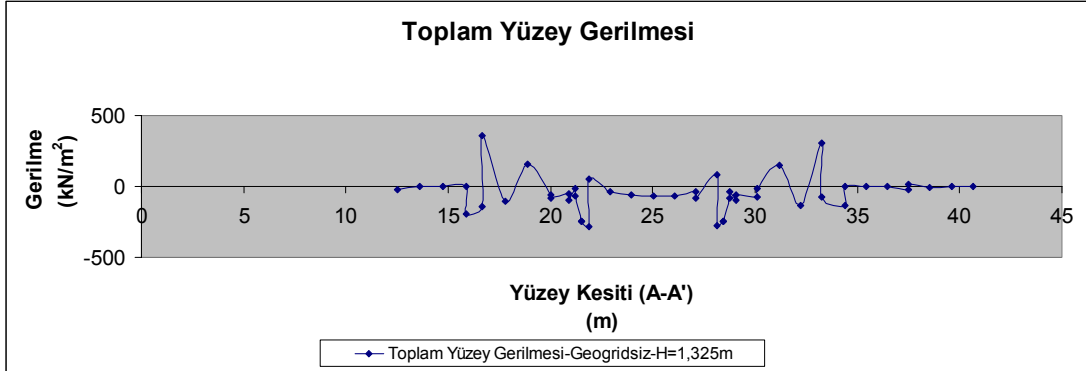


Şekil 5.11 İkinci donatısız toplam deformasyon-kesit grafiği

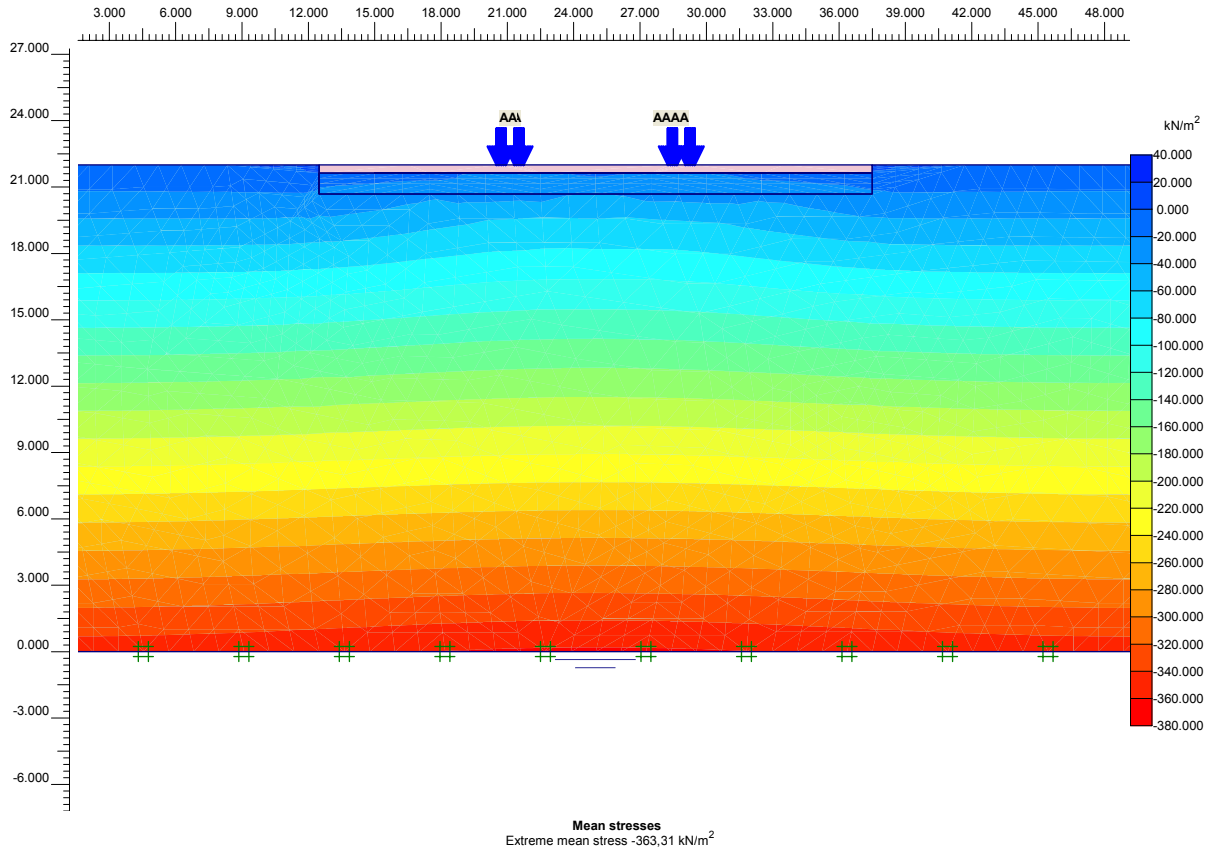


Şekil 5.12 İkinci donatısız durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi

Maksimum toplam gerilme $365,21 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur. Şekil 5.13 ve Şekil 5.14 yüzey kesiti üzerinde oluşan sistemin maksimum toplam gerilmelerini göstermektedir.

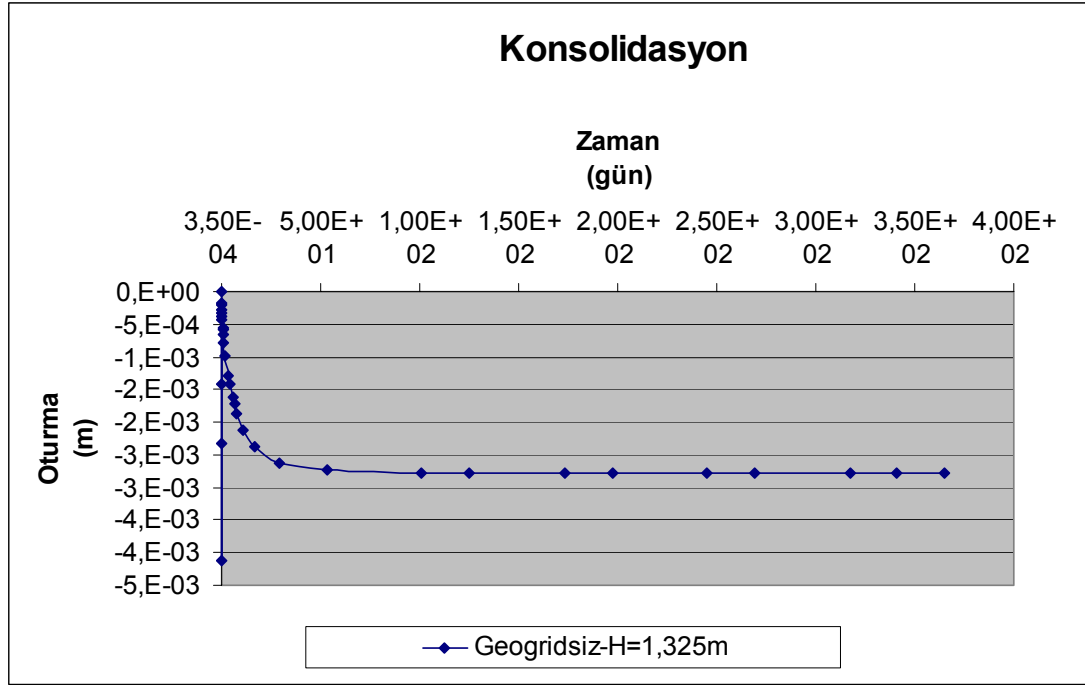


Şekil 5.13 İkinci donatısız durum yüzey kesiti toplam gerilme grafiği

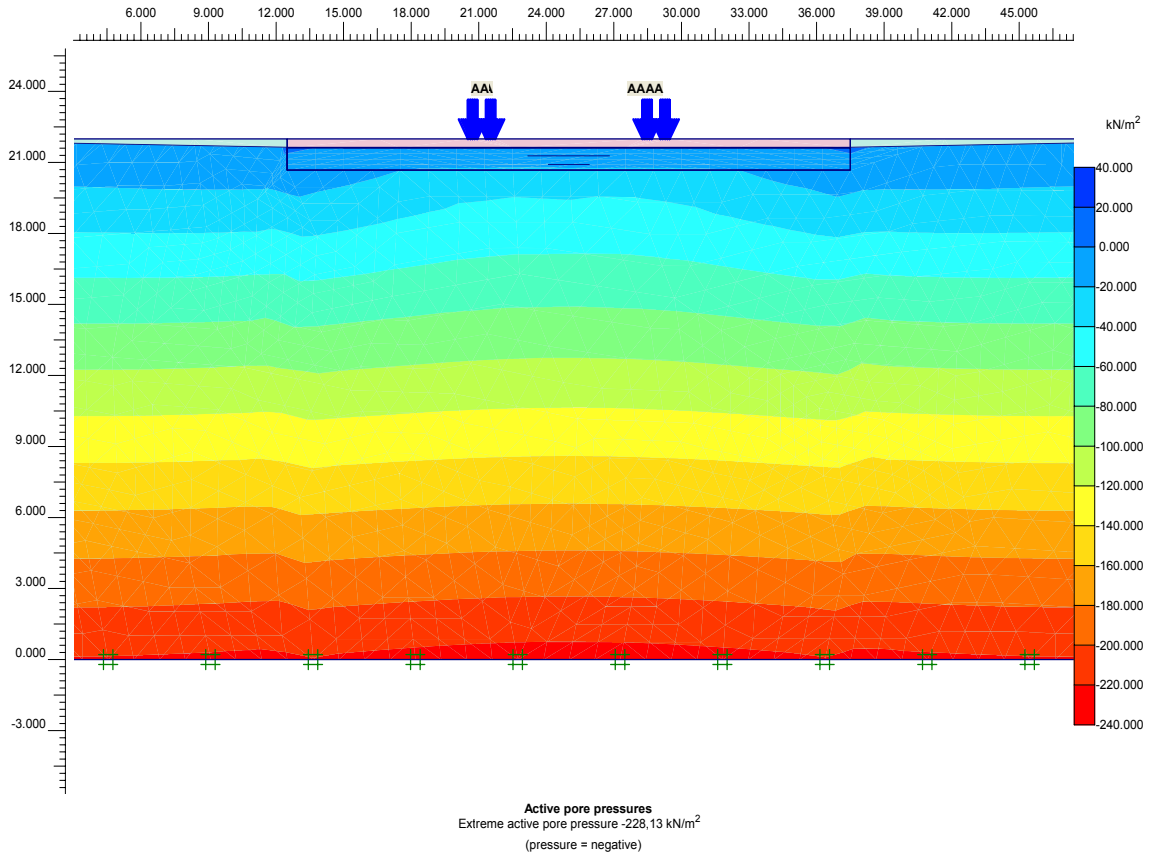


Şekil 5.14 İkinci donatısız durum gerilme diyagramı

İkinci donatısız duruma ait konsolidasyon eğrisi Şekil 5.15 teki gibi oluşmuştur. Bu eğriden görülebileceği bir senelik süre sonunda 1,64 mm lik bir oturma oluşmaktadır. Şekil 5.16 da ise aktif boşluk basıncı görülebilmektedir. Bu duruma göre maksimum boşluk basıncı $226,46 \text{ kN/m}^2$ olarak gözlenmiştir.

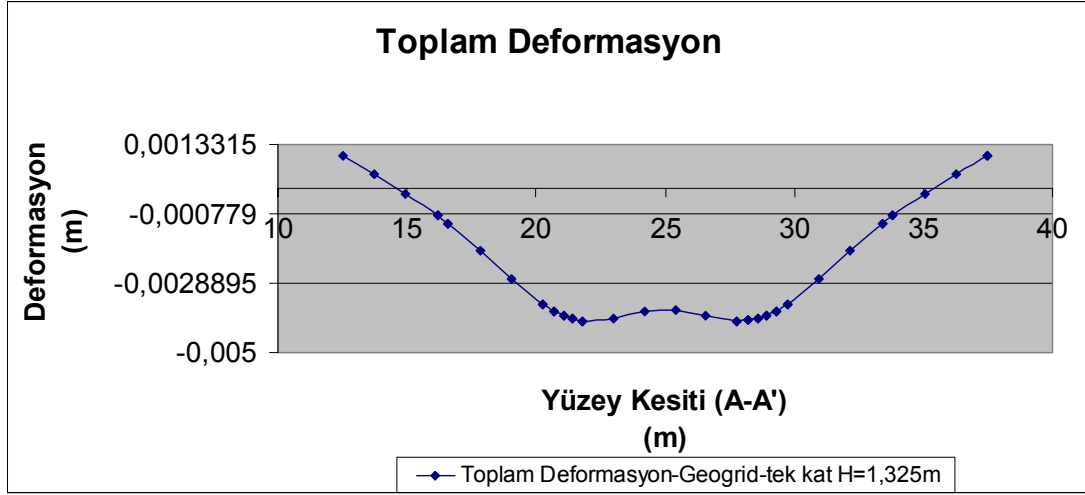


Şekil 5.15 İkinci donatısız durum konsolidasyon eğrisi

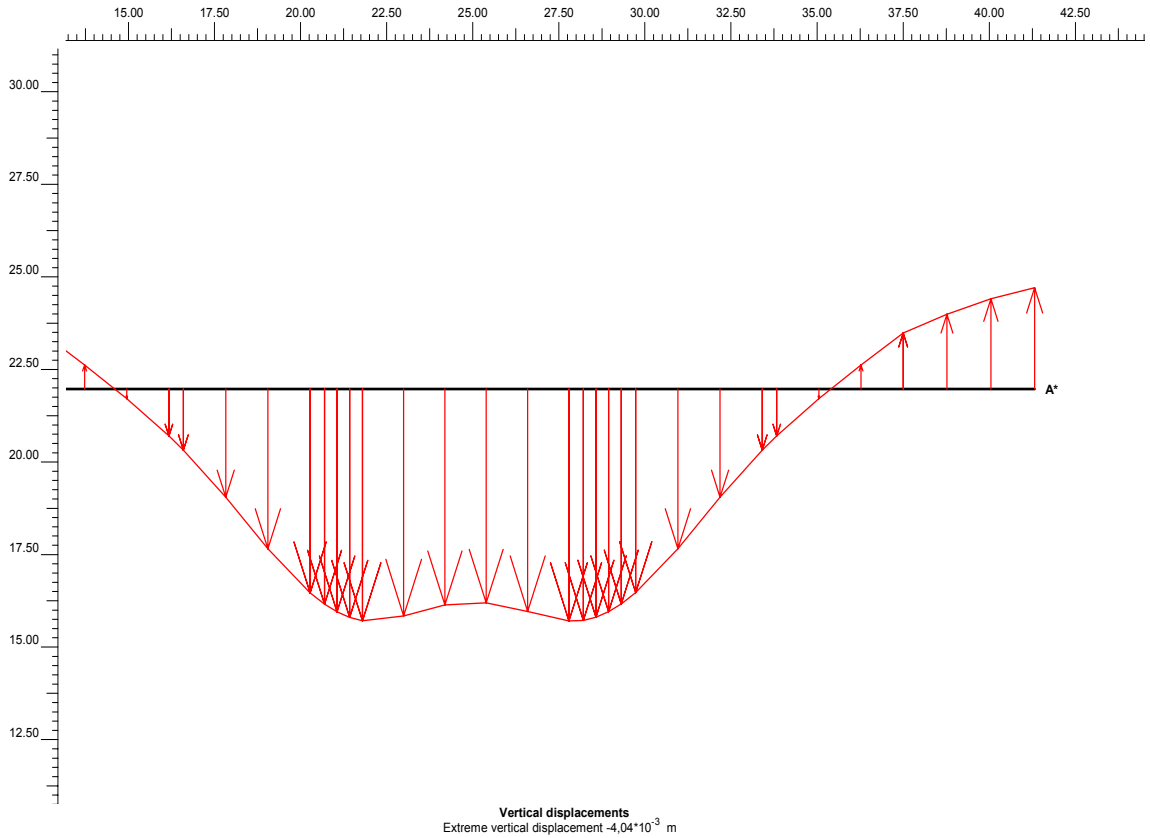


Şekil 5.16 İkinci donatısız durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi

Üçüncü durum olan tek kat donatılı durumdan elde edilen toplam oturma miktarını gösteren deformasyon-kesit grafiği Şekil 5.17 ve program çıktısı Şekil 5.18 de gösterilmektedir. Maksimum oturma miktarı üçüncü durum için 4,05 mm dir.

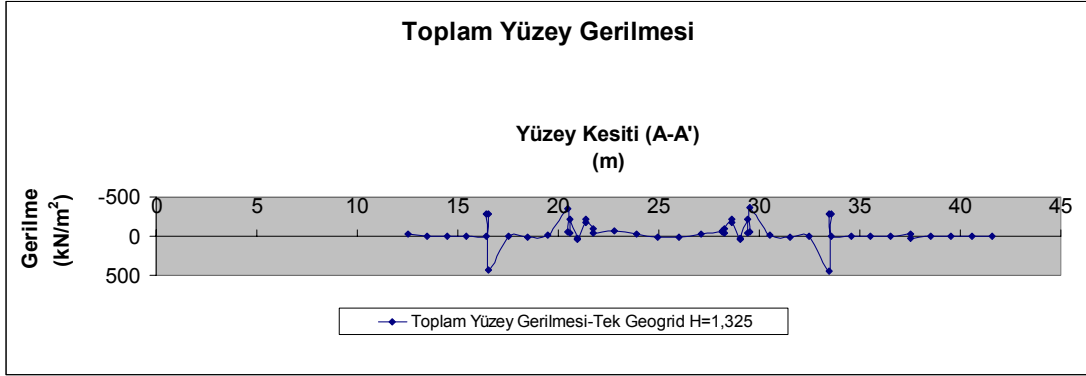


Şekil 5.17 Üçüncü tek donatılı durum toplam deformasyon-kesit grafiği

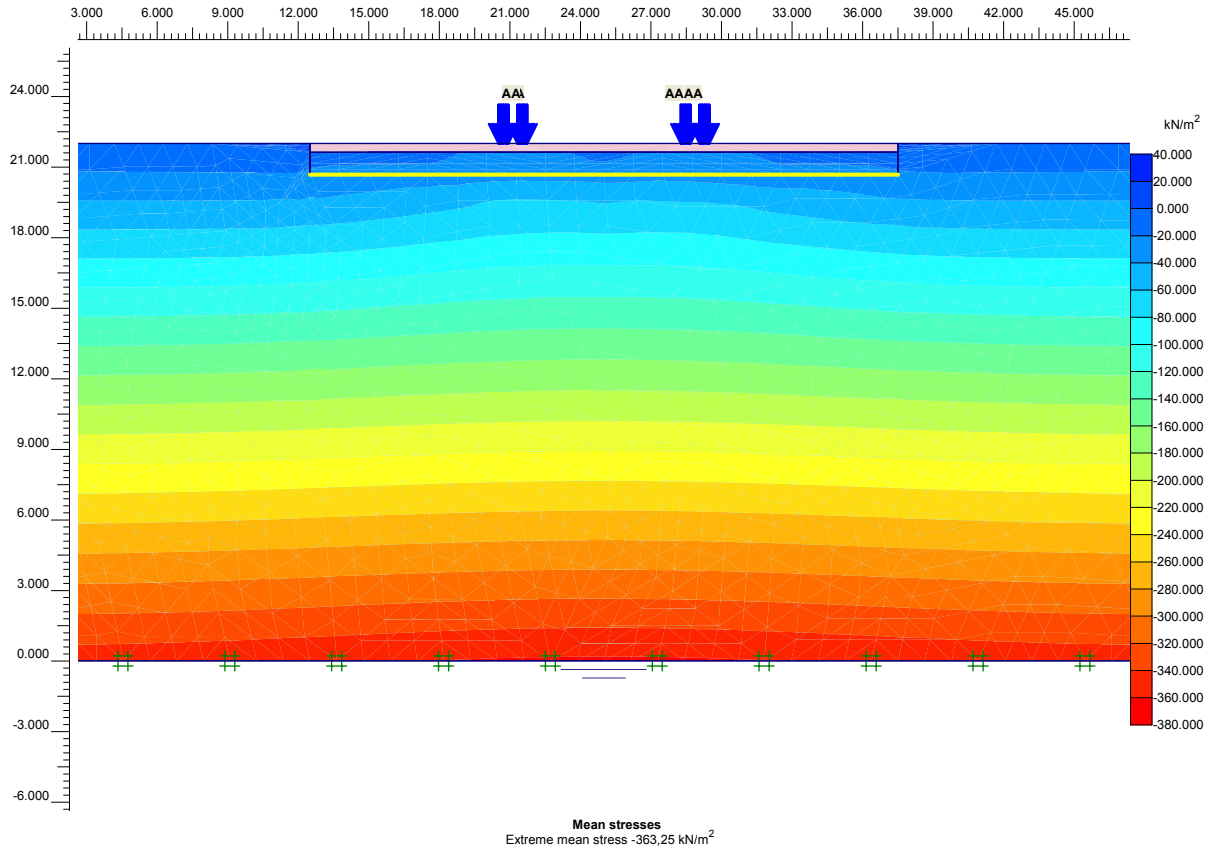


Şekil 5.18 Üçüncü tek donatılı durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi

Maksimum toplam gerilme $365,15 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur. Şekil 5.19 ve Şekil 5.20 yüzey kesiti üzerinde oluşan sistemin maksimum toplam gerilmelerini göstermektedir.

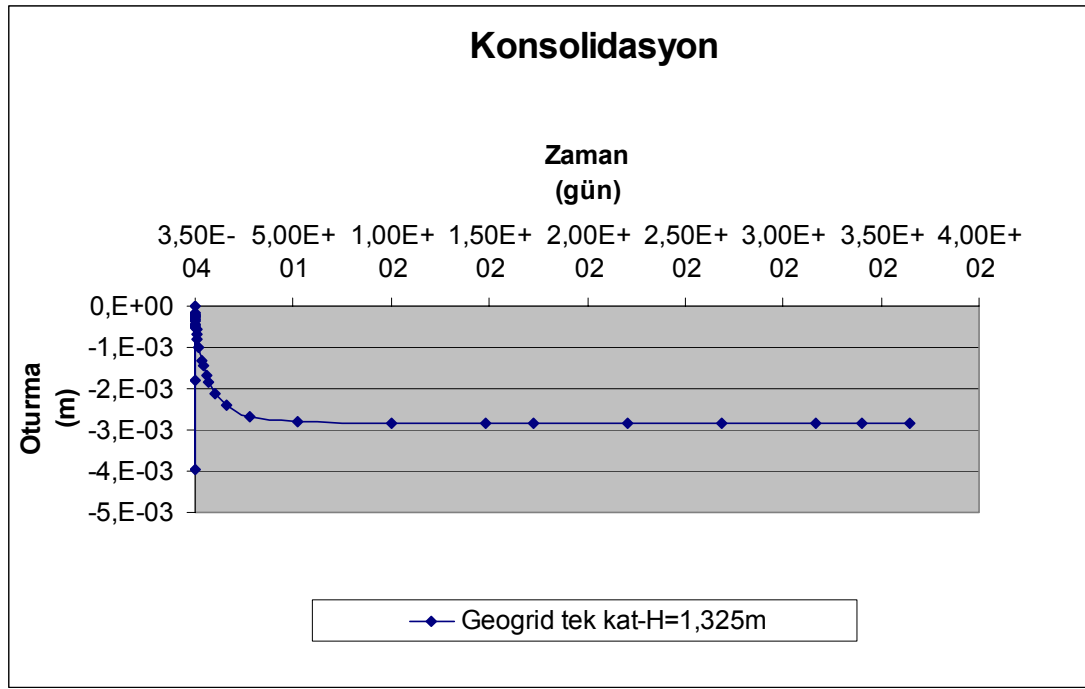


Şekil 5.19 Üçüncü tek donatılı durum yüzey kesiti toplam gerilme grafiği

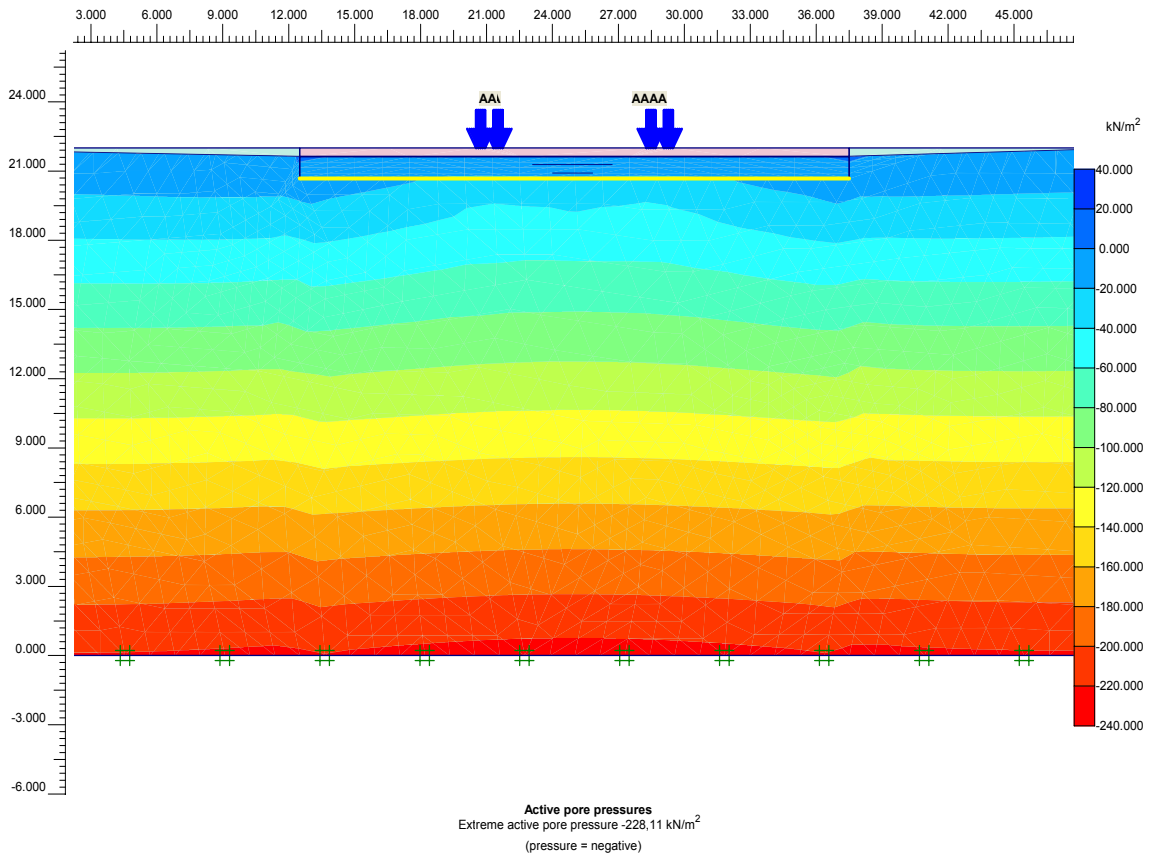


Şekil 5.20 Üçüncü tek donatılı durum toplam gerilme diyagramı

Üçüncü tek donatılı duruma ait konsolidasyon eğrisi Şekil 5.21 teki gibi oluşmuştur. Bu eğriden görülebileceği bir senelik süre sonunda 1,74 mm lik bir oturma oluşmaktadır. Şekil 5.22 da ise aktif boşluk basıncı görülebilmektedir. Bu duruma göre maksimum boşluk basıncı $226,43 \text{ kN/m}^2$ olarak gözlenmiştir.

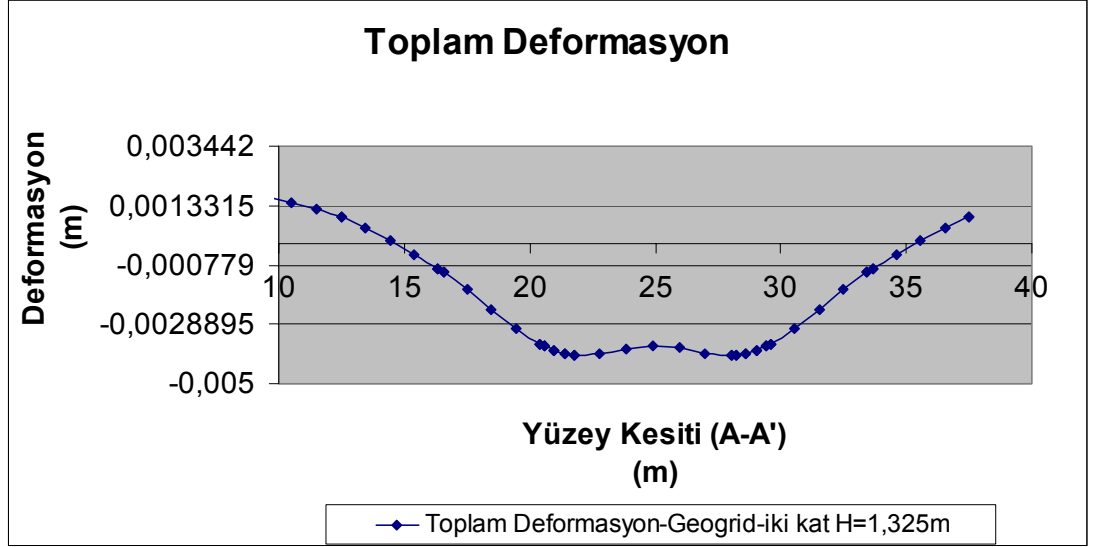


Şekil 5.21 Üçüncü tek donatılı durum konsolidasyon eğrisi

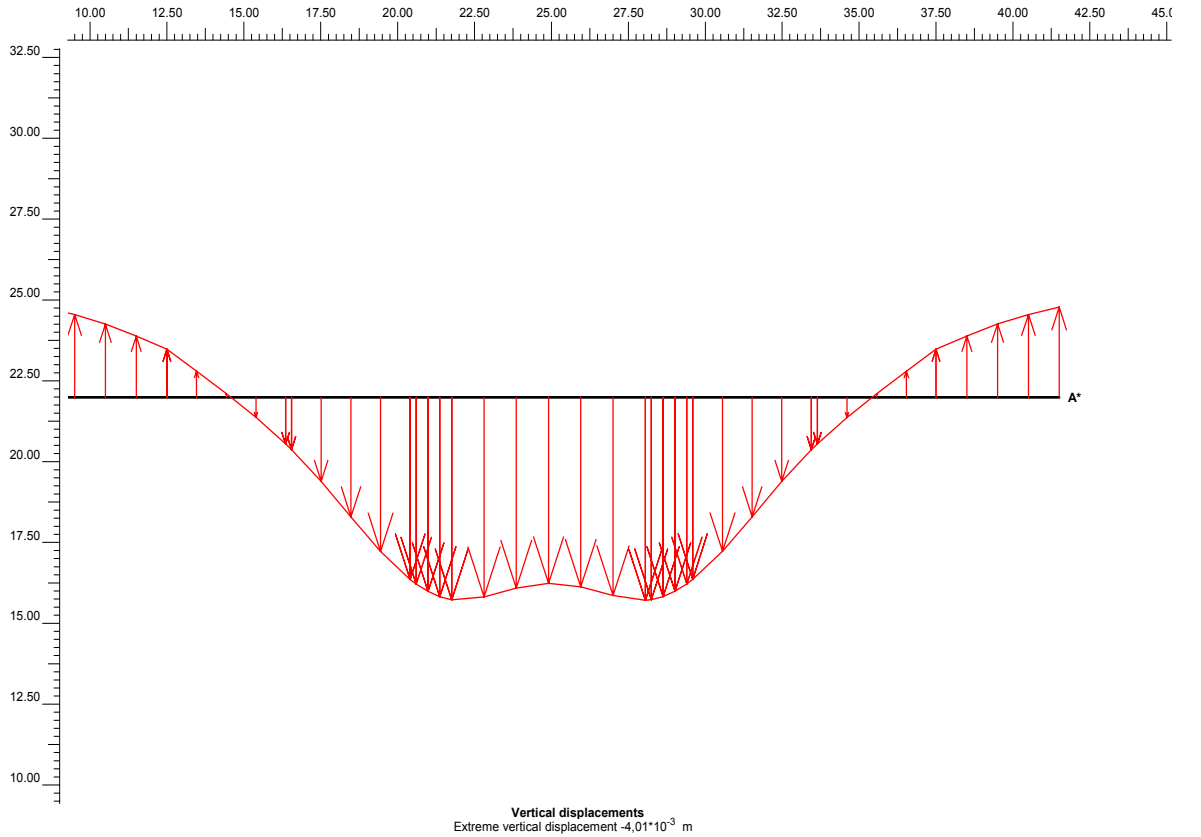


Şekil 5.22 Üçüncü tek donatılı durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi

Dördüncü ve son durum olan iki donatılı durumdan elde edilen toplam oturma miktarını gösteren deformasyon-kesit grafiği Şekil 5.23 ve program çıktısı Şekil 5.24 de gösterilmektedir. Maksimum oturma miktarı üçüncü durum için 4,01 mm dir.

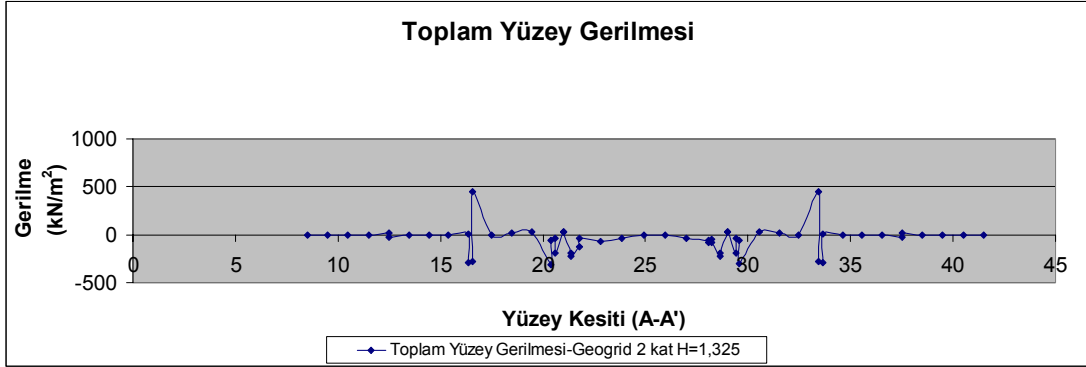


Şekil 5.23 Dördüncü iki donatılı durum toplam deformasyon-kesit grafiği

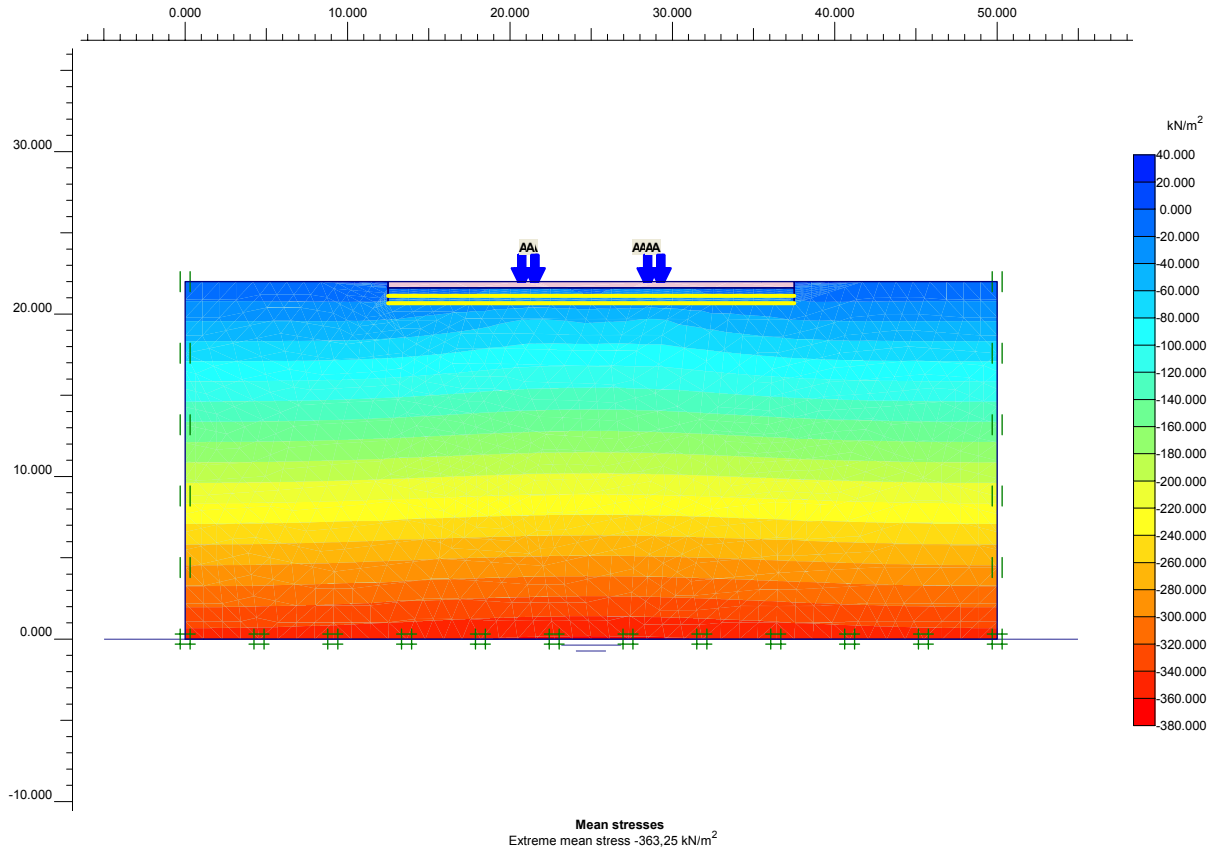


Şekil 5.24 Dördüncü iki donatılı durum yüzey kesiti deformasyon eğrisi

Maksimum toplam gerilme $364,48 \text{ kN/m}^2$ olarak bulunmuştur. Şekil 5.25 ve Şekil 5.26 yüzey kesiti üzerinde oluşan sistemin maksimum toplam gerilmelerini göstermektedir.

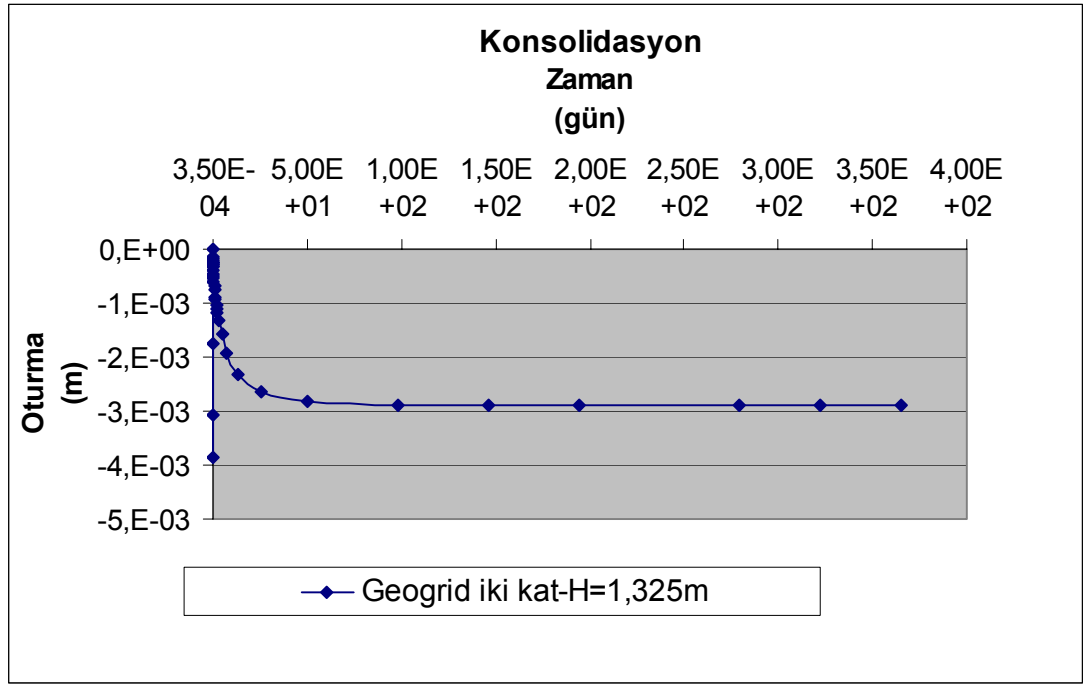


Şekil 5.25 Dördüncü iki donatılı durum yüzey kesiti toplam gerilme grafiği

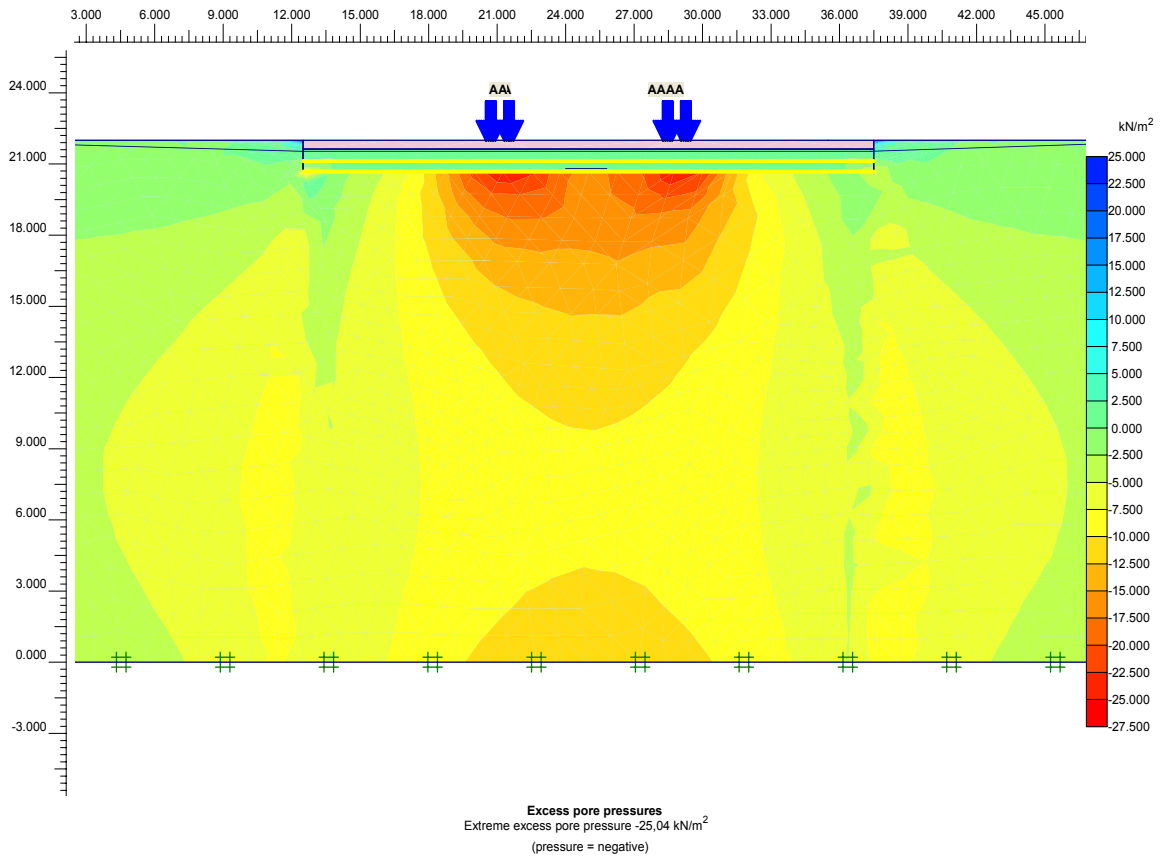


Şekil 5.26 Dördüncü iki donatılı durum yüzey kesiti toplam gerilme eğrisi

Dördüncü iki donatılı duruma ait konsolidasyon eğrisi Şekil 5.27 teki gibi oluşmuştur. Bu eğriden görülebileceği bir senelik süre sonunda 1,75 mm lik bir oturma oluşmaktadır. Şekil 5.28 da ise aktif boşluk basıncı görülebilmektedir. Bu duruma göre maksimum boşluk basıncı $224,57 \text{ kN/m}^2$ olarak gözlenmiştir.

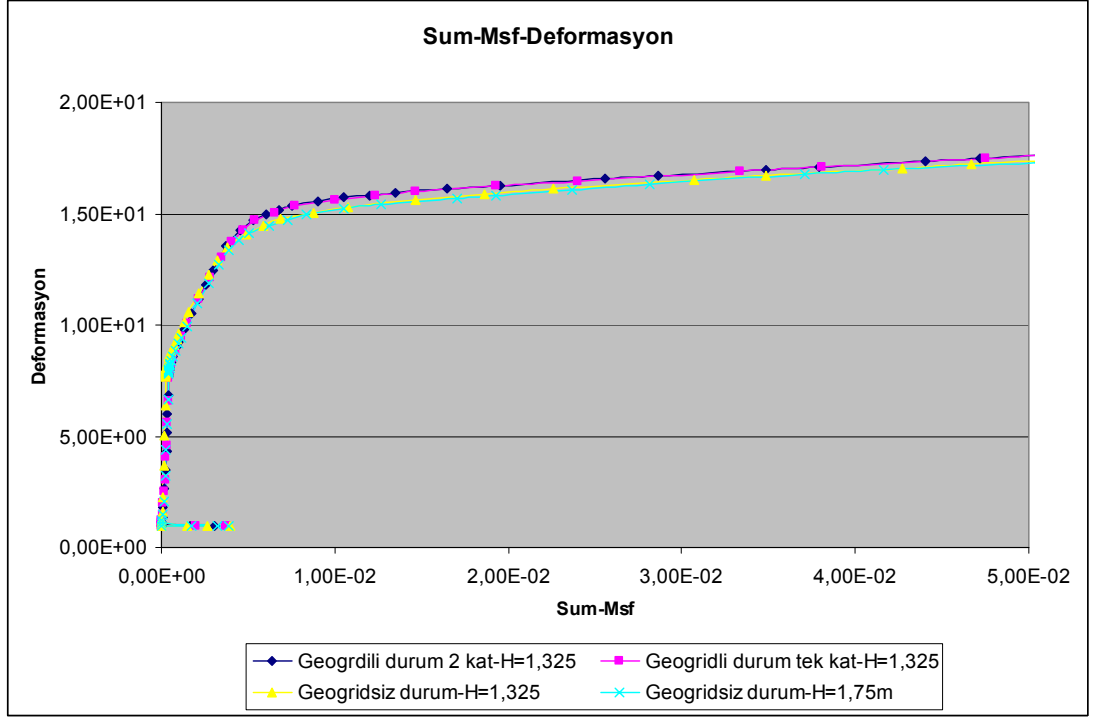


Şekil 5.27 Dördüncü iki donatılı durum konsolidasyon eğrisi

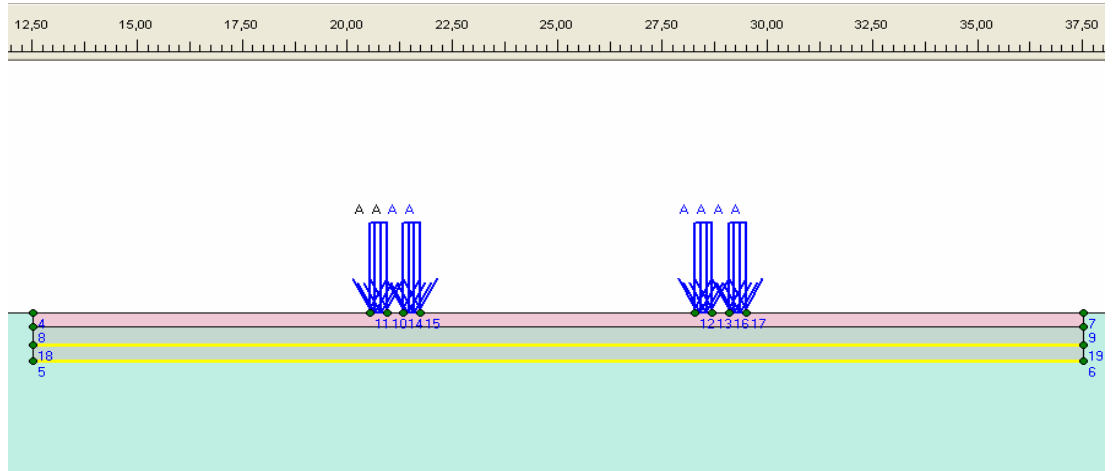


Şekil 5.28 Dördüncü iki donatılı durum aktif boşluk basıncı Plaxis gösterimi

Bütün durumlar için analizde “Phi/c reduction” hesap yöntemi ile güvenlik tahkiki yapılmıştır. Bu hesaplama adımında toplam Msf değeri güvenlik parametresini göstermektedir. Bu tahkik Şekil 5.29 da tüm durum lar için yapılarak aynı grafikte gösterilmiştir. Elde edilen sonuçta 2 kat olarak geogrid kullanılan durum en güvenli durum olduğu görülmüştür. Daha sonra tek donatılı durum, kalın kesitli durum ve en son kesit kalınlığı düşürülen durum takip etmektedir. Şekil 5.30 genel yükleme durumu için modellenmiş donatılı kesiti göstermektedir.



Şekil 5.29 Bütün durumlar için güvenlik tahkiki



Şekil 5.30 Genel modellenen donatılı kesit

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada hava alanları pist dolgularının geosentetikler ile donatılması incelenmiştir.

Geosentetikler, inşaat alt yapılarında kullanılan, bu imalatlarda tasarım kolaylığı ve maliyet düşmesi ve hız sağlamaktadır. Diğer eski yöntemlere göre daha avantajlı olduğu için günümüzde çok daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada temel olarak geosentetiklerin donatı olarak kullanılması esası üzerinde durulmuştur. Donatı amacı ile kullanılabilen geosentetikler, geogrid ve geotekstil olarak belirlenebilir. Geotekstiller çeşitli üretim yöntemleri ile elde edilen düzlemsel örtülerdir. Geogridler ise hasır şeklindeki delikli yapıya sahip sentetiklerdir. Üzerlerindeki geniş açıklıklardan ve fiziksel özelliklerinden dolayı zemin içinde genel olarak donatı amaçlı kullanılır.

Hava alanları esnek ve rijit olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Esnek kaplama bağlayıcı bir madde ile granüler malzemeler ile oluşmuş yüzey altında granüler temel ve alt temel tabaklarından oluşmaktadır. Rijit kaplamalarda, üst yüzey beton veya betonarme, diğer alt temel tabakalar ise granüler malzemelerden oluşmaktadır.

Geleneksel hesap yöntemlerinde hava alanlarında tabaka kalınlıklarına etkiyen başlıca etkenler;

- Uçağın iniş takımları ve geometrisi
- Lastik yük ve basınçları
- Trafik hacmi

olarak sayılabilir. Bu dolgularda geosentetikler ayırma, filtrasyon, drenaj ve donatı görevlerini üstlenebilirler. Ayırma işlevi ile granüler malzeme ve doğal zemin arasında malzeme yer değiştirmesi engellenir. Trafik yükleri altında zamanla granüler malzeme diğer yumuşak zemin içine gömülerek yok olucaktır. Buda üst

yüzeye deformasyon olarak yansıyacaktır. Filtrasyon işlevi ile zemin hareketi engellenip su hareketine izin verilmektedir. Drenaj işlevi ile zemin yeraltı suyunun geosentetikler vasıtası ile uzaklaştırma amaçlı taşınmasıdır. Donatı olarak kullanılarak geosentetikler, trafik yüklerine ek dayanım sağlar ve imalatın ömrü uzar, bu çalışmada da incelendiği üzere aynı yükler ile daha küçük kesitlerle taşınabilir veya aynı kesitler ile daha büyük yükler taşınabilir.

Dolgularda kullanılan geosentetiklerin iki çeşit çalışma prensibi vardır. Bunlar yatay kenetlenme ve membran etkisidir. Granüler malzeme ve temel tabakası arasındaki etkileşim sonucunda yatay mesnetlenme oluşmaktadır. Bu etkileşim geotekstillerde sürtünme ile geogridlerde ise zeminin geogrid açıklıklarına girerek kenetlenmesi ile oluşur. Membran etkisi ise geosentetiğin yükler altındaki deformasyonu ile oluşmaktadır. Bu mekanizmada belli bir yük değerine kadar deformasyon olmadığı için geosentetiğin özelliği ortaya çıkmaz. Dolgularda kalınlığı azaltmak amacı ile geosentetiklerin yatay kenetlenme mekanizması dikkate alınır.

Dolgularda granüler malzemeler ile kullanıldığı takdirde geogridlerin kenetlenme mekanizmasından ve fiziksel özelliklerinden dolayı daha işlevsel olduğu kanıtlanmıştır.

Bu çalışmada 72.000 kg lık maksimum ağırlığa sahip bir uçağın iniş takımı şekline ve geometrisine göre yükü hava alanı kaplamasına aktarması sonucu oluşan gerilmeler ve deformasyonlar, sonlu elemanlar programı plaxis te modellenerek geogridli ve geogridsiz dört durum için incelenmiştir. İncelenen durumlar geleneksel yöntemler ile hesaplanmış kaplama kalınlıklarını baz almaktadır. Bu durumlara göre geogrid kullanılarak yapılan modellemede granüler dolgu kalınlığı 95cm alınmış ve bu dolgu içine iki ayrı durum için tek ve iki sıra olarak geogrid yerleştirilmiştir. Dört ayrı durum için Plaxis kullanılarak tahkikler yapılmıştır. Birinci durum donatı kullanılmamış yüksek dolgu kalınlığındaki kesittir. Bu kesit geleneksel yöntemler sonucunda hesaplanarak tasarlanmış beton kaplama, temel ve alt temel tabakasından oluşmaktadır. İkinci durumda, yine geleneksel yöntemler ile tasarlanmış, iki kat geogrid donatı kullanımına göre temel ve alt temel kalınlığı belirlenmiş, donatı kullanılmamış kesittir. Üçüncü durumda ise kesit kalınlığı düşürülmüş ikinci durum için granüler temel dolgu tabakası altına tek kat olarak geogrid kullanılan durum incelenmiştir. Dördüncü ve son durumda ikinci durumda

incelenen kesitte tasarımlarındaki şekilde iki kat geogrid kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu tüm durumlar için oturma miktarları yakın olarak bulunmuştur. Fakat iki kat geogrid kullanılan durumdaki oturma miktarı en az olarak tespit edilmiştir. Doantı kullanılmadan kalın dolgu kesitine sahip ilk durum için elde edilen oturma miktarı 4,13 mm, iki kat geogrid kullanılarak daha ince kesitteki oturma miktarı 4,01 mm olarak bulunmuştur. Dolgu kalınlığı 42,5 cm düşürülmesine rağmen oturma miktarı azaldığı görülmüştür. Tüm durumlar için yapılan güvenlik tahkikinde donatı kullanılan durumun, en güvenli durum olduğu saptanmıştır. Ayrıca bütün bu durumlar için malzeme parametreleri değiştirilerek çeşitli analizler yapılmıştır. Kullanılan malzemelerin karakteristik özelliklerine bağlı parametreler, oluşturulan modellerdeki sonuçları ciddi şekilde değiştirmektedir. Bu sebepten yapılacak modellemede doğru malzeme parametrelerinin seçimi çok önemlidir.

Hava alanı pist temel dolgularında geogrid kullanımı ekonomik ve kolay uygulanabilmesi açısından gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Gelişen uçak teknolojisi ile daha büyük kapasiteli ve ebattaki uçakların üretilmesi kaçınılmazdır. Bu durum hava alanı pistlerinin daha yüksek yükelere göre tasarlanmasını gerektirmektedir. Günümüz koşulları artan inşaat maliyetleri ekonomik seçimlere yönelinmesini gerektirmektedir. Dolgu kalınlığındaki azalma, hem malzeme ve işçilik maliyetlerini, hemde zaman kazanılması açısından avantaj sağlamaktadır. Bugüne ait analizler sonucu geogridin projeye getirdiği maliyet, geogrid kullanılarak azaltılan dolgu kalınlığındaki dolgu malzemesinin maliyetine denk gelmektedir. Diğer bütün işçilik ve zaman maliyetleri geogrid kullanılarak kazanılmaktadır. Bu durum göstermektedir ki geosentetik donatı kullanımı ekonomik ve güvenli çözümler için alt yapı inşaatlarında gün geçtikçe kullanımını yaygınlaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Horonjeff, R. ve McKelvey, F.X.**, 1994. Planning and Design of Airports, McGraw-Hill, USA.
- [2] **www.faa.gov**, 2005.FAA resmi web sayfası.
- [3] **S. Durlanık 2003**. Hava Alanı Pistlerinde Temel Dolgusunun Geosentetik ile Donatılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, FBE, İstanbul.
- [4] **Koerner, M. R. 1998**. Design with Geosynthetics, Prentice Hall.
- [5] **Geosentetiklerin Özellikleri ve Tasarım İlkeleri**, 1994. B.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [6] **Geosynthetics Brochure, 2003**. Terram Limited, Great Britain.
- [7] **Department of the army US ARMY Corps of Engineers**, 2003. Washington DC.
- [8] **Design Guideline For Flexible Pavements With Tensar Geogrid Reinforced Base Layers, 1996**. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta.
- [9] **Tensar Technical Notes, Chemical and Mechanical Stabilization of Subgrades and Flexible Pavements,1998**. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA
- [10] **Robert D. Holtz, 2001**. “Geosynthetics for Soil Reinforcement” 9th Spencer J. Buchanan Lecture.
- [11] **Handbook of Geosynthetic, 2002**. Geosynthetic Materials Association, Minnesota, USA.
- [12] **Base Reinforcement-Product Equivalency, 2001**. Technical Note, Tensar Earth Technologies, Atlanta, USA.

- [13] **A. Serkan Emir, 2005.** Donatılı Zemin İstinat Duvarlarının Statik ve Dinamik Yüklere Göre Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, FBE.
- [14] **Bowles, E. J., 1997.** Foundation Analysis and Design, The McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore.
- [15] **Coduto, D. P., 1994.** Foundation Design Principles and Practices, Prentice Hall, California.
- [16] **Tensar Tools Cd, 2001.** Tensar International, Blackburn, UK.
- [17] **www.dhmi.gov.tr. 2005.** Devlet Hava Meydanları İşletmesi web sayfası.
- [18] **Airport Design, 1989.** AC 150-5300-13, Federal Aviation Administration, USA.
- [19] **Application Suggestions Documents, Tensar International, SKI031117A; 2003.** Engine Müm. Müh. San. ve Tic. (Tensar Türkiye Temsilciliği), İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Ankara’da doğdu. 1995 yılında Edirne Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 1996 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2001 senesinde İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Geoteknik Anabilim dalı yüksek lisans programına kayıt oldu.