

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YOL DOLGULARININ GEOGRİD KULLANILARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Başak ÇETİN KARAGÜL**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

**Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK
MÜHENDİSLİĞİ**

OCAK 2007

**YOL DOLGULARININ GEOGRİD KULLANILARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Başak ÇETİN KARAGÜL
(501031301)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Aralık 2006
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2007**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Mete İNCECİK
Diğer Jüri Üyeleri Doç. Dr. Recep İYİSAN
Doç. Dr. Ayşe ERDİNÇLİLER BAYKAL (B.Ü.)**

OCAK 2007

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, çift yönlü geogrid donatı kullanılarak ve kullanılmadan yapılan yol dolgusunun stabilite ve maliyet analizi açıklanmaktadır. Analiz programı olarak sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan Plaxis kullanılmıştır. Beş tip analiz yapılmıştır. Bunlardan dördü geogrid kullanarak biri ise geogrid kullanılmadan yapılmıştır. Geogrid kullanılmadan yapılan dolgu ile geogrid donatı kullanılarak yapılan dolgunun karşılaştırılmasında oturmalar, plastik noktalar ve maliyet analizi yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda geogrid donatılı sistemin geogrid kullanılmadan yapılan yol dolgusuna göre oturma değerlerinin daha az, daha stabil, daha ekonomik ve pratik olduğunu görülmüştür.

Yüksek lisans tez çalışmamda öncelikle büyük emeği geçen değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Mete İNCECİK ve Doç. Dr. Recep İYİSAN'a, tezdeki teknik destekleri için Karayolları 1. Bölgede benden yardımlarını esirgemeyen Cem DABAK'a çok teşekkür ederim. Ayrıca tezimi hazırlarken verdikleri manevi destek için eşim Remzi KARAGÜL, annem Jale ÇETİN, babam Metin ÇETİN ve kardeşim Bahar ÇETİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2006

Başak ÇETİN KARAGÜL

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|------------|
| ÖNSÖZ | ii |
| KISALTMALAR | v |
| TABLO LİSTESİ | vi |
| ŞEKİL LİSTESİ | vii |
| SEMBOL LİSTESİ | x |
| ÖZET | xi |
| SUMMARY | xii |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. GEOSENTETİKLERİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI | 3 |
| 2.1. Örgüsüz Geotekstilller | 6 |
| 2.2. Örgülü Geotekstilller | 7 |
| 2.3. Geogridler | 8 |
| 2.4. Geomembranlar | 8 |
| 2.5. Geonetler | 9 |
| 2.6. Geohücre | 10 |
| 2.7. Geokompozitler | 11 |
| 3. GEOGRİDLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ | 12 |
| 3.1. Geogrid Üretim Yöntemleri | 12 |
| 3.1.1. Ekstrüde yöntemi ile üretilen geogridler | 13 |
| 3.1.2. Dokuma ile üretilen geogridler | 14 |
| 3.1.3. Yapıştırma yöntemi ile üretilen geogridler | 14 |
| 3.2. Geogridlerin Nihai Çekme Mukavemeti Hesabı | 14 |
| 3.2.1. Sünme etkisi | 15 |
| 3.2.2. Uygulama hasarlarının etkisi | 16 |
| 3.2.3. Çevresel etkiler | 18 |
| 3.2.4. Tasarım güvenlik faktörü | 19 |
| 3.3. Geogridlerin Kullanım Alanları | 19 |
| 3.3.1. Geogridlerin şevlerde kullanımı | 19 |
| 3.3.2. Zayıf zeminlerde geogrid kullanımı | 23 |
| 3.3.3. Geogridlerin asfalt beton donatısı olarak kullanılması | 25 |
| 4. GEOGRİD DONATI İLE YOLLARIN İYİLEŞTİRİLMESİ | 28 |
| 4.1. Karayolları ile İlgili Tanımlar ve Geometrik Standartlar | 30 |
| 4.2. Yol İnşaatlarında Geogrid Etkisi | 35 |
| 4.2.1. Taşıma gücü | 35 |

| | |
|--|-----------|
| 4.2.1. Membran etkisi | 35 |
| 4.2.2. Yanal destek | 36 |
| 4.3. Yol Kaplamalarında Geogrid Yerleşim Yerleri | 37 |
| 4.4. Yol Yapılarında CBR Verilerine Göre Geogrid Kullanımı ve Bununla İlgili Deney Sonuçları | 38 |
| 4.5. Geogrid ile Yol Zemini İyileştirmede Tasarım İçin Gerekli Veriler | 39 |
| 4.5.1. Mevcut zemin özellikleri | 40 |
| 4.5.2. Dolgu malzemesinin özellikleri | 40 |
| 4.5.2.1 Proktor deneyi | 40 |
| 4.5.2.2 Arazide kompaksiyon | 42 |
| 5.SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YOL DOLGUSU TASARIMI | 43 |
| 5.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi | 43 |
| 5.2. Plaxis Sonlu Elemanlar Programı | 44 |
| 5.2.1. Verilerin girilmesi | 45 |
| 5.2.2. Hesap modülü | 47 |
| 5.2.3. Çıktı modülü | 49 |
| 5.2.4. Grafik modülü | 50 |
| 6. PLAXIS PROGRAMI İLE YOL İNŞAATI ANALİZİ | 51 |
| 6.1. Zemin, Dolgu ve Geogrid Özellikleri | 51 |
| 6.2. Geogrid Kullanılarak Yapılan Yol Dolgusunun Plaxis ile Analizi | 52 |
| 6.2.1. Yol dolgusu inşaatında 3 sıra geogrid kullanılarak yapılan çalışma | 54 |
| 6.2.2. Yol dolgusu inşaatında 2 sıra geogrid kullanılarak yapılan çalışma | 62 |
| 6.2.3. Yol dolgusu inşaatında toprak kazılmadan 2 sıra geogrid kullanılarak yapılan çalışma | 68 |
| 6.3. Geogrid Kullanmadan Yapılan Yolun Analizi | 73 |
| 6.4. Geogrid Donatılı Yollarda Şev Stabilitesi Analizi | 78 |
| 6.5. Maliyet Analizi | 81 |
| 6.6. Analizlerin Karşılaştırılması | 83 |
| 7. SONUÇLAR | 88 |
| 8. KAYNAKLAR | 90 |
| 9. ÖZGEÇMİŞ | 93 |

KISALTMALAR

| | |
|---------------|--|
| T.C. | : Türkiye Cumhuriyeti |
| CBR | : California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Gücü Oranı) |
| FHWA | : United States Federal Highway Administration (Birleşik Devletler Karayolları İdaresi) |
| MSEW | : Mechanically Stabilized Earth Walls (İstinat Duvarlarının Mekanik Stabilizasyonu) |
| MD | : Üretim yönü |
| CD | : Üretime dik yön |
| PVC | : Polivinilin |
| PP | : Polipropilen |
| HDPE | : Yüksek Yoğunluklu Polietilen |
| LDPE | : Düşük Yoğunluklu Polietilen |
| LLPDE | : Lineer Düşük Yoğunluklu Polietilen |
| VLDPE | : Çok Düşük Yoğunluklu Polietilen |
| TPO | : Termoplastik Olifin |
| U.V. | : Ultraviyole |
| UNESCO | : United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (Birleşik Devletler Eğitim, Bilim ve Kültür Kurumu) |
| ISO | : International Organization for Standardization (Uluslararası Standart Enstitüsü) |

TABLO LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|------------------------|
| Tablo 2.1. Polimer Malzeme Özellikleri | 3 |
| Tablo 2.2. Geosentetik çeşitleri | 4 |
| Tablo 2.3. Fonksiyonlarına göre geosentetikler | 5 |
| Tablo 3.1. Sünmeden ötürü oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı..... | 16 |
| Tablo 3.2. Uygulamada oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı | 17 |
| Tablo 3.3. Zemin içindeki kimyasalların polimer çeşitlerine etkileri..... | 18 |
| Tablo 4.1. Yollar için geometrik standartlar | 32 |
| Tablo 4.2. Otoyol geometrik standartları | 34 |
| Tablo 4.3. Standart ve modifiye proktor testinin özellikleri | 41 |
| Tablo 6.1. Zemin parametreleri | 51 |
| Tablo 6.2. Geogrid teknik özellikleri | 52 |
| Tablo 6.3. Geogridli ve geogridsiz yol dolgusunda birim fiyatlara göre maliyet analizi..... | 82 |
| Tablo 6.4. Geogrid donatı kullanarak ve kullanmadan yapılan analizlerin karşılaştırılması | 87 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 2.1 : Örgüsüz geotekstilin mikroskoptaki görünümü..... | 6 |
| Şekil 2.2 : Örgülü geotekstilin mikroskoptaki görünümü..... | 7 |
| Şekil 2.3 : İzmit’te yapılan bir çöplük arıtma tesisin yalıtımı | 9 |
| Şekil 2.4 : Geonet..... | 10 |
| Şekil 2.5 : Geohücre..... | 10 |
| Şekil 3.1 : Zemin – geogrid kenetlenmesi..... | 12 |
| Şekil 3.2 : Ekstrüde tek yönlü geogrid..... | 13 |
| Şekil 3.3 : Ekstrüde çift yönlü geogrid..... | 13 |
| Şekil 3.4 : Dokuma geogrid..... | 14 |
| Şekil 3.5 : Yapıştırma geogrid..... | 14 |
| Şekil 3.6 : Sünme testi laboratuvarından bir görüntü..... | 15 |
| Şekil 3.7 : Sünme deneyinin zemin içinde uygulanması..... | 16 |
| Şekil 3.8 : Üretim türüne göre uygulama hasarları..... | 17 |
| Şekil 3.9 : Bloklu duvar..... | 19 |
| Şekil 3.10 : 35 m yüksekliğinde duvar uygulaması, Tayvan Chung-Hsin Kasabası | 20 |
| Şekil 3.11 : Geogridli duvarlarda stabilite problemleri..... | 21 |
| Şekil 3.12 : Geogridli duvar temeli..... | 21 |
| Şekil 3.13 : İlk sıra geogrid serilmesi..... | 22 |
| Şekil 3.14 : Geogridli duvarda blok yerleştirilmesi | 22 |
| Şekil 3.15 : Geogridli duvar kompaksiyonu | 22 |
| Şekil 3.16 : İkinci sıra geogrid yerleşimi | 23 |
| Şekil 3.17 : Geogrid ile zemin iyileştirmesi..... | 24 |
| Şekil 3.18 : Dolgu zeminlerde göçme çeşitleri..... | 25 |
| Şekil 3.19 : Geogrid ile tünel uygulaması..... | 26 |
| Şekil 3.20 : Yolun hazırlanması | 26 |
| Şekil 3.21 : Geogridin yerleştirilmesi..... | 27 |
| Şekil 3.22 : Yol kaplamasının yapılması..... | 27 |
| Şekil 4.1 : Yol inşaatında geogrid kullanımı..... | 28 |
| Şekil 4.2 : Geogridin dolgu kalınlığı üzerindeki etkisi..... | 29 |
| Şekil 4.3 : Demiryolu ve havayolu inşaatlarında geogrid kullanımı..... | 30 |
| Şekil 4.4 : Yol en kesiti ve tabakaları..... | 31 |
| Şekil 4.5 : İki şeritli devlet yolları için geometrik standartlar..... | 33 |
| Şekil 4.6 : Taşıma gücüne etkisi..... | 35 |
| Şekil 4.7 : Zeminde membran etkisi..... | 36 |
| Şekil 4.8 : Yanal destek etkisi..... | 36 |
| Şekil 4.9 : Yol inşaatında geogrid yerleşim yerleri..... | 37 |
| Şekil 4.10 : Belirli yüklemelerdeki oturma grafiği..... | 39 |
| Şekil 4.11 : Proktor deneyinden elde edilen birim hacim ağırlık–su muhtevası ilişkisi..... | 41 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Şekil 5.1 | : Sonlu eleman..... | 43 |
| Şekil 5.2 | : Genel özellikler sayfası..... | 45 |
| Şekil 5.3 | : Genel özellikler ikinci sayfası..... | 46 |
| Şekil 5.4 | : Plaxis input ana ekranı..... | 46 |
| Şekil 5.5 | : Plaxis hesap modülünde birinci kademenin tanımlanması..... | 47 |
| Şekil 5.6 | : Toplam çarpanlar ile yük tanımlama..... | 48 |
| Şekil 5.7 | : Stabilite tahkiki..... | 49 |
| Şekil 5.8 | : Çıktı ekranı..... | 49 |
| Şekil 5.9 | : Grafik modülü..... | 50 |
| Şekil 6.1 | : Yol en kesiti..... | 52 |
| Şekil 6.2 | : Geogrid dolgu özellikleri..... | 53 |
| Şekil 6.3 | : Geogrid özelliklerinin Plaxis'e girilmesi..... | 54 |
| Şekil 6.4 | : 3 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti..... | 55 |
| Şekil 6.5 | : Plaxis programında tanımlanan 3 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti..... | 55 |
| Şekil 6.6 | : Sonlu elemanlar ağı..... | 56 |
| Şekil 6.7 | : Başlangıç koşulları..... | 56 |
| Şekil 6.8 | : 3 sıra geogridli yol inşaatında hesap adımları..... | 57 |
| Şekil 6.9 | : 3 sıra geogrid donatılı yol inşaatında 1. sıra dolgu oturma değerleri..... | 58 |
| Şekil 6.10 | : 2. sıra geogrid serildikten sonra oturma diyagramı..... | 58 |
| Şekil 6.11 | : 3. sıra geogrid serildikten sonra oturma diyagramı..... | 59 |
| Şekil 6.12 | : 3 sıra geogridli dolguda maksimum oturma diyagramı..... | 60 |
| Şekil 6.13 | : 3 sıra geogridli dolguda efektif gerilme diyagramı..... | 60 |
| Şekil 6.14 | : 1. sıra geogride gelen yükler..... | 61 |
| Şekil 6.15 | : 2. sıra geogride gelen yükler..... | 61 |
| Şekil 6.16 | : 3. sıra geogride gelen yükler..... | 62 |
| Şekil 6.17 | : 3 sıra geogridli yol dolgusundaki plastik noktalar..... | 62 |
| Şekil 6.18 | : 2 Sıra geogrid donatılı yolun en kesiti..... | 63 |
| Şekil 6.19 | : Plaxis programında tanımlanan 2 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti..... | 63 |
| Şekil 6.20 | : 2 sıra geogridli sistemde hesap adımları..... | 64 |
| Şekil 6.21 | : 2 sıra geogrid donatılı sistemde 1. sıra dolgu kademesi oturma diyagramı..... | 65 |
| Şekil 6.22 | : 2. dolgu kademesinden sonra oturma..... | 65 |
| Şekil 6.23 | : Yükleme yapıldıktan sonraki oturma..... | 66 |
| Şekil 6.24 | : 2 sıra geogrid donatılı sistemde efektif gerilmeler..... | 66 |
| Şekil 6.25 | : 1. sıra geogride gelen yükler..... | 67 |
| Şekil 6.26 | : 2. sıra geogride gelen yükler..... | 67 |
| Şekil 6.27 | : 2 sıra geogrid donatılı yol dolgusundaki plastik noktalar..... | 68 |
| Şekil 6.28 | : Toprak kazılmadan 2 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti..... | 68 |
| Şekil 6.29 | : Plaxis programında toprak kazılmadan 2 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti..... | 69 |
| Şekil 6.30 | : Hesap adımları..... | 69 |
| Şekil 6.31 | : İlk sıra geogrid serildikten sonra oturma..... | 70 |
| Şekil 6.32 | : İkinci sıra geogrid serildikten sonra oturma..... | 70 |
| Şekil 6.33 | : Yüklemeden sonraki oturma diyagramı..... | 71 |
| Şekil 6.34 | : Yüklemeden sonraki efektif gerilmeler..... | 71 |
| Şekil 6.35 | : 1. sıra geogride gelen yükler..... | 72 |
| Şekil 6.36 | : 2. sıra geogride gelen yükler..... | 72 |

| | | |
|-------------------|---|----|
| Şekil 6.37 | : 2 sıra geogrid donatılı sistemde plastik noktalar..... | 73 |
| Şekil 6.38 | : Geogrid donatısız yolun en kesiti..... | 74 |
| Şekil 6.39 | : Plaxis Programında geogrid donatısız yolun en kesiti..... | 74 |
| Şekil 6.40 | : Geogrid donatısız yolun hesap modülü..... | 75 |
| Şekil 6.41 | : Geogrid donatısız durum alt temel oturma diyagramı..... | 75 |
| Şekil 6.42 | : Geogrid donatısız durum temel oturma diyagramı..... | 76 |
| Şekil 6.43 | : Geogrid donatısız durum toplam oturma diyagramı..... | 76 |
| Şekil 6.44 | : Geogrid donatısız durumda gerilme diyagramı..... | 77 |
| Şekil 6.45 | : Geogrid donatısız durumda plastik noktalar..... | 77 |
| Şekil 6.46 | : Şev stabilitesi hesabında kullanılan yolun en kesiti..... | 78 |
| Şekil 6.47 | : Plaxis programında yolun en kesiti..... | 78 |
| Şekil 6.48 | : Hesap adımları..... | 79 |
| Şekil 6.49 | : Şev stabilitesi analizinde oturma değerleri | 80 |
| Şekil 6.50 | : Şev stabilitesi güvenlik değeri..... | 80 |
| Şekil 6.51 | : Yol dolgusu kesiti geometrileri..... | 83 |
| Şekil 6.52 | : Oturma karşılaştırma..... | 84 |
| Şekil 6.53 | : Oturma – inşaat kademeleri..... | 85 |
| Şekil 6.54 | : Plastik noktalar..... | 86 |

SEMBOLLER

| | |
|---|---|
| P | : Tasarımda kullanılacak çekme gerilmesi |
| T_{üretici} | : Üreticinin verdiği çekme gerilmesi |
| FS_{sünme} | : Sünme güvenlik faktörü |
| FS_{uygulama hasar etkileri} | : Uygulamada meydana gelebilecek hasarlara karşı güvenlik faktörü |
| FS_{çevresel etkiler} | : Çevresel etkilere karşı güvenlik faktörü |
| FS_{tasarı} | : Donatılı duvarlarda tasarım güvenlik faktörü |
| D₅₀ | : Elek analizinde danelerin %50'den küçük çap değerleri |
| h | : Geogridden itibaren yükseklik |
| d | : Tabaka kalınlığı |
| φ | : Kalıp çapı |
| V | : Kalıp hacmi |
| w | : Su muhtevası |
| ρ | : Kuru yoğunluk |
| γ_{unsat} | : Kuru birim hacim ağırlığı |
| γ_{sat} | : birim hacim ağırlığı |
| k_x, k_y | : Permabilite |
| E₅₀ | : Elastisite modülü |
| v | : Poisson oranı |
| c | : Kohezyon |
| φ | : İçsel sürtünme açısı |
| ψ | : Dilatasyon açısı |
| E | : Elastisite modülü |
| A | : Geogrid kalınlığı |
| ΔH | : Nihai oturma |
| Δp | : Ortalama basınç artışı |
| m_v | : Hacimsel sıkışma katsayısı |
| H | : Tabaka kalınlığı |

ÖZET

Geosentetik malzemeler ile zemin iyileştirme uygulamaları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Günümüzde Geosentetikler ile hızlı ve ekonomik çözümler sunulmaktadır. Geosentetik ismi; polipropilen, polyester, polietilen gibi sentetik malzemelerden üretildikleri için sentetik ile zemin, yer anlamındaki Latince Geo'nun birleşmesi sonucu oluşur. Geosentetikler, örgülü ve örgüsüz geotekstiller, geogrid, geomembran, geonet, geohücre ve geokomposit olarak sınıflandırılabilir. Geosentetiklerin her biri farklı özelliklere sahip olduğundan farklı amaçlarda kullanılırlar. Geosentetikler hammaddelerine, yapım şekillerine göre farklılık gösterirler. İnşaat sektöründe hızla yaygınlaşan bu malzemelerin özelliklerinin nasıl ve neye göre değiştiğinin bilinmesi, teknik özelliklerinin incelenmesi ve buna göre seçilmesi gerekmektedir.

Geogridler, yüksek çekme mukavemetleri ve uzun ömürleri sayesinde donatılı duvar olarak, zemin iyileştirmelerde, asfalt ve beton donatısı olarak kullanılmaktadır. Zemin iyileştirme olarak ise geogrid ekonomik bir çözüm sunmakla beraber zeminde meydana gelecek farklı oturmaları azaltıp, taşıma gücünü arttırmaktadırlar. Yol inşaatlarında ise birim maliyetler düşürmekte ve yolda meydana gelebilecek oturma çatlaklarını geciktirmektedirler.

Bu çalışmada çift yönlü geogrid kullanılarak ve kullanılmadan yapılan yol dolgusunun stabilite ve maliyet analizi açıklanmaktadır. Analiz programı olarak sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan Plaxis kullanılmıştır. Beş tip analiz yapılmıştır. Bunlardan dördü geogrid kullanarak biri ise geogrid kullanılmadan yapılmıştır. Geogrid kullanılarak yapılan yol dolgusunda kullanılan dolgu malzemesi kum – çakıl karışımı olurken, geogrid kullanılmadan yapılan dolgu için kullanılan malzeme Karayolları Şartnamesinde belirtilen özelliklerde temel ve alt temel malzemesidir. Geogrid kullanılmadan yapılan dolgu ile geogrid kullanılarak yapılan dolgunun karşılaştırılmasında oturmalar, plastik noktalar ve maliyet analizi yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda geogridli sistemin geogrid kullanılmadan yapılan dolguya göre daha stabil, daha ekonomik ve pratik olduğunu görülmüştür.

SUMMARY

Applications in stabilization of soil by Geosynthetics have become widespread day by day. Nowadays quick and economical solutions with geosynthetics can be presented. The name of the geosynthetic is combination of the meaning of word *Geo* in Latin and *synthetics* that are produced from polypropylene, polyester and polyethylene. Geosynthetics can be classified as woven and nonwoven geotextiles, geogrids, geonets, geomembranes, geocells and geocomposites. As every type of geosynthetics has different properties, they are used for different purposes. They are differentiated according to their raw materials and the fabrication processes. They should be chosen in respect of their material properties.

Geogrids are used as reinforcement of walls, steep slopes, asphalt and concrete reinforcement and soil stabilization by means of their high tensile strengths, soil and aggregate interlock within the geogrid openings and long life durations. Especially geogrid reinforcement walls are preferred in highway embankments. In aspect of soil stabilization, geogrid offers an economical solution, besides they decrease the differential settlements, so they increase bearing capacity. They also reduce unit costs and delays the probable crack settlements in the roads.

In this study, stability and cost analyses of a highway embankments are explained by means of comparison of examples with and without geogrid. For the analyses, Plaxis that works as finite element method is used. In this study, five different analyses are worked. Four analyses are with geogrid and one of them is without geogrid. The geogrid fill material is sand-gravel mix, where without geogrid material used in fill fits the subbase material in Highway Specifications. If the comparisons of these two fills with or without geogrids are made, the settlement values are almost same whereas the amount of the fill material with geogrid is half of fill material without geogrid. So the results indicate that the system with geogrid is more economical and practical compared to system without geogrid.

1. GİRİŞ

Geosentetikler, geoteknik mühendisliği içinde günümüzde önemli rol oynamaktadır. 1960'larda örgüsüz geotekstil kullanılması ile başlayan bu akım, günümüzde tüm geosentetikler için geçerlidir. Geoteknik mühendisliği için yeni çözümler sunan geosentetikler ile ekonomik, hızlı ve kalıcı sistemler yapılmaktadır.

Geosentetiklerin hammaddesi polimerlerdir. Polimerler, polyester, polietilen, poliamid, polipropilen olarak dörde ayrılırlar. Geosentetiklerin üretiminde, kullanılacağı alana göre hammadde seçilmelidir. Hammadde ve üretim şekli geosentetiğin özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerdir.

Polimerlerden oluşan geosentetikler, geotekstiller, geogridler, geomembranlar, geonetler, geohücreler ve geokompozitlerdir. Geotekstiller örgüsüz ve örgülü olmak üzere ikiye ayrılırlar. Örgüsüz geotekstiller; drenaj, filtrasyon, ayırma ve koruma amaçlı kullanılırlar. Örgülü geotekstiller, ayırma, donatılı duvar ve zemin iyileştirmede kullanılırlar. Geomembranlar geçirimsizlik, geomatlar erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesi için kullanılırlar. Geohücreler, sınırlama, erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesi için kullanılırlar. Geogridler ise, donatılı duvar, zemin iyileştirme, asfalt ve beton donatısı olarak kullanılırlar.

Yol inşaatlarında, yol geçkisi belirlemek gün geçtikçe zorlaşmaktadır. Arazi değerlerinin artması, kamulaştırma sorunları, geometri ve yolun hizmet ömrü yol geçkisinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Yol geçkisi üzerinde bulunan yumuşak zeminler bu nedenle önemli bir sorun teşkil etmektedir. Bu durum ya pahalı zemin iyileştirme yöntemleri ile çözülmekte ya da zemine yapılacak dolgu miktarı artırılarak zemin iyileştirilmektedir.

Geogridlerin yol inşaatlarında kullanılması ile zeminin taşıma gücünü arttırması, membran etkisi ile oturmaları azaltması ve yanal deformasyonları kısıtlaması ile daha istikrarlı ve uzun ömürlü bir yol elde edilmesi mümkündür.

Bu çalışmada yolun ömrünü uzatacak, oturmaları azaltacak, yolun taşıma gücünü arttıracak ve diğer yöntemlere göre daha ekonomik olan geogrid donatılı yol dolgusu

projelendirilmekte ve maliyet analizi yapılmaktadır. Sistem geogrid donatılı yol dolgusu ve geogridsiz yol dolgusu olarak beş şekilde sonlu elemanlar metodu ile çalışan Plaxis programı ile çözülmüştür.

Plaxis programı sonuçlarına göre maliyet analizi yapılmıştır. Karayollarında kullanılan dolgu oldukça pahalıdır. Dolguda geogrid kullanılması durumunda granülometri özelliği olarak daha ucuz bir malzeme seçilebilir. Bu da geogrid donatılı dolgunun maliyetini düşürmektedir. Ayrıca burada en önemli nokta geogrid donatı kullanımı ile dolgu kalınlığının %40 oranında azalmış olmasıdır. Bu hem uygulama açısından hem de maliyet açısından önemli bir avantajdır.

Bu çalışmanın 2. Bölümünde geosentetikler ve kullanım alanları açıklanmış, Bölüm 3'de geogridin üretim yöntemleri, nihai çekme gerilmesi hesabı ve kullanım alanları ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Bölüm 4'de ise karayolları yol geometrik standartları, geogridin yol kesitine kazandırdıkları, zemin ve dolgu özelliklerine göre geogrid kullanımı açıklanmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi ve hesaplarda kullanılan Plaxis programı Bölüm 5'de, bu program ile geogrid kullanılarak ve kullanılmadan yapılan yol dolgusu ve maliyet analizi ise 6. Bölüm'de detayları ile açıklanmıştır. Yapılan analizlerin karşılaştırılması ise sonuç bölümü olan 7. Bölüm'de bulunmaktadır.

2. GEOSENTETİKLERİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM ALANLARI

Geosentetikler, inşaat mühendisliği ile ilgili alanlarda zeminin performansını arttırmak için kullanılan, pratik ve ekonomik çözümler sunan, sentetik polimer bazlı malzemelerdir. Monomerlerin kimyasal işlemler altında birleştirilip moleküler zincirler oluşturması sonucu polimerler oluşur. Polimerlerin içeriğine katılan farklı kimyasallar ile farklı polimerler elde edilebilir. Polipropilen, polietilen, polyester, poliamid (halk arasında bilinen adı ile naylon) ve polivinilin (PVC) en bilinen geosentetik hammaddeleridir. Polimer çeşitleri ve özellikleri Tablo 2.1’de verilmiştir [1].

Tablo 2.1: Polimer malzeme özellikleri [1]

| Polimer Grubu / Özellikler | Polipropilen | Polyester | Polietilen | Poliamid |
|----------------------------|--------------|-----------|------------|----------|
| Çekme Dayanımı | • | ○ | • | • |
| Kopma Uzaması | ○ | • | ○ | • |
| Elastisite Modülü | • | ○ | • | • |
| Birim Ağırlık | • | ○ | • | • |
| Sünme | ○ | • | ○ | • |
| Maliyet | • | ○ | • | • |
| U.V. Dayanımı | • | ○ | • | • |
| Alkali Dayanımı | ○ | • | ○ | ○ |

○ Yüksek

• Düşük

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi, polipropilen düşük yoğunluğa sahip, oksidasyona karşı hassastır. Uygun katkı maddesi seçimi ile ömrü 200 yıla kadar uzayabilir. Polyesterler ise kolay şekil değiştirebilir, sünmeye karşı dayanıklıdır. 200°C’ye kadar mekanik özelliklerini korur. Su emme özellikleri vardır. Deniz suyuna, asitlere ve solventlere karşı dirençli bir hammaddedir. Polietilen kolay alev almasına karşın düşük ve orta konsantrasyondaki kimyasallara dayanıklıdır. Polietilen sudan hafiftir. Üretim şekline göre üçe ayrılır. LDPE (düşük yoğunluklu polietilen), LLPDE (lineer düşük

yoğunluklu polietilen), ve HDPE (yüksek yoğunluklu Polietilen). İlk geliştirilen polietilen olan LDPE esnektir ve su buharını geçirmez. HDPE LDPE'ye göre daha rijit, sert, güçlü ve kimyasal direnci fazladır. Poliamidler ise aşınmaya dirençleri yüksek, kimyasal durağanlığı yüksek, yanabilirliği düşüktür. Fakat sürekli suya maruz kaldıklarında mekanik özelliklerinde belirgin düşüş yaşanabilir [1].

Geosentetik genel isimleri olmakla beraber fiziksel özelliklerine ve kullanım amacına göre farklı geosentetikler kullanılır. Tablo 2.2'de geosentetiklerin çeşitleri görülmektedir.

Tablo 2.2: Geosentetik çeşitleri [11]

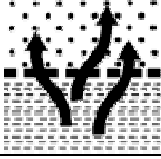
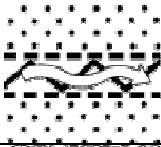
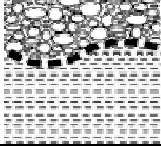
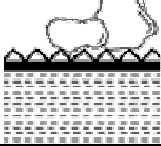
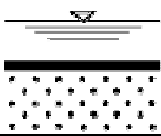
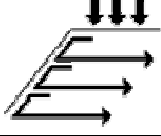
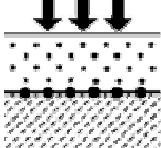
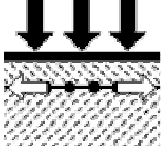
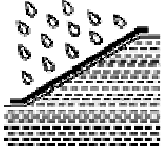
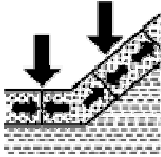
| | |
|--|---|
| Geotekstilller | Örgüsüz Örgülü |
| Geomembranlar | Sentetik (HDPE, PP, PVC, vs.) Bitümlü Bentonitli |
| Geogridler | Ekstürüde geogrid Dokuma geogrid Yapıştırma geogrid |
| Geonetler | |
| Geomatlar | |
| Geohücreler | |
| Geokompozitler | |
| Biomatlar (samanlı, hindistan cevizli, pamuklu, vs.) | |
| Bionetler (hint keneviri) | |

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi 9 çeşit farklı amaç için geosentetik vardır. Geosentetik çeşitleri üretim şekline göre kendi içinde de parçalara ayrılabilir. Günümüzde biyolojik malzeme katkılı geosentetikler de üretilip kullanılmaktadır.

Geosentetiklerin uygulama alanları; drenaj, ayırma, filtrasyon, güçlendirme, koruma ve yalıttır. Geosentetikler belirli özellikleri yardımı ile bu işlevleri gerçekleştirirler. Tablo 2.3'de hangi geosentetiklerin fonksiyonlarına göre kullanım alanları verilmektedir [11].

Aşağıdaki tablodan da görüldüğü gibi örgüsüz geotekstil, filtrasyon ve koruma amaçlı kullanılırken geomembran geçirimsizlik amaçlı, örgülü geotekstil ayırma, zemin iyileştirme ve donatılı duvar; geogrid ise donatılı duvar, zemin iyileştirme ve beton asfalt donatısı olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.3: Fonksiyonlarına göre geosentetikler [11]

| FONKSİYON | | ÇEŞİT | TANIM |
|---------------------------------------|---|--|--|
| Filtrasyon |  | Geokomposit, örgüsüz geotekstil | Sıvı geçişine izin verir, zemin danelerini geçirmemek |
| Drenaj |  | Geonet, geonet, geokomposit, | Sıvının taşınması |
| Ayırma |  | Geotekstil, geokomposit | İki malzemenin ya da zeminin karışmasını engellemek |
| Koruma |  | Örgüsüz geotekstil, geonet, geokomposit | Yapının zarar görmesini önlemek amaçlı |
| Geçirimsizlik |  | Geomembran, geokompozitler | Sıvı bariyeri |
| Donatılı duvar |  | Tek yönlü geogridler, örgülü geotekstilller | Zemine gelecek çekme kuvvetini karşılamak |
| Zemin iyileştirme |  | Çift yönlü geogrid, örgülü geotekstil, geokomposit | Taşıma gücünü arttırmak |
| Asfalt ve beton donatısı |  | Çift yönlü geogrid | Gelebilecek çekme kuvvetini karşılamak |
| Erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesi |  | Geomat, geohücre, biomat, bionet | Rüzgâr, yağmur gibi etkilerden zeminin taşınmasını ve ayrılmasını önlemek |
| Sınırlama |  | Geohücre | Zemin kütlelerinin yanal hareketlerini önlemek |

2.1 Örgüsüz Geotekstiller

Örgüsüz geotekstil üretiminde kullanılan Şekil 2.1’de görüldüğü gibi elyaflar binlerce filamentten oluşurlar. Bu filamentlerin bir araya getirilmesi mekanik, kimyasal ve termik olarak üç farklı metot ile yapılabilir. Mekanik üretimde iğnelerin yukarı- aşağı hareketi ile ilerleyen polimerlerin birbirine karışması sağlanır. İğneler 75 mm uzunluğunda ve üzerlerinde 3–4 kanca bulunur. İğneleme ile elyaflar arasında mekanik bir bağ oluşur. Mekanik üretimle yüksek yoğunluklu ve kalın geotekstil elde edilir. Kimyasal üretimde akrilik yapıştırıcıların püskürtülüp fırınlanması sonucu üretilirler. Geotekstili tekrar gözenekli yapısına kavuşturmak için havayla kurutma uygulanmalıdır. Termik yönteminde ise elyafların birleşim noktaları eritilip elde edilen yapışkanlık ile polimerler merdanelerin arasından geçirilerek birbirlerine bağlanırlar. Elde edilen geotekstil görünüşte sert ve yoğundur. Bu tip üretimde düşük yoğunluktaki malzemeye yüksek dayanım verilebilir [1].



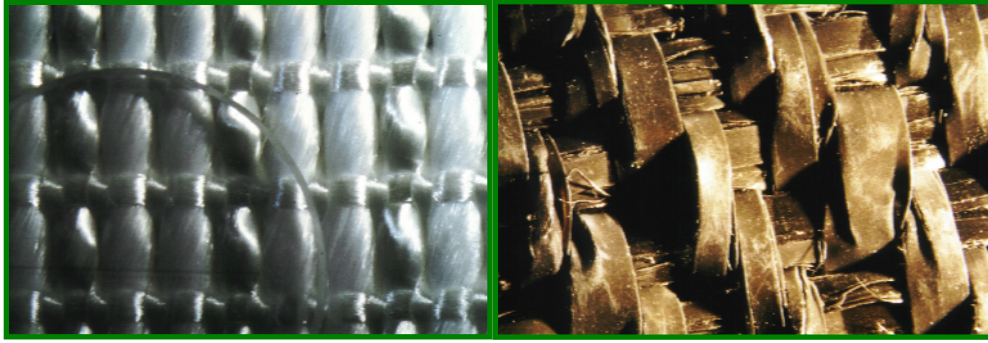
Şekil 2.1 : Örgüsüz geotekstilin mikroskoptaki görünümü

Örgüsüz geotekstillerin kullanım alanları filtrasyon, ayırma, drenaj ve korumadır. Geotekstilin filtrasyon özelliği sayesinde suyun geçişine izin verir ancak buna karşın en küçük dane çaplı zemini tutarak geçmesine izin vermez. Örgüsüz geotekstil, kendi düzlemi boyunca sıvıyı istenilen yöne doğru taşır. Geotekstilin filtre özelliği günümüzde binaların drenaj sistemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Arasına

yerleştirdiğiniz örgüsüz geotekstil ile ince daneli zemin ile kaba taneli zemini birbirinden ayırmış olursunuz. Bu özelliği ile geotekstil yol inşaatlarının vazgeçilmez bir öğesi olmuştur. Örgüsüz geotekstil gerilme ve deformasyonları azaltarak ya da yayarak koruma malzemesi olarak da kullanılabilirler.

2.2 Örgülü Geotekstiller

Örgülü Geotekstillerde polimerlerden üretilirler. Ergitme işlemi ile elde edilen fiberler, soğutularak sertleştirilirler. Sertleştirme işleminden hemen sonra ise çekmeye tabi tutulurlar. Bu işlem fiber çapını azaltırken aynı zamanda fiber moleküllerinin daha düzenli sıralanması yani mukavemeti artar. Yüksek mukavemete sahip fiberler bundan sonra geleneksel dokuma tezgâhlarında dokunarak üretilirler. Üretimde bir yöndeki şitlerin arasına dik istikamette şitler geçirilir. Bu işlem sonucunda şekil 2.2'deki gibi örgülü geotekstil elde edilir.



şekil 2.2 : Örgülü geotekstilin mikroskoptaki görünümü

Örgülü geotekstil kullanım alanları güçlendirme ve ayırma amaçlı kullanılırlar. İnce daneli zemin ile kaba daneli zeminin yüksek yükler altında birbirine karışmaması için örgülü geotekstil kullanılabilir. Böylece, üst yapıdan gelen dinamik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımı önlenmiş olur. Özellikle yol inşaatlarında alt temel malzemesinin düşük taşıma kapasiteli zemin içerisine girmesi, zemin içerisindeki ince daneli malzemelerin ise yük altında boşluk suyu basıncının da etkisiyle alt temele dolması engellenmiş olur. Örgülü geotekstil ile zemin güçlendirmesi ile zemin taşıma gücünün artması ve deformasyonların azalması sağlanır [2].

2.3 Geogridler

Hammaddesi polimer olan yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilenden üretilirler. Geogridler üretim şekline göre üçe ayrılır. Ekstrüde geogridler plakaların delinip belirli sıcaklıklarda çekilmesi ile geogridler elde edilir. Dokuma tezgâhlarında istenilen mukavemete göre polyester ipliklerin örülmesi ile üretilenlere dokuma geogridler denir. Polimer şeritlerinin lazer ya da ısıl işlem ile birbirine dik olarak yapıştırılması ile üretilenler ise yapıştırma geogridlerdir [3].

Geogridler istinat yapılarında donatı olarak, zemin iyileştirme yöntemi olarak veya asfalt ya da beton donatısı olarak kullanılabilir. Donatılı duvar, geogridin çekme mukavemetinden ve zemin ile kenetlenmesinden yararlanılarak yapılır. Duvarlar dik olarak bloklar yardımı ile yapılabileceği gibi, istenilen eğimde de yapılabilir. Geogridli donatıların avantajları kullanılacak dolguya göre tasarım yapılabilmesi, hızlı ve ekonomik olmasıdır. Zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanılan geogrid ile hem oturmalar kısıtlanır hem de zeminin taşıma gücünü artırır. Diğer yöntemlere göre de ekonomiktir. Asfaltta oluşacak çatlakların geciktirmede hatta önlemede kullanılan bir yöntemdir.

2.4 Geomembranlar

Geomembran hammaddesi üç şekilde işlenebilir. Hammadde olarak PVC, TPO, PP, HDPE, VLDPE ve LLDPE kullanılabilir. En basit tipi olan katkı takviyesiz geomembran üretimidir. Kullanılan hammaddeler harmanlanıp, karıştırılır. Plakalar haline getirilen geomembran çekilip silindirik olarak sarılır. Çekilme işlemi sırasında malzeme eriyerek homojen bir hal alır. Hava kabarcıkları ise vakum yardımı ile alınır. İkinci üretim tekniği diğerine göre daha zordur. Geomembran üretimi için birkaç tabaka bir araya getirilir. Aralarına polyester veya naylon iplikten kumaşlar konulup tabakalar birbirine bağlanır. Yüzeysel kaplama yöntemi üçüncü üretim şeklidir. Bu metoda iğneli örgüsüz geotekstil erimiş polimerle birleştirilir. Tabaka adezyonu bakımından en iyi neticeyi bu üretim verir [2].

Şekil 2.3’de Türkiye’de bir çöplük arıtma tesisinin geçirimsizliğini sağlamak amacı ile geomembran kullanılması görülmektedir. Aynı zamanda ülkemizde de geosentetiklerin kullanımının yaygınlaşmasına iyi bir örnektir.



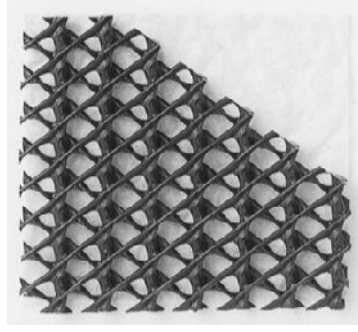
Şekil 2.3 : İzmit'te yapılan bir çöplük arıtma tesisin yalıtımı

Geçirimsizlik amaçlı kullanılan geomembranlar günümüzde büyük önem kazanmışlardır. Su izolasyonundan kimyasal madde izolasyonuna kadar birçok alanda geçirimsizlik için kullanılırlar. Kullanım yerlerinden bazıları; katı atık sahaları, göletler, asit havuzları, tank sahaları, atık su arıtma tesisleri, su kanalları, tüneller, temeller ve çatılardır.

2.5 Geonetler

Yaklaşık bütün geonetler polietilenden üretilir. Geonet üretiminde yardımcı malzeme olarak %1–2 karbon siyahı, %0.5–1 diğer malzemeler kullanılır. Üretimi ise öncelikle kullanılacak hammaddeler eritilip karıştırılır. Karışım bir tezgâha yollanır. Tezgâhın üzerinde bulunan dönen aparat sayesinde iki doğrultuda nervürler oluşturur. Bu yarı katı madde şişe şeklindeki artan çapa sahip bir boruya geçirilir. Açıları 70–110 derece olan elmas şeklinde açıklıklar oluşur. Borudan çıkan geonet soğutucu tank yardımı ile soğutulur. Boyuna doğrultuda kesilerek geonetin son şekli verilmiş olur [2].

Şekil 2.4'de görülen geonet yukarıda anlatılan yöntemle üretilmiş olup, uygulamasında genellikle örgüsüz geotekstille beraber kullanılması tavsiye edilir.

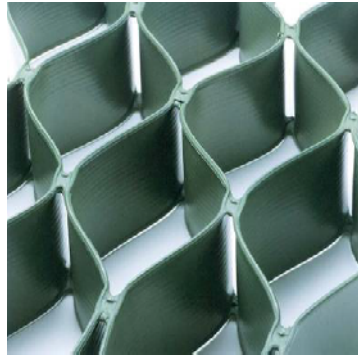


Şekil 2.4 : Geonet [11]

Drenaj ve ayırma amaçlı kullanılan geonetler daima üst ve alt yüzeyine yerleştirilmiş geotekstil, geomembran ya da diğer geosentetikler ile kullanılır. Geonetler, birbirine paralel kanalları sayesinde yüksek akış kapasitesine sahiptir. Drenaj ve yük dağıtma özelliklerinden yararlanılarak geonet ile iyi bir drenaj sistemi elde edilir. Ayırma amaçlı olarak ara tabakaya örgüsüz geotekstil ile serilen geonet sayesinde tabakalar birbirine karışmamış olur. Aynı zamanda suyun birikmesini engellediği için iyi bir drenaj da yapılmış olur.

2.6 Geohücre

Geohücre Şekil 2.5’de görüldüğü gibi polietilenden oluşan üç boyutlu hücreleri tek ve devamlı ekstrüzyon işlemlerinden geçirilerek oluşturulur. Böylece ekstra kaynak ve birleştirmeye gerek kalmaz. Polietilen şeritler, hidrolik birleşim yerleri ile güçlü, dayanıklı ve esnek petekleri ile kayan toprağı tutmada kullanılır [18].



Şekil 2.5 : Geohücre [11]

Geohücre; sınırlandırma, erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesinde kullanılır. Geniştettikten ve yerleştirdikten sonra zayıf zemini hücelere hapsedilir. Geohücre

ile sıkıştırılmış zeminde yüksek direnç, yükü dağıtma, noktasal yükleri zımbalama etkisi ile zeminin taşıma gücü artar.

2.7 Geokompozitler

Geosentetiklerin beraber kullanılması ile elde edilen malzemelerdir. İki malzeme özellikleri birleştirilerek amaca daha uygun malzeme elde etmek için yapılır. Geotekstil – Geonet beraberliği ile drenaj için mükemmel bir sistem oluşturulmuş olur. Geonet drenajı sağlarken örgüsüz geotekstil sayesinde zemin parçacıklarının geonetin içine girmesi engellenir. Geotekstil – geomembran beraberliğinde ise geçirimsizliği sağlayan geomembranı koruma amaçlı örgüsüz geotekstil kullanılır. Bu sayede olası membran delinmeleri önlenmiş olur. Geomembran- geogrid de ise geogridin yüksek mukavemetinden yararlanır. Bu sistem katı atık depolama alanlarında ve şevlerde sıklıkla kullanılmaktadır [18].

3. GEOGRİDLERİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Yüksek yoğunluklu polimer malzemelerin ortaya çıkması ile zemin takviyesi olarak kullanılması büyük önem kazanmıştır. Geogridler, yüksek mukavemetleri ve yük dağıtma özellikleri ile zemin iyileştirmede ve şevlerde donatılı olarak kullanılırlar. Yumuşak ve taşıma gücü zayıf zeminlerde meydana gelebilecek oturmaları önlemek ve taşıma gücünü arttırmak için zemin geogrid ile donatlandırılır. Günümüzde, donatılı duvarlarda da geogrid sıkça tercih edilen bir sistem olmuştur. Bu sistemlerde geogrid kullanımı yapım hızı ve maliyet açısından avantajlıdır. Geogridlerinin başlıca özellikleri; esnek, yüksek dayanımlı, düşük sünmeli, kimyasal-biyolojik, U.V. etkilerine karşı korumalı ve yapım aşamasındaki olumsuz koşullardan minimum etkilenen bir yapı malzemesi olmasıdır. Geogridleri değişik gereksinimleri karşılamak üzere, farklı mukavemetlerde ve göz açıklıklarında üretilmektedir.

Geogridlerin çalışma prensibi; üzerine dolgu veya granüler malzeme serildiğinde, malzeme daneleri geogridin açıklıklarıyla tam olarak kenetlenir. Geogridin yüksek mukavemetli elemanlarına sürtünen ve kenetlenen dolgu, bir donatılı platform oluşturur.



Şekil 3.1 : Zemin – geogrid kenetlenmesi [11]

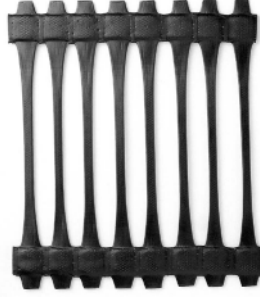
3.1 Geogrid Üretim Yöntemleri

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

3.1.1 Ekstrüde yöntemi ile üretilen geogridler

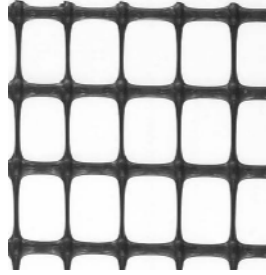
Dayanımı en yüksek geogrid tipidir. Bağlantı noktaları kendiliğinden oluştuğu için üretim yöntemlerine göre mukavemeti fazladır. Ekstrüde geogridler, büyük ölçekli polietilen ya da polipropilen plakalar üzerine düzenli bir şekilde kalıplar yardımı ile delikler açılır. Bu levhalar yüksek sıcaklıklardaki fırın ya da suyun içinde tek yönde veya çift yönde çekilerek mukavemet kazandırılır. Çekme işlemi sırasında sıcaklık ve çekme oranı kontrol altında tutulur. Mukavemeti etkileyen asıl değişken çekme oranı olsa da, molekül ağırlığı, ağırlık dağılımı ve molekülün ayrılma veya bağlanma derecesi de önemlidir. Ekstrüde geogridlerin bağlanma noktalarındaki çekme mukavemetinin yüksek olması diğerlerine karşı en büyük avantajıdır.

Ekstrüde işlemi tek yönde yapılırsa Şekil 3.2'deki gibi tek yönde yüksek mukavemetli geogrid elde edilir. Tek yönlü geogridler donatılı duvar yapımlarında kullanılırlar. Burada geogridlere tek yönden baskı uygulandığı için tek yönlü kullanımı yeterli olacaktır.



Şekil 3.2 : Ekstrüde tek yönlü geogrid [18]

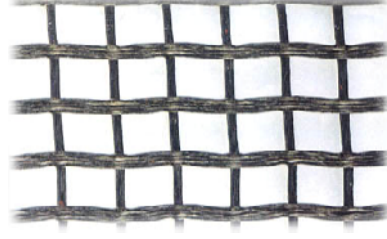
Eğer iki yönde de çekme uygulanırsa Şekil 3.3'deki gibi çift yönlü geogrid elde edilir. Çift yönlü geogridler ise zemin iyileştirmede kullanılırlar. Zemin içinde iki yönden de baskıya maruz kaldıkları için burada çift yönlü geogridler kullanılmalıdır.



Şekil 3.3 : Ekstrüde çift yönlü geogrid [18]

3.1.2 Dokuma ile üretilen geogridler

Dokuma geogridler, polyester ipliklerin dokuma makineleri yardımı ile örülerek üretilir. Hammaddesi genellikle polyesterdir. Burada istenen mukavemete göre polyester iplik sayısı iki yönde de değişebilir. Bağlantı noktalarındaki mukavemeti dokuma ile üretildiğinden ekstrüde sistemdeki kadar yüksek değildir. Şekil 3.4’de dokuma yöntemi ile üretilen geogrid görülmektedir.



Şekil 3.4 : Dokuma geogrid

3.1.3 Yapıştırma yöntemi ile üretilen geogridler

Yapıştırma yönteminde ise, yüksek mukavemetli şeritler birbirine dik olarak banda konulur. Şeritler bant üzerinde ilerlerken lazer ya da sıcak yardımı ile birleştirilir. Bağlantı noktası mukavemeti düşüktür. Bu nedenle genel mukavemet bağlantı noktası mukavemeti kadar olabilir. Şekil 3.5’de lazer yöntemi ile üretilen geogridin birleşme noktaları görülmektedir.



Şekil 3.5 : Yapıştırma geogrid

3.2 Geogridlerin Nihai Çekme Mukavemeti Hesabı

Tasarımda kullanılacak geogrid çekme mukavemeti geogridin hammaddesine, üretim şekline, uygulama alanındaki çevresel özelliklere ve zamana bağlı olarak büyük değişiklikler gösterir. Tasarımda kullanılacak çekme gerilmesi (P) üreticinin belirttiği çekme gerilmesi ($T_{\text{üretici}}$) yanda belirtilen güvenlik sayılarına bölünmesi ile

hesaplanır. Aşağıdaki denklemden tasarımda kullanılacak çekme gerilmesinin hesabını yer almaktadır [29].

$$P = \left(\frac{T_{\text{üretici}}}{FS_{\text{sünme}} \cdot FS_{\text{uygulama hasar etkileri}} \cdot FS_{\text{çevresel etkiler}}} \right) \times \frac{1}{FS_{\text{Tasarı}}} \quad (3.1)$$

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

3.2.1 Sünme etkisi

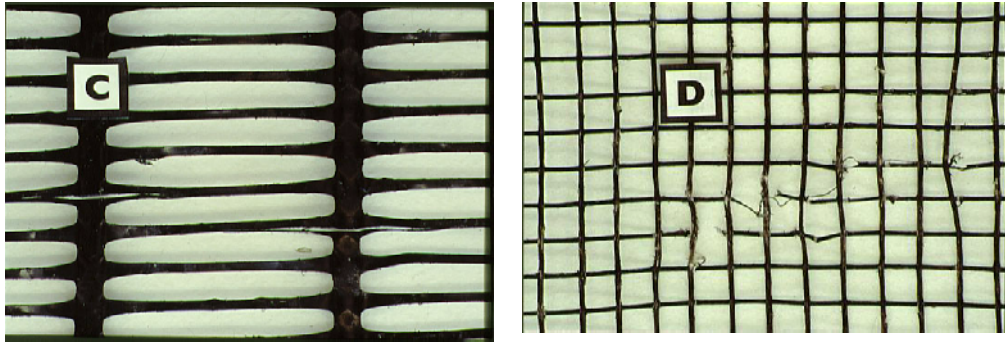
Sünme etkisi geogridin zaman içinde gelen yüklerden ötürü uzaması ve dolayısı ile mukavemetinin azalmasıdır. Sünme etkisinin bulunması için uzun zamanlı laboratuvar testlerinin yapılması gereklidir. Testler aynı türden geogridler farklı yükler ve farklı sıcaklıklar altında, 10000 saatten fazla kalması ile yapılır. Sünme faktörü buradan maksimum taşıyacağı yükün, uzun süre taşınabilir yüke oranıdır. Şekil 3.6'daki gibi sıcaklık ve nem koşullarının istenilen şekilde ayarlanan laboratuvar koşullarında, sabit bir sıcaklıkta 3 farklı yük altında geogridlerin uzamalarına bakılarak sünme güvenlik faktörleri test edilmektedir. Sünme testi standardı ISO 13431'dir [29].



Şekil 3.6 : Sünme testi laboratuvarından bir görüntü Tenax Fabrikası, İtalya [18]

Kullanılan dolgunun özellikleri ile geogridin üretim şekli hammaddesi burada belirleyici faktör olurken, düğüm noktası mukavemeti de uygulama hasarlarının minimum düzeyde kalmasında önemli rol oynamaktadır [29].

Şekil 3.8’de görüldüğü gibi üretim şekline göre örgülü geogridlerde ve yapıştırma ile üretilen geogridlerde düğüm noktası mukavemeti düşük olduğu için uygulama anında bu tarz geogridlerde en çok düğüm noktası çözülmesi olayı ile karşılaşılabilir.



a. Ekstrüde geogridde uygulama anında oluşan hasarlar

b. Örgülü geogridde uygulama anında oluşan hasarlar

Şekil 3.8 : Üretim türüne göre uygulama hasarları

Bu tür hasarların güvenlik faktörünü hesaplamak için uygulanmakta olan bir test metodu yoktur. Uygula hasarları için kabul edilecek güvenlik faktörü geosentetik üretim metodu ve hammaddesi ile dolgunun özelliklerine göre Tablo 3.2’de gösterilmiştir [29].

Tablo 3.2: Uygulamada oluşacak hasarlara karşı güvenlik katsayısı [29]

| Geosentetik çeşidi | Dolgu Max. 102mm. D ₅₀ ≈30mm. | Dolgu Max. 20mm. D ₅₀ ≈0,70mm. |
|------------------------------------|---|--|
| HDPE Geogrid | 1.20–1.45 | 1.10–1.20 |
| PP geogrid | 1.20–1.45 | 1.10–1.20 |
| PVC kaplı PET Geogrid | 1.30–1.85 | 1.10–1.30 |
| Akrilik kaplı PET Geogrid | 1.30–2.05 | 1.20–1.40 |
| Örgülü Geotekstilller (PP&PET) | 1.40–2.20 | 1.10–1.40 |
| Örgüsüz Geotekstilller (PP&PET) | 1.40–2.50 | 1.10–1.40 |
| Filmlü Örgülü Geotekstilller | 1.6–3.00 | 1.10–2.00 |

Yukarıdaki tabloda görüldüğü gibi uygulama hasarlarına en dayanıklı malzeme HDPE geogrid, en dayanıksız ise film örgülü geogriddir.

3.2.3 Çevresel etkiler

Geosentetiklerin yıllar içinde ısıya, oksidasyona, kimyasal etkilere, biyolojik etkilere, PH değişimlerine ve mikroorganizmalar tarafından yıpranmasına genel olarak çevresel etkiler denilir. Geogridleri uygulama içinde etkileyecek herhangi bir tehlike varsa bu sayı 1.1 ile 2 arası; çevresel hiçbir olumsuz etki yok ise bu sayı en az 1.1 alınmalıdır. Tablo 3.3’de olabilecek kimyasal etkiler ve bunların geogrid hammaddelerine etkisi olup olmadığı görülmektedir.

Tablo 3.3 : Zemin içindeki kimyasalların polimer çeşitlerine etkileri [29]

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

- : Etkisi yok

? : İçeriğine göre etkisi bulunmalı

Yukarıda tabloda görüldüğü gibi kimyasal içerikli zeminler zararı olabilecek maddeler içeriyorsa gerekli testler yapılmalı ve bu test sonuçlarına göre güvenlik sayısı belirlenmelidir [29].

3.2.4 Tasarım güvenlik faktörü

Tasarım güvenlik faktörünün hesaplara katılmasındaki amaç, tanımlanmamış yükler, yapı geometrisi, dolgu özellikleri, lokal stres artımları ve tanımlanmamış uzun süreli donatı mukavemetindeki belirsizlikleri ortadan kaldırmaktır. Bu değer genelde 1.5 alınmaktadır. Bilinmeyenlerin fazlaşması ile bu değer artabilir. İdeal şartlara yaklaştıkça ise bu değer bire yaklaşır.

3.3 Geogridlerin Kullanım Alanları

Geogridler, yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kullanıldıkları yerdeki stabiliteyi artırırlar. Geogridlerin diğer geosentetiklere göre daha yüksek mukavemet sağlaması ve boşlukları sayesinde zeminle bütünlük arz etmesi; geogridlerin zemin iyileştirmelerinde, şevlerde ve donatı olarak kullanılmasını sağlar.

3.3.1 Geogridlerin şevlerde kullanımı

Geogridler stabil olmayan şevlerin desteklenmesinde sıklıkla kullanılmaktadırlar. Geogridlerin zemin ile kenetlenmesi ve yüksek çekme mukavemetlerinden yararlanılarak yapılan bu sistemlerle şevlerde oluşacak kaymalar, çökmeler ve göçmeler engellenmiş olur. Geogridler ile şevleri dikleştirmek ve bu sayede yer kazanmakta mümkündür. Geogridlerin şevlerde dik olarak kullanılmasında yardımcı eleman olarak bloklar kullanılır. Burada kullanılan blokların amacı sadece lokal stabilitenin sağlanması dış yüzeyde meydana gelebilecek akmalara önlenmesidir. Şekil 3.9'da bloklar ile yapılmış geogridli duvar görülmektedir [18].



Şekil 3.9 : Bloklı duvar [18]

Geogridler ile donatılmış şevlerde 40 m'ye kadar donatılı duvarlar bulunmaktadır. Şekil 3.10'daki Tayvan'da Chung-Hsin kasabesindeki uygulamada şev yüksekliği 35 m olup şevler eğimli ve palyeli olarak tasarlanmış ve uygulanmıştır. Her palyenin boyu 5 m'dir. Palyelerin birbirlerine uzaklıkları ise 2.5 m olarak hesaplanmıştır. Şev açısı 60° 'dir. Duvarın dış yüzeyine çimlendirme uygulanmakta bu sayede geogridlerin güneş ışınlarının zararlı etkilerinden korunması sağlanmıştır.



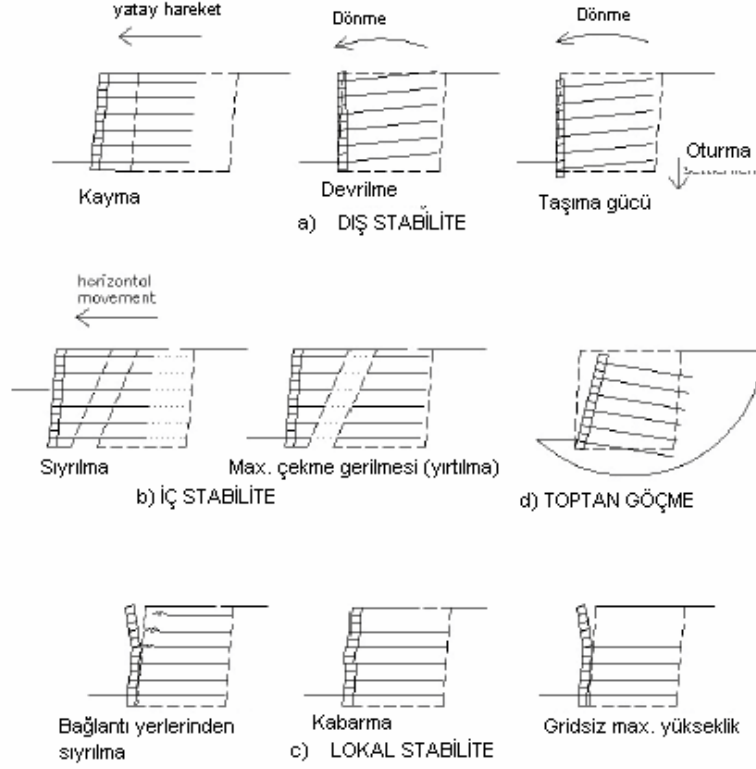
Şekil 3.10: 35m yüksekliğinde duvar uygulaması, Tayvan Chung-Hsin Kasabası [18]

Geogridli duvar tasarımlarında izlenen yol öncelikle geogridin tasarımda kullanılacak çekme mukavemetinin bulunması ile başlanır. Üreticinin verdiği dotalar ve standartlar yardımı ile hesaplarda kullanılacak nihai çekme gerilmesi bulunur. Bu değer bulunduktan sonra yapılması gereken mevcut zemin verileri ve duvar karakteristik dotaları ışığında tasarımın yapılmasıdır. Dolgu şevlerinin sabit hale getirilebilmesi için kayma kaması esas alınarak limit denge kabulü ile çözüm yapılır. FHWA'in tasarım için önerdiği program MSEW bütün analizleri yapıp ayrı ayrı sonuçlarını göstermektedir. Tasarım prosedürü Şekil 3.11'deki dört farklı göçme çeşidi esasına göre yapılır [29].

- Dış stabilite tahkiki: Burada zemin ve geogrid beraber rijit bir duvar oluşturduktan sonra meydana gelebilecek göçmelerin tahkiki yapılır. Kayma, devrilme ve taşıma kapasitesi kontrolü dış stabilite analizi ile yapılır.
- İç stabilite tahkiki: Bu adımda geogrid aralığı ve uzunluğu nihai geogrid mukavemetine göre bulunur. Bu analiz ile geogrid aralığı ve uzunluğu, maksimum taşıma kapasitesi bulunur.
- Lokal stabilite tahkiki: Dik olarak yapılan şevlerde geogrid önüne konulan taş bloklarının stabilitesi incelenir. Bu stabilite tahkikinde geogrid – taş

blok bağlantı yerinden kopma durumu, lokal kabarma olasılıkları ve geogridler arası maksimum yükseklik hesaplanır.

- Toptan göçme tahkiki: Bu adımda sistemin toptan göçme analizi yapılır.



Şekil 3.11 : Geogridli duvarlarda stabilite problemleri [29]

Yapılan tasarım sonucu kullanılacak geogrid miktarı, dolgu miktarı ve blok miktarı hesaplanır [29].

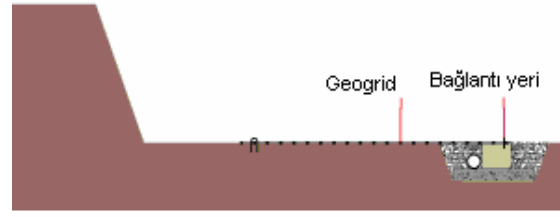
Geogrid donatılı şevler için uygulama esasları aşağıda anlatılmaktadır [15].

- I. Hendeğin dibine küçük bir temel ya da çakıl sıkıştırılarak konulur. Üzerine ilk sıra bloklar dizilir. Blokların iç tarafına drenaj borusu konularak hendek granüler malzeme ile doldurulur.



Şekil 3.12 : Geogridli duvar temeli

- II. Şekil 3.13'deki gibi ilk sıra geogrid duvara yatay bir şekilde serilir. Geogridin ucu bloğun üzerine yerleştirilir.



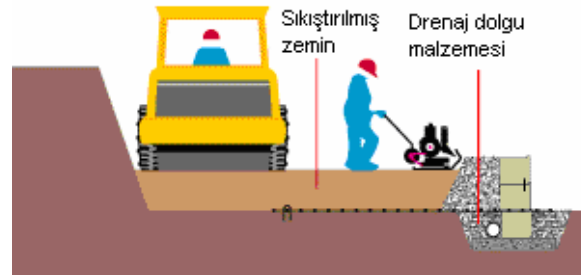
Şekil 3.13 : İlk sıra geogrid serilmesi

- III. Şekil 3.14'deki gibi yerleştirilen geogridin üzerine 2. sıra bloklar yerleştirilip, drenaj dolgusu yapılıp ve bu dolgu sıkıştırılır. Yapılan projeye bağlı olarak 2 blokta bir 1.00- 2.00 m'lik ara geogridler koyulabilir, aynı şekilde geogrid sıklığı ve uzunluğu da projeye göre belirlenir.



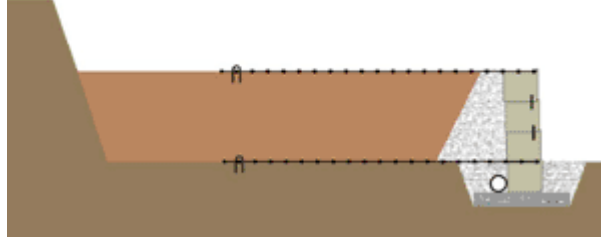
Şekil 3.14 : Geogridli duvarda blok yerleştirilmesi

- IV. Geogridin üst dolgusu yapılıp 0.20 m oluncaya kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma kıstası olarak Standart Proktor %95 civarı olmalıdır. Şekil 3.15'deki gibi blok çevresindeki sıkıştırma (1 m'ye kadar) el kompaktörü ile yapılmalıdır.



Şekil 3.15 : Geogridli duvar kompaksiyonu

- V. Projeye göre ana geogridler konularak aynı işlemler (2, 3, 4) tekrarlanır. 2. sıranın yerleştirilmesi Şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.16 : İkinci sıra geogrid yerleşimi

Uygulama aşamasında ise dikkat edilmesi gereken hususlar geogridlerin yerleştirilmesi, geogrid bindirmeleri, sistemin drenajı ve kullanılan dolgunun yeterli sıkıştırılmasıdır. Uygulamada kullanılacak malzemenin sıkışma miktarını standart Proktor testi ile laboratuarda belirlendikten sonra arazide kompaksiyon testi ile kontrolü yapılmalıdır.

3.3.2 Zayıf zeminlerde geogrid kullanımı

Zayıf zeminler üzerine inşa edilen yapılarda, taşıma gücü, oturma problemleri gibi sorunlar yaşanmaktadır. Bu problemlerin çözümü için zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Zeminin özelliklerine, yapının yüklerine ve şantiye şartlarına göre uygun bir yöntemle iyileştirme yapılır. Bu yöntemler arasında geogridler ile iyileştirme de vardır. Geogridler yükü uniform olarak zemine yayarak farklı oturmaları da engellemiş olur. Zemin iyileştirmede kullanılan geogridlerin başlıca faydaları;

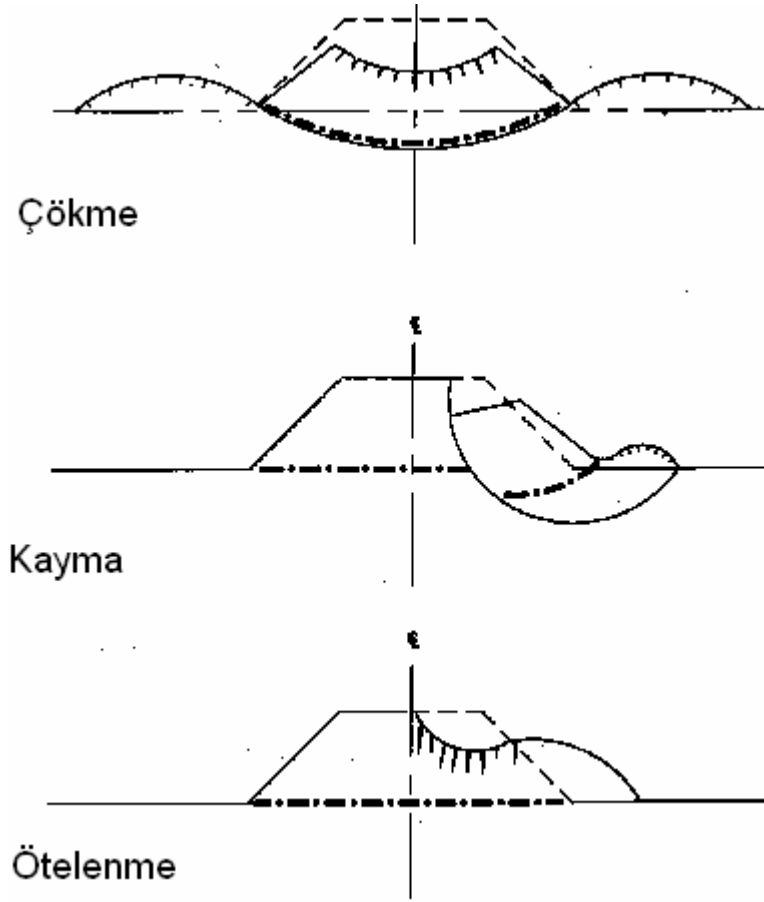
- Taşıma gücünü artırır.
- Uzun zamanda oluşacak deformasyonları azaltır.
- Farklı oturmaları önler.
- Çatlakları önler.
- Alt temelin taşıma gücünü artırır.
- Yükün uniform dağılımını sağlar.

Zemin iyileştirmeleri için kullanılan geogridler çift yönlü yüksek mukavemete sahip geogridlerdir. Geogridler istenilen taşıma gücüne ulaşması için bir sıradan fazla serilebilirler. Şekil 3.17’de Bangkok’ta yapılan uygulamada 30 cm aralık ile 3 sıra geogrid serilmiştir. Böylece zemin taşıma gücü istenilen değere ulaştırılmıştır.



Şekil 3.17 : Geogrid ile zemin iyileştirmesi [12]

Geogridli zemin iyileştirme projesinde, öncelikle geogridin tasarımda kullanılacak çekme mukavemetinin bulunur. Üreticinin verdiği datalar ve standartlar yardımı ile hesaplarda kullanılacak nihai çekme gerilmesi denklem 3.1 yardımı ile hesaplanır. Bu değer bulunduktan sonra yapılması gereken mevcut zemin verileri, yapı yükleri ve istenilen değerler ile tasarımın yapılmasıdır. Tasarımda son zemin taşıma gücü, meydana gelecek oturmalar ve kullanılacak geogrid miktarı hesaplanır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta sıvılaşma riskidir. Eğer zeminde sıvılaşma riski varsa sıvılaşma esnasında geogrid sistemin içinde yüzeceği için etkinliğini kaybedecektir. Sıvılaşma riski olan alanlarda ya sıvılaşma riski ortadan kaldırılarak bu uygulama yapılmalı ya da sıvılaşma riskine karşı başka bir önlem alınmalıdır. Dolgularda kullanılan geogrid ile tasarım aşağıdaki üç göçme esasına göre yapılır. Göçme esasları Şekil 3.18’de gösterilmektedir. Bunlar, çökme, kayma ve ötelenmedir. Stabilitate analizi yapılırken bunlar dikkatle incelenmelidir.

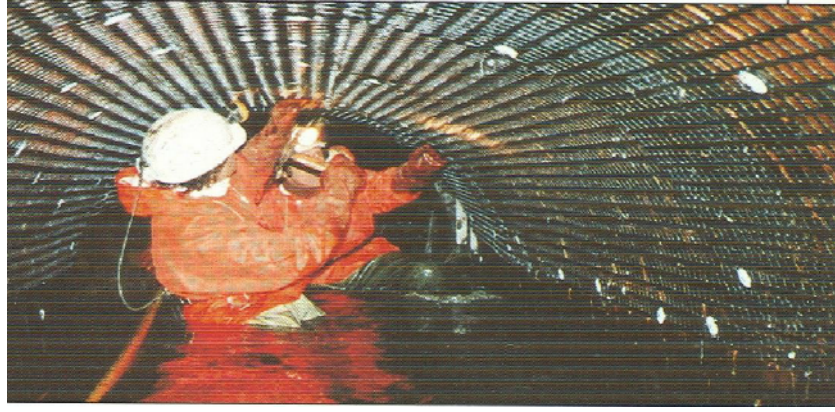


Şekil 3.18 : Dolgu zeminlerde göçme çeşitleri [18]

Zayıf zeminlerinde geogridler ile yapılan uygulamalarda bindirme yerlerine dikkat edilmeli kullanılacak dolgunun özellikleri iyi belirlenmiş olmalı ve sıkıştırma dikkatlice yapılmalıdır. Aksi halde lokal oturmalara rastlanabilir [3].

3.3.3 Geogridlerin asfalt – beton donatısı olarak kullanılması

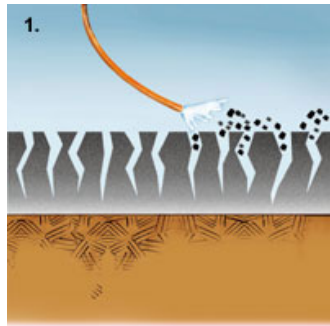
Geogridler yükü uniform dağıtma özellikleri sayesinde beton yollarda, yol kaplamalarında, endüstriyel yapı çatılarında, tünellerde, kıyı yapılarında ve yapı iyileştirmelerinde donatı olarak kullanılabilirler. Kaplama altında aşınmadan uzun yıllar kullanılabilirler. Günümüzde geogridler özellikle korozyonun söz konusu olduğu yerlerde püskürtme beton donatısı olarak kullanılmaktadırlar. Buradaki uygulamada dikkat edilmesi gereken husus geogridin duvara dübeller yardımı ile tutturulmasıdır. Şekil 3.19’da bir tünelde yapısında kullanılmakta olan geogrid görülmektedir [17].



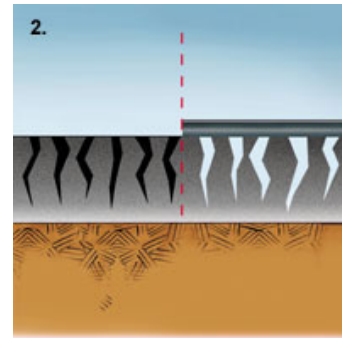
Şekil 3.19 : Geogrid ile tünel uygulaması [17]

Geogridlerin asfalt içinde donatı olarak kullanılması ile asfaltın çekme mukavemeti arttırılıp, asfaltta oluşacak deformasyonlar sınırlanmış olur. İki tabaka arasında yerleştirilen geogrid tabakalar arasında gizli bir güç gibi çalışır. Geogrid alt yapıdan kaynaklanan çatlama gerilmelerini yataya taşıyarak üzerine alır ve gerilmeleri absorbe eder. Bu sebeple yansımaya çatlaklarını minimize eder, yıllarca verimli çalışmasını sağlar. Uygulama detayları aşağıdaki gibidir [16].

- I. Yolun hazırlanması; Kazılan yüzeyde oluşan çatlakların doldurulması, çukurların tamiri ve düzeltme tabakası gibi işlemler tamamlanır. Yüzey; kuru, temiz ve tozdan arındırılmış (Şekil 3.20a), 5°C ile 60°C arasında, 4 mm'den büyük çatlaklar doldurulmuş (Şekil3.20b) olmalıdır.



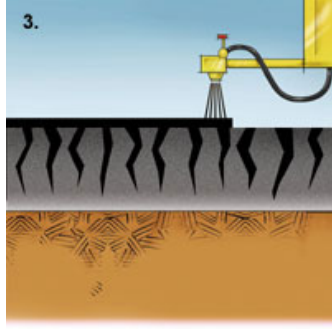
a. Yüzeyin temizlenmesi



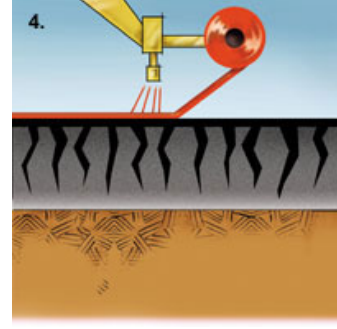
b. Boşlukların doldurulması

Şekil 3.20 : Yolun hazırlanması [16]

- II. Yüzey temizlendikten ve boşlukları doldurulduktan sonra hızlı kesilen emülsiyon (yapıştırma tabakası) püskürtülmeli (Şekil 3.21a) ve bu emülsiyonun üzerine geogrid (Şekil 3.21b) serilmelidir.



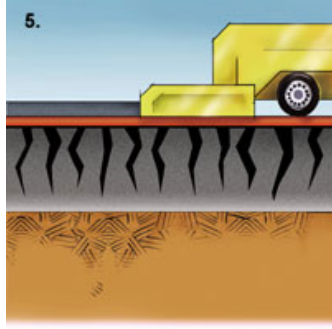
a. Emülsiyon püskürtmesi



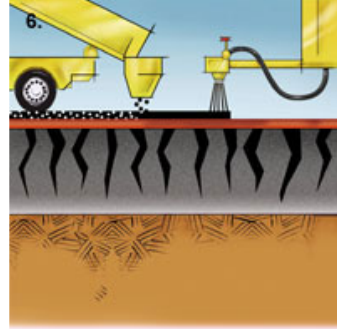
b. Geogridin serilmesi

Şekil 3.21 : Geogridin yerleştirilmesi [16]

III. Geogrid yerleştirildikten sonra ya finisher ile asfalt dökülmeli (Şekil 3.22a) ya da tekrar emülsiyon püskürtülerek üzeri mıcırla (Şekil 3.22b) kaplanmalıdır.



a. Asfalt dökülmesi

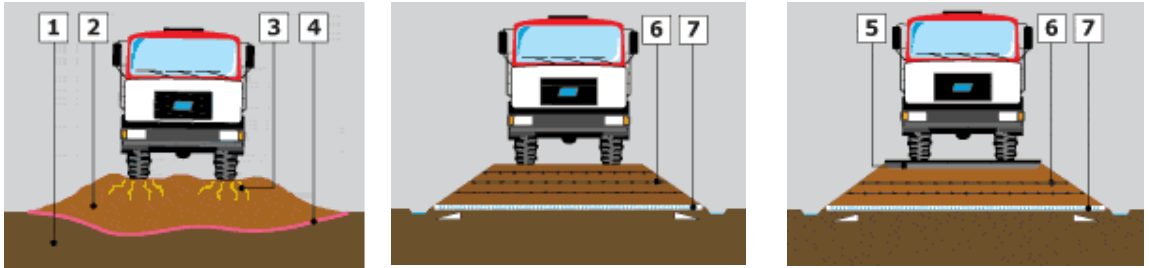


b. Mıçır kaplaması

Şekil 3.22 : Yol kaplamasının yapılması [16]

4. GEOGRİD DONATI İLE YOLLARIN İYİLEŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada geogrid kullanılarak iyileştirilecek olan zemin bir otoyol olarak seçilmiştir. Bu nedenle bu bölümde geogridlerin yol iyileştirmesinde kullanılması ve yolların özellikleri açıklanmaktadır. Geogridler ile yol iyileştirilmesinde amaç farklı oturmaları önleyerek zeminin taşıma gücünü arttırmaktır. Geogridler gelen yükleri alanları boyunca uniform yaparak birim alana gelen yük miktarını azaltırlar. Günümüzde yol dolguları, yolun standartları arttıkça daha maliyetli ve önemli olmaya başlamıştır. Özellikle zayıf zeminlerde yapılan yol inşaatlarında problemler artmaktadır. Hem taşıma gücü sınırlı hem de dolgu içinde oluşan toprak basıncı ile dolgu yana doğru yayılmaya çalışacaktır. Bunun nedeni yatay toprak basıncı ile dolgu tabanında yatay kayma gerilmeleri doğmakta ve zemin yeterli kayma direncine sahip olmadığından stabilitede bozukluklar oluşabilir. Burada kullanılacak geogrid ile yanal deformasyonlar ve farklı oturmalar önlenir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi geogrid kullanmadan önce yolda oluşan oturmalar ve çatlaklar geogrid kullanımı ile önlenebilir. Geogridler yollarda farklı oturmaları önlediği gibi, kaplamalı yollarda kaplama ömrünü de uzatmaktadır [18].



a. Geogrid donatısız yol

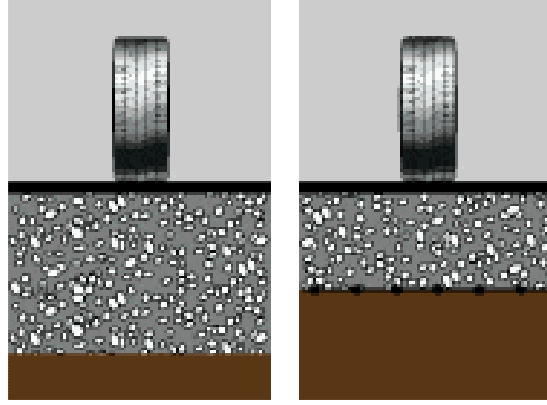
b. Kaplamasız geogrid donatılı yol

c. Kaplamalı geogrid donatılı yol

1. Zayıf zemin
2. Dolgu zemin
3. Yol çatlakları
4. Deformasyon profili
5. Yol kaplaması
6. Geokompozit (örgümsüz geotekstil- çift yönlü geogrid)
7. Çift yönlü geogrid

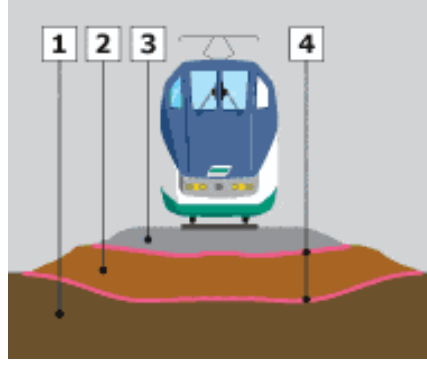
Şekil 4.1 : Yol inşaatında geogrid kullanımı [18]

Şekil 4.2'deki gibi geogrid kullanımı ile zeminin taşıma gücü artırılıp, kullanılacak dolgu kalınlığı azaltılabilir. Bu da dolgu maliyeti düşünülduğünde önemli bir ekonomi ve uygulama kolaylığı sağlar [18].

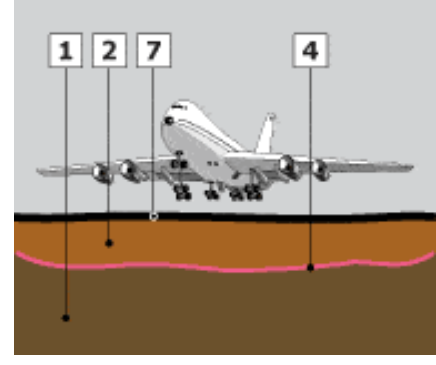


Şekil 4.2 : Geogridin dolgu kalınlığı üzerindeki etkisi [18]

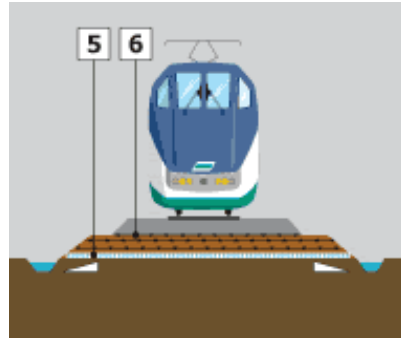
Günümüzde havayolu ve demiryolu ile yapılan yolcu ve kargo taşımacılığı, ulaşım sektöründe önemli bir paya sahiptir. Havaalanlarının ve demiryollarının maruz kaldığı trafik yüklerinin gün geçtikçe artması yapım aşamasında ve tasarımında yüksek mukavemetli malzemelerin kullanımını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca demiryollarında ve havaalanlarında, karayollarından farklı olarak oluşan dinamik yükler zeminde önemli oturmalara ve çatlaklara yol açar. Zemine gelen dinamik yüklerin neden olabileceği gerilmeler ve farklı oturmaları dolayısı ile çatlakları önlemek için ya da kullanılan dolgu zeminin kalınlığını azaltmak için geogridler ile tasarım yapılabilir. Şekil 4.3'de geogrid kullanmadan önceki deformasyon profilleri ile geogrid kullandıktan sonraki halleri görülmektedir. Aşağıdaki resimlerde de görüldüğü gibi geogrid yapılmadan yapılan dolguda kısa süre sonra farklı oturmalara rastlanırken, geogrid kullanılarak yapılan dolguda farklı oturmalara rastlanılmamaktadır. Trenlerde ve uçaklardaki dinamik etkilerde göze alındığında zeminde meydana gelecek oturmalar önemli ölçüde artmaktadır. Bunları önlemek ve yolun ömrünü uzatmak için yol iyileştirmelerinde geogrid kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır [14].



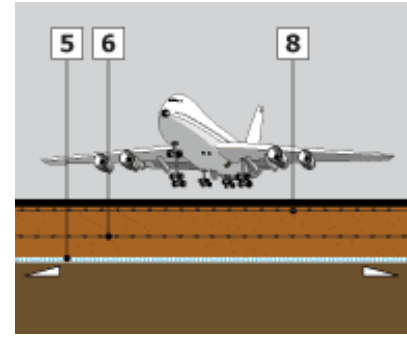
a. Geogridsiz demiryolu



b. Geogridsiz Havaalanı



c. Geogrid ile iyileştirilmiş demiryolu



d. Geogrid ile iyileştirilmiş havaalanı

1. Zayıf zemin
2. Dolgu zemin
3. Balast
4. Deformasyon profili
5. Geokompozit
6. Çift yönlü geogrid
7. Yol kaplaması
8. Asfalt donatısı olarak geogrid

Şekil 4.3 : Demiryolu ve Havayolu inşaatlarında geogrid kullanımı [14]

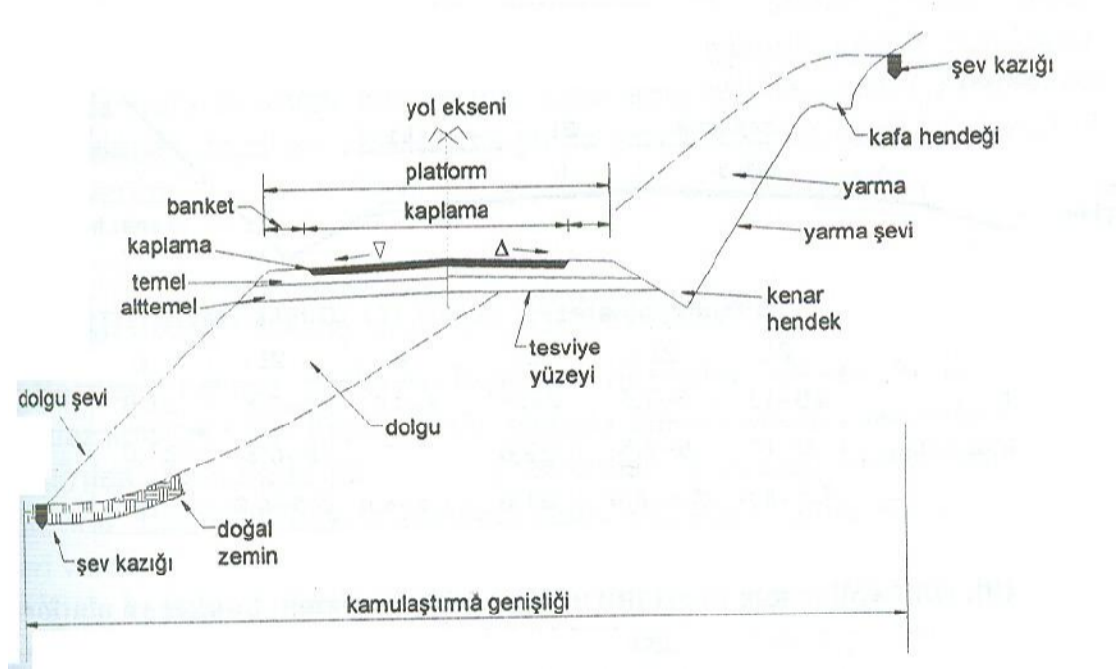
4.1 Karayolları ile İlgili Tanımlar ve Geometrik standartlar

Her türlü kara taşıtı ve yaya ulaşımı için oluşturulmuş ve kamunun yararlanmasına açık arazilere karayolu denir. Taşıt ve yayaların ulaşmaları sırasında karayolunu kolaylıkla kullanabilmeleri için doğal zeminin belli bir en kesit şekline dönüştürülmesi gerekir. Bu amaçla bazı yerler kazılır, bazıları yerler ise doldurulur. Yolun toprak işi sonunda önceden belirlenmiş kota getirilmesine altyapı; altyapı üzerine inşa olunan alt temel, temel ile kaplama tabakalarından oluşan kısım üstü yapı denir [6].

Alt temel, tesviye yüzeyi üzerine serilen ve genellikle belli bir granülometrisi olan ve incesi az, kum, çakıl, taş kırığı gibi daneli malzemelerden yapılan tabakadır.

Temel, alt temel tabakası ile kaplama tabakası arasında yer alan granülometrisi ile malzeme özellikleri alt temel tabakasına göre daha iyi olan tabakadır.

Kaplama, temel tabakası üzerine direkt yapılan ve trafiğin doğrudan temas ettiği, bitümlü karışımlar, beton, parke vb. malzemeler ile yapılan tabakadır. Şekil 4.4'de yol en kesiti ve tabakaları net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.4 : Yol en kesiti ve tabakaları [6]

Karayolları anayollar, toplayıcı yollar ve yerel yollar olarak üçe ayrılır. Yolun geçtiği bölgenin özelliklerine, yolun önemine, yolun platform durumuna ve yolun asfalt durumuna göre yolu sınıflandırmak mümkündür. Yolun geometrik standardının seçiminde etkili faktörler ise; yolun sınıfı, yoldan geçecek olan araç sayısı (trafik durumu), araç çeşitleri (trafik bileşimi), arazinin topoğrafik durumu, mali olanaklar, trafik güvenliği (yol eğimi) ve diğer faktörlerdir. Aşağıdaki UNESCO tarafından hazırlanmış Tablo 4.1'de geometrik standartlar görülmektedir [6].

Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi yollar özelliklerine göre ayrılmıştır. Anayollarda proje hızı maksimum 110 km iken yerel yollarda 25 km'ye kadar bu değer düşmektedir. Yol hızı arazi durumu ile doğru orantılı olup, rampa uzunluğu da arazi durumu ile ilgili bir veridir. Platform genişliği ise hem yol sınıfı hem de arazi durumuna göre değişmektedir.

Tablo 4.1: Yollar için geometrik standartlar [6]

| Yol sınıfı | Arazi durumu | Proje hızı (km/sa) | Mak. Eğim (%) | Mak. Rampa uzunluğu (m) | Platform genişliği (m.) |
|---------------|---------------------|--------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|
| Anayol | Düz veya az dalgalı | 80-110 | 4 | Sınırlama yok | 10-13 |
| | Dalgalı | 55-80 | 5-7 | >%4 için 600 | 10-13 |
| | Çok dalgalı | 40-55 | 7-9 | >%6 için 400 | 8-10 |
| Toplayıcı yol | Düz veya az dalgalı | 60-80 | 5 | Sınırlama yok | 10-12 |
| | Dalgalı | 50-60 | 5-7 | Sınırlama yok | 10-12 |
| | Çok dalgalı | 35-50 | 7-9 | >%9 için 750 | 8-9 |
| Yerel yol | Düz veya az dalgalı | 50-60 | 7 | Sınırlama yok | 7.5-8 |
| | Dalgalı | 35-50 | 7-9 | Sınırlama yok | 7.5-8 |
| | Çok dalgalı | 25-35 | 9-12 | >%9 için 1000 | 7.5-8 |

Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından uygulanmakta olan devlet yollarında geometrik standartlar ise Şekil 4.5’de verilmiştir.

Aşağıdaki şekilde ise iki şeritli devlet yolları için; yol sınıflarına göre bütün proje elemanları açıklanmaktadır. Yol projelendirmesinde, proje hızı, arazi durumu, yoldan beklenen yıllık ortalama günlük trafik ve hizmet seviyesine göre geometrik özellikler belirlenmektedir.

| PROJE ELEMENLARI | BIRINCI SINIF | | | KINCI SINIF | | | UCUNCU SINIF | | |
|----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | D | D | D | D | D | D | D | D | D |
| Hizmet Seviyesi | 12000 | 6500 | 4000 | 11000 | 5500 | 3000 | 8000 | 4500 | 2500 |
| Trafik* | 1200 | 650 | 400 | 1100 | 550 | 300 | 800 | 450 | 250 |
| Topografik Model | Düz | Dalgali | Dağlık | Düz | Dalgali | Dağlık | Düz | Dalgali | Dağlık |
| Proje Hızı | 100 | 80 | 70 | 80 | 70 | 60 | 70 | 60 | 50 |
| Minimum karp çapı | 400 | 250 | 200 | 250 | 200 | 150 | 200 | 150 | 100 |
| Minimum klotit parametresi | 160 | 130 | 120 | 130 | 120 | 100 | 120 | 100 | 70 |
| Maksimum boyuna eğim | 4 | 4 | 6 | 4 | 6 | 7 | 5 | 7 | 8 |
| Düşey karp katsayısı L=GK | 107-58 | 44-26 | 29-20 | 44-26 | 29-20 | 17-15 | 44-26 | 29-20 | 17-15 |
| Maksimum deyer** | 51-35 | 30-23 | 22-19 | 30-23 | 22-19 | 16-15 | 30-23 | 22-19 | 16-15 |
| Emniyetli duruş uzaklığı | 155 | 110 | 90 | 110 | 90 | 70 | 110 | 90 | 70 |
| Emniyetli geçiş uzaklığı | 670 | 550 | 480 | 550 | 480 | 420 | 550 | 480 | 420 |
| Şerit Genişliği | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,50 | 3,25 | 3,25 |
| Banket genişliği*** | 2,50 | 2,50 | 2,00 | 2,50 | 2,00 | 2,00 | 2,50 | 2,00 | 1,50 |
| Platform genişliği | 12,00 | 12,00 | 11,00 | 12,00 | 11,00 | 11,00 | 12,00 | 11,00 | 10,00 |
| Köprü genişliği | 8,50 | 8,50 | 8,50 | 8,50 | 8,50 | 8,50 | 8,50 | 8,50 | 8,50 |
| Köprü projeye yük | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| H.20-S.16 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Alt geçit (minimum h:5) | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Gabarı | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 | 5,00 |
| Kamulaştırma Genişliği | Normal 60,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 60,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 60,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 40,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 40,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 30,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 15,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 15,00± projenin gerektirdiği kadar | Normal 15,00± projenin gerektirdiği kadar |
| Eksen uzaklığı | KS 23,00 | KS 37,00 | KS 37,00 | KS 20,00 | KS 20,00 | KS 20,00 | KS 8,00 | KS 7,50 | KS 7,50 |

Karayolları standartlar kurulu tarafından hazırlanmıştır.

ONAY
06/07/1983

Şekil 4.5 : İki şeritli devlet yolları için geometrik standartlar[27]

Tablo 4.2’de ise Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından otoyollar için hazırlanmış olan geometrik standartlar gösterilmiştir.

Tablo 4.2: Otoyol geometrik standartları [6]

| Proje Elemanları | Otoyol ve (2x2) şeritli bağlantı | | | |
|--|----------------------------------|------|------|------|
| | km/sa | 120 | 100 | 80 |
| Proje hızı | km/sa | 120 | 100 | 80 |
| Şerit genişliği | m | 3.75 | 3.75 | 3.75 |
| Şerit sayısı | | 2x3 | 2x3 | 2x3 |
| Banket genişliği | m | 3 | 3 | 3 |
| Oto korkuluk payı | m | 1 | 1 | 1 |
| Röfuj banket genişliği | m | 1 | 1 | 1 |
| Röfuj genişliği | m | 5 | 5 | 5 |
| Normal enine eğim | % | 2.5 | 2.5 | 2.5 |
| Maksimum dever | % | 6 | 6 | 6 |
| Minimum yatay karp yarıçapı | m | 1000 | 600 | 350 |
| Minimum klotoid parametresi | m | 350 | 200 | 150 |
| Yatay karp yarıçapı | m | 3400 | 2050 | 1200 |
| Dever gerektirmeyen yatay karp yarıçapı | m | 5000 | 4500 | 3000 |
| Geçiş eğrisi gerektirmeyen yatay karp yarıçapı | m | 3000 | 2000 | 1500 |
| Maksimum aliyman boyu | m | 3000 | 2500 | 2000 |
| Mimimum aliyman boyu | m | 600 | 500 | 400 |
| Maksimum boyuna eğim | % | 4 | 4 | 5 |
| Minimum boyuna eğim | % | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Maksimum dever geçişi | % | 0.5 | 0.5 | 0.5 |
| Minimum dever geçişi | % | 0.3 | 0.25 | 0.25 |
| Kapalı düşey karp | m | 200 | 125 | 70 |
| Açık düşey karp | m | 100 | 70 | 35 |
| Duruş görüş uzunluğu (istenen) | m | 300 | 200 | 150 |
| Minimum duruş görüş uzunluğu | m | 200 | 150 | 110 |
| Minimum köprü düşey açıklığı | m | 5 | 5 | 5 |

Yukarıdaki tablolar ışığında çalışmadaki yol özellikleri belirlenmiştir. Çalışmadaki yol bir otoyol olup üç gidiş üç geliş olmak üzere altı şeritli ve şerit genişliği 3.75 m olup, 6 m banket ve 1.5 m oto korkuluk olmak üzere toplam 30 m’dir.

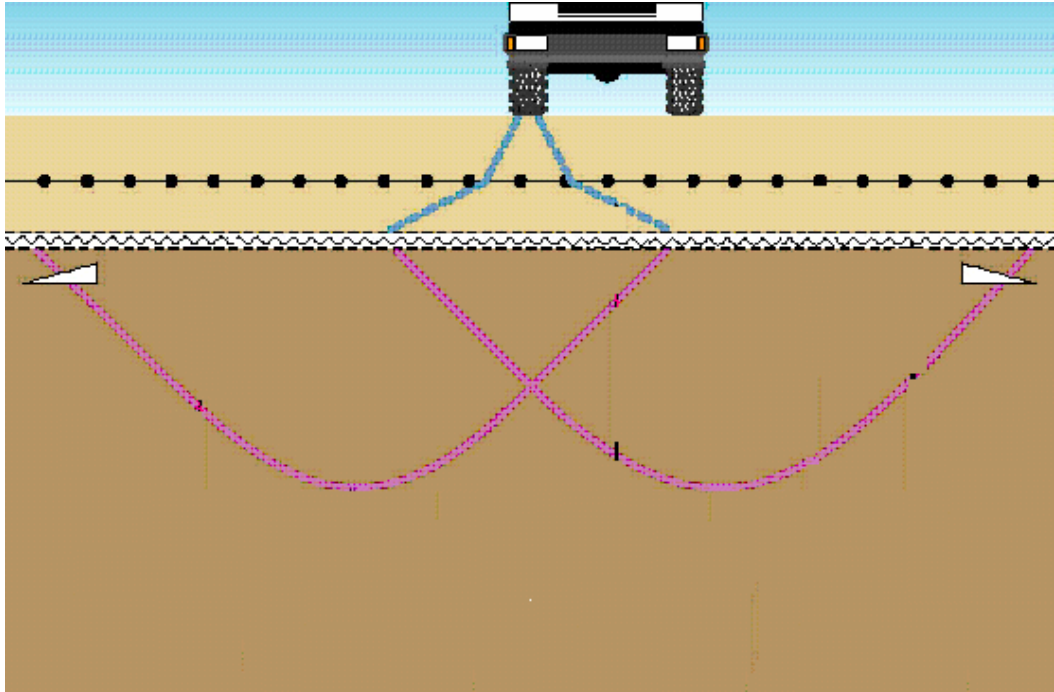
Yol tasarımlarını etkileyen bir diğer faktörde proje trafiğidir. Yolun hizmet ömrüne göre bu değer hesaplanmalıdır. Yoldan geçen araç sayısı ve bunların cinsi de yol tasarımında önemli rol oynar.

4.2 Yol İnşaatlarında Geogrid Etkisi

Geogridlerin yollardaki fonksiyonu membran etkisi ve yanal deformasyon etkisi olarak ikiye ayrılabilir.

4.2.1 Taşıma gücü

Zeminlerde geogrid kullanımı ile çekme dayanımı sağlanabilir. Bu sayede taşıma gücü zayıf ya da yetersiz olan zemine gelen gerilmeler geogrid yardımı ile karşılanmış olur. Ayrıca Şekil 4.6'daki gibi geogrid ile gelen yük uniform olarak yayılarak gerilme soğanı da genişletilir. Bu sayede zeminde meydana gelecek oturmalarda kısıtlanabilir [9].

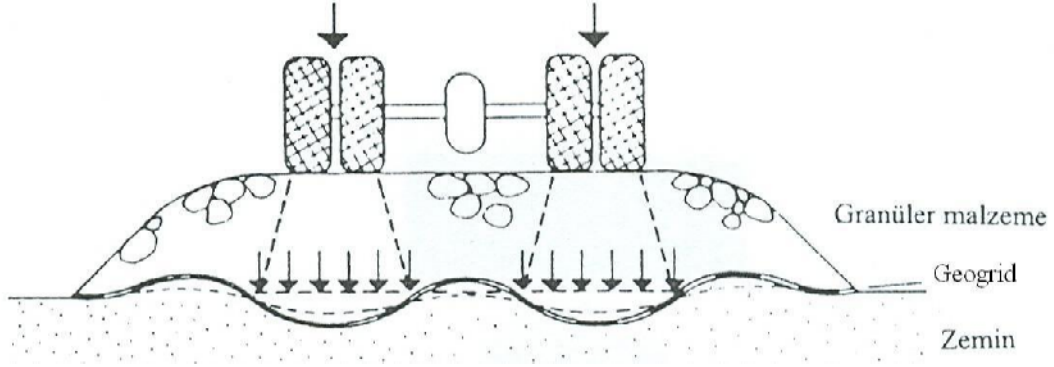


Şekil 4.6 : Taşıma gücüne etkisi [9]

4.2.2 Membran etkisi

Zayıf zeminler üzerine yapılan yol inşaatlarında dolgu tabakasında trafik yükleri veya yatay-düşey hareketler neticesinde özellikle teker bölgelerinde lokal oturmalar gözlemlenebilir. Şekil 4.7'deki gibi bu oturmalar taşıma gücünün artırılması ve dolgu zeminin hareketinin sınırlandırılması ile önlenir. Geogridlerin yüksek kesme mukavemetlerini zemine aktarmaları ile bu tür oturmalar önlenmiş olur. Geogridler sağladıkları gerilme yardımı ile gelen yükü daha geniş bir alana yayar. Bu olay denge

oluşuncaya kadar devam eder. Denge hali zeminin dağıtılmış yükü daha fazla plastik deformasyona uğramadan taşıyabileceği durumda kurulur.

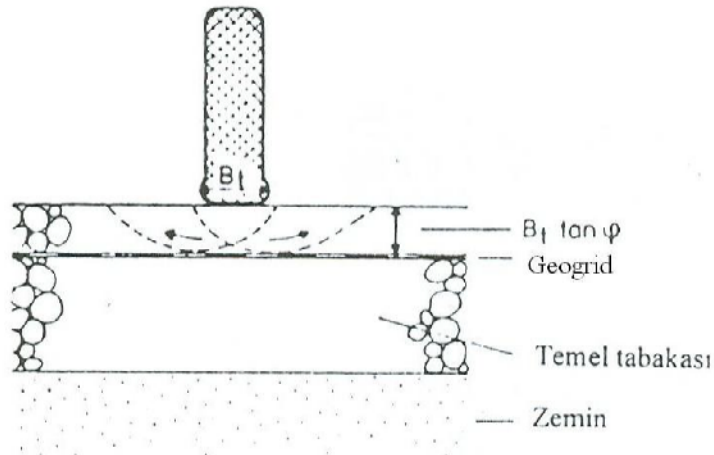


Şekil 4.7 : Zeminde membran etkisi [1]

Membran etkisinde dikkat edilecek nokta geogridde meydana gelecek uzamadır. Zeminde 100 mm'ye kadar oluşabilecek kalıcı deformasyondan ötürü geogridde uzama yaratmamalıdır. Aksi taktirde membran tipi dayanım gerçekleşmeyecek ve zeminde kalıcı tipte deformasyonlar oluşabilir [1].

4.2.3 Yanal destek

Zeminin ve temel tabakasının yanıl deformasyonunu önlemek içinde geogrid kullanılabilir. Geogrid kenetlenme prensibi ve sürtünme ile zemin ve temel malzemesini bir arada tutar. Böylece yanıl deformasyonlar önlenmiş olur. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi stabilize kaplama üzerinde bir teker yükü etkidiğinde agrega daneleri yana doğru ötelenmeye çalışırken zemin tarafından engellenecektir.

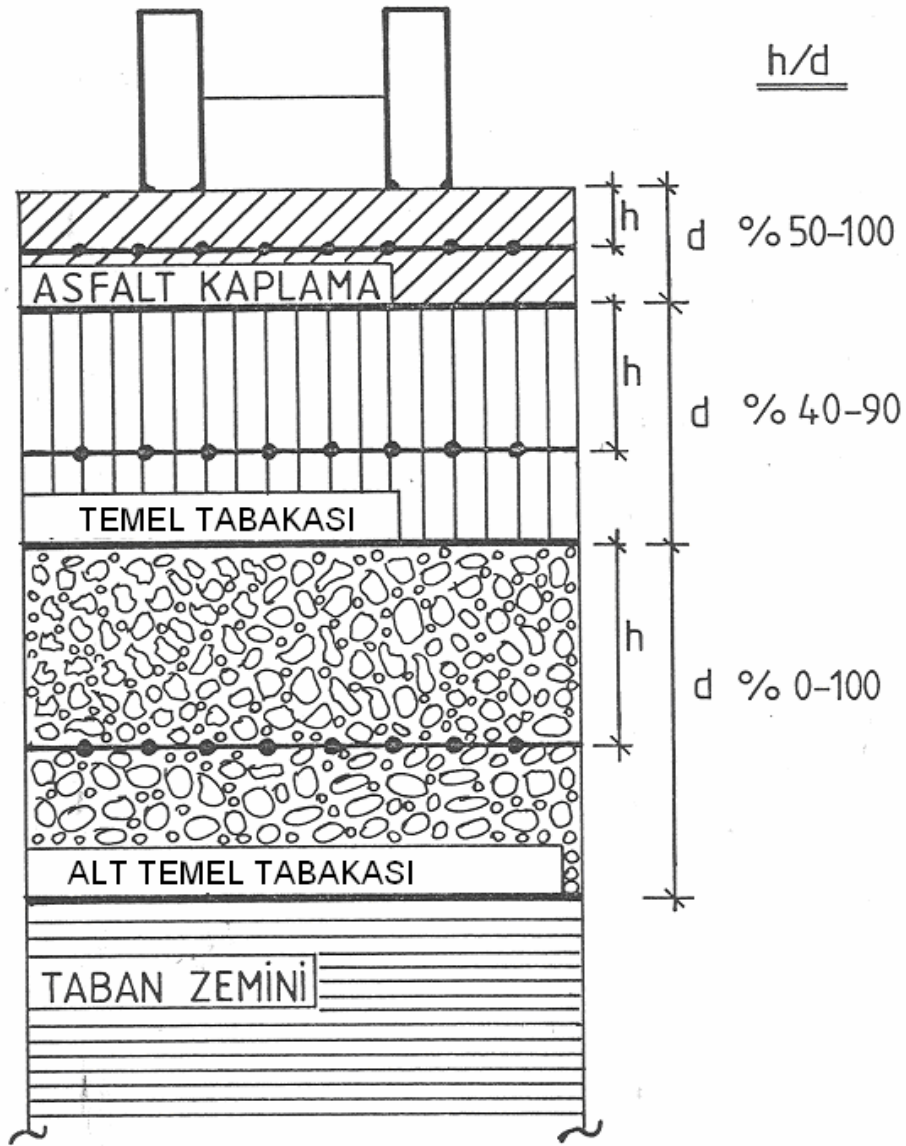


Şekil 4.8 : Yanal destek etkisi [1]

Yumuşak ve zayıf zeminin yanal ötelenmeye karşı gösterdikleri direnç son derece düşüktür. Ancak stabilize dolgu altında kullanılan geogrid ile yanal deformasyona karşı konulabilir. Geogridin kullanımı ile aynı zamanda kayma yüzeyi daha uzun olacağından dolayı taşıma gücü de artar [4].

4.3 Yol Kaplamalarında Geogrid Yerleşim Yerleri

Geogridlerin yol kaplamalarında kullanılabileceği kesitler Şekil 4.9'da gösterildiği gibidir. Bunlar dolgu tabakası altında ve/veya arasında, yüzey tabakası arasında ve kaplama altında ve/veya arasında olmak üzere üç şekilde kullanılabilir [8].



Şekil 4.9 : Yol inşaatında geogrid yerleşim yerleri [8]

Alt temelde geogrid, temel tabakası içinde çok çeşitli yerlere yerleştirilebilir. Buradaki amaç asfalt tabakasının altında oluşacak çekme deformasyonunu sınırlamak ve taban zeminine etkiyen gerilmeleri azaltmaktır. Sonuçta kaplamadaki teker izi azalacak, asfaltın yorulması sınırlandırılacak ve yolun, kaplamanın ömrü uzayacaktır. Ayrıca tasarlanan alt temel tabakası ve kaplama kalınlıkları da azalabilir.

Temel tabaka arasında geogrid kullanımı deformasyonların sınırlandırılması ve taban zemine gelen yükleri azaltmaktır. Böylece asfaltın ömrü uzamakta ve lokal çökmeler önlenmektedir. Burada geogridin yüzey tabakasının %40 ila %90'ı derinliğe yerleştirilmesi önerilir.

Kaplama tabakalarda geogrid kullanımı özellikle yüzeyde oluşacak yansıma çatlakların önlenmesinde kullanılır. Asfalt yeni yapılırken olduğu kadar mevcut yollarda da kullanılan bir yöntemdir. Burada amaç oluşacak çatlakların önlenmesi gelen yükün uniform bir şekilde alt tabakalara aktarılmasıdır. Burada geogridin kaplama kalınlığının %50 ile %100'ü derinliğinde yerleştirilmesi önerilir [8].

4.4. Yol Yapılarında CBR Verilerine Göre Geogrid Kullanımı ve Bununla İlgili Deney Sonuçları

Güçlendirilmiş bir yol yapısı oluşturmak için zemin özelliklerinin tam ve doğru olarak belirlenmiş olması gerekmektedir. Yol inşaatlarında sıklıkla kullanılan CBR Kaliforniya taşıma gücü oranı zeminin sıkılığı ile ilgili bize önemli bilgiler vermektedir. CBR; standart pistonun numuneye 0.25 cm batması gereken yükün, pistonun standart kırma kaya temele 0.25 cm batması için gereken yüke oranıdır.

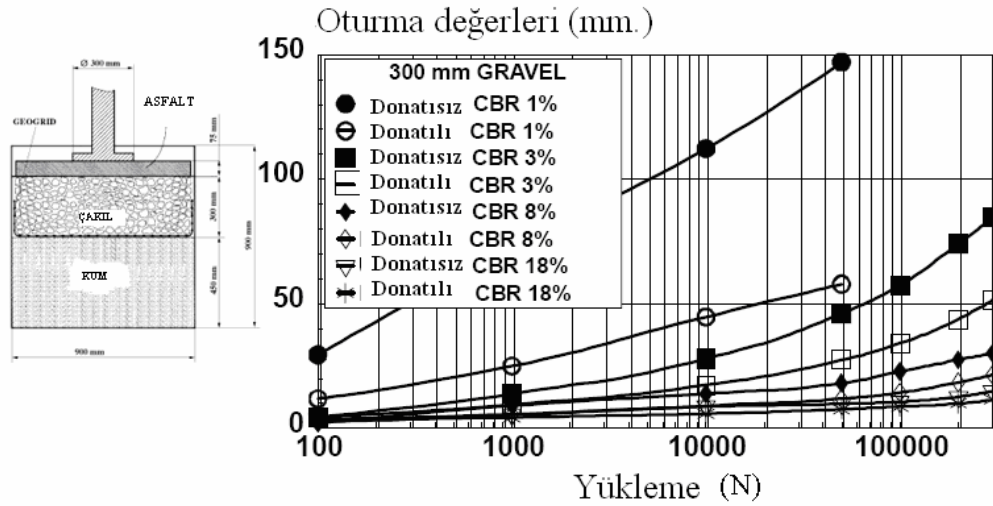
$CBR < 0.5$ ise ilk olarak mekanik stabilizasyon yapılmalıdır. Zemin ile temel arasına örgüsüz geotekstil ayırma amaçlı serilmeli temel dolgusunda da taşıma gücünü arttırmak ve oturmaları önlemek için geogrid kullanılmalıdır.

$0.5 \leq CBR < 2.0$ ise örgüsüz geotekstil üzerine geogrid serilmelidir. Burada geogrid uygulaması ile kullanılacak dolgunun kalınlığını azaltılabilir.

$2.0 \leq CBR < 4.0$ ise Geogrid maliyet analizine bağlı olarak kullanılmalıdır. Burada geogrid kullanımı üst yapının ömrünü uzatmakta ve farklı oturmaları önlenmektedir. Ayrıca tasarım kalınlığı da geogrid kullanımı ile düşebilir.

CBR \geq %4.0 ise taşıma gücü yüksek olan bu tip zeminlerde geogrid özel problem var ise kullanılmaktadır [9].

CBR değerlerine göre geogrid donatının yararlarına dair yapılan bir çalışmada 4 adet farklı sıklıkta kum labratuar şartlarında hazırlanmıştır. Kum tabakasının kalınlığı Şekil 4.10'da görüldüğü gibi 45 cm dir. Ara katmana geogrid donatı serilerek ve serilmeden numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra ise üzerine 30 cm kalınlığında çakıl dolgu yapılmıştır. Yapılan dolgu tabakasının üstüne ise 7.5 cm kalınlığında asfalt serilmiş ve 8 farklı durum için yükleme deneyi yapılmıştır. Bu yüklemeler sonucu oturma – yükleme grafiği çizilmiştir. Grafikte CBR %1 olan zeminde geogridin oturma değerlerini ne kadar düşürdüğü görülmektedir. CBR değeri arttıkça geogridin etkisi azalmaktadır [25].



Şekil 4.10 : Belirli yüklemelerdeki oturma grafiği [25]

Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi CBR değeri küçüldükçe geogridin etkisi artmaktadır. %1 CBR değerinde aynı yüklemeye oturma değeri geogrid kullanmadan 120 mm civarında iken geogrid kullanılarak bu değer 40 mm'ye kadar düşürülmüştür. Fakat CBR değeri yükseldikçe aradaki fark kapanmaktadır.

4.5 Geogrid ile Yol Zimini İyileştirmede Tasarım İçin Gerekli Veriler

Geogrid ile yol iyileştirmesinde gerekli verilerin başında mevcut zemin özellikleri gelmektedir. Yolun oturtulacağı zemin uzmanlarca incelenmiş ve gerekli datalar çıkarılmış olmalıdır. Dolgu malzemesi olarak kullanılacak malzemenin özellikleri ile

yapılacak yol özellikleri, trafik faktörü, kaplama malzemesi de ayrıntılı olarak belirtilmelidir. Bütün bu analizler uzman mühendislerce yapılmalıdır.

4.5.1 Mevcut zemin özellikleri

Zeminin yeterli taşıma gücüne sahip olmaması, konsolide olması, su bulundurması gibi durumlarda yani zemin özelliklerine göre yol tasarımı (yüzey tabakası, temel tabakası, vs.) farklılık göstermektedir. Bu nedenle, yolun geçeceği güzergâh iyice incelenmeli, temel zemini için zemin etüt ve laboratuvar çalışmaları uzman mühendisler tarafından yapılmış olmalıdır. Temel zemin cinsi, zemindeki su durumu, zemin kıvamı, birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı, kohezyon değerleri laboratuvar çalışmaları ile belirlenmiş olmalıdır. Ayrıca geosentetikli yol inşaatlarında zeminin sıvılaşma riski olmamalıdır. Geogrid yüzeysel bir zemin iyileştirme yöntemi olduğundan alt temelde meydana gelecek bir sıvılaşmada etkisini yitirmektedir. Sıvılaşma anında zemini jöleye geogridi de üzerindeki çikolataya benzetirsek geogrid jölenin üstündeki çikolata olarak jöleye batacaktır.

4.5.2 Dolgu malzemesinin özellikleri

Asfalt kaplama tabakası altında bulunan agrega tabakası, onun altında da temel tabakası olarak kırma taştan oluşmuş dolgu malzemesi vardır. Burada geogridin içinde kullanılacağı agrega ya da kırmataşın özellikleri laboratuvarda tespit edilmelidir. Dolgu malzemesinin optimum değerinde sıkıştırılması için gerekli veriler laboratuvarda Proktor testi ile bulunmalı arazide bu veriler ışığında sıkıştırılmalı ve arazide kompaksiyon testi ile doğrulanmalıdır. Sıkıştırmanın doğru yapılması yol inşaatları için çok önemli bir kıstastır [27].

4.5.2.1 Proktor deneyi

Bu deneyde, değişik su muhtevalarında zemin numuneleri, standart boyutlarda bir kalıp içinde, belirli sayıda tabakalar halinde ve üzerine yine standartlaştırılmış bir miktarda enerji uygulanarak (kütlesi belli bir ağırlığın sabit bir yükseklikten düşürülmesi ile) sıkıştırılır. Yaygın olarak kullanılan iki tür Proktor deneyi vardır. Bunlar standart Proktor ve modifiye Proktor deneyleridir. Bu deneylerin özellikleri Tablo 4.3'de verilmektedir.

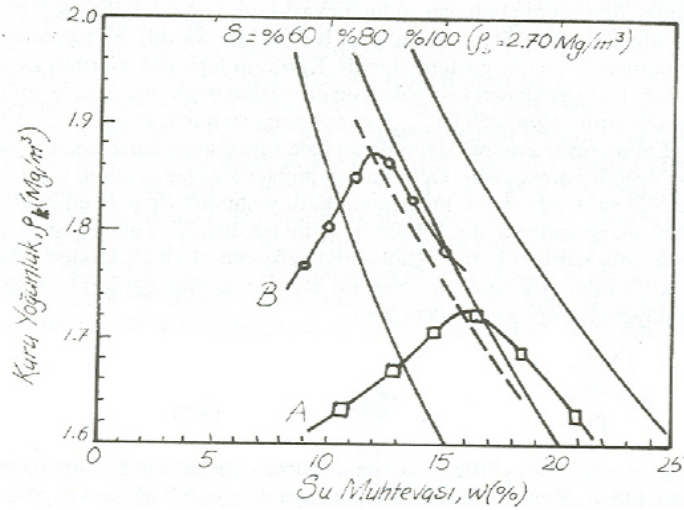
Tablo 4.3: Standart ve modifiye Proktor deneyinin özellikleri

| Özellikler | Standart Proktor | | Modifiye Proktor | |
|------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Kalıp Çapı | 4''(101.6 mm) | 6''(152.4 mm) | 4'' | 6'' |
| Kalıp Hacmi | 944 cm ³ | 2124 cm ³ | 944 cm ³ | 2124 cm ³ |
| Tokmak Ağırlığı | 2.49 kg | 2.49 kg | 4.54 kg | 4.54 kg |
| Düşme Yüksekliği | 305 mm | 305 mm | 457 mm | 457 mm |
| Tabaka Sayısı | 3 | 3 | 5 | 5 |
| Darbe Sayısı | 25 | 56 | 25 | 56 |
| Max. Dane boyu | A | B,C,D | A | B,C,D |

Not:

- A: 4'' kalıbında 4.75 mm'den geçen malzeme
- B: 6'' kalıbında 4.75 mm'den geçen malzeme
- C: 6'' kalıbında 19.0 mm'den geçen malzeme
- D: 6'' kalıbında 19.0 mm'de geçen malzeme

Kalıp sıkıştırılmış zemin ile tamamen doldurulduktan sonra kütlesi belirlenip bundan sıkıştırılmış zeminin yoğunluğu (veya birim hacim ağırlığı) bulunur. Aynı zeminden alınacak örneklerden su muhtevası saptandıktan sonra kuru yoğunluğu hesaplanır. Deney 5–6 kere farklı su muhtevalarında tekrarlanarak, zeminin su muhtevası ile sıkıştırılmış kuru yoğunluğu arasındaki ilişki deneysel olarak saptanmış olur ve sonuçlar grafik olarak Şekil 4.11'deki gibi gösterilir.



Şekil 4.11 : Proktor deneyinden elde edilen birim hacim ağırlık – su muhtevası ilişkisi [7]

Eğrilerin tepe noktalarının koordinatları bu zemin için uygulanan kompaksiyon enerjisine bağlı olarak elde edilebilecek maksimum kuru yoğunluğu ve optimum su muhtevasını göstermektedir. Laboratuvar kompaksiyon deneyinde saptanması amaçlanan esas iki parametre bu değerlerdir. Optimum su muhtevası zeminin arazide

en iyi sıkışabileceği su muhtevasını, maksimum kuru yoğunluk ise elde edilebilecek sıkışma derecesini göstermektedir. Eğrilerin biğimi ise, belirli su muhtevası aralıklarında sıkıştırılmış zeminin kuru yoğunluğunda gözlenecek değişiklikleri göstermektedir [7].

4.5.2.2 Arazide sıkıştırma kontrolü

Arazide kompaksiyon işlemi, sıkıştırılmış dolgunun sıkılık derecesinin ve su muhtevasının yerinde kontrolü gerekmektedir. Sıkıştırılan toprak dolguların arazideki sıkılık derecesini yerinde ölçmek üzere değişik yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar arasında yaygın olarak kullanılanlar aşağıda verilmiştir.

- a) Kum şişesi yöntemi
- b) Balon yöntemi
- c) Yağ (veya su) yöntemi
- d) Nükleer aletler

Bu yöntemlerden ilk üçü aynı temel esas almaktadır: Sıkıştırılan zemin yüzeyinde bir oyuk açmak, bu oyuktan çıkan zeminin ağırlığını ve oyuğun hacmini ölçmek ve zeminin yoğunluğunu hesaplamak. Oyuğun hacmini ölçmek için kum şişesi, şişirilen bir balon kullanılmaktadır.

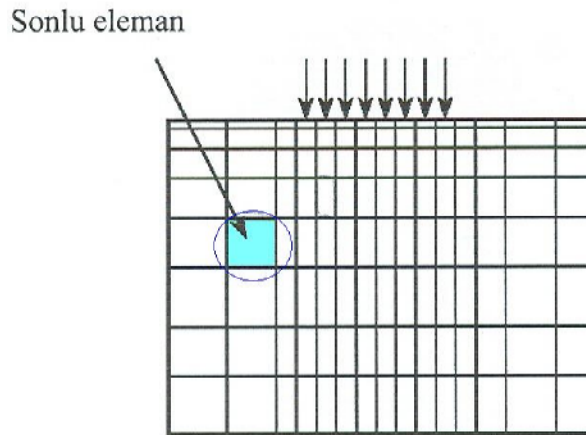
Nükleer aletler yardımı ile ise zeminin yoğunluğu ve su muhtevası (bir oyuk açmadan) yerinde doğrudan saptayabilmektedir [7].

5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YOL DOLGUSU TASARIMI

Bu çalışmada geogrid ile yol analizi sonlu elemanlar yöntemi olan Plaxis programı yardımı ile analiz edilmiştir. Geoteknik problemlerin çözümünde kullanılan üç çeşit ana yöntem vardır. Bunlar kapalı çözüm, nümerik çözüm, limit denge ve deneye dayalı çözümlerdir. Kapalı çözüm; ortamın uniform olarak kabul edildiği ve belirli sınır koşulları altında olan diferansiyel çözümlerdir. Limit denge, sadece dengeyi göz önüne alıp deformasyonları hesaba katmadan yapılan çözümlerdir. Ampirik çözümler ise deneyime dayalı olarak çıkarılan formül ya da abakları kullanarak yapılan çözümlerdir. Nümerik çözüm yöntemi, sınır elemanlar, sonlu elemanlar, sonlu farklar ve ayırık elemanlar olarak dörde ayrılır. Nümerik çözüm yöntemi karmaşık diferansiyel denklemleri matris formuna getirilip çözümlenmesidir. Analizlerin hepsinde kuramsal bir çözüm için denge, uygunluk, malzeme bünye davranışı ve sınır koşullar sağlanmalıdır.

5.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Karmaşık diferansiyel denklemleri matris formatına getiren nümerik bir çözüm yöntemidir. Sürekli bir ortam sonlu elemanlara bölünerek denklemler bir eleman için yazılır ve integre edilerek sistem denklemleri elde edilir. Şekil 5.1'de sonlu bir eleman görünmektedir [10].



Şekil 5.1 : Sonlu eleman [10]

Bu yöntemin avantajları,

- Bilgisayar yardımı ile çözülebilir.
- Her çeşit geometri, malzeme, sınır koşul ve yükleme tanımlanabilir.
- Aynı anda bütün soruların yanıtını verebilir.
- Birçok problemde geliştirilen formülasyonu ile uygulanabilir.
- Yeterli eleman tanımı ile gerçek çözüme çok yakın sonuçlar vermektedir.

5.2 Plaxis Sonlu Elemanlar Programı

1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesinde geliştirilmiş, geoteknik mühendisliği projelerinde karmaşık problemleri sonlu elemanlar yöntemi yardımı ile çözen; deformasyonlar, stabilite analizleri, dinamik analizler, konsolidasyon değerleri, akım ağları, zamana bağlı davranış analizleri yapan ve yapı ile zemin arasındaki ilişkiyi modelleyen bir programdır.

Plaxis programında yapılan analizin izlediği yol,

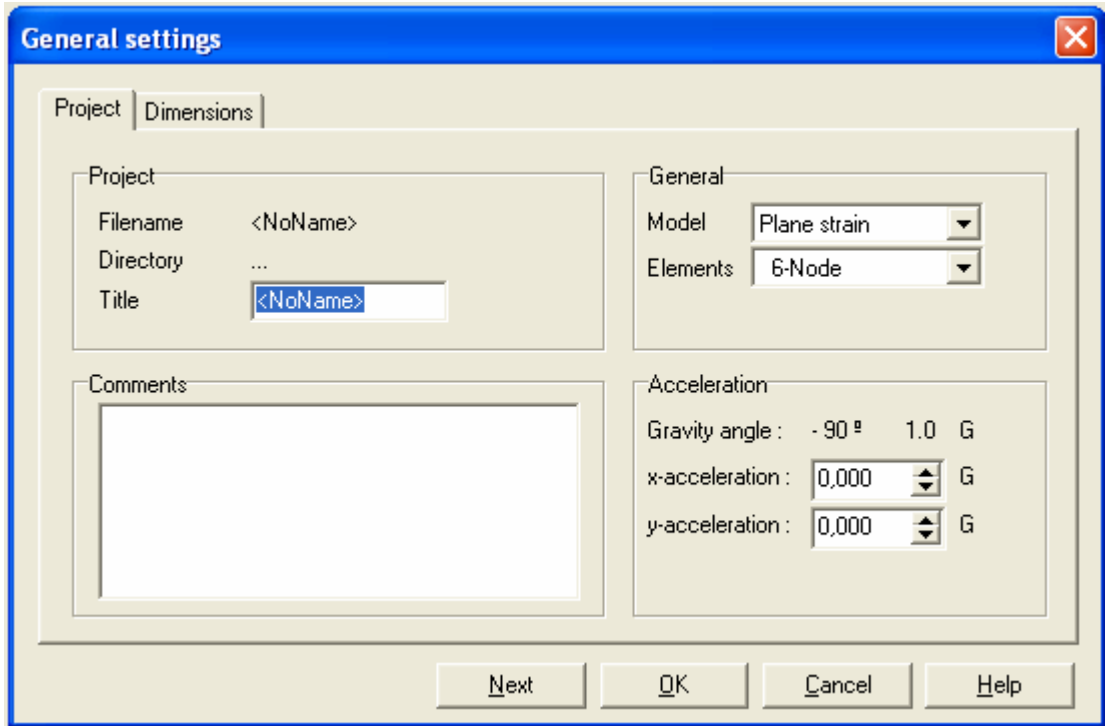
- Elemanların seçimi ve ortamı elemanlarına ayırma
- Yaklaşım modeli seçimi
- Malzeme bünye davranışı
- Eleman denklemlerinin elde edilmesi
- Eleman denklemlerinden sistem denklemlerinin elde edilmesi
- Sistem denklemlerinin çözülmesi ve birincil bilinmeyenlerin bulunması
- Birincil bilinmeyenlerden ikincil bilinmeyenlerin hesaplanması
- Sonuçlar, grafikler.

Plaxis bu analizi modülleri ile yapmaktadır. Bunlar Input (veri girişi), Calculation (hesaplama) , Output (çıkıtı)ve Curve (grafik) modülleridir. [10] Bu modüller aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

5.2.1 Verilerin Girilmesi

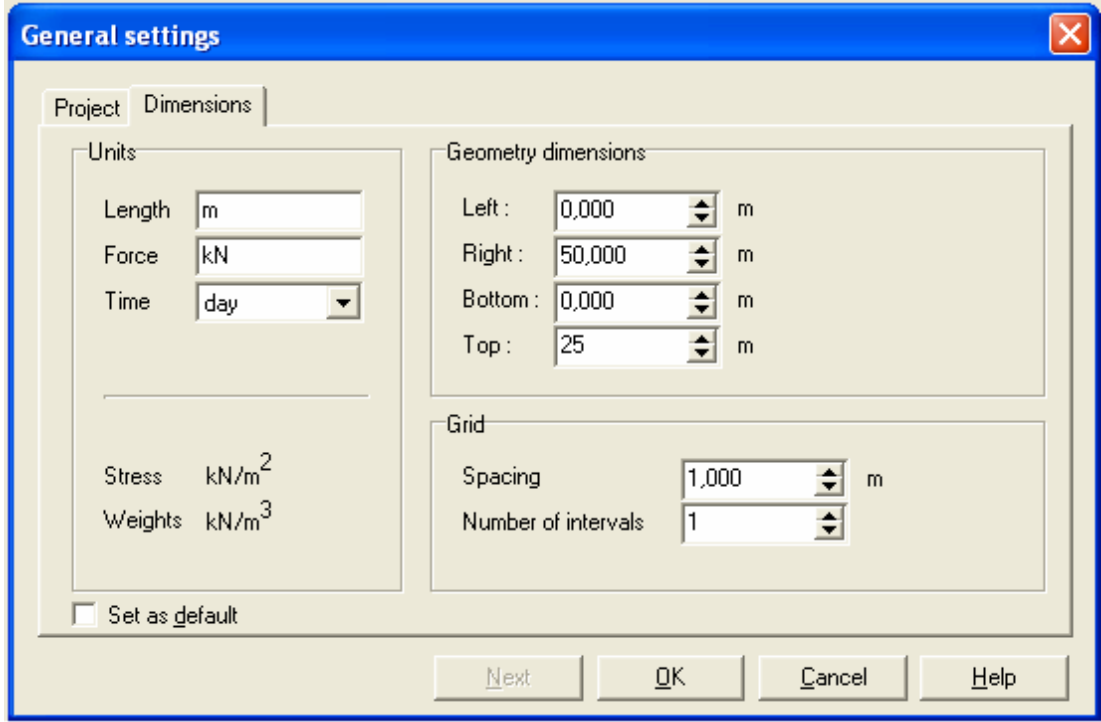
Plaxis elimizdeki verilerin girildiği adım olarak da adlandırabileceğimiz bu adımda; geometrinin girişi ve başlangıç koşulları tanımlanır.

İlk olarak yeni bir dosya oluşturulduğunda genel özellikler “General settings” sayfası (Şekil 5.2) açılacaktır. Burada projenin adı, kullanıcı açıklamaları “Comments” girebilir. Her analiz için birinci adımda sonlu elemanlar ağının ana parametreleri belirlenmektedir. Projeye uygun model seçimi ve eleman ağı seçilmelidir. Eleman ağı seçiminde 6 veya 15 düğüm noktalı elemanlar hesabın önem derecesine göre seçilebilir. 15 düğüm noktalı çözüm 12 gerilme noktası, 6 düğüm noktalı çözüm 3 gerilme noktası vermektedir. Fakat 15 düğüm noktalı çözüm daha esnek ve detaylı çözüm vermesine karşın çözüm için daha fazla zaman harcamaktadır.



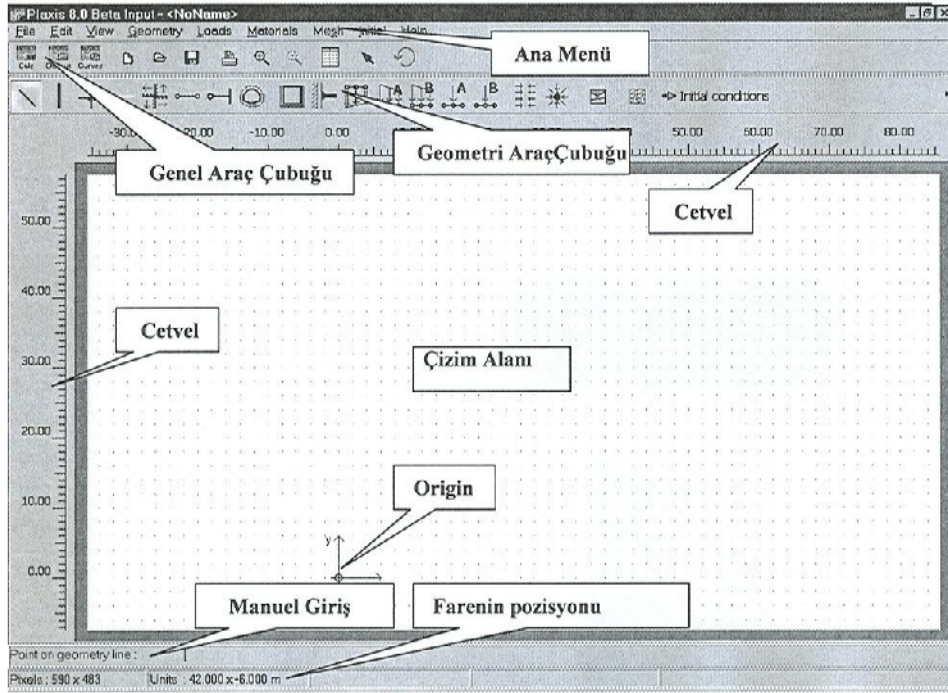
Şekil 5.2 : Genel özellikler sayfası

Genel özelliklerin ikinci sayfası Şekil 5.3’de gösterilmiştir. Burada proje birimleri, geometri boyutları ve grid aralıkları belirlenmelidir.



Şekil 5.3 : Genel özellikler ikinci sayfası

Genel özellikler tanımlandıktan sonra geometrik model oluşturulur. Şekil 5.4'deki ana ekran üzerinde genel geometri zemin tabakaları ve mevcut yapılar çizilir [10].



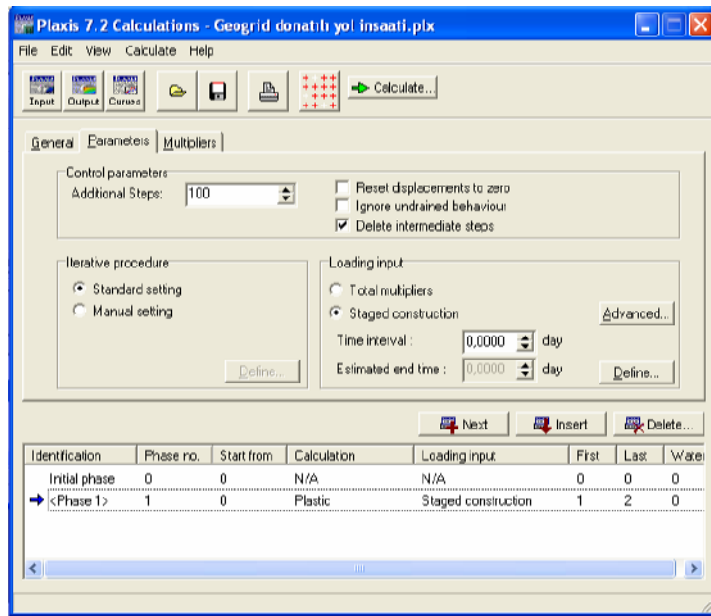
Şekil 5.4 : Plaxis input ana ekranı [10]

Geometrisi biten projedeki bir sonraki adım sınır koşullarının belirlenmesi ve malzeme özelliklerinin girilmesidir. Araç çubuklarından malzeme özellikleri seçilip eldeki zemin veriler ve yapı özellikleri kaydedilir. Başlangıç gerilmeleri de sisteme tanımlandıktan sonra sonlu elemanlar ağı oluşturulmalıdır. Bu işlem “mesh” komutu yardımı ile yapılır.

Başlangıç koşullarının belirlenmesi için “Initial Condition” tuşuna basılır. Bu bölümde yeraltı suyu seviyesi çizilerek boşluk suyu basıncı hesaplanır. Sistem inşaat öncesi duruma getirilerek efektif gerilmelerde bulunduktan sonra hesaplamalar “Calculate” hesap modülüne geçilir.

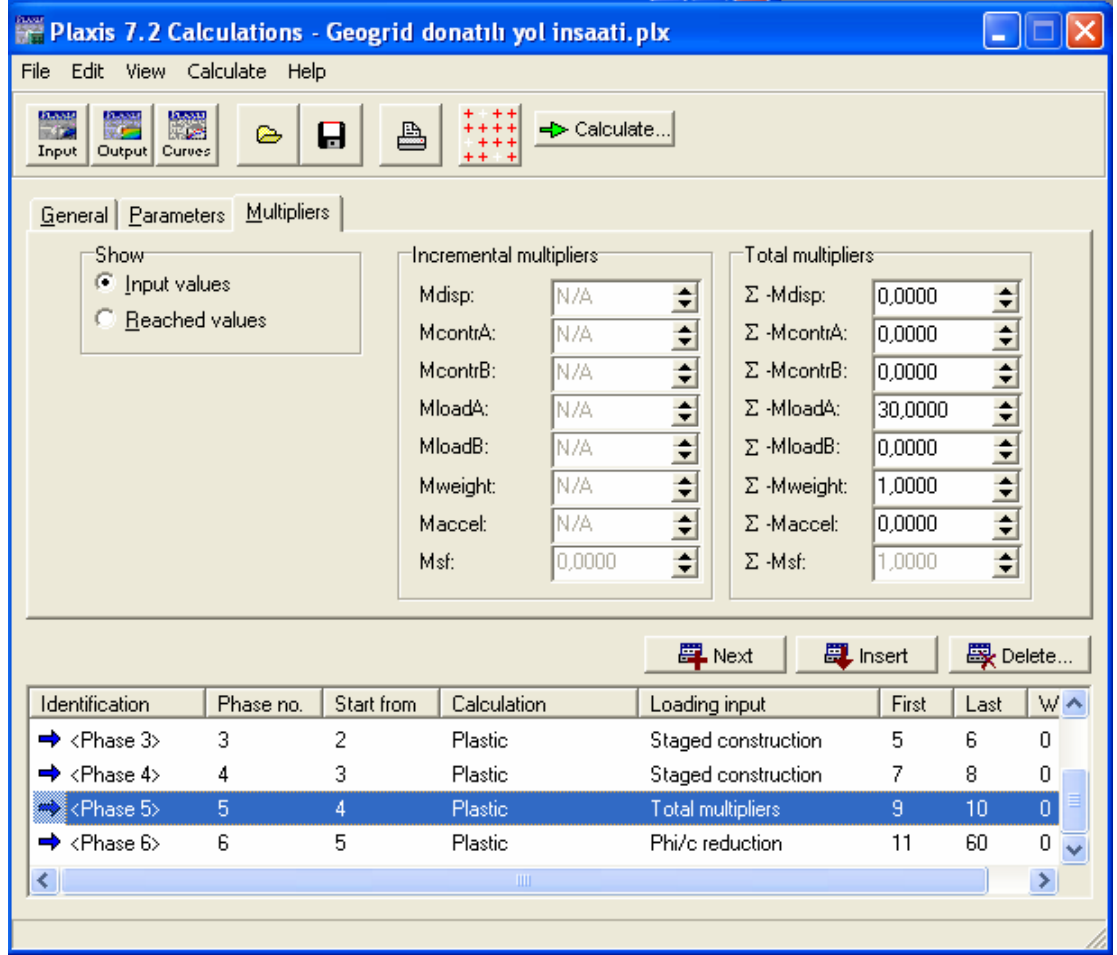
5.2.2 Hesap modülü

Başlangıç durumu tanımlandıktan sonra Calculate modülüne geçilir. Hesap modülünde mevcut durum ve inşaat kademeleri ayrıntılı olarak tanımlanıp her durum için ayrı ayrı hesap yapılabilir. Sadece son durum, yükleme ya da oturma için hesap yapılabilir. Bu çalışmada olduğu gibi aşamalı bir inşaat yapılacak ise başlangıç konumunda açıldıktan sonra “next” butonu ile inşaat kademeleri tanımlanmaya başlanır. Burada “Stage construction” yani kademeli inşaat seçilir. İlk kademeyi tanımlamak için define tuşuna basılıp inşaata başlanır. İstenirse kademelinin adı general bölümünden değiştirebilir. Şekil 5.5’de hesap modülünde kademeli inşaatın birinci adımı tanımlanırken parametre seçimindeki ekran görülmektedir. Burada define ile çizime gidilip ilk kademe tanımlanmalıdır.



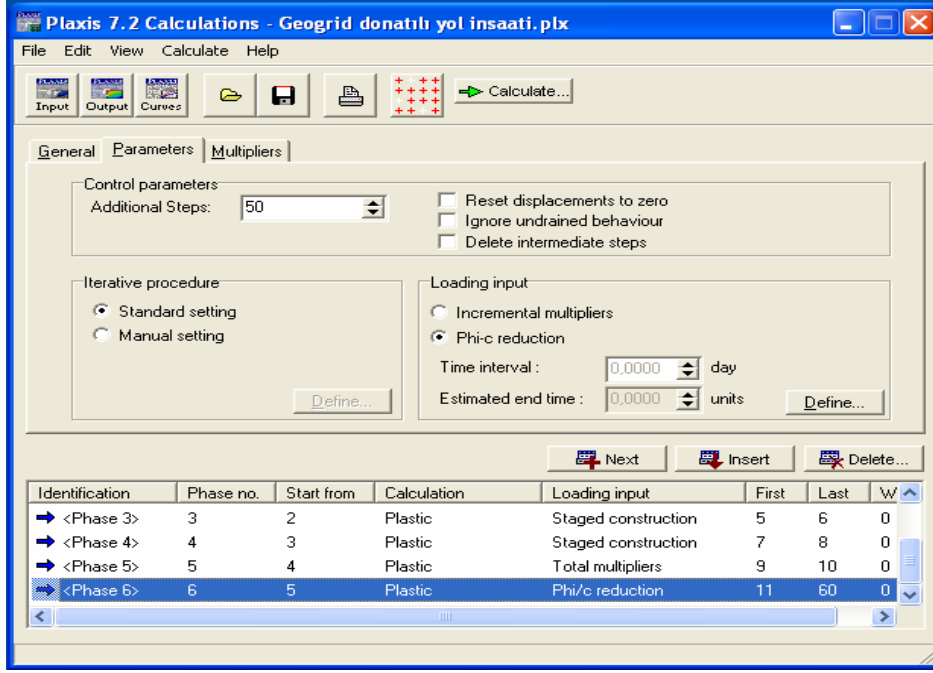
Şekil 5.5 : Plaxis hesap modülünde birinci kademelinin tanımlanması

Her adım için aynı düğmelere basılarak inşaat tamamlanır. Son olarak ise eğer kademe yoksa ya da ortama etki eden bir yük varsa “total multipliers” seçeneği ile hesap yapılır. Şekil 5.6’da kademeli inşaat bittikten sonra yapıya gelen yükü tanımlamak için bu adım kullanılmıştır. “Multipliers” butonundan MloadA seçeneği ile yapıya gelen yük belirlenmiştir.



Şekil 5.6 : Toplam çarpanlar ile yük tanımlama

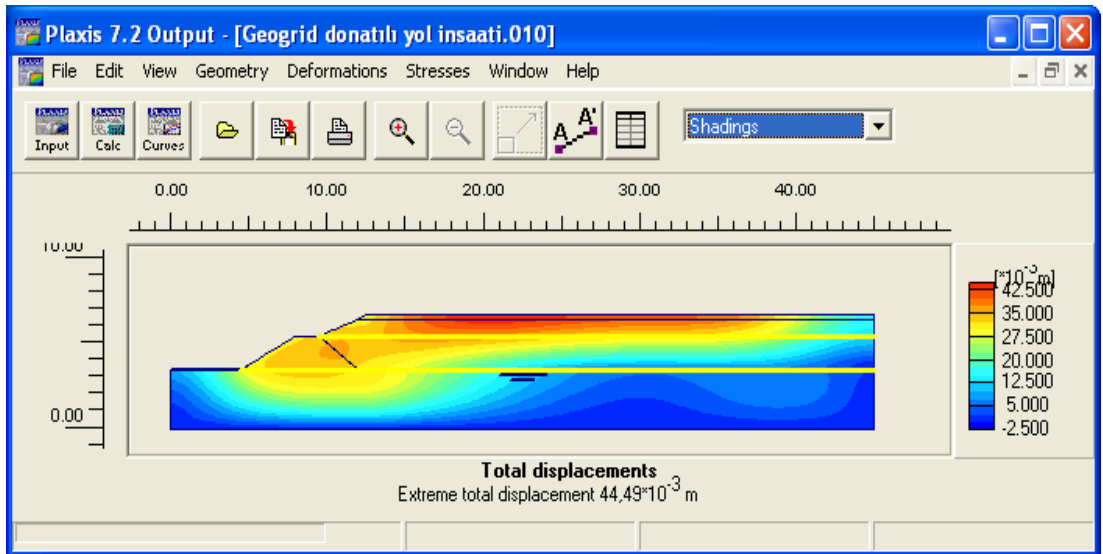
Eğer stabilite tahkiki de yapılacaksa Şekil 5.7’deki gibi “Phi/c reduction” ile sistemin güvenlik sayılarına ulaşılabilir. Bu analiz ile şev stabilitesi güvenlik sayısı bulunabilir. Burada dikkat edilmesi gereken husus şev stabilitesine bakılacak olan noktaların doğru belirlenmesidir. Daha sonra anlatılacak olan grafik modülü ile güvenlik sayısı her nokta için tek tek görüntülenebilir. Bunlar tek tablo yapıp karşılaştırılabilir.



Şekil 5.7 : Stabilite tahkiki

5.2.3 Çıktı Modülü

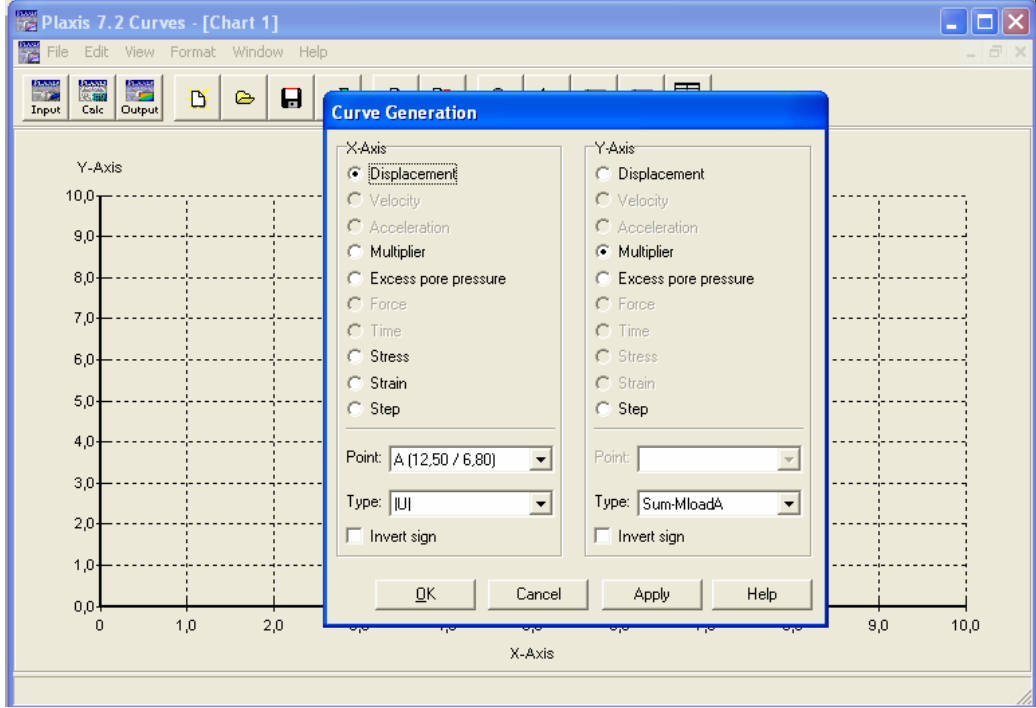
Hesaplar adımları tanımlandıktan ve hesaplamalar yapıldıktan sonra deformasyonlar ve gerilmeler ile ilgili detaylı bilgiyi aldığımız adımdır. Burada deformasyonlar ile ilgili deformasyon ağını çizdirebilir, yanal, düşey, noktasal ve toplam deformasyonlar görülebilir. Efektif gerilmeler, toplam gerilmeler, aşırı konsolidasyon oranı, plastik noktalar, boşluk suyu basıncı, akım ağları ve yapı elemanları üzerindeki kuvvetler incelenebilir. Şekil 5.8’de çıktı ekranı gözükmektedir.



Şekil 5.8 : Çıktı ekranı

5.2.4 Grafik Modülü

Hesap modülünde belirlenen yapı veya hesap için önemli noktaların özellikleri hakkında çok sayıda eğri çizilebilir. Noktalar ile kendi aralarında karşılaştırma yapılabileceği gibi her inşaat adımından sonra noktada meydana gelen değişim görülebilir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi x ve y eksenlerinde görmek istediğiniz kıstas girilerek grafikleştirilebilir.



Şekil 5.9 : Grafik modülü

6. PLAXIS PROGRAMI İLE YOL İNŞAATI ANALİZİ

Yumuşak zemin üzerine inşa edilen yolun geogrid kullanılarak ve kullanılmadan Plaxis ile analizi yapılmıştır. Alt temel ve temel tabakaları arasında geogrid kullanımının yol üzerindeki etkisi ile geogrid kullanılmadan yapılan yoldaki etkileri karşılaştırılmıştır.

Hesaplarda, düzlemsel deformasyon Plane strain modeli ve 15 düğüm noktalı üçgen sonlu elemanlar kullanılmıştır. SI birim sistemi ile çalışılmış, kayma modülü olarak Plaxis'in değerleri kabul edilmiştir.

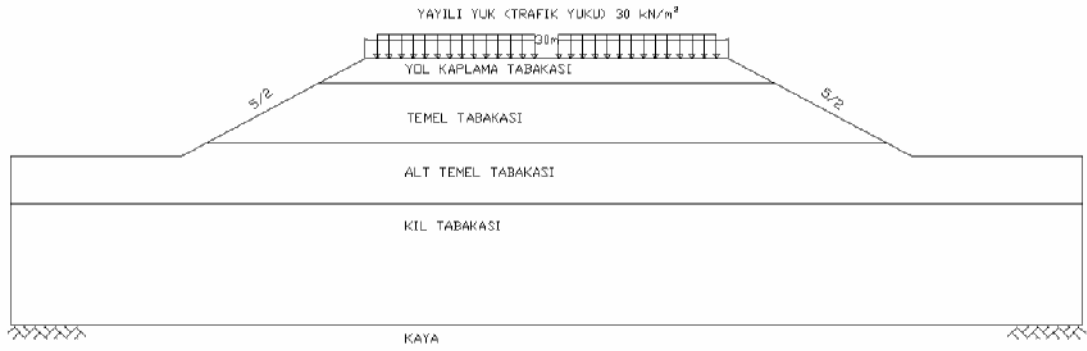
6.1 Zemin, Dolgu ve Geogrid Özellikleri

Mevcut zemin özellikleri, temel, alt temel, geogridde kullanılacak dolgu ve kaplama özellikleri aşağıdaki tabloda ayrıntılı olarak verilmiştir. Mevcut zemin kil olup, zeminde su bulunmamaktadır.

Tablo 6.1: Zemin parametreleri

| Parametre | Sembol | Kil | Geogrid Dolgusu | Alttemel | Temel | Kaplama | Birim |
|----------------------------|------------------|--------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-------------------|
| Malzeme modeli | Model 1 | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Mohr-Coulomb | Linear elastic | - |
| Davranış tipi | Type | Drenajsız | Drenajlı | Drenajlı | Drenajlı | Non-porous | - |
| Kuru birim hacim ağırlığı | γ_{unsat} | 16 | 18 | 19 | 20 | 24 | kN/m ³ |
| Islak birim hacim ağırlığı | γ_{sat} | 18 | 18 | 19 | 20 | - | kN/m ³ |
| Permeabilite x yönü | k_x | 1.0E-4 | 1 | 1 | 1 | - | m/gün |
| Permeabilite y yönü | k_y | 1.0E-4 | 1 | 1 | 1 | - | m/gün |
| Young modülü | E_{50} | 3000 | 100000 | 120000 | 150000 | 2.7E+7 | kN/m ² |
| Poisson oranı | ν | 0.333 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.12 | - |
| Kohezyon | C | 30 | 5 | 5 | 5 | - | kN/m ² |
| İçsel sürtünme açısı | ϕ | 5 | 30 | 35 | 38 | - | ° |
| Diletasyon açısı | ψ | 0 | 0 | 5 | 8 | - | ° |

Yapılan yol iki şeritli otoban olup geometrik özellikleri Tablo 4.2'den alınmıştır. Platform genişliği 30 m sağ ve sol yandaki dolgu şevi eğimi ise 5/2 dir. Yolun genel özellikleri Şekil 6.1'deki gibidir. Aşağıdaki şekilde Plaxis'e tanımlanmış zemin özellikleri görülmektedir. Geogridsiz yol inşaatında mevcut zeminin üzerine alt temel, temel ve beton yol kaplaması yapılmıştır. Geogridli yol inşaatında ise ortalama bir dolgu malzemesi kullanılmıştır. Sürsarj yükü olarak iki şeritli yollar için önerilen 30 kN/m² yük alınmıştır.



Şekil 6.1 : Yol en kesiti

Hesaplarda kullanılan geogrid ekstrüde yöntemi ile üretilmiş çift yönlü bir geogriddir. Geogridin teknik özellikleri Tablo 6.2'de verilmiştir. Plaxis programında kullanılan rijitlik değeri üreticinin verdiği değer olarak hesaplara katılmıştır.

Tablo 6.2: Geogrid teknik özellikleri

| Teknik özellikler | Test metodu | Birim | Geogrid | |
|---------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | MD | CD |
| %2'lik uzamada çekme gerilmesi | ISO 10319 | kN/m | 14.0 | 15.0 |
| %5'lik uzamada çekme gerilmesi | ISO 10319 | kN/m | 28.0 | 30.0 |
| Maksimum çekme gerilmesi | ISO 10319 | kN/m | 40.0 | 40.0 |
| Akma uzaması | ISO 10319 | % | 11.0 | 11.0 |

Yukarıdaki tabloda verilen maksimum çekme gerilmesi Bölüm 3.2'deki güvenlik sayılarına bölünerek nihai çekme gerilmesi maksimum 21.4 kN/m olarak hesaplanır. Burada üreticinin verdiği sünme faktörü 1.7, çevresel etkiler 1.1, kimyasal etkiler 1 olarak deneyler sonucu belirlenmiştir.

6.2 Geogrid Kullanılarak Yapılan Yol Dolgusunun Plaxis ile Analizi

Bu bölümde, zayıf zemin üzerine yapılan yol dolgusu üzerindeki oturmaları geogrid kullanarak plaxis ile incelenmiştir. Yol kesitinin geometrik özellikleri Şekil 6.1'deki gibi girilmiştir. Yol temel ve alt temel tabakası dolgusu ortalama malzemedan (kum, çakıl) seçilmiştir. Yol zemini iyileştirmede geogrid kullanıldığı için dolgu malzemesi kalınlığı azaltılmış ve elenmiş kum çakıl dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır.

Geogrid kullanılarak yapılan 3 çalışmada ortak olarak kullanılan veriler, zemin özellikleri, geogrid özellikleri ve dolgu özellikleridir. Bu veriler plaxis programı veri bankasına tanımlanmış ve her çalışmada kullanılmıştır. Geogrid ile kullanılacak dolgu özellikleri Şekil 6.2'de gösterildiği gibidir. Geogrid kenetlenme ve sürtünme prensibi ile çalışan bir malzemedir. Geogridin kenetlenme özelliği ve yüksek mukavemeti nedeni ile kullanılacak dolgu malzemesi seçiminde daha geniş bir aralıktan yararlanılabilir.

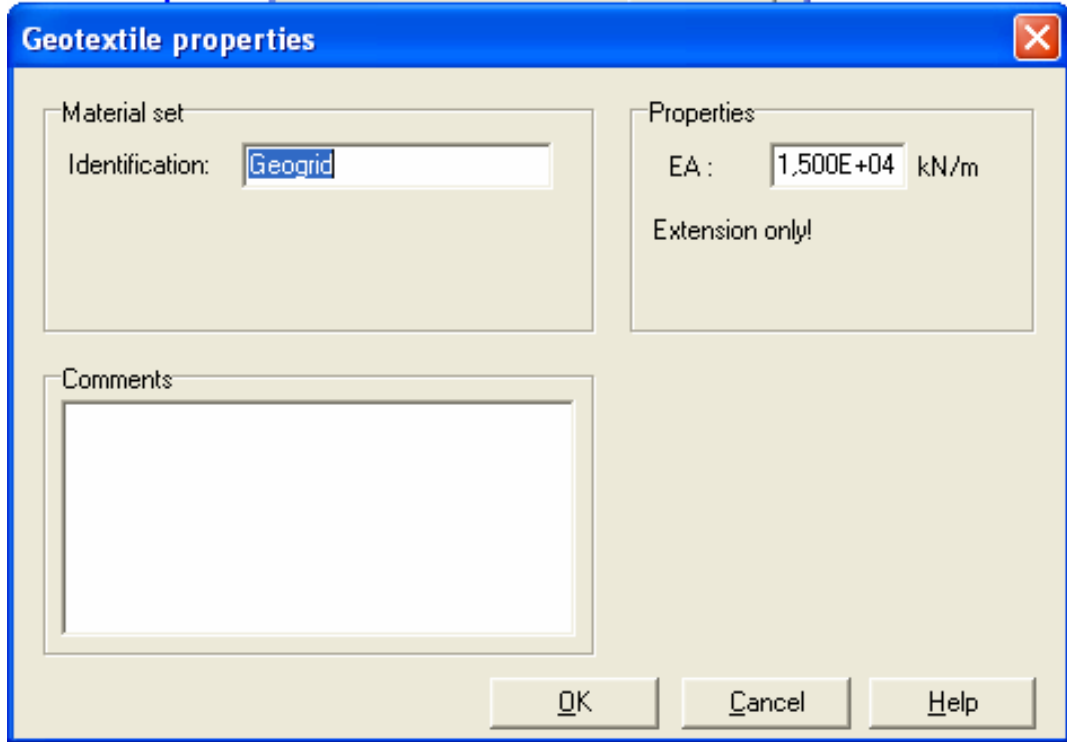
The image shows a software dialog box titled "Mohr-Coulomb - Geogrid dolgu". It has three tabs: "General", "Parameters", and "Interfaces". The "General" tab is selected. The dialog is divided into several sections:

- Material Set:** Identification: "Geogrid dolgu", Material model: "Mohr-Coulomb", Material type: "Drained".
- General properties:** γ_{dry} : "18,000" kN/m³, γ_{wet} : "18,000" kN/m³.
- Permeability:** k_x : "1,000" m/day, k_y : "1,000" m/day.
- Comments:** A large empty text area.

At the bottom of the dialog, there are buttons for "Next", "Ok", "Cancel", and "Help".

Şekil 6.2 : Geogrid dolgu özellikleri

Donatı olarak kullanılacak geogrid rijitliği ise geogridin elastisite modülü ile et kalınlığının çarpılması sonucu elde edilir. Bu değer üretici firmanın ürünü için verdiği değer olarak hesaba alınmıştır. şekil 6.3’de geogrid için EA değerı şekildeki gibidir.

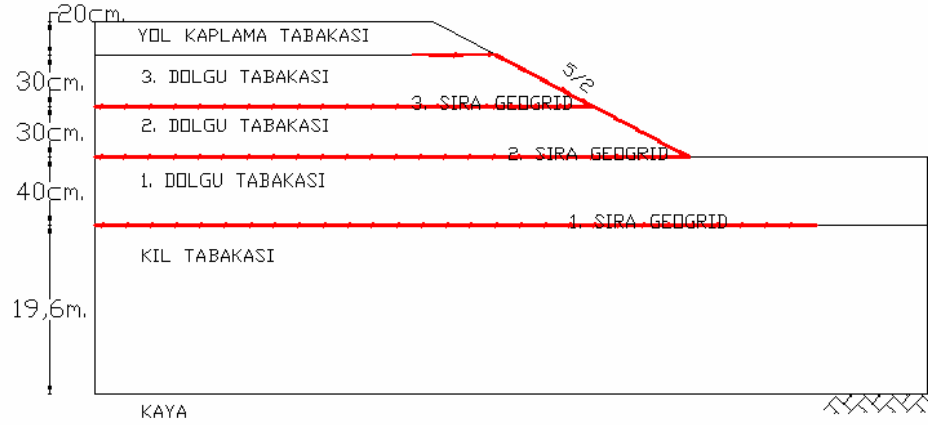


şekil 6.3 : Geogrid özelliklerinin Plaxis’e girilmesi

Geogrid kullanılarak 3 analiz yapılmıştır. Bu analizler detayları ile aşağıda anlatılmıştır.

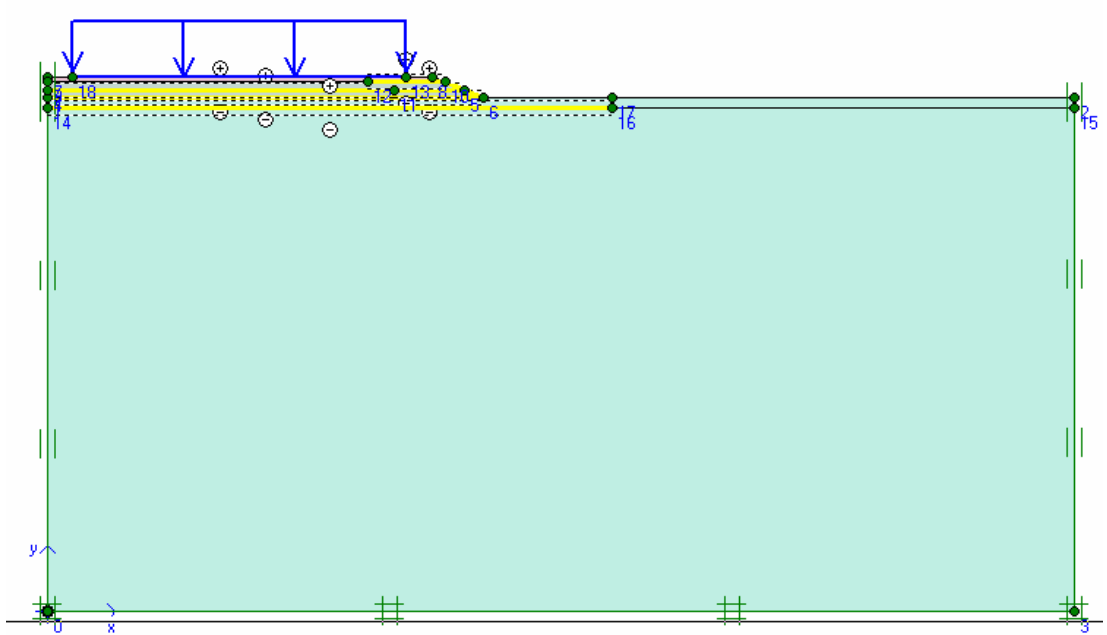
6.2.1 Yol dolgusu inşaatında 3 sıra geogrid kullanılarak yapılan alışma

Bu çalışmada yolun geçeceği zemin şekil 6.4’de de görüldüğu gibi üstünden 40 cm toprak kazılmış, geogrid yerleştirilmiş 40 cm dolgu yapıldıktan sonra üzerine tekrar geogrid serilmiş, 30 cm dolgu yapıldıktan sonra son sıra geogrid serilerek dolgusu yapılmıştır. Üzerine asfalt tabakası serildikten sonra, sürsarj yükü tanımlanmıştır. Burada geogrid aralıkları sıkıştırmadaki optimum yükseklik olan 30 cm’ye göre seçilmiştir. Bu çalışmada 3 sıra geogrid kullanarak yola olan etkisine Plaxis yardımı ile bakılmıştır. Yol geometrisi ve özellikleri simetrik olduğu ve Plaxis’de simetrik analiz yapabildiği için sisteme geometrinin bir yüzü tanımlanmıştır. Bu çalışmada yapılan bütün Plaxis analizlerinde simetriden yararlanılmıştır.



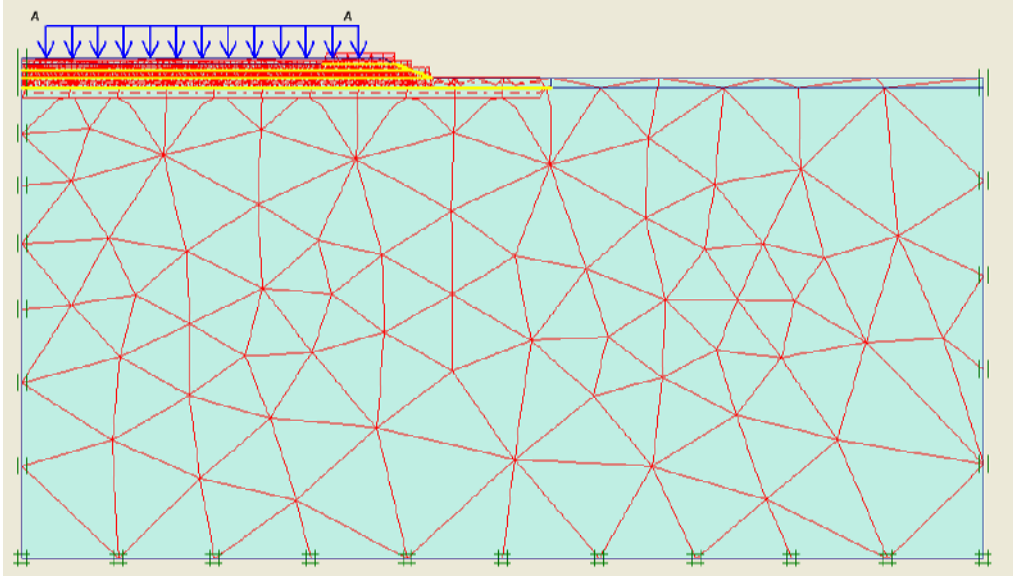
Şekil 6.4 : 3 Sıra geogrid donatılı yolun en kesiti

Bu çalışmada ilk sıra geogridin daha geniş serilmesinin amacı yükün daha geniş bir alana yayılmasını sağlamaktır. 2. sıra ve 3. sırada yapılan bohçalamanın amacı ise yol dolgusunda oluşabilecek dökülmeleri önleyip şev stabilitesini sağlamak içindir. Bu sayede şevde oynama olmaması sağlanır. Şev eğimi olarak belirlenen 5/2 eğim ise Karayolları Genel Müdürlüğünün projelerinde kullandığı ve şartnamesinde geçen değerdir. Plaxis programına girilen yol kesiti Şekil 6.5’de görülmektedir.



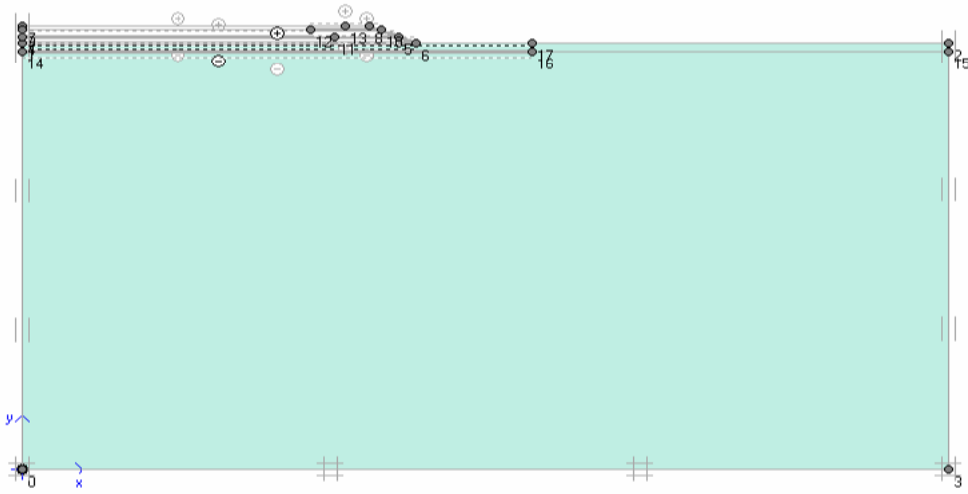
Şekil 6.5 : Plaxis programında tanımlanan 3 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti

Geogrid etrafına ara yüz tanımlanması için input modülündeki “interface” butonuna basılarak geogridler seçilmiştir. Yol kesiti, malzeme özellikleri girildikten sonra yol yükü olarak hesaba alınan 30kN/m^2 sisteme tanımlanmıştır. Standart sınır koşulları belirtilip sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur. Burada sonlu elemanlar ağı oluşturulurken dikkat edilmesi gereken nokta Şekil 6.6'daki gibi ağın geogrid etrafında ağın hassasiyetinin artırılmış olmasıdır.



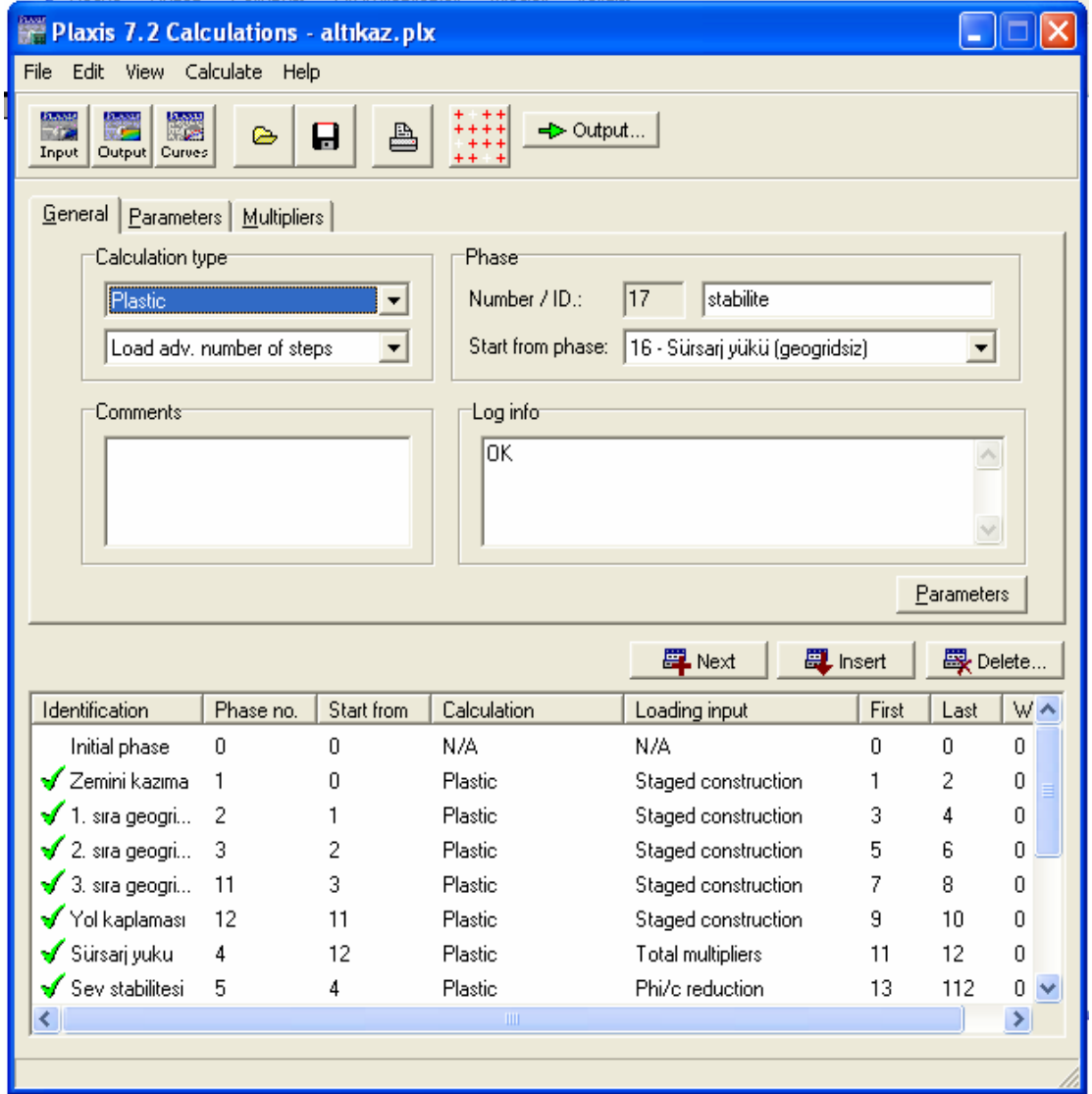
Şekil 6.6 : Sonlu elemanlar ağı

Sonlu elemanlar ağı oluşturulduktan sonra başlangıç koşulları ve yeraltı su seviyesini belirlenmiştir. Şekil 6.7'deki gibi başlangıç koşulları belirlenirken yapılacak dolgu kademeleri deaktif edilmiştir. Başlangıç koşulları ise zeminde yol yapılmadan önceki tabii haldir.



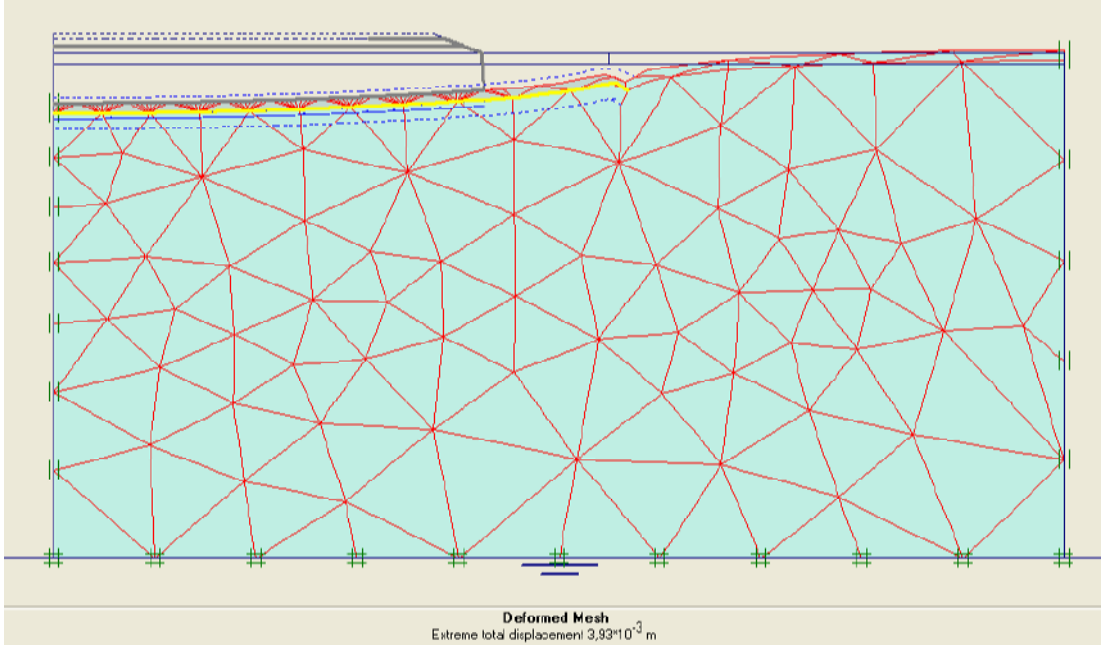
Şekil 6.7 : Başlangıç koşulları

Başlangıç koşullarının belirlenmesinden sonra Şekil 6.8'deki hesap modülüne geçilmiştir.



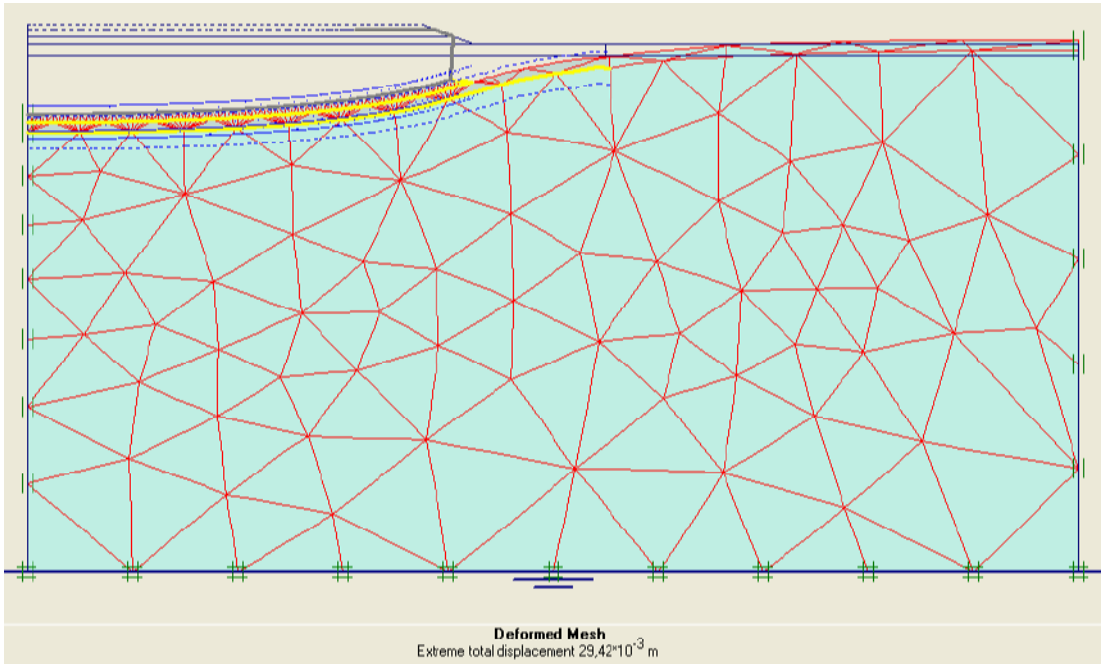
Şekil 6.8 : 3 sıra geogridli yol inşaatında hesap adımları

Hesap modülünde öncelikle inşaat adımları tanımlanmış, daha sonra ise yol yükü aktif hale getirilmiştir. İlk adımda zemin yüzeyi 40 cm kazılmış, ikinci adımda tabana geogrid serilip 40 cm geogrid dolgusu yapılmıştır. Daha sonra 2. sıra geogrid serilip dolgusu yapılmış ve şev tarafı yüzey erozyonuna karşı bohçalanmıştır. 3. ve son sıra geogrid serilmesi ve dolgusundan sonra yol kaplaması dökülmüş ve yol trafiğe açılmış yani yayılı yük etkin hale getirilmiştir. Şev tarafındaki stabiliteyi kontrol içinde phi/ci reduction yapılmıştır. Her adıma yapılan işlemin ismi verilmiştir. Son olarak sistemdeki kritik noktalar belirlenmiş ve sistem çözülmüştür.

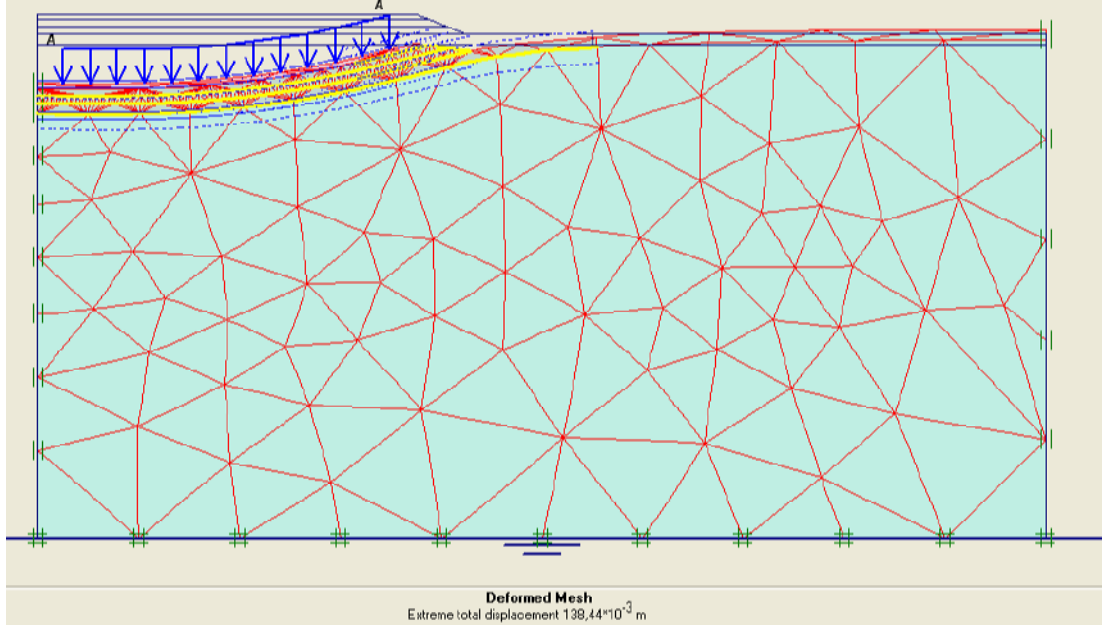


Şekil 6.9 : 3 sıra geogrid donatılı yol inşaatında 1. sıra dolgu oturma değerleri

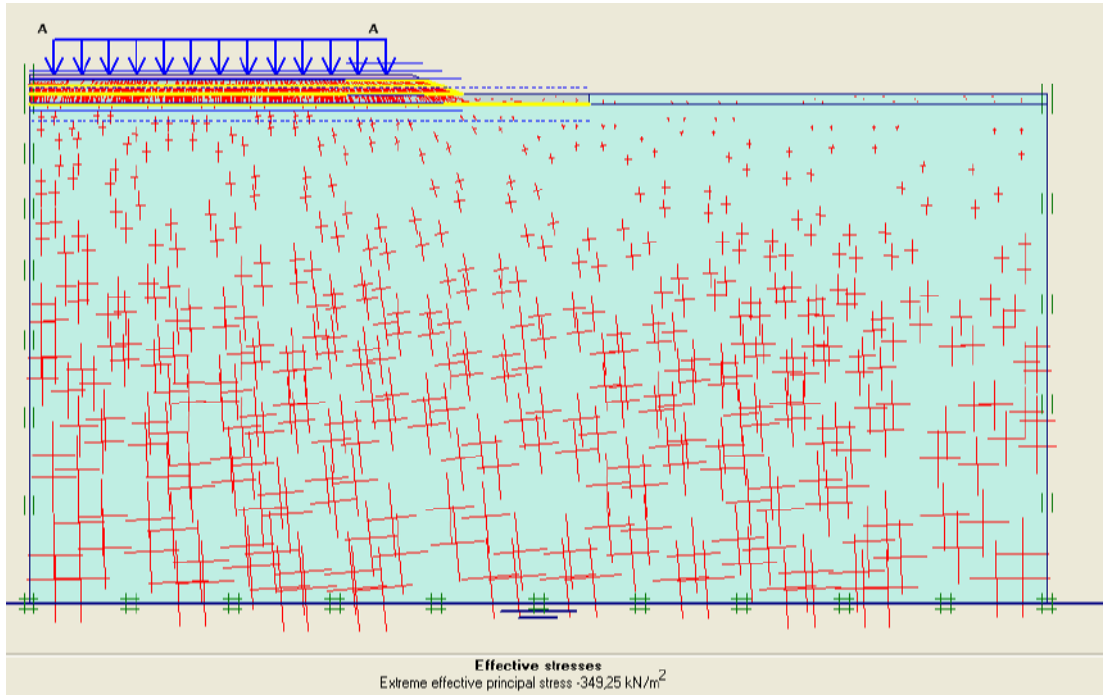
Hesap işlemi bittikten sonra artık sonuçlar görülebilir. Çıktılar modülünü açtığımızda karşımıza çıkan ilk ekran deformasyonların gösterildiği ekrandır. Geogridli yol dolgusundaki her geogridli dolgu tabakası için oturma değerleri belirlenmiştir. 1. sıra geogrid serme işleminden sonra geogrid dolgusu yapılmıştır. Buradaki oturma değeri Şekil 6.9’da görüldüğü gibi 0.004 m olarak hesaplanmıştır. İlk sıra dolgudan sonra geogrid henüz çalışmaya başlamamıştır.



Şekil 6.10 : 2. sıra geogrid serildikten sonra oturma diyagramı



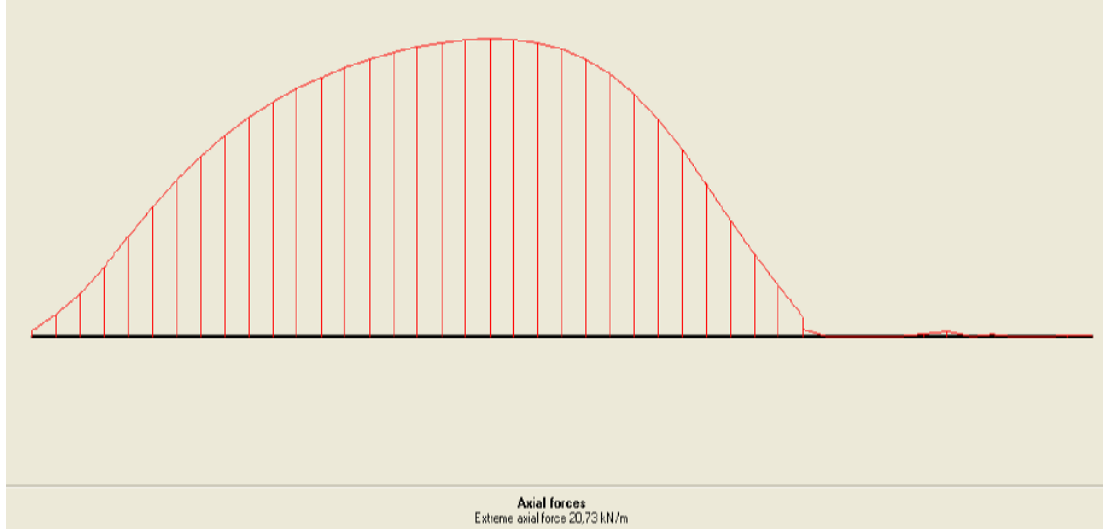
Şekil 6.12 : 3 sıra geogridli dolguda maksimum oturma diyagramı



Şekil 6.13 : 3 sıra geogridli dolguda efektif gerilme diyagramı

Buradan geogrid seçilip geogridin taşıdığı yük görülebilir. Bu sistemde 3 sıra geogrid kullanılmıştır. Geogridin üretici tarafından verilen taşıma gücü 40 kN/m^2 'dir. Bu değer sünme 1.7, çevresel etki 1.1, kimyasal etki 1 olarak üretici tarafından yapılan deneyler sonucu belirlenmiş güvenlik faktörlerine Denklem 3.1'deki gibi bölünerek nihai çekme gerilmesi 21.4 kN/m olarak bulunur.

Şekil 6.14’de görüldüğü gibi birinci sıra geogridin taşıdığı yük 20.73 kN/m, ikinci sıra geogridin taşıdığı yük ise Şekil 6.15’de görüldüğü gibi 12.57 kN/m, üçüncü sıra geogrid ise 7.39 kN/m (Şekil 6.16) yük taşımaktadır. Çıkan gerilmelerinin hepsi geogridin emniyetle taşıyacağı yük değeri olan 21.4 kN/m’den küçük olduğu için bu değerler kabul edilir.



Şekil 6.14 : 1. sıra geogride gelen yükler

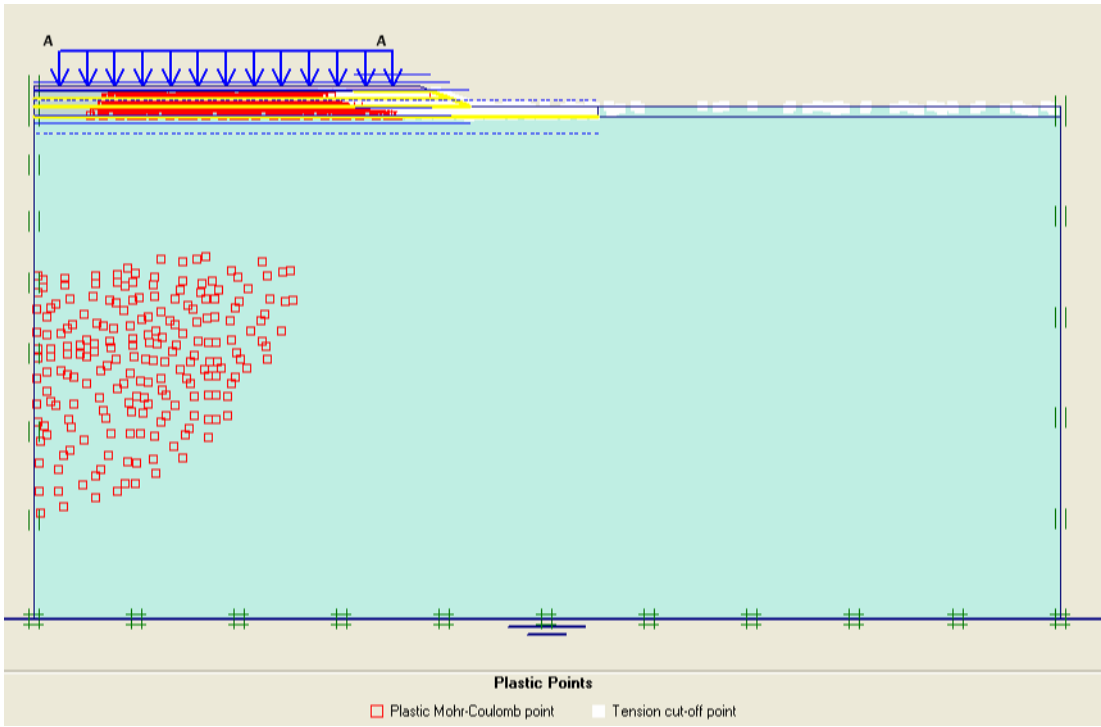


Şekil 6.15 : 2. sıra geogride gelen yükler



Şekil 6.16 : 3. sıra geogride gelen yükler

Bu sistemdeki plastik noktalar ise Şekil 6.17’de görüldüğü gibidir. Yolun orta noktasında, şevde ve kil zeminin ortalarında plastik noktalar yoğunlaşmaktadır.

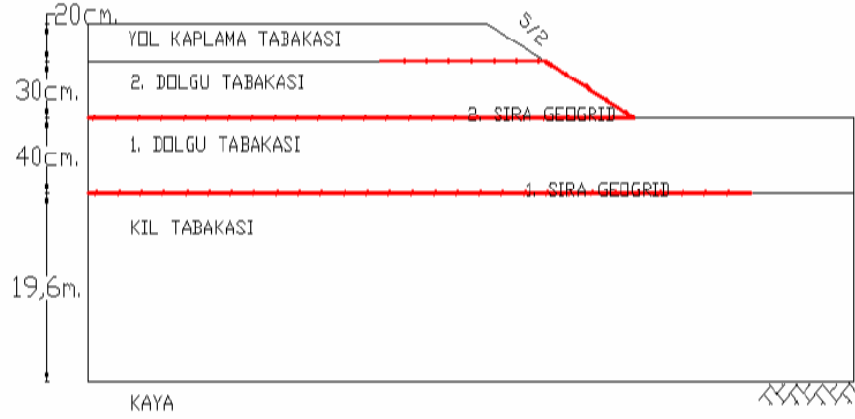


Şekil 6.17 : 3 sıra geogridli yol dolgusundaki plastik noktalar

6.2.2 Yol dolgusu inşaatında 2 sıra geogrid kullanılarak yapılan çalışma

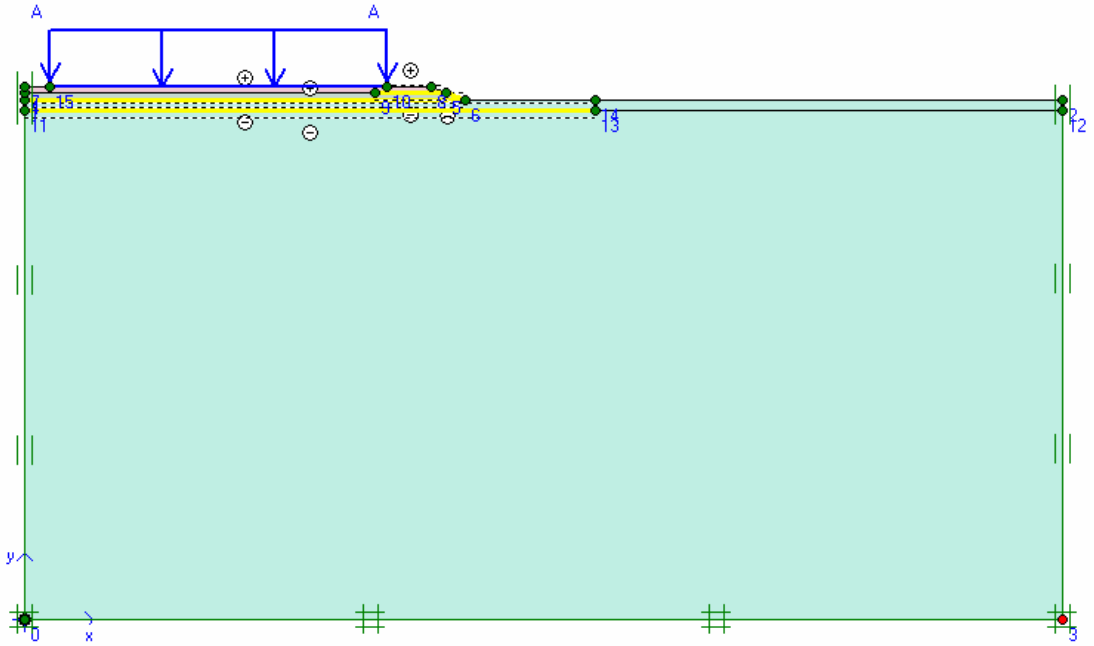
Bu çalışmada yolun geçeceği zemin Şekil 6.18’de de görüldüğü gibi üstünden 40 cm toprak kazılmış, geogrid yerleştirilmiş 40 cm dolgu yapıldıktan sonra üzerine tekrar

geogrid serilmiştir. Üzerine asfalt tabakası serildikten sonra, sürsarj yükü tanımlanmıştır. Burada geogrid aralıkları sıkıştırmadaki optimum yükseklik olan 30 cm'ye göre seçilmiştir. Bu çalışmada 2 sıra geogrid kullanarak yola olan etkisine Plaxis yardımı ile bakılmıştır.



Şekil 6.18 : 2 Sıra geogrid donatılı yolun en kesiti

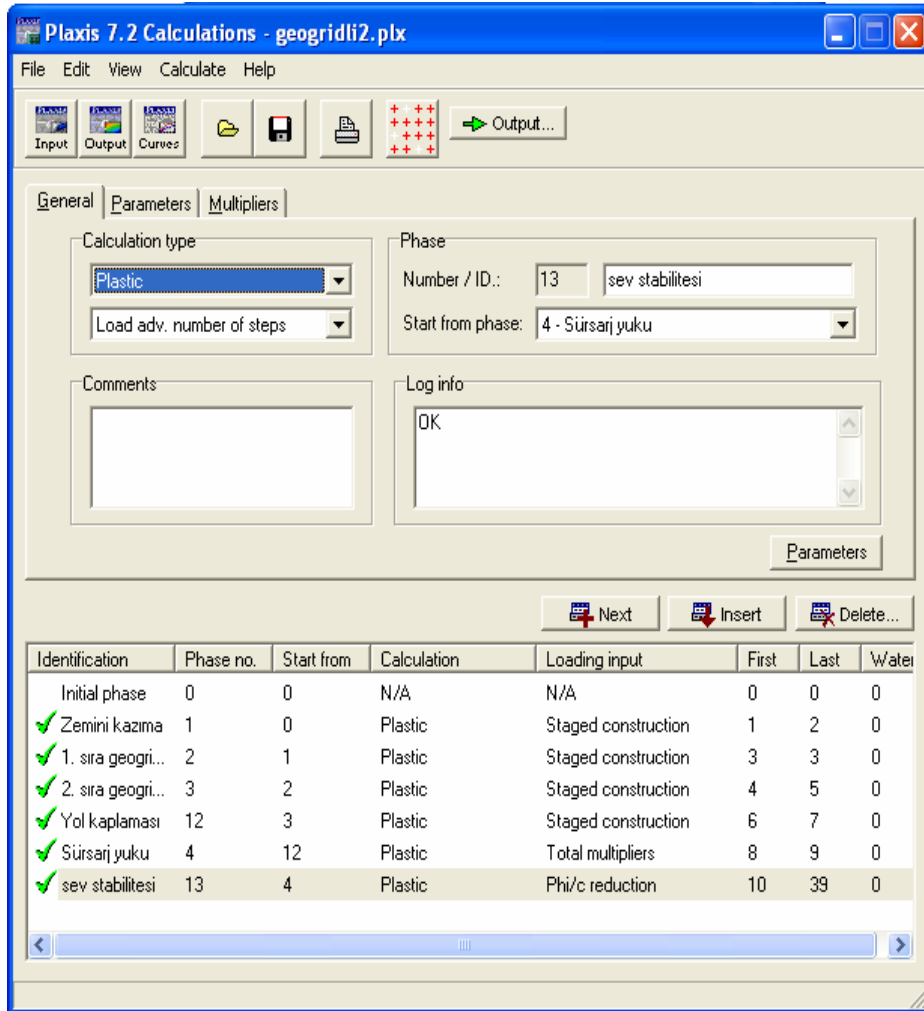
Bu çalışmada geogridin daha amacı yükün daha geniş bir alana yayılmasını sağlamak, farklı oturmaları engellemek ve gerilme soğanını genişletmektir. Bohçalamanın amacı ise gelen yüklerin bir kısmını absorbe etmek ve şev stabilitesini sağlamak içindir. Bu sayede şevde oynama olmaması sağlanır.



Şekil 6.19 : Plaxis programında tanımlanan 2 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti

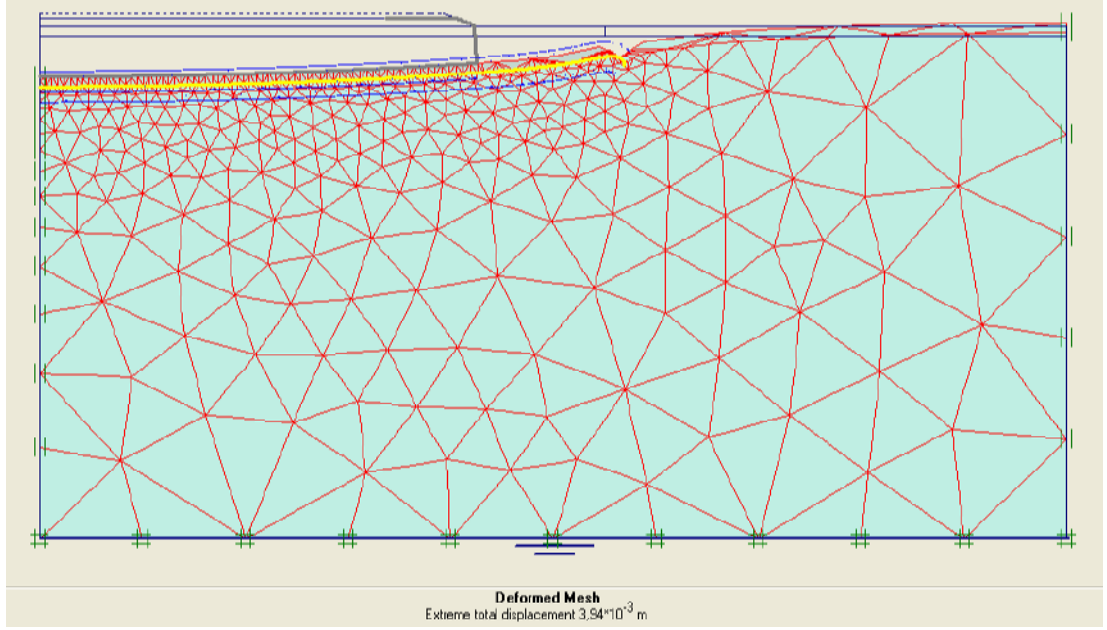
Bundan sonraki kısımlarda bir önceki geogridli örnekteki adımlar izlenmiştir. Malzeme özellikleri girildikten sonra yol yükü olarak hesaba alınan 30kN/m² sisteme tanımlanmıştır. Şekil 6.19’da görüldüğü gibi Plaxis programına bu veriler girilmiştir.

Başlangıç koşullarının belirlenmesinden sonra hesap modülüne geçilmiştir. Hesap modülünde öncelikle inşaat adımları tanımlanmış, daha sonra ise yol yükü aktif hale getirilmiştir. Şekil 6.20’de hesap adımları tek tek gösterilmiştir. Altı kademeli bir hesaplama yapılmıştır. Öncelikle zemin 40 cm kazılmış, ilk sıra geogrid yerleştirilmiş daha sonra geogrid dolgusu yapılmış ve sıkıştırılmıştır. Daha sonra 2. sıra geogrid serilmiş ve dolgusu yapıp sıkıştırılmıştır. Bu dolgunun üzerine yol kaplaması yapılmış ve yol trafiğe açılmış yani sürsarj yükü eklenmiştir. Son işlem adımında ise şevin stabilitesine bakmak için Phi/ci reduction kullanılmıştır.

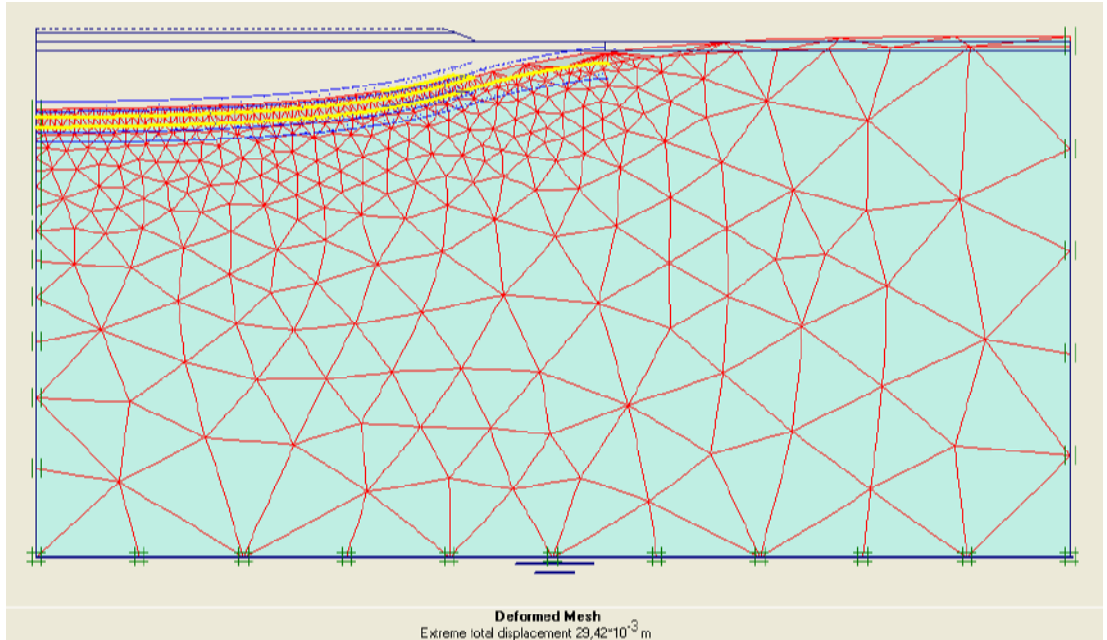


Şekil 6.20 : 2 sıra geogridli sistemde hesap adımları

Hesap işlemi bittikten sonra sonuçlar görülebilir. İlk sıra geogridli yol dolgusundaki oturma Şekil 6.21’deki gibi 0.003 m’dir.

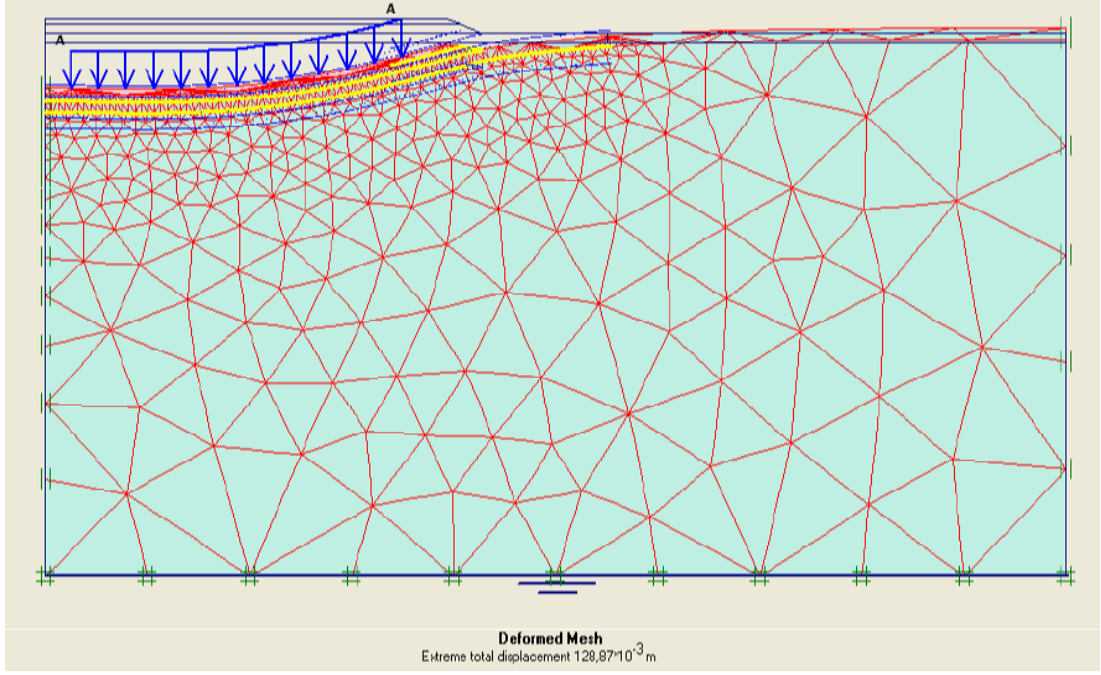


Şekil 6.21 : 2 sıra geogrid donatılı sistemde 1. sıra dolgu kademesi oturma diyagramı
 Şekil 6.22’de görüldüğü gibi ikinci sıra geogrid serildikten ve yol dolgusu yapıldıktan sonra ise oluşan oturma değeri, 0.029 m olarak bulunur. Geogrid ise henüz yük almamaktadır.

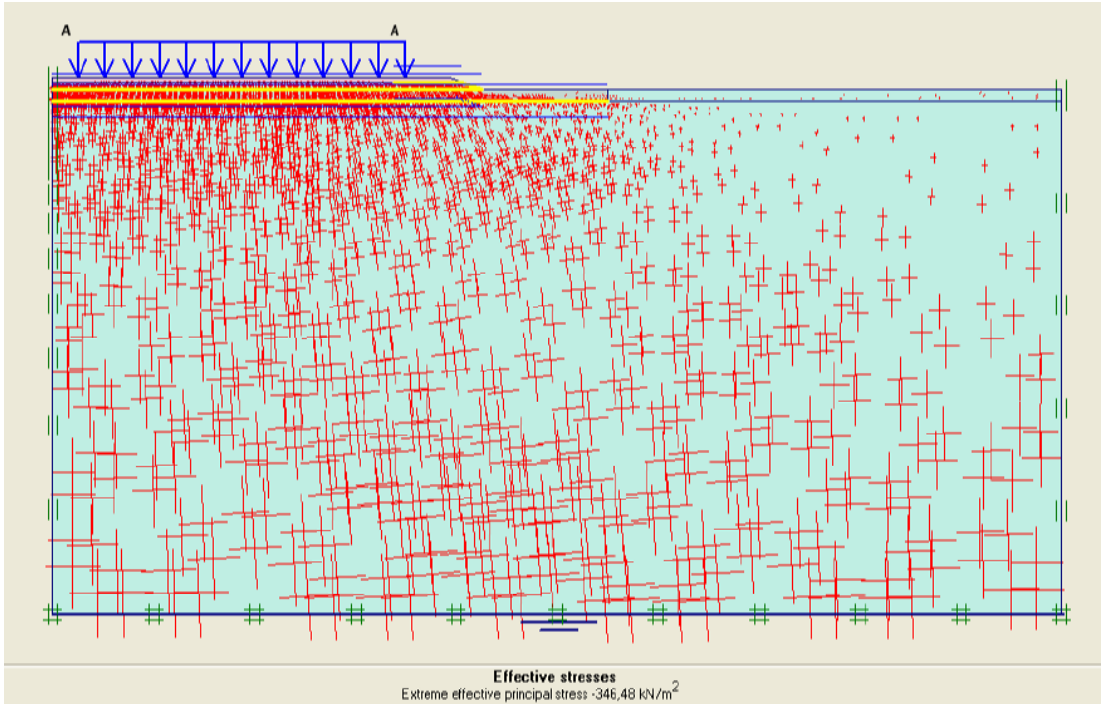


Şekil 6.22 : 2. dolgu kademesinden sonra oturma

Yol dolgusu yapıldıktan ve sürşarj yüklendikten sonraki oturma değeri Şekil 6.23’deki gibi, 0.129 m’dir. Efektif gerilmeler ise Şekil 6.24’deki gibi 346 kN/m’dir.

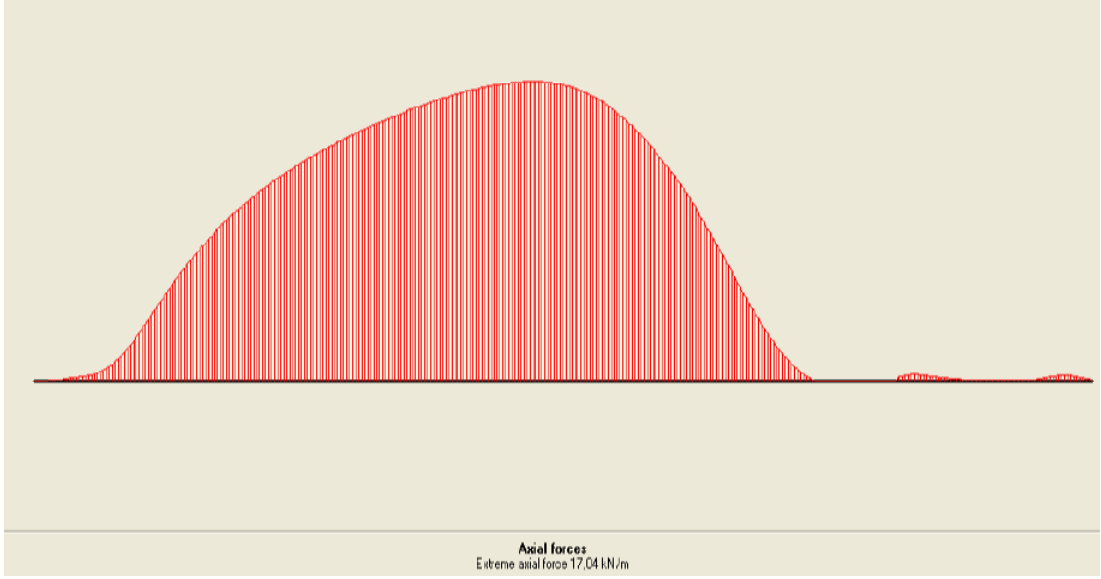


Şekil 6.23 : Yükleme yapıldıktan sonraki oturma



Şekil 6.24 : 2 sıra geogrid donatılı sistemde efektif gerilmeler

Burada birinci sıra geogridin taşıdığı yük Şekil 6.25'deki gibi 17.04 kN/m, ikinci sıra geogridin taşıdığı yük ise aşağıdaki Şekil 6.26'da görüldüğü gibi 8.06 kN/m yük taşımaktadır. İki değerde geogridin güvenle taşıyacağı yük sınırının içinde kalmaktadır.

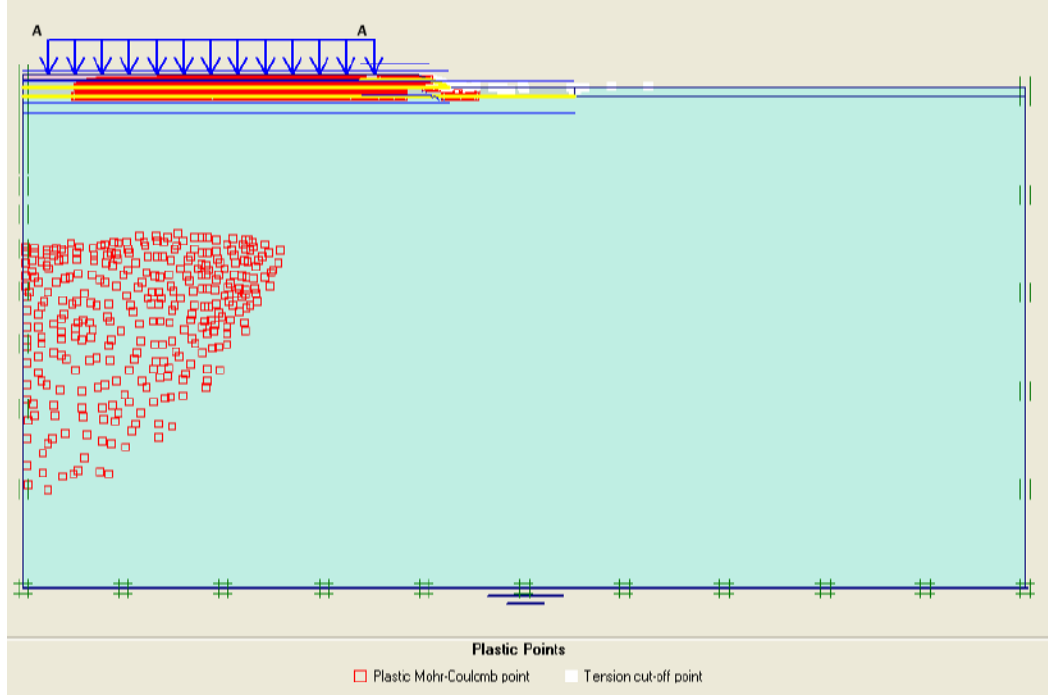


Şekil 6.25 : 1. sıra geogride gelen yükler



Şekil 6.26 : 2. sıra geogride gelen yükler

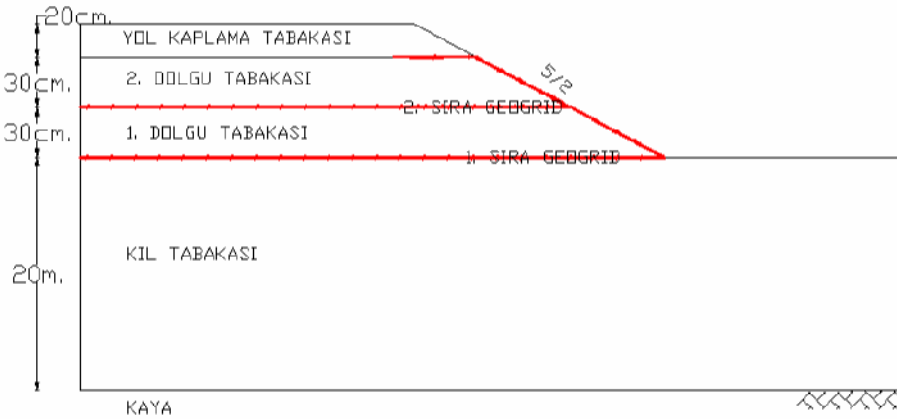
Bu sistemdeki plastik noktalar ise Şekil 6.27’de görüldüğü gibidir. 3 sıra geogridli durumdan beklendiği gibi biraz daha fazla plastik nokta vardır. Oturma değerlerindeki düşüş ise dolgu miktarındaki azalıştan kaynaklanmaktadır.



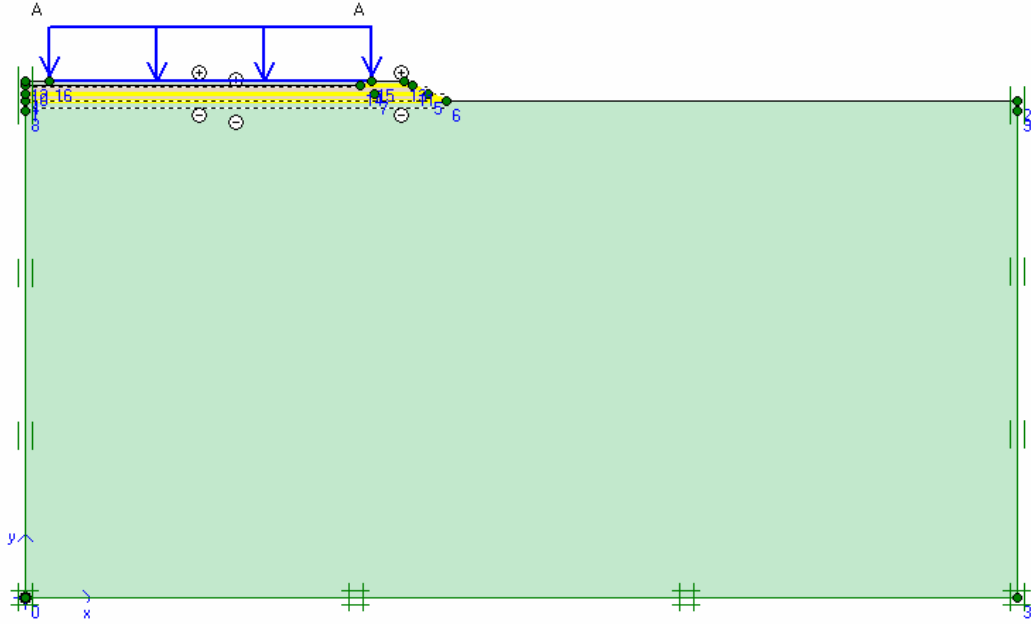
Şekil 6.27 : 2 sıra geogrid donatılı yol dolgusundaki plastik noktalar

6.2.3 Yol dolgusu inşaatında toprak kazılmadan 2 sıra geogrid kullanılarak yapılan çalışma

Bu çalışmada yolun geçeceği zemin 40 cm nebati toprak kazılmamıştır. Şekil 6.28’de görüldüğü gibi mevcut zemin üzerine geogrid yerleştirilmiş 30 cm dolgu yapıldıktan sonra üzerine ikinci sıra geogrid serilmiş ve 30 cm 2. dolgu yapılmıştır. Üzerine asfalt tabakası serildikten sonra, sürsarj yükü tanımlanmıştır. Burada geogrid aralıkları sıkıştırmadaki optimum yükseklik olan 30 cm’ye göre seçilmiştir. Bu çalışmada 2 sıra geogrid kullanarak yola olan etkisine Plaxis yardımı ile bakılmıştır.

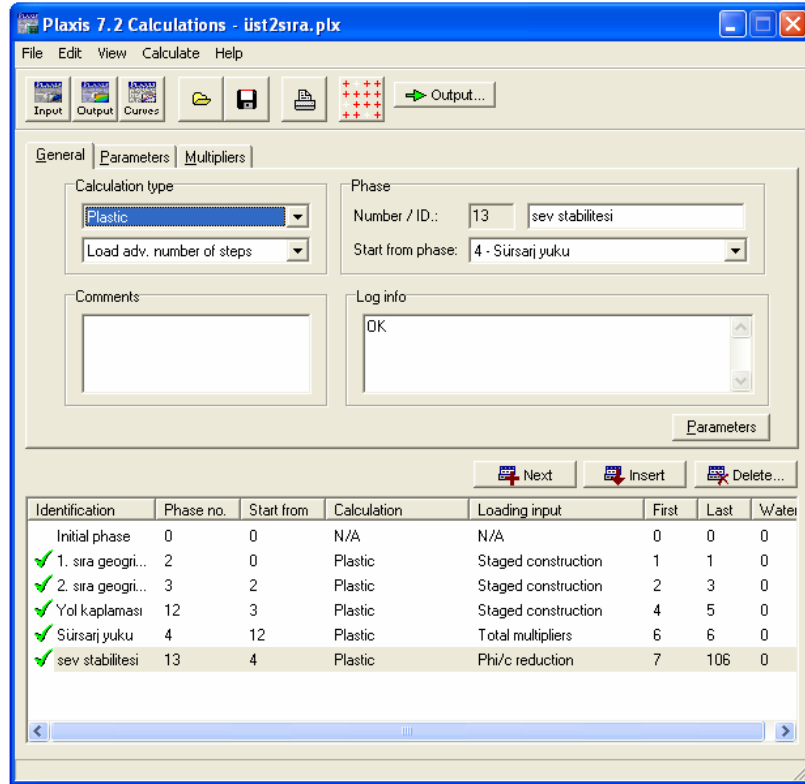


Şekil 6.28 : Toprak kazılmadan 2 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti



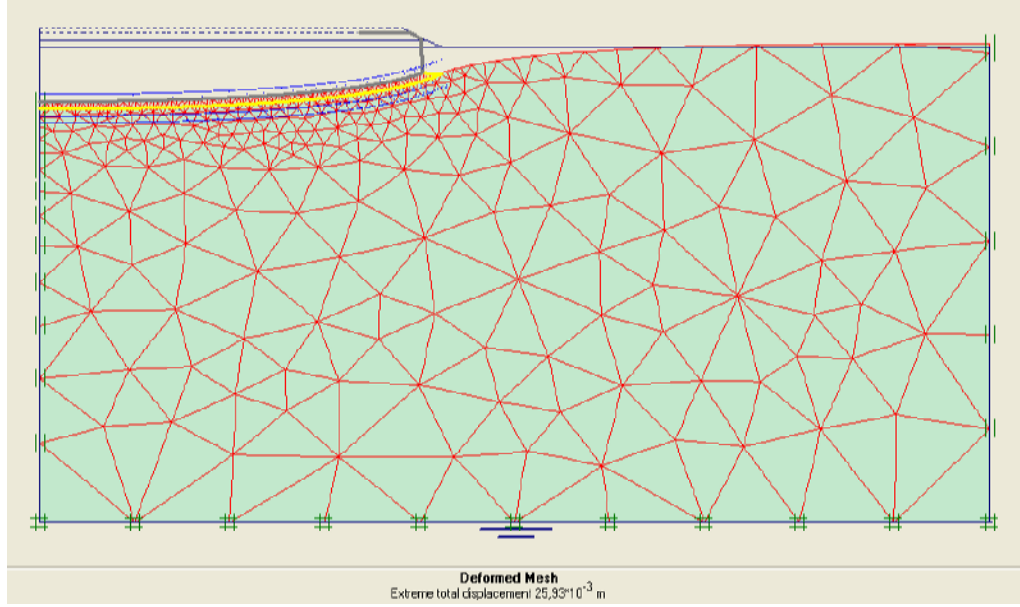
Şekil 6.29 : Mevcut yüzeyden yapılan 2 sıra geogrid donatılı yolun en kesiti

Bundan sonraki kısımlarda bir önceki geogridli örnekteki adımlar izlenmiştir. Şekil 6.29'da girdi modülünde çizilen sistem görülmektedir. Başlangıç koşullarının belirlenmesinden sonra hesap modülüne geçilmiştir. Şekil 6.30'daki inşaat adımları tanımlanmış, daha sonra ise yol yükü aktif hale getirilmiştir.



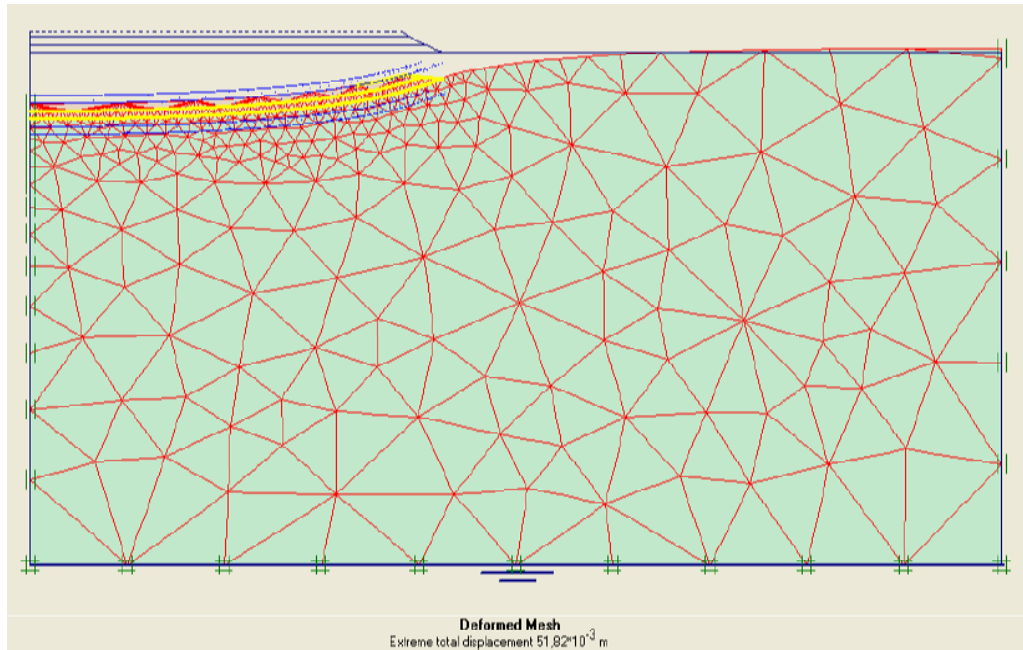
Şekil 6.30 : Hesap adımları

Her kademe için yapılan analizlerden sonra bu kademelere ait oturma diyagramları aşağıdadır. İlk sıra geogrid serildikten, geogrid dolgusu yapıldıktan ve sıkıştırıldıktan sonraki oturmalar Şekil 6.31’de görülmektedir. Buradaki oturma değeri 0.026 m olarak bulunmuştur.



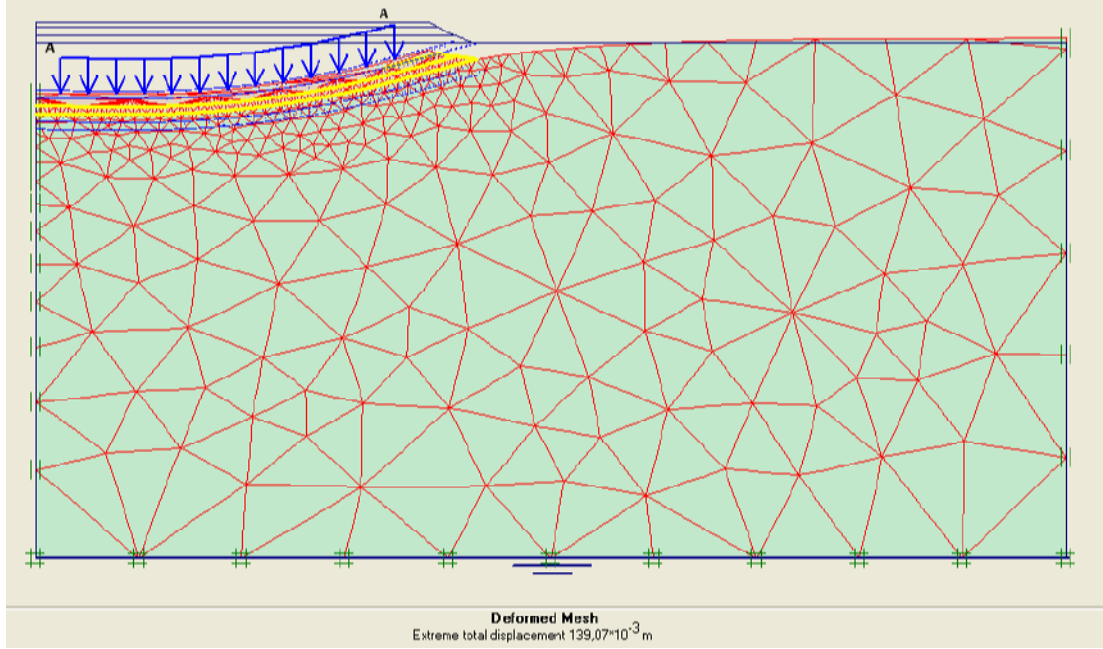
Şekil 6.31 : İlk sıra geogrid serildikten sonra oturma

İkinci ve son sıra geogrid serildikten sonra ise oturma diyagramı Şekil 6.32’deki gibi 0.052 m dir.

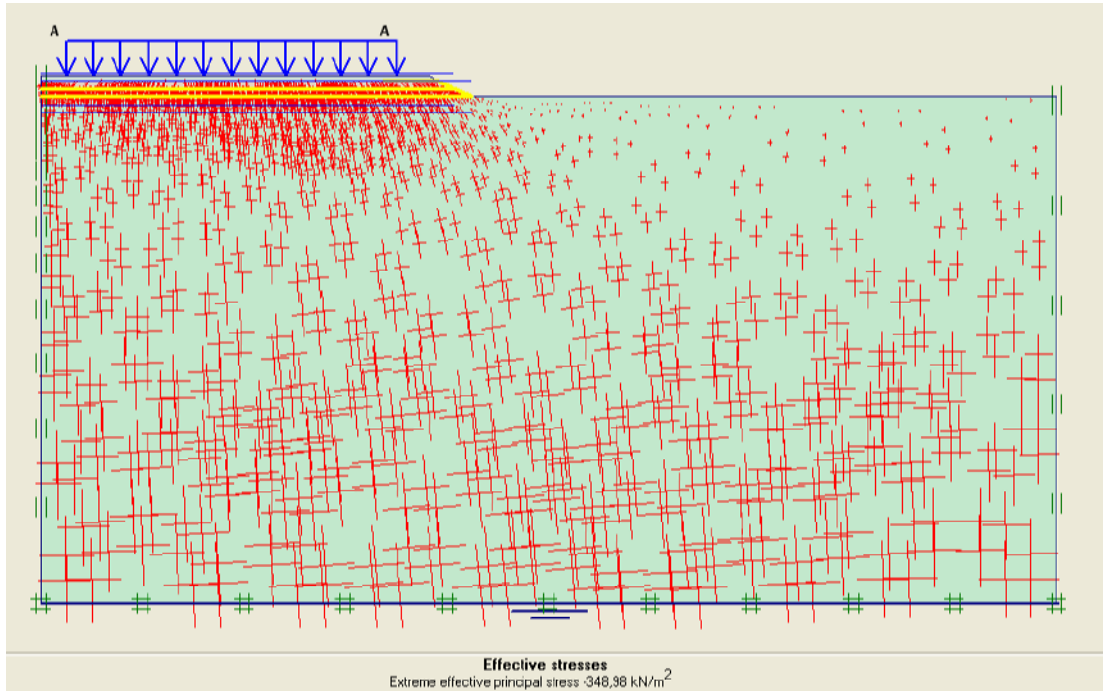


Şekil 6.32 : İkinci sıra geogrid serildikten sonra oturma

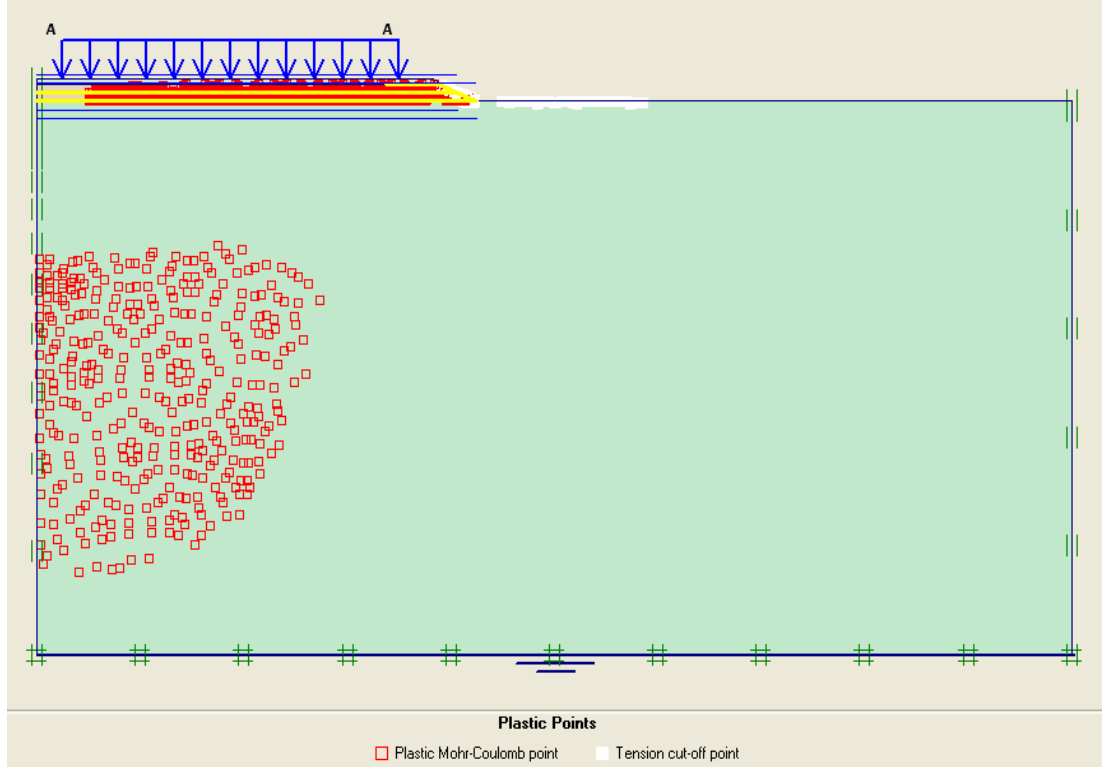
Son olarak ise yol kaplaması ve yol yükü uygulandıktan sonraki oturma diyagramı Şekil 6.33'deki gibi 0.14 m'dir. Efektif gerilmeler ise Şekil 6.34'de gösterildiği gibi 349 kN/m²'dir.



Şekil 6.33 : Yüklemeden sonraki oturma diyagramı



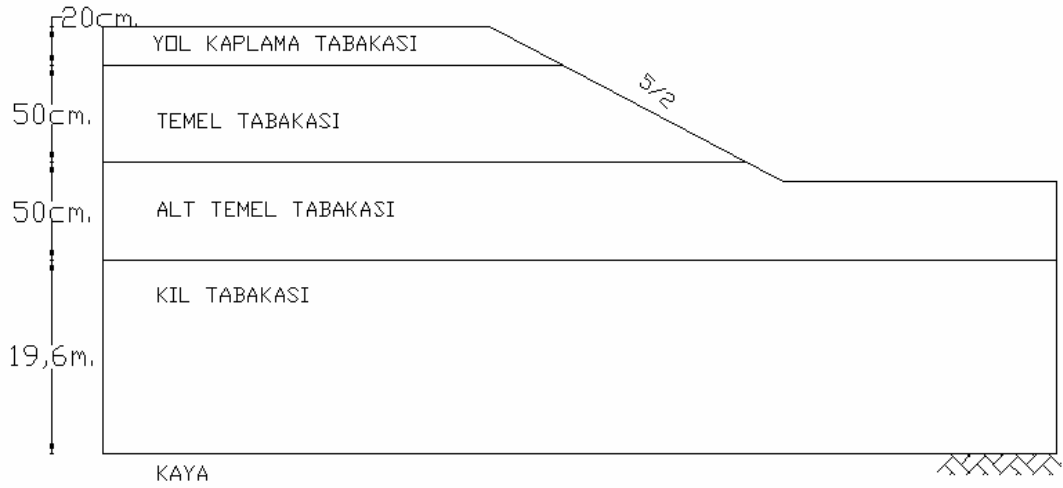
Şekil 6.34 : Yüklemeden sonraki efektif gerilme diyagramı



Şekil 6.37 : 2 sıra geogrid donatı kullanılan sistemde plastik noktalar

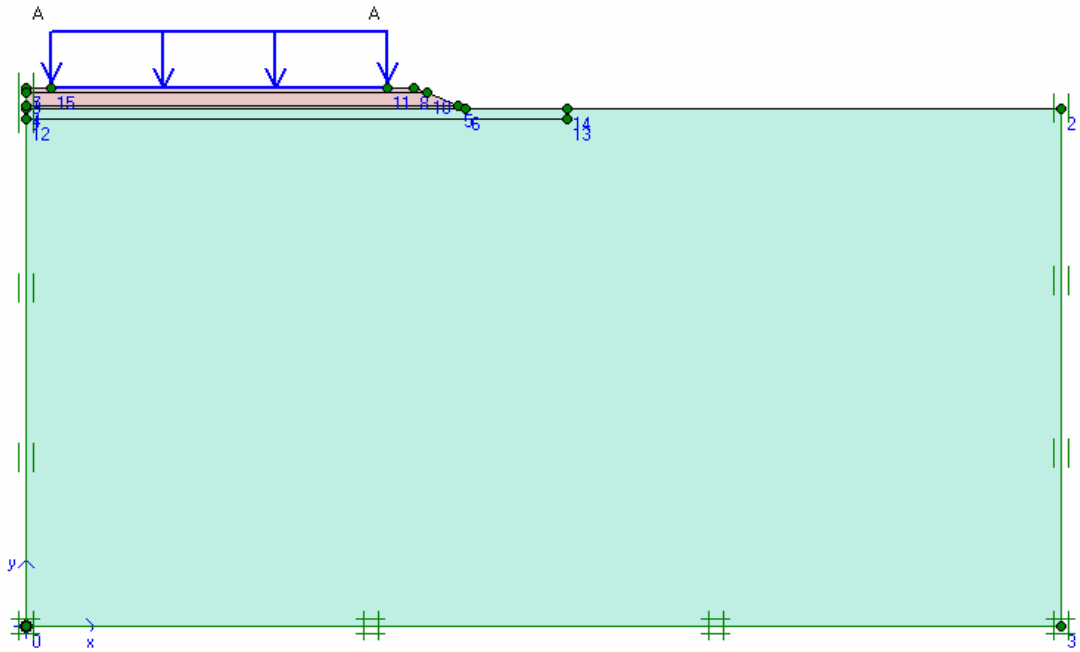
6.3 Geogrid Kullanmadan Yapılan Yolun Analizi

Bu bölümde, zayıf zemin üzerine yapılan yol dolgusu üzerindeki oturmaları dolgu kalınlığı artırılarak Plaxis ile incelenmiştir. Yol kesitinin geometrik özellikleri Şekil 6.38'deki gibi girilmiştir. Burada temel dolgu kalınlığı 0.5 m alt temel dolgu kalınlığı 0.5 m olarak alınmıştır. Temel ve alt temel malzemesi seçilmiş malzemedir. Temel boyutlandırması Karayollarında Genel Müdürlüğü Şartnamesine ve daha önce yapılan projeleri temel alınarak yapılmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 6.1'de verilmiştir. Mevcut zemin özellikleri ise geogridli sistemle aynı şekilde Plaxis programına tanımlanmıştır. Burada kullanılan temel ve alt temel malzemesi geogridli dolguda kullanılan malzemedен farklıdır. Karayolları Genel Müdürlüğü bu çeşit dolgularda kullanılacak temel ve alt temel malzemesini belirli bir standartta istemektedir. Bu nedenle bu örnekte kullanılan temel ve alt temel malzemesi bu standarda göre seçilmiştir.



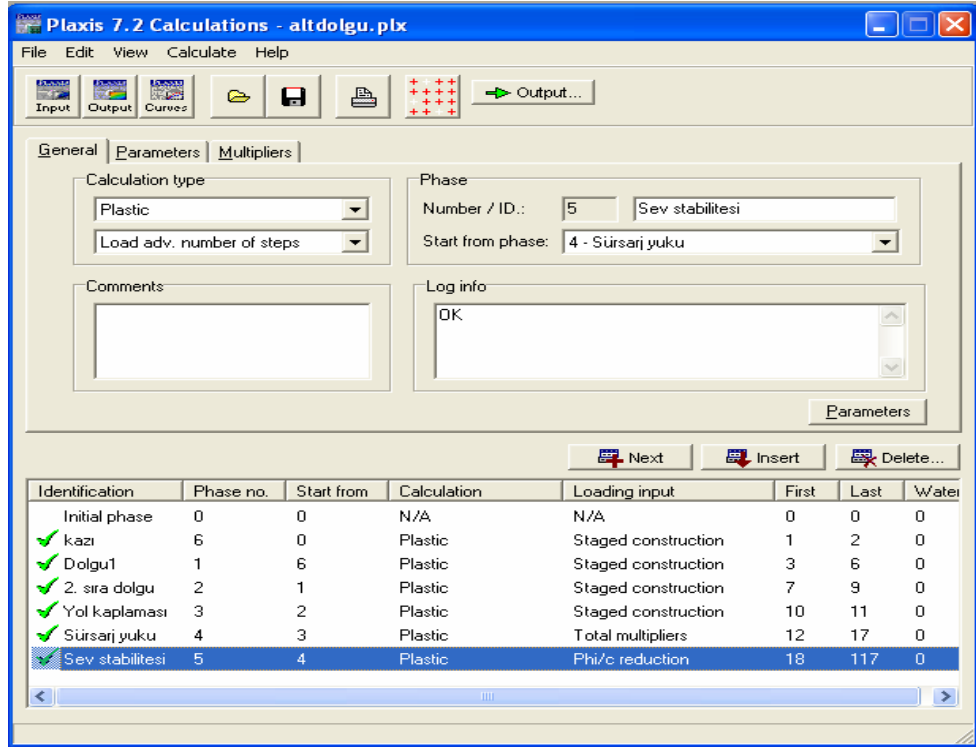
Şekil 6.38 : Geogrid donatısız yolun en kesiti

Şekil 6.39'daki gibi yol kesiti, malzeme özellikleri girildikten sonra yol yükü olarak hesaba alınan 30 kN/m^2 sisteme tanımlanmıştır. Standart sınır koşulları belirtilip sonlu elemanlar ağı oluşturulmuştur.



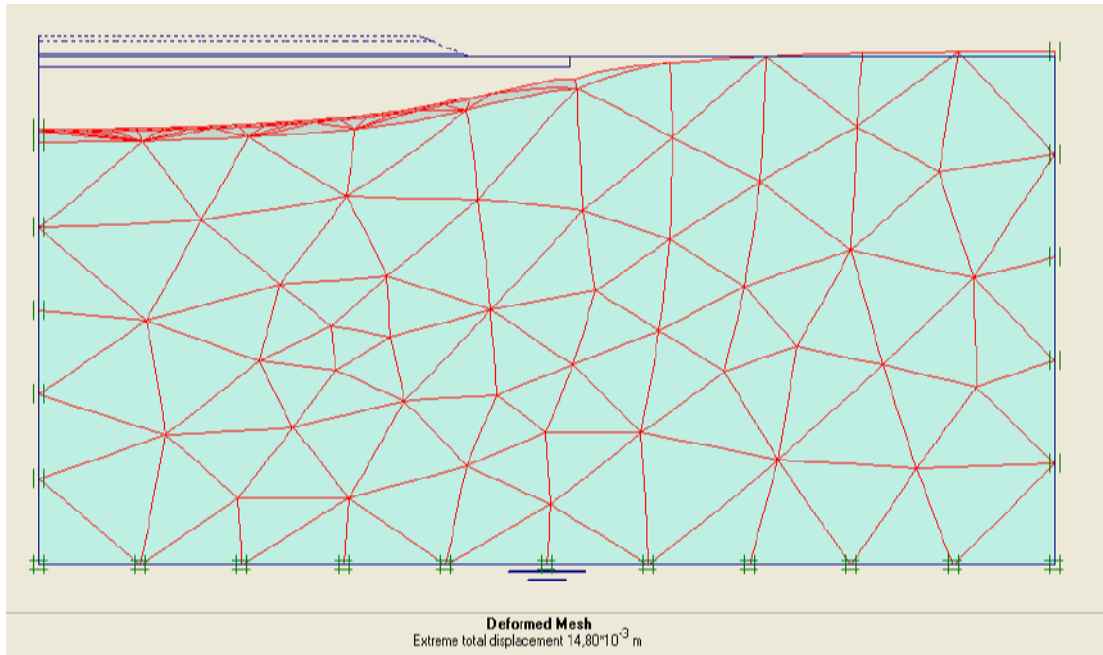
Şekil 6.39 : Plaxis Programında geogrid donatısız yolun en kesiti

Başlangıç koşullarının belirlenmesinden sonra hesap modülüne geçilmiştir. Hesap modülünde Şekil 6.40'daki inşaat adımları tanımlanmış, daha sonra ise yol yükü aktif hale getirilmiştir. Hesaplar yapılmadan önce geogridli durumda kabul edilen noktalara yakın yerlerde kritik noktalar belirlenmiştir.



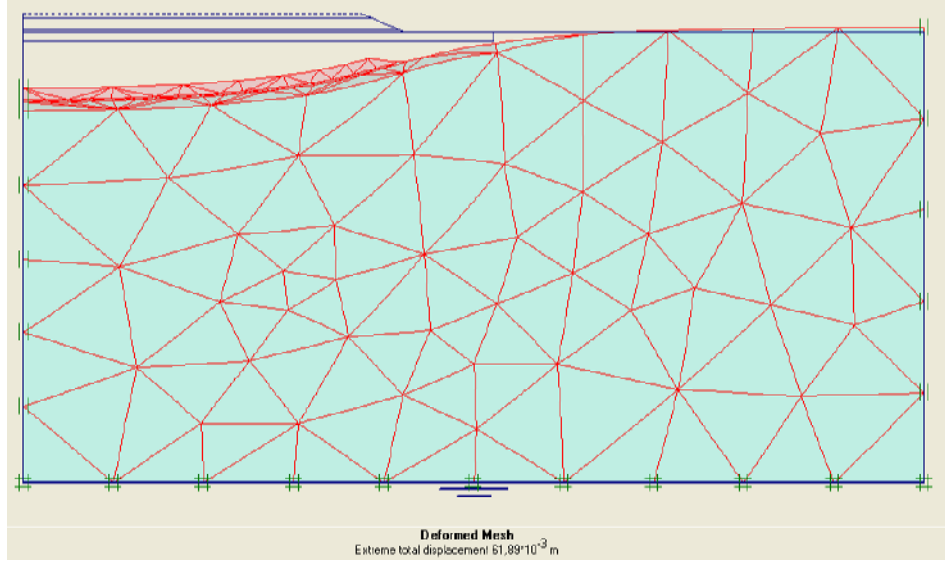
Şekil 6.40 : Geogrid donatısız yolun hesap modülü

Hesap işlemi bittikten sonra artık sonuçlar görülebilir. Çıktılar modülünü açtığımızda karşımıza çıkan ilk ekran deformasyonların gösterildiği ekrandır. Her adım için oturma değerleri ayrı ayrı okunup geogridli ile karşılaştırılmıştır. İlk dolgu aşaması yapıldıktan sonraki oturma 0.015 m olarak Şekil 6.41'deki gibidir.



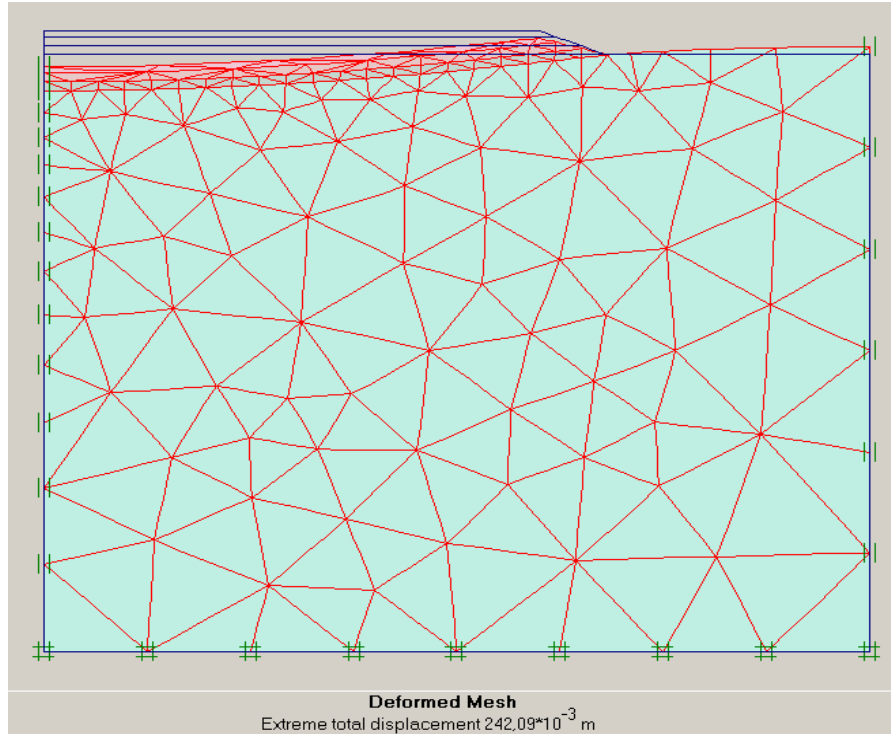
Şekil 6.41 : Geogrid donatısız durum alt temel oturma diyagramı

Temel tabakası yapıldıktan sonraki oturmalar ise Şekil 6.42'de görüldüğü gibidir. Buradaki maksimum oturma değeri ise 0.062 m'dir.

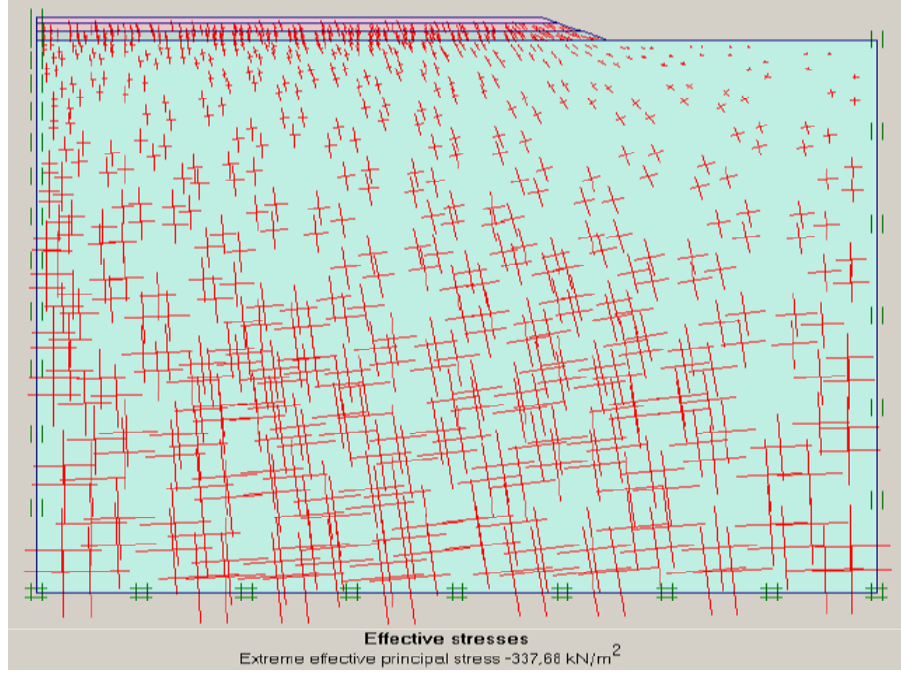


Şekil 6.42 : Geogrid donatısız durum temel oturma diyagramı

Yol kaplaması yapıldıktan ve yolun sürşarj yükü etki ettikten sonra ise sistemde oluşan maksimum oturma Şekil 6.43'deki değerdedir. Bu değer bizim geogridsiz yol dolgumuzdaki oluşacak maksimum oturma olup 0.24 m olarak hesaplanmıştır.



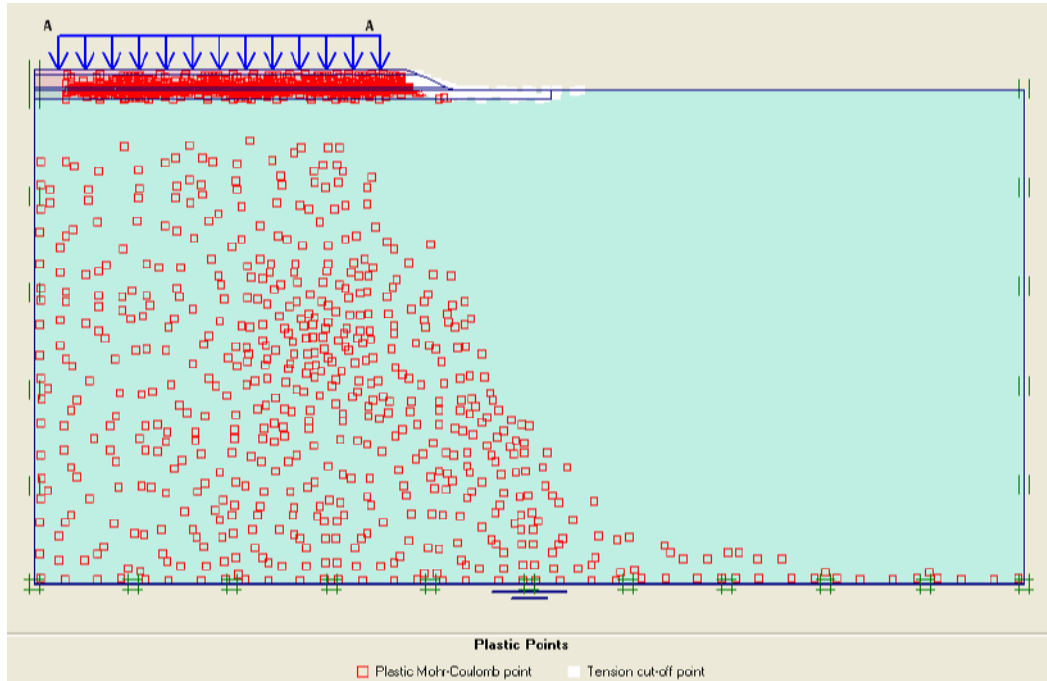
Şekil 6.43 : Geogrid donatısız durum toplam oturma diyagramı



Şekil 6.44 : Geogrid donatısız durumda gerilme diyagramı

Geogridsiz yol dolgusundaki maksimum oturma 0.24 m olarak görülmektedir. Geogrid kullanılmadan alt temel ve temel dolgusu ile yapılan yol inşaatı analizde oluşan toplam gerilme ise Şekil 6.44'deki gibi 337.68 kN/m²'dir.

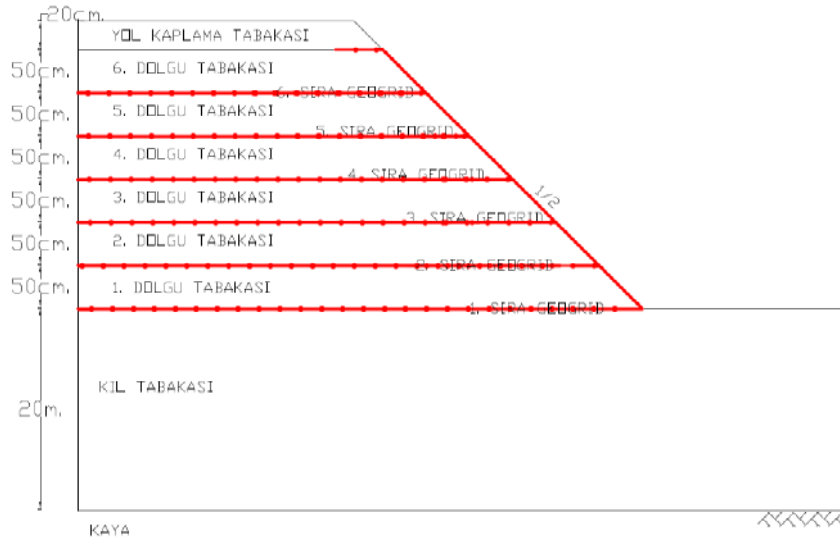
Geogridsiz durumda oluşan plastik noktalar ise Şekil 6.45'de görüldüğü gibidir. En fazla plastik nokta beklendiği gibi geogridsiz kesitte bulunmuştur.



Şekil 6.45 : Geogrid donatısız durumda plastik noktalar

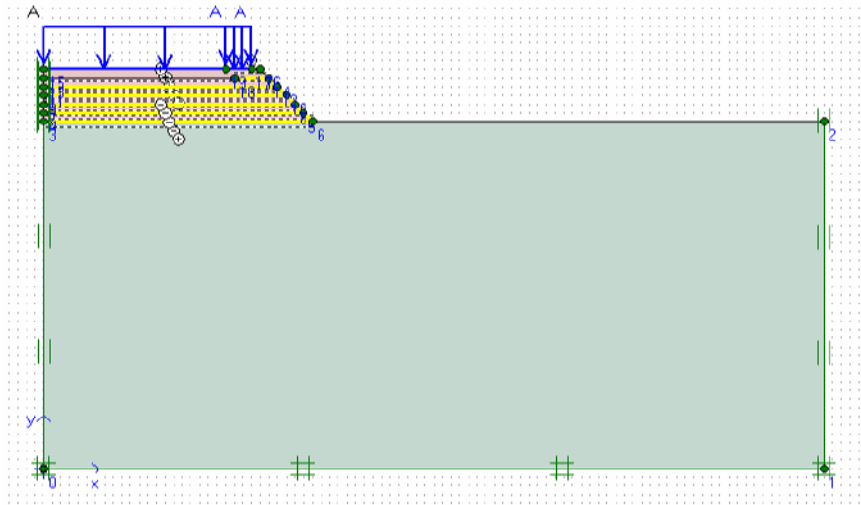
6.4 Geogrid Donatılı Yollarda Şev Stabilitesi Analizi

Geogrid kullanılarak yapılan yol dolgularında, dolgu kalınlığının 3 m olması halinde geogridin şev stabilitesine etkisi incelenmiştir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi şev stabilite hesabı olduğu için 50 cm aralıklar ile geogrid yerleştirilip sıkıştırılmıştır. 6 sıra geogrid ve 6 sıra dolgu yapılmıştır. Malzeme özellikleri olarak önceki örneklerdeki malzemeler kullanılmıştır. Yol üzerindeki şev analizi Plaxis programı yardımı ile incelenmiştir.



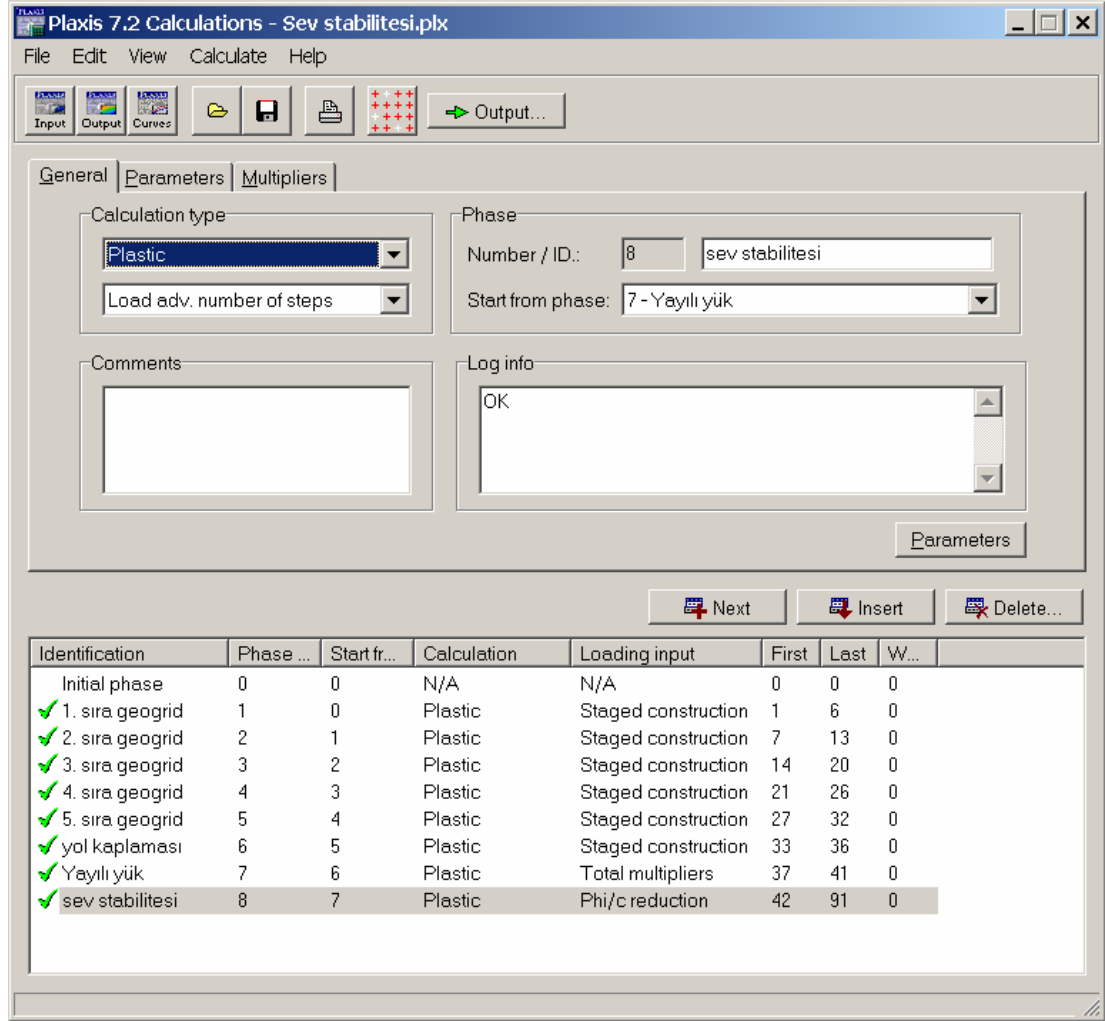
Şekil 6.46 : Şev stabilitesi hesabında kullanılan yolun en kesiti

Yolun geometrisi, malzeme özellikleri girildikten sonra sürsarj yükü olarak 30 kN/m^2 yükü girilmiştir. Aşağıdaki şekilde programa girilen yolun en kesiti görülmektedir.



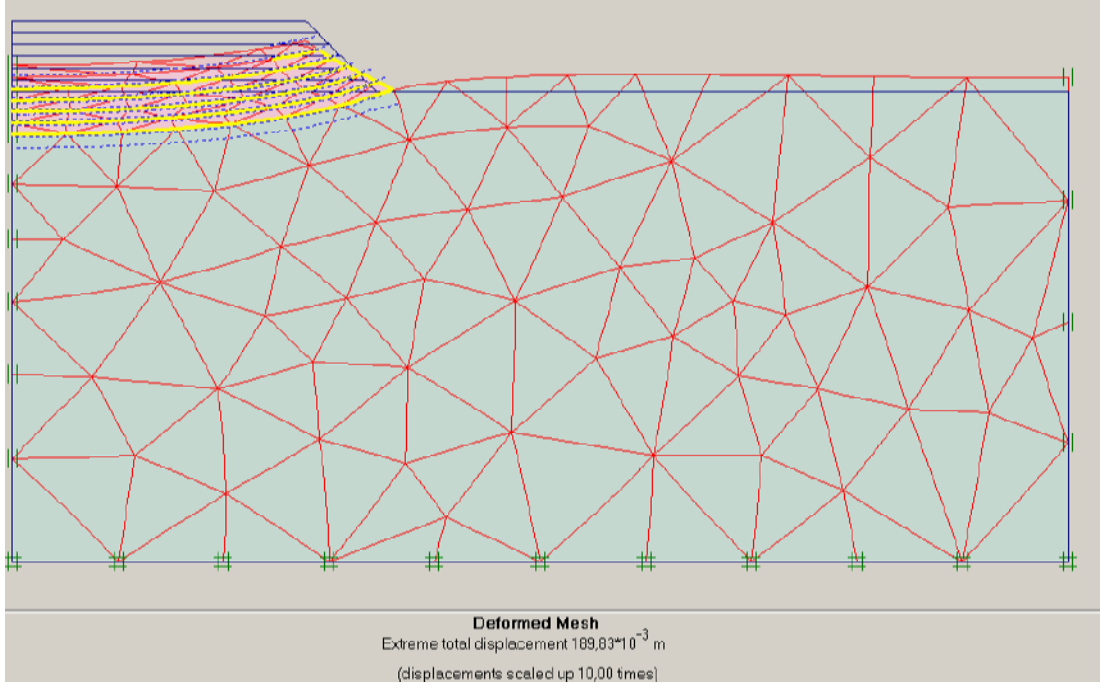
Şekil 6.47 : Plaxis programında yolun en kesiti

Yolun geometrik ve malzeme özellikleri girildikten sonra sürsarj yükü eklenmiş, deformasyon ağları oluşturulmuştur. Daha sonra başlangıç koşulları tanımlanıp hesap adımına geçilmiştir. Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 5 dolgu kademesi de ayrı ayrı tanımlanmıştır. Daha sonra sürsarj yükü olan 30 kN/m² yük eklenmiştir. Son hesap adımında ise şevin stabilitesine bakılmıştır.



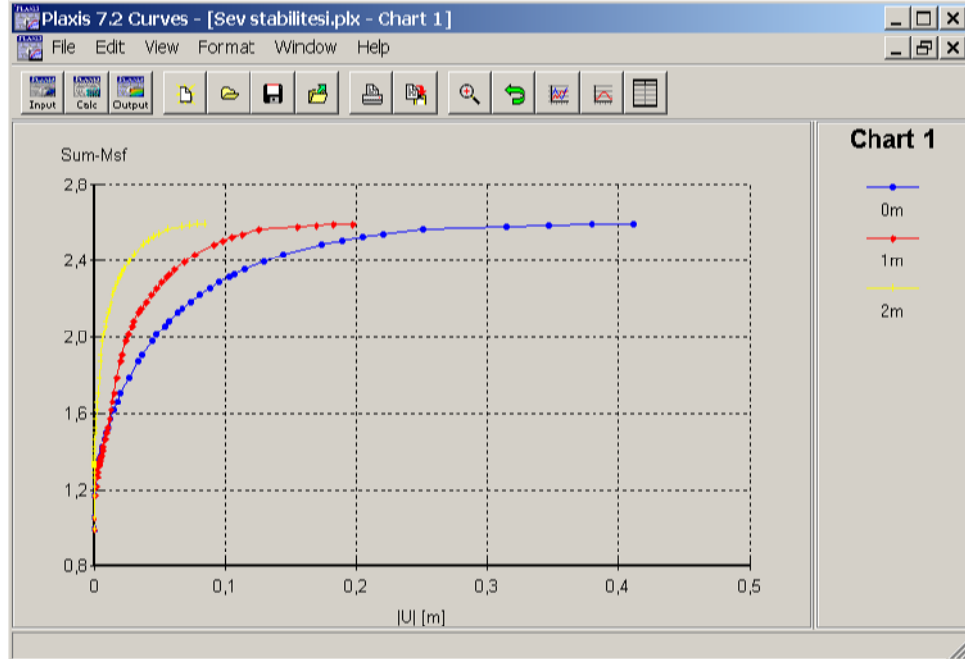
Şekil 6.48 : Hesap adımları

Hesaplamalar yapıldıktan sonra önce yayılı yükün girildiği bölümün sonuçlarından geogrid gerilmeleri ve maksimum oturma değerlerine bakılır. Burada geogridin aldığı yükler sırasıyla; 1. tabaka 17.99 kN/m, ikinci tabaka 12.25 kN/m, üçüncü tabaka 8.25 kN/m, dördüncü tabaka 5.31 kN/m ve son tabaka 3.93 kN/m olarak bulunur. Toplam oturma değeri ise aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi 18.98 cm olarak bulunur. Bu değer 3 m yüksekliğindeki bir dolgu için kabul edilebilir sınırlar içerisindedir.



Şekil 6.49 : Şev stabilitesi analizinde oturma değerleri

Toplam oturma değeri bulunduktan sonra şev stabilize analizi yapılır. Bu analizde bize şevin güvenlik sayısı (Msf) verilmektedir. Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi şev yüzeyinin tabanından, 1 m yükseklikteki ve 2 m yüksekliğindeki 3 noktadan çizilen eğriye göre bu değer 2.5 civarında bulunmaktadır. Bu değerden de anlaşılacağı gibi şev stabilitesi sağlanmıştır.



Şekil 6.50 : Şev stabilitesi güvenlik değeri

6.5 Maliyet Analizi

Geogrid kullanılarak ve kullanılmadan yapılan yol dolgusunda maliyet analizi ile karşılaştırma yapılmıştır. Burada hesaplarda baz alınan malzemelere göre T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 2006 yılı için yayınladığı birim fiyat listesine göre bir karşılaştırma yapılmıştır. Fiyat analizi yolun sadece 1 m uzunluğundaki kısmı için yapılmıştır.

Bu karşılaştırma da dolgu malzemesinin getirildiği ocak 10 km olarak seçilmiştir. Temel, alt temel ve geogrid dolgusu 10 km uzaklıktaki bir ocaktan getirilmekte olarak kabul edilmiştir. Aynı şekilde çıkarılan dolgu da ortalama 10 km uzaklıktaki bir alana dökülecektir. Sıkıştırma için kullanılan su ise her iki hal içinde 5 km uzaklıktan getirildiği varsayılmıştır. Maliyet analizine yol kaplaması katılmamıştır. Bunun nedeni iki durum için de aynı kaplama kullanılmasıdır.

Maliyet analizi tablosunda kullanılan formüller aşağıdaki gibidir.

- Poz 07.005/K Kazıdan başka her türlü inşaat malzemesinin taşınması (su nakli)

$$\text{Su nakli (ton/YTL)}=1.25 \times 0.00017 \times K \times \sqrt{M \times A} \quad (6.1)$$

- Kazıdan başka her türlü inşaat malzemesinin taşınması

$$\text{Dolgu nakli (m}^3\text{/YTL)}=1.25 \times K \times (0.007 \times M + 0.01) \times Y \times A \quad (6.2)$$

Burada kullanılan; K=110, A=1, M Getirilecek malzemenin kaynağa uzaklığı (km), Y=1.9ton/m³ malzemenin ortalama birim hacim ağırlığıdır. [28]

Geogrid kullanılmadan yapılan yol dolgusu kesitinin 1m²'si için toplam maliyet 975.02 YTL' dir. Geogrid kullanılarak yapılan yol dolgusunda ise 1m²'si için maliyet 575.57 YTL'dir. Geogrid kullanılarak yapılan yol dolgusunda aynı stabilite sağlanırken mali açıdan %41 daha ucuz olduğu Tablo 6.3'de görülmektedir.

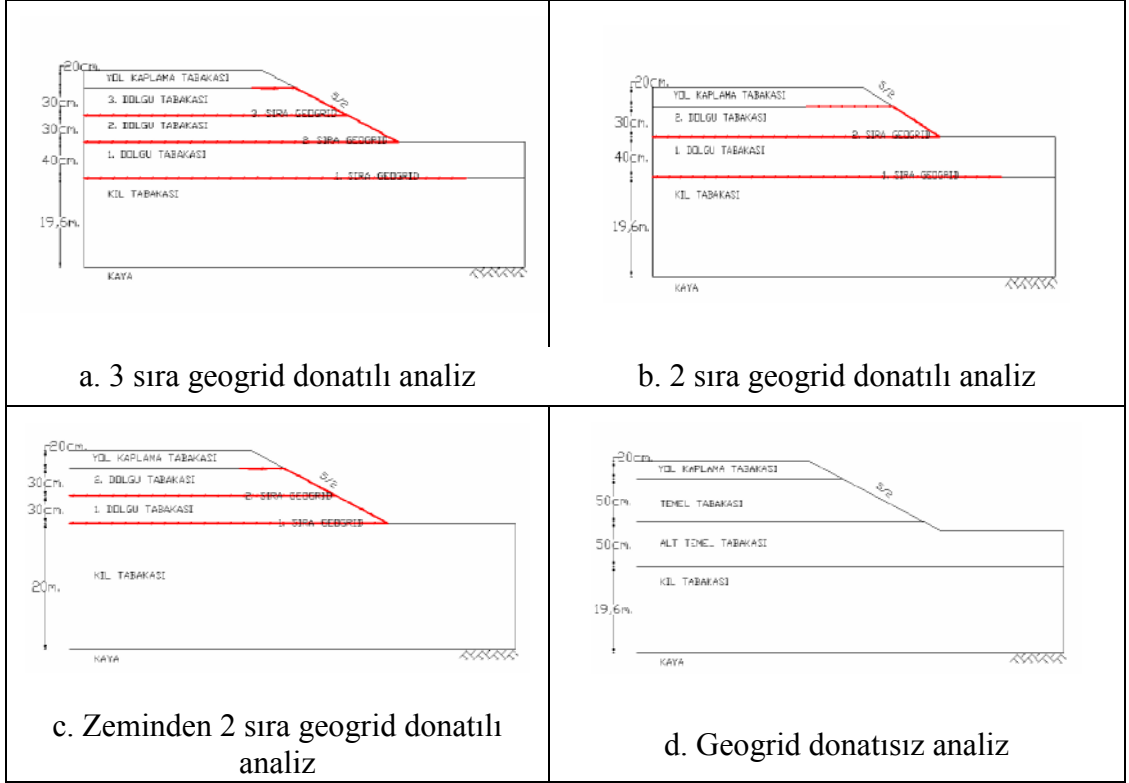
Tablo 6.3: Geogrid donatılı ve geogrid donatısız yol dolgusunda birim fiyatlara göre maliyet analizi

| 30 METRE PLATFORM GENİŞLİĞİNDEKİ BİR YOLDA GEOGRİD KULLANILARAK VE GEOGRİD KULLANILMADAN ZEMİN İSLAH EDİLMESİNE AİT MUKAYESELİ ANALİZ | | | | | | | | | | | |
|---|----------|---|--------|---|--------------|---------------|---|--------------|---------------|-------------------|---------------|
| Sıra No. | Poz No. | İşin Cinsi | Birimi | 1 . K e ş i f (Geogrid Kullanılmaması Hali) | | | 2 . K e ş i f (Geogrid Kullanılması Hali) | | | 2.Keşif - 1.Keşif | |
| | | | | Miktarı | Birim Fiyatı | Tutarı | Miktarı | Birim Fiyatı | Tutarı | Artan | Azalan |
| 1 | 6000 | Ocak taşından konkasörle kırılmış ve elenmiş malzeme ile alttemel yapılması (Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 401 deki esaslara göre) | m³ | 17,7 | 20,22 | 357,89 | 0,0 | 20,22 | 0,00 | 0,00 | 357,89 |
| 2 | 6040 | Temel yapılması (kırılmış ve elenmiş ocak taşı ile 1inç) | m³ | 15,6 | 24,93 | 389,53 | 0,0 | 24,93 | 0,00 | 0,00 | 389,53 |
| 3 | 2641 | Elenmiş malzeme ile sanat yapıları ve köprü temel tabanına, beton yol ve tretuvar altlarına kum, çakıl tabakası serilmesine drenaj hendekleri ile her türlü büz yanlarında kum, çakıl dolgu yapılması | m³ | 0,0 | 10,80 | 0,00 | 18,9 | 10,80 | 204,12 | 204,12 | 0,00 |
| 4 | 07.005/K | Kazıdan başka her türlü inşaat malzemesinin taşınması (su nakli) (M=70,72, A=1,00, K=110) | ton | 3,3 | 1,65 | 5,51 | 1,9 | 1,65 | 3,12 | 0,00 | 2,38 |
| 5 | 07.006/K | Kazıdan başka her türlü inşaat malzemesinin taşınması (alttemel ve temel malzemesinin yola nakli) (M=10 Km, Y=1,95 ton/m³, A=1,00, K=110) | m³ | 33,3 | 4,56 | 151,90 | 0,0 | 4,56 | 0,00 | 0,00 | 151,90 |
| 6 | 15.005 | Zayıf zeminin (bitkisel toprak vs.) kazılması ve kullanılması | m³ | 14,4 | 0,90 | 12,96 | 0,0 | 0,90 | 0,00 | 0,00 | 12,96 |
| 7 | 07.006/K | Kazıdan başka her türlü inşaat malzemesinin taşınması (zeminin 0,4m. kazılması) (M=10 Km, Y=1,70 ton/m³, A=1,00, K=110) | m³ | 14,4 | 3,97 | 57,22 | 0,0 | 3,97 | 0,00 | -57,22 | 0,00 |
| 8 | 07.006/K | Kazıdan başka her türlü inşaat malzemesinin taşınması (geogrid dolgusu) (M=10 Km, Y=1,8 ton/m³, A=1,00, K=110) | m³ | 0,0 | 4,21 | 0,00 | 18,9 | 4,21 | 79,52 | 0,00 | -79,52 |
| 9 | | Çift yönlü Maksimum çekme gerilmesi 40kN/m² olan geogrid taşınması ve serilmesi | m² | 0,0 | 5,00 | 0,00 | 72,2 | 4,00 | 288,80 | 288,80 | 0,00 |
| T O P L A M | | | | | | 975,02 | | | 575,57 | 435,70 | 835,15 |

$$\text{KEŞİF AZALIŞI} = \frac{975,02 - 575,57}{975,02} = 0,41 = \% 41$$

6.6 Analizlerin Karşılaştırılması

Plaxis programı kullanılarak dört farklı analiz yapılmıştır. Burada amaç geogrid kullanımının avantajlarını açıklamaktır. Analizlerde kullanılan geometri Şekil 6.51’de gösterildiği gibidir.



Şekil 6.51 : Yol dolgusu kesiti geometrileri

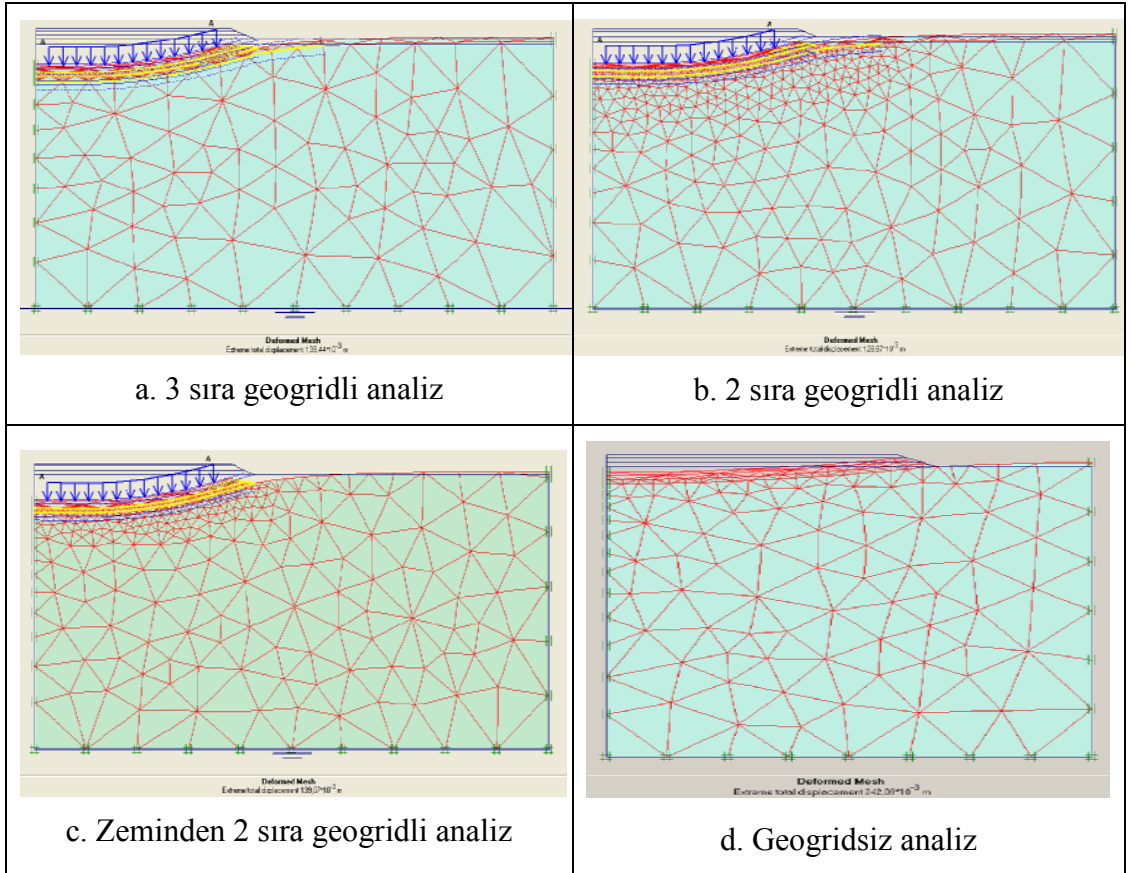
Geogrid kullanılarak üç farklı analiz yapılmış bunlardan optimum çözümü sunan maliyet analizi için geogridsiz durum ile karşılaştırılmıştır.

Programı kontrol için kil tabakasında meydana gelen oturmalar el ile hesaplanmıştır.

$$\Delta H = H \cdot m_v \cdot \Delta p \quad (6.3)$$

Burada ΔH oturma değeri olup, H zemin tabakasının kalınlığı, m_v hacimsel sıkışma katsayısı olup, Δp ise ortalama efektif basınç artışıdır. Denklem 6.1 kullanılarak yapılan hesaplamalar ile üç sıra geogridli sistemde 16.64 cm, iki sıra geogridli sistemde 14.48, zemin seviyesinden itibaren yapılan geogridli sistemde oturma 16.32 cm, son olarak geogrid kullanmadan yapılan analizden beklenen oturma 19.8 cm civarındadır. Hesaplar sonucu bulunan oturma değerleri bu değerlere yakın olduğu için analizler doğru kabul edilir.

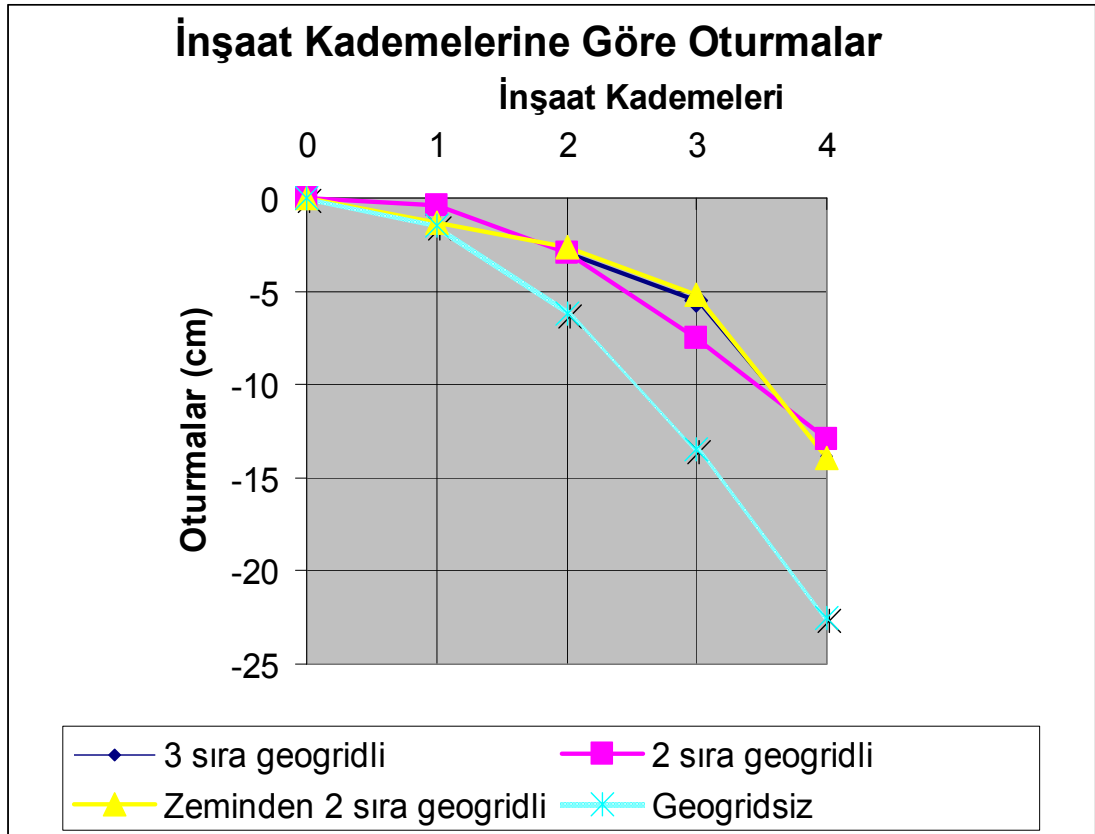
Üç farklı analizden birincisinde geogrid için temel tabanı kazılmış ilk sıra geogrid serilmiş ve üzerine 2 sıra 0.3 m ara ile tekrar geogrid serilmiştir. Toplam dolgu kalınlığı 1 m'dir. Burada elde edilen toplam oturma 13.8 cm'dir. Bu oturma değeri yol inşaatlarında kabul edilebilir bir değerdir. İkinci hesapta ise yine temel tabanı kazılmış geogrid serilmiştir fakat bu sefer yapılacak dolgu kalınlığı azaltılmış ve en üst sırada kullanılan geogrid tabakası iptal edilmiştir. Burada elde edilen toplam oturma 12.8 cm'dir. Burada oturmanın azalmasının sebebi dolgu kalınlığının 0.3 cm azaltılmış olmasıdır. Üçüncü ve son geogrid kullanılarak yapılan hesapta ise literatür kısmında açıklandığı gibi geogridin kenetlenmesinden yararlanılmış mevcut zeminde temel hazırlanmamıştır. Buradaki dolgu kalınlığı 0.6 m'dir. Bu analiz sonucunda ise 13.9 cm toplam oturma bulunmuştur. Plastik noktalar diğer iki geogridli sistemden daha fazla olmasına karşın oturma değeri kabul edilebilir sınırlar içindedir. Karşılaştırmaya esas alınacak geogridli dolgu son yapılan çalışmadır. Geogrid donatısız durumda ise karayolları genel müdürlüğünün projelerinde uyguladığı bir kesit seçilmiş ve hesaplara alınmıştır. 0.5 m temel ve 0.5 m alt temel serilerek standart bir yol yapılmıştır. Bu durumda maksimum toplam oturma 24 cm'dir.



Şekil 6.52 : Oturma karşılaştırma

Şekil 6.52’de dört analizdeki oturmalar görülmektedir. Oturma analizlerinde görülen en düşük oturma ikinci hesap olan zeminden iki sıra geogridli sistemde meydana gelmiştir. Geogrid kullanılmadan yapılan dolgu kalınlığı geogrid kullanılarak yapılan dolgu kalınlığından 0.4 m daha fazla dolgu yapılmıştır. Dolgu nitelikleri de geogridli ve geogrid kullanılmadan yapılan yol analizinde durumda değişmektedir.

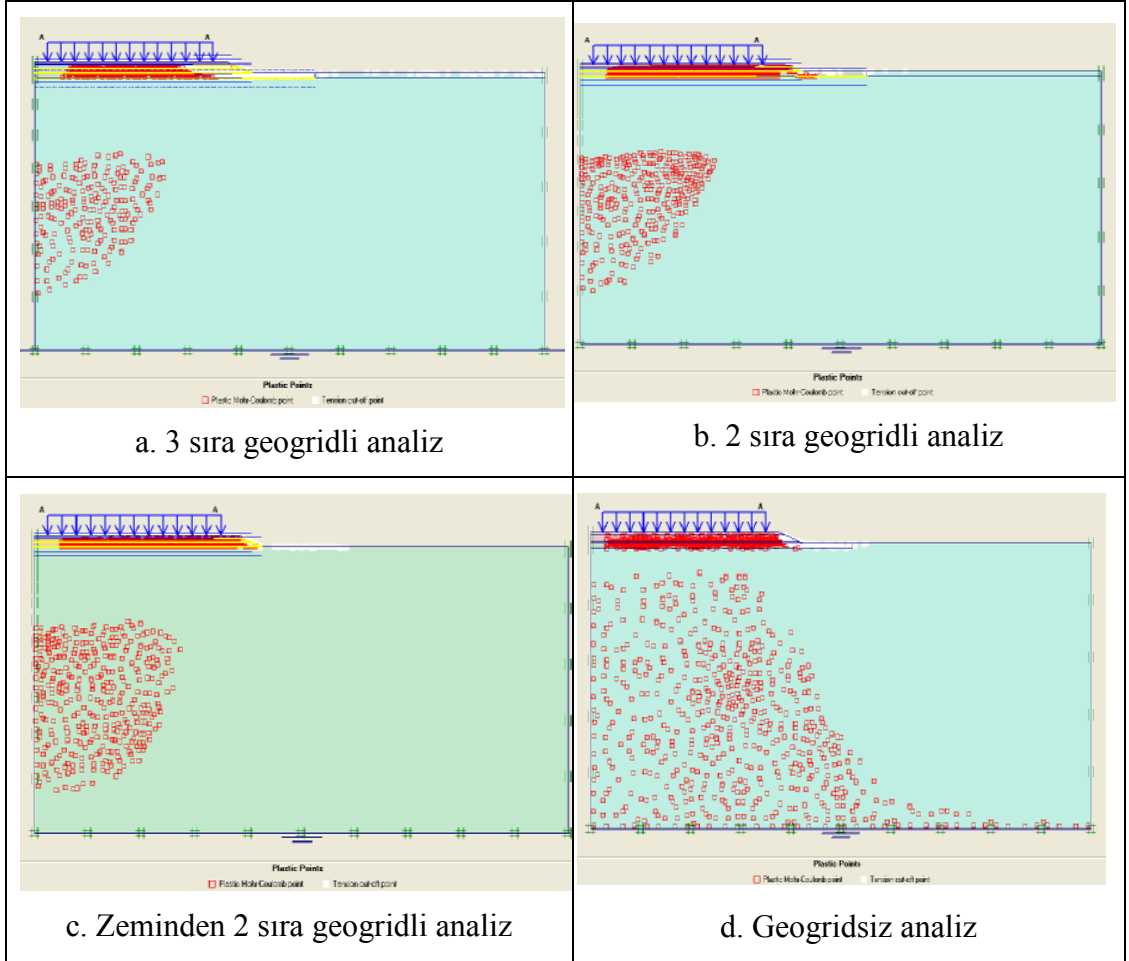
En fazla oturma ise beklendiği gibi geogrid kullanılmadan yapılan yol dolgusunda oluşmuştur. İnşaat kademelerine göre oturma diyagramı ise Şekil 6.53’deki gibidir. Şekilden de görüldüğü gibi dolgu kademeleri yapılırken oturma değerleri geogridli analizlerde birbirine çok yakın, geogrid kullanılmadan yapılan dolgu için ise biraz daha büyük olmakla beraber diğer analizlere yakındır. Sisteme yayılı yükün etkidiği 4. inşaat kademesinde ise geogridler etkin hale gelmekte ve geogrid kullanılan sistemde oturmalar azalmaktadır.



Şekil 6.53 : Oturma - inşaat kademeleri

Geogrid kullanıldığında oturmalar ve plastik noktaların sayısı azalmaktadır. Plastik noktalar Şekil 6.54’de görülmektedir. En az plastik nokta beklendiği gibi 3 sıra geogridli sistemdedir. Geogridli sistemlerde plastik noktalar daha çok yolun altında iken geogrid kullanılmadan yapılan sistemde genel kil tabakasında plastik noktalar

bulunmaktadır. Dolgu tabakasında, geogrid kullanıldığında plastik noktalar geogrid kullanılmamış hale göre daha fazladır.



Şekil 6.54 : Plastik noktalar

Dolgu yüksekli maksimum 0.6 m civarında olduğu için geogridli ve geogridsiz durumda da şevde stabilite bozukluğu oluşmamış, Şev stabilite güvenlik sayısı dört hesap içinde birden büyük bulunmuştur. Geogrid kullanmadan yapılan dolgulara dolgu kalınlığı artıkça şev stabilitesi önem kazanmaktadır. Buna örnek olarakta 3 m boyunda bir dolgu geogrid donatı ile çözülmüş ve şev stabilitesi geogrid ile sağlanmıştır. Dolgu kalınlığı artıkça şev stabilitesi analizler mutlaka yapılmalıdır. Erozyon riskine karşı da yüzeysel önlemler alınmalıdır. Geogridli sistemde bohçalama yapıldığı için yüzeysel önleme gerek yoktur. Fakat geogridsiz sistemde geomatlar kullanılarak yüzeydeki akmlar önenebilir.

Bu sistemde geogrid kullanımı en azından yüzey erozyonu riskini önlemiştir. Ayrıca geogridin yanal destek ve membran etkisi ile yolun ömrünü uzatacağı da düşünülmelidir.

Hesaplama adımından sonra T.C. Bayındırlık Bakanlığı 2006 yılı birim fiyatlarına göre maliyet analizi yapılmıştır. Yol dolgusunda geogrid kullanılmadığında 975.02 YTL, geogrid kullanıldığında ise keşif bedeli 575.57 YTL olarak bulunmuştur. Böylece keşif azalışı %41 gibi büyük bir farka karşılık gelir.

Tablo 6.4: Geogrid donatı kullanarak ve kullanmadan yapılan analizlerin karşılaştırılması

| Yapılan Çalışmalar | Toplam dolgu kalınlıkları (cm) | Beklenen oturmalar (cm) | Plaxis Programı ile bulunan oturmalar (cm) | Maliyet (YTL) |
|--|--------------------------------|-------------------------|--|---------------|
| 3 sıra geogrid donatılı yol dolgusu | 100 | 16.64 | 13.84 | - |
| 2 sıra geogrid donatılı yol dolgusu | 70 | 14.48 | 12.88 | - |
| Yüzeyden 2 sıra geogrid donatılı yol dolgusu | 60 | 16.32 | 13.8 | 575.57 |
| Geogrid donatısız yol dolgusu | 100 | 19.8 | 24.2 | 975.02 |

Tablo 6.4’de yapılan bütün çalışmaların karşılaştırılması bakımından oturma değerleri ve maliyet analizleri verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi geogrid donatı kullanılması durumunda oturma değerleri ve dolgu kalınlıkları azalmıştır. Bu sonuçlara bağlı olarak maliyette de gözle görülür bir azalma meydana gelmiştir.

7. SONUÇLAR

Geosentetikler yirminci yüzyılın ortalarından itibaren geoteknik problemlerin çözümünde yardımcı olarak kullanılmaya başlanmışlardır. Geosentetikler, filtrasyon, drenaj, ayırma, koruma, geçirimsizlik, donatılı duvar, zemin iyileştirme, asfalt ve beton donatısı, erozyon kontrolü ve yüzey stabilitesi amaçlı kullanılmaktadırlar.

Geosentetiklerin yüksek taşıma gücüne sahip, zeminle kenetlenme ve sürtünme prensibine göre çalışan çeşidi olan geogridler zemin iyileştirmede, şev stabilitelerinde, asfalt ve beton içine donatı olarak kullanılabilirler.

Yol inşaatlarında geogrid kullanılması zeminin stabilitesini arttırmak, kullanılacak dolgu kalınlığını azaltmak ve asfalt üzerinde oluşacak çatlakları önlemek ya da oluşmasını geciktirmek amaçlı kullanılır. Geogrid taşıma gücü zayıf ya da yetersiz zeminlerde geogrid kullanımı ile çekme dayanımı artırılır. Teker bölgelerinde oluşan yerel oturmalar, taşıma gücünün artırılması ve dolgu zemininin hareketinin sınırlandırılması ve yükün daha geniş bir alana yayılması ile oturmaların önlenmesine geogridin membran etkisi denir. Temel tabakasında geogrid zemin ile kenetlendiği için yanal deformasyonu önler.

Bu çalışmada 20 m derinliğinde kil zemin üzerine oturan bir yol dolgusu geogrid kullanılarak ve geogrid kullanılmadan inşa edilmiştir. Beş farklı analiz yapılmıştır. Bunların dördü geogrid kullanılarak biri ise geogrid kullanılmadan yapılan analizdir. Analiz sonuçları efektif gerilmeler, oturma değerleri, geogrid çekme gerilmeleri ve maliyetler açısından birbiri ile karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda 3 sıra geogrid donatılı sistem ile 2 sıra geogrid donatılı sistem arasında oturmalar açısından 1 cm fark bulunmuş, efektif gerilmeler ise çok yakın bulunmuştur. İki sıra geogrid donatılı yol dolgusu analizi de iki şekilde yapılmıştır. Bunlardan birincisi mevcut zemin yüzeyinden diğeri ise zemin 40 cm kazılarak uygulanmıştır. Bu sonuçlar arasında da oturmalar ve gerilmeler açısından bir fark oluşmamıştır. Bu nedenle Geogrid kullanılmayan sistem ile maliyet analizi olarak yüzeyden iki sıra geogrid donatılı sistem mukayese edilmiştir. Geogrid donatı kullanılan sistemde, geogrid donatı kullanılmayan sisteme göre oturma değerleri 10.4 cm, dolgu kalınlığı ise 40 cm

azalmıştır. Maliyetlerde bunlara bağı olarak yaklaşık %41 oranında ucuzlamıştır. Yapılan son çalışmada ise yol dolgularında şev stabilizesinin geogrid donatı kullanarak sağlanmıştır.

Bu analizlerin sonuçlarına ve literatürde anlatılanlara göre geogridli durumun avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Oturma değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Farklı oturmalar önlenmiştir.
- Gerilme soğanı genişlemiştir.
- Dolgu kalınlığı azalmıştır.
- Şev yüzeyinde meydana gelme olasılığı bulunan akmlar önlenmiştir.
- Yolun ömrü uzatılmıştır.
- Maliyetler azaltılmıştır.

Maliyet ve yol analizinden de anlayacağımız gibi geogrid yolun stabilitesini arttırıp, yolun ömrünü uzatırken maliyet olarak da ekonomik çözümler sunmaktadır. Diğer yandan dolgu kalınlığının azalması inşa süresini de kısaltmaktadır. Geogrid kullanılarak yapılan yol dolgusu geogrid kullanılmadan yapılan yol dolgusuna göre maliyet, stabilite, kullanım ömrü, oturmalar açısından daha avantajlıdır.

8. KAYNAKLAR

- [1] **Özkan, D.**, 1998. Jeosentetikler ve Karayollarında Kullanımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] **Koerner, M. R.**, 1999. Designing with Geosynthetics, Prentice Hall, New Jersey.
- [3] **Koerner, M. R.**, 1988. Soft Soil Stabilization Using Geosynthetics, Elsevier Applied Science, London and New York
- [4] **Tunç, A.**, 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul
- [5] **Bowles, C. E.**, 1997. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, New York
- [6] **Yayla, N.**, 2002. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [7] **Özaydın, K.**, 1999. Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul
- [8] **Aksoy, M. A.**, 1993. Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Bayram, A.**, 2006. Hava Alanları Pist Dolgularının Geosentetik Malzemeler Kullanılarak Güçlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] **Berilgen, M. and İnanır, M.**, 2004. Plaxis ile Hesaplamalı Geoteknik Kursu, *Geogrup İnşaat A.Ş.*, İstanbul
- [11] <http://www.tenax.net/geosynthetics/index.htm>. 2006. Tenax SpA. web sayfası
- [12] http://www.tenax.net/geosynthetics/case_history/stabilization_bangkok.htm 2006. Tenax SpA. web sayfası
- [13] http://www.tenax.net/geosynthetics/stabilization/paved_roads.htm. 2006. Tenax SpA. web sayfası

- [14] http://www.tenax.net/geosynthetics/stabilization/railroads_runways1.htm. 2006. Tenax SpA. web sayfası
- [15] <http://www.istanbulteknik.com/geoarme.htm>. 2006. İstanbul Teknik İnşaat Ltd. Şti. web sayfası
- [16] <http://de.polyfelt.at/index.asp>. 2006. Polyfelt web sitesi
- [17] *Tensar Grids in Concrete Paving*, 1988. Tensar International, Blackburn
- [18] *Tenax Tools Cd*, 2005. Tenax SpA., Milano
- [19] **İncecik, M., Okan, R., Balkaya, M.**, 2004. Boşluklu Zemin Üzerinde İnşa Edilecek Yol Dolgusu İçin Geosentetik Kullanımı, *Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, BÜ, İstanbul, 21-22 Ekim, s. 99-105.
- [20] **Yılmaz, H., Aklık, P.**, 2004. Geçici ve Kaplamasız Yollarda Geotekstil Kullanımı ile Projelendirme Esasları ve Bir Örnek Uygulama, *Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, BÜ, İstanbul, 21-22 Ekim, s. 117-127.
- [21] **Tan, Ö., Çelik, S.**, 2004. Geogrid Donatılı Model Şerit Temellerde Donatı Derinlik Oranı ile Sınır Taşıma Gücü İlişkisi, *Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, BÜ, İstanbul, 21-22 Ekim, s. 155-169.
- [22] **Güler, E., Edinçliler, A.**, 2004. Geosentetik Donatılı Dolguların Laboratuar ve Sonlu Elemanlar Modeli ile Analizi, *Birinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, BÜ, İstanbul, 21-22 Ekim, s. 169-179.
- [23] **Tutumluer, E., Al-Qadı, I., Kwon, J., Dessouky, S.**, 2006. Geogrid ile Temeli Güçlendirilmiş Asfalt Kaplamalar: Analiz Yöntemi ve Faydaları, *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, BÜ, İstanbul, 16-17 Kasım, s. 1-20.
- [24] **Berilgen, M., Abdullah, C., Edil, T.**, 2006. Geopier Kolonları Üzerinde Yeralan Geogrid Donatılı Yükleme Platformlu Bir Deneme Dolgusunun Davranışı, *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, BÜ, İstanbul, 16-17 Kasım, s. 165-177.
- [25] **Montanelli, F., Rimoldi, P., Zhao, A.**, 1997. Geosynthetic- Reinforced Pavement System: Testing & Design, *“Proceeding of Geosynthetics 1997”* s.619-632

- [26] **Cancelli, A., Cancelli, P., Recalcati, P., Rimoldi, P.**, 1997. The Use of Geosynthetics to Improve the Bearing Capacity of the Foundation of Road Embankments, “*IGS International Conference Geosynthetics Asia 1997*” Bangalore, India.
- [27] **Karayolları Teknik Şartnamesi.**, 2006. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [28] **Yol, Köprü, Bitümlü Kaplamalar ve Trafik İşlerine Ait Birim Fiyat Listesi**, 2006. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Program İzleme Dairesi Başkanlığı Keşif ve Şartname Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- [29] **FHWA – NHI – 00 - 043**, 2001. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Sloper Design & Construction Guidelines, *U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration*.
- [30] **BS 7533:1992**, 1992. Guide for structural design of pavements constructed with clay of concrete block pavers, *British Standards Institution*.

9. ÖZGEÇMİŞ

Bu çalışmayı hazırlayan Başak Çetin Karagül 1980 Ankara doğumludur. İlköğretimini Samsun Gülsüm Sami Kefeli İlköğretim Okulunda, orta öğrenimini Ankara Namık Kemal Ortaokulunda tamamladıktan sonra Ankara Sokulu Mehmet Paşa Lisesine gitmiştir. Üniversite eğitimini ise İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde bitirmiştir. İstanbul Teknik İnşaat Ltd. Şti. firmasında çalışma hayatını sürdürmekte aynı zamanda İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Geoteknik Anabilim dalında yüksek lisansını yapmaktadır.