

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEOSENTETİKLERİN KARAYOLU YAPILARINDA KULLANIMI:  
TÜRKİYE ÖRNEKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mustafa KOCAER**

**Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Programı : Ulaştırma Mühendisliği**

**Tez Danışmanı: Y. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM**

**HAZİRAN 2011**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEOSENTETİKLERİN KARAYOLU YAPILARINDA KULLANIMI:  
TÜRKİYE ÖRNEKLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Mustafa KOCAER  
(501081415)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Haziran 2011**

**Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM (İTÜ)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ)**

**Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK (SÜ)**

**HAZİRAN 2011**







## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda büyük emeği geçen değerli hocam ve danışmanım Sayın Y. Doç. Dr. Şükriye İYİNAM'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlık aşamasında deneyim ve yardımlarını benden esirgemeyen Karayolları 1.Bölge Müdürlüğü'nden Sayın Cem DABAK ve Sayın İ. Deniz KİLİMCİ'ye teşekkür ederim.

Ayrıca her zaman yanımda olan her türlü desteği esirgemeyen, sabır ve anlayış gösteren aileme sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2011

Mustafa KOCAER  
(İnşaat Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                     |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                          | iii  |
| İÇİNDEKİLER.....                                                    | v    |
| KISALTMALAR.....                                                    | ix   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ .....                                                 | xiii |
| ÖZET .....                                                          | xvii |
| SUMMARY.....                                                        | xix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                      | 1    |
| 2. GEOSENTETİKLER .....                                             | 3    |
| 2.1 Geosentetiklerin Kullanım Alanları ve Temel Fonksiyonları ..... | 3    |
| 2.1.1 Koruma .....                                                  | 3    |
| 2.1.2 Ayırma .....                                                  | 3    |
| 2.1.3 Güçlendirme .....                                             | 4    |
| 2.1.4 Drenaj .....                                                  | 4    |
| 2.1.5. Filtrasyon .....                                             | 4    |
| 2.1.6. Yalıtım .....                                                | 4    |
| 2.2 Geosentetik Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....              | 4    |
| 2.2.1 Makro Moleküller.....                                         | 4    |
| 2.2.2 Hammaddeler .....                                             | 5    |
| 2.2.2.1 Poliamid (PA. Naylon).....                                  | 5    |
| 2.2.2.2 Polyester (PEPT).....                                       | 6    |
| 2.2.2.3 Polipropilen, polietilen (PP, PE).....                      | 6    |
| 3. GEOSENTETİKLERİN ÇEŞİTLERİ ve ÖZELLİKLERİ .....                  | 7    |
| 3.1 Geotekstiller.....                                              | 7    |
| 3.1.1 Geotekstil çeşitleri .....                                    | 7    |
| 3.1.1.1 Hammadde çeşidine göre geotekstiller .....                  | 7    |
| 3.1.1.2 Üretim tekniğine göre geotekstiller .....                   | 7    |
| 3.1.2 Geotekstillerin özellikleri.....                              | 11   |
| 3.2. Geogridler.....                                                | 11   |
| 3.2.1 Geogrid çeşitleri .....                                       | 13   |
| 3.2.1.1 Ekstrüde geogridler .....                                   | 13   |
| 3.2.1.2 Yapıştırma geogridler.....                                  | 15   |
| 3.2.1.3 Dokuma geogridler .....                                     | 15   |
| 3.3 Geomembranlar.....                                              | 15   |
| 3.3.1 Geomembran çeşitleri.....                                     | 16   |
| 3.3.1.1 PVC (Polivinil Klorür) geomembran .....                     | 16   |
| 3.3.1.2 LDPE (Düşük Yoğunluklu Polietilen) geomembran .....         | 17   |
| 3.3.1.3 HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) geomembran .....        | 17   |
| 3.4 Geokompozitler.....                                             | 17   |
| 3.5 Geonetler .....                                                 | 19   |

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.6 Geohücreler .....                                                                                                       | 20        |
| 3.7 Geoköpekler (Geofoamlar) .....                                                                                          | 21        |
| 3.8 Geosentetik Kil Kaplama .....                                                                                           | 21        |
| 3.9 Geoboru.....                                                                                                            | 21        |
| 3.10 Geotüp .....                                                                                                           | 21        |
| <b>4. KARAYOLU YAPILARINDA GEOSENTETİK UYGULAMALARI .....</b>                                                               | <b>23</b> |
| 4.1 Geosentetiklerin Zemin İyileştirmede Kullanımı .....                                                                    | 23        |
| 4.1.1 Geogrid ile güçlendirme .....                                                                                         | 25        |
| 4.1.2 Geosentetik düşey bant dren (fitil dren-şerit diren) uygulaması.....                                                  | 27        |
| 4.1.3 Geoköpek (geofoam) uygulaması .....                                                                                   | 30        |
| 4.1.3.1. Zemindeki dolgu yükünü azaltma .....                                                                               | 30        |
| 4.1.3.2 Bölgesel oturmaların giderilmesi .....                                                                              | 32        |
| 4.1.3.3 Kaplama yalıtımı .....                                                                                              | 32        |
| 4.1.3.4 Yol platformu genişletmeleri .....                                                                                  | 32        |
| 4.1.3.5 Şev stabilizasyonu .....                                                                                            | 32        |
| 4.1.3.6 Geoköpek (geofoam) ile heyelan önleme çalışması örneği .....                                                        | 34        |
| 4.1.4 Dolgu altında geohücre uygulaması.....                                                                                | 36        |
| 4.2 Geosentetiklerin Dayanma Yapılarında Kullanımı .....                                                                    | 37        |
| 4.2.1 Geosentetik donatılı duvarlar.....                                                                                    | 37        |
| 4.2.1.1 Geosentetik donatılı duvar tasarımı.....                                                                            | 39        |
| 4.2.1.2 Geogrid donatılı prefabrik bloklı istinat duvarları.....                                                            | 42        |
| 4.2.1.3 Bohçalama sistemli duvarlar .....                                                                                   | 42        |
| 4.2.1.4 Polimer yşerit donatılı duvarlar (toprakarme).....                                                                  | 43        |
| 4.2.1.5 Geohücre donatılı duvarlar.....                                                                                     | 44        |
| 4.2.1.6 Geogrid donatılı gabiyon duvarlar.....                                                                              | 45        |
| 4.2.2. İksa-istinat duvar arkalarında geosentetik kullanımı .....                                                           | 45        |
| 4.2.2.1 Geoköpek (geofoam) uygulaması .....                                                                                 | 45        |
| 4.2.2.2. Drenaj amaçlı geosentetik kullanımı .....                                                                          | 46        |
| 4.2.2.3 Filtrasyon amaçlı geosentetik kullanımı .....                                                                       | 47        |
| 4.3 Geosentetiklerin Yol Üst Yapısında Kullanımı.....                                                                       | 48        |
| 4.3.1 Geosentetiklerin temel-alttemel tabakaları altında kullanımı.....                                                     | 48        |
| 4.3.1.1 Ayırma .....                                                                                                        | 48        |
| 4.3.1.2 Güçlendirme .....                                                                                                   | 49        |
| 4.3.1.3 Bölgesel çökme .....                                                                                                | 49        |
| 4.3.1.4 Bölgesel oturma.....                                                                                                | 50        |
| 4.3.2 Geosentetiklerin stabilize yollarda kullanımı .....                                                                   | 51        |
| 4.3.2.1 Ayırma .....                                                                                                        | 51        |
| 4.3.2.2 Güçlendirme .....                                                                                                   | 51        |
| 4.3.2.3 Drenaj.....                                                                                                         | 52        |
| 4.3.3 Geosentetiklerin asfalt betonu tabakaları arasında ve beton yollar<br>üzerindeki asfalt kaplamalarında kullanımı..... | 52        |
| 4.4 Geosentetiklerin Drenaj Yapılarında Kullanımı.....                                                                      | 54        |
| 4.4.1 Geosentetiklerin yüzey altı drenajlarında kullanımı .....                                                             | 54        |
| 4.4.1.1 Filtrasyon ilkeleri.....                                                                                            | 56        |
| 4.4.1.2 Panel (Perde) drenler .....                                                                                         | 57        |
| 4.4.2 Hendek kanallarda geohücre uygulaması.....                                                                            | 59        |
| 4.5 Geosentetiklerin Erozyon Kontrolünde Kullanımı .....                                                                    | 60        |
| 4.5.1 Yarma ve dolgu şev erozyonuna karşı kullanımı.....                                                                    | 60        |
| 4.5.2 Kıyı şev korumasında kullanımı .....                                                                                  | 62        |
| 4.5.2.1 Kıyı tahkimatları.....                                                                                              | 62        |

|                                                                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.5.2.2 Geotüp uygulaması .....                                                                                                              | 64         |
| 4.6 Geosentetiklerin Kaya ve Taş Düşmelerine Karşı Kullanımı .....                                                                           | 64         |
| 4.6.1 Geogrid donatılı kaya tutucu bariyer.....                                                                                              | 65         |
| 4.6.2 Geogridlerin kaya şev yüzeylerinde kullanımı .....                                                                                     | 66         |
| 4.7 Geosentetiklerin Karayolu Tünellerinde Kullanımı.....                                                                                    | 67         |
| 4.8 Geosentetiklerin Köprü, Altgeçit ve Koruma Yapılarında Kullanımı .....                                                                   | 68         |
| 4.8.1 Yalıtım ve koruma amaçlı kullanım .....                                                                                                | 68         |
| 4.8.2 Köprü yaklaşım dolgularında ve köprü ayaklarının etrafında geotekstil uygulaması .....                                                 | 69         |
| 4.8.3. Yapılar üzerindeki dolgu yükünü azaltma amaçlı geofoam uygulaması .....                                                               | 70         |
| 4.9.Geotekstil Donatılı Kazık (Geotestilli Kazık-Geotekstil Kapsüllü Kazık) .....                                                            | 70         |
| 4.10 Geosentetiklerin Çevreye Etkileri .....                                                                                                 | 71         |
| <b>5. TÜRKİYE’DE YAPILAN GESENTETİK UYGULAMALARINDAN</b>                                                                                     |            |
| <b>ÖRNEKLER .....</b>                                                                                                                        | <b>73</b>  |
| 5.1 Hasdal Kavşağı-Kemberburgaz-Yassıören Ayrımı Devlet Yolu.....                                                                            | 73         |
| 5.1.1 İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı ve Tünel Giriş Portalı önü yaklaşım dolgusu geosentetik donatılı duvarlar ..... | 73         |
| 5.1.2 İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli .....                                                                                         | 78         |
| 5.1.3 Bohçalama sistem duvar .....                                                                                                           | 79         |
| 5.2 Baltalimani-TEM Otoyol Kavşağı Yolu .....                                                                                                | 81         |
| 5.3. Antalya-Manavgat-Alanya Bölünmüş Yolu Manavgat Nehri Köprüsü.....                                                                       | 81         |
| 5.4 Nurbaba Altunizade Yolu Geosentetik Donatılı Duvar Projesi.....                                                                          | 83         |
| 5.5 Geosentetik Kullanımının Maliyete Etkisi .....                                                                                           | 84         |
| 5.5.1 İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı geogrid donatılı prefabrik bloklu istinat duvarı örneği .....                   | 84         |
| 5.5.2 Geosentetik donatılı dayanma duvarı ile betonarme konsol duvarının maliyet karşılaştırması .....                                       | 86         |
| <b>6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>                                                                                                         | <b>89</b>  |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                                                                                        | <b>91</b>  |
| <b>EKLER.....</b>                                                                                                                            | <b>95</b>  |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                                                                                         | <b>103</b> |



## **KISALTMALAR**

|             |                                              |
|-------------|----------------------------------------------|
| <b>IGS</b>  | : International Geosynthetics Society        |
| <b>ASTM</b> | : American Society for Testing and Materials |
| <b>PP</b>   | : Polipropilen                               |
| <b>PET</b>  | : Polyester                                  |
| <b>PA</b>   | : Poliamid                                   |
| <b>PE</b>   | : Polietilen                                 |
| <b>PVC</b>  | : Polivinil Klorür                           |
| <b>LDPE</b> | : Düşük Yoğunluklu Polietilen                |
| <b>HDPE</b> | : Yüksek Yoğunluklu Polietilen               |



## ÇİZELGE LİSTESİ

|                                                                                                      | <b><u>Sayfa</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| <b>Çizelge 3.1</b> : Geotekstillerin tanımlanması.....                                               | 12                  |
| <b>Çizelge 4.1</b> : Prefabrik düşey dren özellikleri.....                                           | 28                  |
| <b>Çizelge 4.2</b> : Prefabrik düşey drenin deşarz kapasitesi .....                                  | 28                  |
| <b>Çizelge 5.1</b> : Enkesit-1 uygulamasına ait analizler .....                                      | 74                  |
| <b>Çizelge 5.2</b> : Enkesit-2 uygulamasına ait analizler .....                                      | 74                  |
| <b>Çizelge 5.3</b> : Enkesit-3 uygulamasına ait analizler .....                                      | 74                  |
| <b>Çizelge 5.4</b> : Enkesit-4 uygulamasına ait analizler .....                                      | 74                  |
| <b>Çizelge 5.5</b> : Kullanılan geogrid fiziksel özellikleri.....                                    | 74                  |
| <b>Çizelge 5.6</b> : Kullanılan geogridlerin boyutsal özellikleri.....                               | 75                  |
| <b>Çizelge 5.7</b> : Kullanılan geogridlerin teknik özellikleri .....                                | 75                  |
| <b>Çizelge 5.8</b> : Kullanılan prefabrik blokların fiziksel özellikleri .....                       | 76                  |
| <b>Çizelge A.1</b> : Geogrid donatılı duvar için hazırlanan metraj sayfası .....                     | 97                  |
| <b>Çizelge A.2</b> : Geogrid donatılı duvar için hazırlanan imalat miktarları<br>keşif özeti .....   | 98                  |
| <b>Çizelge A.3</b> : Betonarme istinat duvarı için hazırlanan imalat miktarları<br>keşif özeti ..... | 99                  |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.1 : Monofilament bir örgülü geotekstil .....                                                               | 8  |
| Şekil 3.2 : Multifilament PET dokunmuş geotekstil. ....                                                            | 9  |
| Şekil 3.3 : PP şerit tip örgülü geotekstil. ....                                                                   | 9  |
| Şekil 3.4 : Örgüsüz geotekstil örneği .....                                                                        | 10 |
| Şekil 3.5 : Örgüsüz geotekstil örnekleri. ....                                                                     | 10 |
| Şekil 3.6 : Geogrid örneği.....                                                                                    | 13 |
| Şekil 3.7 : Tek eksenli geogrid örneği.....                                                                        | 13 |
| Şekil 3.8 : İki eksenli geogrid örneği.....                                                                        | 14 |
| Şekil 3.9 : İki eksenli PE geogrid örneği .....                                                                    | 14 |
| Şekil 3.10 : Geomembran örneği. ....                                                                               | 15 |
| Şekil 3.11 : Geotekstil-geomembran geokompozit örneği. ....                                                        | 18 |
| Şekil 3.12 : Drenaj amaçlı uygulanan geotekstil-geonet geokompozit örneği. ....                                    | 18 |
| Şekil 3.13 : Geotekstil-geonet-geomembran geokompozit örneği.....                                                  | 18 |
| Şekil 3.14 : Drenaj amaçlı geotekstil-geomat-geotekstil geokompozit.....                                           | 19 |
| Şekil 3.15 : Geonetin drenaj fonksiyonu. ....                                                                      | 19 |
| Şekil 3.16 : Kaplanmış geonet örneği.....                                                                          | 19 |
| Şekil 3.17 : Geohücre örneği. ....                                                                                 | 20 |
| Şekil 3.18 : Kırmataş doldurulmuş geohücre örneği.....                                                             | 20 |
| Şekil 3.19 : Kırmataş doldurulmuş farklı tipte geohücre örneği.....                                                | 20 |
| Şekil 4.1 : Yarma tabanında geotekstil serimi .....                                                                | 23 |
| Şekil 4.2 : Yol tabanına geotekstil serimi, Meksika.....                                                           | 24 |
| Şekil 4.3 : Geogrid-zemin kenetlenmesi.....                                                                        | 25 |
| Şekil 4.4 : Zayıf temel zemini üzerine yapılan yol dolgularında geosentetik<br>uygulaması .....                    | 26 |
| Şekil 4.5 : Düşey bant diren sisteminde boşluk suyunun iletilmesi prensibi.....                                    | 27 |
| Şekil 4.6 : İzmit bölünmüş yolu düşey bant diren uygulaması. ....                                                  | 27 |
| Şekil 4.7 : Zemine yerleştirilmiş düşey bant diren.....                                                            | 28 |
| Şekil 4.8 : Düşey bant diren uygulamasından bir örnek.....                                                         | 28 |
| Şekil 4.9 : Düşey bant dirende zemindeki suyun hareketi.....                                                       | 29 |
| Şekil 4.10 : Dolgu yükünü azaltma amaçlı geoköpük kullanılması.....                                                | 30 |
| Şekil 4.11 : Galvanize çelik plaka kıskaç. ....                                                                    | 31 |
| Şekil 4.12 : Dolgu altında geoköpük uygulaması. ....                                                               | 31 |
| Şekil 4.13 : Yol temel tabakası altında izolasyon amaçlı geoköpük uygulaması. ....                                 | 32 |
| Şekil 4.14 : Geoköpükle şev stabilizasyonu tasarımı. ....                                                          | 33 |
| Şekil 4.15 : Dolgu altında geoköpük uygulama tasarımı.....                                                         | 34 |
| Şekil 4.16 : Dolgu altında paplanjla dik yüzeyli tasarlanmış geoköpük uygulaması.....                              | 34 |
| Şekil 4.17 : Yoldaki heyelan etmiş bölge, (Route 23A, Jewett County, New York). ....                               | 34 |
| Şekil 4.18 : Yoldaki heyelan etmiş bölge için hazırlanan proje kesiti, (Route 23A<br>Jewett County, New York)..... | 35 |
| Şekil 4.19 : İmalat Aşaması, (Route 23A, Jewett County, New York).....                                             | 35 |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 4.20 : İmalatın tamamlanmış hali (Route 23A, Jewett County, New York) ....                                | 36 |
| Şekil 4.21 : Dolgu tabanına geohücre uygulaması. ....                                                           | 36 |
| Şekil 4.22 : Değişik ön yüzlü geosentetik donatılı duvar tasarımları. ....                                      | 38 |
| Şekil 4.23 : Kayma.....                                                                                         | 39 |
| Şekil 4.24 : Taşıma Gücü. ....                                                                                  | 40 |
| Şekil 4.25 : Dönme. ....                                                                                        | 40 |
| Şekil 4.26 : Global Stabilite.....                                                                              | 40 |
| Şekil 4.27 : Şişme. ....                                                                                        | 41 |
| Şekil 4.28 : İçsel kayma. ....                                                                                  | 41 |
| Şekil 4.29 : Geogrid donatılı prefabrik bloklu istinat duvarı genel kesiti.....                                 | 42 |
| Şekil 4.30 : Bohçalama sistem örneği, Ranon-Pato Yolu (Km:8), Ranong, Tayland                                   | 43 |
| Şekil 4.31 : Polimer şerit donatılı duvar tasarımı. ....                                                        | 44 |
| Şekil 4.32 : Geohücre donatılı tasarlanmış bir duvar örneği.....                                                | 44 |
| Şekil 4.33 : Geogrid donatılı gabion duvar örneği.....                                                          | 45 |
| Şekil 4.34 : İstinat duvarı arkasında geoköpük uygulaması.....                                                  | 45 |
| Şekil 4.35 : Duvar arkasında geokompozit dren tasarımından bir örnek.....                                       | 46 |
| Şekil 4.36 : Geokompozit dren kesitinden bir örnek. ....                                                        | 46 |
| Şekil 4.37 : Geosentetik donatılı istinat duvarda geokompozit kullanılması. ....                                | 47 |
| Şekil 4.38 : İstinat duvarının arkasındaki drenaj sistemlerinde filtrasyon amaçlı<br>geotekstil kullanımı ..... | 47 |
| Şekil 4.39 : Temel altında geogrid kullanılması.....                                                            | 48 |
| Şekil 4.40 : Ayrılmış temel tabakası. ....                                                                      | 48 |
| Şekil 4.41 : Geotekstilin ayırma özelliği.....                                                                  | 49 |
| Şekil 4.42 : Geotekstil takviye özelliği. ....                                                                  | 49 |
| Şekil 4.43 : Bölgesel çökme. ....                                                                               | 50 |
| Şekil 4.44 : Bölgesel oturma.....                                                                               | 50 |
| Şekil 4.45 : Temel altında bölgesel oturma. ....                                                                | 50 |
| Şekil 4.46 : Yükleri dağıtması. ....                                                                            | 51 |
| Şekil 4.47 : Çatlaklı bozulmuş üstyapı üzerine geogrid uygulaması.....                                          | 53 |
| Şekil 4.48 : Geosentetik kullanımının kaplama ömrüne etkisi.....                                                | 53 |
| Şekil 4.49 : Geotekstil sarımlı drenaj kesiti. ....                                                             | 54 |
| Şekil 4.50 : Geotekstil sarımlı yeraltı drenaj yapısı.....                                                      | 55 |
| Şekil 4.51 : Geotekstille sarımlı perfore boru. ....                                                            | 55 |
| Şekil 4.52 : Boru etrafındaki çakılın geotekstille sarılması.....                                               | 56 |
| Şekil 4.53 : Köprülenme oluşumu .....                                                                           | 57 |
| Şekil 4.54 : Yol kenarına geokompozit panel dren uygulaması. ....                                               | 58 |
| Şekil 4.55 : Yol kenarına geokompozit panel dren yerleştirilmesi.....                                           | 58 |
| Şekil 4.56 : Geokompozit panel dren kestinden bir örnek. ....                                                   | 59 |
| Şekil 4.57 : Yol kenarında geokompozit panel dren uygulama kesiti. ....                                         | 59 |
| Şekil 4.58 : Geohücre kullanılmış trapez hendek kanal.....                                                      | 60 |
| Şekil 4.59 : Şevlerde geotekstilin filtre görevi. ....                                                          | 60 |
| Şekil 4.60 : Şevlerde geotekstil uygulama örnekleri. ....                                                       | 61 |
| Şekil 4.61 : Erozyon kontrol amaçlı geosentetik kullanımı. ....                                                 | 61 |
| Şekil 4.62 : Erozyon kontrol uygulamasından bir örnek.....                                                      | 61 |
| Şekil 4.63 : Erozyon kontrol matından bir örnek. ....                                                           | 62 |
| Şekil 4.64 : Filtre şilte uygulaması, Port Kembla (Avusturalya).....                                            | 62 |
| Şekil 4.65 : Kıyı koruma yapısında geotekstil filtre uygulaması.....                                            | 63 |
| Şekil 4.66 : Geosentetikli kıyı koruma yapısından bir kesit.....                                                | 63 |
| Şekil 4.67 : Kıyı koruma amaçlı geotüp uygulaması. ....                                                         | 64 |
| Şekil 4.68 : Yüzey kaplamasında grid uygulaması.....                                                            | 64 |

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Şekil 4.69 :</b> Gabion bariyerler. ....                                                                               | 65  |
| <b>Şekil 4.70 :</b> Geogrid donatılı bariyerler. ....                                                                     | 65  |
| <b>Şekil 4.71 :</b> Gabion+Geogrid donatılı bariyerler. ....                                                              | 65  |
| <b>Şekil 4.72 :</b> Kaya şev yüzeyine geogrid uygulama kesiti. ....                                                       | 66  |
| <b>Şekil 4.73 :</b> Kaya şev yüzeyine kaplama tasarım elemanları. ....                                                    | 66  |
| <b>Şekil 4.74 :</b> Kaya şev yüzeyinde kaplama-ankraj kesiti. ....                                                        | 67  |
| <b>Şekil 4.75 :</b> Geotekstil uygulanmış bir tünel kesiti. ....                                                          | 67  |
| <b>Şekil 4.76 :</b> Konvansiyonel ve aç-kapa tünellerde geosentetik uygulama örneklerinden kesitler .....                 | 68  |
| <b>Şekil 4.77 :</b> Altgeçitte drenaj amaçlı geokompozit uygulama örneğinden kesit.....                                   | 68  |
| <b>Şekil 4.78 :</b> Köprü yaklaşımında kullanılan geoköpük. ....                                                          | 69  |
| <b>Şekil 4.79:</b> Köprü altında şev koruma amaçlı betonla doldurulmuş geohücre uygulaması .....                          | 69  |
| <b>Şekil 4.80 :</b> Köprü altında kırmataşla doldurulmuş geohücre uygulaması.....                                         | 70  |
| <b>Şekil 4.81 :</b> Sanat yapısı üzerinde geoköpük uygulama kesiti.....                                                   | 70  |
| <b>Şekil 4.82 :</b> Bitki örtülü dik şev uygulaması.....                                                                  | 71  |
| <b>Şekil 4.83 :</b> Yaşayan duvar uygulaması.....                                                                         | 72  |
| <b>Şekil 4.84 :</b> Bitkilendirilmiş ve çevreye uyumlu bohçalama sistem geosentetik duvar .....                           | 72  |
| <b>Şekil 5.1 :</b> TEM Geçiş Tüneli Giriş Portalı önü yaklaşım dolguları geogrid donatılı prefabrik bloklı duvarlar ..... | 75  |
| <b>Şekil 5.2 :</b> Tünel yaklaşım dolgusunda geogrid donatıların serilmesi. ....                                          | 76  |
| <b>Şekil 5.3 :</b> TEM Geçiş Tüneli Giriş Portalı önü yaklaşım dolguları geogrid donatılı duvar yapımı.....               | 77  |
| <b>Şekil 5.4 :</b> Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı geogrid donatılı prefabrik bloklı duvar .....            | 77  |
| <b>Şekil 5.5 :</b> Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Giriş Portalı. ....                                                    | 78  |
| <b>Şekil 5.6 :</b> Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli yalıtım uygulaması.....                                                | 78  |
| <b>Şekil 5.7 :</b> Tünel iç yalıtımı tamamlanmış hali. ....                                                               | 79  |
| <b>Şekil 5.8 :</b> Bohçalama sistem duvar görünüşü .....                                                                  | 79  |
| <b>Şekil 5.9 :</b> Bohçalama sistem detayı.....                                                                           | 80  |
| <b>Şekil 5.10 :</b> Çelik hasır kalıp detayı .....                                                                        | 80  |
| <b>Şekil 5.11 :</b> U çakma demiri detayı .....                                                                           | 80  |
| <b>Şekil 5.12 :</b> Yüksek dolguda bohçalama sistemli duvar.....                                                          | 81  |
| <b>Şekil 5.13 :</b> Manavgat Köprüsü yaklaşım dolgusunda geosentetik donatılı istinat duvarı .....                        | 82  |
| <b>Şekil 5.14:</b> Manavgat Köprüsü yaklaşım dolgusunda geosentetik donatılı istinat duvarı sistem kesiti .....           | 82  |
| <b>Şekil 5.15 :</b> Nurbaba Altunizade Yolu Projesi sistem kesiti.....                                                    | 83  |
| <b>Şekil 5.16 :</b> TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı geosentetik donatılı duvar tip enkesit ..                              | 85  |
| <b>Şekil 5.17 :</b> Betonarme İstinat Duvarı Yapılması Durumunda oluşacak tip enkesit..                                   | 86  |
| <b>Şekil A.1 :</b> Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Kesiti .....                                                           | 100 |
| <b>Şekil A.2 :</b> Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli ve geoduvlar görünümü.....                                             | 101 |



## **GEOSENTETİKLERİN KARAYOLU YAPILARINDA KULLANIMI: TÜRKİYE ÖRNEKLERİ**

### **ÖZET**

Geosentetik malzemeler son yıllarda, bütün dünyada mühendislik uygulamalarında hem faydalı hem de alternatif çözümler sağladıklarından hızla yaygınlaşmaktadır.

Tezin ilk bölümlerinde, geosentetik malzemeler genel olarak tanıtılmış ve mekanik, hidrolik, dayanım ve bozulma özelliklerinden bahsedilmiştir. Sonraki bölümlerde geosentetik malzemelerin test yöntemleri ile farklı geosentetik malzemelerin fonksiyonları, kullanım alanları ve üretim yöntemleri ile birlikte ham madde türleri anlatılmıştır.

Tezin takibeden diğer bölümlerinde de karayolu yapılarında çeşitli geosentetiklerin farklı kullanım alanları, kullanım amaçları ile sağladığı faydalardan söz edilmiştir. Geosentetiklerin karayolu ulaştırma yapılarında kullanılmasında dikkate alınan tasarım ilkeleri ana hatlarıyla belirtilmiştir. Son yıllarda yaygınlaşmaya başlayan geoköpük (geofoam) malzemesinin karayolu yapılarında kullanım alanları üzerinde durulmuştur. Türkiye’deki bazı ulaştırma yapılarında uygulanan farklı geosentetik malzemelerle meydana getirilen çözümler anlatılmıştır.

Karayolu ulaştırma yapılarında kullanılmaları durumunda maliyete etkileri de ayrı bir başlık altında irdelenmiştir. İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı’nda yapılan geogrid donatılı istinat duvarı maliyeti ile yerine betonarme istinat duvarı yapılması durumunda oluşacak maliyet analiz edilmiş ve önemli oranda ekonomi sağladığı görülmüştür.



# **USE OF GEOSYNHETICS ON HIGHWAY STRUCTURES: EXAMPLES IN TURKEY**

## **SUMMARY**

Geosynthetic materials are enjoying a widespread use in recent years as they provide both useful and alternative solutions for engineering applications all over the world.

In first parts of the thesis, we give an overview of geosynthetic materials, discussing their mechanical, hydraulic, strength and decomposition characteristics. In the following parts, we discuss testing methods used for geosynthetic materials as well as functions, areas of application and production methods of different geosynthetic materials, along with varieties of raw materials.

In other parts of the thesis, we discuss different areas of application of various geosynthetics on highway structures, as well as their application purposes and benefits. Principles of design considered while using geosynthetics on highway transportation structures are also outlined. We also discuss geofoam, a material which is getting widespread use in recent years, as regards its application on highway structures. We also shed some light on solutions created by different geosynthetic materials applied in certain transportation structures in Turkey.

We discuss, under a separate caption, their potential cost effects when used on highway transportation structures. We analyzed the cost of building a geogrid-supported retaining-wall at Istanbul Hasdal Crossroads TEM Pass-over Tunnel and the cost of bulding a retaining-wall of reinforced concrete, and found out that it provides a significant economy.



## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler doğrultusunda mühendislik uygulamalarında da sayısız ilerlemeler ve yenilikler ortaya çıkmış, özellikle kullanılan malzemelerde hızlı gelişmeler sağlanmıştır. Üretim kalitesindeki artış, uygulama hızı, zamandan tasarruf, erişim kolaylığı ve ekonomiklik gibi avantajlarından dolayı bu malzemelerin kullanımı hızla artmıştır [1].

Son yıllarda yapı malzemelerindeki gelişmeler sonucu geosentetiklerin inşaat sektöründe kullanımı yaygınlaşmaktadır.

1950’li yıllardaki ilk projelerden bu yana geotekstiller deneme yanılma yöntemi ile kullanılmışlar ancak bu ürünlerin doğru ve beklenen davranışı, fonksiyonları daha iyi kavranarak açıklanmıştır. Özellikle son 15 yıldan bu yana gerçek arazi koşullarını çok iyi tanımlayabilen teorik modeller geliştirilmiştir [1].

Dünyada 1950’li yılların ortalarından itibaren kullanılmaya başlanılan geotekstiller ülkemizde 1980’li yılların başlarından itibaren otoyolların yapımında kullanılmıştır. Teknolojinin ilerlemesi ile birlikte yüksek mukavemet parametrelerine sahip geosentetikler üretilmiş, zeminle ilgili birçok alanda olduğu gibi kaplamalı ve kaplamasız yol yapımında da dünyada geosentetik kullanımı hızla artmaya başlamıştır [2].

International Geosynthetics Society (IGS), geosentetik ve geosentetiklerle ilgili ürünlerin bilimsel ve mühendislik teknolojilerinin geliştirilmesi amacını taşıyan bir meslek örgütüdür. Dünyanın 68 ülkesinden 2090 kadar kişisel üyesi ve 118 kurumsal üyesi olan IGS’in 31 ülkede yöresel örgütleri bulunmaktadır. IGS üyelerinin büyük çoğunluğu (%94) geosentetikleriyle ilgili akademik, tasarım, üretim, satış, kullanım veya test konularında faaliyet göstermektedirler. Türkiye de 2001 yılında Geosentetikler Derneği olarak IGS örgütünü kurmuştur [3].

Dünyada Geosentetikler konusunda ilk konferans 1977 yılında Paris’te toplanmıştır. İkinci konferans, 1982 yılında toplanmış, bundan sonra da düzenli olarak her dört yılda bir toplanmaya devam etmiştir. Dört yılda bir toplanan bu dünya konferansının

yanı sıra geosentetikler ile ilgili bölgesel ve ulusal konferanslar da düzenlenmektedir [3].

## **2. GEOSENTETİKLER**

ASTM (American Society for Testing and Materials), geosentetiği, “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan, polimerik malzemelerden üretilen düzlemsel ürün ” olarak tanımlamaktadır.

### **2.1 Geosentetiklerin Kullanım Alanları ve Temel Fonksiyonları**

Geosentetikler temel özelliklerinin farklı şekillerde kullanılmasına bağlı olarak bir çok mühendislik yapısında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları; Karayolu ulaştırma yapıları, havaalanları, binalar, barajlar, tüneller, çökeltme ve havalandırma havuzları, su rezervuarları, park alanları, yapay göletler, zehirli atık ve sanayi atıkları depolama sahaları, petrol sahaları, kanal ve nehirler, atık su arıtma tesisleri, çöp ve katı atık depolama sahaları, kıyı ve liman yapıları, set inşaatları, spor sahaları, hidrolik santraller, endüstriyel yapılar ve demiryolları olarak sıralanabilir.

#### **2.1.1 Koruma**

Geosentetik, deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak ya da yayarak istenilen malzemeyi korur. İki malzeme arasına yerleştirilen geotekstil (örneğin asfalt kaplama ile eski yol kaplaması arasına veya geomembran ile agrega arasına) malzemelerden birini korur [1].

Geosentetikler; kendilerini oluşturan kalın lif tabakası sayesinde kopma, delinme, yırtılma ve darbelere karşı, biyolojik ve kimyasal etkenlere dayanıklılıkları, filtre, drenaj ve koruyucu fonksiyonları nedeniyle geomembran örtülerin altlarına veya gerektiğinde hem alt hem üstlerine destek - koruyucu olarak serilmektedir [4].

#### **2.1.2 Ayırma**

Geosentetikler, süreklilik, esneklik, deforme olabilme, permeabilite ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinin sonucu olarak suyun doğal sirkülasyonuna engel olmadan değişik geoteknik özelliklere sahip iki zemini birbirinden ayırır [1].

Seperasyon için kullanılacak geotekstil, yeterince geçirgen ve filtre etme özelliği de yüksek olmalıdır [5].

### **2.1.3 Güçlendirme**

Zeminlerin aksine, geosentetikler çekme direncine sahiptir. Çekme direncini ve kopmadan önce deformasyon kabiliyetini arttırarak, zeminin güçlendirilmesini sağlarlar [1].

Geosentetikler, toprak/geotekstil sisteminin yük taşıma kapasitesini artırırlar [6].

### **2.1.4 Drenaj**

Geosentetik, kendi düzlemi boyunca (bünyesindeki) sıvı veya gazı istenilen çıkışa doğru taşır. Bu iletim sırasında, sıvı ya da gaz geotekstilin bünyesinde toplanır ve kendi düzlemi içersinde aktarılır. Geosentetik zemine nazaran, çok geçirgendir. Özellikle gözenekli olduklarında ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde su akımı sağlanabilir [1].

### **2.1.5 Filtrasyon**

Filtrasyon ise suyun taşıdığı ince malzemelerin (yani kil partikülleri) geotekstil malzemeden geçişini engelleyip ancak suyun geçişine müsaade ederek zeminde borulanmayı (yani ince malzemenin yıkanmasını) önlemektir [5].

Filtrasyon işleminde kullanılacak geosentetiğin uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan az etkilenme ve yüksek poroziteye sahip olması istenir [1].

### **2.1.6 Yalıtım**

Geosentetik, geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilir. Bir çeşit membran görevi görür. Özellikle yeni kaplama, yapılacak eski kaplamalı yolların üzerine serilir. Geotekstilin, yeterli miktarda bitümü tutma özelliği olması gerekir [1].

## **2.2 Geosentetik Üretiminde Kullanılan Hammaddeler**

### **2.2.1 Makro Moleküller**

İnşaat mühendisliğinde kullanılan hammaddeler üç ana gruba ayrılabilir:

- Mineraller

- Metaller
- Sentetik ve doğal polimerler

Sentetik ve doğal polimer malzemeler makromoleküler bileşenleriyle tanımlanırlar. Çok büyük moleküllerden oluşmuşlardır. Makromoleküller monomer adı verilen benzer şekildeki çok sayıda birimden oluşur. Monomerlerin bir araya getirilip makromolekülleri oluşturması işlemine polimerizasyon denir.

Sentetik makromoleküler malzemeler üç ana grupta toplanır [7]:

- Termoplastikler
- Termosetler
- Elastomerler

### **2.2.2 Hammaddeler**

- Poliyamid,
- Polyester,
- Polietilen,
- Polipropilen,
- Polivinil klorür,
- Ethen Kopolimer bitüm,
- Klorinat Polietilen.

Bu malzemelerin hepsi termoplastiktir. Polietilen ve polipropilen polyofinler olarak bilinirler ve yoğunlukları  $1000\text{kgf/m}^3$ 'ten azdır. Bu malzemelerden ayrı olarak başka polimerler de kullanılmaktadır [7].

#### **2.2.2.1 Poliamid (PA. Nylon)**

Aşınmaya karşı yüksek dirençli ve kimyasal durağanlığı yüksektir [8]. Düşük yanabilirlik derecesine sahip olan PA sulu ortamlara karşı duyarlıdır. Uzun süre suya ya da neme maruz kalması durumunda PA'nın mekanik özelliklerinde düşüş yaşanabilir [4].

#### **2.2.2.2 Polyester (PEPT)**

Kolay şekil değiştirebilir. Yüksek dayanım modüllerine sahiptir. Sünmeye karşı dayanıklıdır ve 200°C' ye kadar mekanik özelliklerini korur. Solventlere, deniz suyuna, asitlere karşı dayanım gösterir [4]. Erime sıcaklığı 260°C' dir.

#### **2.2.2.3 Polipropilen, polietilen (PP, PE)**

Geotekstil imalatında en yaygın olarak kullanılan malzemedir. Polipropilenin poliestere nazaran daha ucuz olması, çoğu zaman tercih sebebi olmaktadır [9].

Bu grubun temel özelliği, düşük ve orta konsantrasyondaki kimyasallara karşı yüksek dayanıklılık göstermesidir. Ancak sünmeye karşı hassasiyet gösterir ve kolay tutuşur. Geotekstil üretiminde iki ayrı tip polietilen kullanılmaktadır; LDPE : Düşük yoğunluklu polietilen (Yoğunluğu 920-930 kg/m<sup>3</sup>) ve HDPE: Yüksek yoğunluklu polietilen (Yoğunluğu 940-960 kg/m<sup>3</sup> ) dir [4]

### **3. GEOSENTETİKLERİN ÇEŞİTLERİ ve ÖZELLİKLERİ**

Başlıca geosentetik malzemeler; geotekstiller, geogridler, geomembranlar, geokompozitler, geonetler, geohücreler, geofomlar olarak sıralanabilir.

#### **3.1 Geotekstiller**

Geotekstil; “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü” olarak tanımlanmaktadır. (ASTM)

##### **3.1.1 Geotekstil çeşitleri**

Geotekstilleri hammadde çeşidine ve üretim tekniklerine göre olmak üzere iki ana başlık altında ayırmak mümkündür.

###### **3.1.1.1 Hammadde çeşidine göre geotekstiller**

Geotekstiller değişik polimerik maddelerden üretilebilir. Her birinin çeşitli avantaj ve dezavantajları olmakla birlikte, bu hammaddelerden başlıcaları;

- Polipropilen (PP)
- Polyester (PET)
- Poliamid (PA)
- Polietilen (PE)

olarak sıralanabilir.

Geotekstil üretiminde en çok kullanılan polimerler, polipropilen ve polyesterdir. Bunun esas sebebi diğer çeşitlere göre daha ekonomik olmalarıdır [10].

###### **3.1.1.2 Üretim tekniğine göre geotekstiller**

Genel olarak üretim tekniği bakımından örgülü geotekstil ve örgüsüz geotekstil olmak üzere iki tip geotekstil vardır.

### Örgülü geotekstiller

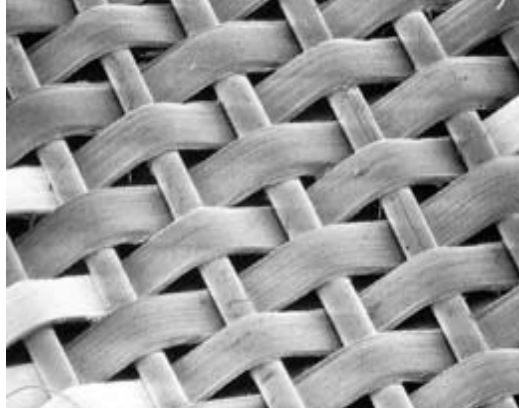
İki veya daha fazla iplik dizisinin düzgün açılarla, geleneksel dokuma yöntemleri kullanılarak birleştirilmesi sonucu elde edilir [10].

Bir dizi boyuna eleman (atkı) ve bir dizi enine eleman (çözü) kullanılarak dokuma üretilir. Kullanılan ipliğin hammaddesine ve tipine göre farklı geotekstiller üretilerek farklı fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikler elde edilebilir [4].

Örgülü tiplerin yüksek mukavemetli olması nedeniyle, bunlar takviye, yük dağıtma, seperasyon işlerinde kullanılır [5].

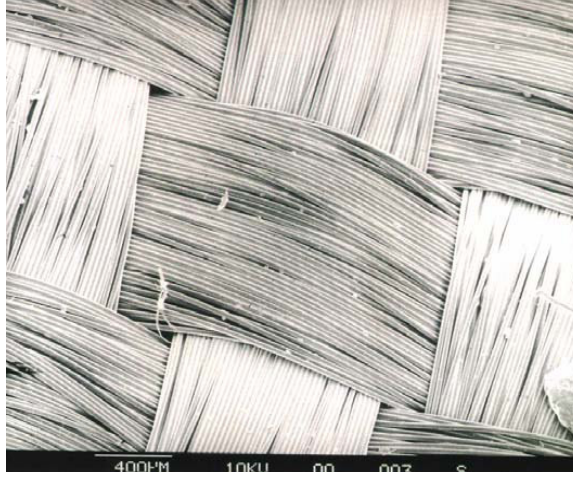
Örgülü geotekstiller monofilament (tek lifli), multiflament (çok lifli) ve şerit tip olmak üzere üç başlık altında incelenebilir.

**Monofilament (tek lifli) örgülü geotekstiller:** Örgü her yönde tek iplik kullanılarak oluşturuluyorsa Monofilament (tek lifli) Örgülü Geotekstil olarak adlandırılır. Monofilament dokumalar genelde polietilen ve polipropilen tipi polimerlerden üretilir. Zemin içindeki akışa karşı dayanımları düşüktür. İplik dizileri arasındaki boşluklar, zeminin tane boyutuna göre ayarlanmalıdır [10].



**Şekil 3.1:** Monofilament bir örgülü geotekstil.

**Multiflament (çok lifli) örgülü geotekstiller:** Örgü her yönde iplik dizileri kullanılarak oluşturuluyorsa Multiflament Örgülü Geotekstiller olarak adlandırılır. Multiflament dokumalar genelde poliamid ve polyester tipi polimerlerden imal edilir. Bunlar, burulmuş veya burulmamış iplik dizilerinden dokunur. Kumaş görünümündedirler [10].



**Şekil 3.2:** Multifilament PET dokunmuş geotekstil [11].

**Şerit tip örgülü geotekstiller:** Monofilament örgülü geotekstillere benzemekle beraber, örgüde kullanılan malzeme iplikten çok dar bir şerit şeklindedir. Gözenek oranı oldukça az, permeabilitesi düşüktür [5].

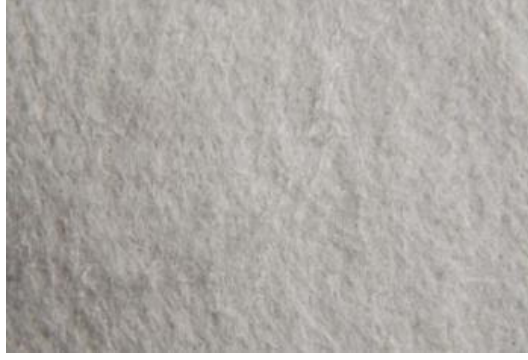


**Şekil 3.3:** PP şerit tip örgülü geotekstil [11].

### **Örgüsüz geotekstiller**

Örgüsüz geotekstiller polimer ipliklerin belli bir yönde veya rastgele doğrultuda, gevşek ağ yapısı şeklinde birleştirilmesiyle elde edilir [10].

Örgüsüz geotekstiller filtrasyon, drenaj, ayırma, koruma ve bitüm emdirilerek izolasyon amaçlı kullanılmaktadırlar.



**Şekil 3.4:** Örgüsüz geotekstil örneği.



**Şekil 3.5:** Örgüsüz geotekstil örnekleri.

Örgüsüz geotekstil üretiminde kullanılan değişik yöntemler mevcuttur. Polimer ipliklerin mekanik (iğneleme), ısı (fiziksel) ve kimyasal yöntemlerle bir araya getirilmesi en çok kullanılan yöntemlerdir. Polimer iplikler sürekli veya kısa lifler şeklinde olabilir [10].

**Isıl birleşim:** Isıl birleşim yöntemi ile üretilen örgüsüz geotekstillerde, sürekli (uzun) polimer iplikler kullanılır. Birbirine karıştırılmış iplik yığını ısıtılarak ipliklerin birleşim yerlerinin birbirine yapışması sağlanır. Ardından silindir veya benzeri makinelerle sıkıştırılarak üretim tamamlanır. Söz konusu üretimde, genelde tek bir polimer türü kullanılmakla birlikte, değişik polimer tiplerinin birlikte kullanıldığı durumlar da mevcuttur [10].

Isıl yolla üretilen örgüsüz geotekstillere, daha az mukavemet ve küçük deformasyonda ani kopma gösterir.

**Mekanik birleşim:** Değişik boylardaki polimer iplikler bu yöntemle birleştirilebilir. Polimer ipliklerin iğneleme yoluyla birbirine rastgele bağlanması sonucu karmaşık bir iplik yapısı oluşur. Bu yöntem iğneleme yöntemi olarak da adlandırılır.

Bu yöntemle üretilen geotekstiller keçe görünümünde ve göreceli olarak kalın malzemelerdir. Bu kalınlık nedeniyle ısı birleşime göre daha düzenli boşluk boyutuna sahiptir. Isı birleşimle üretilen geotekstillere göre delinme dayanımı daha düşüktür [10].

Mekanik yolla üretilen geotekstiller ısı yolla üretilene göre daha büyük deformasyon göstermektedir [12].

Dolayısıyla, bu tip geotekstillerin dren kabiliyeti ve filtrasyon özellikleri yüksektir.

**Kimyasal birleşim:** Mekanik yöntemle üretilen geotekstillerin bağ yapısının güçlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Mekanik yöntemle üretilen geotekstil polimer ipliklerine, sprey veya emilim yöntemiyle yapıştırıcı madde enjekte edilir. Böylece ipliklerin daha güçlü bir şekilde birbirine yapışması sağlanır [10].

### 3.1.2. Geotekstillerin özellikleri

Geotekstiller genel olarak aşağıdaki Çizelge 3.1'e göre tanımlanabilir:

Birim hacim ağırlığı, genişlik ve uzunluk, birim alan ağırlığı, kalınlık geotekstillerin genel özellikleridir [9].

Mekanik özellikleri ise sıkışabilirlik, çekme dayanımı, üç eksenli çekme dayanımı, yorulma dayanımı, patlama dayanımı, delinme dayanımı, yırtılma dayanımı, darbe dayanımı, ek yeri dayanımı, sürtünme katsayısı olarak sıralanabilir [9].

Geotekstillerin hidrolik özelliklerinde ise porozite, açık yüzey oranı, görünen gözenek boyutu, geotekstil düzlemine dik permeabilite (permittivite), yük altında permittivite, yüzey içinde permeabilite (transmissivite) sayılabilir [9].

### 3.2. Geogridler

Geogridler, üzerinde düzgün olarak dağılmış kare, dikdörtgen, elips benzeri boşluklar olan, yüksek yoğunluğa sahip geosentetik bir malzeme çeşididir. Üretim metotlarına göre değişik geogrid çeşitleri vardır. Farklı mukavemetlerde ve farklı göz açıklıklarında üretimleri yapılabilmektedir.

Geogrid üretiminde yüksek yoğunluklu polietilen ve yapışma özelliği yüksek olan polyester ve polipropilen kullanılır [7].

**Çizelge 3.1** Geotekstillerin tanımlanması [9].

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Genel Özellikleri<ul style="list-style-type: none"><li>-Tip ve İmalat Yöntemi</li><li>-Polimer</li><li>-Ağırlık, Kalınlık</li><li>-Rulo Boyutları</li></ul></li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Mühendislik Özellikleri<ul style="list-style-type: none"><li>• Mekanik Özellikleri<ul style="list-style-type: none"><li>- Çekme dayanımı</li><li>- Gerilme-deformasyon özellikleri/çekme modülü</li><li>- Sünme</li><li>- Delinme dayanımı</li><li>- Yırtılma dayanımı</li><li>- Patlama dayanımı</li></ul></li><li>• Hidrolik Özellikleri<ul style="list-style-type: none"><li>-Geçirgenlik (Pemeabilite)<ul style="list-style-type: none"><li>-Düzlemine dik yönde</li><li>-Düzleminde</li></ul></li><li>-Gözenek boyutları</li></ul></li></ul></li></ul> |
| <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Çevre Şartlarına Dayanım<ul style="list-style-type: none"><li>-U.V. ışığı</li><li>-Isı</li><li>-Su</li><li>-Kimyasal madde</li><li>-Mikro organizma</li></ul></li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

Diğer geosentetiklere göre çekme dayanımı, elastisite modülü ve sıyrılma direnci daha büyük, sünme özelliği ise daha düşüktür [13].

Metal donatılara oranla daha yüksek donatı-zemin sürtünme katsayısına sahip olup, ızgara şeklindeki açıklıkları sayesinde zemin ile arasında kenetlenme etkisi oluşmaktadır [13].

Geogridler (veya geozgaralar) sahip oldukları yüksek çekme mukavemetleri ile takviye, yük dağıtma, donatılı zemin, gabyon, vb. amaçlar için kullanılmaktadır [5].

Geogridler, takviyeli zemin istinat yapılarında ve seddelerde, düşük taşıma kapasiteli zeminlerin üzerinde inşa edilen demiryolları, karayolları ve havaalanlarında zemin takviyesi amacıyla başarıyla kullanılmaktadır.



**Şekil 3.6:** Geogrid örneği.

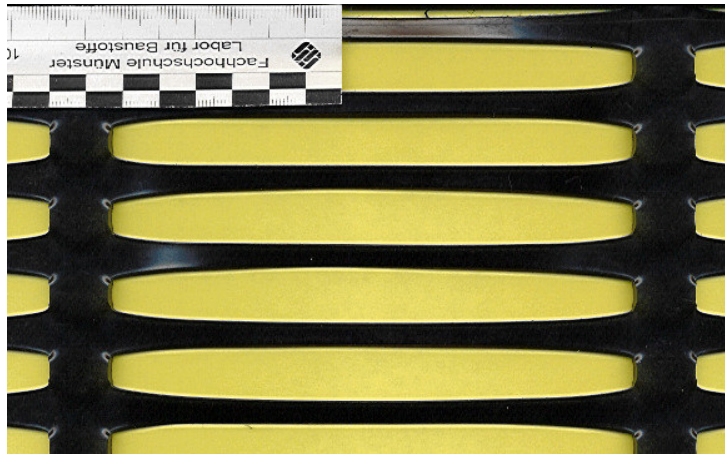
### **3.2.1 Geogrid çeşitleri**

Geogridler, üretim yöntemlerine göre üç gruba ayrılır. Geogridin çekme gücü üretim yöntemine göre farklılık gösterir.

#### **3.2.1.1 Ekstrüde geogridler**

Polimer tabakaların üzerini değişik yöntemlerle keserek kare veya dikdörtgen şeklinde delikler açmak suretiyle üretilir.

Dayanımı en yüksek geogrid tipidir. Bağlantı noktaları kendiliğinden oluştuğu için üretim yöntemlerine göre mukavemeti fazladır. Ekstrüde geogridlerin bağlanma noktalarındaki çekme mukavemetinin yüksek olması diğerlerine karşı en büyük avantajıdır [8].



**Şekil 3.7:** Tek eksenli geogrid örneği.

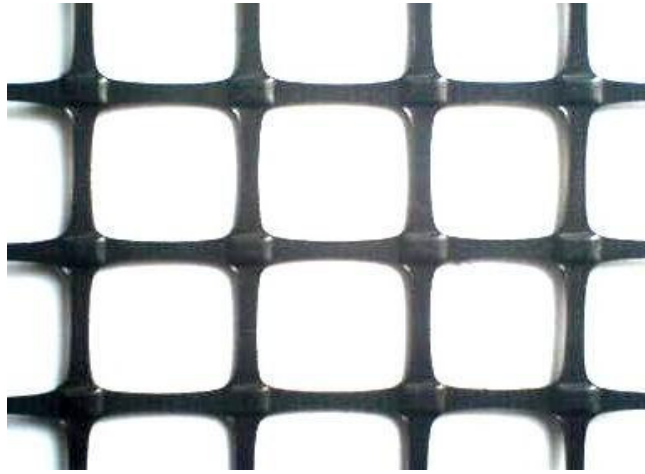
Ekstrüde geogridler iki gruba ayrılırlar:

**Tek eksenli (tek yönlü) geogridler:** Bu tür geogridlerde paralel şeritler arası açıklık boyuna doğrultuda, enine doğrultuya göre çok daha fazladır [10].

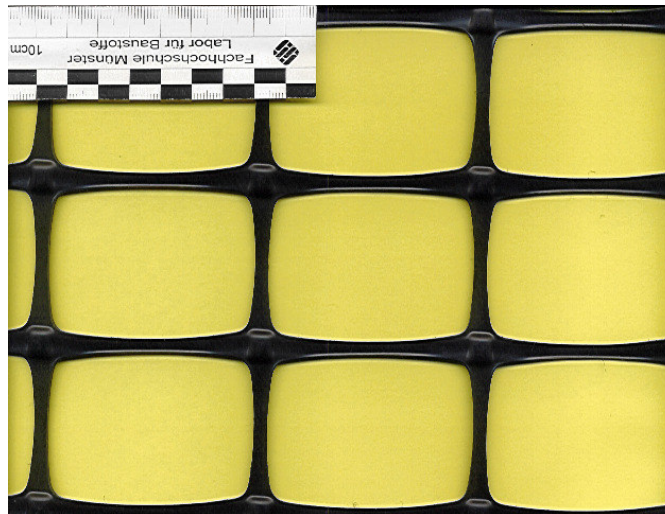
Tek eksenli geogridler donatılı duvar yapımlarında kullanılırlar.

**İki eksenli (çift yönlü) geogridler:** Bu tür geogridlerde, geogrid üzerindeki boşlukların en ve boyları birbirine yakındır. Boşluk yapısı kare benzeridir. Her iki doğrultuda da yük taşınması gerektiği durumlarda kullanılırlar. Kullanıldığı uygulamada, yük dağılımı düzensiz ve hareketli yükler değişken doğrultularda ortaya çıkıyorsa bu tür geogridler kullanılır [10].

İki eksenli geogridler ise zemin iyileştirmede kullanılırlar.



**Şekil 3.8 :** İki eksenli geogrid örneği.



**Şekil 3.9:** İki eksenli PE geogrid örneği [11].

Yük dağılımı düzensiz ve hareketli yükler değişken doğrultularda ortaya çıkıyorsa bu tür geogridler kullanılır [10].

### **3.2.1.2 Yapıştırma geogridler**

Polimerik şeritlerin, iki doğrultuda birbirine paralel olarak dizilmesi ve bu şeritlerin yapıştırma, presleme veya lazer yöntemiyle birleştirilmesi sonucu üretilirler. Bağlantı noktalarındaki mukavemetleri düşük olmaktadır.

### **3.2.1.3 Dokuma geogridler**

Polyester ipliklerin, dokuma yöntemiyle örülerek geogrid formuna getirilmesiyle oluşur.

Bağlantı noktalarındaki mukavemeti dokuma ile üretildiğinden ekstrüde sistemdeki kadar yüksek değildir [8].

## **3.3 Geomembranlar**

Geomembranlar kimyasal maddelere karşı yüksek direnç göstermesi, çekme mukavemeti yüksek, geçirgenliği düşük, delinme ve çatlamalara karşı dayanıklı olması nedeniyle sızmaya karşı koruma amaçlı kullanılan bir geosentetik türüdür [14].

ASTM, geomembranı “geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından mamul sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlamaktadır [1].



**Şekil 3.10:** Geomembran örneği.

Geçirimsiz olan geomembranlar iki boyutta sürekli, geniş yüzeye sahip olarak yalıtım amacıyla kullanılırlar.

Genellikle yüksek yoğunluklu polietilen hammaddesinden üretilirler [15].

Soğuk ve ısıca karşı dayanımları çok yüksektir. Ek yerlerinin kaynağı özel robotlarla yapıldığı için, işçilik hatasını ortadan kaldırmaktadır. Uygulama tekniği dolayısıyla zemine serbest serildiği için zeminin sergilediği hareketlerden (oturma, çatlama vs) etkilenmemektedir. Geomembranlar geniş ve uzun malzemeler olduğu için ek yeri sayısı minimuma inmektedir. Ne kadar az ek yeri olursa su izolasyonu o kadar sağlıklı olmaktadır [16].

### **3.3.1 Geomembran çeşitleri**

Malzeme özelliklerine göre değişik geomembran türleri vardır.

#### **3.3.1.1 PVC (polivinil klorür) geomembran**

Düşük yoğunluğa sahip geomembran türüdür. Teknik özellikleri bakımından diğer geomembranlara göre daha geridedir. Dayanıklılık açısından daha zayıf olmasına rağmen daha yumuşak bir geomembran türü olması nedeniyle uygulamada bazı avantajlar sağlamaktadır [10].

PVC geomembranların özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kimyasal maddelere karşı yüksek dirençlidir.
- Sinyal tabakalıdır.
- Mekanik darbelere yüksek dayanım gösterir.
- Çekme ve uzama mukavemeti yüksektir.
- Soğukta esneklik gösterir.
- Bitki köklerine dayanıklıdır.
- Korozyonu önler.
- Yaşlanmaya dayanıklıdır.
- Ateşe dayanıklıdır. Alev alıp yanmaz.
- Geotekstil takviyeli (Talep edilmesi halinde)
- Uzun ömürlüdür. (min. 20 yıl)
- Ek yerleri Füzyon kaynaklama sistemi ile birleştirilir.
- UV ışınlarına karşı dayanıklıdır.
- Esnek yapılarından dolayı uygulanabilirliği kolaydır.
- Serbest serim uygulaması nedeniyle yapılarda oluşan titreşimlerden asgari

seviyede etkilenir ve çatlamaz.

- Farklı renk ve boyutlarda üretilebilirler [17].

### **3.3.1.2 LDPE (düşük yoğunluklu polietilen) geomembran**

PVC kadar olmamakla birlikte, LDPE Geomembranlar da yumuşak bir geomembran türüdür. Düşük yoğunluğa sahiptirler. Yüksek mukavemetlidirler [10].

### **3.3.1.3 HDPE (yüksek yoğunluklu polietilen) geomembran**

En yüksek malzeme özelliklerine sahip geomembran türüdür. Basınca, yüke, darbeye ve kimyasallara dayanıklıdır. Yüksek malzeme özellikleri düşünüldüğünde ekonomik sayılabilecek bir malzemedir. Sert bir malzeme olması nedeniyle uygulamada çeşitli zorluklarla karşılaşılabilir [10].

HDPE-LDPE geomembranların özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir [17]:

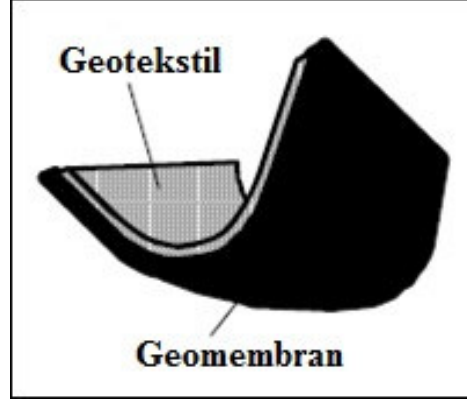
- Kimyasal maddelere karşı yüksek dirençlidir.
- Organik ve inorganik çözücülere yüksek direnç gösterir.
- Geçirgenliği düşüktür.
- Sızmalara karşı üstün koruma sağlar.
- Doğal koşullara dayanıklıdır.
- Delinme ve çatlamalara karşı son derece dayanıklıdır.
- Ek yerleri Füzyon kaynaklama sistemi ile birleştirilir.
- UV dayanımlıdır.
- Geotekstil takviyelidir (ihtiyaç duyulduğunda).

## **3.4 Geokompozitler**

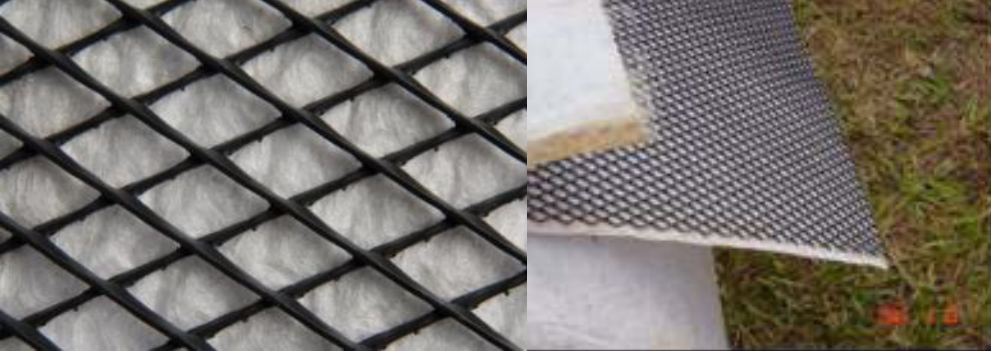
Geokompozitler, geotekstil-geonet, geotekstil-geogrid, geotekstil-geomembran, geomembran-geonet ve hatta üç boyutlu polimerik hücre elemanlarından oluşabilir [14].

Geokompozitler birden fazla geosentetik ürünün kombinasyonu şeklindeki malzemelerdir.

Bunlar ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj, koruma ve yalıtım amaçları için kullanılabilir.

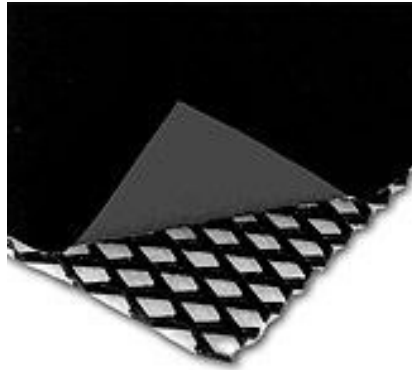


**Şekil 3.11:** Geotekstil-geomembran geokompozit örneği.



**Şekil 3.12:** Drenaj amaçlı uygulanan geotekstil-geonet geokompozit örneği.

Çok geniş kullanım alanına sahip olan geokompozitler birden fazla fonksiyonu yerine getirerek, geosentetik malzemenin tek başına kullanımından daha faydalı olabilmektedirler. Örneğin, su tutma yapılarında geomembran, geçirimsizliği sağlarken örgüsüz geotekstil ile sürtünme artırılarak anroşmanın geomembran yüzeyinden kayması önlenebilir. Bazı durumlarda örgülü geotekstil koruma amacıyla başka geosentetik malzeme ile birlikte kullanılabilir [15].



**Şekil 3.13:** Geotekstil-geonet-geomembran geokompozit örneği.

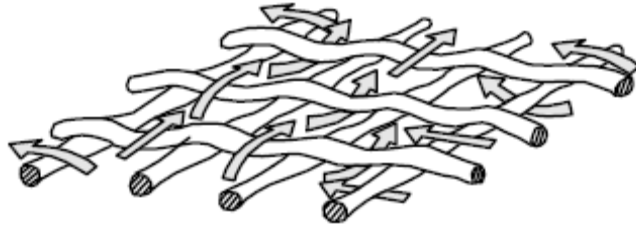


**Şekil 3.14:** Drenaj Amaçlı Geotekstil-Geomat-Geotekstil Geokompozit [18].

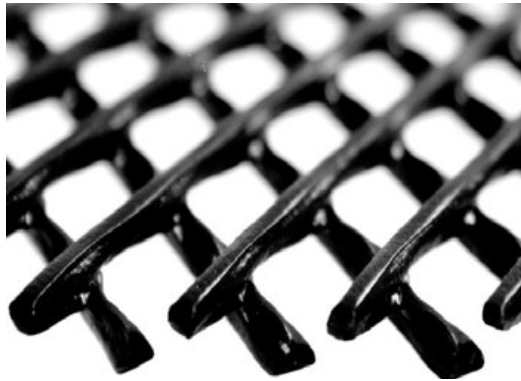
Donatı, filtreleme, ayırma fonksiyonlarının tek malzeme uygulanarak yerine getirilebilmesi hem zamandan hem de işçilikten tasarruf sağlamaktadır.

### 3.5 Geonetler

Geonetler genel olarak geogridlere benzemekle birlikte, geogridlerden farklı kullanım amacıdır. Geonetler drenaj amaçlı kullanılır. Geonetler daima üst ve alt yüzeyine yerleştirilmiş geotekstil, geomembran ya da diğer geosentetiklerle kullanılır [7].



**Şekil 3.15:** Geonetin drenaj fonksiyonu [19].



**Şekil 3.16:** Kaplanmış geonet örneği.

### 3.6 Geohücreler

Geohücreler, şev, kanal ya da zemin stabilizasyonunda sınırlama, erozyon kontrolü, koruma ve yüzey stabilitesi için kullanılır [8] ve [17].



**Şekil 3.17:** Geohücre örneği [20].



**Şekil 3.18:** Kırmataş doldurulmuş geohücre örneği [20].



**Şekil 3.19:** Kırmataş doldurulmuş farklı tipte geohücre örneği [21].

### **3.7 Geoköpekler (Geofoamlar)**

Geoköpek (Geofoam) blok veya düzlemsel boşluklu sert polimerik köpek malzemeyi ifade eder. Geofoam çok düşük yoğunluğa, iyi bir yalıtım özelliğine, düşük hidrolik iletkenliğe ve zeminin davranışlarını tamamlayan esnek bir yapıya sahiptir [22]. Kapalı hücreli bir yapıya sahip olması nedeniyle çok düşük su emilimi gerçekleştirir. Dona ve bozulmaya karşı dayanıklıdır.

### **3.8 Geosentetik Kil Kaplama**

Geosentetik kil kaplama malzemesi, örgülü ve örgüsüz geotekstillerin arasına bentonit malzemesi yerleştirilmesinin ardından toplu olarak ıgnelenmesi yöntemi ile üretilir. Genelde üst tabaka örgüsüz geotekstilden alt tabaka ise örgülü geotekstilden teşkil edilir. Ancak bazı durumlarda altta ve üstte olmak üzere her iki tabakada da örgüsüz geotekstil kullanılabilir. Bu yöntemle üretilen malzeme geokompozit olarak da adlandırılır [23].

Geosentetik kil kaplama malzemesi geçirimsizliği sağlamak amaçlı kullanılmaktadır. Orta tabakada bulunan bentonit malzemesi nem aldığında yüksek genişleme özelliğine sahip olup, genişleme esnasında malzeme üzerine uygulanacak baskı kuvveti ile istenilen geçirimsizlik değerine ulaşır [23].

Geomembranların üzerinde, kaba agregalara karşı koruma tabakası olarak da kullanılmaktadır [9].

### **3.9 Geoboru**

Geoborular drenaj amaçlı kullanılan delikli veya deliksiz sert polimerik borulardır. Bunlar gerektiğinde geotekstil filtre ile sarılabilir.

### **3.10 Geotüp**

Yıllardır tüm dünyada kum doldurulmuş keseler basit ve etkili bir dayanma yapısı olarak toprak stabilizasyonunda veya su taşkınlarına karşı geçici bariyer sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Kıyı yapılarında kıyı erozyon problemlerine karşı koruma için etkili ve kalıcı çözümler sağlayan geotüpler geliştirilmiştir [24].

Geotüpler basitçe yüksek dayanımlı örgülü geotekstil kumaşların çeşitli malzemelerle (kum, kil, çamur ya da beton gibi.) doldurularak birbirine dikilmesiyle oluşurlar [25].

## 4. KARAYOLLARI YAPILARINDA GEOSENTETİK UYGULAMALARI

### 4.1. Geosentetiklerin Zemin İyileştirmede Kullanımı

Karayollarında sıkça karşılaşılan problemlerin başında yol dolgusunda görülen kayma ve oturmalar ile bunların bir sonucu olarak ortaya çıkan çatlak ve kırılmalar gelmektedir. Son yıllarda trafik miktarının artışından dolayı, mevcut yollarda kayma ve oturma belirtileri artış göstermektedir [26].

Geosentetikler taban zemininin gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özelliklerini iyileştirmek, zemin tabakalarının ayrılması, zemin drenajı, yalıtım gibi zeminle ilgili birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır.

Geosentetiklerin dolgu tabanlarında kullanımı uzun ve kısa vadeli stabiliteyi sağlar, oturma farklarını sınırlandırır ve kayma ve göçme hareketleri önlenir. İş makinelerinin çalışmasını, yüksek dolguların ve daha dik dolgu şevlerinin yapılmasını kolaylaştırır. Dolgu yapılmadan önce geosentetik doğrudan doğruya zayıf zemin üzerine serilir [18].



Şekil 4.1: Yarma tabanında geotekstil serimi [18].

Geotekstil, ince taneli zemin ile kaba taneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde ayırma fonksiyonu görür. Böylece, üst yapıdan gelen dinamik veya statik yük nedeniyle oluşacak malzeme karışımını önlemiş olur.



**Şekil 4.2:** Yol tabanına geotekstil serimi, Meksika [27].

Su hareketlerinin yoğun olduğu bölgelerde geogrid ile kullanılacak geotekstil malzemesi, tabakalar arasında filtrasyon görevi görerek, dolgular arası tanecik hareketini engelleyecektir [23].

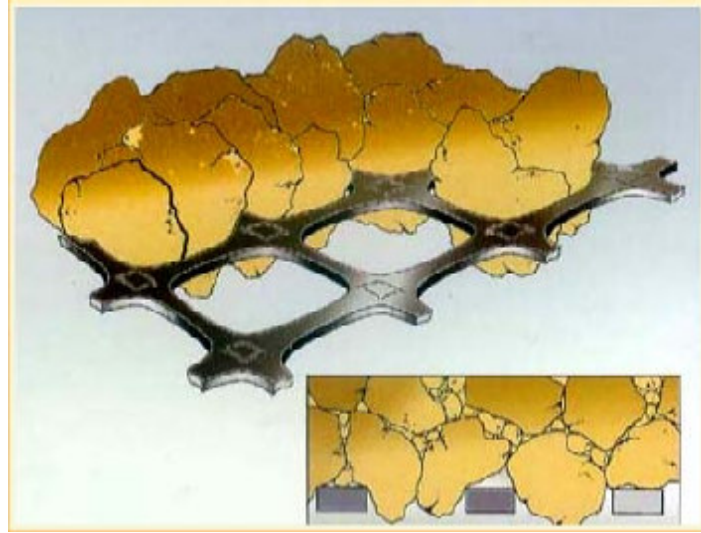
Yapılan bir deneysel çalışmada, geotekstil güçlendirmesinin yol taban zeminlerinin deprem sırasındaki sıvılaşma dayanımlarına etkilerini inceleyebilmek amacıyla, gerilme kontrollü tekrarlı burulmalı kesme deneyleri yapılmıştır. Bu amaçla, izotropik olarak konsolide edilmiş Toyoura kumları üzerinde, farklı geotekstillere (örgülü ve örgüsüz), farklı tabakalarla ve değişik kayma gerilmesi oranlarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Sıvılaşma dayanımlarını belirleme amacıyla yapılan bu burulmalı dinamik kesme deneylerinde, değiştirilen deney parametrelerinin sonuçlar üzerinde çok önemli rol oynadıkları belirlenmiştir. Deney sonuçları, geotekstil kullanımının sıvılaşma direncini büyük ölçüde artırdığını, ‘örgüsüz geotekstil’ kullanımının bunda daha etkili olduğunu ve kullanılan geotekstil tabaka sayısının artmasıyla yine sıvılaşma direncinin arttığını göstermiştir [16].

Geosentetik kullanılarak yapılan zemin güçlendirme çalışmalarında en önemli tasarım parametresi, zemin/geosentetik ara yüzeyinin kayma dayanımı davranışdır. Zemin ve geosentetiğin fiziksel ve mekanik özellikleri, kayma dayanımının belirlenmesi için kullanılan deney yöntemi, arayüzey davranışının belirlenmesinde etkili olan en önemli öğelerdir [28].

Yapılan bir deneysel çalışmada, kum/geotekstil ara yüzey kayma dayanımı laboratuvar kesme kutusu deneyleri araştırılmış ve tüm sıkılık, derecelenme ve normal gerilme durumları göz önüne alındığında, örgüsüz geotekstillerin bükülebilir malzemeler olmaları, kum zeminin deformasyonlarına kolay uyum sağlayabilme yeteneklerinden ve yüksek yüzey pürüzlülüklerine sahip olmalarından dolayı, örgülü geotekstillere nazaran yüksek performans sergiledikleri görülmüştür [28].

#### 4.1.1 Geogrid ile güçlendirme

Geogrid donatı ile güçlendirilen zeminlerde, donatı ile zemin arasında oluşan kenetlenme ve sürtünme dirençleri nedeniyle geogrid donatı - zemin sistemi, rijit ve kompozit bir malzeme gibi davranmaktadır [13].



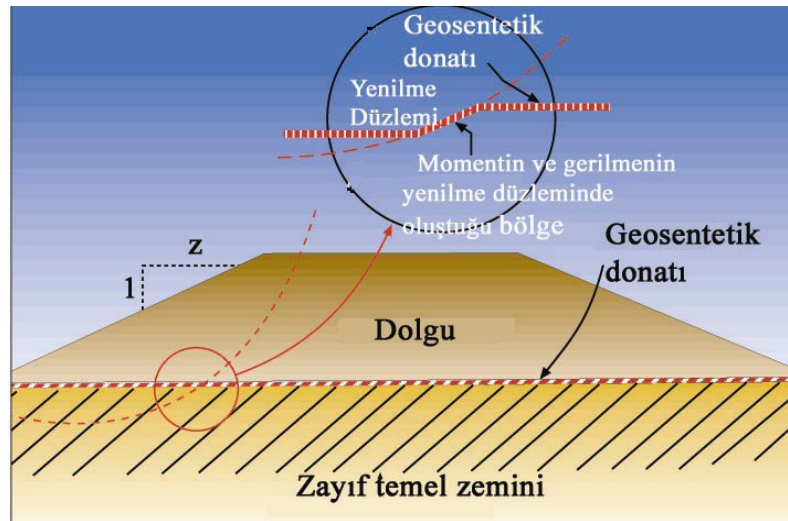
**Şekil 4.3:** Geogrid-zemin kenetlenmesi [12].

Geogridin yüksek mukavemetli elemanlarına sürtünen ve kenetlenen dolgu, böylelikle bir donatılı platform oluşturur. Geogridlerin üzerine dolgu veya granüler malzeme serildiğinde, malzeme taneleri geogridin açıklıklarıyla tam olarak kenetlenir (Şekil 4.1) [12].

Metal donatılara oranla daha yüksek donatı-zemin sürtünme katsayısına sahip olup, ızgara şeklindeki açıklıkları sayesinde zemin ile arasında kenetlenme etkisi oluşmaktadır. Zemin içerisine gömülü geogrid tabakası üzerinde oluşan çekme gerilmeleri nedeniyle donatılı zemin sisteminde çekme direnci oluşmaktadır. Çekme gerilmeleri, geogrid tabakası boyunca zemin taneleri ile donatı arasında oluşan sürtünme dirençleri ve geogrid tabakaları üzerindeki enine nervürler ile zemin taneleri arasında oluşan sürtünme dirençleri olarak iki bileşenden meydana gelmektedir [13].

Geogrid donatılı zeminde kayma direnci artmaktadır. Donatı-zemin sistemindeki kayma direnci, geogrid boşluklarına giren zemin taneleri ile donatı arasında oluşan kayma direnci ve geogrid boşluklarına giren zemin tanelerinin kendi arasında oluşan kayma direncinden oluşmaktadır [13].

Geogridlerin; sertlik, birim şekil değiştirme oranı, geometri, uygulanan normal basınçlar ve zemin özellikleri gibi farklı parametrelerinin kayma mukavemeti üzerinde önemli etkilerinin olduğu bilinmektedir [26].



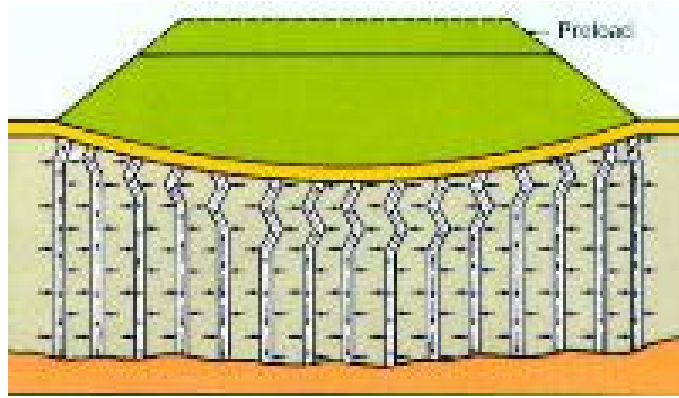
**Şekil 4.4:** Zayıf temel zemini üzerine yapılan yol dolgularında geosentetik uygulaması [9].

Donatı ilavesi ve donatının yerleşim düzeni, stabilize dolgu-geogrid donatı kompozit sisteminin mekanik özelliklerini iyileştirmekte, buna bağlı olarak da sistemin rijitliğini artırmaktadır [13].

Stabilizasyon donatı miktarı geogridin birden fazla tabaka halinde uygulanmasıyla artırılabilir.

#### 4.1.2 Geosentetik düşey bant dren (fitil dren-şerit dren) uygulaması

Konsolidasyonun hızlandırılması (oturma hızının artırılması), önyükleme bekleme zamanlarını azaltmak ve yer altı suyunun düşey drenajını sağlamak amacıyla düşey bant drenler uygulanır. Makaraya takılmış şeritler şeklinde ve bir metal mandrelin yumuşak killi zeminlere itme ile sokulması ile yerleştirilir. Böylelikle zayıf zemindeki boşluk suyu bant drenlerle alınarak daha geçirimli kum tabakasına iletilir ve zeminin oturması hızlandırılır [29].



**Şekil 4.5:** Düşey bant dren sisteminde boşluk suyunun iletilmesi prensibi [30].



**Şekil 4.6:** İzmit bölünmüş yolu düşey bant dren uygulaması [31].

Suya doymun ince taneli zeminlerde konsolidasyon çok yavaş meydana gelir. Çünkü bu zeminlerin düşük permeabilitesi zeminin boşluklarından suyun geçişine engel olur. Suyun yavaş hareketi ve zemini terk etmesi için kat edeceği mesafenin fazla oluşu nedeniyle büyük geçici sürüş yükleri altında bile oturmalar yılları alabilir. Prefabrik düşey drenler suyun serbest drenaj yoluna ulaşması için gereken mesafeyi

kısaltarak oturma oranını artırır. Düşey dren noktalarının aralıkları istenen oturma zamanına göre ayarlanabilmektedir [32].

**Çizelge 4.1:** Prefabrik Düşey Dren Özellikleri [24].

| Özellikler      | Birim | Test Metodu | Gereken Değer     |
|-----------------|-------|-------------|-------------------|
| Genişlik        | mm    | -           | 100 mm (yaklaşık) |
| Kalınlık        | mm    | -           | 3 mm (yaklaşık)   |
| Gerilme Direnci | kN    | ASTM D 1680 | 1.5               |
| Kopma Uzaması   | %     | ASTM D 1680 | $\geq 2$          |
| 1.0 kN'da Uzama | %     | ASTM D 1680 | $\leq 10$         |

**Çizelge 4.2:** Prefabrik Düşey Drenin Deşarz Kapasitesi [24].

| Açıklama                                                         | Birim    | Test Metodu | Gereken Değer            |
|------------------------------------------------------------------|----------|-------------|--------------------------|
| Hidrolik eğim $i=1.0$ ve 100kPa'da düz drenin deşarz kapasitesi  | $m^3/sn$ | ASTM D4716  | $\geq 90 \times 10^{-6}$ |
| Hidrolik eğim $i=1.0$ ve 100kPa'da eğik drenin deşarz kapasitesi | $m^3/sn$ | ASTM D4716  | $\geq 15 \times 10^{-6}$ |

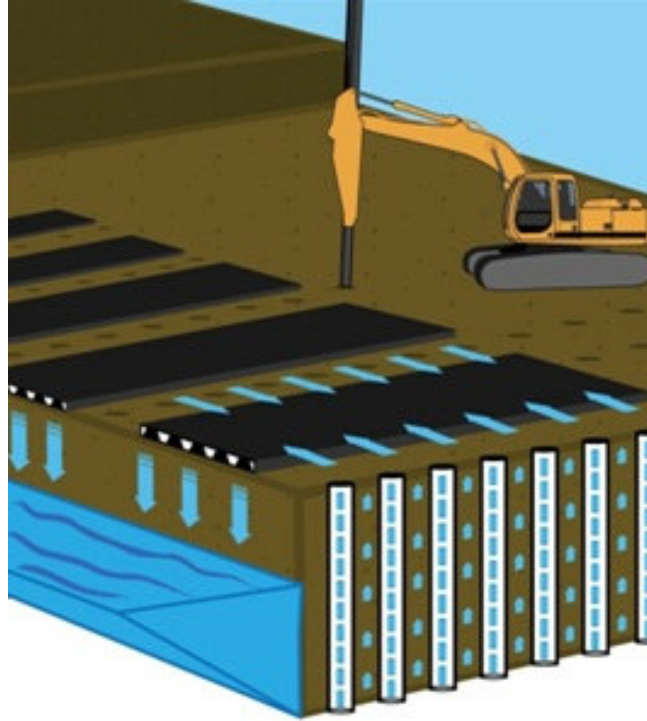


**Şekil 4.7:** Zemine yerleştirilmiş düşey bant dren [33].



**Şekil 4.8:** Düşey bant dren uygulamasından bir örnek [33].

Su, düşey bant direnin filtre kumaşından geçerek zeminden ayrı olarak serbestçe akabileceği içerisindeki kanallarda akışını yüksek hidrostatik basınç altında sürdürür. Bu akış, kesişen doğal kum tabakalarına veya oluşturulan kum drenaj örtüsü ya da prefabrik şerit direnlerle sağlanan yüzeye doğru aşağı veya yukarı olabilir. Zemindeki su serbest drenaj yoluna ulaşmak için en yakın dreni takip edecektir. Drenler istenen konsolidasyon süresine bağlı olarak genelde 1 ile 4 metre arasında değişen aralıklı üçgen şeklinde yerleştirilir [32].



**Şekil 4.9:** Düşey bant dirende zemindeki suyun hareketi [32].

Zemin oturması için uygulanacak olan düşey bant drenlerin (fitil dren) uygulamasında mandrelin (mil) zemine sokulmasında kullanılan yöntemler şunlardır [34]:

- Su jeti,
- Vurma, darbeleme, çekiç,..
- İtme,
- İtme + vibrasyon,
- İtme + su jeti.

Prefabrik düşey direnler, geleneksel kum ve taş direnlere göre daha hızlı ve pratik olmalarından dolayı tercih edilmektedir.

#### 4.1.3 Geoköpük (geofoam) uygulaması

Sert köpük (Strafor-EPS/Genleştirilmiş Polistiren Köpük)’den imal edilen geofoamlar karayollarında ilk olarak dona karşı koruyucu tabaka olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra farklı uygulama alanları da geliştirilmiştir [35].

EPS genelde 100-120 cm genişliğinde, 200-500 cm uzunluğunda, 50-60 cm yüksekliğinde ve 10-40 kg/m<sup>3</sup> arasında yoğunluklarda değişen bloklar halinde üretilir [36].

Karayolu altyapısı olarak sert köpük blokları (geofoam) ile ilk büyük yol kesimleri 1972 yılında Norveç’te inşa edilmiştir [35].

Geoköpük, biyolojik olarak parçalanabilen bir malzeme değildir. 1970’lerden beri gözlenen projelerdeki arazi performansları da malzemenin, projenin ekonomik ömrü boyunca niteliğinin bozulmadığını göstermiştir [36].

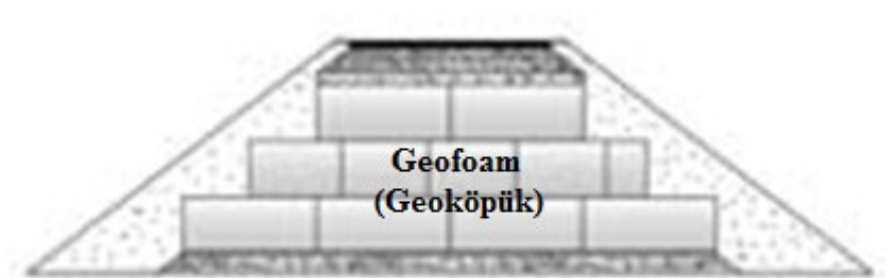
Son yıllarda yumuşak killi ve turbalık zeminlerden geçen karayollarında geoköpük uygulamasında artışlar gözlenmektedir [36].

##### 4.1.3.1 Zemindeki dolgu yükünü azaltma

Taşıma kapasitesi düşük zayıf zeminlerde yol dolgusunun ağırlığını azaltmak amacıyla hafif yapı malzemesi geoköpük (Sert Köpük) (EPS) kullanılır. Böylelikle;

- Yüklemin taban zemininin taşıma kapasitesine göre ayarlanması,
- İnşaat süresinin kısaltılması,
- Toprak kazı/dolgu miktarlarının azaltılması,
- Malzeme nakliyesinin azaltılması,

gibi avantajlar elde edilebilmektedir [35].

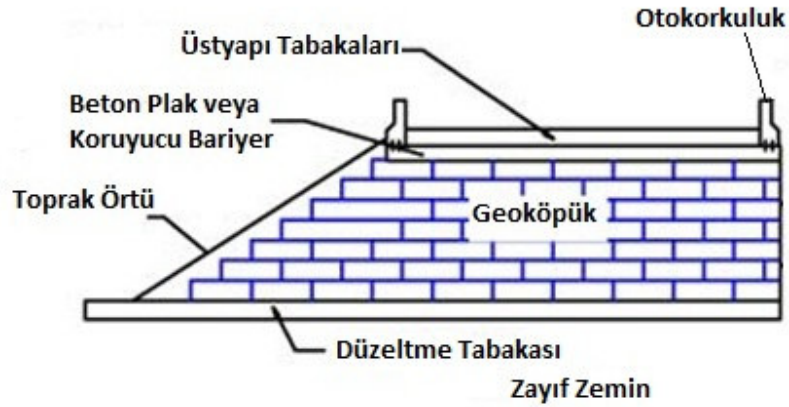


**Şekil 4.10:** Dolgu yükünü azaltma amaçlı geoköpük kullanılması [34].

Geofoam blokları arasına geokısaç (geogripper) denilen çok iğneli galvanize çelik plakalar konulabilir. Bu kısıkaçlar geofoam tabakalarının birbiri üstünde kaymasını engellemek amacıyla kullanılır. Çift taraflı iğneli yapısı tabakalar arasında iyi bir bağlantıya olanak sağlar [37].



**Şekil 4.11:** Galvanize çelik plaka kısıkaç [37].



**Şekil 4.12:** Dolgu altında geoköpük uygulaması [22].

Geofoam uygulaması dolgu tabanına granüler tesviye tabakasının serilmesiyle başlar. Daha sonra ardışık tabakalar halinde geofoamlar yerleştirilir. 10-15 cm kalınlığında donatılı beton bir plaka yada geomembran geofoamın en üstüne yerleştirilebilir. Beton plaka yükün yayılmasına yardımcı olurken, hem plaka hem de geomembran ise geofoamı bozabilecek kimyasal sıvılara karşı (örneğin:akaryakıt) koruma görevi üstlenir. Otokorkuluk bağlantıları beton plakaya ya da ayrı olarak bir temele bağlanır. Geofoamın yan şevleri ise toprakla veya koruyucu bir kaplamayla kaplanır. Geofoam beklenen trafik yüklerini yeterince karşılayan ve don ihtimalini en aza indiren bir dolgu malzemesidir. Geofoamın temele çok az bir yükleme yapması nedeniyle ve bloklarının kenetlenmeli inşa edilmesi sayesinde şevler dike yakın ya da dik bir

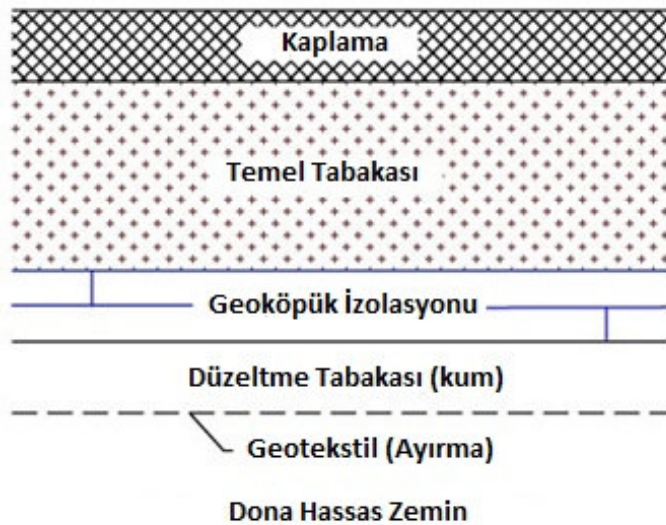
şekilde olabilmektedir. Geofoam dolgular az bakım ister ve doğal malzemelerden yapılmış dolgulara nazaran bölgesel oturmalar daha az görülür [22].

#### 4.1.3.2 Bölgesel oturmaların giderilmesi

Bölgesel oturma meydana gelen yerlerde geofoam döşenmesi ile zemine olan yük tatbiki azaltılabilmektedir [35].

#### 4.1.3.3 Kaplama yalıtımı

Yol kaplamalarının tasarımında en çok dikkate alınan, temel gerilme/deformasyon kriteri veya dondan korumadır. Geofoamın yalıtım tabakası olarak kullanılması kaplama kalınlığının donma şartlarına bağlı olduğu durumlarda önemli avantajlar sağlayabilmektedir. Yüksek yoğunluklu geofoamlar yük altında çok az deformasyon gösterir ve yolun hizmet ömrünü uzatır [22].



Şekil 4.13: Yol temel tabakası altında izolasyon amaçlı geoköpük uygulaması [22].

#### 4.1.3.4 Yol platformu genişletmeleri

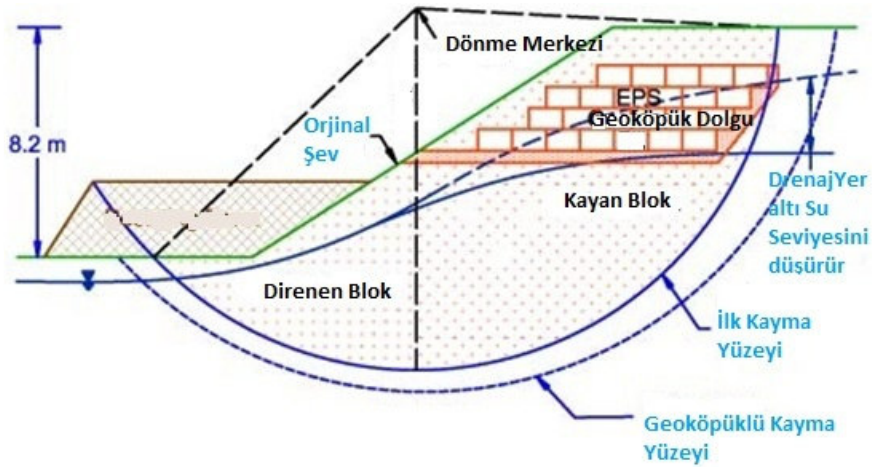
Mevcut yol genişletmelerinde farklı oturmalar nedeniyle platformda; deformasyonlar, enine eğimde değişiklikler veya üstyapıda boyuna çatlaklar meydana gelebilmektedir. Genişletme yapılacak yerlerde ek dolgular geoköpükten yapıldığında bu tür deformasyonlar azaltılabilmektedir.[35].

#### 4.1.3.5 Şev stabilizasyonu

Şev stabilizasyonunda geoköpük kullanımının sağladığı avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir [22]:

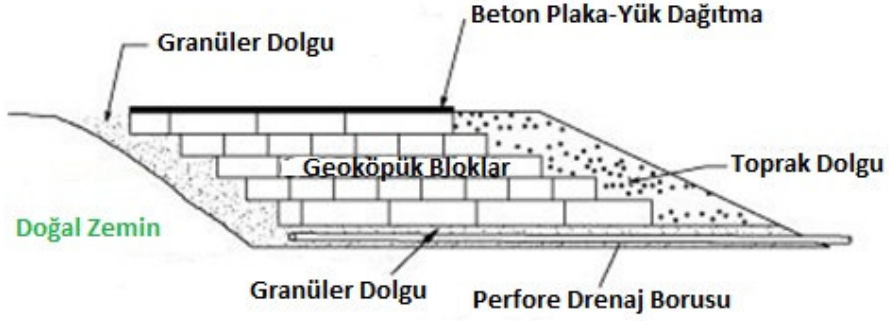
- İnşaat programını kısaltır. Böylelikle yolun trafiğe açılma süresi ve inşaatın çevreye verdiği etki süresi de kısalmış olur.
- İşçiliği ve gelecekteki bakım faaliyetlerini azaltır.
- Suyun bulunduğu (akarsu, göl kenarı vb.) yerlerde nispeten temiz bir inşaatır.
- İnşaat alanı kısıtlamalarında uygun bir çözüm olmaktadır.

Şev stabilizasyonunu sağlamak için değişik yaklaşımlar dikkate alınabilir. Geoköpükle şev stabilizasyonu tasarımına bir örnek aşağıda Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Potansiyel kaymaya çalışan kütle üst ve alt kütlere ayrılabilir. Üst kütle kaymaya çalıştığı veya stabilite dengesizliğine yol açtığı için kayan kütle olarak adlandırılır. Alt kütle ise stabiliteye ve kaymaya karşı direnç gösterdiği için direnen kütle olarak adlandırılır. Kayan kütleden malzemenin alınması, yer altı suyu etkisinin azaltılması, kaymaya karşı engel olan (alt kütle) kütlenin miktarının veya bir set (topuk) oluşturulmasıyla etkisinin artırılması sağlanabilir [22].

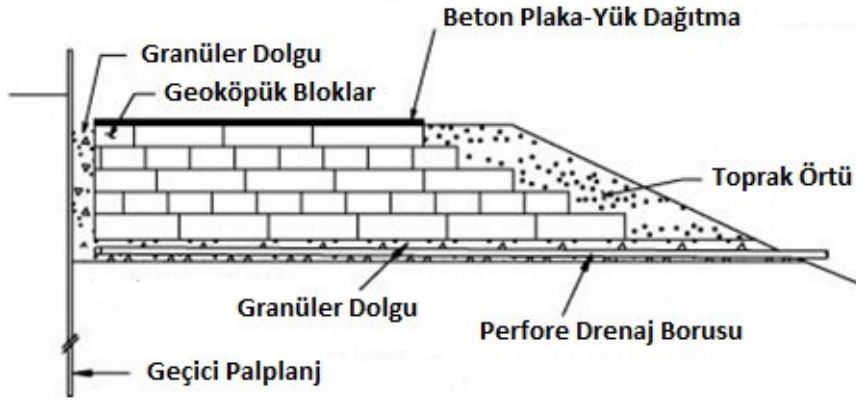


**Şekil 4.14:** Geoköpükle şev stabilizasyonu tasarımı [22].

Toprağın kazılarak yerine geoköpük uygulaması şev stabilizasyonunu sağlama açısından faydalı sonuçlar vermektedir. Kazı yapılırken arka şev eğiminin kendi dengesini sağlayabilecek ölçüde seçilmesi gereklidir. Geoköpük ile doğal zemin arasına arka şev ve tesviye tabakası boyunca drenajı sağlayacak granüler malzeme yerleştirilir. Arka zeminin trafik, zemin problemleri, alan kısıtlamaları vb. nedenlerle her zaman şevli bir şekilde kazılamadığı durumlarda palplanj uygulamaları gibi değişik çözümlerle istenildiği takdirde daha dik kazılar gerçekleştirilebilmektedir [22].



Şekil 4.15: Dolgu altında geoköpek uygulama tasarımı [22].



Şekil 4.16: Dolgu altında paplanjla dik yüzeyli tasarlanmış geoköpek uygulaması [22].

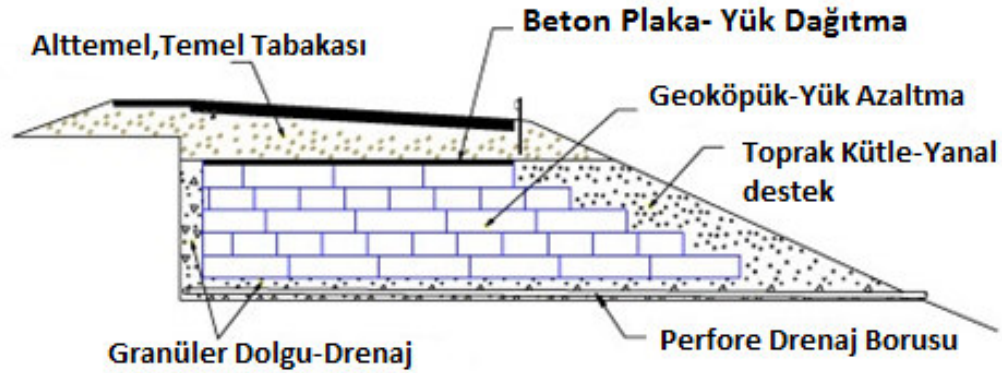
#### 4.1.3.6 Geoköpek (geofoam) ile heyelan önleme çalışması örneği

Aşağıdaki resimde Amerika'daki heyelana uğramış bir yol kesimi görülmektedir.



Şekil 4.17: Yoldaki heyelana uğramış bölge, (Route 23A, Jewett Country New York [22].

### Önerilen Çözüm-Tipik Kesit



**Şekil 4.18:** Yoldaki heyelan etmiş bölge için hazırlanan proje kesiti, (Route 23A, Jewett County, New York) [22].

Yöntem olarak dolgunun üst kısmının geoköpekten oluşturulması öngörülmüştür. Böylelikle imalata yılın herhangi bir zamanında başlayabilme imkânı da doğmuştur. Dolgu toprağının kazılıp yerine geoköpek konulmasıyla stabilizasyonun bozulmasına etki eden yerçekimsel kuvvetin büyük oranda azaltılması sağlanmıştır. İmalat hızlı ve kolay bir şekilde tamamlanmıştır [22].



**Şekil 4.19:** İmalat Aşaması, (Route 23A, Jewett County, New York) [22].



**Şekil 4.20:** İmalatın tamamlanmış hali (Route 23A, Jewett County, New York) [22].

#### **4.1.4 Dolgu altında geohücre uygulaması**

Geohücreler sağlam hücre duvarları ile, içlerine doldurulan malzemenin yatay hareketini yüksek dingil yüklerine maruz kaldığında bile engelleyerek yapının hem şeklini hem de bütünlüğünü korur. Hücresel yapı, yükleri daha geniş alana dağıtarak hem geohücrenin kendi yapısındaki hem de taban zeminindeki gerilmeleri azaltır. Bu sayede serilecek alttemel kalınlığı azaltılabilir ya da sağlamlık arttırılmış olarak yapının hizmet ömrü uzatılabilir [27].



**Şekil 4.21:** Dolgu tabanına geohücre uygulaması [27].

Kaliteli alttemel, temel malzemesinin bulunmadığı yerlerde geohücre kullanımı daha fazla ya da daha kaliteli malzeme bulma zorunluluğunu ortadan kaldırır. Boşlukları kumlu zeminle doldurulmuş geohücre kırmataş, granüler malzeme, asfalt, beton gibi malzemelerin yerini alabilir [27].

## **4.2 Geosentetiklerin Dayanma Yapılarında Kullanımı**

Ulaştırma yapılarında çoğu kez arazi kullanımını en aza indirme veya gürültü önleyici bariyer gibi değişik durumlarda ve farklı amaçlar için istinat duvarlarına ya da dik şevlere ihtiyaç duyulur [18].

### **4.2.1 Geosentetik donatılı duvarlar**

Geosentetik donatılı istinat duvarların özellikle yol yaklaşım yapıları, köprüler, derin temel sistemleri ve istinat yapıları gibi rijit yapı elemanları ile birlikte kullanılması son yıllarda sıkça rastlanır hale gelmiştir. Esnek yapıya sahip donatıların, statik ve deprem koşullarında deformasyon toleranslarının ve eksenel mukavemetlerinin yüksek olması, ekonomik ve hızlı imalatlara olanak tanınması en büyük tercih sebeplerindendir [38].

Bu uygulamada sıkıştırılmış dolguya kademeli olarak konan mekanik elemanlar ile bir çeşit zemin güçlendirmesi yapılır. Bu sayede, dolguların yatay yüklere karşı kendi kendilerini taşıması sağlanır [38].

Geosentetik donatılar dolgu şevlerinin doğal dolgu malzemesinin elverdiğinden daha dik olarak oluşturulmasına imkân verirler. Bu sayede geosentetik donatılı duvar ve şevler aşağıda sıralanan sebeplerle avantaj yaratırlar [39]:

- Şev üstünde ya da topuğundaki arazi kullanım alanını arttıırırlar,
- Kullanılacak dolgu malzemesi miktarını azaltırlar,
- Kullanılacak dolgu malzemesinin fiziksel ve mühendislik parametrelerine destek olarak daha düşük özellikli dolgu malzemesi kullanımına izin verirler.
- Geosentetik donatılar aynı zamanda şevlerin çok daha iyi sıkıştırılmasını ve dolayısı ile zamana bağlı oturma ve yüzeysel kaymaları da minimize etmektedir [39].

Aynı zamanda [40]:

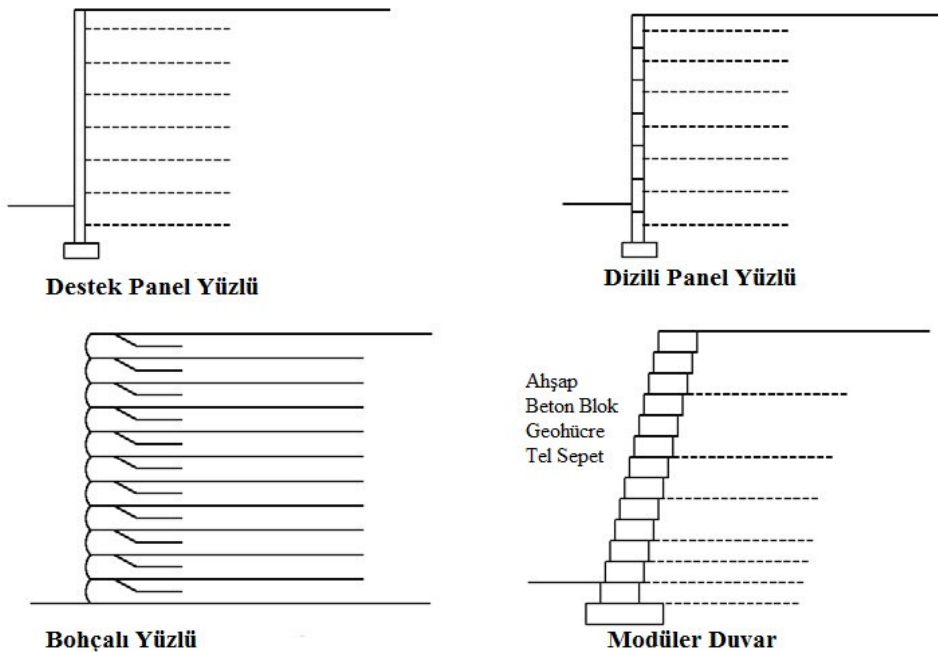
- Temellerde zayıf zemin oluşan deformasyonları tolere ederler.

- Klasik tip dayanma duvarlarına göre daha ekonomiktirler.
- Klasik tip dayanma duvarlarının uygulanamadığı yüksekliklerde yapılabilirler.
- Çok çeşitli geometrik şekillerde uygulanabilmektedirler.

Geosentetikler donatı görevlerini zemindeki kesme kuvvetlerine karşı gerilme direncini artırarak sağlar. Bu özellik duvarlarda, şevlerde, toprak setlerde ekonomik ve hızlı imalata olanak sağlar [18].

Kullanılan geosentetikler toprak yapılarının stabilitesini önemli ölçüde artırarak deformasyonları da kontrol altına alır [18].

Geosentetik donatılı duvarlarda genel olarak kullanılan donatı çeşitleri geogrid, örgülü geotekstil ve polyester şeritlerdir. Duvarların ön yüzleri polimerik, ahşap, beton veya metal tel sepetlerden oluşan çok çeşitli şekillerde malzemelerle oluşturulabilmektedir [19].



**Şekil 4.22:** Değişik ön yüzlü geosentetik donatılı duvar tasarımları [19].

Konvansiyonel beton duvarların yerine üstün bir estetik görünüm sağlayan çok çeşitli geosentetik dayanma yapıları (prefabrik beton elemanlı duvarlar, gabionlar, bitki örtülü duvarlar, segmental beton bloklar vb.) yapılabilir [18].

#### 4.2.1.1 Geosentetik donatılı duvar tasarımı

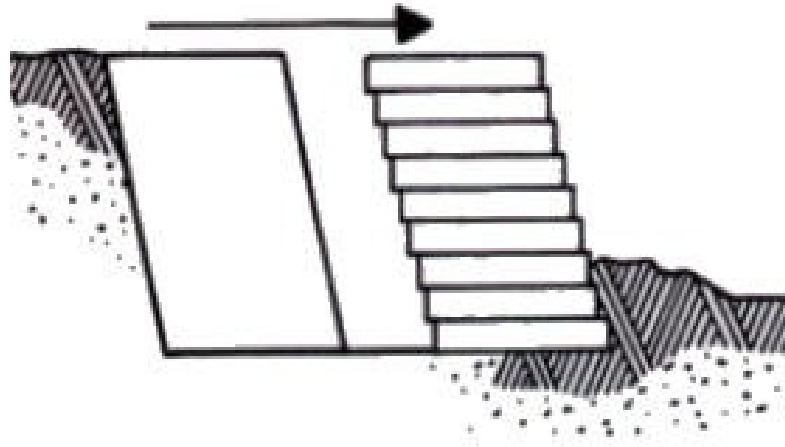
##### Dış stabilite

Donatı uzunluğunu genelde dış stabilite hesapları belirlediği için, dış stabilite hesaplarını içsel stabilite hesaplarından önce yapmak daha doğrudur. Dış stabilite hesapları klasik rijit istinat duvarlarında da (betonarme ve taş duvar) geçerli olan göçme mekanizmalarına göre yapılır. Bunlar;

- Kayma,
- Zemin Emniyet Gerilmesi,
- Dönme,
- Global Şev Stabilesi,

olarak sayılabilir [38].

**Kayma:** Duvar temelının toprak ve sudan kaynaklanan yatay kuvvetlerle dışa doğru hareketidir. Kaymayı engelleyici kuvvetler duvar tabanında meydana gelen sürtünme kuvveti ile duvar temelının önündeki topraktır. Eğer kaymayı engelleyici kuvvetleri arttırmak istenirse, duvar boyutunu (ön-arka arası) genişletmek gerekir. Bu direnen kuvveti oluşturan boyutu artıracaktır. Bir diğer seçenek ise, yüksek sürtünme özelliğine sahip dolgu kullanmaktır [27].



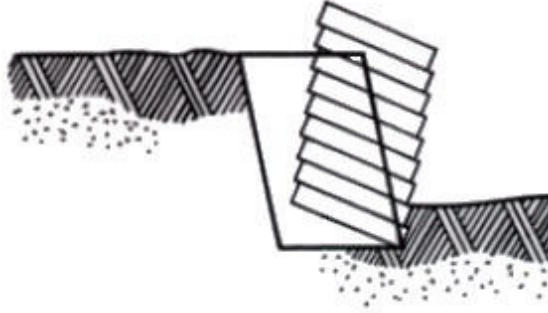
Şekil 4.23: Kayma [27].

**Zemin taşıma gücü:** Zeminin taşıma gücü üzerindeki istinat duvarının ağırlığını taşıyabilme yeteneğidir. Analizler yüzeysel temel için olanlarla aynıdır. Eğer duvarın altındaki zemin çok zayıfsa temel alanını büyütmek gerekir. Bu temeldeki basıncı azaltacaktır. Bir diğer seçenek ise, temel derinliğini arttırmaktır. Bu da direnen kuvveti arttıracaktır [27].



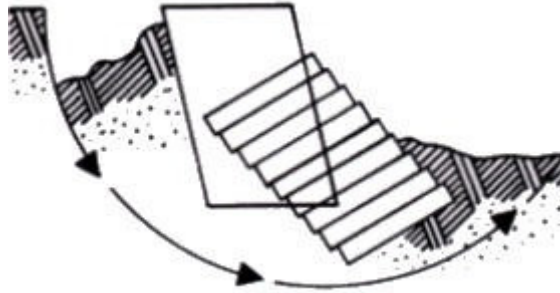
**Şekil 4.24:** Taşıma Gücü [27].

**Dönme:** Döndürücü kuvvet, duvarı döndürerek stabilitesini bozan kuvvetlerin moment koluyla çarpımlarının toplamıdır. Direnen kuvvetler ise, duvarın kendi ağırlığı ile moment koludur. Eğer direnen kuvvetler döndürücü kuvvetlerden az olursa, duvar ağırlığını arttırmak ya da moment kolunu büyütmek gerekir [27].



**Şekil 4.25:** Dönme [27].

**Global stabilite:** Duvarın altındaki ve arkasındaki zeminin stabilitesini belirtir. Duvarın da bulunduğu bütün alanda herhangi bir hareket olmamalıdır [27].

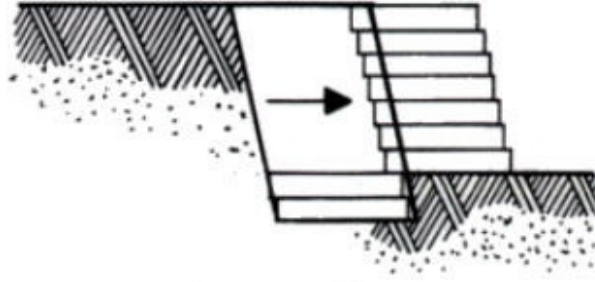


**Şekil 4.26:** Global Stabilite [27].

**İçsel stabilite:** İçsel stabilite duvarın parçalarının tek başına bir birim gibi davranış göstermesidir. Duvarın parçalarının ayrılmayacağı, ileriye doğru kaymayacağı ya da dışa doğru hareket gerçekleştirmeyeceği şekilde projelendirilmesi gerekir [27].



**Şekil 4.27:** Şişme [27].



**Şekil 4.28:** İçsel kayma [27].

İçsel stabilite hesaplamalarında donatının kopması, donatının zeminden sıyrılması ve donatının uzaması gibi kriterler değerlendirilir. Duvar imalatında kullanılacak donatı tipi, yoğunluğu ve dolgu malzemesinin mühendislik parametreleri içsel stabilite bakımından en önemli kriterlerdendir [38].

Geosentetik ve zeminden oluşan duvarlarda paneller arasındaki kayma potansiyeli dikkate alınır. Eğer ilk tasarımda güvenlik faktörü 1,5 veya daha fazlasına ulaşamamışsa kesitler yüzey alanını arttırmak için uzatılmalı ya da daha büyük sürtünme karakteristiklerine sahip başka bir dolgu kullanılmalıdır [27].

Geosentetik donatılı duvarlarda ve şevlerde kullanılacak dolgu malzemesinin sıkıştırmaya uygun ve bitkisel ve organik topraktan arınmış malzeme olması ve plastisite indisinin (PI) < 20 olması gerekmektedir [39].

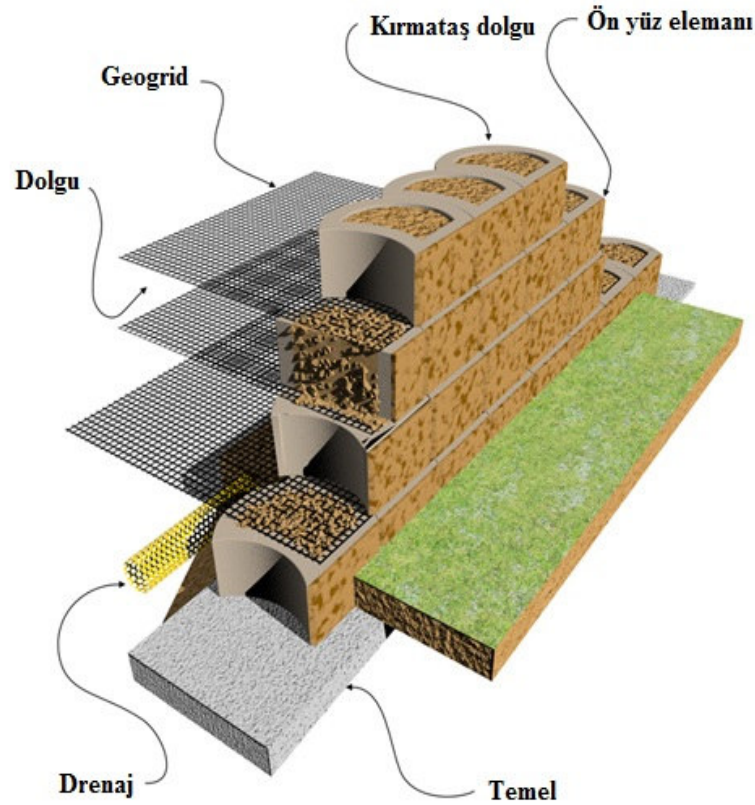
Önerilen dane dağılımı aşağıdaki gibidir [39]:

- 100 mm geçen 100% -75%
- 4.75 mm geçen 100% - 20%
- 0.425 mm geçen 0% - 60%
- 0.075 mm geçen 0% - 50%

Geotekstillerin uzun zamana dayalı mukavemetlerinin tespitinde, izin verilen çekme mukavemetinin uygulama, durabilite, krip, kimyasal degradasyon ve biyolojik degradasyon gibi etmenlere karşı geliştirilmiş empirik güvenlik katsayıları ile düzeltilmesi gerekmektedir [39].

#### 4.2.1.2 Geogrid donatılı prefabrik bloklı istinat duvarları

Tesviyesi yapılmış zemin üzerine, duvar ön yüzeyini oluşturan blokların temelini oluşturmak için duvar uzunluğu boyunca grobeton dökülür. Geogrid donatı hesaplanan uzunluk ve genişlikte, gerilmelerin etkilediği duvar yüzeyine dik olarak zemine serilir. Ön yüzeyine prefabrik bloklar dizilerek duvar oluşturulur [41].



Şekil 4.29: Geogrid donatılı prefabrik bloklı istinat duvarı genel kesiti [42]

#### 4.2.1.3 Bohçalama sistemli duvarlar

Tesviyesi yapılmış zemin üzerine hesaplanan genişlik ve uzunlukta geogridler serilerek ön yüz olacak kısmına bitkisel toprak, geri kalan kısmına dolgu malzemesi doldurularak hesaplanan tabaka kalınlığında bohçalanır ve her tabakada aynı işlem uygulanarak sıkıştırılır. Bu şekilde ön yüzü yeşillenebilen duvarlar elde edilebilir [41].



**Şekil 4.30:** Bohçalama sistem örneği, Ranong-Pato Yolu (Km:8), Ranong, Tayland [24].

#### **4.2.1.4 Polimer şerit donatılı duvarlar (toprakarme)**

Polimer şerit donatılı duvarlarda da zemin ile donatının birlikte çalışması ilkesi bulunmaktadır. Zemin ile polimer şerit donatı arasında bir sürtünme oluşmaktadır. Zemin kütlelerinin içinde oluşan gerilmeler polimer şerit donatılar tarafından karşılanır. Bu gerilmeler şeritlere sürtünme aracılığıyla aktarılır. Böylece bu iki malzeme, tek ve kompozit bir inşaat malzemesi olarak davranmaktadır. Dolgunun kaymasını engellemek ve estetik bir görüntü sağlamak amacı ile polimer şerit donatılı zemin tabakasının ön yüzünde prekast cephe paneller kullanılır [43].

Ön yüzeyde kullanılan prefabrik blokların genel özellikleri; dayanıklı, kolay uygulanabilir, hızlı, bakım maliyeti düşük, estetik, ses yalıtımı yüksek olmalarıdır.

Polimer şerit donatılı duvarlarda projesine uygun olarak temel tesviye betonu dökülür. Hesaplanan tabaka kalınlıklarında uygun geri dolgu malzemesi serilerek sıkıştırılır. Daha sonra ilk sıra paneller yerleştirilerek polimer şeritler serilir ve bağlantı parçaları vasıtasıyla panellere bağlanır. Daha sonra dolgu işlemine devam edilir [44].



#### 4.2.1.6 Geogrid donatılı gabion duvarlar

Gabionlar çelik veya geogridden, kutu şeklinde içerisine taş doldurularak oluşturulur. Kutular etkiyen yüklere göre değişik boyutlarda olabilmektedir. Bunlar, esnek ve geçirgendirler. Geogrid donatılı sistemler olarak da tasarlanabilirler.

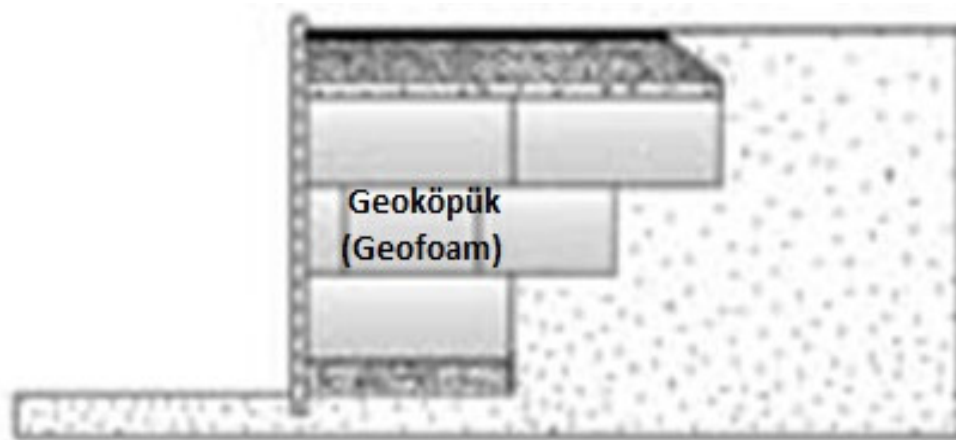


Şekil 4.33: Geogrid donatılı gabion duvar örneği [43].

#### 4.2.2 İksa-istinat duvar arkalarında geosentetik kullanımı

##### 4.2.2.1 Geoköpük (geofom) uygulaması

İstinat yapılarına gelen yanal ve sismik yüklerin azaltılmasında geofomlar kullanılabilmektedir [36].

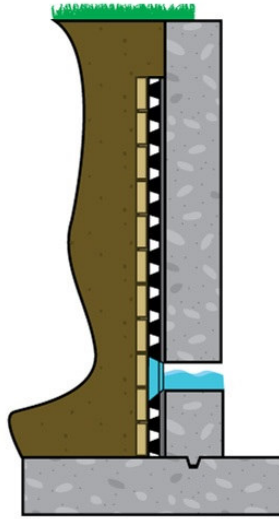


Şekil 4.34: İstinat duvarı arkasında geoköpük uygulaması [37].

#### 4.2.2.2 Drenaj amaçlı geosentetik kullanımı

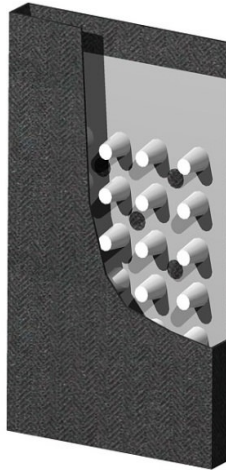
Geotekstiller genel olarak; dayanma yapılarının arkasında oluşabilecek hidrostatik basıncı azaltmak, yapıyı sudan ve yüksek nemden koruyarak ömrünü uzatmak amacıyla kullanılmaktadır [32].

Duvar arkalarında alanın kısıtlı, agregalı drenaj sisteminin oluşturulmasının zor olduğu durumlarda kullanılan geokompozit drenler üstün bir drenaj sağladığı gibi, az yer kaplaması nedeniyle kazı ihtiyacını da azaltmaktadır [32].



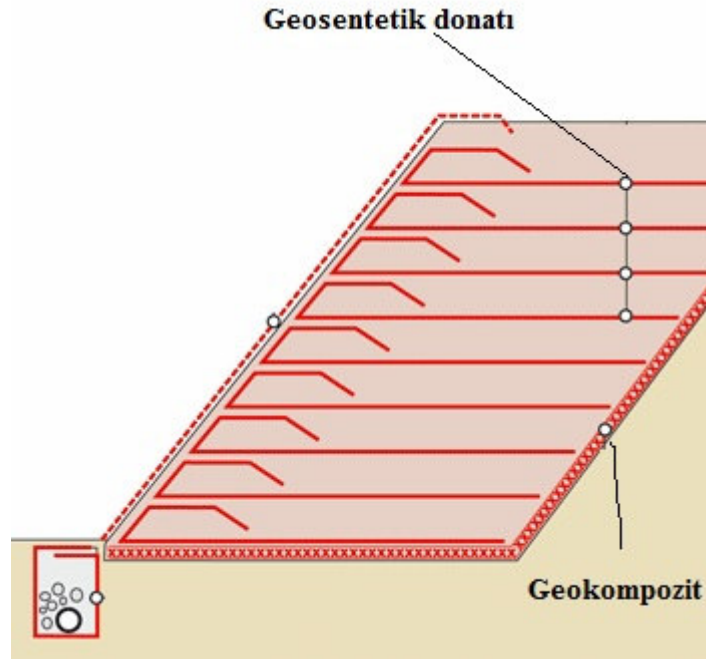
**Şekil 4.35:** Duvar arkasında geokompozit dren tasarımından bir örnek [32].

Duvar arkalarında geokompozit drenlerin kullanılması, çamurlu ve kirli sızıntı sularının duvarın ön yüzünde barbakanlardan akarken veya duvardan sızıp kirli bir görüntü oluşturmasının istenmediği durumlarda etkili bir çözüm olmaktadır [45].



**Şekil 4.36:** Geokompozit dren kesitinden bir örnek [32].

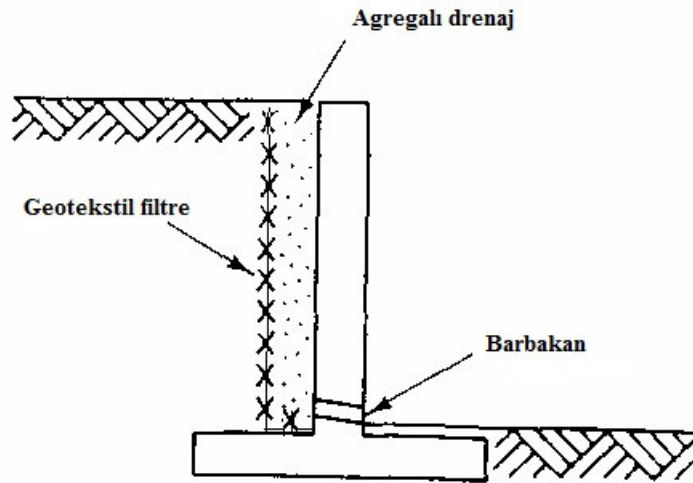
Geokompozitler, geosentetik donatılı istinat duvarları gibi diğer tür istinat duvarlarında da drenaj amacıyla farklı şekillerde de kullanılabilir.



**Şekil 4.37:** Geosentetik donatılı istinat duvarda geokompozit kullanılması [4].

#### 4.2.2.3 Filtrasyon amaçlı geosentetik kullanımı

İstinat duvarlarının arkasında oluşturulan agregalı drenaj sistemlerinin tıkanmaması gereklidir. Agregalı drenaj sisteminin tıkanmaması için filtrasyon amaçlı geotekstiller kullanılabilir.



**Şekil 4.38:** İstinat duvarının arkasındaki drenaj sistemlerinde filtrasyon amaçlı geotekstil kullanımı [4].

### 4.3 Geosentetiklerin Yol Üst Yapısında Kullanımı

#### 4.3.1 Geosentetiklerin temel-alttemel tabakaları altında kullanımı

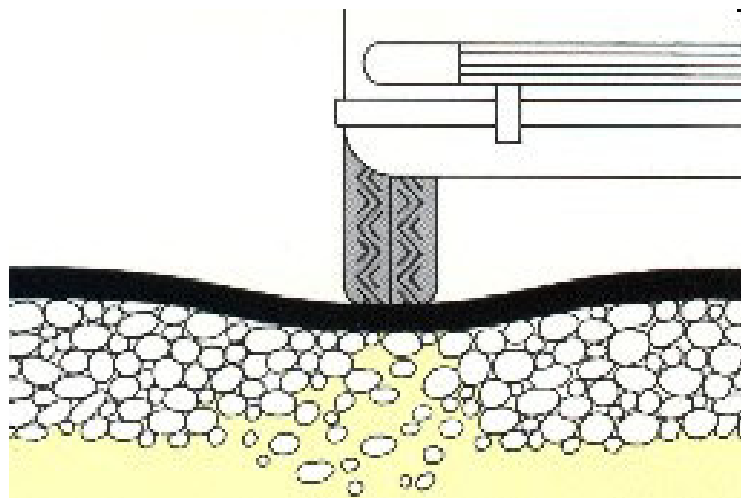
Temel güçlendirme uygulamalarında geosentetikler temelin içinde veya temel/alt-temel altında gerilme elemanı olarak kullanılırlar. Bu, yolun hizmet ömrünü uzatır ve/veya temel tabakasının kalınlığını azaltır [18].



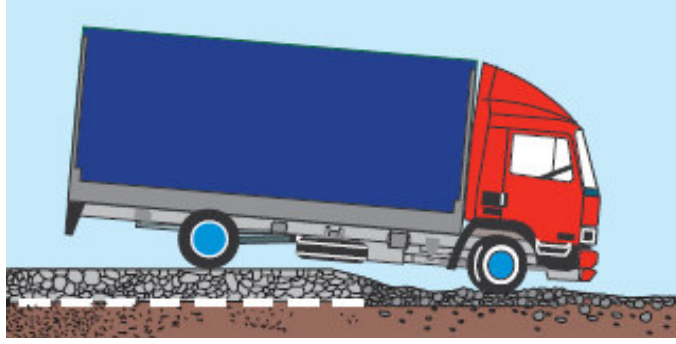
Şekil 4.39: Temel altında geogrid kullanılması [18].

#### 4.3.1.1 Ayırma

Örgülü geotekstil alt temel ile zemin arasında bir ayırım oluşturur. Bu, pahalı alt temel malzemesinin zeminle karışmasını önleyerek yük taşıma kapasitesinin korumasını ve zaiyatın minimuma indirilmesini sağlar [12].



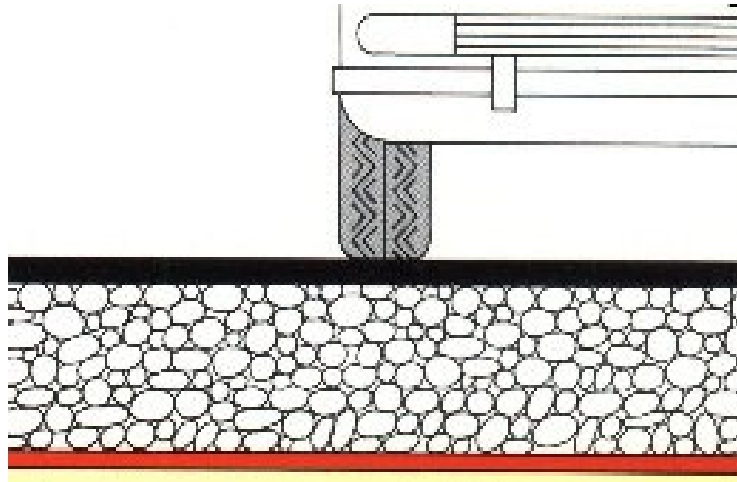
Şekil 4.40: Ayrılmış temel tabakası [12].



**Şekil 4.41:** Geotekstilin ayırma özelliği [46].

#### 4.3.1.2 Güçlendirme

Örgülü geotekstil, yüksek çekme kuvveti altında düşük uzama oluşturması nedeniyle güçlendirme tabakası olarak kullanılabilir. Alt temel tabakasının lastik genişliğine göre daha geniş bir alanda esnemesini sağlar [12].

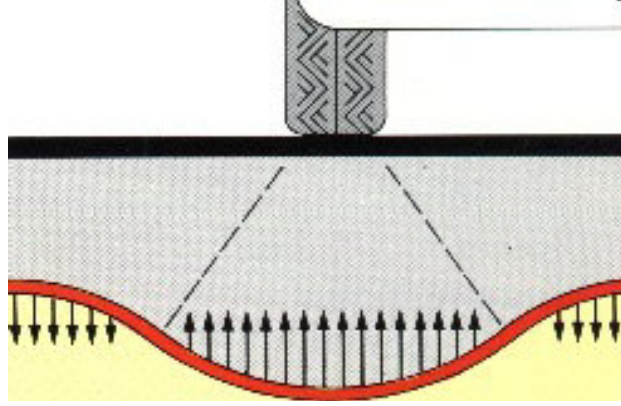


**Şekil 4.42:** Geotekstil takviye özelliği [12].

Bu esneme ile örgülü geotekstil betonarme plaka içinde bulunan çeliktekine benzer bir çekme kuvveti oluşturur. Bunun sonucunda iyi bir yük dağılımı, uniform oturma ve tekerleğin yaptığı oyulmaların asgariye indirilmesi sağlanmış olur. Bu da alttemelin büyük bir esneme rijitliği kazandığını gösterir [12].

#### 4.3.1.3 Bölgesel çökme

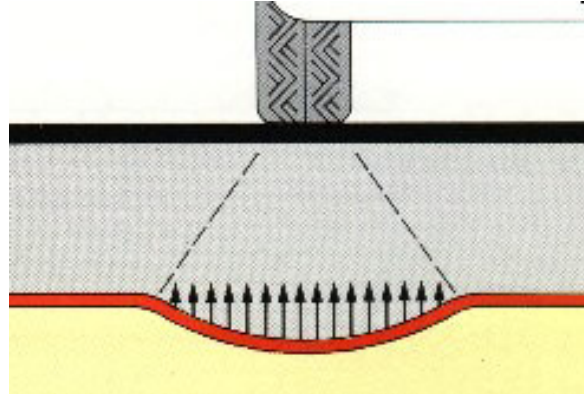
Lokal çökmenin belli bir değeri aşması halinde plastik deformasyon oluşur. Örgülü geotekstil tekerlek yükünün bir kısmını hemen absorbe eder ve lokal çökmenin olduğu bölgenin kenarlarında ters yönde kuvvet oluşturarak yoldaki bozulmayı önler. Sonuçta daha az oturma ve oyulmalar ile bir yük dağılımı sağlanır [12].



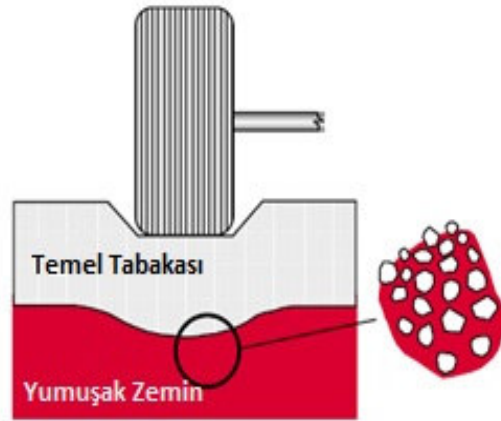
**Şekil 4.43:** Bölgesel çökme [12].

#### 4.3.1.4 Bölgesel oturma

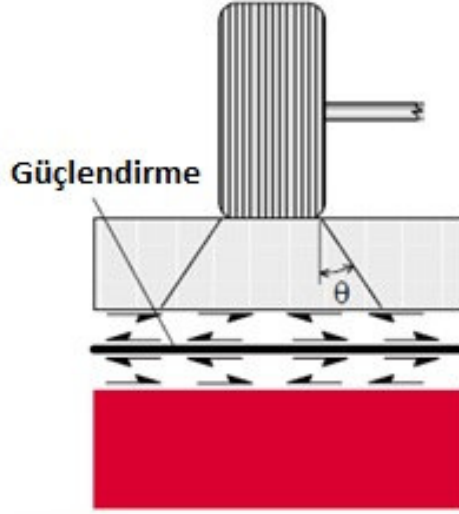
Bu durumda tekerlek yükü kısmen alt zemin, kısmen örgülü geotekstil tarafından taşınır. Yükün yayılma yüzeyi genişler ve temel altındaki zemin üzerinde basınç azalır. Böylece oturmalar ve oyulmalar minimuma indirilir [12].



**Şekil 4.44:** Bölgesel oturma [12].



**Şekil 4.45:** Temel altında bölgesel oturma [19].



Şekil 4.46: Yükleri dağıtması [19].

#### 4.3.2 Geosentetiklerin stabilize yollarda kullanımı

##### 4.3.2.1 Ayırma

Kullanılan geosentetik malzeme agregayla zeminin birbirine karışmasını önler.

Sıkışma sonucu zemindeki su agregata tabakasına nüfuz ederken, geosentetik malzeme filtre etme özelliği sayesinde ince malzemenin agregata tabakasına taşınmasını ve agregaların zemine gömülmesini önler. Bu amaçla geotekstiller kullanılmaktadır. Geogridler ise daha büyük gözenekli olmaları nedeniyle ayırma özelliğine sahip değildir [5].

##### 4.3.2.2 Güçlendirme

Geosentetik malzemelerin stabilize kaplamalı yollarda kullanımı halinde taşıma gücünde, kayma ve çekme mukavemetinde artış sağlanabilmektedir.

Stabilize kaplamaya etkiyen tekerlek yükleri agregata tanelerini yanal ötelenmeye maruz bıraktıklarında, zemin tarafından engellenmeye çalışılacaktır. Zayıf zeminlerde yanal ötelenmeye karşı direnç az olduğundan stabilize kaplama altında geosentetik kullanılması yanal ötelenmeye karşı direnç oluşturabilecektir. Geosentetik kullanımında kayma yüzeyi uzun olacağından taşıma gücü de artmaktadır [5].

Donatı fonksiyonuna sahip geosentetik malzemenin çekme mukavemeti tekerlek yüküne karşı koymaktadır.

#### **4.3.2.3 Drenaj**

Geosentetik malzemenin filtre özelliği sayesinde zemindeki suyun drenajı da sağlanabilmektedir.

#### **4.3.3 Geosentetiklerin asfalt betonu tabakaları arasında ve beton yollar üzerindeki asfalt kaplamalarında kullanımı**

Yol üst yapısında geosentetik kullanımı [31];

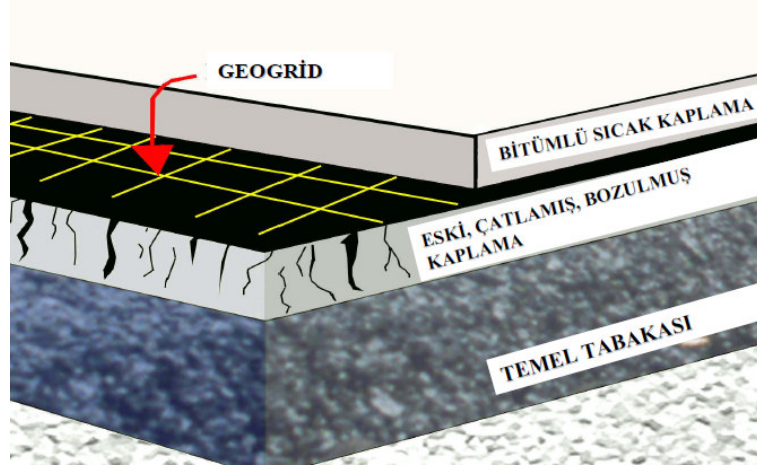
- Çatlakların yansımaları geciktirir/önler
- Su geçişini önler.
- Oksidasyon ve su geçişinden oluşan bozulmayı azaltır
- Tekerlek izinde oturmaları önler
- Kaplama kalınlığını azaltır
- Üst yapının hizmet ömrünü uzatır
- Üzerine gelen asfalt tabakalarını sağlamlaştırır.

Trafik yükleri, zemin hareketleri, iklim koşulları yol yüzeyinde yatay ve düşey olarak deformasyonlara sebebiyet verir. Yıllar içinde, bu yükler kaplamada çatlak oluşmasına yol açar. Eğer böyle bir yüzey üzerine doğrudan (ya da kazındıktan sonra) yeni asfalt kaplaması yapılması düşünüldüğünde, mevcut eski çatlakların yeni asfalt tabakaya yansması riski olduğundan, yansıma çatlaklarını önleme amaçlı takviye geosentetikleri kullanılmaktadır [12].

Takviye geosentetikleri asfalt kaplama tabakası içinde, çatlaklara karşı mukavemeti artırır, kaplama içindeki yatay çekme gerilmesinin önemli bir bölümünü absorbe eder ve düzgün bir şekilde geniş bir alana yayılmasını sağlar. Bu şekilde bölgesel göçmeler önlenmiş olur. Takviye edilmiş olan asfalt tabakaları daha yüksek dinamik taşıma mukavemetine sahip olur [12].

Bir kısım geosentetikler yapıştırma tabakasını emerek geçirimsiz bir tabaka oluşturarak temel, alt temel ve tabana su sızmasını önleyerek kaplama stabilitesini artırır [4].

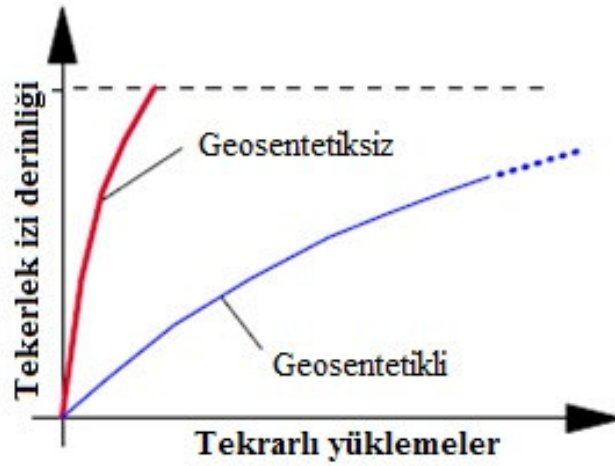
Yol genişletmelerinde eski ve yeni asfalt tabakaları arasındaki birleşim yerlerinde (ek yerlerinde) kullanılan geogrid iki asfalt tabakası arasında köprü görevi görerek çatlaklardan gelecek gerilmeleri absorbe eder ve farklı oturmalarından kaynaklanabilecek problemleri engeller [41].



**Şekil 4.47:** Çatlaklı bozulmuş üstyapı üzerine geogrid uygulaması [31].

Üzerine asfalt kaplama yapılacak yollarda sıcaklık farkından kaynaklanan genleşme farkı, betondaki derzler üzerinde (asfalt tabakasının tabanında) çatlaklar meydana getirebilir. Yoldaki trafik etkisiyle tabanda meydana gelen süreksizlikler yol yüzeyine yansıyabilmektedir. Geogridler, beton yolların derz noktalarında meydana gelecek çekme gerilmelerini absorbe ederek kaplamada yansıma çatlaklarının oluşmasına engel olmaktadır [41].

Yeni asfalt kaplama tabakaları arasında geosentetik donatı gridleri kullanılarak yolların hizmet ömürleri uzatılabilmektedir [41].



**Şekil 4.48:** Geosentetik kullanımının kaplama ömrüne etkisi [19].

Yollarda yeni açılan veya yenilenen servis hendeği kenarlarında meydana gelebilecek çatlaklar asfalt tabakaları arasında kullanılan geogridler ile engellenebilmektedir [41].

#### 4.4 Geosentetiklerin Drenaj Yapılarında Kullanımı

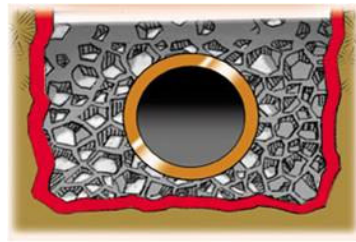
Yüksek geçirgenlikleri olan geotekstiller; yağmur, yüzey altı ve yüzey suyu drenajları dahil olmak üzere çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Böylece, uzun ömürlü ve düşük maliyetli drenajların yapılması sağlanabilmektedir [4].

Geotekstillerin drenaj sistemlerinde kullanılmaları ile sağlanan avantajlar arasında; agrega filtresinin fazla olan kalınlığının oldukça azaltılabilmesi, geotekstilin kolayca yerleştirilmesi, filtre kalitesinin kontrolü, geotekstil kullanımı ile toplayıcı boruya olan ihtiyacın azalması, uygun derecelenmemiş agrega kullanımının mümkün hale gelmesi, ucuz nakliye ve daha az doğal agrega ihtiyacı yaratılması, işçilik maliyetleri ile birlikte bakım masraflarının azalması sıralanabilir [1].

Geotekstilin filtrasyon ve drenaj fonksiyonları arasındaki temel fark, filtrasyon amacıyla geotekstil kullanımı geotekstilin yüzeyine dik akım koşullarında, drenaj amacıyla geotekstil kullanımı ise geotekstilin yüzeyi içinde akım koşullarında meydana gelmesidir [4].

##### 4.4.1 Geosentetiklerin yüzey altı drenajlarında kullanımı

Geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşılık belirlenmiş en küçük tane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Geotekstilin yerleştirilmesinden sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince taneli zemin de taşınır. İlk etapta taşınan bu malzeme geotekstilden mutlaka geçmelidir. Böylece, geotekstilin karşısında içerisinde ince taneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu doğal olarak elenmiş filtre tabakası işlevi görerek küçük parçacıkların geotekstile doğru hareketini önler. Eğer bu ince taneler geotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akışına engel olmamak ve boşluk suyu basıncı oluşumunu önlemek için, geotekstilin geçirgenliği en az zeminin geçirgenliği kadar olmalıdır [1].



Şekil 4.49: Geotekstil sarımlı drenaj kesiti.

Geotekstillerin filtre tasarımı için,

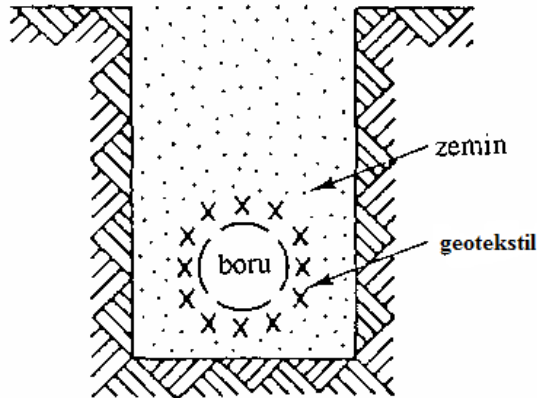
- Zemin taneciklerinin geotekstil tarafından tutulması (filtre ölçütü)
- Yer altı suyunun rahatlıkla geçirilmesi (permeabilite ölçütü)
- Dren yapısının ömrü boyunca hizmet etmesi (tıkanma direnci ölçütü)

göz önüne alınmalıdır [5].

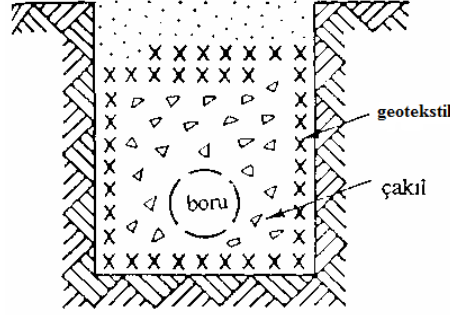


**Şekil 4.50:** Geotekstil sarımlı yerlatı drenaj yapısı [18].

Geotekstil zemin içindeki perfore drenaj borularının etrafına sarılarak, zemindeki sıvıyı geçirirken yandaki zeminin danelerinin borunun içine taşınmasına izin vermez. Ayrıca perfore boruyu hem yerleştirilmesi sırasındaki hem de yerleştirildikten sonra gelebilecek etkilerden korur [4].



**Şekil 4.51:** Geotekstille sarılmış perfore boru [4].



**Şekil 4.52:** Boru etrafındaki çakılın geotekstille sarılması [4]

Geotekstil kullanılması ile ince filtre tabakası teşkiline gerek kalmadığı gibi agrega, filtre tabakasının filtrasyon, tane tutabilme işlevi kalmadığı için gradasyonlu, permeabilitesi çok yüksek malzeme kullanılabilir. Drende boruya gerek kalmayabilir veya daha dar bir dren yapılabilir [4].

Geotekstil filtrelerin önemli avantajlarından bazıları; çekme kuvvetlerine karşı mukavemet göstermeleri, hızlı ve kolay bir biçimde uygulanır olmaları, granüler filtrelerin inşaatlarının zor olması, geotekstillerin fabrikasyon oldukları için özelliklerinin homojen olmasıdır [4].

Her drenaj yapısı, drenaj fonksiyonuna engel olan ince toprak tanecikleri tarafından tıkanmalara karşı korumalı olmalıdır. Bunun için seçilecek geosentetiğin yüksek su geçirgenliği ve optimum boyuttaki filtrasyon açıklığı belirleyici unsurlardır [18].

#### **4.4.1.1 Filtrasyon ilkeleri**

Geotekstil filtrelerin tasarımı, öncelikle temasta olacağı zemin durumu, kullanılacağı yer (yol drenajı, demiryolu drenajı, yapısal drenaj vs.) ve kullanılacak geotekstil çeşidini gerektirir [47].

Geotekstil filtrelerin hesabında iki husus dikkate alınır: zemini tutma ve permeabilitesidir [47].

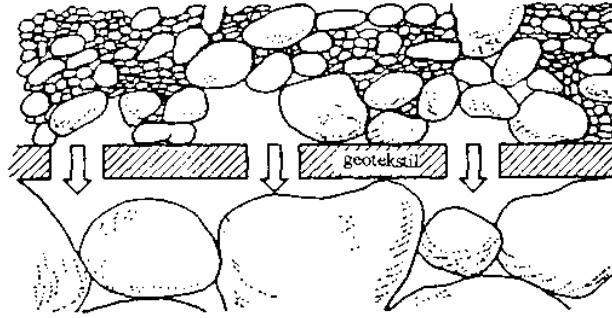
Zemin filtresinin stabilitesi geotekstilin iki temel özelliğinden etkilenir [4]:

- Geotekstilin gözenek büyüklüğü
- Geotekstilin geçirgenliği (permeabilitesi)

Geotekstilin gözenek büyüklüğü, taşınabilecek en büyük dane boyutunu verir. Geotekstilin permeabilitesi ise hem bu boyutla hem de birim alandaki gözenek

sayısıyla ilgilidir. İyi bir filtrasyonda geçirgenlikteki düşüş kritik bir değere ulaşmamalıdır [4].

Geotekstilin gözeneklerinden daha küçük olan zemin daneleri, geotekstilin içinden taşınırken, gözeneklerden daha büyük olan daneler geotekstilin akış yukarı tarafında köprülenme diye tabir edilen bir yapı oluşturur. Akış devam ederken giderek artan miktarda zemin daneleri köprülenmeye ilave olur. Bu işlem danelerin taşınmasının sonlanıp sistemin bir dengeye ulaşmasına kadar sürer [4].



**Şekil 4.53:** Köprülenme oluşumu [4].

Bloklanma ise yine geotekstil filtrelerin uzun dönemli akış sırasında karşılaştığı bir mekanizma olup, geotekstilin gözeneklerinin kısmi olarak zemin daneleriyle kapanması ve bu sebeple sıvı geçirgenliğinin azalmasıdır. Tıkanma ise zamana bağlı olarak, filtre geotekstilin boşluklarına ince danelerin tamamen ya da kısmen taşınıp orada kalarak sistemin geçirimliliğini (permeabilite) düşürmeleridir [4].

#### **4.4.1.2 Panel (perde) drenler**

Geokomkozit panel drenlerin performansı suyu hızlı toplayıp iletme kabiliyetinde görülür. Örgüsüz geotekstille sarıli delikli HDPE borudan oluşan panel, suyun akışını sıralı oval şekilli kanalları vasıtasıyla yatay ve düşey olarak gerçekleştirir [48].

Örgüsüz geotekstil filtre görevi görerek zemin partiküllerinin suyun akışını sağlayıp uygun çıkışa taşınmasını sağlayan kanalları tıkamasını önlemektedir. Panel drenlerde bulunan örgüsüz geotekstil, delikli borulu drenaj sistemlerinde filtre malzemesi olarak kullanılan agrega malzemesinin kullanılma zorunluluğunu ortadan kaldırmaktadır. Aynı zamanda temiz ve uygun filtre malzemesinin bulunmadığı ya da pahalı olduğu durumlarda panel drenajlar uygun bir çözüm olabilmektedir [32].

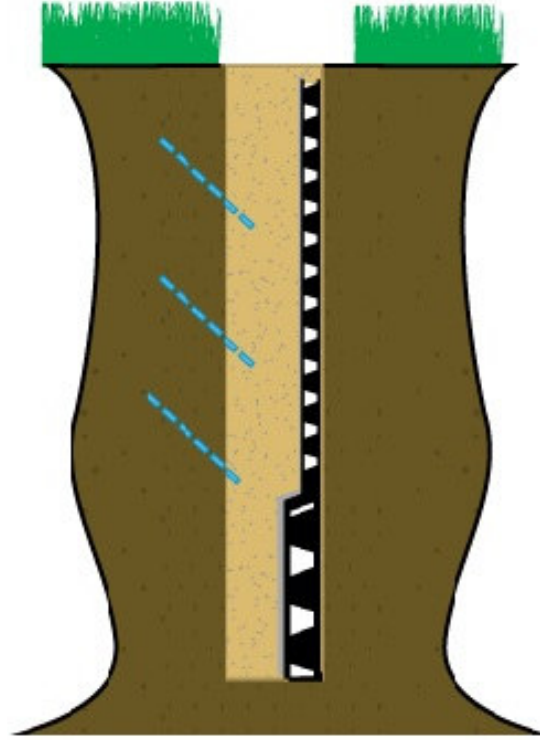


**Şekil 4.54:** Yol kenarına geokompozit panel dren uygulaması [48].

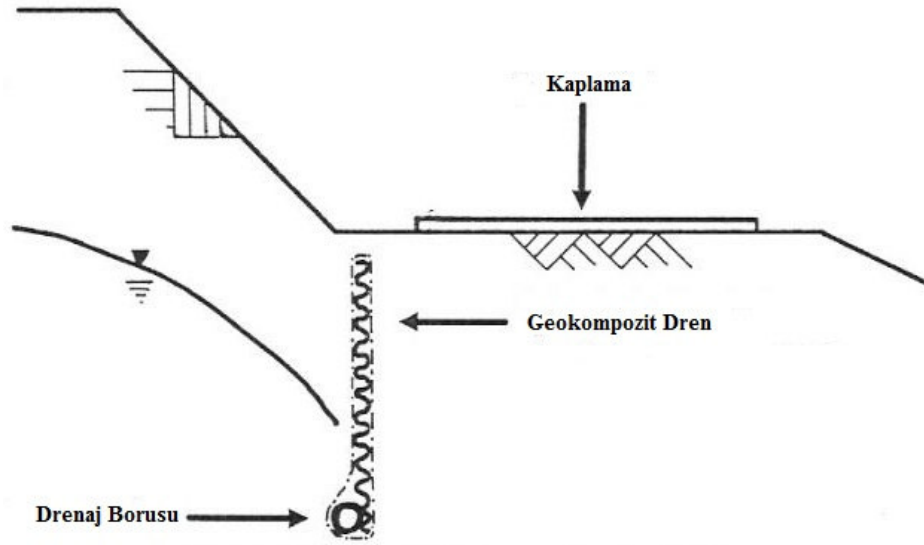


**Şekil 4.55:** Yol kenarına geokompozit panel dren yerleştirilmesi [32].

Panel drenajlarda suyun toplanıp hızlı bir şekilde tahliyesini sağlamak amacıyla alt tarafı daha büyük profilli olarak da tasarlanabilmektedir [32].



**Şekil 4.56:** Geokompozit panel dren kestinden bir örnek [32].



**Şekil 4.57:** Yol kenarında geokompozit panel dren uygulama kesiti [45].

#### 4.4.2 Hendek kanallarda geohücre uygulaması

Beton hendek kaplamalarda beton dökümünden önce yerleştirilen geohücreler donatı fonksiyonu görerek zayıf zeminler üzerindeki muhtemel oturmaların ve dolayısıyla oluşabilecek çatlakların önlenmesinde büyük fayda sağlamaktadır.

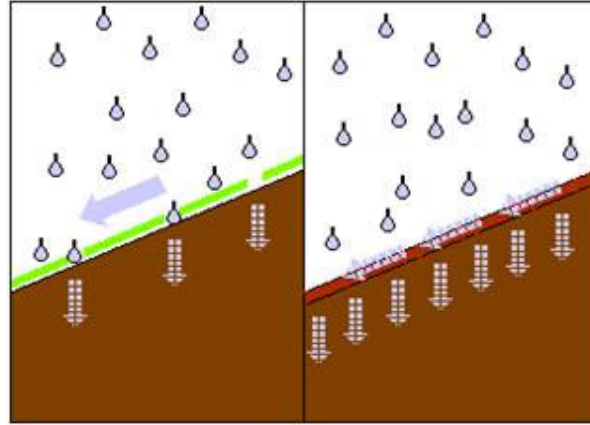


**Şekil 4.58:** Geohücre kullanılmış trapez hendek kanal [27].

#### 4.5 Geosentetiklerin Erozyon Kontrolünde Kullanımı

##### 4.5.1 Yarma ve dolgu şev erozyonuna karşı kullanımı

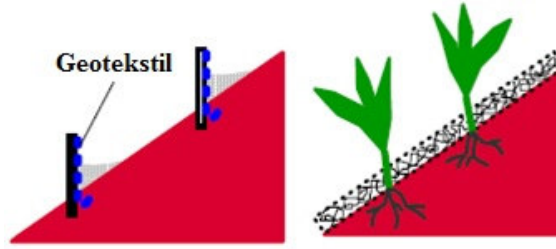
Drenaj yapılarında olduğu gibi, geotekstiller suyun geçmesine izin vermekte fakat zemin taneciklerinin geçmesine izin vermeyerek filtre görevi yapmaktadır.



**Şekil 4.59:** Şevlerde geotekstilin filtre görevi.

Şevlerdeki yüzey tabakası içinde veya üzerinde kullanılan geotekstiller yüzeydeki bu tabakanın yağmur etkisiyle akmasını ve bozulmasını önler, erozyonu azaltır [7].

Erozyon kontrolü ile rüzgâr ve suyun toprağa verdiği zarar önlenir. Geosentetikler erozyona maruz yerlerde kuvvetli bitkilendirme yapılabilmesine olanak verir. Kullanılacak geosentetik toprağı tutup, suyu drene edecek bir yapıya sahip olmalıdır [6].



**Şekil 4.60:** Şevlerde geotekstil uygulama örnekleri.



**Şekil 4.61:** Erozyon kontrol amaçlı geosentetik kullanımı [23].

Erozyon kontrolü çalışmalarında geosentetiklerin kullanılmasıyla son derece başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu amaçla geosentetik malzeme, erozyondan korunacak şeve serilmekte, tohumlama yapılarak üzerine ince bir toprak örtülmektedir [15].



**Şekil 4.62:** Bir çeşit erozyon kontrol uygulaması [23].

Geosentetikler yukarıdaki şekilde olduğu gibi, bitki ekiminden sonra yüzeyde bitkilenme olana kadar setlerdeki hafif yüzey erozyonunu engellemekte de kullanılabilir [23].



**Şekil 4.63:** Erozyon kontrol matından bir örnek [23].

#### 4.5.2 Kıyı şev korumasında kullanımı



**Şekil 4.64:** Filtre şilte uygulaması, Port Kembla (Avusturalya) [23].

##### 4.5.2.1 Kıyı tahkimatları

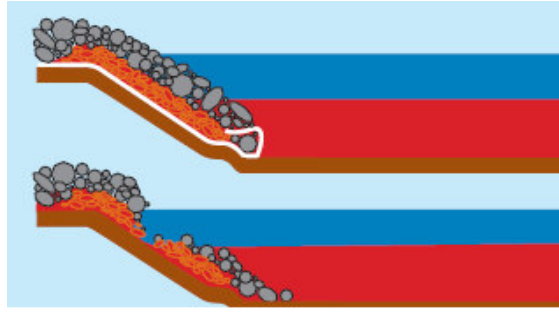
Kayı Tahkimatları kaplama taş veya beton gibi kıyı koruması için yapılan eğimli yapılardır. Doğal kıyı yapısını, yamaçları ve diğer kıyı sistemlerini erozyondan korumak dalga aşmasını veya dalga yansımalarını azaltmak için yapılan yapılardır.

Kıyı tahkimatları;

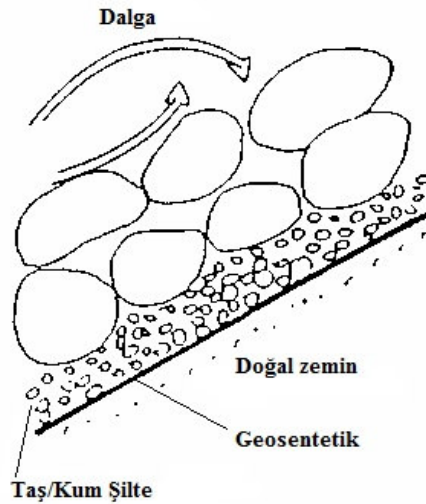
- Koruma tabakası,
- Filtre,
- Topuk' dan oluşur [29].

Pere ( riprap), blok ve hasır blok ( block mats) , gabion ve şilte ( mattress) asfalt veya beton levha veya herhangi geleneksel koruma veya kaplama malzemesinin altında kalan filtre tabakası, zeminin dalga etkisi ile yıkanarak erozyona uğramaması için taneli ( granüler) ve/ veya geotekstil malzemesinden oluşur [29]. Uygulama sırasında geotekstilin riprap taşlarından ya da beton bloklardan zarar görmemesi için üzerine kum serilir [4].

Bu tip uygulamalarda kullanılan geotekstil, kaba ve ince filtre malzemelerini etkili bir şekilde ayırır, dalga hareketlerinden ortaya çıkan emme gücüyle ince malzemenin kaba malzemeye karışmasını engeller [46].



**Şekil 4.65:** Kıyı koruma yapısında geotekstil filtre uygulaması [46].



**Şekil 4.66:** Geosentetikli kıyı koruma yapısından bir kesit [4].

#### 4.5.2.2 Geotüp uygulaması

Geotüpler kıyı ve kıyı şevlerinin dalga erozyonuna karşı korunmasında kullanılan ve içleri genelde kum malzemeyle doldurulan geosentetik tüplerdir.



**Şekil 4.67:** Kıyı koruma amaçlı geotüp uygulaması [49].

#### 4.6 Geosentetiklerin Kaya ve Taş Düşmelerine Karşı Kullanımı

Kaya ve taş düşmelerine karşı geliştirilen önlemlerde dikkate alınan hususlar; mevcut şevin morfolojik yapısı, etraftaki tehlike altındaki yapılar, aşağıda kalacak karayolunun önemi ve trafik yoğunluğudur. Genel olarak kaya ve taş düşmelerine karşı geliştirilen çözümlerin başında yüzeyden kopup gelebilecek muhtemel düşmelere karşı kaya şev yüzeylerinin kaplanması, yüzey kaplamasının mümkün olmadığı ya da ekonomik olmadığı yerlerde düşme olasılığı olan noktaların önüne özel kaya tutucu bariyerlerin inşasıdır [23].

Yüzey kaplamasında kullanılan malzemeler, her türlü çelik grid malzemeleri, bunların çelik halatlar ile güçlendirilmiş tipleri, değişik tipte ve özellikte ankrajlar, PVC kaplı tel ağlar, geosentetik gridler kullanılabilmektedir [23].



**Şekil 4.68:** Yüzey kaplamasında grid uygulaması [44].

#### 4.6.1 Geogrid donatılı kaya tutucu bariyer

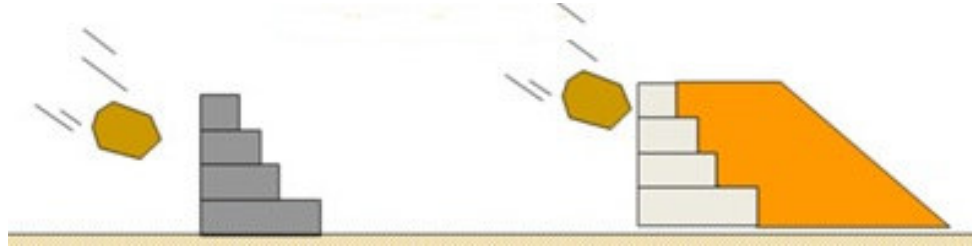
Kaya tutucu bariyerlerin esnek dolgu malzemesiyle yapılan bazı tiplerinde geogridler donatı görevi görürler.

Kaya Tutucu Bariyer Yapımında aşağıdaki parametreler dikkate alınır [23]:

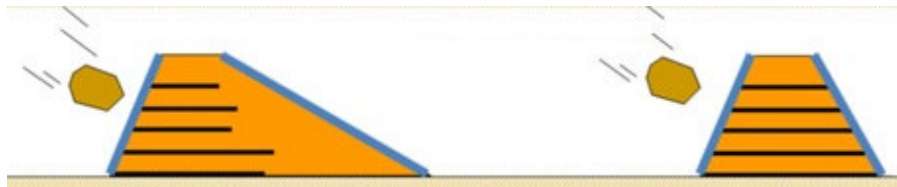
- Düşme enerjisi
- Düşüş hızı
- Çarpma yüksekliği
- Şev boyunca doğru noktanın tayini
- Uygulama esnasında oluşacak problemler

Bariyer tasarımında düşmesi muhtemel blokların düşmesi özel bilgisayar programları ile canlandırılarak, düşme enerjileri ve düşme rotaları belirlendikten sonra maksimum sıçrama yüksekliği dikkate alınarak doğru malzeme seçimi yapılır [23].

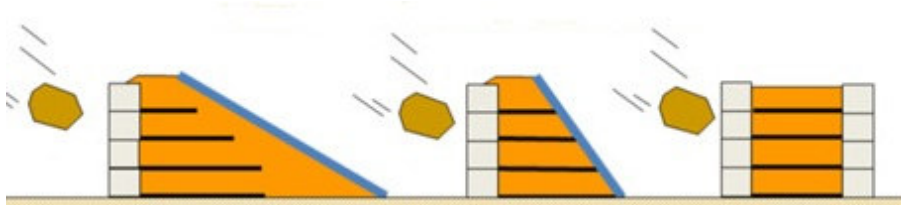
Aşağıda özel bilgisayar programı ile yapılmış düşme animasyonu farklı bariyer tiplerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.69: Gabion bariyerler [23].



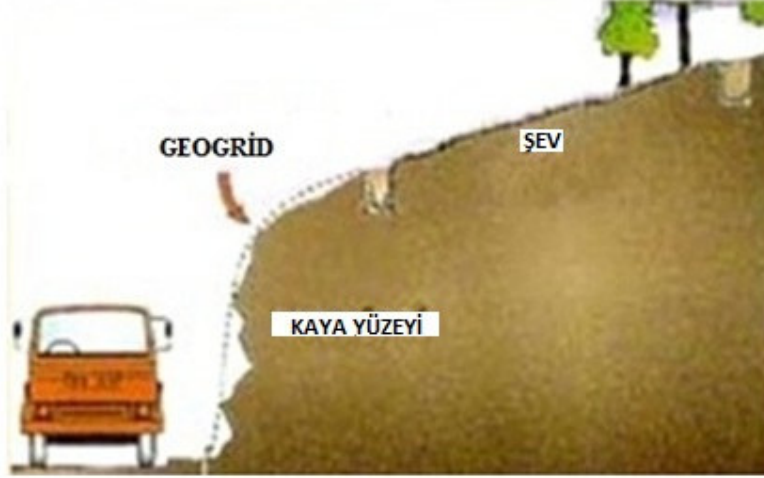
Şekil 4.70: Geogrid donatılı bariyerler [23].



Şekil 4.71: Gabion+Geogrid donatılı bariyerler [23].

#### 4.6.2 Geogridlerin kaya şev yüzeylerinde kullanımı

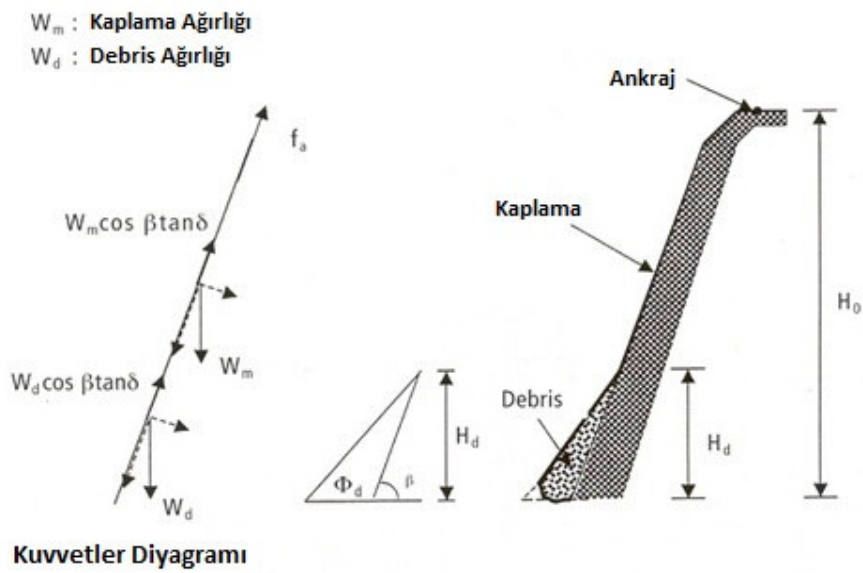
Kaya şev yüzeylerinde kullanılan geogridler kaya şev yüzeylerini tutarak korumakta ve kaya parçalarının yola düşmesine engel olarak emniyeti de sağlamaktadır.



Şekil 4.72: Kaya şev yüzeyine geogrid uygulama kesiti.

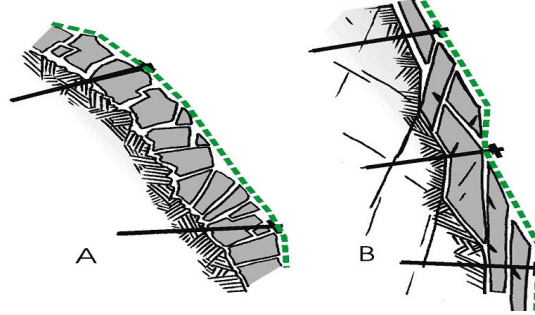
Yapılacak ankrajlara gelecek yükler hesaplandıktan sonra ilgili gözenek açıklığına ve tel kalınlığına karar verilmektedir [23].

Yüzey kaplama malzemesinin altında birikecek debris malzemesi uzun dönemde sistemin taşıyıcılığına negatif yönde etki edebileceği için altta biriken malzemenin kaplama malzemesine oluşturduğu kuvvetlerin de hesaplanması gerekir [50].



Şekil 4.73: Kaya şev yüzeyine kaplama tasarım elemanları [23].

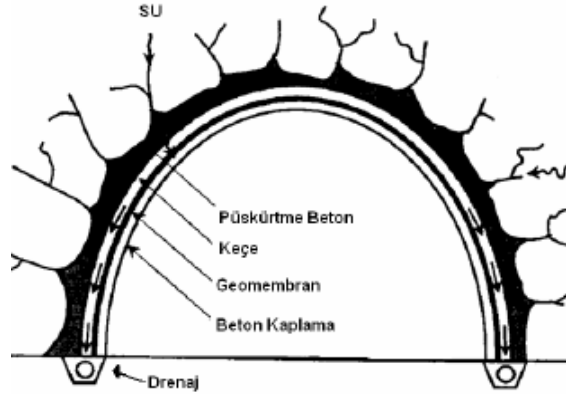
Düşmesi muhtemel kayaç kütlesi şev saran bir kabuk olarak düşünülerek, tasarım ankraj+kaplama malzemesinin belirtilen kabuktan gelecek yükü taşıyıp taşımadığı kontrol edilip fiziksel denge belirli güvenlik faktörleri ile sağlanmaktadır [50].



**Şekil 4.74:** Kaya şev yüzeyinde kaplama-ankraj kesiti [23].

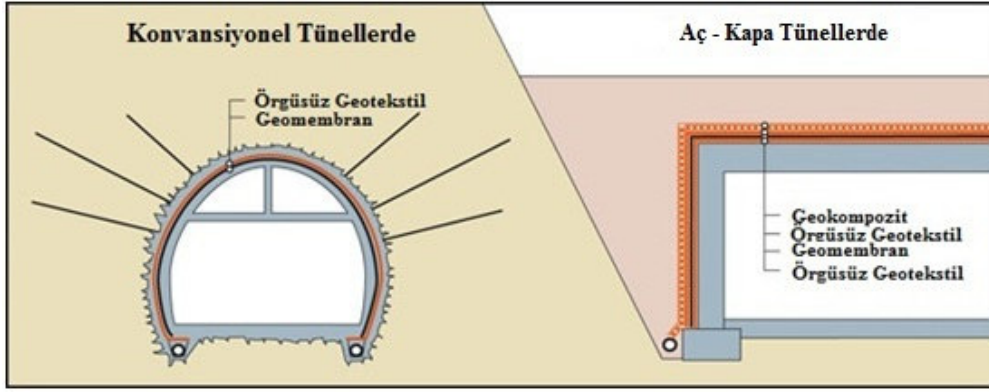
#### 4.7 Geosentetiklerin Karayolu Tünellerinde Kullanımı

Tüneller zemin suyu probleminin en çok karşılaşıldığı mühendislik uygulamalarından biridir. Geosentetikler zemin suyunun tünel içine girmesini önlemek ve suyun drenajını sağlamak için kullanılır. Süzülen su, geomembranın oluşturduğu bariyer tabakası sayesinde tünel kenarlarındaki drenaj kanallarına yönlendirilir. Bu kanallar yardımıyla suyun yapıdan uzaklaştırılması sağlanır [10].



**Şekil 4.75:** Geotekstil uygulanmış bir tünel kesiti [31].

Konvansiyonel tünellerde kullanılan (Örneğin: NATM/Yeni Avusturalya Tünel açma Yöntemi) örgüsüz geotekstillerin asıl amacı yalıtım membranını (geomembran) korumaktır. Yüzey pürüzlerini yumuşatarak, yalıtım membranlarının hasar görmelerini engelleyerek su yalıtım sisteminin uzun ömürlü olmasını sağlar. Bunun yanında alkaliklere karşı uzun süreli direnç ve drenaj fonksiyonu da sayılabilir [18].



**Şekil 4.76:** Konvansiyonel ve aç-kapa tünellerde geosentetik uygulama örneklerinden kesitler [18].

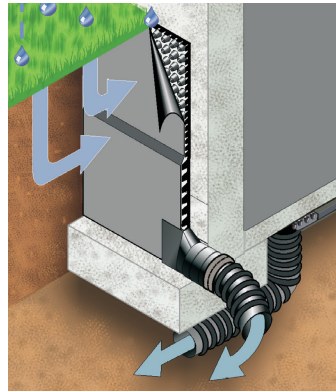
Aç-kapa tünelleri değişik gereksinimleri yerine getirebilen, çok tabakalı kaplama sistemlerine ihtiyaç duyar. Yalıtım membranının sürekli korunmasını örgüsüz geotekstil sağlar. Kolay yerleştirilebilen drenaj geokompozitleri ise yüksek sürşarj yükleri altında bile sızıntı sularının etkili drenajını sağlar [18].

Tünellerde geosentetik malzemeler, kaya yüzeyi ve beton yapı arasında yastıklama tabakası ve püskürtme beton (shotcrete) için tutma tabakası (özellikle eski tünel tamiratlarında) olarak da kullanılabilmektedir [51].

#### 4.8 Geosentetiklerin Köprü, Altgeçit ve Koruma Yapılarında Kullanımı

##### 4.8.1 Yalıtım ve koruma amaçlı kullanım

Tünellerde olduğu gibi altgeçitlerde de yalıtım, drenaj ve koruma amaçlı çeşitli geosentetikler kullanılmaktadır.



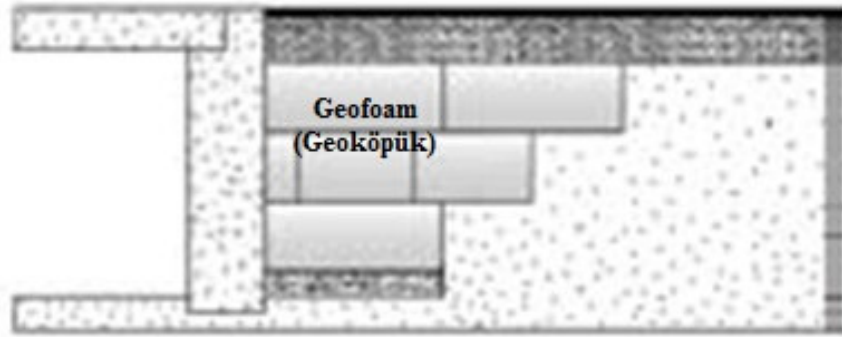
**Şekil 4.77:** Altgeçitte drenaj amaçlı geokompozit uygulama örneğinden kesit [32].

#### 4.8.2 Köprü yaklaşım dolgularında ve köprü ayaklarının etrafında geotekstil uygulaması

Köprü ayaklarında ve köprü yaklaşım dolgularında çok farklı amaçlarda ve türde geosentetik uygulamaları yapılmaktadır.

Almanya-Ilseburg'ta Ilse nehri üzerindeki K 1355 köprüsünün kenar ayağı donatılı zemin uygulamasıyla yapılmış 2000 yılında hizmete açılmıştır. O günden buyana, yapılan inklinometre (yanal deformasyonu ölçen alet) ve seçilen noktalardan yapılan deformasyon ölçümlerinde yatayda hareket 1-2 mm ve düşeyde ise 4-8 mm arasında gözlenmiştir.

Aşağıdaki resimlerde ise köprü yaklaşımlarında ve kenar ayaklarında uygulanan diğer geosentetik uygulamalarından bazıları görülmektedir.



Şekil 4.78: Köprü yaklaşımında kullanılan geoköpük [37].



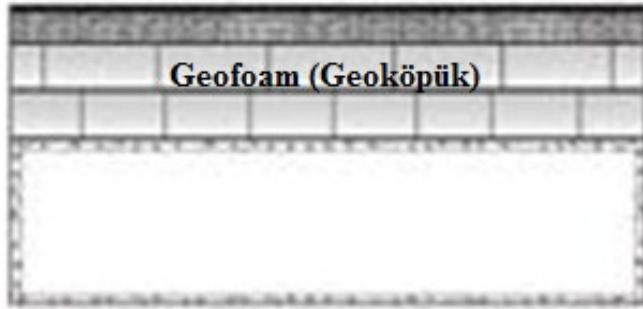
Şekil 4.79: Köprü altında şev koruma amaçlı betonla doldurulmuş geohücre uygulaması [21].



**Şekil 4.80:** Köprü altında kırmataşla doldurulmuş geohücre uygulaması [21].

#### **4.8.3 Yapılar üzerindeki dolgu yükünü azaltma amaçlı geoköpük uygulaması**

Sanat yapıları üzerinden geçen yol kesimlerinde yapıya etki eden yol gövdesinin ağırlığını azaltmak amacıyla geoköpükler kullanılabilir. Bu durum günümüzde halen kullanılmakta olan tarihi köprü, kanal, menfez vb. yapılarda geofomlar yük azaltıcı görevi görebilmektedirler.



**Şekil 4.81:** Sanat yapısı üzerinde geoköpük uygulama kesiti [37].

#### **4.9 Geotekstil Donatılı Kazık (Geotekstilli Kazık-Geotekstil Kapsüllü Kazık)**

Özellikle çok yumuşak killi zeminlerde kazıklara ve taş kolonlara alternatif olarak, geosentetik kapsül içerisine kum ya da çakıl doldurulmasıyla oluşturulan kolonlardır. Geotekstil donatılı kazıklar, kazıklara oranla daha düşük maliyetli ve geçirimsizlikleri (permeabilite) daha yüksektir. Taş kolonlarla karşılaştırıldığında ise hidrolik anlamda tıkanma risklerinin daha az olması, zemin içinde dağılma risklerinin olmaması ve çok yumuşak zeminlerde dahi uygulanabilmeleri sayılabilir [16].

#### 4.10 Geosentetiklerin Çevreye Etkileri

Günümüzde yamaç ve şev iyileştirmelerinde bitkilendirme uygulaması çevreci olması nedeniyle tercih edilirken, bu uygulamanın bazen tek başına yeterli olmadığı durumlarda geosentetiklerle birlikte yapılan yeşillendirme çalışmaları başarılı örnekler oluşturmuştur.

Mühendislik ve peyzaj beklentilerini birlikte karşılayan bitki örtülü dik şevlerin inşası mümkün olmuştur [18].

Kaba bir ağ yapısındaki geosentetik, tohumların filizlenmesi için uygun ortamın oluşmasını sağlar. Böylece şev üzerinde, bitki tabakasının hızlı bir şekilde gelişmesi sağlanır [7].



**Şekil 4.82:** Bitki örtülü dik şev uygulaması [18].

Zeminin jeolojik özelliğinden dolayı (kaya, cüruf vb.) bitkilenmesi mümkün olmayan şevler geohücrelerle bitkilendirilebilmektedir. Dış hücreleri bitkisel toprakla doldurulup bitkilendirilmiş geohücreli şevler ya da duvarlar doğal renkleriyle de çevreye uyumu kolaylaştırır [27].

Geotekstil malzeme ve toprakla kaplanarak çimlendirilen şevler yeşil ve estetik bir görünüm kazanmaktadırlar.

Geosentetik donatılı şevlerle yerden tasarruf sağlanarak orman, tarla geçişlerinde daha az alana olumsuz etki oluşturmaktadır.



**Şekil 4.83:** Yaşayan duvar uygulaması [23].

Bitkilendirilmiş yaşayan duvar uygulamaları ile estetik görünüm ve güzel bir çevre elde edilmektedir [1].



**Şekil 4.84:** Bitkilendirilmiş ve çevreye uyumlu bohçalama sistem geosentetik duvar[23].

## 5. TÜRKİYE’DE YAPILAN GEOSENTETİK UYGULAMALARDAN ÖRNEKLER

### 5.1 Hasdal Kavşağı – Kemerburgaz - Yassıören Ayrımı Devlet Yolu

#### 5.1.1 İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı ve Tünel Giriş Portalı önü yaklaşım dolgusu geosentetik donatılı duvarlar

İstanbul Hasdal Kavşağı’nda TEM Geçiş Tüneli çıkış portalı ve giriş portalı önü yaklaşım dolgularında geogrid donatılı istinat duvarı yapılmıştır.

Uygulama yapılacak yerde mevcut şartlar, zemin durumu ve zemin etüd raporları incelenmiştir. Yapılan sondajlarda duvarın oturacağı kesimde grovak ve kireçtaşı formasyonları gözlenmiştir. Duvarın oturacağı zeminde yer altı suyuna rastlanmamıştır.

- Taban zemini özellikleri:

Grovak kireçtaşı formasyonu:

Birim hacim ağırlığı = 1,90 t/m<sup>3</sup>

İçsel sürtünme açısı = 33° 'dir.

- Dolgu özellikleri:

Grovak-kırmataş ve taş tozu karışımı malzeme:

Birim hacim ağırlığı = 1,90 t/m<sup>3</sup>

İçsel sürtünme açısı = 34°

Maksimum dane boyutu 12 mm ve 200 nolu elekten geçen malzeme oranı minimum %15 olmalıdır.

Burada en önemli husus dolgu malzemesinin kolayca sıkışabilir olması ve bilinen kurallara göre uygun bir şekilde sıkıştırılmış olmasıdır. Sıkıştırma kıstası olarak Standart Proktor %95 olarak alınmıştır.

Bu sistem için dört farklı enkesitte geosentetik donatılı duvar hesabı yapılmıştır. Sistemde üç tip geogrid kullanılmıştır. Proje MSEW programı ile çözülmüştür.

Yapılan taşıma gücü, kayma ve dönme tahkiklerine ait sonuçlar dört farklı enkesit tipi için aşağıdaki tablolarda gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1:** Enkesit-1 Uygulamasına ait analizler [54].

| <b>Analiz türü</b>  | <b>Statik Durum</b> | <b>Depremli Durum</b> |
|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Taşıma Gücü Tahkiki | 11,25               | 5,41                  |
| Kayma Tahkiki       | 3,42                | 1,38                  |
| Dönme Tahkiki       | 6,95                | 2,26                  |

**Çizelge 5.2:** Enkesit-2 uygulamasına ait analizler [54].

| <b>Analiz türü</b>  | <b>Statik Durum</b> | <b>Depremli Durum</b> |
|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Taşıma Gücü Tahkiki | 10,55               | 5,24                  |
| Kayma Tahkiki       | 3,21                | 1,36                  |
| Dönme Tahkiki       | 6,37                | 2,23                  |

**Çizelge 5.3:** Enkesit-3 uygulamasına ait analizler [54].

| <b>Analiz türü</b>  | <b>Statik Durum</b> | <b>Depremli Durum</b> |
|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Taşıma Gücü Tahkiki | 10,06               | 5,12                  |
| Kayma Tahkiki       | 3,07                | 1,34                  |
| Dönme Tahkiki       | 6,00                | 2,20                  |

**Çizelge 5.4:** Enkesit-4 uygulamasına ait analizler [54].

| <b>Analiz türü</b>  | <b>Statik Durum</b> | <b>Depremli Durum</b> |
|---------------------|---------------------|-----------------------|
| Taşıma Gücü Tahkiki | 9,42                | 4,95                  |
| Kayma Tahkiki       | 2,90                | 1,32                  |
| Dönme Tahkiki       | 5,55                | 2,16                  |

Kullanılan geogridlerin fiziksel özellikleri aşağıdaki çizelgede gösterilmektedir.

**Çizelge 5.5:** Kullanılan geogrid fiziksel özellikleri [54].

| <b>Fiziksel Özellikler</b> | <b>Test Metodu</b> | <b>Veriler</b>                 |
|----------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Tür                        | ISO10320           | Tek doğrultuda çalışan geogrid |
| Şekil                      |                    | Oval boşluklu                  |
| Renk                       |                    | Siyah                          |
| Polimer çeşidi             |                    | HDPE                           |
| Ambalaj                    |                    | Etiketli rulo olarak           |

**Çizelge 5.6:** Kullanılan geogridlerin boyutsal özellikleri [54].

| Boyutsal Özellikler | Test Metodu | Birim            | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 |
|---------------------|-------------|------------------|-------|-------|-------|
| Delik boyutu MD     |             | mm               | 220   | 220   | 220   |
| Delik boyutu TD     |             | mm               | 13/20 | 13/20 | 13/20 |
| Birim ağırlık       | ISO 9864    | g/m <sup>2</sup> | 300   | 400   | 600   |
| Rulo eni            |             | m                | 1.0   | 1.0   | 1.0   |
| Rulo boyu           |             | m                | 100   | 75    | 50    |
| Rulo çapı           |             | m                | 0,35  | 0,35  | 0,35  |
| Rulo hacmi          |             | m <sup>3</sup>   | 0,130 | 0,123 | 0,123 |
| Rulo ağırlığı       |             | kg               | 30    | 30    | 30    |

İmalat sırasında duvar başlangıcında temel tabakası tesviye edilip sıkıştırılarak temel için hendek kazılarak grobeton dökülmüştür. Daha sonra geogrid serilerek üzerine ilk sıra blok yerleştirilerek, bloğun iç tarafına delikli drenfleks boru konulup üzerine 50 cm yüksekliğinde kırmataş filtre malzemesi dökülmüştür. Geogridler her 2 m<sup>2</sup>'de bir U çakma demiri ile sabitlenmiştir. Geogridler üzerine dolgu malzemesi 19 cm'lik tabakalar halinde serilip sıkıştırılmıştır. Drenaj dolgusu ve sıkıştırmalardan sonra ara geogrid (L=200 cm) serilmiş daha sonra ikinci sıra blok yerleştirilmiştir.

**Çizelge 5.7:** Kullanılan geogridlerin teknik özellikleri [54].

| Teknik Özellikler              | Test Metodu | Birim | Tip-1 | Tip-2 | Tip-3 |
|--------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|
| %2'lik uzamada çekme gerilmesi | ISO 10319   | kN/m  | 11    | 17    | 26    |
| %5'lik uzamada çekme gerilmesi | ISO 10319   | kN/m  | 25    | 32    | 50    |
| Maksimum çekme gerilmesi       | ISO 10319   | kN/m  | 45    | 60    | 90    |
| Akma uzaması                   | ISO 10319   | %     | 11,5  | 13    | 13    |
| Birleşim noktası gerilmesi     | GRI-GG2     | kN/m  | 36    | 50    | 80    |
| Uzun zamanlı tasarım kuvveti   | ASTM D5262  | kN/m  | 21.2  | 28.3  | 42,4  |



**Şekil 5.1:** TEM Geçiş Tüneli Giriş Portalı önü yaklaşım dolguları geogrid donatılı prefabrik bloklu duvar.

Kullanılan prefabrik beton blokların fiziksel özellikleri aşağıdaki çizelgede görülmektedir:

**Çizelge 5.8:** Kullanılan geogridlerin fiziksel özellikleri [54].

| ÖZELLİKLER     |              |
|----------------|--------------|
| Kalınlık       | 190 mm       |
| Blok boyutları | 190x315x370  |
| Blok ağırlığı  | 23 kg        |
| Renk           | Gri, kırmızı |

Prefabrik beton bloklar boşluklu yapıları sayesinde içine dolgu malzemesi alabilmekte ve böylece geogridin sisteme kilitlenmesini sağlayabilmektedir.

Prefabrik beton blokların sağlaması gereken teknik özellikler ise aşağıdaki gibidir:

- Minimum basınç mukavemeti: 24,5 MPa
- Maksimum su emme: %5
- Minimum et kalınlığı: 32 mm
- Blok yüksekliği toleransı:  $\pm 1,6$  mm'dir.



**Şekil 5.2:** Tünel yaklaşım dolgusunda geogrid donatılarının serilmesi.

Duvar yükseklikleri 4.5-8.5 m arasında değişmekte olup kullanılan geogridlerin uzunlukları da projede 5.5, 6.5 ve 8.5 m olmak üzere üç tipte seçilmiştir. Geleneksel betonarme istinat duvarına göre hem maliyet avantajı olmuş, hem de inşa süresi kısalımıştır.



**şekil 5.3:** TEM Geçiş Tüneli Giriş Portalı önu yaklaşım dolguları geogrid donatılı duvar yapımı.



**şekil 5.4:** Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı geogrid donatılı prefabrik bloklı duvar.

### 5.1.2 İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli

Tünelde Tünel iç yalıtımı geomembranla desteklenmiştir. Daha sonra üzerine ince sıva yapılmıştır. Aynı zamanda tünel tabanında kullanılan drenfleks borular geotekstil keçe ile sarılmıştır (Bkz. EK A.4).



Şekil 5.5: Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Giriş Portalı.



Şekil 5.6: Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli yalıtım uygulaması.



**Şekil 5.7:** Tünel iç yalıtımı tamamlanmış hali.

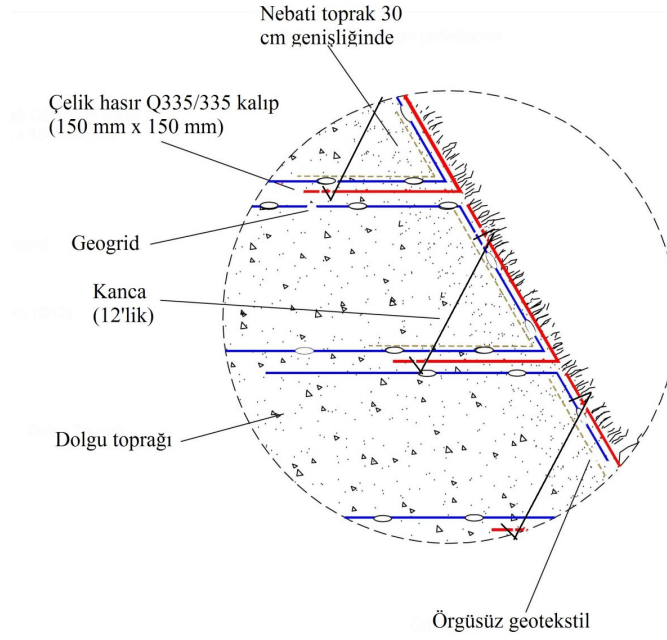
### **5.1.3 Bohçalama sistem duvar**

Hasdal Kavşağı-Kemberburgaz-Yassıören Ayrımı Devlet Yolunda yaklaşık 15 metre yüksekliğindeki bir dolgu kesiminde bohçalama sistemli geogrid donatılı duvar yapılmıştır. Ön yüzünün yeşillenebilmesi için ön yüz dolgusu nebati toprakla doldurulmuştur.

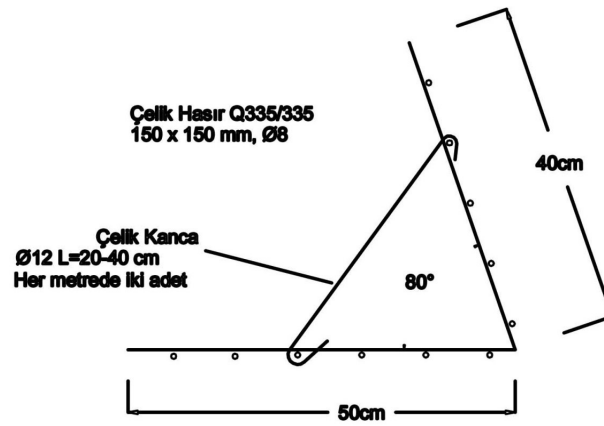
İmalatta önce temel tabakası tesviye edilip sıkıştırılmış ve çelik hasır kalıp elemanı birbirine 10 cm bindirilerek duvar başlangıç sınırına konulmuştur. Daha sonra 10 m uzunluğundaki geogrid çelik hasırın dışına taşacak şekilde düzgün bir şekilde serilerek U demirlerle (2 m<sup>2</sup>'de 1 adet) zemine sabitlenmiştir. Ardından örgüsüz geotekstil serilerek çelik kancayla sabitleme yapılmış ve uygun dolgu malzemesi 20cm'lik tabakalar halinde serilip sıkıştırılmıştır. Ön yüze 30cm'lik nebati toprak konulmuştur. Tabakanın dolgusu ve sıkıştırılması bittiğinde 2m'lik geogrid üste bohçalanmıştır.



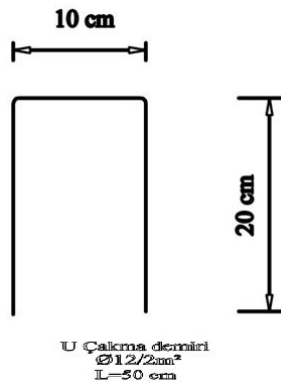
**Şekil 5.8:** Bohçalama sistem duvar görünüşü.



Şekil 5.9: Bohçalama sistem detayı.



Şekil 5.10: Çelik hasır kalıp detayı.



Şekil 5.11: U Çakma demiri detayı.



**Şekil 5.12:** Yüksek dolguda bohçalama sistemli duvar.

## **5.2 Baltalimanı – TEM Otoyol Kavşağı Yolu**

Baltalimanı-TEM Otoyol Kavşağı'nda geosentetik donatılı istinat duvarı uygulaması yapılmıştır. Bu sistemin yol dolgusu ile paralel yapılabilmesi sayesinde gövde dolgusu kısa bir zamanda tamamlandı. Ön kaplama prafabrik blok sistem ile gerçekleştirilmiş ve belli aralıklarla konulan kırmızı renkli bloklarla tatmin edici bir görsel sonuç elde edilmiştir. Duvarın çok yüksek olduğu kısımlarda ( $h=20-27$  m) sağlam olmayan zeminden dolayı oluşabilecek oturmaların yapı üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için ön yüz kaplama elemanları yerine erozyon geotekstili kullanılmasına karar verilmiştir [39].

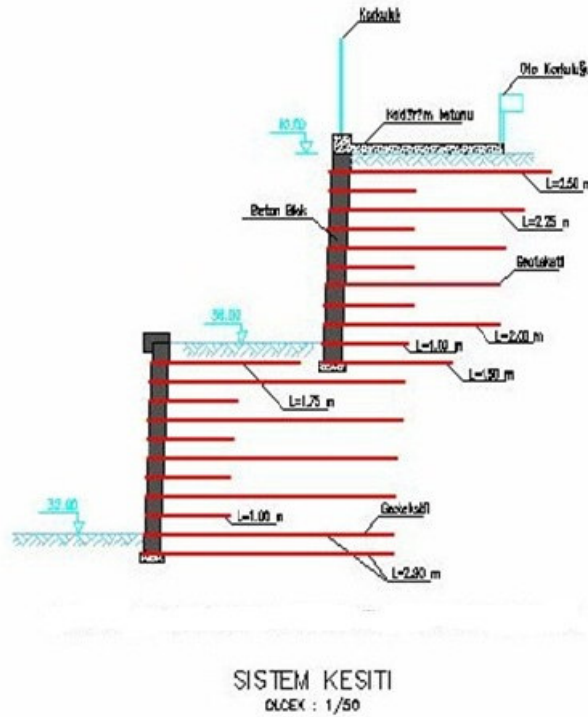
## **5.3 Antalya – Manavgat – Alanya Bölünmüş Yolu Manavgat Nehri Köprüsü Yaklaşım Dolgularında Düşey Bant Dren Uygulaması ve Geosentetik Donatılı Yaklaşım Dolgusu Duvarı**

Antalya-Manavgat-Alanya Bölünmüş Yolu Manavgat Nehri Köprüsü yaklaşım dolguları taban zemininde oluşacak oturmaların köprü kenar ayak kazıklarında negatif sürtünmeye neden olmaması ve yol trafiğe açıldıktan sonra üst yapıda oluşacak bozulmaların en aza indirilmesi için geosentetik düşey bant dren uygulaması yapılmıştır [52].



**Şekil 5.13:** Manavgat Köprüsü yaklaşım dolgusunda geosentetik donatılı istinat duvarı [11].

Aynı zamanda köprünün yaklaşım dolgularında geosentetik donatılı istinat duvarı uygulanmıştır [11]. Palyeli sistem uygulanarak duvarın tekdüze ve ezici yüksekliği görsel olarak kırılmıştır [39].



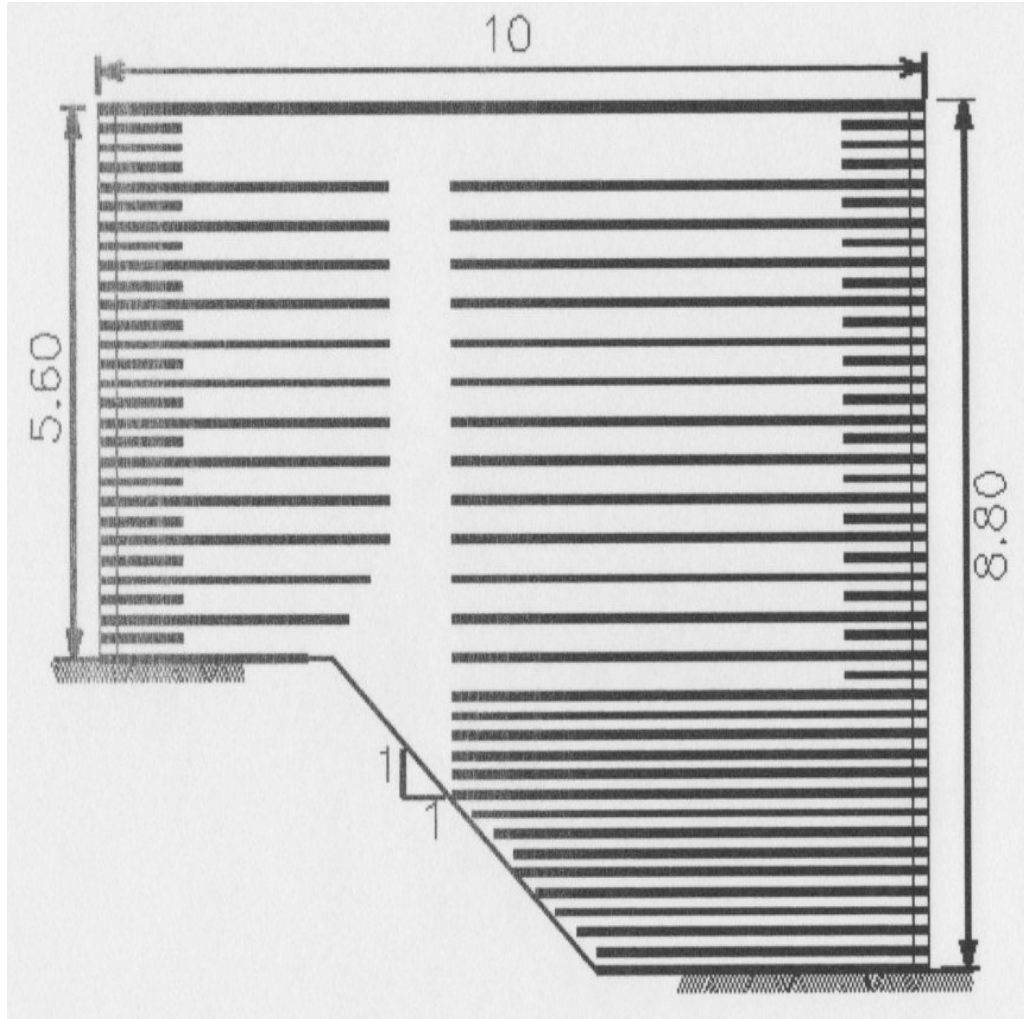
**Şekil 5.14:** Manavgat Köprüsü yaklaşım dolgusunda geosentetik donatılı istinat duvarı sistem kesiti [11].

#### 5.4 Nurbaba Altunizade Yolu Geosentetik Donatılı Duvar Projesi

Türkiye’de ilk geosentetik donatılı duvar Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından İstanbul’da Nurbaba Altunizade Yolu üzerinde 1997 yılında inşa edilmiştir [11].

Uygulama sırasında duvarın olası hareketlerini kontrol etmek için duvarın arkasına inklinometreler yerleştirilmiştir. İmalat tamamlandıktan sonra yapılan deformasyon ölçümlerinde herhangi bir deformasyon saptanmamıştır [11]. Ayrıca yine uygulama esnasında geotekstil donatılara gelen yüklerin kontrolü için ‘straingage’ ler yerleştirilmiş ve yapılan ölçümlerde donatılardaki gerçek yüklerin proje kabulleriyle uyumlu olduğu görülmüştür [53].

Bu uygulamada geosentetik donatılı duvar betonarme istinat duvarına göre %35 daha az maliyetli olmuştur [11].



Şekil 5.15: Nurbaba Altunizade Yolu Projesi sistem kesiti [11].

## 5.5 Geosentetik Kullanımının Maliyete Etkisi

Kullanılacak geosentetik malzemesi; uzun ömürlü, iklim koşullarına uyum sağlayabilen, uygulama kolaylığı olan, işçilik hatalarını en aza indiren ve aynı zamanda ekonomik olmalıdır.

Donatılı zemin yapıları geçisin sınırlı olduğu yerlerde yapılan dolgularda en ekonomik çözümler sunmaktadır. Yapı hacminin büyük bir bölümünü kaplayan zemin ucuz bir malzeme olduğundan donatılı zemin yapılarının maliyeti diğer yapılara oranla daha ucuzdur. Özellikle derin temel sistemine gereksinim duyulan rijit istinat yapılarının kullanılacağı yerlerde donatılı zemin yapısının kullanılması önemli maliyet avantajı sağlamaktadır. Donatılı zemin yapıları esnek olduklarından farklı oturma ve yatay deformasyonları tolere edebilmektedir. Bu nedenle toptan göçmeye karşı stabilite sağlayacak pahalı derin temel sistemleri gerekmemektedir [15].

Geosentetik malzemelerin kullanımı sonucu zeminin dayanımında meydana gelen artışlar çoğu projede fiyat/performans açısından özellikle kimyasal katkılara göre oldukça büyük kazanımlar sağlamaktadır [28].

Geosentetik donatılı şevlere donatı sayesinde, zahiri bir kohezyon kazandırılarak dik veya daha dik oluşturulmakta ve yerden kazanım sağlanarak ve istimplâk masrafları azaltılabilmektedir [1].

### 5.5.1 İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı Geogrid

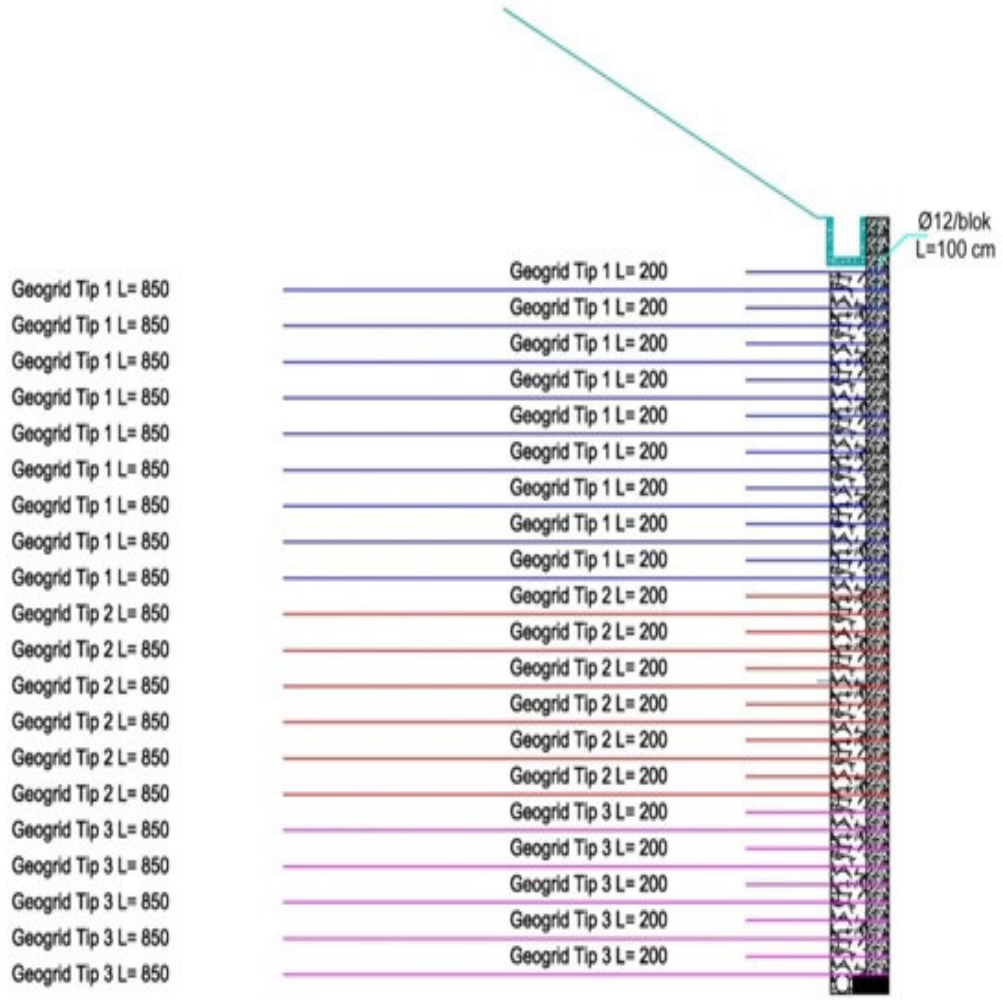
#### Donatılı Prefabrik Bloklü İstinat Duvarı Örneği

Burada Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı'nda yapılan geogrid donatılı istinat duvarı maliyeti ile yerine betonarme istinat duvarı yapılması durumunda oluşacak maliyet analiz edilmiştir.

Toplam maliyet belirlenirken Karayolları Genel Müdürlüğü'nün 2011 yılı birim fiyatları kullanılmıştır. Geogridler için ise yeni birim fiyatlar oluşturulmuştur.

Geogrid donatılı prefabrik bloklü istinat duvarı için hazırlanan metraj sayfası ve imalât miktarları keşif özeti EK A.1 ve EK A.2'de görülmektedir.

Aynı yüklemelere maruz, aynı yükseklik, aynı dolgu ve temel özelliklerine sahip olduğu farz edilen betonarme duvar için hazırlanan imalat miktarları keşif özeti ise EK A.3'de görülmektedir.

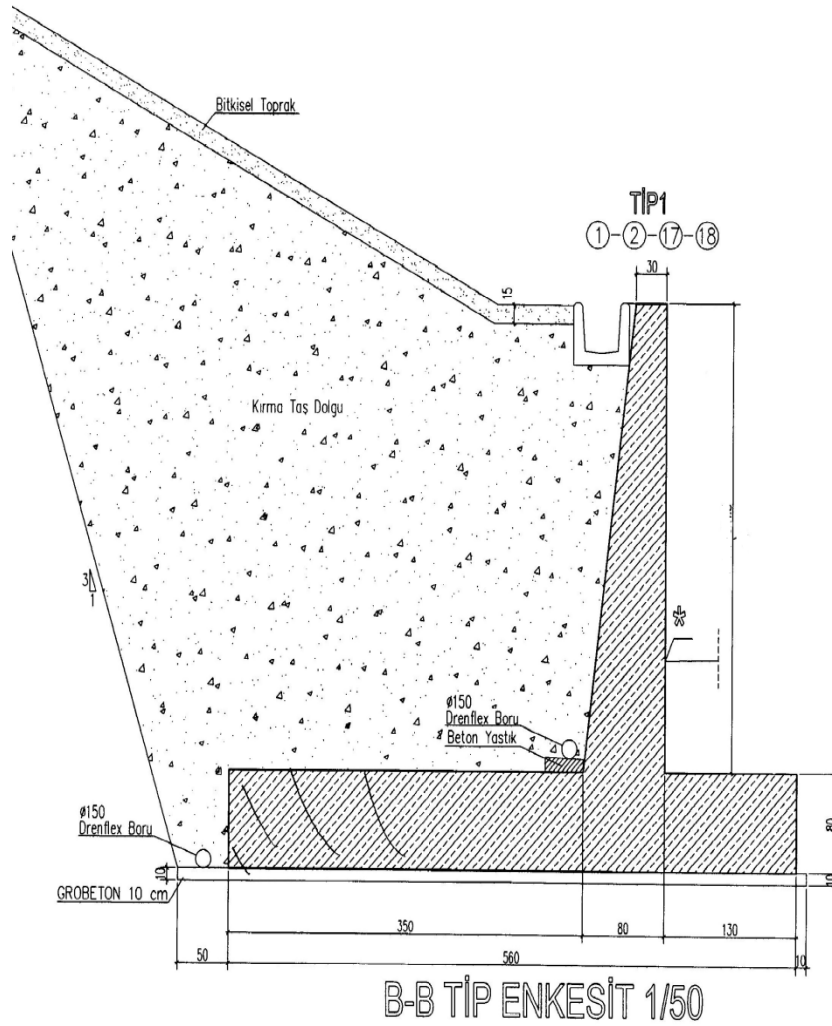


**Şekil 5.16:** TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı Geosentetik Donatılı Duvar Tip Enkesit-1.

Maliyet analizinin sonucunda geogrid donatılı prefabrik bloklu istinat duvarının daha ekonomik olduğu görülmektedir. Geogrid donatılı prefabrik bloklu istinat duvarının ekonomisi:

Ekonomi: [(Betonarme İstinat Duvar Maliyeti) – (Geogrid Donatılı İstinat Duvarı Maliyet) / (Geogrid Donatılı İstinat Duvarı Maliyet)]

Ekonomi: [(220098,03) – (171010,03) / (171010,03) = % 29 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 5.17:** Betonarme istinat duvarı yapılması durumunda oluşacak tip enkesit

### 5.5.2 Geosentetik Donatılı Dayanma Duvarı ile Betonarme Konsol Duvarının Maliyet Karşılaştırması

Yapılan bir çalışmada, 7 m yüksekliğinde, aynı yüklemelere maruz, aynı dolgu ve temel zemini özelliklerine sahip bir betonarme konsol duvarı ile geogrid donatılı dayanma duvarı tasarımı yapılarak maliyeti etkileyen etmenler göz önünde bulundurularak maliyet karşılaştırması yapılmıştır. Önceki çalışmalar tipik toplam maliyetin; genellikle yükseklik, donatı malzemesi ve seçilmiş dolgu malzemesi maliyetinin bir fonksiyonu olduğunu ortaya koyduğundan, her iki duvar tipi için yapılan maliyet analizinde temel olarak donatı malzemesi, dolgu malzemesi ve ön yüz kaplama elemanları gibi maliyet üzerinde birinci dereceden etkili olan

parametreler ile kalıp, kalıp iskelesi ve taban betonu gibi geçici ve daimi uygulamaları içeren faktörler göz önüne alınmıştır. Nakliye maliyetleri her iki duvar içinde dikkate alınmamıştır. Geogrid donatılı dayanma duvarında ön yüz kaplama elemanı olarak püskürtme betonu uygulanmıştır. Toplam maliyet belirlenirken Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın 2005 yılında yayınlamış olduğu birim fiyatlar ile Karayolları Genel Müdürlüğü'nün birim fiyatları uygulanmıştır [40].

Çalışmada, hem betonarme duvar (kazı hacmi, granüler arka dolgu malzemesi, kalıp, kalıp iskelesi, beton ve donatı miktarı) hem de geosentetik donatılı duvarda (kazı, sıkıştırılmış dolgu, geogrid donatı, ön yüz kaplama elemanı) 1 m duvar uzunluğu için maliyetleri etkileyen unsurlar ayrı ayrı belirlenip birim fiyatlarla çarpılarak toplam maliyet hesaplanmıştır [40].

Maliyet analizinin sonucu donatılı zemin duvarının %61 oranında bir ekonomi sağladığı görülmüştür [40].



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geosentetikler taban zemininin gerilme-şekil değiştirme ve mukavemet özelliklerini iyileştirir, zemin tabakalarının ayrılması önler ve zemin drenajını sağlar. Geosentetiklerin dolgu tabanlarında kullanımı uzun ve kısa vadeli stabiliteyi sağlar, oturma farklarını sınırlandırır ve kayma ve göçme hareketlerini önleyebilmektedir.

Geogrid donatılı zeminde kayma direnci artmakta, zemin-geogrid donatı kompozit sisteminin mekanik özellikleri iyileşmekte, buna bağlı olarak da sistemin rijitliği artmaktadır.

Geosentetik donatılı istinat duvarların özellikle yol yaklaşım yapıları, köprüler, derin temel sistemleri ve istinat yapıları gibi rijit yapı elemanları ile birlikte kullanılması son yıllarda giderek yaygınlaşmaktadır. Yapılan birim fiyat analizleri sonucu geosentetik donatılı duvarların klasik betonarme duvarlara oranla çok daha ekonomik olduğu bilinmektedir.

Temel güçlendirme uygulamalarında geosentetikler temelin içinde veya temel/alttemel altında gerilme elemanı olarak kullanılırlar. Bu yolun servis ömrünü uzatmakta ve/veya temel tabakasının kalınlığını azaltmaktadır.

Geosentetikler doğru kullanıldıkları zaman önemli teknik ve mali avantaj sağlamaktadırlar. İstanbul Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Çıkış Portalı'nda yapılan geogrid donatılı istinat duvarı maliyeti ile yerine betonarme istinat duvarı yapılması durumunda oluşacak maliyet analiz edilmiş ve geogrid donatılı prefabrik bloklu istinat duvarının daha ekonomik (%29) olduğu görülmüştür.

Ülkemizde, geosentetiklerin inşaat mühendisliğinde kullanımları ile ilgili var olan uygulama standartları genişletilmelidir. Bu alanda mevcut şartnameler yetersiz kalmakta ve ihtiyaca cevap verememektedir. Yapılacak yeni şartnamelerde geosentetiklerin deney yöntemleri açık bir biçimde belirtilerek bu deneyleri yapacak laboratuvarların geliştirilmesi için ilgili kuruluşların öncülük etmesi gerekmektedir.

Ülkemizde geosentetik ürünleri üreten firma sayısı son derece azdır. Geosentetikler genel itibariyle ithal ürünler olduklarından maliyetleri biraz yüksektir. Bu ürünlerin kullanımı yaygınlaştıkça bu alanda üretim yapan firma sayısı, üretilen ürün sayısı ve çeşitliği de artacağından maliyetler önemli oranda azalacaktır.

Bütün dünyada yol inşaatlarında kullanımı yaygınlaşan farklı teknolojik ürünler, bu alanda faaliyet gösteren öncü kuruluşlarımızca takip edilerek bunların ülkemizde de kullanımlarını sağlayacak çalışmalar gerçekleştirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Yılmaz, H. R., Eskişar T.**, 2007. Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı ve Sağlanan Faydalar, 2. *Geoteknik Sempozyumu*, 22-23 Kasım 2007, Adana.
- [2] **Şenol A., Gümüşer C., Bostancıoğlu M.**, 2008. Kaplamasız Yollarda Geotekstil ve Geogrid Kullanılması Durumunda Oluşan Fayda-Maliyet İlişkisinin İncelenmesi, *Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı*, 13-14 Kasım 2008, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [3] **Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı**, 2008. B.Ü., İstanbul, 13-14 Kasım.
- [4] **Benek M.B.**, 2006. Geotekstiller Üzerine Bir İnceleme ve Uygulama Örnekleri, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [5] **Tunç A.**, 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- [6] **Url-1** < <http://www.sams.com.tr> >, alındığı tarih 28.12.2010
- [7] **Dernek Ö.**, 1998. Geosentetikler ve Karayollarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [8] **Karagül B.Ç.**, 2007. Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] **Yılmaz H.R.**, 2007. Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin-Geosentetik Arayüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türleri İçin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [10] **Sağlam R.**, 2009. Karayolu Yapımında Geosentetik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [11] **Güler E.**, Geosentetik Donatılı İstinat Yapıları veya Geoduvar İle İlgili Uygulamaya Yönelik Bilgiler, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [12] **Yıldız L.**, 2005. Donatıyla Güçlendirilmiş Şevli Zemine Oturan Yüzeysel Temel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [13] **Örnek M.**, 2009. Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatıyla Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [14] **Kotan D.**, 2008. Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları ile Yamaçlarda Stabilitenin Artırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Özkol O.**, 2006. Geosentetik Donatılı İstinat Yapılarının Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [16] **Url-2** < <http://www.imoistanbul.org.tr> >, Güler E., Geosentetiklerin Özellikleri, Deney Yöntemleri, Hammaddeleri, Çeşitleri ve Kullanım Alanları, *Şubat 2011 Seminer*, İstanbul.
- [17] **Ö. Şerefoğlu E.**, Ulaştırma Yapılarında Geomembran Kullanımı Üzerine Bir Değerlendirme, *İzmir İnşaat Mühendisleri Odası, Bildiriler*.
- [18] **Url-3** < <http://www.tencate.com> >, alındığı tarih 28.12.2010
- [19] **Url-4** < <http://www.geosyntheticssociety.org> >, alındığı tarih 03.01.2011
- [20] **Url-5** < <http://www.surreygeosynthetics.com> >, alındığı tarih 17.02.2011
- [21] **Url-6** < <http://http://www.dep.state.pa.us> >, alındığı tarih 21.02.2011
- [22] **Url-7** < <http://geofoam.syr.edu> >, alındığı tarih 21.02.2011
- [23] **Url-8** < <http://www.geoart.com.tr> >, alındığı tarih 19.02.2011
- [24] **Url-9** < <http://www.ceteau.com> >, alındığı tarih 20.03.2011
- [25] **Fowler J., Ortiz C., Ruiz N., Martinez E.**, 2009. Use of geotubes in Colombia, South America, USA.
- [26] **Sert T., Akpınar M. V.**, 2011. Pullout Test Aleti ile Karayolu Alttemelinde Geogrid Performansının Araştırılması, *İMO Teknik Dergi*, 2011 5285-5304, Yazı 342.
- [27] **Url-10** < <http://www.geoproducts.org> >, alındığı tarih 22.02.2011
- [28] **Erdoğan D., Altun S.**, 2008. Kum/Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımının Kesme Kutusu Deneyleri ile Belirlenmesi, Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, İzmir.
- [29] **Url-11** < <http://www.ubak.gov.tr> >, alındığı tarih 22.02.2011
- [30] **Url-12** < <http://www.imtek.com.tr> >, alındığı tarih 22.02.2011
- [31] **Özben M.**, 2006. Yol Yapımında Geosentetik Malzemelerin Kullanımı ve Karayolu Teknik Şartnamesi, *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, 16-17 Kasım 2006, İstanbul.
- [32] **Url-13** < <http://www.americanwick.com> >, alındığı tarih 26.02.2011
- [33] **Url-14** < <http://www.interdrain.net> >, alındığı tarih 20.02.2011
- [34] **Url-15** < <http://www.geosentetikler.com> >, alındığı tarih 23.05.2011
- [35] **Url-16** < <http://www.dizayn.com> >, alındığı tarih 21.02.2011
- [36] **EPS HABER** Dergisi, 2011. Yıl:1-Sayı:2 , Aralık 2010, Ocak, Şubat 2011, s.12-13
- [37] **Url-17** < <http://www.geofoam.com> >, alındığı tarih 21.02.2011
- [38] **Berk B., Pekarun O., Çınar A., Doğanışık K.**, 2008. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Jetgrouting ve Fore Kazık Sistemleriyle Beraber Uygulanması, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi*, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [39] **Alper T.S., Tırnaklı Ş., Güler E.**, 2006. Geosentetik Donatılı Şevler Kullanarak Araç Yollarında Ek Şerit İmalatı, *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, 16-17 Kasım 2006, İstanbul.

- [40] **Çakır T., Aytekin M.**, 2005, Donatılı Zemin Duvarlarının Geleneksel Dayanma Duvarları İle Maliyet Açısından Karşılaştırılması, *Geoteknik Sempozyumu*, 26-27 Ekim 2005, Adana.
- [41] **TEKNO Broşürü**, 2011. Tekno İnşaat Makinaları Tic. Ve San. A.Ş.
- [42] **Url-18**< <http://www.terraforce.com> >, alındığı tarih 23.05.2011
- [43] **Url-19**< <http://www.gabyon.net> >, alındığı tarih 23.05.2011
- [44] **Url-20**< <http://www.tekno.com.tr> >, alındığı tarih 24.02.2011
- [45] **Url-21** < <http://www.geosyntheticsworld.com> >, alındığı tarih 27.02.2011
- [46] **Url-22** < <http://www.istanbulteknik.com> >, alındığı tarih 01.02.2011
- [47] **Corbet S., King J.**, 1992. Geotextiles In Filtration and Drainage, *Geofad '92, 23 September 1992, Cambridge, UK*, Thomas Telford, London, UK.
- [48] **Url-23** < <http://www.geofabricsinternational.com> >, alındığı tarih 21.02.2011
- [49] **Url-24**< <http://www.geoace.com> >, alındığı tarih 20.05.2011
- [50] **Url-25**< <http://www.yolteknolojileri.com> >, alındığı tarih 18.02.2011
- [51] **Url-26**< <http://www.geosentetikler.com> >, alındığı tarih 23.05.2011
- [52] **Url-27**< <http://www.zetas.com.tr> >, alındığı tarih 26.02.2011
- [53] **Url-28**< <http://www.geoduvar.com> >, alındığı tarih 23.05.2011
- [54] **Karayolları 1.Bölge Müdürlüğü.**, 2010. Hasdal Kav.Kemerburgaz-Yassıören Ayr. Devlet Yolu Proje Verileri, Makyol İnş. San. Turz. ve Tic. A.Ş., İstanbul Teknik İnşaat. Müh. San. Ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul.



## **EKLER**

**EK A.1 :** Geogrid donatılı duvar için hazırlanan metraj sayfası

**EK A.2 :** Geogrid donatılı duvar için hazırlanan imalat miktarları keşif özeti

**EK A.3 :** Betonarme istinat duvarı için hazırlanan imalat miktarları keşif özeti

**EK A.4 :** Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Kesiti

**EK A.5 :** Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli ve geoduvar görünümü



**EK A.1****Çizelge A.1:** Geogrid donatılı duvar için hazırlanan metraj sayfası.

| <b>HASDAL KAVŞAĞI-KEMERBURGAZ-YASSIÖREN AYRIMI DEVLET YOLU<br/>TEM GEÇİŞ TÜNELİ ÇIKIŞ PORTALI GEOARME DUVAR</b>             |                                                                                                                                |                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <b>1. GEOGRİD ALAN HESAPLARI</b>                                                                                            |                                                                                                                                |                                            |
| <b>TİP 1 GEOGRİD YÜZEY ALANI</b>                                                                                            |                                                                                                                                |                                            |
| KISIM                                                                                                                       | ALAN HESABI                                                                                                                    | ALAN (m <sup>2</sup> )                     |
| 1                                                                                                                           | 0,54*8*(4,50+2,00)                                                                                                             | 30,24                                      |
| 2                                                                                                                           | 32,69*8*(4,50+2,00)                                                                                                            | 1699,88                                    |
| 3                                                                                                                           | 5,11*9*(8,50+2,00)+(4,93*8,50)+(4,22*2,00)+(3,50*8,50)+(2,78*2,00)(2,07*8,50)+(1,35*2,00)+0,63*8,50)                           | 594,2                                      |
| 4                                                                                                                           | (4,00*9*6,50)+(4,00*8*2,00)+(3,41*2,00)+(2,70*6,50)+(1,98*2,00)+(1,26*6,50)+(0,55*2,00)                                        | 335,62                                     |
| 5                                                                                                                           | 6,39*7(5,50+2,00)+(5,87*5,50)+(5,15*2,00)+(4,43*5,50)+(3,72*2,00)+(3,00*5,50)+(2,28*2,00)+(1,56*5,50)+(0,85*2,00)+(0,13*(5,50) | 441,92                                     |
| 6                                                                                                                           | 22,99*7*(5,50+2,00)                                                                                                            | 1206,98                                    |
| <b>TOPLAM</b>                                                                                                               |                                                                                                                                | <b>4308,84 m<sup>2</sup></b>               |
| <b>TİP 2 GEOGRİD YÜZEY ALANI</b>                                                                                            |                                                                                                                                |                                            |
| KISIM                                                                                                                       | ALAN HESABI                                                                                                                    | ALAN (m <sup>2</sup> )                     |
| 1                                                                                                                           | (0,07*2*4,50)+(0,07*2,00)                                                                                                      | 0,77                                       |
| 2                                                                                                                           | 32,69*2*(4,50+2,00)                                                                                                            | 424,97                                     |
| 3                                                                                                                           | 5,11*6*(8,50+2,00)                                                                                                             | 321,93                                     |
| 4                                                                                                                           | 4,00*5*(6,50+2,00)                                                                                                             | 170                                        |
| 5                                                                                                                           | 6,39*3*(5,50+2,00)                                                                                                             | 143,775                                    |
| 6                                                                                                                           | 22,93*3*(5,50+2,00)                                                                                                            | 517,275                                    |
| <b>TİP 3 GEOGRİD YÜZEY ALANI</b>                                                                                            |                                                                                                                                |                                            |
| KISIM                                                                                                                       | ALAN HESABI                                                                                                                    | ALAN (m <sup>2</sup> )                     |
| 3                                                                                                                           | 5,11*5*(8,50+2,00)                                                                                                             | 268,275                                    |
| 4                                                                                                                           | 4,00*4*(6,50+2,00)                                                                                                             | 136                                        |
| 5                                                                                                                           | 6,39*3*(5,50+2,00)                                                                                                             | 143,775                                    |
| 6                                                                                                                           | 22,99*3*(5,50+2,00)                                                                                                            | 517,275                                    |
| <b>2. GEOARME DUVAR YÜZEY ALANI</b>                                                                                         |                                                                                                                                |                                            |
| <b>CROSS ALAN ÇEVİRİMİNDEN</b>                                                                                              |                                                                                                                                | <b>A= 347,52 m<sup>2</sup></b>             |
| <b>3. KIRMATAŞ HESABI</b>                                                                                                   |                                                                                                                                |                                            |
|                                                                                                                             |                                                                                                                                | <b>347,52*0,655 = 227,63 m<sup>3</sup></b> |
| <b>4. DEMİR HESABI</b>                                                                                                      |                                                                                                                                |                                            |
| U Demiri (kg) = Toplam Geogrid Alanı / 2*50 cm*0,617                                                                        |                                                                                                                                | 1072,48                                    |
| Bitirme Donatısı (kg) = (Duvar boyu/Blok Genişliği)*Donatı Boyu*0,888                                                       |                                                                                                                                | 177,77                                     |
| <b>5. DRENFLEX BORU UZUNLUK HESABI</b>                                                                                      |                                                                                                                                |                                            |
| L =                                                                                                                         |                                                                                                                                | 72,07 m                                    |
| <b>7. TESVİYE BETONU</b>                                                                                                    |                                                                                                                                |                                            |
| (0,12*12,45*0,5)+(0,19*19,04*0,5)+(0,19+0,7)/2*2,22)+(0,17*0,68*0,5)<br>+(0,19*0,77*0,5*20)+(0,19+0,05)/2*0,57+(21,83*0,05) |                                                                                                                                | 6,22 m <sup>3</sup>                        |
| <b>8. SON ÜÇ BLOK BETONU</b>                                                                                                |                                                                                                                                |                                            |
| (72,07/0,36)*((0,02+0,02)*0,19*3)                                                                                           |                                                                                                                                | 4,56 m <sup>3</sup>                        |
| <b>9. GROBETON</b>                                                                                                          |                                                                                                                                |                                            |
| L*0,2*0,5                                                                                                                   |                                                                                                                                | 7,21 m <sup>3</sup>                        |

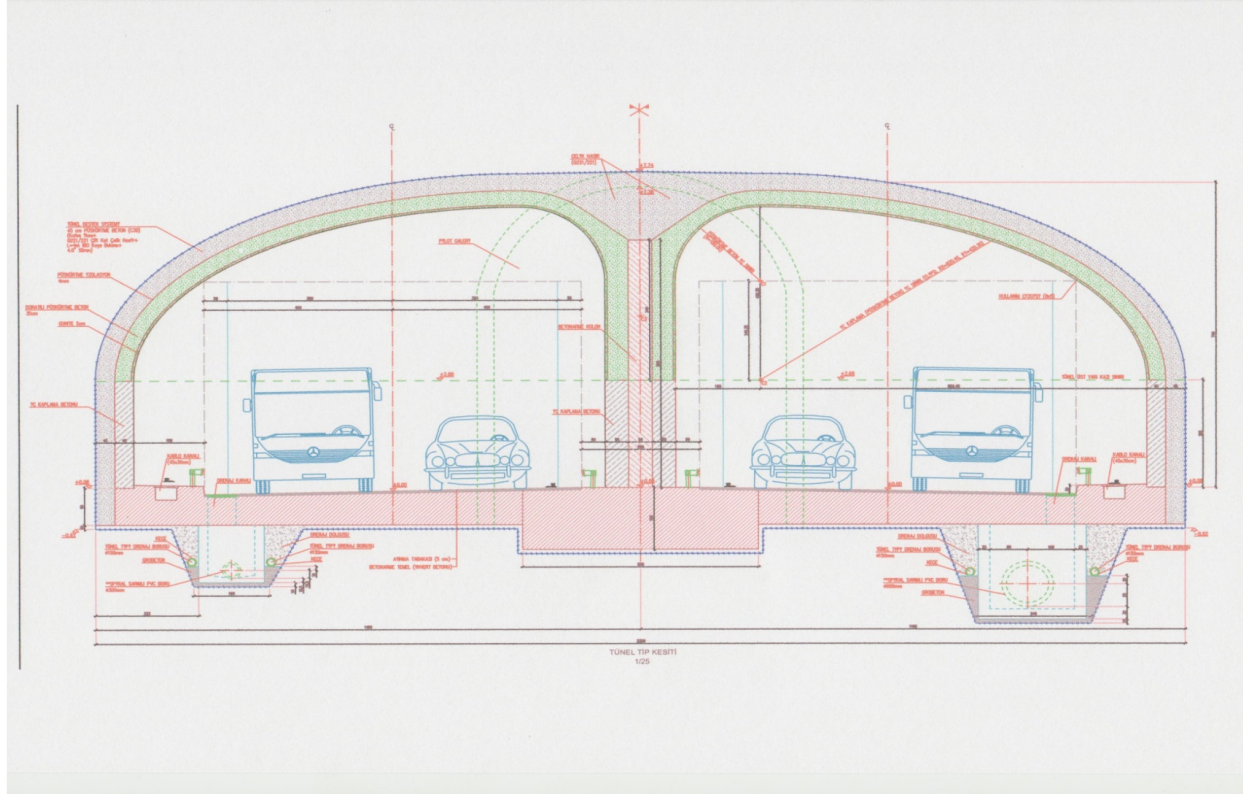
**EK A.2****Çizelge A.2: Geogrid donatılı duvar için hazırlanan imalat miktarları keşif özeti**

| <b>HASDAL KAVŞAĞI KEMERBURGAZ YASSİÖREN AYRIMI DEVLET YOLU İNŞAATI İŞİ<br/>TEM GEÇİŞ TUNELİ ÜSTÜ GEOARME İSTİNAT DUVARI<br/>İMALAT MİKTARLARI KEŞİF ÖZETİ</b> |                |                                                                                                                                                                                                                       |                |                |                               |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------|-------------------------------|--------------------|
| <b>SIRA NO</b>                                                                                                                                                | <b>POZ NO</b>  | <b>YAPILAN İŞİN CİNSİ</b>                                                                                                                                                                                             | <b>MİKTARI</b> | <b>BİRİMİ</b>  | <b>2010 YILI BİRİM FİYATI</b> | <b>TUTARI (TL)</b> |
| 1                                                                                                                                                             | 14.110         | Her derinlikte, her cins ve klastaki zeminde kuruda drenaj, kanalizasyon hendeği ve duvar temelinin kazılması                                                                                                         | 476,798        | M <sup>3</sup> | 29,73                         | 14.175,20          |
| 2                                                                                                                                                             | 2641/2A        | Elenmiş malzeme ile sanat yapıları ve köprü temel tabanına, beton yol ve tretuvar altlarına kum, çakıl tabakası serilmesi ve drenaj hendekleri ile her türlü büz yanlarında kum, çakıl dolgu yapılması (Kırmataş ile) | 227,630        | M <sup>3</sup> | 42,51                         | 9.676,55           |
| 3                                                                                                                                                             | 16.100/K-1/B   | Her türlü inşaat temellerinde kuruda ve suda her dozda demirsiz beton (Beton tesisi, kum ve kırmataş ile)                                                                                                             | 7,210          | M <sup>3</sup> | 94,23                         | 679,40             |
| 4                                                                                                                                                             | 23.014/K       | Betonarme için Ø5-12 mm.lik ince nervürlü çelik işçiliği                                                                                                                                                              | 1,250          | TN             | 613,75                        | 767,19             |
| 5                                                                                                                                                             | 3000/n         | İnşaat bünyesine giren portland (dökme) çimento zati bedeli (TS 19, PÇ 42,5)                                                                                                                                          | 4,536          | TN             | 613,75                        | 767,19             |
| 6                                                                                                                                                             | 3605/A         | Ø150 mm.lik Tünel Tipi PVC Drenaj Borusu ve Döşenmesi (Birim ağırlık = 1,269 Kg/m)                                                                                                                                    | 72,070         | MT             | 10,83                         | 780,52             |
| 7                                                                                                                                                             | 3790/d         | İnşaat bünyesine giren ince nervürlü çelik zati bedeli                                                                                                                                                                | 1,338          | TN             | 1.325,00                      | 1.772,85           |
| 8                                                                                                                                                             | 4470           | Dökme çimentonun vasıta üzerinden çimento silosuna basılması                                                                                                                                                          | 4,536          | TN             | 3,70                          | 16,78              |
| 9                                                                                                                                                             | ÖZEL GEOGRİD1  | TNAX TT045 Tip-1 Geogrid Temini                                                                                                                                                                                       | 4308,840       | M <sup>2</sup> | 13,13                         | 56.575,07          |
| 10                                                                                                                                                            | ÖZEL GEOGRİD2  | TNAX TT060 Tip-2 Geogrid Temini                                                                                                                                                                                       | 1578,720       | M <sup>2</sup> | 15,38                         | 24.280,71          |
| 11                                                                                                                                                            | ÖZEL GEOGRİD3  | TNAX TT090 Tip-3 Geogrid Temini                                                                                                                                                                                       | 1065,330       | M <sup>2</sup> | 21,63                         | 23.043,09          |
| 12                                                                                                                                                            | ÖZEL-4         | Fuga Desenli Yapı Blok ile Geodüvar Kaplaması Yapılması                                                                                                                                                               | 347,520        | M <sup>2</sup> | 144,51                        | 50.220,12          |
| 13                                                                                                                                                            | ÖZEL GEO/SERME | Geogridin Yerine Döşenmesi                                                                                                                                                                                            | 6952,890       | M <sup>2</sup> | 2,13                          | 14.809,66          |
| 14                                                                                                                                                            | 09.012/K-1     | İnşaat bünyesine giren her cins betonarme profil, lama demiri, düz sac, nervürlü çelik ve öngerme çeliğinin yüklenmesi, taşınması, boşaltılması ve istifi (Nervürlü çelik ve profil demir için)                       | 1,338          | TN             | 102,56                        | 137,23             |
| 15                                                                                                                                                            | 07.006/K       | Dökme Çimentonun Taşınması                                                                                                                                                                                            | 4,536          | TN             | 11,77                         | 53,39              |
| 16                                                                                                                                                            | 07.006/K       | Kum-Kırmataş Nakli. F=1.25xKx(0.0007xM+0.01)xAxY<br>M = 18,984 Km A = 2,00 Y = 1,60                                                                                                                                   | 250,118        | M <sup>3</sup> | 15,00                         | 3.751,77           |
| 17                                                                                                                                                            | 07.005/K       | Transmikserle Taze Beton Taşınması<br>F=1.25x0,00017xKx√MxYxA √M=62,450 Mt. A=2,50<br>Y = 2,40                                                                                                                        | 17,990         | M <sup>3</sup> | 12,82                         | 230,63             |
| 18                                                                                                                                                            | 07.005/K-2     | Sanat Yapısı Kazısı Nakli F=1.25xKx(0.0014xM+0.02) –<br>0.00425xK M=28,00                                                                                                                                             | 476,798        | M <sup>3</sup> | 11,23                         | 5.354,44           |
| <b>TOPLAM TUTAR:</b>                                                                                                                                          |                |                                                                                                                                                                                                                       |                |                |                               | <b>207.033,94</b>  |
| <b>%30 TENZİLATLI + %18 K.D.V.'Lİ TUTAR:</b>                                                                                                                  |                |                                                                                                                                                                                                                       |                |                |                               | <b>171.010,03</b>  |

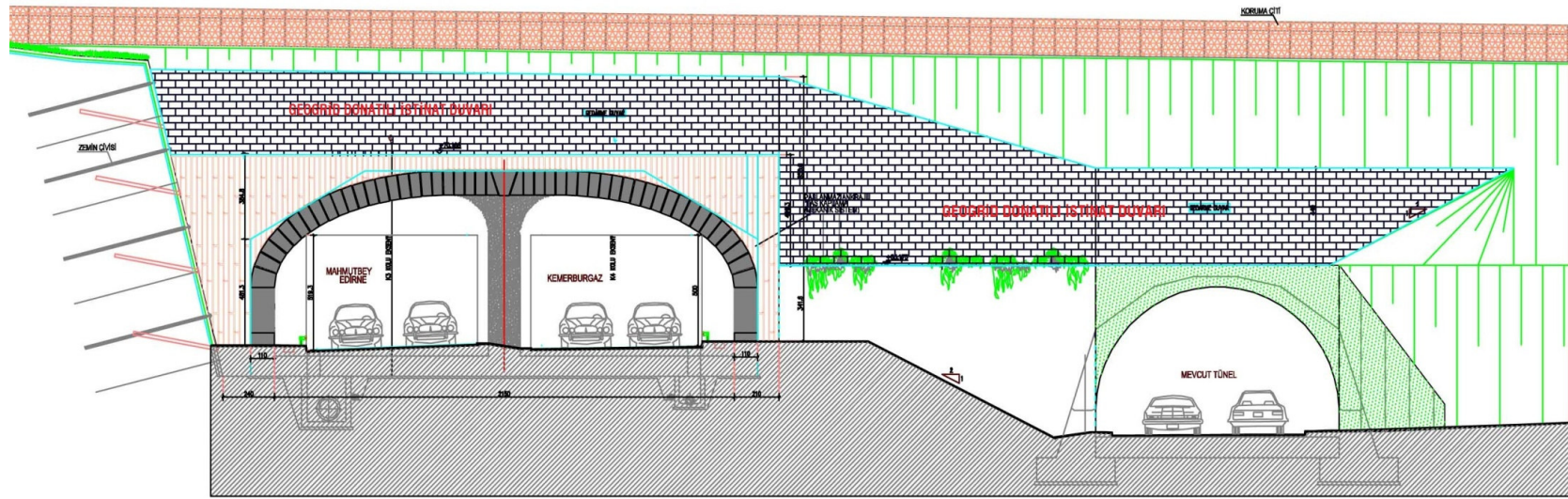
### EK A.3

**Çizelge A.3:** Betonarme istinat duvarı için hazırlanan imalat miktarları keşif özeti.

| <b>HASDAL KAVŞAĞI KEMERBURGAZ YASSIÖREN AYRIMI DEVLET YOLU<br/>HASDAL KAVŞAĞI TEM GEÇİŞ TÜNELİ ÇIKIŞ PORTALI<br/>BETONARME İSTİNAT DUVARI YAPILMASI HALİNDE İMALAT KEŞFİ</b> |              |                                                                                                                                                                                                 |         |                |                        |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------------|------------------------|-------------------|
| SIRA NO                                                                                                                                                                      | POZ NO       | YAPILAN İŞİN CİNSİ                                                                                                                                                                              | MİKTARI | BİRİMİ         | 2011 YILI BİRİM FİYATI | TUTARI (TL)       |
| 1                                                                                                                                                                            | 14.110       | Her derinlikte, her cins ve klastaki zeminde kuruda drenaj, kanalizasyon hendeği ve duvar temelinin kazılması                                                                                   | 391,000 | M <sup>3</sup> | 29,73                  | 11.624,43         |
| 2                                                                                                                                                                            | 16.100/K-1/B | Her türlü inşaat temellerinde kuruda ve suda her dozda demirsiz beton (Beton tesisi, kum ve kırmataş ile)                                                                                       | 39,100  | M <sup>3</sup> | 94,23                  | 3.684,39          |
| 3                                                                                                                                                                            | 16.120/K-1/B | Her türlü inşaat (Köprüler Hariç) Temel Dışında Kuruda veya Suda Her Dozda Demirsiz Beton (Beton Tesisi ile)                                                                                    |         | M <sup>3</sup> | 125,64                 |                   |
| 4                                                                                                                                                                            | 16.131/K-1/B | Her türlü inşaat (Krişli ve kutu menfezler, köprüler, betonarme kazık hariç plak ve kompozit menfezler dahil) kuruda veya suda her dozda demirli beton (Beton tesisi, kum ve kırmataş ile)      | 474,000 | M <sup>3</sup> | 153,69                 | 72.849,06         |
| 5                                                                                                                                                                            | 19.056/Ö     | Dilatasyonlarda 2 cm Kalınlıkla Poliüretan Levha Kullanılması                                                                                                                                   | 98,000  | M <sup>2</sup> | 4,89                   | 479,22            |
| 6                                                                                                                                                                            | 23.014/K     | Betonarme için Ø5-12 mm.lik ince nervürlü çelik işçiliği                                                                                                                                        | 0,365   | TN             | 613,75                 | 224,02            |
| 7                                                                                                                                                                            | 23.015/K     | Betonarme için Ø14-28 mm.lik kalın nervürlü çelik işçiliği                                                                                                                                      | 55,000  | TN             | 506,88                 | 27.878,40         |
| 8                                                                                                                                                                            | 25.052       | Katran badana                                                                                                                                                                                   | 875,000 | M <sup>2</sup> | 3,11                   | 2.721,25          |
| 9                                                                                                                                                                            | 3000/n       | İnşaat bünyesine giren portland (dökme) çimento zati bedeli (TS 19, PÇ 42,5)                                                                                                                    | 167,201 | TN             | 156,38                 | 26.146,89         |
| 10                                                                                                                                                                           | 3605/A       | Ø150 mm.lik Tünel Tipi PVC Drenaj Borusu ve Döşenmesi (Birim ağırlık = 1,369 Kg/m)                                                                                                              | 73,000  | MT             | 10,83                  | 790,59            |
| 11                                                                                                                                                                           | 3605/A1      | Ø200 mm.lik Tünel Tipi Drenaj Borusu Temini ve Döşenmesi                                                                                                                                        |         | MT             | 16,08                  |                   |
| 12                                                                                                                                                                           | 3790/d       | İnşaat bünyesine giren ince nervürlü çelik zati bedeli                                                                                                                                          | 0,391   | TN             | 1.325,00               | 518,08            |
| 13                                                                                                                                                                           | 3790/e       | İnşaat bünyesine giren kalın nervürlü çelik zati bedeli                                                                                                                                         | 60,500  | TN             | 1.325,00               | 80.162,50         |
| 14                                                                                                                                                                           | 4470         | Dökme çimentonun vasıta üzerinden çimento silosuna basılması                                                                                                                                    | 167,201 | TN             | 3,70                   | 618,64            |
| 15                                                                                                                                                                           | ÖZEL         | Süper akışkanlaştırıcı yüksek mukavemet beton katkısı                                                                                                                                           |         | KG             | 2,94                   |                   |
| 16                                                                                                                                                                           | ÖZEL:7       | C20 Betonundan Demirli (U) Kanal Yapılması ve Yerine Konulması                                                                                                                                  | 73,000  | MT             | 87,75                  | 6.405,75          |
| 17                                                                                                                                                                           | 09.012/K-1   | İnşaat bünyesine giren her cins betonarme profil, lama demiri, düz sac, nervürlü çelik ve öngerme çeliğinin yüklenmesi, taşınması, boşaltılması ve istifi (Nervürlü çelik ve profil demir için) | 60,891  | TN             | 102,56                 | 6.244,98          |
| 18                                                                                                                                                                           | 07.006/K     | Dökme Çimentonun Taşınması.<br>F=1,25xKx(0,0007xM+01,01)x A M=41,400 Km A = 1,50                                                                                                                | 170,121 | TN             | 11,77                  | 2.002,32          |
| 19                                                                                                                                                                           | 07.006/K     | Kum-Kırmataş Nakli. F=1,25xKx(0.0007xM+0.01)xAxY M=19,4                                                                                                                                         | 103,752 | M <sup>3</sup> | 15,19                  | 15.717,88         |
| 20                                                                                                                                                                           | 07.005/K     | Transmikserle Taze Beton Taşınması<br>F=1.25x0,00017xKx√MxYxA √M=37,417 Mt. A=2,50 Y=2,40                                                                                                       | 513,100 | M <sup>3</sup> | 7,68                   | 3.940,61          |
| 21                                                                                                                                                                           | 07.005/K-2   | Sanat Yapısı Kazısı Nakli<br>F=1.25xKx(0.0014xM+0.2)-0.00325xK+M=28,00                                                                                                                          | 391,000 | M <sup>3</sup> | 11,39                  | 4.453,49          |
| 22                                                                                                                                                                           | 07.005/K     | Prefabrik panel nakli F=1,25x0,00017xKx√MxA √M =0 Mt. A=2,00                                                                                                                                    |         | TN             |                        |                   |
| <b>TOPLAM TUTAR:</b>                                                                                                                                                         |              |                                                                                                                                                                                                 |         |                |                        | <b>266.462,50</b> |
| <b>%30 TENZİLATLI + %18 K.D.V.'Lİ TUTAR:</b>                                                                                                                                 |              |                                                                                                                                                                                                 |         |                |                        | <b>220.098,03</b> |



Şekil A.1: Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli Kesiti



TÜNEL PORTAL YAPISI (ÇIKIŞ) GÖRÜNÜŞÜ 1/100

Şekil A.2: Hasdal Kavşağı TEM Geçiş Tüneli ve Geoduvar Görünümü



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Mustafa KOCAER

**Doğum Yeri ve Tarihi:** Seydişehir, 09/01/2011

**Adres:** Kılıçarslan Mh. Vehbi Sk. No: 4/19 Selçuklu/Konya

**Lisans Üniversitesi:** Yıldız Teknik Üniversitesi