

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI KONSTRÜKSİYONDA POLİPROPİLEN
LİFLERDEN ÜRETİLEN DOKUSUZ YÜZEYLERİN
GEOSENTETİK UYGULAMALARDA KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Hazırlayan
Şerife ERDOĞAN OLCAY**

**Danışman
Doç. Dr. Asım DAVULCU**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2021
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FARKLI KONSTRÜKSİYONDA POLİPROPİLEN
LİFLERDEN ÜRETİLEN DOKUSUZ YÜZEYLERİN
GEOSENTETİK UYGULAMALARDA KULLANIM
OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Şerife ERDOĞAN OLCAY**

**Danışman
Doç. Dr. Asım DAVULCU**

**Temmuz 2021
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Şerife EROĞAN OLCA Y

İmza

“Farklı Konstrüksiyonda Polipropilen Liflerden Üretilen Dokusuz Yüzeylerin Geosentetik Uygulamalarda Kullanım Olanaklarının Araştırılması” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Şerife ERDOĞAN OLCA Y

İmza

Danışman

Doç. Dr. Asım DAVULCU

İmza

Tekstil Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. A. Kadir BİLİŞİK

İmza

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim boyunca, çalışmanın yönlendirilmesinde ve yürütülmesinde tüm bilgi birikimi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen, her türlü yardımı sağlayan, maddi manevi desteğini ve fedakarlığı esirgemeyen, tezimin yöneticiliğini yürüten saygı değer danışman hocam Sayın Doç. Dr. Asım DAVULCU'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerin yapılması aşamasında büyük bir ilgi ve anlayış ile İnşaat Mühendisliği bölümü laboratuvar ve cihazlarından faydalanmamı sağlayan ve yardımcı olan araştırma görevlisi Sayın Aykut EROL'a ve malzemelerin temininde yardımcı olan Hassan Tekstil San. Ve Tic. A.Ş.'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca desteklerini ve yardımlarını benden esirgemeyen Tekstil Yüksek Mühendisi Ömer AYDINLIOĞLU'na ve adını sayamadığım tüm değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatım boyunca sonsuz desteklerini daima hissettiğim, bana her zaman sonsuz güven duyan annem Müşerref ERDOĞAN, babam Mustafa ERDOĞAN'a ve kardeşlerime içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmalarım öncesi ve sonrasında bana maddi manevi her daim en büyük desteği ve cesareti veren, hoşgörü ve sevgisi ile bana motivasyon sağlayan, sevgili eşim Muhammed Hakan OLCAY'a yürekten teşekkür ederim.

Şerife ERDOĞAN OLCAY

Temmuz 2021, KAYSERİ

FARKLI KONSTRÜKSİYONDA POLİPROPİLEN LİFLERDEN ÜRETİLEN DOKUSUZ YÜZEYLERİN GEOSENTETİK UYGULAMALARDA KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

Şerife ERDOĞAN OLCAY

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2021
Danışman: Doç. Dr. Asım DAVULCU

ÖZET

Geosentetikler sağladıkları teknik avantajlar ve ekonomik çözümler nedeniyle mühendislik uygulamalarında önemi artmaktadır. Geosentetiklerin alt grubuna ait olan geotekstiller, gelişen teknoloji ve üretim imkanlarının artmasıyla ortaya çıkan dokusuz yüzeylerin getirdikleri yenilikçi çözümler ile günümüzde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Bu çalışmada; geoteknik uygulamalarında zemin güçlendirme için sıklıkla kullanılan PP (polipropilen) liflerden üretilmiş dokusuz geotekstillerin kumlu zeminlerde uygulanmasının zemin davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 4 farklı gramajda iğneleme ile sabitlenmiş kesikli PP liflerden üretilmiş dokusuz yüzeyler ile filament formda üretilmiş ısıl fikse ve su jeti yöntemi ile sabitlenmiş PP kumaşlar kullanılmıştır. Farklı gramaj ve farklı konstrüksiyona sahip dokusuz PP geotekstillerin kum zeminde donatı olarak kullanımı ile arayüzey davranışını, zemin kayma dayanımını ve zemin-geotekstil arayüzey sürtünme açısını belirlemek için küçük boy (60mm×60mm boyutunda) kesme kutusu deneyi ile çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Kesme kutusu deneyinde normal gerilmenin değişmesi geotekstillerin performansını farklı etkilemiştir. Normal gerilmenin düşük olduğu koşullarda en yüksek kesme dayanımı SB60 donatısı ile elde edilmiştir. K100 donatısı ile yapılan çalışmalarda SB60 donatısına göre daha düşük kesme dayanımı görülmüştür. Geotekstilin yüzey yapısı üretim yöntemi ile ilişkilidir. Donatı olarak kullanılması durumunda yüzeyinin pürüzlü olması kesme gerilimini etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça kesme gerilmesi de artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geotekstiller, dokusuz yüzey, kesme kutusu deneyi, içsel sürtünme açısı, ara yüzey kesme gerilimi, kum

**INVESTIGATION OF USE OPPORTUNITIES OF NONWOVEN SURFACES
MADE OF POLYPROPYLENE FIBERS IN DIFFERENT CONSTRUCTION IN
GEOSYNTHETIC APPLICATIONS**

Şerife ERDOĞAN OLCAY

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July, 2021

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Asım DAVULCU

ABSTRACT

Geosynthetics have increasing importance in engineering applications due to the technical advantages and economical solutions they provide. Geotextiles, which are a subgroup of geosynthetics, are widely used today with solutions that may arise with the increase in technology and production facilities. In this study; The effect of the application of nonwoven geotextiles made of PP (polypropylene) fibers, which are frequently used for soil reinforcement in geotechnical applications, on sandy soils, on soil behavior was investigated. For this purpose, nonwoven surfaces produced from staple PP fibers were bonded by needled in 4 different weights and PP fabrics produced in filament form and bonded by heat-fixed and water jet method were used. In order to determine the interfacial behavior, soil shear strength and soil-geotextile interfacial friction angle with the use of nonwoven PP geotextiles of different weights and different constructions as reinforcement on sand soils, studies were carried out with the small size (60mm×60mm size) shear box test. The variation of the normal stress in the shear box test affected the performance of geotextiles differently. The highest shear strength was obtained with SB60 reinforcement at low normal stress conditions. In studies conducted with K100 reinforcement, lower shear strength was observed compared to SB60 reinforcement. The surface structure of the geotextile is related to the production method. If it is used as reinforcement, the roughness of the surface affects the shear stress. As the surface roughness increased, the shear stress also increased.

Keywords: Geotextiles, nonwoven surface, shear box test, intrinsic friction angle, interfacial shear stress, sand

İÇİNDEKİLER

FARKLI KONSTRÜKSİYONDA POLİPROPİLEN LİFLERDEN ÜRETİLEN DOKUSUZ YÜZEYLERİN GEOSENTETİK UYGULAMALARDA KULLANIM OLANAKLARININ ARAŞTIRILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	iii
KABUL ve ONAY	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR VE SİMGELER	xii
TABLolar LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Geosentetikler Hakkında Genel Bilgiler	4
1.1.1. Geosentetik Malzeme Çeşitleri.....	5
1.1.1.1. Geotekstilller	5
1.1.1.2. Geogridler	6
1.1.1.3. Geomembranlar	8
1.1.1.4. Geoborular	9
1.1.1.5. Geonetler	10
1.1.1.6. Geosentetik Kil Örtüler (GCL).....	11
1.1.1.7. Geokompozitler	12
1.1.1.8. Geotüpler	13
1.1.1.9. Geohücreler	14
1.1.1.10. Geofam (Geoköpükler)	15
1.1.1.11. Geomatlar	16
1.2. Geotekstilller	17

1.2.1. Geotekstillerin Tarihçesi	17
1.2.2. Geotekstil Hammaddeleri.....	19
1.2.2.1. Polipropilen (PP)	19
1.2.2.2. Polyester (PET).....	20
1.2.2.3. Poliamid (PA, Naylon)	21
1.2.2.4. Polietilen (PE)	21
1.2.2.5. Polivinilklorür (PVC)	22
1.2.2.6. Polistiren (PS)	22
1.2.3. Geotekstillerin Sınıflandırılması.....	22
1.2.3.1. Örgülü Geotekstilller	22
1.2.3.2. Dokusuz Geotekstilller	23
1.2.4. Geotekstil Üretim Yöntemleri.....	24
1.2.4.1. Örmeye Geotekstillerin Üretim Yöntemleri.....	24
1.2.4.2. Dokuma Geotekstillerin Üretim Yöntemleri	25
1.2.4.3. Örgüsüz (Nonwoven) Geotekstil Üretim Yöntemleri.....	28
1.2.5. Doku Oluşturma Metotları.....	28
1.2.5.1. Kuru Serme Yöntemi.....	29
1.2.5.2. Sulu Serme Yöntemi	29
1.2.5.3. Kesiksiz Doku Serme Yöntemleri	30
1.2.6. Doku Bağlama Teknikleri	32
1.2.6.2. Isıl İşlemlerle Sabitleme Yöntemi (Termal Bağlama).....	34
1.2.6.3. Kimyasalla Doku Sabitleme	35
1.2.7. Geotekstillerin Özellikleri	37
1.2.7.1. Geotekstillerin Fiziki Özellikleri.....	37
1.2.8. Geotekstillerin Mekanik Özellikleri ve Uygulanan Testler.....	39
1.2.8.1 Çekme Dayanımı	39
1.2.8.2. Sıkışabilirlik.....	40
1.2.8.3. Yorulma Dayanımı.....	40
1.2.8.4. Ara yüzey Sürtünme Davranışı	40
1.2.8.5. Delinme Mukavemeti	44
1.2.8.6. Patlama Mukavemeti	44
1.2.8.7. Darbe Dayanımı	45
1.2.8.8. Yırtılma Mukavemeti.....	45

1.2.8.9. Dikiş Mukavemeti	46
1.2.9. Geotekstillerin Hidrolik Özellikleri.....	47
1.2.9.1. Su Geçirgenlik	47
1.2.10. Geotekstillerin Bozulmasına Etki Eden Faktörler	50
1.2.10.1. Güneş Işığı Etkisi (UV)	50
1.2.10.2. Yüksek veya Düşük Sıcaklıkların Etkisi	52
1.2.10.3. Oksidasyon bozulması	52
1.2.10.4. Hidroliz Bozulması.....	53
1.2.11. Geotekstillerin Fonksiyonları.....	53
1.2.11.1. Ayırma.....	54
1.2.11.2. Drenaj.....	55
1.2.11.3. Güçlendirme (Takviye) Fonksiyonu	56
1.2.11.4. Filtrasyon Fonksiyonu	57
1.2.11.5. Koruma Fonksiyonu	59
1.2.11.6. Yalıtım (Su Geçirmezlik) Fonksiyonu	60
1.2.12. Geotekstillerin Kullanım Alanları	60
1.2.12.1. Katı Atık Depolama Tesislerinde.....	60
1.2.12.2. Kaplamasız Yollarda	61
1.2.12.3. Kaplamalı Yollar ve Pistlerde (Hava alanları ve Karayolları)	62
1.2.12.4. Demiryollarında	63
1.2.12.5. Toprak Barajlarda	64
1.2.12.6. Erozyon Kontrolünde	65
1.2.12.7. İstinat Duvarlarında	66
1.3. Konu ile İlgili Literatür Çalışmaları	67

2. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	75
2.1.1. Deneyde Kullanılan Geotekstillerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	75
2.1.2. Deneylerde Kullanılan Zeminin Özellikleri.....	77
2.1.2.1. Deneyde Kullanılan Kum Zeminlerin Endeks Özelliklerinin Belirlenmesi	77
2.2. Metod.....	79

2.2.1. Kopma Mukavemeti/ Uzama Tayini	79
2.2.2. Kesme Kutusu Deney Yöntemi	80

3. BÖLÜM BULGULAR

3.1. Donatılı ve Donatısız Kum Zemin ile Yapılan Direkt Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları	82
3.2. Geotekstil Donatıların Kopma Mukavemeti/Uzama Deneyi Sonuçları.....	88

4. BÖLÜM TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Geotekstillerin Mekanik Özellikleri	92
4.2. Kesme Kutusu Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	93
4.2.1. İğneleme Yöntemi ile Birleştirilen Geotekstillerin Zemin Davranışına Etkisi	94
4.2.1.1. PP1500 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları.....	94
4.2.1.2. PP2500 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları.....	95
4.2.1.3. PP3000 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları.....	96
4.2.1.4. PP5000 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları.....	96
4.2.1.5. İğneleme Yöntemi ile Birleştirilen Geotekstillerin Karşılaştırılması.....	97
4.2.2. Isıl Yöntemler ile Birleştirilen Geotekstillerin Zemin Davranışına Etkisi.....	100
4.2.2.1. SB 60 Donatısı ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları	100
4.2.2.2. K100 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları.....	101
4.2.3. Su Jeti ile Birleştirilen SL 60 Geotekstilin Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları	102
4.3. Geotekstillerin Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı İlişkisi.....	104
4.4. Genel Sonuç ve Öneriler	106
KAYNAKÇA	108
ÖZGEÇMİŞ.....	117

KISALTMALAR VE SİMGELER

ASTM	: American Society For Testing And Materials
AOS	: Apparent Opening Size
BS	: British Standards Institution
CBR	: California Tasıma Oranı
CPE	: Klorlu Polietilen
CSPE	: Klorosülfonat Polietilen
DIN	: Deutsches Institut Für Normung
EDANA	: European Disposables And Nonwoven Association
EN	: European Norm
EPS	: Genleştirilmiş Polistiren
FESEM	: Saha Emisyon Taramalı Elektron Mikroskobu
GMA	: The Geosynthetic Materials Association
Gmr	: Geomembran
GT	: Geotekstil
GR	: Gradient Ratio
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
ISO	: İnternational Organization For Standartization
ISSMFE	: İnternational Society For Soil Mechanics and Foundation
3D	: Üç boyutlu
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
NWGT	: Nonwoven Geotekstil
PA	: Poliamid
PE	: Polietilen
PET	: Polirtilenteraftalat, Polyester
PP	: Polpropilen
PS	: Polistiren
PVC	: Polivinilklorür
UV	: Ultraviolet
XPS	: Sıkıştırılmış Polistiren
<i>m</i>	: Birim Alandaki Kütle (ağırlık)

ρ	: Birim Hacim Ağırlığı
t	: Kalınlık (m)
Q_n	: Birim Zamanda Akan Su Miktarı
k_n	: Geçirgenlik Katsayısı
Δh	: Hidrolik Yük
A_n	: Geotekstil Kesit Alanı (m ²)
Δx	: Hidrolik Yükü Denk Gelen Akım Boyu(m)
Ψ	: Permittivite
Θ	: Geotekstilin Transmissivitesi
k_p	: Geotekstil Düzlemindeki Permeabilite (m/s)
q	: Birim Zamanda Akan Su Miktarı, debi
W	: Geotekstilin Eni (m)
i	: Hidrolik Eğim (Boyutsuz)
L	: Geotekstilin Uzunluğu (m)
τ_f	: Arayüzey Kayma Dayanımı
C_a	: Zemin ile Geosentetik Arasındaki Adhezyon Kuvveti
δ	: Zemin Geosentetik Arasındaki Sürtünme Açısı
σ_n	: Normal Gerilme
\emptyset	: Zemin İçsel Sürtünme Açısı (derece)
C	: Zeminin Kohezyonu
τ	: Kesme Gerilmesi
F_s	: Kesme Kuvveti
A	: Numune Temas Alanı
A_C	: Numunenin Düzeltilmiş Alanı
A_0	: Başlangıçtaki Numunenin Temas Alanı
N	: Normal Yük
dW	: Birim Deformasyon Sonucu Alan Değişimi
δ_p	: Pik Kesme Gerilmesi ile ilgili Sürtünme Açısı
ω_p	: Pik Kesme Gerilmesi ile İlgili Sürtünme Katsayısı

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1.	Fonksiyonlara göre geotekstil çeşitlerinin performansı	54
Tablo 1.2.	Deneyisel çalışmada kullanılan geosentetiklerin bazı özellikleri.....	71
Tablo 2.1.	Aynı hammaddeden üretilen dokusuz geotekstillerin bazı özellikleri	76
Tablo 3.1.	Kum zemin kesme kutusu deney sonuçları	83
Tablo 3.2.	Kum zemin-K100 deney sonuçları.....	84
Tablo 3.3.	Kum zemin-PP5000 deney sonuçları	84
Tablo 3.4.	Kum zemin-PP3000 deney sonuçları	85
Tablo 3.5.	Kum zemin-PP2500 deney sonuçları	86
Tablo 3.6.	Kum zemin-PP1500 deney sonuçları	86
Tablo 3.7.	Kum zemin-SB60 deney sonuçları.....	87
Tablo 3.8.	Kum zemin-SL60 deney sonuçları.....	88

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	a) Çift eksenli geogrid ve b) Tek eksenli geogrid.....	7
Şekil 1.2.	Geomembranın astar olarak saha uygulaması	9
Şekil 1.3.	Geoboru saha uygulaması.....	10
Şekil 1.4.	Geokompozit drenaj tabakası olarak kullanılan tipik geonetler	11
Şekil 1.5.	Geosenteik kil kaplama örneği	12
Şekil 1.6.	Geokompozit dren örneği	13
Şekil 1.7.	Kıyı koruma amaçlı geotüp uygulaması	14
Şekil 1.8.	Geohücre	15
Şekil 1.9.	Geofoam kullanılan otoban inşaatı, Japonya	16
Şekil 1.10.	Geomat örneği.....	16
Şekil 1.11.	Dünya genelinde teknik tekstil tüketim miktarı.....	18
Şekil 1.12.	Dünya geosentetik tüketim miktarı.....	18
Şekil 1.13.	Atkılı örme, çözümlü örme yapısı ve kompozit çözümlü örme geotekstil örneği.....	25
Şekil 1.14.	Dokuma tezgâhı yan kesit şeması.....	26
Şekil 1.15.	a) Multifilament dokuma b) Multifilament üzerine monofilament iplikle dokuma	26
Şekil 1.16.	a) Düz örgü b) Dimi örgü c) Leno örgü.....	27
Şekil 1.17.	Seçilen hammadde türüne göre dokusuz yüzey üretim basamakları	28
Şekil 1.18.	Doku oluşturmada kullanılan teknikler.....	29
Şekil 1.19.	Mekanik serme yöntemi ile doku oluşturma.....	29
Şekil 1.20.	Dokusuz yüzey elde etmede sulu serme yöntemi	30
Şekil 1.21.	Eriyikten çekim yöntemiyle doku serme	31
Şekil 1.22.	Eriyik püskürtme ile doku oluşturma.....	31
Şekil 1.23.	Doku sabitleme teknikleri.....	32
Şekil 1.24.	İğneleme ile doku sabitleme ve çentikli iğne örneği	33
Şekil 1.25.	Su jetiyle tülbent bağlama sistemi	33
Şekil 1.26.	Dikerek bağlama yöntemi ve dikişli dokusuz yüzey	34
Şekil 1.27.	Sıcak desenli silindirle termal bağlama	35
Şekil 1.28.	Kimyasalın dokuya emdirilerek bağlanması yöntemi	36
Şekil 1.29.	Kumaş çekme dayanımı deney yöntemleri.....	39
Şekil 1.30.	Farklı tip kesme kutusu deneyi	41

Şekil 1.31.	Direkt kesme kutusu deneyinde elde edilen sonuç grafiği	42
Şekil 1.32.	Kesme kayma düzlemi	43
Şekil 1.33.	Kayma gerilmesi ve normal gerilme ilişkisi	43
Şekil 1.34.	İndeks delinme direnci testi	44
Şekil 1.35.	Statik patlama mukavemet testi	45
Şekil 1.36.	Darbe dayanım test düzeneği	45
Şekil 1.37.	Yırtılma mukavemet testi.....	46
Şekil 1.38.	Geotekstillerin birleştirilmesinde kullanılan farklı dikiş yöntemleri	46
Şekil 1.39.	Geotekstil boyunca sıvının normal akışı.....	47
Şekil 1.40.	Değişen hidrolik basınç deneyi ile geçirgenlik.....	49
Şekil 1.41.	Geotekstilin kalınlığı içinde normal sıvı akışı	49
Şekil 1.42.	Geotekstil yüzey kapasitesi deney düzeneği.....	50
Şekil 1.43.	Açıkta kalan polimerik yapıların dayanıklılık değerlendirilmesi için laboratuvar hava şartlandırma cihazları	52
Şekil 1.44.	Geotekstilin ayırma amacıyla kullanımı	55
Şekil 1.45.	Geotekstillerin drenaj fonksiyonu uygulaması	56
Şekil 1.46.	Geotekstillerin takviye fonksiyonu	57
Şekil 1.47.	Filtrasyon amacıyla geotekstil kullanımı	58
Şekil 1.48.	Kaldırım döşemesi altında geotekstilin koruma amacıyla kullanılması.....	59
Şekil 1.49.	Katı atık depolama sahasında geosentetik uygulaması.....	61
Şekil 1.50.	Kaplamasız yollarda geotekstil uygulaması	62
Şekil 1.51.	Kaplamalı yollarda geotekstil kullanımı.....	62
Şekil 1.52.	Demiryollarında geotekstil kullanımı	63
Şekil 1.53.	Barajlarda geotekstil uygulaması.....	64
Şekil 1.54.	Erozyon kontrolünde geotekstil kullanımı.....	65
Şekil 1.55.	Geosentetik donatılı istinat duvarlarının bileşenleri	66
Şekil 1.56.	Zayıf dereceli kumun 1 katmanlı geotekstil ile kayma gerilimi-yatay yer değiştirmesi.....	68
Şekil 1.57.	Zayıf dereceli kumun 2 katmanlı geotekstil ile kayma gerilimi-yatay yer değiştirmesi.....	68
Şekil 1.58.	200-300 kPa normal gerilmeye toprak/toprak ve toprak/geotekstil kayma yer değiştirmesi	69

Şekil 1.59.	(a) İğnelenmiş geotekstil (GT1, GT2) /Gmr, arayüzey kayma mukavemetlerinin karşılaştırılması.....	71
Şekil 1.60.	a) 50 kPa; b) 150 kPa c) 200 kPa normal gerilmeye doymamış kum içeren testler için deforme olmuş geomembran numune FESEM görüntüleri.....	74
Şekil 2.1.	Deneyde kullanılan geotekstil numuneler.....	76
Şekil 2.2.	Deneye tabi tutulan zemine ait granülometri eğrisi	78
Şekil 2.3.	Shimadzu marka çekme cihazı	79
Şekil 2.4.	Çalışmalarda kullanılan kesme kutusu deney düzeneğinin görünümü.....	80
Şekil 2.5.	Çalışmada kullanılan 60×60mm'lik kesme kutusu ve sıkıştırılmış zemin numune.....	81
Şekil 3.1.	Farklı normal gerilmelerde kum ve geotekstiller ile elde edilen içsel sürtünme açıları.....	82
Şekil 3.2.	Donatısız kum ara yüzey davranışı.....	83
Şekil 3.3.	Kum/K100 geotekstil ara yüzey davranışı.....	84
Şekil 3.4.	Kum/PP5000 ara yüzey davranışı.....	85
Şekil 3.5.	Kum/PP3000 ara yüzey davranışı.....	85
Şekil 3.6.	Kum/ PP 2500 ara yüzey davranışı.....	86
Şekil 3.7.	Kum/PP1500 arayüzey davranışı.....	87
Şekil 3.8.	Kum/SB60 artan normal gerilmelere bağlı ara yüzey davranışı.....	87
Şekil 3.9.	Kum /SL60 artan normal gerilmelere bağlı arayüzey davranışı	88
Şekil 3.10.	SB60 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri	89
Şekil 3.11.	SL 60 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri	89
Şekil 3.12.	K100 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri	89
Şekil 3.13.	PP1500 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri	90
Şekil 3.14.	PP2500 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri	90
Şekil 3.15.	PP3000 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri	90
Şekil 3.16.	PP5000 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri	91
Şekil 4.1.	Geotekstillerin kopma mukavemeti, kopma uzaması, kesme gerilmesi değerleri	92
Şekil 4.2.	Donatısız kum ve kum/PP1500 ara yüzey davranışı	95
Şekil 4.3.	Donatısız kum ve kum/PP2500 ara yüzey davranışı	95
Şekil 4.4.	Donatısız kum ve kum/PP3000 ara yüzey davranışı	96

Şekil 4.5.	Donatısız kum ve kum/PP5000 ara yüzey davranışı	97
Şekil 4.6.	54,5 kPa normal gerilim için donatısız kum ve donatılı kum (iğnelenmiş dokusuz yüzeyler/kum) arayüzey davranışı.....	98
Şekil 4.7.	109 kPa normal gerilim donatısız ve donatılı (iğnelenmiş dokusuz yüzeyler/kum) arayüzey davranışı	98
Şekil 4.8.	218 kPa normal gerilim donatısız ve donatılı (iğnelenmiş dokusuz yüzeyler/kum) arayüzey davranışı	99
Şekil 4.9.	Donatısız kum ve kum/SB60 ara yüzey davranışı	100
Şekil 4.10.	Donatısız kum ve kum/K100 ara yüzey davranışı	101
Şekil 4.11.	Donatısız kum ve SL60 donatılı zemin ara yüzey davranışı	102
Şekil 4.12.	54,5 kPa normal gerilmede donatısız, SL60, SB60 ve K100 donatıları ile zemin arayüzey davranış grafiği.....	103
Şekil 4.13.	109 kPa normal gerilmede donatısız, SL60, SB60 ve K100 donatıları ile zemin arayüzey davranış grafiği	103
Şekil 4.14.	218 kPa normal gerilmede donatısız, SL60, SB60 ve K100 donatıları ile zemin arayüzey davranış grafiği	104

GİRİŞ

Geosentetik; mühendislik uygulamalarında performansı artırmak amacıyla çeşitli fonksiyonları yerine getirmek için toprak içerisine veya çevresine katılan, esas olarak polimerik malzemelerden üretilen, ince ve esnek malzemeleri kapsayan genel bir terimdir. İkinci dünya savaşından sonra batı ülkeleri gelişen teknoloji ile tekstil endüstrisinde sentetik malzemelerin kullanımına yönelmişlerdir. Bununla birlikte iç pazardaki doygunluk sebebiyle tekstil üreticileri farklı sahalarda pazar arayışına girmişlerdir [1]. Bu arayış sonunda, bilim ve teknolojinin gelişmesine bağlı olarak tekstil kullanımı ve uygulama alanında geleneksel yöntemlerin dışında özellikle filamentlerden oluşan dokusuz yüzeylerin üretilmeye başlanması farklı alternatiflerin ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Kullanım alanları olarak tekstiller; otomotiv, denizcilik, savunma, spor, elektronik, tıbbi uygulamalar ve inşaat gibi sektörlerde birçok teknik uygulamaları içermektedir. Bunun gibi estetik ve dekoratif özellikleri dışında daha çok fonksiyonel ve performans özellikleri için üretilen tekstil malzemeleri “Teknik Tekstiller” olarak adlandırılmaktadır [2]. Günümüzde mühendislik uygulamalarında, teknik tekstillerin kullanımı hızla artmakta ve birçok alanda uygulanmaktadır. Özellikle geosentetik ürünler; sentetik malzemelerin kullanımının artmasıyla birlikte uygulama kolaylığı, inşaat sürecinin hızlandırılması, enerji tasarruflu çözümler sunması, çevre dostu ve uygun maliyetli olması gibi birçok avantajından dolayı inşaat sektöründe altyapı ve çevre koruma çalışmalarında yaygınlaşmaya devam etmektedir. Geosentetiklerin kullanım alanlarının yaygınlaşması sadece tekstil ve inşaat mühendisliği ile sınırlı olmamakla birlikte çevre mühendisliği, kimya ve plastik sanayilerinde de yaygınlaşmıştır [3].

Geosentetik ürünler ile ilgili akademik çalışmalar 1960’lı yıllarda daha çok filtre ve donatılendirme amacıyla başlamıştır. Donatılı zemin kavramı bu gelişmelere bağlı olarak ilk kez Fransız Mühendis Henry Vidal (1969) tarafından bilimsel olarak

araştırılmıştır. Vidal, esnek çelik şeritlerle zemin güçlendirmesi yapmış ve bu sisteme donatılı zemin adını vermiştir [4]. Donatılı zemin sistemi toprak ve donatının kullanımına ve bunlar arasındaki sürtünmenin ortaya çıkardığı kalıcı ve sağlam kompozit malzemeye dayanmaktadır.

Yüksek performanslı geosentetik üretiminin artması ve sağladığı avantajlar sonucu kullanımı ile beraberinde standartlar belirlenmiştir. Bunun sonucunda 1982 yılında geosentetikler için kabul gören ilk uluslararası IGS, (International Geosynthetic Society), geosentetikler ile ilgili bilimsel ve mühendislik ürünlerinin ve teknolojilerinin geliştirilmesi amacıyla taşıyan bir meslek örgütü kurulmuştur. Bu örgüt günümüzde dört yılda bir düzenli olarak toplanmaya devam etmektedir [5].

Geosentetiklerin bir alt grubu olan geotekstiller; genellikle toprak veya toprak esaslı yapılarda kullanılan gaz, su ve sıvıları geçirgen tekstil malzemesi olarak adlandırılmaktadır. Geotekstillerin uygulama alanları arasında koruma, filtrasyon, güçlendirme, ayırma işlemi gibi birçok fonksiyonu gerçekleştirmek yer alabilir. Bu nedenle geotekstillerin uygulama alanlarındaki kullanım özellikleri çeşitli test yöntemleriyle önceden belirlenmelidir. Çünkü kullanılan hammadde ve üretim teknikleri geotekstillerin ürün özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerdir. Dolayısıyla nihai ürünün kullanım anındaki özelliklerini belirleyen hammadde ve üretim parametreleri göz önünde bulundurularak doğru yerde doğru ürünü seçmek üretici ve kullanıcılara maliyet ve zaman açısından önemli yarar sağlar [6].

Zeminde geotekstil kullanımı 1926 yılında Güney Caroline karayoluna pamuklu dokuma kumaşın sıcak asfalta serilmesiyle başlamıştır. 1935 yılında yapılan saha deneyleri sonucunda dokuma kumaşın özelliklerini yitirene kadar yolların iyi durumda olduğu, yollarda meydana gelen çatlama, sökülmeleri ve yüksek yükler altında yerel bozulmaları azalttığı görülmüştür [7]. Dünya da 1950'li yıllarda kullanılmaya başlayan geotekstiller, ülkemizde 1980'li yılların başlarından itibaren otoyolların yapımında kullanılmıştır. Dokusuz geotekstil, ilk olarak 1970 yılında Fransa'da bir toprak barajı olan Valcros Barajında kullanılmıştır [8]. 1970'li yılların başlarında beş ya da altı çeşit geosentetik ürün çeşidi varken günümüzde 600'ün üzerinde geosentetik ürün çeşidi mevcuttur [4].

Zeminde geotekstil kullanımının temel amacı, sağladığı çekme dayanımı sayesinde zemin içerisinde sürtünme veya yapışma yoluyla bir bağ oluşturarak yatay deplasmanları azaltıp zemin stabilizesini korumaktır [4,9]. Geosentetik donatı kullanılarak yapılan zemin güçlendirme projelerinde en önemli tasarım ve performans parametresi zemin ile geosentetik arayüzey kayma mukavemetidir. Geosentetiklerin zemin ile arayüzey kayma mukavemetleri arasındaki bu parametreleri belirlemede kesme kutusu deneyi yaygın olarak kullanılmaktadır [10].

Bu çalışmada, dokusuz geotekstillerin mekanik davranışlarının hammadde, üretim özellikleri ve yüzey konstrüksiyonları göz önünde bulundurularak, zemin ile geotekstil arayüzeyindeki kayma dayanımına etkileri araştırılmıştır. Çalışmalarda günümüzde en çok kullanılan polipropilenden üretilmiş geotekstiller seçilmiştir. Üretim parametresi olarak farklı doku oluşturma ve doku bağlama teknikleriyle, farklı gramajlarda üretilmiş dokusuz geotekstiller seçilmiştir. Bu bağlamda farklı konstrüksiyona sahip polipropilen dokusuz geotekstil yapıların donatı olarak kullanılması sonucu zeminin mekanik özelliklerinin değişimi üzerindeki etkisi için zemin ile geosentetik arayüzey kayma dayanım mukavemetleri bir dizi kesme kutusu deneyleri ile incelenmiştir. Günümüzde birçok projede zeminlerin mekanik özelliklerini iyileştirmede kullanılan dokusuz geotekstillerin, gramaj, konstrüksiyon ve üretim yöntemindeki farklılıkların zemin üzerindeki dayanım artışına etkisi bu çalışmada yapılacak deneysel uygulamalarla ortaya konulmaya çalışılmıştır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Geosentetikler Hakkında Genel Bilgiler

“Geosentetikler; inşaat ve geoteknik mühendisliği uygulamalarında toprak ve diğer malzemelerle temas halinde olacak veya yapı malzemelerin işlevlerinin yerini tutabilecek (toprak, kil, çakıl vb.) şekilde kullanıma uygun düzlemsel veya üç boyutlu yapıların en az bir bileşeninde sentetik ya da doğal polimerik malzeme içeren mamulleri anlatan genel terimdir (TS EN10318,2006)” [11].

İnşaat ve geoteknik mühendisliği uygulamalarında sağladığı hızlı ve etkili çözümler sayesinde hızla gelişen ve yaygınlaşan geosentetiklerle ilgili Uluslararası Zemin Makeniği ve Geoteknik Mühendisliği Cemiyeti (ISSMFE) tarafından ilk geosentetik uygulaması olarak kabul gören çalışma 1950’li yıllarda Hollanda da gerçekleştirilmiştir. 1953 yılında gerçekleşen su baskınının 2000 insanın ölümü ile sonuçlanmasından sonra ülke çapında aynı felaketin tekrarlanmaması adına geliştirilen projeler ile toprak filtreleri yerine dokuma geotekstiller kullanılmaya başlanmıştır [1]. Bunun sonucunda “Pluimpot” olarak adlandırılan sentetik malzemedan yapılmış 1500 kg’lık suyun geçişini engelleyen deniz suyuna dayanıklı 100 mm genişliğinde naylon bantlarla üretilen dokuma kum torbaları yapılmıştır. Bu uygulama Delta Works projesi olarak adlandırılmıştır [1,12]. Bu proje ile naylon kum torbalarının başarılı bir şekilde kullanımı sonucu geoteknik mühendisliğinde yeni fikirlerin ortaya çıkmasının başlangıcı olmuştur. Nonwoven geosentetik uygulamaları ise, 1970’lerin başlarında, DuPont şirketinin asfaltsız yollar için yol halıları olarak adlandırılan ısıyla bağlanmış sürekli polipropilen filamentlerden oluşan dokusuz yüzey kumaşları üretmesiyle başlamıştır [13].

Ülkemizde ise diğer ülkelere göre kullanımı daha geç başlayan geosentetiklerle ilgili çalışmalar Karayolları Genel Müdürlüğünün geosentetiklerle ilgili şartname ve yönetmelikleri hazırlamasının ardından hızla artmaya başlamıştır. Ülkemizde ilk olarak geosentetikler 1986 yılında Elmadağ üst geçinde uygulanmıştır [1].

Geosentetiklerin kullanımı, genellikle doğal kaynakların yerini alabilmesi nedeniyle çevresel etkileri azaltması, biyolojik ve kimyasal bozulmaya dayanımı, ekonomik çözümler sunması, projelerde zamandan tasarruf sağlaması ve toprak örtüsü altında uzun süre dayanması, yüksek esnekliğe sahip olması, uygulaması zor olan tasarımlarda uygulanabilirliği kolay olması gibi avantajları sağlamaktadırlar [14]. Geosentetikler, çeşitli ürün tipleri ve isimlerde birçok çeşitle piyasalarda bulunmaktadır [15].

1.1.1. Geosentetik Malzeme Çeşitleri

Geosentetikleri fiziksel özellikleri sebebiyle sektörün en sık kullandığı; geotekstil, geogrid, geomembran, geoboru, geosentetik kil kaplama, geonet, geokompozit, geotüp, geofoam, geohücre ve geomat olmak üzere 11 grupta inceleyebiliriz ve geleneksel malzemelerle birlikte kullanılırlar. Bu geosentetiklerin işlevlerine ve uygulama alanına göre seçimi ile çalışmalar yapılır.

1.1.1.1. Geotekstilller

Geotekstilller, 1960'lı yıllardan bu zamana kadar en erken kullanılmaya başlanan geosentetik ürünleridir. Genellikle sentetik polimer malzemelerden oluşan yarı geçirgen, esnek ve ince, çeşitli geoteknik uygulamalarda ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıtım olmak üzere çeşitli fonksiyonların birini veya birkaçını yerine getirerek yapı performansını artırmak için kullanılan çürümeye dayanıklı tekstil ürünleridir. Doğal esaslı geotekstillerin (jüt ve Hindistan cevizi) kullanımı mevcut olmasına rağmen büyük çoğunluğu polimerik malzemelerden olan kimyasal liflerden (%98) üretilmektedir. Temel üretim tekniğine göre, dokuma, dokusuz(nonwoven) ve örme olmak üzere üç şekilde sınıflandırılmaktadır. Geotekstilller için, en yaygın kullanılan polimer tipi polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET), polyester (PES) ve polietilen (PE)'dir. Bunlardan PP, geotekstil pazarında kullanılan baskın (%75-%80) polimerdir. Bunu takiben ikinci en yaygın kullanılan kimyasal lif PES (%10-%15)'dir [16].

1.1.1.2. Geogridler

Geogridler, kaburga adı verilen gerilmeye dayanıklı yapıların enine ve boyuna yönde keşişmesiyle ağ veya ağ benzeri düzenli açık yapıların oluşturduğu polimerik malzemelerdir. Çalışma prensibi, geogridlerin üzerine dolgu veya granül tabaka serildiği zaman malzeme daneleri geogrid açıklıkları tıkar. Böylece geogrid tabaka ile toprak daneleri arasında doğrudan temas yüzeyi artar ve dolgu tabaka ile geogrid kilitlenerek donatı görevi yapar [17, 18]. Piyasada çok sayıda farklı tip, hammadde ve bağlanma özelliklerine sahip geogridler mevcuttur. Geogridler yüksek mukavemetleri ve yük dağıtma özellikleri nedeniyle temel olarak şev kaymasını önlemek ve zayıf zemin mukavemetini artırmak için kullanılırlar. Geogrid üretiminde polimerik malzeme olarak yüksek gerilme mukavemetleri ve sünme özellikleri nedeniyle en çok polipropilen, polyester, kaplamalı polyester ve yüksek yoğunluklu polietilen kullanılmaktadır. Kaplama genellikle filamentlerin yapı hasarından korunması amacıyla polivinilklorür (PVC) ve akrilik ile yapılır [7].

Zemin ile geogrid etkileşimi, zemin ile geogrid tabaka arasında kayma direnci ve zemin danelerinin kendi arasında kayma direnci olmak üzere iki şekilde meydana gelir. Çekme direnci ise zemine gömülmüş olan geogrid tabaka üzerinde olur [11].

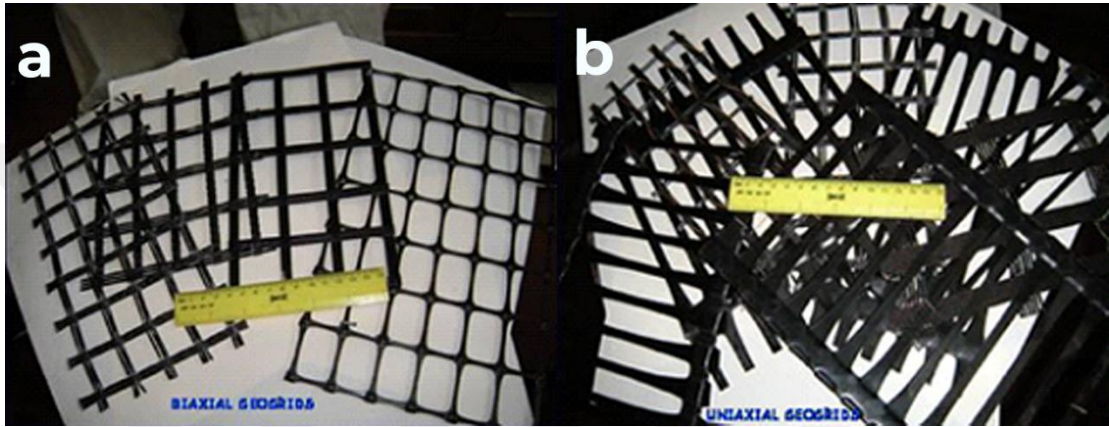
Üretimde enine ve boyuna yöndeki şeritler ekstrüzyon, birleştirme, bir araya getirme yöntemleriyle bağlanırlar ve ekstrüde geogrid, bağlı geogrid ve dokuma geogrid olarak adlandırılırlar. Ekstrüde geogridler, çekilme yönlerine göre tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere iki şekilde sınıflandırılırlar.

Tek eksenli geogridler, polimer bir tabakanın düzenli olarak kalıplar yardımıyla delinmesinin ardından boyuna yönde gerilmesiyle üretilirler (Şekil 1.1a). Bu nedenle boyuna yönde gerilme mukavemeti enine yönde gerilme mukavemetinden çok daha yüksektir. Tek eksenli geogridler tek yönden baskı yaptıkları için ve tek yönlü baskı yeterli olduğundan dolayı donatılı duvar yapımında kullanılmaktadırlar [15].

Çift eksenli geogridler, düzenli olarak delinmiş polimer tabakasının enine ve boyuna yönde çekilmesiyle üretilen ve hem enine hem boyuna yönde eşit gerilme mukavemetine sahip polimerik malzemelerdir (Şekil 1.1b). Çift eksenli geogridler, çift taraflı baskının gerekli olduğu zemin iyileştirmelerde çoğunlukla kullanılırlar [15].

Yapıştırma yöntemiyle bağlanmış geogridler, enine ve boyuna üretilen polimer şeritlerin lazer veya ısı ile birbirine bağlanmasıyla üretilirler. Genel mukavemeti yapıştırma ile yapılan bağlantı noktasındaki mukavemete bağlıdır ve yapıştırma sebebiyle mukavemeti düşüktür [8].

Dokuma geogridler, istenilen miktarda polyester ipliklerin dokuma makineleriyle örülmesi ile üretilirler.



Şekil 1.1. a) Çift eksenli geogrid ve b) Tek eksenli geogrid [19]

Geogridlerin kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir [11];

- Zayıf alt zemin üzerinde donatı olarak,
- Stabil olmayan şevlerin desteklenmesinde ve erozyon kontrol uygulamalarında,
- Yollarda taşıma gücü az olmasına karşı çekme dayanımını artırmada,
- Alt zeminlerde farklı oturmaları önlemek ve yükün eşit dağılımını sağlamak için,
- Üzerine etkileyen yükleri kendi alanları boyunca eşit olarak dağıtarak yük miktarını azaltmak için,
- Geotekstil veya geomembranlar arasında kompozit malzeme olarak,
- Çatlamış kayalarda köprü elemanı olarak,
- Düşey ve yatay genişlemenin olduğu toprak dolgulu bölgelerde donatı malzemesi olarak kullanılırlar.

1.1.1.3. Geomembranlar

Geomembran, bir projede bariyer ya da astar görevi yaparak sıvı geçişini kontrol etmek için düşük geçirgenliğe sahip malzemelerden üretilen düzlemsel geçirimsiz sentetik malzemedir [20]. Geomembranlar esas olarak termoplastiklerden üretilmektedir. 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 oluşan mamul sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri” olarak tanımlamaktadır [8]. Geomembranların kullanım amacı geçirimsizliği sağlamaktır. Toprak parçası içinde kullanıldığında bariyer görevi, bir ara yüz veya yüzey revizyonu olarak kullanıldığı zaman astar görevi yapar. [14].

Günümüzde en çok geomembran hammaddesi olarak en basit organik polimer olan polietilen kullanılmaktadır. Mükemmel esnekliği, düşük yoğunluk özelliği ve az kristalin yapıda olan düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), sert ve kimyasal olarak dayanıklı olan yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), klorlu polietilen (CPE), klorosülfanatlı polietilen (CSPE) ve polivinilklor (PVC) kullanılmasına rağmen elastomer olarak bilinen sentetik kauçuk polimerlerde kullanılmaktadır. Üretim teknikleri olarak geomembranlar, ekstrüzyon, yayılmış kaplama ve perdahlama yöntemleri ile üretilirler [13].

Perdahlama yöntemi ile üretim, ısıtılmış polimer bileşiğin bir dizi sıcak silindirler içinden hidrolik ve mekanik basınç altında dönmesi sonucu membran tabakanın oluşturulduğu yöntemdir. Bu yöntem geomembran üretiminde en sık kullanılan yöntemdir [12].

Eksrüzyon işlemi, erimiş polimer tabakanın ekstrüder yardımıyla güçlendirilmiş tabakaya serildiği yöntemdir [12, 15]

Yayılmış kaplama işlemi ise geotekstilin üzerine bir polimer veya asfalt bileşiği yayılarak geotekstilin kaplanmasından oluşur [13].



Şekil 1.2. Geomembranın astar olarak saha uygulaması [11]

Geomembranların kullanım alanları şu şekilde sıralanabilir:

- Zararlı gazlar ve buharların yerleşik yapılara girmesini engellemede,
- Sıvıların istenmediği yerlerde sıvı yalıtımı olarak,
- Otoyolların etrafında oluşabilecek sıvılara karşı bariyer olarak,
- Alt zeminde toksin olan çözeltileri topraktan ve herhangi bir yeraltı suyundan uzak tutmada,
- Su kanallarının kaplamasında (Şekil 1.2),
- Geotekstillere ile atıklardan oluşan zararlı sızıntı sularını muhafaza etmede filtre olarak,
- Tünelde geçirimsizliği sağlamak için,
- Yerüstü depolarda sızdırmazlığı sağlamak amacıyla,
- Atıkların, kistik toprakların ve inşaat kalıntılarının muhafaza edilmesinde,
- Tünelin içine su sızmasını önlemek için kullanılırlar.
- Donmaya duyarlı toprakların su içeriğinin kontrolünde kullanılırlar.

1.1.1.4. Geoborular

Zemin yüzeyinin altına yerleştirilen içerisinden gaz, su ve petrol gibi maddelerin geçişi için kullanılan veya içerisi yeniden doldurulan delikli, deliksiz veya pürüzsüz

özelliklerde, çeşitli çaplarda ve kalınlıklarda olan polimerik malzemelerdir ve gömülü plastik boru olarak da bilinmektedir (Şekil1.3). Alt drenaj sistemleri ve sızıntı suyu sistemleri için su ve gaz geçişine izin veren delikler olmalıdır. Çelik borulara kıyasla avantajı ucuz, hafif ve kullanımı kolay olmasıdır. Genellikle hammaddeleri yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), polivinilklorür (PVC) ve polipropilendir (PP). En önemli kullanım alanları drenaj, taşıma ve tarım uygulamalıdır. [7]



Şekil 1.3. Geoboru saha uygulaması [21]

Çok fazla kullanım alanı olan geoboruların bazı kullanım alanları;

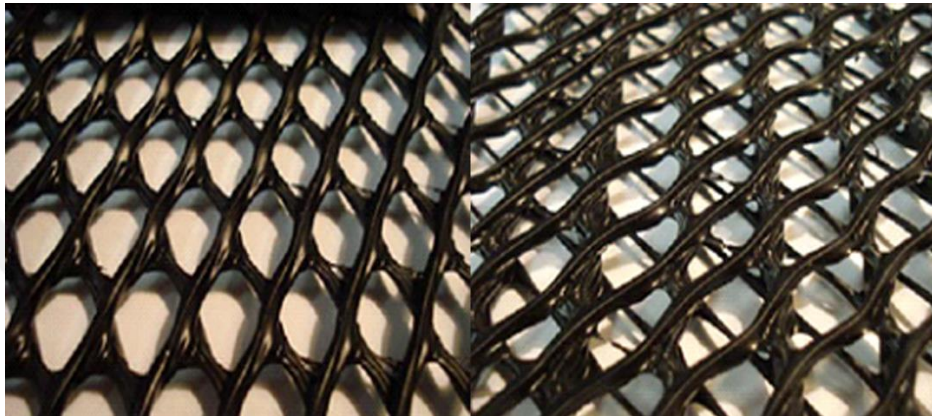
- Kanalizasyon atık su drenaj sisteminde,
- Kanal ve sulama sistemleri için su taşımada,
- Kimyasalların taşındığı boru hatlarında,
- Atık depolama sahalarında sızıntı suyunun hızlı iletilmesinde,
- Yerdeki su dolularının giderilmesi şeklinde sıralanabilir.

1.1.1.5. Geonetler

Geonetler, yapısal kaburgalar arasında geniş açıklıklara sahip üç boyutlu bir yapı oluşturmak için sabit açılarda iki iplik dizisinin (şeritler veya iplik katmanları) üst üste bindirildiği ekstrüde yöntemiyle üretilen benzer kaburga kümelerin oluşturduğu polimerik malzemelerdir (Şekil 1.4). Geogridlerden farklı olarak şeritler dik açıyla değil daha çok 60-80 derece açılarda kesişirler. Geonetlerin kullanım amacı sıvıların ve gazların düzlem içi drenajını gerçekleştirmek içindir. Bu özelliği nedeniyle donatı olarak kullanılmak yerine daha çok geotekstil, geogrid ve geomembranların alt

katmanına birleştirilerek bu geosentetiklerin drenaj özelliklerini artırmak amacıyla kompozit malzeme hazırlanmasında kullanılırlar [7, 8].

Geonetlerin neredeyse tamamı yüksek ve düşük yoğunluklu polietilenden üretilmektedir. Fakat aynı zamanda polipropilen, polistiren ve yüksek etkili polistirenden de üretilmektedir. Ticari olarak 4,5m genişliğine kadar rulolar halinde temin edilmektedirler.



Şekil 1.4. Geokompozit drenaj tabakası olarak kullanılan tipik geonetler [22]

Geonetlerin genel kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır:

- Altta veya üzerinde bulunan geomembranların delinme olasılığını azaltmak,
- Tehlikeli atık depolama alanlarında ve oyun sahaları altında su drenajı sağlamak,
- Düzenli depolama sahalarında kaçak su tespit etmede,
- İstinat duvarların arkasından sızan suyun drenaj işlemlerinde,
- Tünellerde kayadan gelen su sızıntısını kesmek için geotekstil ve geomembran kaplı alanlarda su tahliyesini sağlamak,
- Toprak dolgu ile dolmuş zayıf temel zemin arasındaki yatay su drenajını sağlamak için kullanılırlar.

1.1.1.6. Geosentetik Kil Örtüler (GCL)

Geosentetik kil kaplamalar (GCL), ince tabaka halinde sodyum ve kalsiyum bentonit kilinin iki geotekstil veya geomembran örtüler arasına yerleştirilerek yapıştırıcı

yardımıyla veya iğneleme, dikme gibi mekanik yollarla bir arada tutulmasıyla oluşturulan malzemelerdir. Sodyum bentonit, kalsiyum bentonite göre daha düşük bir hidrolik iletkenliğe sahiptir. Geosentetik kil kaplamalar, depolama ve astar bölgeleri gibi çeşitli çevresel ve hidrolik projelerin düşük geçirgenliğe sahip toprak parçalarının yerini alarak konvansiyonel sıkıştırılmış kil yapılara alternatif olarak üretilmişlerdir. Bu geosentetikler, bentonit battaniyeleri, kil battaniyeleri veya bentonit matları olarak da bilinmektedir [18].

Geosentetik kil kaplamaların temel kullanım alanı suya ve diğer akışkan sıvılara karşı hidrolik bariyer oluşturmaktır. Çalışma prensibi, bentonit suyla yani hidratla temas ederek şişer ve gözeneklerde kapanmaya neden olarak üstteki geomembran tabaka içinde koruma sağlayan su geçirmez bir tabaka halini alır [23].



Şekil 1.5. Geosenteik kil kaplama örneği [21]

Geosentetik kil kaplamaların temel avantajları; kolay elde edilebilir, basit ve hızlı kurulumu, depolama alanların korunmasında daha düşük kalınlığı, donma/çözülme ve ıslak/kuru çatlaklarına karşı düşük duyarlılık göstermesi ve maliyetinin az olmasıdır. Geosentetik kil kaplamalar genel kullanım alanları; bina izolasyonlarında, dolgulu alanlarda geomembran altında ilk tabaka olarak veya ikinci tabaka olarak, katı atık düzenli depolama sahalarında ikinci kaplama olarak, suni göletlerde geomembran altında kompozit olarak, yüzey sularında bent oluşturmada kullanılırlar [18].

1.1.1.7. Geokompozitler

İnşaat mühendisliği uygulamalarında karmaşıklığı gidermek ve birden fazla geotekstil tabakasının kullanılması sonucu artan maliyeti sınırlamak amacıyla geokompozitlerin

kullanımı artmaya başlamıştır. Geokompozitler, en az bir geosentetik içeren (geonet, geotekstil, geomembranı veya başka çeşit) iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini sağlamak için lamine ya da kompozit şekilde birleştirilmesiyle oluşturulan yapılardır (Şekil 1.6). Birden fazla geosentetik malzemenin oluşturduğu kombinasyonu ile tek tek kullanıldıklarından daha etkili fonksiyonlar gerçekleştirirler. Geokompozitler birçok fonksiyonu yerine getirirler ancak temelde drenaj uygulamaları, atık toplama uygulamalarında ayırıcı, filtrasyon ve güçlendirme fonksiyonlarında kullanılırlar [15].



Şekil 1.6. Geokompozit dren örneği [18]

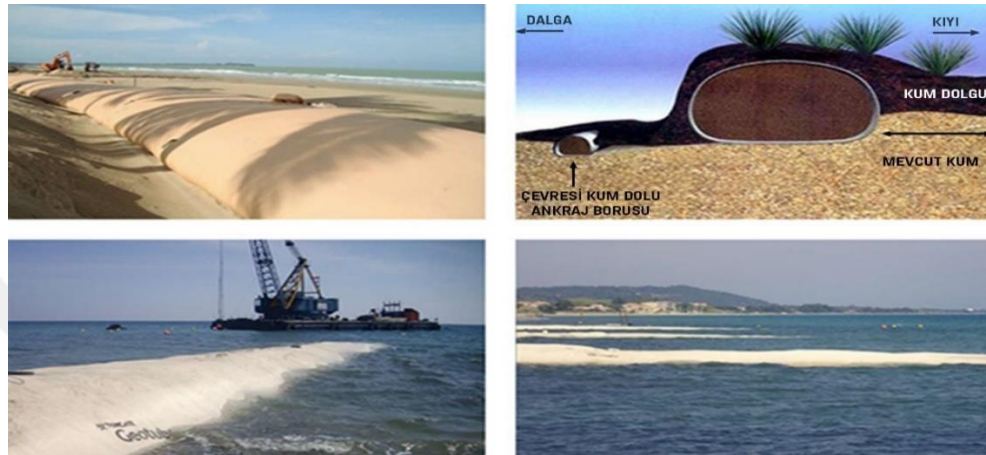
Geokompozitlerin bazı kullanım alanları [18];

- Kaldırım sistemlerinde yatay drenaj ekipmanı olarak,
- İstinat duvarları ve köprü ayaklarında drenaj agregasını dolgu topraktan ayırırken zemin ve sızma suyunun serbest geçişini sağlamada,
- Eğimli topraklarda aşırı gözenek basıncını engellemek ve yüzey aşınmasını önleyerek eğimli zeminlerin stabilizasyonunu koruma olarak sıralanabilir.

1.1.1.8. Geotüpler

Geotekstillerin hidrolik ve kıyı mühendisliği uygulamalarında, dolgu malzemesini (kum, çakıl, asfalt ve harç vb.) sarmak amacıyla kullanılan, geo-konteyner olarak da bilinen malzemelerdir [15]. Geotekstil ruloların dikilerek kapsül şeklinde birleştirilmesiyle oluşturulurlar ve genelde suya doymun malzemeyi tutmaya uygun dayanıma sahiptirler. Kıyı şeritlerde kullanılan geotüplerin hacmi 100 ile 1000 m³ arasında değişir [15]. Eğimli zeminlerde, köprü ayaklarında kullanılmaktadır ancak temel uygulama alanları plajlarda ve açık denizlerde dalgakıran olarak kullanılmasıdır

[13]. Bununla birlikte erozyon kontrol sistemlerinde ve sahil taramasında elde edilmiş ince taneli taranmış malzeme, kirlenmiş tortuların katı halde tutulup susuzlaştırılması için ve kirlenmiş malzemenin üstünün kapatılması gibi depolama işlemleri içinde kullanılmaktadırlar (Şekil 1.7). Geotüplerin avantajları uygulanabilirliğin kolay olması, maliyetin düşük olması ve çevre üzerindeki etkisinin minimum olmasıdır [24].



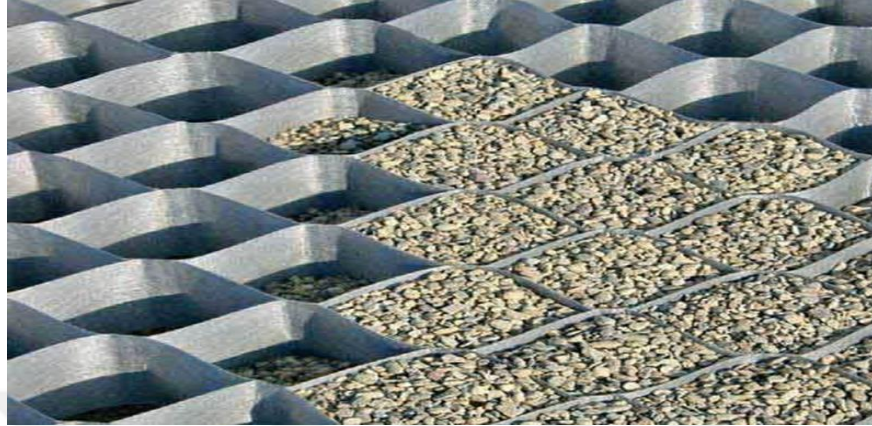
Şekil 1.7. Kıyı koruma amaçlı geotüp uygulaması [25]

Geotüplerde susuzlaştırma üç aşamada gerçekleşmektedir. İlk adım, geotüpün çamur veya kirlenmiş malzemeler ile doldurulmasıdır. Doldurulan malzemelerin birbirine bağlanması için çevreye zarar vermeyen polimerler eklenmektedir. İkinci aşamada susuzlaştırma yapılır. Susuzlaştırma işleminde, geotüpün açıklıklarından fazla temiz su deşarj edilir. Katı kütlenin büyük kısmı geotüp içinde tutulur ve su devridaim edilebilir. Üçüncü aşamada konsolidasyon aşaması meydana gelir. Bu aşamada geotüp olarak kullanılan geotekstil tarafından asılı katıların tutulması sağlanır ve kalıntı su buharı kumaştan kurutulurken yoğunlaşma başlar ve konsolidasyon gerçekleşir. Bu şekilde malzemede hacim oldukça küçülür. Daha sonra atık geotüp içerisinden isteğe bağlı olarak katı atık tesislerinde çıkarılabilir [7].

1.1.1.9. Geohücreler

Geohücreler, yüksek yoğunluklu polietilen veya polyester şeritlerden yapılmış genişletilebilir üç boyutlu (3D) hücresel petek benzeri panellerdir. Genel geohücre yapısı 200 mm genişliği ve 1,2 mm kalınlığında şeritlerden oluşur. Genişletilmiş paneller birbirine yapıştırıldığında drenaj kumu ve çakıllar hapsedilerek takviye

sağlayan kütle hareketlerini önleyen sistemler oluşur (Şekil 1.8). Bu hücresel takviye sistemi ile dolgu malzemesinin yapısal davranışı artırılmış olur [18].



Şekil 1.8. Geohücre [26]

Geohücrelerin kullanım alanları:

- Yumuşak toprak zeminde stabil bir temel sağlama,
- Hücresel yapısı ile uygulama alanındaki konsantre yükü dağıtarak, zayıf alt tabaka üzerindeki statik ve dinamik stresin azalması,
- Dik eğimli yüzeylerin korunması ve stabilizasyonun sağlanması,
- Şev, kanal ve hidrolik yapılara koruyucu bir tabaka sağlamak amacıyla kullanılırlar.

1.1.1.10. Geofam (Geoköpükler)

Geofam ilk olarak 1720’de Norveç’te hafif bir dolgu olarak kullanılmıştır [15]. Geofam, ısı yalıtım ve drenaj kanallarında kullanılmak amacıyla köpürtücü bir madde kullanılarak genişletme yolu ile polimerin yarı sıvı formda uygulanmasıyla üretilen içi gaz dolu yüksek boşluklu polimerik levha veya hafif bloklardan oluşan malzemelerdir. Basitçe geoteknik mühendisliğinde kullanılan her türlü köpük malzemenin genel adıdır. Geofam üretiminde kullanılan hammadde halk arasında ambalaj malzemesi olarak bilinen polistrendir (PS). Polistren köpük kapsamında iki formda mevcuttur:

- Genleşmiş polistiren (EPS)
- Ekstrüde polistiren (XPS) ‘dir.



Şekil 1.9. Geofoam kullanılan otoban inşaatı, Japonya [27]

Geofoamlar, birim ağırlığı $0,11$ ile $0,48 \text{ kN/m}^3$ arasında değişen çok hafif bir malzeme oldukları için sıkıştırılabilir alt zeminle topraklarda otoyol dolgusu, istinat duvarlarında yanal basıncı azaltmak için yanal dolgu malzemesi, binaların altında ısı yalıtım malzemesi ve bina levhaların altında drenaj malzemesi olarak kullanılabilirler.

1.1.1.11. Geomatlar

Geomatlar, eğimli yüzeylerde erozyon kontrolü ve bitkilendirme öncesi su ve rüzgâr etkisiyle meydana gelebilecek yüzey erozyonunu önlemek amacıyla kullanılan polipropilen filamentlerin bağlanmasıyla üretilen üç boyutlu karmaşık yapıya sahip geosentetik malzemedir. Tepe eğimi erozyonunu hafifletme kabiliyeti çok ince yapıda (10-20mm) olmalarından kaynaklanmaktadır [12].



Şekil 1.10. Geomat örneği [12]

Geomatlar, kıyı koruma ve kanal şevlerinde, karayolu ve demiryolu şevlerinde ve bitkilendirme yapılacak alanlarda kök takviyesinde kullanılabilirler. Yeşillendirmeye alt yapı oluşturması ile çevre korumasında bitki örtüsü için takviye görevi görür [12].

1.2. Geotekstiller

ASTM (D4439, 2015) geotekstili, “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili malzemelerle beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü” olarak tanımlamıştır.

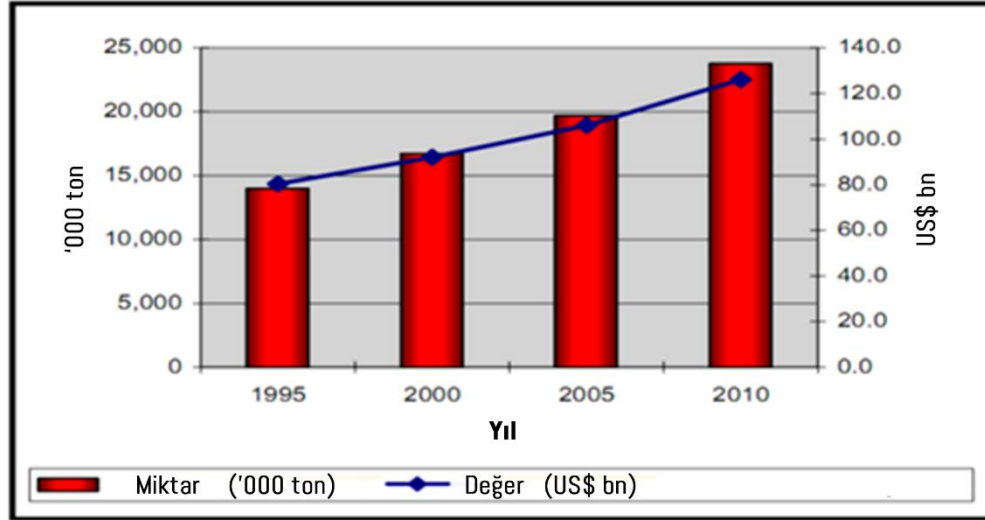
Geosentetiklerin ilk ve miktar açısından en çok kullanılan türüdür. Bu nedenle geotekstil terimi geomembran hariç diğer geosentetikleri kapsayan bir terim olarak kullanılmıştır fakat her biri farklı amaçlara hizmet etmektedir [12].

1.2.1. Geotekstillerin Tarihçesi

Geotekstiller bugün bilindiği ve kullanım haliyle ilk olarak erozyon kontrollerinde uygulanmaya başlanmıştır. Dokuma geotekstillerin kullanımı ilk olarak 1926 yılında başlasa da yapılan çalışmalar doğrultusunda 1960’ların sonunda bir Fransız firmasının dokusuz geotekstilleri üretmesi ile farklı uygulama alanlarında çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışma alanlarından bazıları kaplamasız yolların güçlendirilmesi, demiryolları balastı, dolgular ve toprak barajlardır. Bu birçok uygulama alanlarında geotekstillerin ana kullanım fonksiyonu ayırma, güçlendirme, filtrasyon ve drenaj vazifesi yapmalarıdır. İlk kayda değer geotekstil satışlarının 1970’lerde gerçekleştiği bilinmektedir ve giderek hızla artmaya devam etmiştir. 1984’te tüm dünyada yüz binden fazla projede üç yüz milyon m² geotekstil ve 1990 yılında bir milyar m² geotekstil geoteknik uygulamalarında kullanılmıştır. Bununla birlikte geotekstillerin özelliklerini ve kullanım davranışlarını inceleyen çalışmalarda çeşitlenerek artmaya devam etmektedir [7].

Temel olarak üç tip geotekstil vardır. Bunlar; dokuma, dokusuz(nonwoven) ve örgülü geotekstillerdir. İlk geotekstil kullanımı örgülü yapılarda olan geotekstillerdir. Daha sonra 1970’lerde üretilmeye başlayan dokusuz yüzey tekstil ürünlerin kullanım alanının artması, üretim tekniklerinin geliştirilmesi ve daha ucuz olmasıyla birlikte örgüsüz geotekstil türlerinin bugünkü pazar payı yaklaşık %70’e ulaşmıştır [11]. Teknik

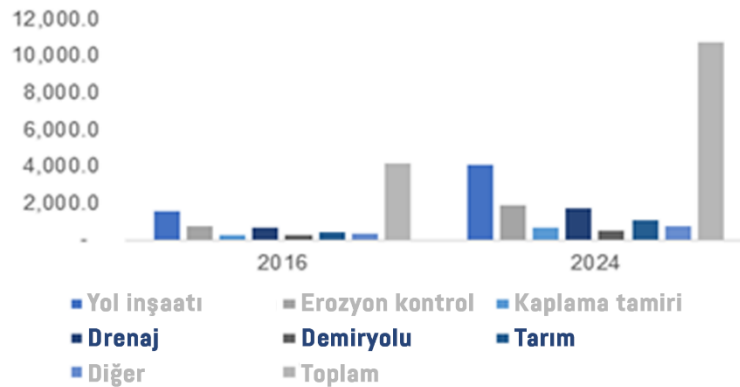
tekstillerin kullanım alanlarına göre dünyadaki tüketim miktarları ile ilgili bilgiler Şekil 1.11’de verilmiştir.



Şekil 1.11. Dünya genelinde teknik tekstil tüketim miktarı [28]

Teknik tekstillerin önemli bir uygulama alanı olan geotekstiller dünya teknik tekstil tüketimi içerisinde %3-4'lük bir paya sahiptir [29].

Uygulama Alanına Göre Geotekstil Pazar Payı, 2017 & 2024, (Milyon metrekare)



Şekil 1.12. Dünya geosentetik tüketim miktarı [30]

Dünya geotekstil üretim miktarı 1970’li yıllarda 10 milyon m² iken, 1985 yılında 350 milyon m² ve 2016 yılında ise yaklaşık 4 milyar m² olarak gerçekleşmiştir. Şekil 1.11 de 2016 yılı itibari dünya geotekstil uygulama alanlarına göre üretimi ve 2024 yılı kullanım miktarı beklentisi verilmiştir ve görüldüğü gibi dünya da geotekstil üretimi yıllar itibarı ile hızla artmaktadır [29].

Türkiye’de geotekstil üretimi konusunda resmi veriler bulunmamakla birlikte 5 milyon m² dokunmamış geotekstil ve 1 milyon m² ye yakın da dokuma geotekstil üretildiği tahmin edilmektedir. Ülkemize geotekstil ithalatı 1980’li yıllardaki oto yol yapımları ve 1983 yılındaki Atatürk Barajı’nın inşasıyla başlamıştır. Bu gelişmeler göz önünde bulundurulduğunda geotekstilin inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanımının giderek daha da artacağı beklenmektedir [31].

1.2.2. Geotekstil Hammaddeleri

Geotekstilleri oluşturan elyafların, filamentlerin ve ipliklerin üretiminde hammadde olarak çeşitli polimerik malzemeler kullanılmaktadır. Bir geotekstil türü, kullanılan polimerin türü, polimer yoğunluğu, ürün geliştirirken kullanılan polimerin çekiş hızı dahil olmak üzere katkı maddeleri, üretim süreci, maliyeti, elyaf, filament ve ipliklerin tipi ve boyutlarına bağlı olarak istenilen işlevi yerine getirmesine olanak sağlayan özellikler sunabilir [32].

Polimerler yüksek molekül ağırlıklı maddelerdir ve geosentetik üretimde kullanılanlar amorf ve yarı kristalin yapıdaki termoplastik polimerlerdir. Bu yapıdaki polimerler ısıtıldığında erir ve soğutulduğunda katılaşır. Herhangi bir polimer kovalent bağlarla birbirine bağlanmış kimyasal birim ve çoğunlukla uzun hidrokarbon zinciri içeren monomerlerin polimerizasyonu sonucu oluşur. Bir polimerik zincirin molekül ağırlığı ve uzunluğunu monomerlerin sayısı belirler [33]. Molekül ağırlığı, monomer zincirleri geosentetik malzemenin mekanik, fiziksel ve kimyasal özelliğini, ısı direncini etkiler [14].

Geosentetik üretiminde yaygın olarak kullanılan bazı polimerler; polipropilen (PP), poliamid (PA), polyester (PET), polietilen (PE), polivinil klorür (PVC) ve polistirendir (PS) [14].

1.2.2.1. Polipropilen (PP)

Geotekstil üretiminde en çok kullanılan malzeme polipropilendir. Polipropilen petrolden elde edilen toksik olmayan propilen gazının ($[CH_2=CH-CH_3]$) polimerizasyonu ile üretilen termoplastik bir polimerdir. Polipropilen 163-171 °C erime noktasına ve 0.90-0.91 g/cm³ yoğunluğa sahip bir yarı kristal termoplastiktir. Sentetik polimerler

arasındaki en hafif polimerdir. [33]. PP kesikli monofilament, multifilament ve bikomponent gibi çeşitli formlara getirilebilen bir polimerdir. Lif formundan iplik haline getirebildiği gibi erime sıcaklığının (160°C -170°C) düşük olması ile lifler arası ısıl bağlanmanın kolay olması nedeniyle polipropilenin günümüzde asıl kullanım alanı dokusuz yüzey kumaş üretimidir [34]. Geotekstil üretiminde yaygın olarak kullanılması birincil sebebi düşük maliyetli olmasıdır. Kritik olmayan yapılar için PP uygun maliyetli bir hammadde sağlar. Yarı kristalin yapısından dolayı asitlere, alkalilere, çamaşır suyuna ve çoğu çözücülere karşı yüksek dirence ve PH aralığı direncine sahip olması ikinci bir avantaj sağlamaktadır. Ayrıca PP elyafı nemi emmez, bakteri, küf, böcek ve mantarlara karşı iyi direnci vardır [33]. Bunların yanı sıra ultraviyole (UV) dayanımı düşüktür ve oksitlenmeye açık bir yapısı vardır. İşleme sırasında ultraviyole ışık direncini sağlamak amacıyla klor içerikli katkı maddeleri ve stabilizatörler ilave edilmelidir. Dokusuz PP öne çıktığı bir diğer kullanım alanı filtrasyon endüstrisidir. Kimyasallara, neme ve çürümeye dayanıklılığı sebebiyle bu alanda oldukça tercih edilmektedir [14].

1.2.2.2. Polyester (PET)

Polyesterler, ester fonksiyonel grupları (-COO-) oluşturmak için bağlanan küçük moleküller arasında bir yoğunlaşma reaksiyonu ile elde edilen bir polimer türüdür. Polyesterin birçok çeşidi vardır fakat en yaygın olarak kullanılan teraftalik asit veya türevinin (örn. Dimetil teraftalat) etilen glikol ile yoğunlaştırılmasıyla elde edilen polietilen teraftalattır (PET) ve yapısındaki ester monomerleri sebebiyle polyester (PES) olarak adlandırılır [12].

Polyester yüksek sünme mukavemetine ve iyi kimyasal dirence sahip olmasının yanı sıra düşük su emme ve minimum büzölmeye sahiptir [35]. Düşük nem emilimi nedeniyle ıslakken ağırlaşmaz ve çabuk kurur. Normal şartlar altında mukavemeti sudan etkilenmez. Bu özelliği sayesinde geotekstil üretimi için özellikle gerilme mukavemeti gerektirdiğinde polyesteri iyi bir seçenek yapmaktadır. Polyester 1,22 ile 1,38 g/cm³ özgül ağırlığına ve 260 °C erime noktasına sahip bir termoplastiktir [8, 15]. Çok yüksek pH ortamları olmadığı sürece organik asitlere karşı, ağartma maddelerine ve organik çözücülere karşı kimyasal direnci mükemmeldir ve güneş ışınlarına karşı direnci iyidir. Fakat uzun süreli güneş ışığına maruz kaldıklarında bozulmaya başlayabilirler. Toprağa

ve zemine maruz kaldığında PES geotekstil kumaşların neme, mikroorganizmalara, kuru betona, asfalt ve bitümlere karşı dayanımı mükemmeldir [16]. Bu özelliklerinden dolayı polyester geogrid gibi takviye gerektiren geotekstillerin üretiminde fazlaca kullanılmaktadır [14].

1.2.2.3. Poliamid (PA, Naylon)

Naylonlar olarak bilinen poliamidler (PA), amid grupların uzun zincirler halinde birleşmesiyle oluşmuş eriyik olarak işlenebilen termoplastiklerdir. En yaygın kullanılan naylon çeşitleri PA 6 ve PA 6/6 dır. Naylon 6 ve naylon 6/6 sırasıyla 1,3 g/m³ ve 1,4 g/m³ olmak üzere hemen hemen aynı yoğunluklara sahiptirler. Naylon 6/6, 249-260 °C ve Naylon 6, 213-220 °C erime sıcaklığı aralığına sahiptir [12, 33]. Poliamid 6 düşük erime noktasına sahip, aşınma direnci ve mukavemeti yüksek, kimyasal direnci iyi ve nemi emme eğilimi vardır. Bunun yanı sıra mineral asitlere ve hava koşullarına karşı direnci sınırlı olduğu için doğal ortamlarda kullanımda fazla tercih edilmemektedir. Poliamid liflerin her ikisi de biyolojik olarak çözünmeye karşı mükemmel direnç gösterirler ancak uzun süreli güneş ışığına maruz kaldıklarında bozulmaya başlarlar [34]. Genellikle geosentetik üretiminde delikli drenaj borularını kaplamada kullanılmaktadır [35].

1.2.2.4. Polietilen (PE)

Polietilen (PE), geomembran üretiminde yaygın olarak kullanılan poliolefin grubunun basit termoplastik polimeridir. Genellikle mükemmel esnekliği, işleme kolaylığı ve iyi fiziksel özellikleri ile bilinen düşük yoğunluklu polietilen (low-density polyethylene;LDPE) kullanılır. LDPE polimer zincirleri arasında yüksek derecede kısa ve uzun dallanmalar olduğu için polimer zinciri daha az kristalli yapıdadır. Ayrıca daha sert ve kimyasal olarak daha dayanıklı olan yüksek yoğunluklu polietilen (high density polyethylene;HDPE) olarak da kullanılır. HDPE neredeyse doğrusal olan çok düşük dallanma derecesine sahip yüksek kristal yapıdadır, bu nedenle çekme mukavemeti oldukça yüksektir [14]. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) 0,92-0,93 g/m³, yüksek yoğunluklu polietilen 0,94-0,96 g/m³ yoğunluğa sahiptirler. Erime sıcaklıkları LDPE için 110 °C ve HDPE için 210 °C'dir. Erime sıcaklığının düşük olmasından dolayı lifler arasında bağlayıcı olarak tercih edilmektedir. Dış ortam şartlarına karşı ve neme karşı direnci iyidir [36, 3].

1.2.2.5. Polivinilklorür (PVC)

Polivinilklorürler (PVC), vinil bazlı reçine ailesinin en önemli ticari üyesidir. Vinil klorür monomerinin polimerizasyonu ile elde edilir. Kimyasal yapısında klor içerdiği için alev geciktirici özelliği vardır [37]. PVC polimerinin erime sıcaklığı 120-130 °C'dir. PVC polimer ve lifler, asitlere, alkalilere, oksitleyici ajanlara karşı çok yüksek dirençlidir. Mikroorganizmalar ve böceklere karşı dayanımları yüksek olduğu için biyolojik olarak çözünmezler [33]. Plastikleştiriciler ve çeşitli katkı maddeleri ile farklı formlar alabilirler ve iyi fiziksel özellik kazanabilirler. Uygun stabilizatörler ile katkı yapılmazsa UV ışığına maruz kaldıklarında koyulaşır ve kırılabilir hale gelerek bozulmaya başlarlar. Ucuz ve esnek olması nedeniyle su ve atık su endüstrisinde boru tesisatlarına hammadde olarak ve filtre malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [15].

1.2.2.6. Polistiren (PS)

Polistiren geofom üretiminde kullanılan hammaddedir ve halk tarafından ambalaj malzemesi ve yalıtım malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Polistiren, stiren monomerinin polimerizasyonu ile elde edilir. Erime sıcaklığı 210-250 °C arasındadır. Genetiği etilendir ve iki formda mevcuttur; genişletilmiş polistiren (EPS) ve ekstrüde polistiren (XPS). Geoteknik mühendisliğinde ise dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır [14, 15].

1.2.3. Geotekstillerin Sınıflandırılması

Geotekstilller, genel olarak üretim tekniği bakımından örgülü ve örgüsüz (dokusuz) geotekstilller olmak üzere iki temel grupta sınıflandırılırlar. Bunlar da kendi içerisinde yapıldığı ipliğin ve elyafın türüne göre çeşitli şekilde sınıflandırılırlar.

1.2.3.1. Örgülü Geotekstilller

Örgülü geotekstilller, örme ve dokuma işlemi ile elde edilirler. Örme kumaş ipliğin ilmek formuna getirilerek yüzey oluşturma esasına dayanır. Örme geotekstillerin kullanım alanı dokuma geotekstillere göre sınırlıdır. Dokuma geotekstillere geleneksel yöntemlerden elde edilirler. Dokuma bir kumaş, birbirleriyle dik yönde kesiştirilen iki grup ipliğin kesişme sırasında örgü adı verilen bir düzen içinde bağlanarak bir doku

oluşturmasıyla elde edilir. İpliğin iki farklı yönünü ayırt etmek için çözgü ve atkı terimleri kullanılır. Çözgü yönü geotekstilin mekanik dokuma tezgâhı üzerinde üretildiği yöne denk gelir ve buna makine yönü, üretim yönü veya rulo uzunluğu yönü de denmektedir. Atkı ise tezgâhın genişliği boyunca uzanan çözgü iplikleri arasından geçilerek doku oluşmasına yardımcı olan dolasıyla dokuma bir geotekstilde enine yönde uzanan ipliklere verilen isimdir [14].

1.2.3.2. Dokusuz Geotekstiller

Dokusuz geotekstiller çok çeşitli fonksiyonlarda kullanılmaları nedeniyle en yaygın kullanılan geotekstil türüdür. Geotekstil endüstrisindeki asıl gelişme 1960'lı yılların sonunda dokusuz yüzey geotekstillerin üretimlerin başlamasıyla olmuştur. Dokusuz geotekstiller, elyafların belli bir düzende veya dağınık bir şekilde sürekli konveyör bant üzerine gevşek bir şekilde serilmesi ve yönlendirilmesi ardından mekanik (iğne ile delme), kimyasal (liflerin lateks, selüloz gibi kimyasallarla sabitlenmesi) veya termal yöntemlerle (liflerin kısmen eritilmesi) bağlanması ile oluşturulan ve dokuma işlemleri uygulanmayan yapılardır. Bu geotekstiller, sürekli filamentler veya kesikli elyaflardan yapılabilirler [14].

EDENA (European Disposables and Non-Wovens Association) tarafından kabul edilen dokusuz ürün tanımı şu şekildedir: “Dokusuz yüzey; mekanik, kimyasal veya fiziksel araçlarla (dokuma, örgü, tafta, dikişle tutturma, kâğıt yöntemi ve geleneksel keçe yöntemi hariç) üretilmiş veya birbirine tutturulmuş tek yönlü veya gelişmiş güzel dizilmiş elyaftan imal edilmiş mühendislik ürünü tabaka, ağ veya keçedir” [38, 39].

Dokusuz geotekstiller günümüzde üretilen geotekstillerin yaklaşık %70-80'ini oluşturmaktadırlar ve genellikle ayırma filtrasyon, drenaj, koruma amacı olan uygulamalarda kullanılırlar. Dokusuz geotekstiller elyaflardan en çok yararlanan bir üretim tekniği olduğu için ürünün özelliklerini kullanılan elyaf türü belirlemektedir. Ayrıca dokusuz geotekstiller de ürün kalitesini hammaddenin cinsi ve üretim tekniği etkilemektedir [40].

1.2.4. Geotekstil Üretim Yöntemleri

Örgülü geotekstillere, geotekstil amaçlı kullanılacak materyalin iplik formuna dönüştürülerek yüzey oluşturulması esasına dayanır. Örmeye ve dokuma olarak iki kısımda incelenir. Dokusuz geotekstillere ise elyaf formunda yüzey oluşturulması ve çeşitli işlemlerle elyafların birbirine sabitlenmesi esasına dayanmaktadır. Dokuma ve örmeye işlemleri ile elde edilmiş kumaşların mekanik özellikleri farklılık göstermektedir. Dokuma kumaşları genel olarak örmeye kumaşlarına göre birim alanda daha fazla temas noktasına sahip olduğu için elastikiyeti düşüktür. Dokusuz yüzeyler geotekstil olarak yaygın kullanılmaktadır.

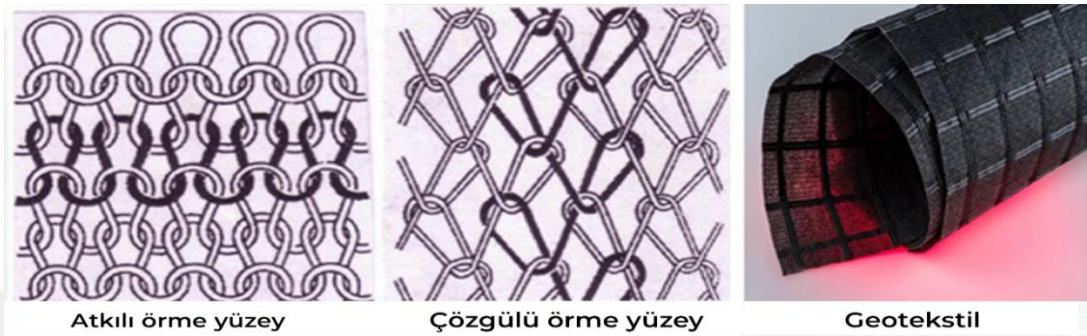
1.2.4.1. Örmeye Geotekstillere Üretim Yöntemleri

Günümüzde üretilen geotekstillere yaklaşık %5-10'u örmeye kumaşlardan oluşmaktadır [4]. Örmeye geotekstil bir dizi iplik ilmeğinin düzlemsel bir yapı oluşturmak için kesintisiz bir şekilde birbirine kenetlenmesiyle oluşan yapılardır. Örmeye işlemi, ucunda kancaların olduğu sırasıyla veya aynı anda çalışan yüzlerce iğnenin çözgü iplikleri halinde ilmekler oluşturarak yan yana veya üst üste getirilerek bağlanması ile yüzey oluşturulması esasına dayanmaktadır. Örmeye işlemi atkılı örmeye ve çözgü örmeye olmak üzere iki ana gruba ayrılır.

Geleneksel tekstil endüstrisinde en sık kullanılan örmeye yöntemi atkılı örmeye yöntemidir. Bu yöntemde tek bir iplikte bütün kumaş yapısı oluşturulabilir. Kullanım alanlarına göre bu kumaşlar yuvarlak ve düz yapıda olabilirler. Atkılı örmeye işleminde tek bir iplik kullanılır ve bu ipliği teker teker hareket eden bütün iğnelere işleme sokarak yan yana ilmekler oluşturulur ve kumaş boyunca birbirlerine bağlanırlar. Dairesel örmeye makinelerinde iğne plakaları daire şeklindedir. Bu sayede sürekli tüp şeklinde dikişleri olmayan oldukça esnek bir örgülü geotekstil oluşur. Bu iki özellikleri nedeniyle dairesele atkılı örmeye geotekstillere, drenaj borularının etrafında uygulanmak üzere filtre kumaşları üretmek için kullanılırlar [15]. Düz atkılı örmeye makinelerinde ise iğne yatakları birbirine paralel ve karşılıklı monte edilirler.

Çözgü örmeye, çözgü levendinden gelen ipliklerin toplu hareket eden iğnelere beslenmesiyle üst üste elde edilen ilmeklerin kumaş eni boyunca uzunlamasına bağlanmasıyla elde edilirler. Bu sistemde her bir iğneye en az bir iplik beslenmek

zorundadır. İlmeklerin kumaşa birleştirilme işi iplik kılavuzlarının iğne arasında gidiş gelişle gerçekleşir. İplik kılavuzu iğne kancasına iplik yatırımını yapar daha sonra iğne yukarıdan aşağıya alçalma hareketi ile ipliği eski ilmek içerisinden geçirerek ilmek oluşumunu tamamlar [41].

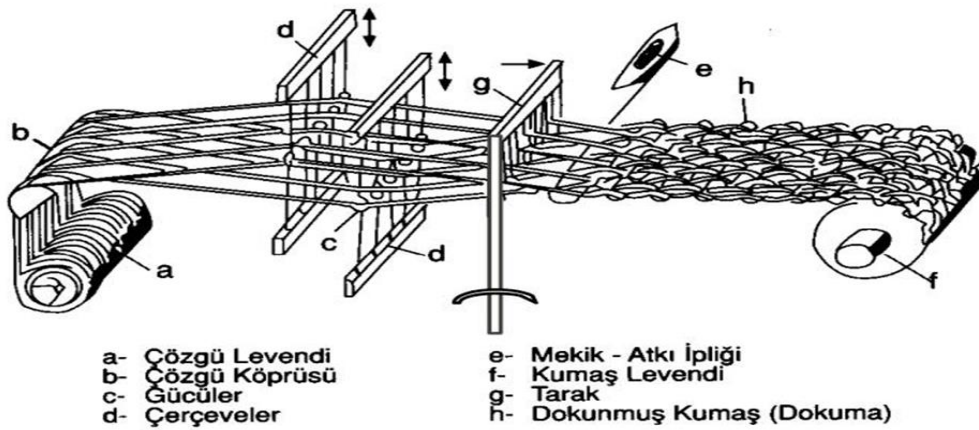


Şekil 1.13. Atkılı örme, çözümlü örme yapısı ve kompozit çözümlü örme geotekstil örneği [42,43]

Çözümlü örme kumaşlar daha yüksek gerilme mukavemetine sahip, daha kapalı ve çözülmesi zor yapılardır. Bu özellikleri nedeniyle yüksek gerilme dayanımların istendiği alanlarda, drenaj paspaslarda, kompozit takviye ve kıyı koruması için uygulanacak alanlarda örgülü geotekstiller kullanılabilir.

1.2.4.2. Dokuma Geotekstillerin Üretim Yöntemleri

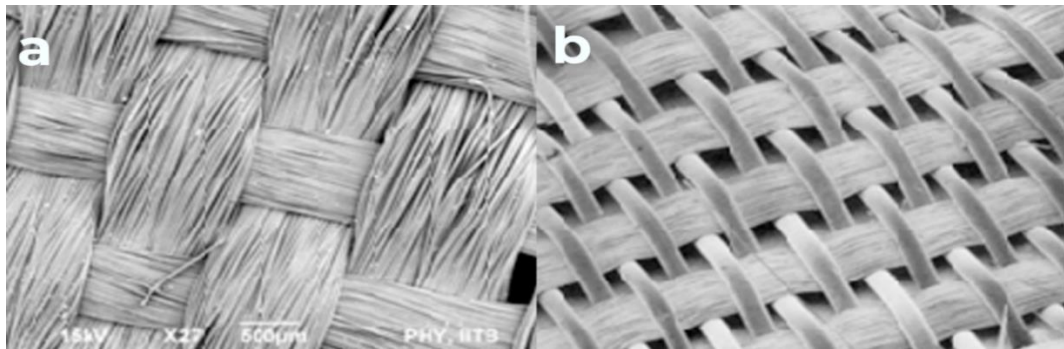
Dokuma işleminin gerçekleşmesi için dokuma makinelerinde gerekli beş temel hareket vardır. Ağızlık açma, atkı atma, atkı sıkıştırma, çözgü salma ve kumaş sarma olarak bilinen bu işlemler ile kumaş oluşturulmaktadır. Kısaca dokuma işlemi, her bir çözgü telinin gözlerin içinden geçtiği gücü tellerini taşıyan gücü çerçevelerinin yukarı aşağı hareketi açılarak iki çözgü katmanı oluşur. Aynı anda mekik açılan ağızlık içinde makinenin enine yönde bir yandan diğer yana atkı ipliklerini çözgü iplikleri arasından geçmesini sağlar. Çözgü iplikleri arasına yerleştirilen atkı iplikleri ağızlık yer değiştirmesiyle örgüye girerek çözgü iplikleri arasında kalır. Bununla birlikte, işlemin tekrarlanarak devam edebilmesi için çözgü ipliklerinin belirli bir gerginlikte ve hızda devamlı olarak ileri doğru beslenmesi ile çözgü salma işlemi ve kumaşın dokunan bölümünün sürekli olarak sarılması ile kumaş sarma işlemi gerçekleştirilir ve dokuma kumaş oluşturulur [44].



Şekil 1.14. Dokuma tezgâhı yan kesit şeması [45]

Dokuma geotekstiller birçok farklı iplik ve filamentlerden yapılır. Bunlar; monofilament iplik (tek bir filamentten yapılır), multifilament iplik (birbirine hizalanmış ince filamentlerden yapılır), eğrilmiş iplik (birbirine geçmeli veya birbirine kıvrılmış devamsız liflerden yapılır), yarılmış film ipliği düz bant benzeri lifler (1-3 mm) ve fibrile ipliklerdir [20].

Monofilament iplik, tek bir filamentten oluşan iplik çeşididir. İpliklerin son kullanım alanına göre liflerin enine kesitleri yuvarlak, üçgen ve boşluklu gibi farklı şekillerde üretilebilir. Lifin enine kesiti filamentlerin özelliklerini etkiler. Monofilament iplik çapı kullanım alanına göre değişiklik gösterir ve yüksek eğilme rijitliğine sahip ipliklerdir [44].



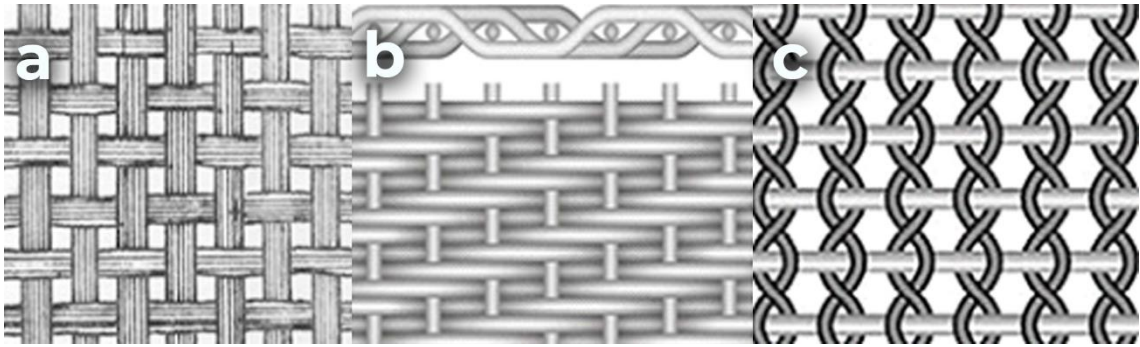
Şekil 1.15. a) Multifilament dokuma b) Multifilament üzerine monofilament iplikle dokuma [19]

Multifilament iplik, üretici tarafından belirlenen bir bükümde sonsuz uzunlukta demetler halinde filamentlerin birleştirilmesiyle meydana gelen ipliklerdir. Multifilament iplikler geniş etkili yüzey alanlarından dolayı, çekme işlemi sırasında daha homojen ısıl

işlemden geçirilebilirler. Bu nedenle monofilament ipliklerden daha iyi mukavemete ve yüksek modüle sahiptirler. İnce çaplarda filamentlerden oluştukları için bükülme sertlikleri monofilamentlere oranla daha düşüktür. Bu özellikleri sayesinde multifilament iplikler ile çok daha esnek, daha küçük gözenekler sağlayan yoğun kumaşlar elde edilir [35].

Yarık film ipliği, ince ve düz elyaflardan oluşurlar ve filamentlerin ince bantlar halinde kesilmesi ve çekilmesiyle meydana gelen polimer filmden yapılırlar [46]. Yarık filmden yapılan geotekstiller çok düşük hidrolik geçirgenliğe sahiptirler bu nedenle kuru ortamda ayırıcı ve takviye uygulamaları için tercih edilirler [47, 48].

Dokuma geotekstiller, genellikle düz dokumadır, ancak bazen dimi örgü veya leno dokuma (çok açık bir dokuma türü) ile yapılırlar [15]. Leno örgüler gözenekli ve dolaşmış yapılar nedeniyle düz yapılardan daha hafif ancak daha güçlüdürler (Şekil 1.16c). Düşük iplik sayısına sahip açık kumaş yapısındadırlar ve genellikle kumaşın takviye ve drenaj görevi gördüğü sağlam bir temel oluşturan yapılarda kompozit malzeme olarak kullanılmak için diğer örgülerle birlikte kullanılırlar [47].

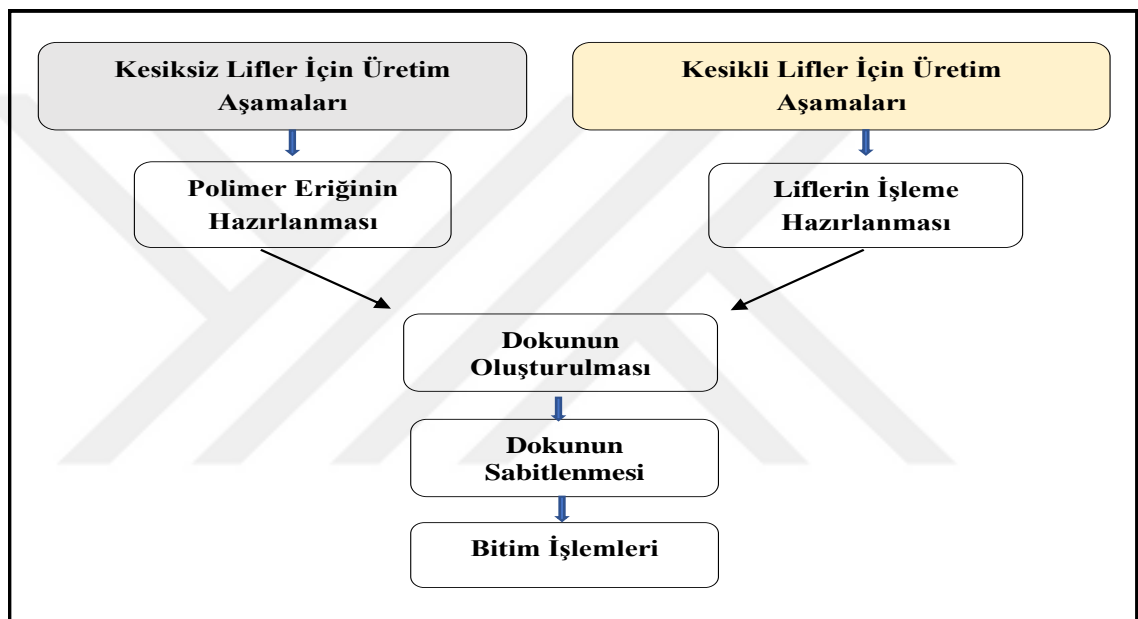


Şekil 1.16. a) Düz örgü b) Dimi örgü c) Leno örgü [49]

Dokuma geotekstiller en çok stabilizasyon, ayırma, takviye, erozyon kontrol ve destek isteyen yerlerde kullanılırlar. Uygun dokuma geotekstil ile kaplanmış yumuşak alt zeminler, uygulanan yükleri daha geniş bir temele yayarak yırtılmayı azaltırken alt zemin ile üst zeminin birbirine karışmasını önleyerek taşıt yollarını dengeler. Böylelikle yolun uzun süreli kullanımını artırarak ve bakım maliyetini düşürür [47].

1.2.4.3. Örgüsüz (Nonwoven) Geotekstil Üretim Yöntemleri

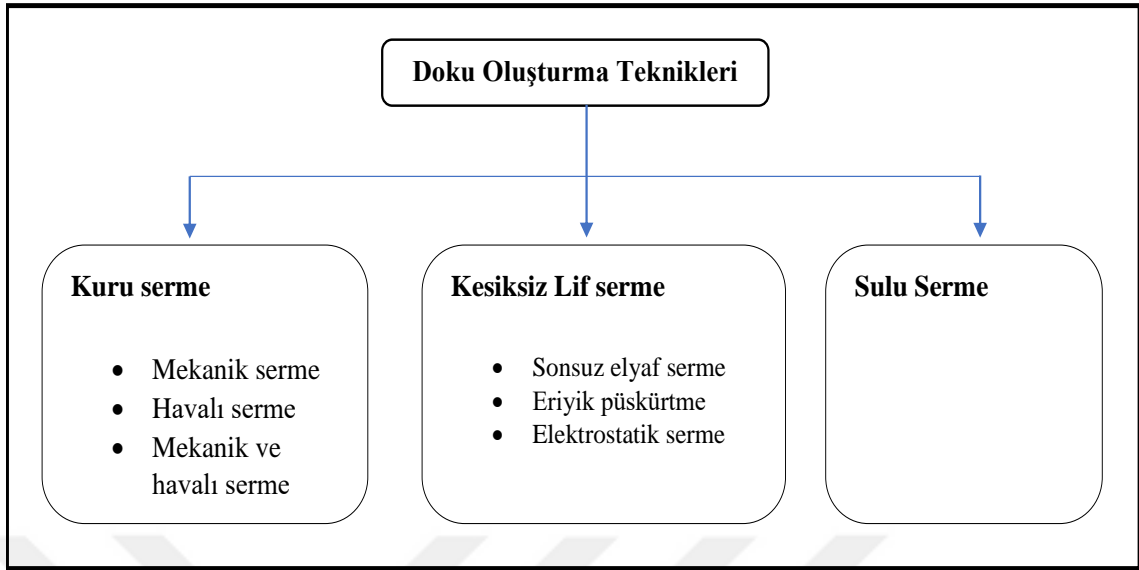
Dokusuz yüzeylerde pek çok üretim tekniği olmasına rağmen örgüsüz geotekstil oluşumu üç temel aşamada gerçekleştirilir; elyafların serilerek dokunun oluşturulması, serbest halde olan liflerin güçlendirilmesi ve bağlanması için dokunun sabitleme işlemi, dokunun son kullanım alanına göre çeşitli fonksiyonların kazandırılması için çeşitli bitim kimyasalları kullanılarak bitim işlemleri uygulanmasıdır. Seçilen hammadde türüne göre dokusuz yüzey üretim basamakları Şekil 1.17’de verilmiştir.



Şekil 1.17. Seçilen hammadde türüne göre dokusuz yüzey üretim basamakları

1.2.5. Doku Oluşturma Metotları

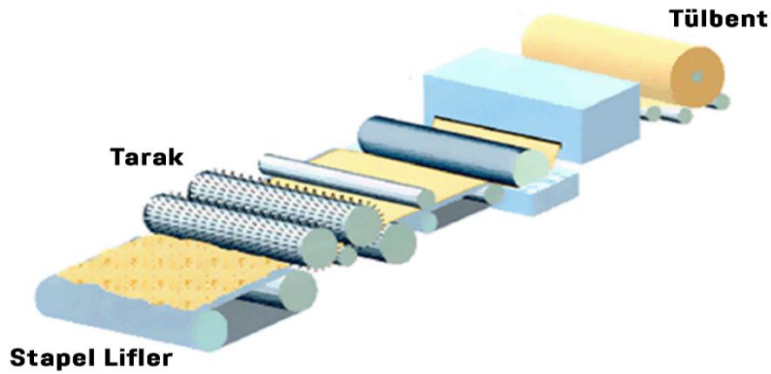
Doku oluşturma, son üründen beklenen özellikler doğrultusunda liflerin uzunluğu (kesikli, kesiksiz), kalınlığı ve kimyasal yapısı göz önünde bulundurularak üst üste dağılımı katmanı serme işlemidir. Kuru serme, sulu serme ve kesiksiz lif serme olmak üzere üç ayrı doku oluşturma tekniği vardır (Şekil 1.3).



Şekil 1.18. Doku oluşturmada kullanılan teknikler

1.2.5.1. Kuru Serme Yöntemi

Kuru serme ve ıslak serme işlemi kesikli elyaflarla oluşturulacak dokusuz yüzeyler için uygulanır. Kuru serme işlemi üç ana adımdan oluşur. İlk olarak balyalar halinde gelen lifler balya yolucu kafalar yardımıyla açılır, temizlenir ve ardından ürün özelliğine göre farklı özellikteki aynı lif türü veya farklı lif türleri karıştırılarak hazırlık aşamasından geçer. Daha sonra mekanik, havalı veya bu iki yöntemin birleşiminden oluşan herhangi bir yöntemle lifler paralel hale getirilir [32, 51].

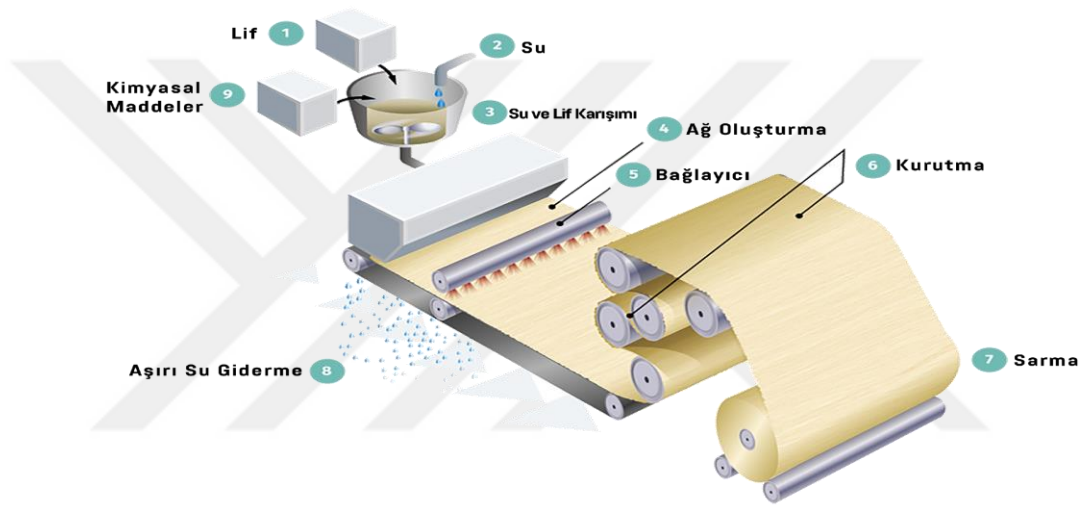


Şekil 1.19. Mekanik serme yöntemi ile doku oluşturma [29]

1.2.5.2. Sulu Serme Yöntemi

Sulu serme prosesi kâğıt üretimindeki prosesten esinlenilmiştir. Sulu serme işleminin temel adımları, sıvı içinde dağılabilen kesikli elyafların (2-30mm uzunlukta) şişerek

homojen dağılacağı sıvı karışımın hazırlanması, bunun çapraz delikli bant üzerine serilmesi, tülbent kurutulması, harmanlanması ve bağlanmasıdır [34]. İlk olarak su karışımının olduğu tanka lifler beslenir ve burada pervaneler ile karışım sağlanır. Sulu karışım içerisine viskozite ve homojenliği ayarlayan maddeler, PH ayarlayan maddeler, liflerin ayrılması için sülfaktan ve bağlayıcı maddeler eklenebilir. Daha sonra lif su karışımını besleme kafasından tülbent oluşturulması için delikli hareketli bantlar üzerine sevk edilir. Son olarak oluşturulan doku kurutulur ve çeşitli bağlayıcılar kullanılarak bağlanır (Şekil 1.20) [32].



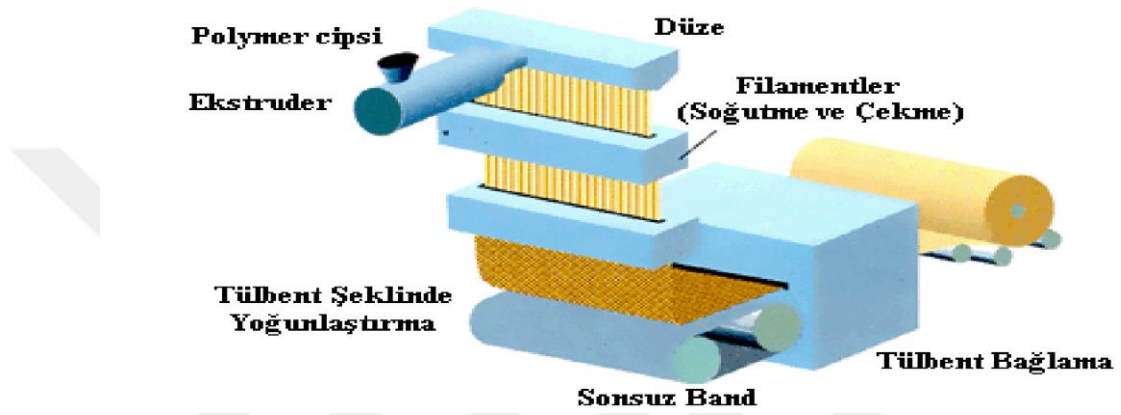
Şekil 1.20. Dokusuz yüzey elde etmede sulu serme yöntemi [38]

1.2.5.3. Kesiksiz Doku Serme Yöntemleri

Kesiksiz doku serme işleminde filament halindeki lifler doğrudan serilerek topaklanır ve bir ağ şeklinde yoğunlaşarak hareketli bir konveyör bant üzerine serilir. Bu yöntem yüksek hacimli, yüksek mukavemetli ve tek adımla üretime izin verdiği için hafif ve orta ağırlıklı geotekstiller üretmek için ekonomik bir süreç sunar. Sonsuz elyaf serme ve eriyik püskürtme olmak üzere iki temel kesiksiz doku serme metodu vardır. Bunlara ek olarak elektrostatik ve ani doku oluşturma metotları da mevcuttur.

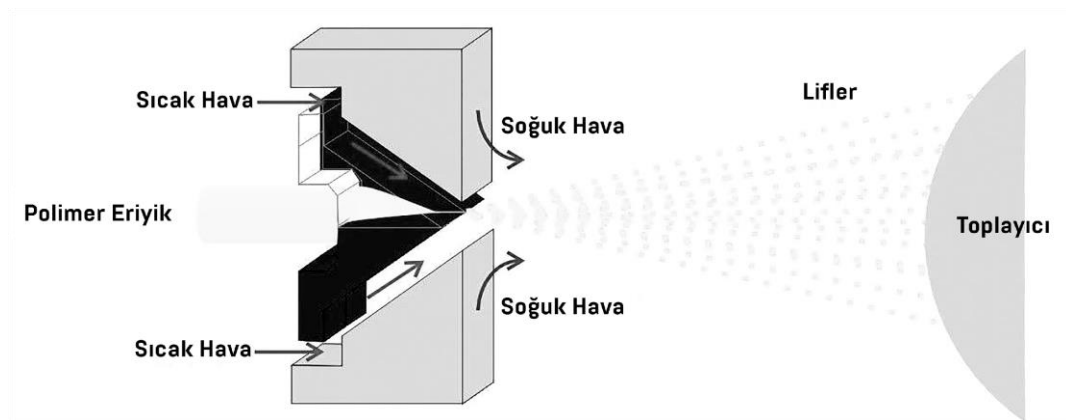
Sonsuz elyaf serme (spunlaid/spunbond): Bu işlem sırasıyla; polimer eritme, soğutma ve filtreleme, filament çekimi, dokunun yüzeye serilmesi, doku bağlama ve sarma adımları ile gerçekleşir [51]. Şekil 1.21’de görüldüğü gibi; polimer granülleri ekstrüder haznesine beslenir. Burada polimer, ısı ve sürtünme yardımıyla içerdeki dönen tertibatının mekanik etkisiyle eritilir. Erimiş polimer belirli basınç altında düşer

bloğundan püskürtülmektedir. Bu blokta gerekli filament sayısına denk gelen binlerce delik bulunabilir. Filamentler düze bloğundan ayrıldıktan sonra kullanılan polimer ve gerekli filamentin özelliklerine göre hava akımı yardımıyla soğutulur ve çekilir. Hava akımı yardımıyla çekilerek katılaştırılan lifler hareket halindeki vakumlu delikli bant üzerine serilir. Bu sistemde üretilen dokusuz yüzeyler sabitleme işlemine göre sert, daha hacimsiz ve dayanıklı olmaktadır [50,52].



Şekil 1.21. Eriyikten çekim yöntemiyle doku serme [29]

Eriyik püskürtme (meltblown): Eriyik püskürtme işlemi, sonsuz doku serme işleminde olduğu gibi termoplastik polimerlerin ekstruder vasıtasıyla eritilip, düze başlığına sevk edildikten sonra düze bloklarından çıkan filamentlerin yüksek hızlı sıcak havanın etkisiyle daha fazla inceltilerek mikro fibere dönüşür ve delikli konveyör toparlayıcıya biriktirilmesi esasına dayanır (Şekil 1.19) [40,51,53,54].

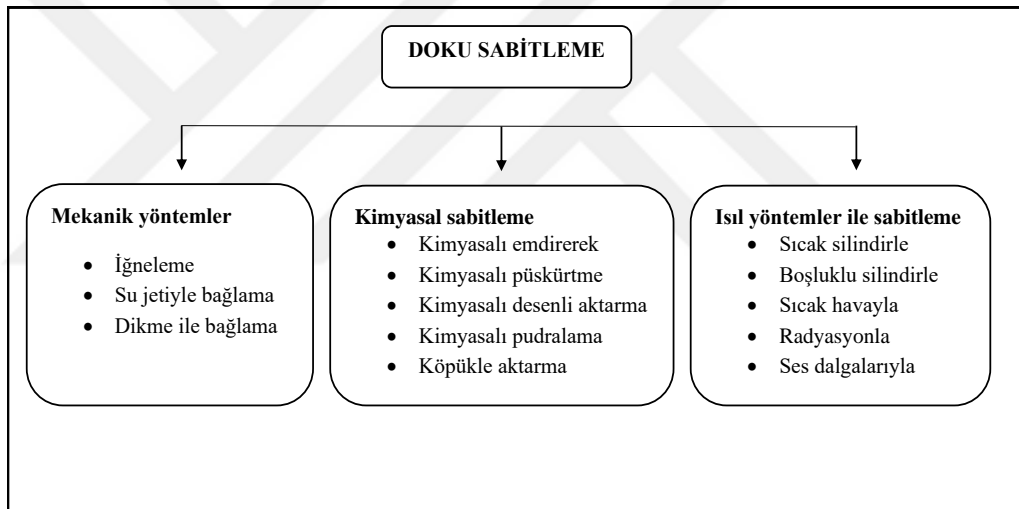


Şekil 1.22. Eriyik püskürtme ile doku oluşturma [51]

Bu yöntemle son derece ince, yumuşak ve havanın etkisiyle kendiliğinden bağlanmış, mükemmel örtme gücüne sahip bir doku oluşmaktadır. Hava etkisiyle filamentler bağlanmış olduğu için bazı durumlarda yeniden bir bağlanma işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır ve süper ince lifler yapmak için en popüler yöntemlerden biridir [55].

1.2.6. Doku Bağlama Teknikleri

Doku bağlamanın amacı mukavemetsiz dokuya mukavemet ve esneklik kazandırmak amacıyla mekanik, kimyasal ya da ısıl bağlama sistemleriyle tülbenti bağlamak ve dayanıklılığını artırmaktır. Bağlanma derecesi ve bağlayıcı madde; kumaşın esnekliğini, gözenekliliğini, emicilik özelliklerini, kalınlığını ve boyutsal özelliklerini belirleyen önemli bir işlemdir [51].



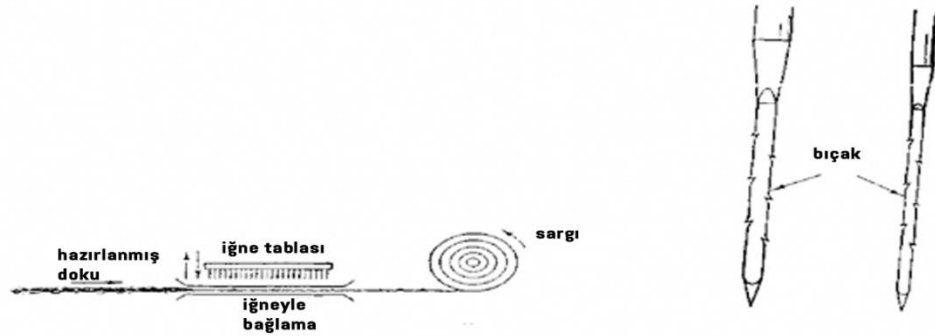
Şekil 1.23. Doku sabitleme teknikleri

1.2.6.1. Mekanik Sabitleme Teknikleri

Mekanik bağlamada, belirli ende ve gramajda serilmiş tülbent elyafları iğneleme ile bağlama, su jetiyle bağlama veya dikerek bağlama yöntemlerin biriyle birleştirilir.

İğneleme ile sabitleme: İğneleme ile mekanik bağlama, yöntemlerin en eski ve en yaygın kullanılan yöntemidir [56]. İğneleme ile bağlama yönteminde üçgen enine kesitli üzeri dikenli tasarım iğnelerin olduğu plaka serilmiş hareket halindeki tülbende önceden belirlenen iğne derinliği ile aşağı hareket ederek yatay yönde bulunan lifleri çentiklerle yakalar ve yukarı hareket ederek tülbentten lifler dikey yönde çekilerek bağlanır ve sürtünme kuvvetleriyle yapı bir arada kalır. İğneler ile sağlamlaştırılan yapı daha sonra

makinede bulunan sarma tertibatı ile sarılarak uzaklaştırılır. Kullanım yerine göre ürünlerde kalınlığı azaltmak için ön iğneleme ve son iğneleme olmak üzere iki basamaklı iğneleme uygulanabilir [50].



Şekil 1.24. İğneleme ile doku sabitleme ve çentikli iğne örneği [36]

Yüksek mukavemetli iğneleme ile bağlanmış kumaşlar çoğunlukla geotekstillerde kontrollü geçirgenlik, ağırlık, yol takviyesi, toprak altı stabilizasyonu ve havuz kaplamalarında, kanallarda, göletlerde ve kir önleyici sistemlerde düşük su geçirgenliği sağlamak için kullanılırlar [18].

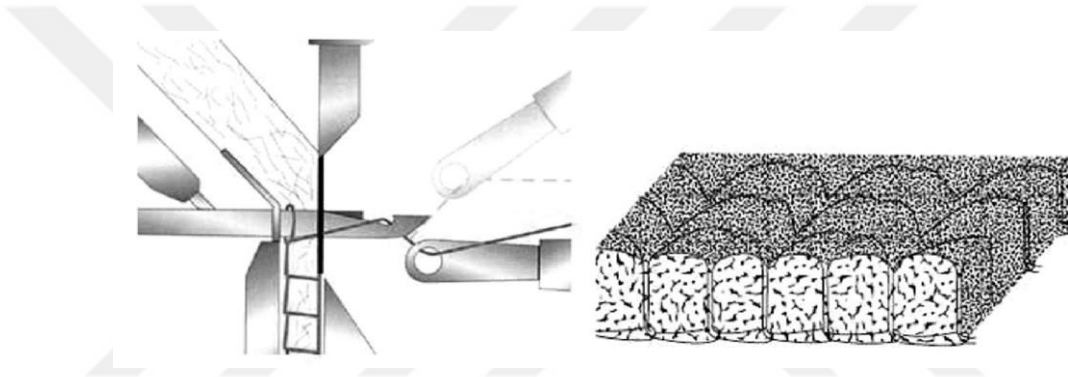
Su jeti ile bağlama (spunlace): Yöntemin esası; çeşitli tertibatlar ile suyun yüksek basınçta jet başlığında püskürtülmesiyle tülbentteki liflerin yüksek enerjili su jeti ile dolaştırılarak bağlanmasıdır. Elyaf dolanması su jetinin oluşturduğu türbülanslı su akışının etkisiyle iç içe geçen liflerin bağlanmasıyla oluşur. Bu sistemde tülbent delikli bant veya tellerle desteklenir. Bantta bulunan deliklerden fazla su vakumla alınır bu işlemle liflerin hareket etmesi engellenir. Bu yöntemde lifler arasındaki tek bağ liflerin birbirlerine dolaşması olduğu için yapılar oldukça esnektir [34].



Şekil 1.25. Su jetiyle tülbent bağlama sistemi [56]

Su jetiyle bağlama yöntemi ile oluşturulan dokusuz yüzeyler, iğneleme ile bağlanmış yapılardan daha az hacimli ve sıkıdırlar. Ayrıca su jetiyle bağlama iki veya daha fazla tülbent katmanının birleştirilmesi için uygun bir yöntem sağlar.

Dikerek bağlama: Dikerek bağlama yöntemi, çapraz halde gevşek şekilde serilmiş tülbent tabakanın çözgü iplikleriyle birleştirilmesidir. Dikerek bağlama makineleri çözgü örne makinelerin modifiyeli şeklidir ve çeşitli uygulama şekilleri mevcuttur. Söz konusu yöntemde, destekleyici raylar ve platinler ile altta duran tülbent tabaka desteklenir ve bileşik iğne yapı içerisine girerek dikiş ilmekleri oluşturur (Şekil 1.26) [50].



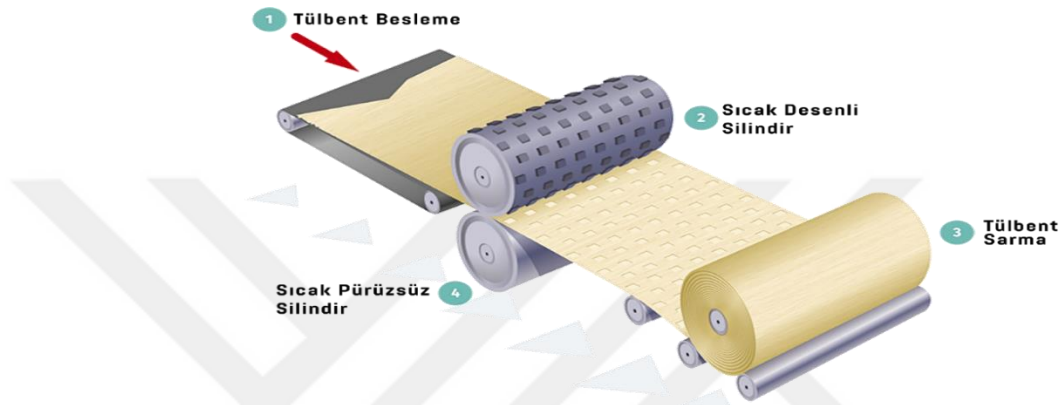
Şekil 1.26. Dikerek bağlama yöntemi ve dikişli dokusuz yüzey [51]

1.2.6.2. Isıl İşlemlerle Sabitleme Yöntemi (Termal Bağlama)

Isı ile bağlama yönteminde tülbent tabakada bulunan termoplastik yapıdaki sentetik lifler viskoz hale gelene kadar kontrollü ısı ve basınçla eritilir. Eriyik hale gelen elyaf, tülbent tabakada kılcal hareketle akarak bağlantı noktaları oluşturur. Daha sonra tabaka soğutularak bağlantı tamamlanır. Normal olarak ısıl bağlama, aynı malzemenin bir filamentinin farklı erime noktasında birleştirilerek, farklı bir toz maddeyi ağ üzerinde dağıtarak veya ağ tabakasının etrafında ısıyla ince tabaka oluşturabilecek iki bileşenli filamentler kullanarak gerçekleştirilebilir. Isıl bağlama yöntemleri, sıcak hava ile ısıl bağlama, ses dalgalarıyla ısıl bağlama, boşluklu sistem ve silindirle ısıl bağlama olarak dört grupta incelenir [50].

Sıcak silindirle ısıl bağlama yönteminde tülbent tabaka sıcak ve basınçlı ortamda iki silindir arasından geçerek eritilerek bağlanır. Sıcak hava ile ısıl bağlamada, düşük sıcaklıklarda eriyen liflerin kullanıldığı tülbent tabakaya sıcak hava verilerek tülbent

yapıştır ve hacimli ürünler oluşur. Boşluklu silindir sistem ile ısıl bağlama, ısı ve basınç altında boşlukların olmadığı bölgelerdeki elyaflar bağlantı kurar. Bu yöntemle boşluklu silindirlerin farklı yapısı ile desenli bağlanmış ürünler oluşabilir (Şekil 1.27). Ses dalgalarıyla bağlama yönteminde ise yüksek frekanslı ses dalgaları belirlenen bölgelerdeki lif tabakalarına uygulanır ve burada liflerin molekülleri yüksek enerjili ses dalgalarının etkisiyle değişerek yapışma işlemi gerçekleşir [57].

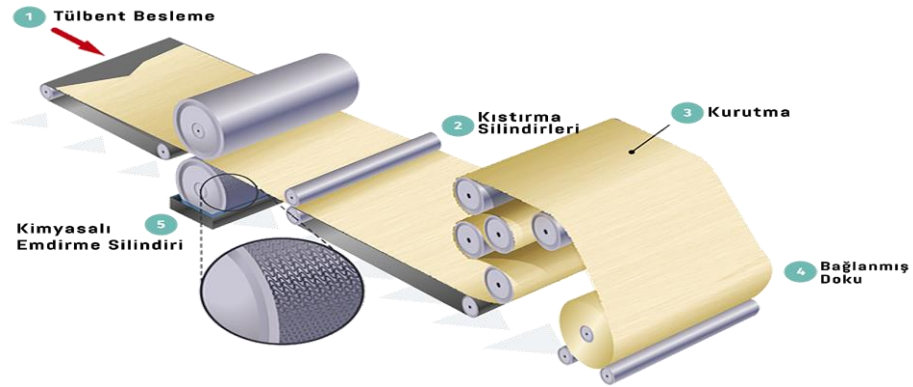


Şekil 1.27. Sıcak desenli silindirle termal bağlama [38]

Termal bağlanmış kumaşlar ekstra bir bağlayıcı gerektirmediği için çevre dostu ürünlerdir. Ayrıca bu yöntemde yüksek hacimli ürünler tülbent kesiti boyunca eşit olarak bağlanabilir.

1.2.6.3. Kimyasalla Doku Sabitleme

Kimyasal bağlama, kimyasalı emdirme, püskürtme, desenli aktarma, köpükle aktarma ve pudralama tekniklerini içerir. Kimyasal bağlayıcı veya reçine maddelerin kullanılarak tülbent dokunun bağlandığı dokusuz yüzey bağlama yöntemidir. Günümüzde elyaf ağlarını bağlamak için en sık kullanılan bağlayıcı su bazlı latekstir. Çoğu lateks bağlayıcı polivinil asetat, stiren bütadien, poliakrilik gibi vinil bazlı malzemelerden yapılır [38,39]. Çünkü bu yapıştırıcılar ekonomik, kolay uygulanabilir ve kuvvetli yapıştırıcılardır [51]. Kimyasallar farklı yöntemlerle dokuya uygulanır ve ısıl yöntemle sabitlenir. En yaygın kullanılan yöntem kimyasalın dokuya emdirilerek uygulanmasıdır (Şekil 1.28) [50].



Şekil 1.28. Kimyasalın dokuya emdirilerek bağlanması yöntemi [38]

Kimyasal dokuya emdirerek bağlama yönteminde, kimyasalın olduğu banyoya tülbent tabaka daldırılır. Daha sonra üzerinde fazla sıvıyı almak için iki silindir arasından geçirilir ve daha sonra kurutularak yapıştırılır.

Köpükle bağlama yönteminde sıvı kimyasal havanın etkisiyle köpürtülerek dokuya uygulanır ve iki silindir arasından geçirilen doku yapıştırılmış olur. Bu yöntemde yapıştırmada daha az kimyasal ve ağır kurutulması için daha az enerji kullanılır [57].

Geotekstillerin üretim süreçleri kullanılacağı alana göre artı özellikler eklemek amacıyla terbiye, kalite kontrol, kesme, sarma ve paketlenme ile sonlanır. Kalite kontrol aşamasında son üründe görünür delik ve kusur olup olmadığı, metal veya iğneler gibi kirleticilerin olmadığını doğrulamak amaçlanmaktadır. Bu aşamadan sonra istenilen genişlik ve uzunluklarda kesilerek veya dikilerek dönüştürülen ürün paketlenerek satışa hazır hale getirilir [57].

Dokusuz geotekstiller çoğunlukla drenaj, filtrasyon, koruma ve stabilizasyon için hendeklerde, ıslak neme duyarlı toprak üzerinde, boru etraflarında, drenaj altlarında, erozyon kontrol uygulamaları ve trafik yoğunluğunun olduğu alt yapılarda kullanılırlar [55,32].

1.2.7. Geotekstillerin Özellikleri

Geotekstiller farklı alanlarda birden fazla işlevi yerine getirirler. Geotekstillerin uygulama alanlarında yapabileceği işlevler fiziksel, mekanik ve hidrolik özelliklerine bağlıdır.

1.2.7.1. Geotekstillerin Fiziki Özellikleri

Geotekstillerin fiziksel özellikleri, hammaddeleri ve bunları üretmek için kullanılan üretim süreçlerini yansıtan özelliklerdir. Geotekstiller kullanım alanına göre bir veya daha fazla işlevi yerine getirebilmek için tasarlanırlar [13]. Bu işlevleri yerine getirebilmek için geotekstiller belirli fiziksel özelliklerin doğru kombinasyonunu sunmalıdır. Bu fiziksel özellikler genellikle uygun hammaddenin seçilmesi, üretim süreci ve üretim özelliklerinin ayarlanması ile karşılanır. Fiziksel özellikler ürünün boyutsal özelliklerini ifade eder ve geotekstillerin birinci ilgi alanı olan fiziksel özellikleri özgül ağırlık, birim alana düşen ağırlık, kalınlık ve sertliktir.

Özgül Ağırlık

Bir geotekstilin özgül ağırlığı aslında geotekstil üretmek için kullanılan ham polimerik malzemenin özgül ağırlığıdır. Özgül ağırlık, polimer maddenin birim hacim ağırlığının 4 °C 'deki havası alınmış boşluk olmayan saf ağırlığına oranı olarak ifade edilir [15].

Geomembran tanımlaması ve kalite kontrolünde özgül ağırlık yaygın olarak kullanılmaktadır. Bazı polimerlerin özgül ağırlığı 1,0'den küçük olduğu için su altı uygulamalarda yüzebilirler. Geotekstil üretiminde genellikle kullanılan polimerik malzemelerin özgül ağırlıkları şunlardır:

- Polipropilen 910 kg/m³
- Polyester 1220-1380 kg/m³
- Naylon 1050-1140 kg/m³
- Polietilen 920-960 kg/m³ [36, 4, 3].

Birim Alana Düşen Ağırlık

Birim alana düşen ağırlık geotekstilin 1 m² sindeki gram cinsinden malzeme miktarı olarak ifade edilir. Bir geotekstilin, birim alan başına düşen ağırlığı doğrudan maliyeti etkileyen bir unsurdur. Geotekstilin birim alana düşen ağırlığı, bu geotekstilin çekme mukavemetini, yırtılma mukavemeti, delinme direnci gibi özelliklerini de etkileyebilir. Birim alan başına düşen ağırlık arttıkça geotekstilin mukavemet ve delinme direnci de artacaktır [58].

Kalınlık

Kalınlık, geotekstillerin kalitesini belirlemede kullanılan bir başka temel özelliktir. Kalınlık belirli bir basınç altında (ASTM D 5199 için basınç geotekstilleri için genellikle 2 kPa) geotekstilin en üst ile en alt tabakası arasındaki mesafenin ölçümü ile ifade edilir [36]. Bir geotekstilin kalınlığı, birim alan başına düşen ağırlığı, delinme direnci, çekme mukavemeti, geçirgenlik ve yırtılma direnci özelliklerini de etkileyebilir. Yaygın olarak kullanılan geotekstillerin kalınlığı 0,25 ile 7.5 mm arasında değişmektedir [13].

Sertlik

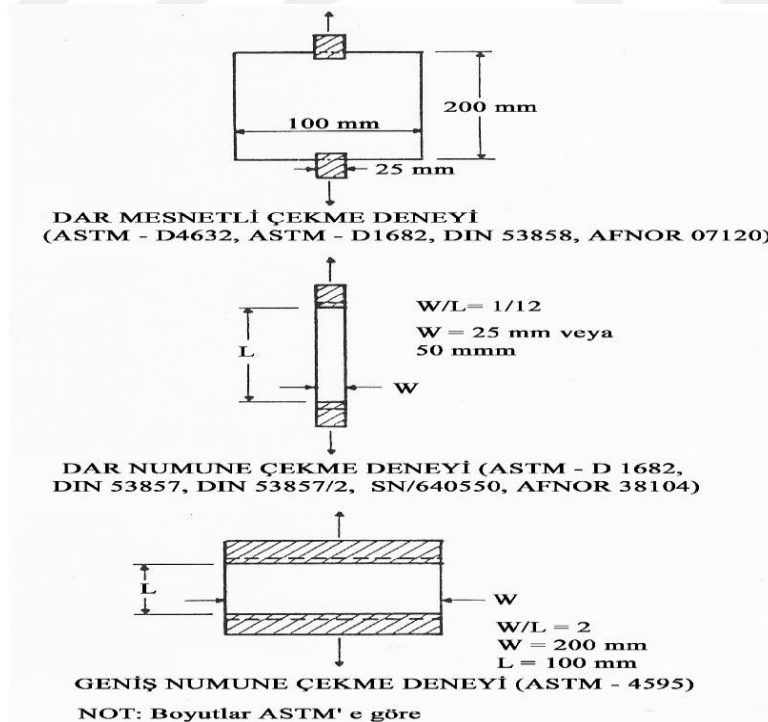
Bir geosentetiğin sertliği, bükülme sertliği ve esnekliğinin kendi ağırlığı altında bükülmeye dayanmasıyla ifade edilir. Bir geotekstilin sertliği kullanım sırasında uygun bir çalışma yüzeyinin sağlanabilirliğini belirleyen özelliktir. Aşırı yumuşak topraklara bir geotekstil veya geogrid yerleştirilirken, yüksek bir sertlik arzu edilir [14]. ASTM D7748 test yöntemi dirsekli bükülme yoluyla eğilme sertliğini ölçmek için kullanılır [59]. Yaygın olarak kullanılan testte, geosentetik üzerine ağırlık koyularak yatay platforma yerleştirilir. Ağırlığı tutarak numune ağırlıkla birlikte test platformun uzunluğu boyunca yatay olarak kaydırılır. Cihazın ön platformundan test örneğinin ucu kendi ağırlığı altında cihazın eğimli kenarından yatayda 41,5 derecelik açı yaptığı noktada uzunluğu ölçülür. Bu uzunluğun yarısı bükülme uzunluğudur. Bükülme uzunluğunun küpü ile birim alan başına düşen ağırlık çarpılarak numunenin sertliği hesaplanır [14].

1.2.8. Geotekstillerin Mekanik Özellikleri ve Uygulanan Testler

Geotekstillerin mekanik özellikleri, kullanım performansı açısından önemlidir. Geotekstillerde mekanik özellik, uygulanacağı alanlarda yapısal bir rol oynaması için kurulum hasarından ve yükler altında meydana gelecek gerilmelerin olduğu alanlarda gereklidir. Geotekstillere için önemli olan mekanik özellikler; sıkışa bilirlilik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, esneklik, yırtılma mukavemeti ve sürtünme direncidir [12, 60].

1.2.8.1 Çekme Dayanımı

Toprak takviyesi için donatı olarak kullanılan geotekstillerin asıl rolü çekme dayanımı yolu ile kullanıldığı alanda yapısal bütünlük sağlamak amacıyla aktarılan gerilmelere direnmesidir. Geotekstillerin çekme dayanımını değerlendirmek için dar mesnetli çekme deneyi (ASTM D4632, ASTM D1682, DIN53858), dar numune çekme deneyi (ASTM D 1682, DIN 53857/2), geniş numune çekme deneyi (ASTM D4595) olmak üzere üç tip test kullanılır [13].



Şekil 1.29. Kumaş çekme dayanımı deney yöntemleri [4]

Bir geosentetik için çekme dayanımı, harici bir dış kuvvetle çekme işlemine maruz kaldığında deformasyona karşı geliştirdiği maksimum dirençtir. Bu nedenle

geotekstillerin çekme dayanımı toprak güçlendirme ve takviye uygulamalarında topraktan gelen gerilmelere dayanmaları gerektiğinden çok önemlidir [14,15].

1.2.8.2. Sıkışabilirlik

Bir geotekstilin sıkışabilirliği uygulanan normal basınçlarda kalınlığındaki azalma ile ölçülür. Bu mekanik özellik genellikle yapılarının düzlemi içinde sıvı taşımak için kullanıldıklarından dolayı iğneleme ile bağlanmış dokusuz geotekstiller için önemlidir. Özellikle sıvı iletmek için kullanılan geotekstillere basınç altında sıkışması istenmez. Çünkü yük altında meydana gelen sıkışma ile geotekstilde sıvı iletkenliği azalır [14]. İğneleme ile bağlanmış geotekstiller hariç çoğu geotekstilde sıkışabilirlik nispeten çok düşüktür [59].

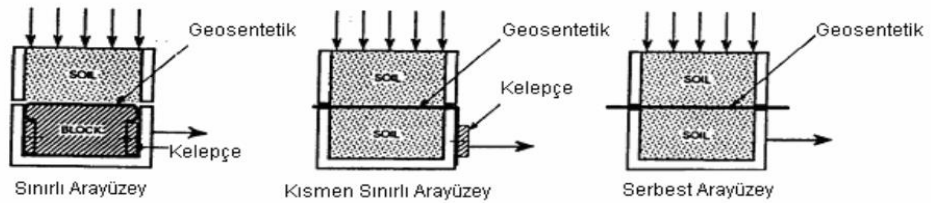
1.2.8.3. Yorulma Dayanımı

Yüksek mukavemetli geotekstillere yorulma deneyleri döngüsel yükleme ile yapılan çekme deneyleridir. Bölgesel olarak aşırı dinamik yüke maruz kalmaları sonucunda demiryolu ve yol bentleri gibi toprak yapılarında takviye amacıyla kullanılan geotekstillere tekrar eden yüklere karşı dayanıklılığın değerlendirilmesi için yapılan döngüsel çekme deneyleridir [14].

1.2.8.4. Ara yüzey Sürtünme Davranışı

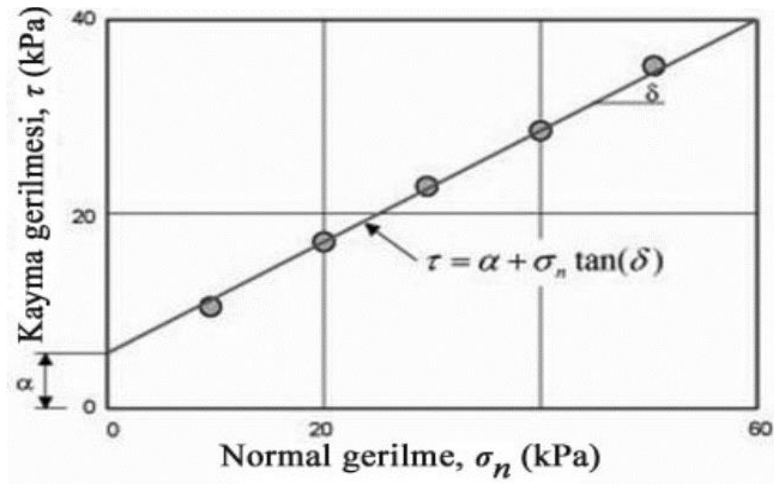
Birçok tasarım uygulamalarda zemin ile geosentetik arasındaki ara yüz sürtünme davranışını bilmek önemli bir parametredir. Bir toprak kütesinin güçlendirilmesinde geosentetik kullanıldığında gerilme yükü geosentetikleri harekete geçirir. Bu durumda toprak ve geosentetik arasında geliştirilen bağ ile geosentetiğin toprağın dışına çekilmesini engellemesi önemlidir. Şu anda toprak geosentetik veya geosentetik/geosentetik etkileşimini değerlendirmek amacıyla genellikle kesme kutusu kullanılan direkt kesme testleri yapılır. Direkt kesme kutusu, laboratuvar şartlarında zemin kayma dayanımlarının belirlenmesinde kullanılan bir cihazdır. Direkt kesme kutusu geosentetik ve toprağın yerleştirildiği belirli ölçüleri olan üst ve alt tabakalardan oluşan iki adet kare ya da dikdörtgen kutudan oluşur. Kesme kuvveti uygulanması durumunda üst plaka sabit, alt plaka düzlem boyunca yatay hareket ederek zemin kaymaya zorlanmaktadır. Kaynaklarda ara yüzeye yerleştirilen geosentetiklerin

sabitlenme yöntemlerine göre üç farklı kesme kutusu deney yönteminden bahsedilmektedir. (Şekil 1.30) [15]



Şekil 1.30. Farklı tip kesme kutusu deneyi [4]

Geosentetik numune kesme kuvvetinin uygulandığı plaka kenarına sabitlenir. Kutuya tasarım gerilmelerini temsil eden ve zemin konsolide olmasını sağlayan bir normal yük (10kPa ve 500 kPa arasında değişen) uygulanır. Genel olarak, aynı zemin – geosentetik ara yüzeyine çeşitli normal yük kombinasyonları ve farklı normal gerilme değerleri verilerek deneyler yapılır. Kesme kuvveti, belirli normal yük altında üst plaka sabit ve alt plaka yatay hareket etmesinin fonksiyonu olarak kaydedilir. Burada, zemin normal gerilme altında yatay deplasman boyunca kırılmaya zorlanır ve uygulanan yatay kuvvetler düzenli aralıklarla ölçülerek kaydedilen maksimum kuvvet not edilir. Sonuç olarak, kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirme ölçülmektedir. Test normal olarak üç çift normal gerilim ve yatay kesme gerilimi sağlamak için üç farklı normal yük değerinde tekrarlanır. Normal yük altında yapılan deneyler sonunda veriler yatay ekseninde normal gerilmelerin, dikey ekseninde kayma gerilme değerlerine karşılık nokta olarak çizilir. En basit haliyle testin yorumlanması, bu noktalardan düz bir çizgi oluşturulmasını ve çizginin eğimi ara yüzey sürtünme açısı olarak kaydetmeyi içerir [12, 14, 15]. Kesme kuvveti etkisiyle meydana gelen yatay yer değiştirmesi pik kayma gerilmesi olarak adlandırılan maksimum kayma gerilmesinin meydana gelmesinden sonra kayma gerilmesi azalmaya başlar ve bu durumda ara yüzeyde göçmeler başlamıştır [4]. Kesme değerini, uygulanan normal gerilim, geosentetik malzeme özellikleri, toprak plastisitesi, yoğunluk, nem içeriği, numunenin boyutu, drenaj koşulları, yer değiştirme oranı, yer değiştirme büyüklüğü etkileyebilir [10].



Şekil 1.31. Direkt kesme kutusu deneyinde elde edilen sonuç grafiği [10,4]

Çizilen Mohr-Coulomb yenilme zarfı ile ara yüzey kayma dayanımı (τ) ile normal gerilme (σ) arasındaki ilişki, ara yüzey sürtünme açısı (δ) gibi zemin/geosentetik ara yüzey davranışları açıklanabilir. Kayma dayanımı aşağıdaki denklem kullanılarak bulunur (Eşitlik 1.1): [9]

$$\tau = \alpha + \sigma_n \tan(\delta) \quad (1.1)$$

Doğrunun yatayla yaptığı açı, sürtünme açısını (δ , Θ) verir. Orjinden başlangıç kayma gerilmesine olan mesafe adhezyon kuvveti (arayüzün yapışma gücü) (α) değerini belirler. Çizilen Mohr-Coulomb yenilme zarfının eğimi bize zemin-geotekstil sürtünme açısını verir:

$$\delta_p = \tan^{-1}(\omega_p) \quad (1.2)$$

Burada;

δ_p = Pik kesme gerilmesi ile ilgili sürtünme açısı (derece), ve

ω = Pik kesme gerilmesi ile ilgili sürtünme katsayısıdır.

Numuneye uygulanan maksimum kesme basıncı kaydedilir ve normal basınç gerilmesi (σ_n) ile kesme gerilmesi hesaplanır (Eşitlik 1.3). Normal basınç gerilmesi, uygulanan normal yük (N) değerinin kesilen numunenin temas alanına (A) bölümüyle bulunur (Eşitlik 1.4). Aynı şekilde kesme gerilmesinin bulunması için ise okumalardan elde edilen kesme kuvvetinin numunenin düzeltilmiş alanına bölümüyle hesaplanır.

$$\tau = \frac{F_s}{A_c} \quad (1.3)$$

$$\sigma_n = \frac{N}{A} \quad (1.4)$$

Burada; T = kesme gerilmesi (kPa)

F_s = kesme kuvveti (kN), ve

A_c = düzeltilmiş alan (m^2)' dir.

Yatay hareket sürekli olarak devam ettiği için uygulanan her bir normal yük ve kuvvet için azalan yüzey alanı düzeltilerek temas eden alan bulunur.

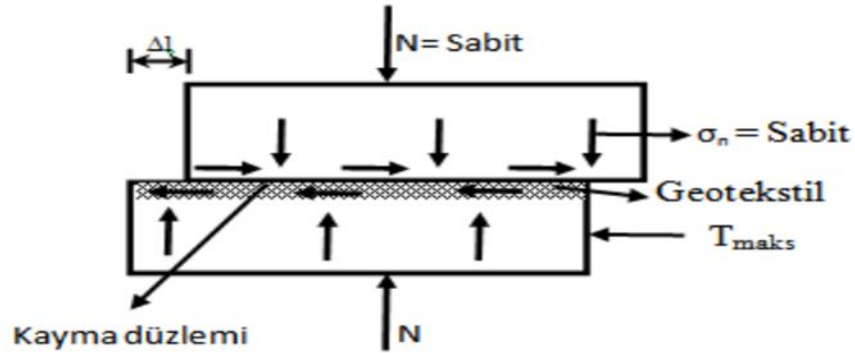
$$A_c = A_0 - (dW) \quad (2)$$

Burada;

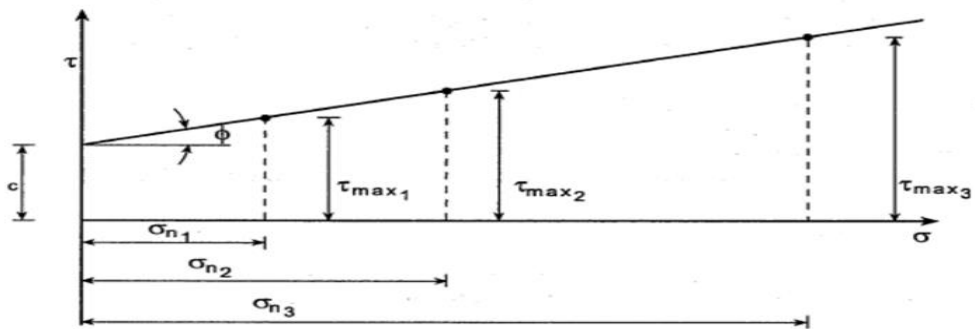
A_0 = başlangıçtaki numune temas alanı (m^2),

d = hareketli kabın yatay yer değiştirmesi (m), ve

W = kesme kuvvetinin uygulandığı yöne dik olan numune temas alanı (m)' dir.



Şekil 1.32. Kesme kayma düzlemi [10]



Şekil 1.33. Kayma gerilmesi ve normal gerilme ilişkisi [10,4]

1.2.8.5. Delinme Mukavemeti

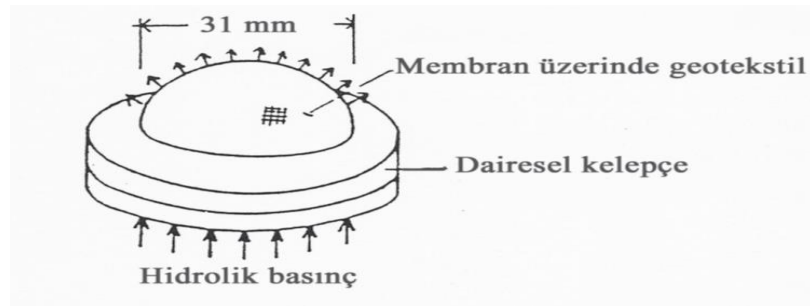
Geotekstillerin ayırma uygulamalarında taş, keskin ağaç parçaları, kökler gibi delici malzemelerle teması sonucunda delinmeye sebep olacak lokal streslere dayanma kabiliyeti delinme mukavemetini gösterir. Geotekstilin agregalara karşı direnci ölçmek için delinme dayanımı testi uygulanır. Kumaşın bir örneği gerilmeden boş bir silindir üzerine kenetlenir ve bir çelik çubuk kumaşın içinden itilir. Çubuğa bağlı bir yük göstergesi kopmaya neden olmak için gereken kuvveti ölçer. (ASTM D4833:2007) Bu test otomatikleştirilebilir ve basit olduğu için sıklıkla kullanılan bir testtir [12].



Şekil 1.34. İndeks delinme direnci testi [58]

1.2.8.6. Patlama Mukavemeti

Patlama mukavemeti, bir geosentetiğin tüm yönlerden kısıtlı düzlemine normal olarak uygulanan basınca dayanma kabiliyetidir. Geotekstillerin patlama mukavemetini belirlemek için genel olarak ASTM D 3786 (Mullen deneyi) deneyi kullanılmaktadır. Bu testle dairesel mengeneye kenetlenen bir geosentetik numuneye karşı hidrolik hava basıncı uygulanır. Belirli bir süre sonra geotekstil küre şeklini alarak patlar. Geotekstile verilen normal basınç patlama mukavemet değerini verir [12].

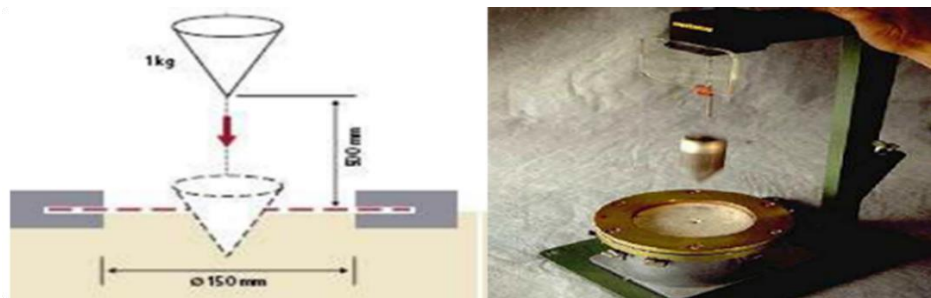


Şekil 1.35. Statik patlama mukavemet testi [4]

Geosentetiklerin tipik bir patlama mukavemet aralığı 350-5200 kPa arasındadır.

1.2.8.7. Darbe Dayanımı

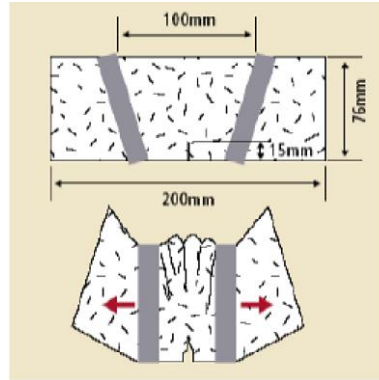
Bir geosentetik için darbe dayanımı, inşaat sahasında bulunan kaya parçaları, aletler ve çeşitli inşaat malzemelerden ani düşmesi sonucu meydana gelecek darbe hasarına karşı belirli dayanımlara sahip olma özelliğidir. Geosentetiğin bu darbe hasarlarına karşı koruma verimliliği koni düşme testi ile yapılır. Bu test sıkma halkaları ile sabitlenmiş geosentetik numunenin üzerine standart 1 kg ağırlığındaki çelik koninin düşürülmesiyle meydana gelen deliğin çapının ölçülmesini içerir. Buna göre deliğin çapı ne kadar küçükse geosentetiğin darbelere karşı dayanımı o kadar yüksektir [12, 13].



Şekil 1.36. Darbe dayanım test düzeneği [61]

1.2.8.8. Yırtılma Mukavemeti

Bir geotekstilin genellikle uygulama sırasında oluşan yırtılmalara veya bu yırtılmaların yayılmasına neden olan kuvvetlere dayanma yeteneğidir. Geotekstillere yırtılma ile ilgili ASTM D 4533-Trapezoid yırtılma testi uygulanmaktadır. Bu test yöntemi ile 200 mm×76 mm boyutlarındaki numune kenardan 15 mm kesik atılarak çekme makinesinin çeneleri arasına çapraz şekilde sabitlenir. Geotekstil ipliklerine olan gerilme sürekli artırılarak yırtılma gerçekleştirilir ve ortaya çıkan değer ölçülür [12].

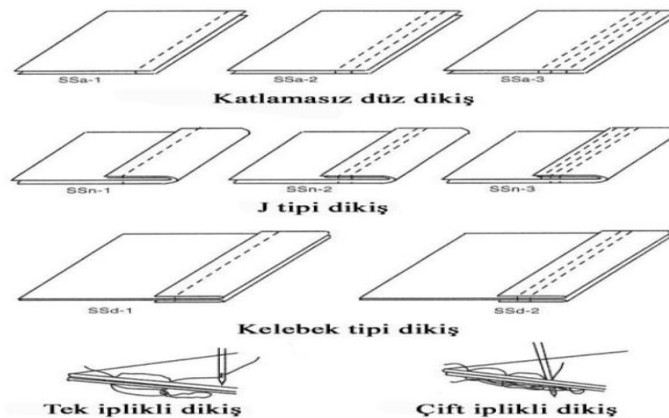


Şekil 1.37. Yırtılma mukavemet testi [61]

Yırtılma mukavemeti değeri, kuvvet/uzama eğrisi ile elde edilir ve bu şekilde kaydedilen maksimum kuvvet alınır. Geotekstillerin yırtılma mukavemetinin genel olarak bilinen aralığı 90-1300 N'dur [15].

1.2.8.9. Dikiş Mukavemeti

İstenilen uzunlukta ve genişlikte geotekstilleri bölümleri dikme, zımbalama, ısı ile birleştirme veya yapıştırma işlemleri ile birleştirilir. Temel amaç montaj sırasında malzemeyi yerinde tutmak olduğu için üst üste binme, çivilime veya istifleme işlemleri de gerekebilir. Ancak iki bölümün birleştirildiği ve çekme dayanımlarının gerektiği ve bağlantının sağlam olmasının istendiği yerlerde en güvenilir yöntem dikerek bağlamasıdır. Bu dikiş yöntemleri katlamasız düz dikiş (ssa), J dikiş (ssn) ve kelebek dikiş (ssd)'dir. ASTM D 4884 deney yöntemi geotekstillerin dikiş mukavemeti ile ilgilidir [13, 62]. Test bir çekme makinesinde geniş dikişli geosentetiğe dik çekme kuvvetinin uygulanmasıyla dikiş mukavemetinin ölçülmesini içerir.



Şekil 1.38. Geotekstillerin birleştirilmesinde kullanılan farklı dikiş yöntemleri [7]

Düz dikiş genellikle kurtarılabılır geotekstilller için tercih edilir. Bununla birlikte kenarların sökülmeğe maruz kaldığı geotekstillerde kelebek veya J dikiş yöntemi tercih edilir.

1.2.9. Geotekstillerin Hidrolik Özellikleri

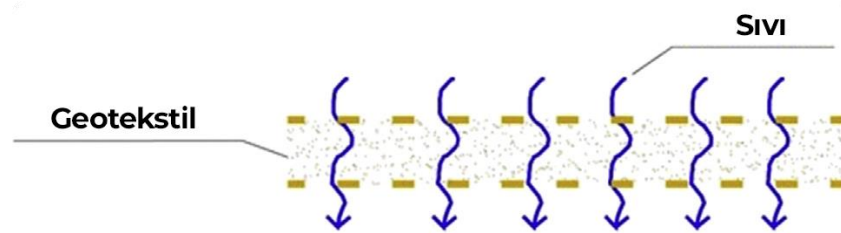
Hidrolik özellikler geotekstillerin sıvı veya gaz ortamındaki davranışını belirleyen özelliklerdir. Bu özellikler bir geotekstilin filtre ve drenaj fonksiyonuna sahip olduğu uygulamalarda önemlidir [12, 14]. Su geçirgenlik(permeabilite) ve transmissivite (iletkenlik) geotekstillerin en önemli hidrolik özellikleridir.

1.2.9.1. Su Geçirgenlik

Geotekstillerde geçirgenlik, düzlemler arası veya düzlem içi su akış ve hava akış kapasitesini temsil eder. Filtrasyon ve drenaj fonksiyonları, suyun toprak parçacıklarının kaybı olmadan ve toprakta hidrostatik basınç birikimi önlemek için düzlem içi ve düzlem dışı yönlerde geçişini gerektirir [12]. Geotekstil gibi gözenekli ortamdan sıvı akış kapasitesi hidrolik iletkenlik katsayısı ile ifade edilir ve bu ifade geçirgenlik katsayısı olarak da bilinmektedir.

a) Düzleme Dik Geçirgenlik (Permittivite)

Düzleme dik geçirgenlik için deneysel yöntemler ASTM D4491 veya ISO 11058'e göre değerlendirilebilir [63,64].



Şekil 1.39. Geotekstil boyunca sıvının normal akışı [13]

Topraklar için akış kapasitesi göstergesi, Darcy Yasası'nda (TM 5-820-2 / AFSMAN 32-1016) ifade edilen geçirgenlik katsayısıdır. Darcy Yasası'nın uygulanmasında geotekstilin kalınlığı da dikkate alınmaktadır. Darcy'nin katsayısı, standart sıcaklık koşulları (genellikle 22 ± 3 °C) altında bir geosentetiğin bir birim kesit alanı boyunca

hidrolik bir yük altında laminer akışkanın akış hızıdır. (Eşitlik 1.5) Geosentetik geçirgenliği Darcy'nin katsayısı açısından ifade etmenin avantajı, geosentetik geçirgenliği doğrudan toprak geçirgenliği ile ilişkilendirmenin kolay olmasıdır. Büyük bir dezavantaj, Darcy yasasının laminer akış varsaymasıdır, oysa geosentetiklerin, özellikle geotekstillerin, genellikle yarı türbülanslı veya türbülanslı akışlar sergilemesi olarak nitelendirilmeleridir [15].

Darcy nin geçirgenlik yönünden yasası şöyle ifade edilebilir (Eşitlik 1.2):

$$Q_{n=k_n} \frac{\Delta h}{\Delta x} (LB) = \psi \Delta_h A_n \quad (1.5)$$

Burada;

Q=birim zamanda akan su miktarı (m³/s)

k_n=geçirgenlik katsayısı (m/s)

Δh=hidrolik yük(m)

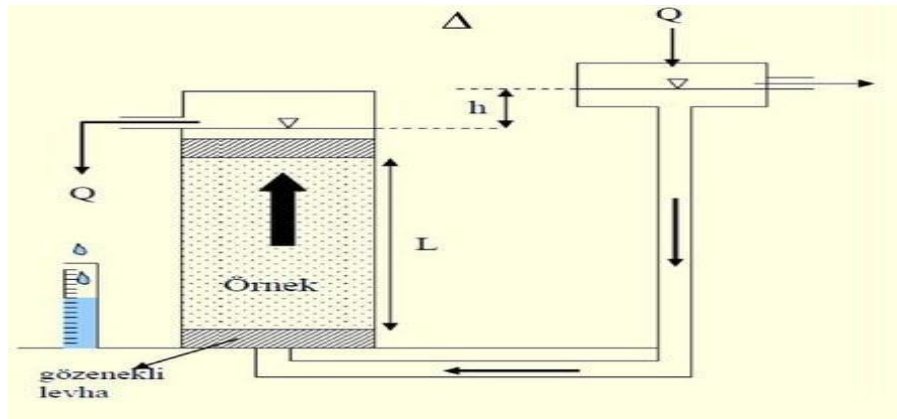
LB=geotekstil kesit alanı (m²) = A_n

Δx= akış boyunca ölçülen geosentetik kalınlığı (m)

Ψ=permeabilite (s⁻¹) (Ψ=k_n / Δ x).

Böylece geçirgenlik, geosentetik düzlemine normal bir yönde akış koşulları altında, belirli bir hidrolik yük(Δ_h) altında, geosentetiğin birim kesit alanı başına hacimsel su akış hızı olarak tanımlanabilir [15].

Bir geotekstil filtrelerinin geçirgenliği hem deneysel hem de teorik yöntemlerle değerlendirilebilir. Geotekstil düzlemine dik geçirgenlik filtrasyon uygulamaları için önemli bir özelliktir. Düzleme dik geçirgenlik ISO 11058'e göre iki test yöntemi kullanılabilir: sabit hidrolik basınç yöntemi ve düşen hidrolik basınç başlığı yöntemi. Geotekstil örnekleri temiz, yüzey kalıntılarından arındırılmış ve görünür hasar veya katlanma izleri olmamalıdır. Aparat en az 75 mm ile 250 mm çap arasında değişen silindirlere oluşmaktadır. Değişen hidrolik basınç permeametrelerinde, bir geotekstil zemin numunesindeki hidrolik yükün (Δ_h) zamanla değişmesi ölçülür ve Darcy yasasından yararlanılarak geçirgenlik katsayısı (k_n) hesaplanır [13].

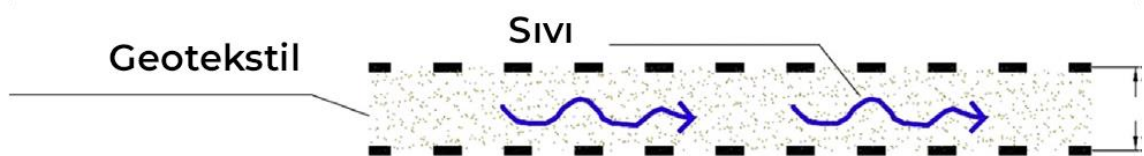


Şekil 1.40. Değişen hidrolik basınç deneyi ile geçirgenlik [64]

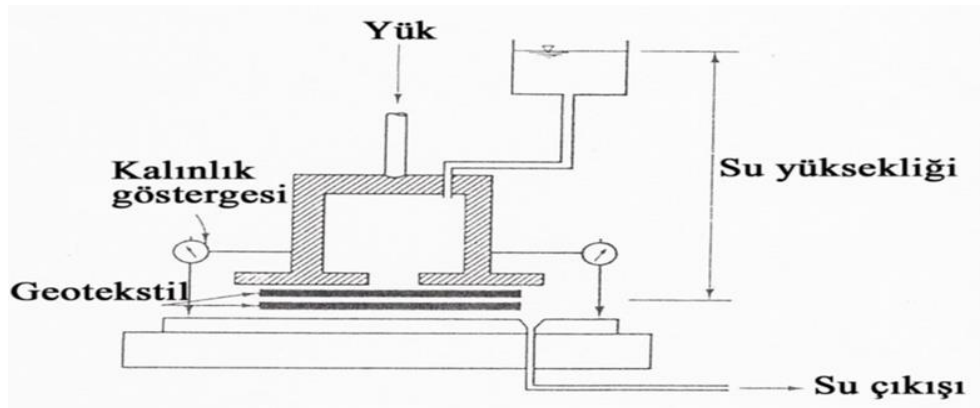
Sabit hidrolik basınç yönteminde ise bir geotekstil tabakası, hidrolik yükün (Δh) sürekli sabit tutulduğu düzenek altında düzleme normal olan tek yönlü bir su akışına maruz bırakılır. Sonuç olarak belirli zaman süresi boyunca zeminden geçen su miktarı (Q) ölçülür ve Darcy kanunundan yararlanılarak geçirgenlik katsayısı k_n hesaplanır [14].

b) Yüzey İçinde Permeabilite (Transmissivite)

Geotekstil yüzeyi boyunca suyun akış kapasitesini yüzey içinde permeabilite temsil eder ve bu özellik drenaj tasarımlarında gereklidir. Bu bağlamda drenaj, düzlemsel bir su akışına karşılık gelmektedir. Normalde geçirgenlik açısından tarif edilen düzlem içi su geçirgenliği, test numunesi boyunca bilinen bir zamanda ve belirtilen normal gerilme ve hidrolik eğim altında geçen su hacminin ölçülmesiyle belirlenir. Geotekstillerin transmissivite özellikleri için kalınlık önemli bir rol oynamaktadır. Transmissivite, ASTM D4716 ve ISO 12958'e göre değerlendirilebilir. Transmissivitenin (iletkenlik) hesaplanmasında kullanılan deney düzeneği Şekil 1.41' de verilmiştir [12].



Şekil 1.41. Geotekstil kalınlığı içinde normal sıvı akışı [13]



Şekil 1.42. Geotekstil yüzey kapasitesi deney düzeneği [4]

Darcy formülüne göre transmissivite (Θ) aşağıdaki denklem ile ifade edilir [13, 7]

(Eşitlik 1.6 ve eşitlik 1.7);

$$\theta = k_p \frac{\Delta h}{L} A_p = k_p \frac{\Delta h}{L} (Wt) \quad (1.6)$$

$$k_p t = \theta = \frac{q}{iW} \quad (1.7)$$

Burada;

Θ =suyun düzlem içi hacimsel akış hızı (m^2/s ya da $m^3/s-m$)

k_p = geotekstil düzlemindeki permeabilite(m/s)

t = geotekstilin kalınlığı (m)

q = birim zamanda akan su miktarı, debi (m^3/s)

W = geotekstilin eni (m)

i = hidrolik eğim (boyutsuz) = $\Delta h / L$

Δh = hidrolik yük (m)

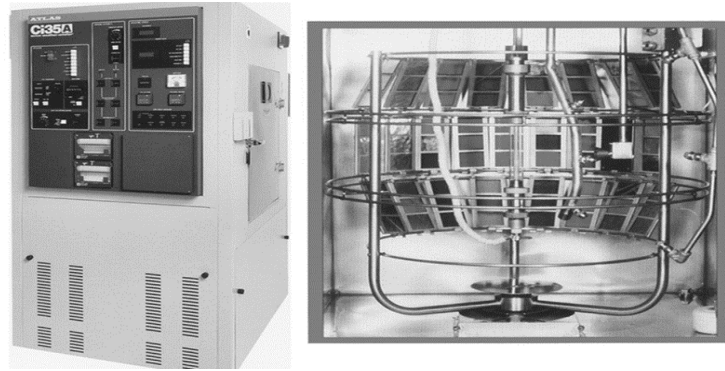
L = geotekstilin uzunluğu (m) [7, 47].

1.2.10. Geotekstillerin Bozulmasına Etki Eden Faktörler

1.2.10.1. Güneş Işığı Etkisi (UV)

Geosentetikler için ultraviole (UV) bozulması sıcaklık, yağmur ve oksijene maruz kaldığı sürece gerçekleşir. Genel olarak sıcaklık arttıkça geosentetiklerin mukavemet, sünme ve dayanıklılık özellikleri azalır. Bu bozulmaya öncelikle güneş ışığının UV içeriği neden olur.

Güneş ışığından gelen UV bölgesi, geosentetikler için bir miktar polimer hasarına neden olan zararlı UV-A (dalga boyu 400-315 nm), ciddi polimer hasarına neden olan UV-B (315-280 nm) ve sadece uzayda bulunan UV-C (280-100 nm) olmak üzere üç alt gruba ayrılır [59]. Uzun süre UV ışığına maruz kalan geosentetikler de moleküler zincirlerin kesildiği oksidasyon işlemi gerçekleşir. Bunun etkisiyle temel moleküler yapı bozulmaya uğrar ve geosentetikler mekanik direncini önemli ölçüde kaybederek daha kırılğan hale gelir [13]. Bir geosentetikteki UV bozulma hızını etkileyen çevresel faktörler, güneş ışığı dalga boyunun yoğunluğu ve sıcaklığı, nem, PH, rüzgâr, ozon, azot dioksitler ve hidrokarbonlardır [46]. Geotekstillerin inşaat mühendisliği uygulamalarında uzun vadeli performansını sürdürmek ve işlevini yerine getirmek için dayanıklılığı, bileşen elyafların bu çevresel faktörlere karşı gösterdiği direnç ile belirlenir. Geosentetikler de yüksek kimyasal ve biyolojik stabiliteleri nedeniyle polyester (PES) ve polipropilen (PP) elyaflar yaygın olarak kullanılmaktadır. Polyesterler, ester bağlarının kırılmaya karşı dirençleri nedeniyle UV radyasyondan daha az etkilenirler. Geotekstillerin UV radyasyona karşı direncini artırmada stabilizatörler kullanılır. PP geosentetikler için UV emici olarak benzofenon, engellenmiş amin ışık stabilizatörü (HALS) ve karbon karası gibi antioksidanlar yaygın olarak kullanılmaktadır [46]. UV bozulmasına karşı direnç, laboratuvarında ASTM D-4355 tarafından 500 saate kadar süre boyunca gün ışığına en yakın yapay ışık spektrumu saçan Xenon gazı kullanılır. Burada geotekstil, yüksek yoğunluklu UV radyasyonuna maruz kalır, bu da malzemeyi bombalayan birim zaman başına foton sayısını etkili bir şekilde artırır. Xenon ark, görünür ve kızılötesi UV bölgelerindeki ışık dâhil tüm ışığı sağlar. Daha sonra çekme mukavemeti değerleri ölçülür ve yüzde olarak sonuç değerlendirilir [13].



Şekil 1.43. Açıkta kalan polimerik yapıların dayanıklılık değerlendirilmesi için laboratuvar hava şartlandırma cihazları (ASTM D4355 uyarınca ksenon ark cihazı) [14]

Yapay radyasyon haricinde geotekstiller dış mekânda ASTM D-1435 altında ölçülür. Burada geosentetik 18 ay kadar bir süre açık hava atmosferine yılın UV ışınının maksimum yoğunluğu sırasında maruz bırakılır. Dayanıklılık değerleri genellikle UV maruz kalmış nihai gerilme mukavemeti ile UV maruz kalmamış örnekteki gerilme mukavemeti ile karşılaştırılarak değerlendirilir [65, 13].

1.2.10.2. Yüksek veya Düşük Sıcaklıkların Etkisi

Geotekstillerde sıcaklığın temel etkisi oksidasyon, hidroliz, UV radyasyon, biyolojik ve kimyasal bozulma etkilerini hızlandırmasıdır. Geotekstiller için ASTM D1388'e göre test yöntemi, yüksek sıcaklıklardaki davranışı ölçmek için kullanılır ve ASTM D746, soğuk sıcaklığın geotekstilin darbe dayanımı üzerindeki etkisini bulmak için kullanılır [66]. Genellikle artan ortam sıcaklığı geosentetiklerin kimyasal yapısında bir değişikliğe sebep olduğu için mukavemet, sünme özellikleri ve dayanıklılık özellikleri gibi fiziksel özelliklerini olumsuz etkiler. Ayrıca yüksek sıcaklık bütün polimer bozulma mekanizmalarının giderek daha hızlı meydana gelmesine neden olur. Düşük sıcaklıklar ise geotekstillerde gevrekliğe yol açar ve darbe dayanımını olumsuz etkiler [46].

1.2.10.3. Oksidasyon bozulması

Oksidasyon bir maddenin oksijenle reaksiyona girdiğinde maddenin elementleri elektronlarını kaybederek diğer değerliklerinde buna göre arttığı reaktif bir işlemdir. Geotekstillerde oksidasyon, polimer yapısında değişikliğe sebep olduğu için mekanik özelliklerinin hızla bozulmasına yol açar [67]. Polipropilen ve polietilen oksidasyona en duyarlı polimerlerdir. Geotekstiller oksidasyon bozulması için test yöntemi plastikler

için belirtilen ASTM D794 (1993) yüksek ısı oksidasyon deneyidir. Test yönteminde sürekli temiz hava akışı ile ısı uygulamak için fırın ortamı mevcuttur. Yüksek ısı ve enerji ile polimerde serbest radikaller meydana gelir. Oluşan serbest radikaller oksijen varlığında yeni bir zincir oluşturmaya başlar. Zincir reaksiyonların her bir döngüsünde hidrojen peroksitler ayrışması oluşur ve böylece oksidatif reaksiyon hızla gerçekleşir. Bunun sonucunda malzemenin moleküler ağırlığı düşerek malzeme mekanik direncini kaybederek kırılğan hale gelir. Geotekstilin görünüm, boyut, ağırlık veya diğer özelliklerinde bir değişiklik gözlemleninceye kadar işlem devam eder. Daha sonra geotekstilin gerilme özellikleri ölçülerek oksidasyon bozulma derecesi belirlenebilir. Sıcaklık arttıkça oksidasyona bağlı bozulma artar [68]. Antioksidanlar yardımıyla geotekstilin oksidasyon bozulması kontrol altına alınabilir. Polimer üretim sırasında reçineye eklenen antioksidanlar serbest radikalleri hapsedecek reaksiyon bileşiklerdir [68,46].

1.2.10.4. Hidroliz Bozulması

Hidroliz, polimerin kimyasal yapısının su ile reaksiyonu sonucu bozulmasıdır. Polimerik malzeme zaman içerisinde suyu emer. Polimer zinciri su ile reaksiyona girerek zincirin ve molekül ağırlığın bir miktar şişmesine neden olur. Bu bozucu kimyasal reaksiyon ile ester bağı kırılır ve hidroliz meydana gelir. Hidroliz bozulması geotekstillerin mekanik ve hidrolik özelliklerine etki ederek mukavemetin azalmasına neden olur. PET malzemelerden oluşan geosentetikler ISO-13439 standart ile hidrolize karşı direnç açısından test edilebilir. Bu yöntemde geosentetik uygun PH seviyesine sahip 20 ile 50 °C sıcaklıklar arasında bir sıvı içerisinde daldırılarak ve bir süre bekletilerek basit bir şekilde uygulanır. Bozulma seviyesini belirlemek için belli bir süre sıvı içerisinde bekletilen malzemenin mukavemeti ölçülerek başlangıçtaki mukavemeti ile karşılaştırılır. Tutulan minimum dayanım %50 seviyesinde olmalıdır [7, 69]. Geosentetiklerin çoğu pH 4-9 arasında doğal topraklarda 25⁰ düşük bir sıcaklık ortamında kullanılması durumunda minimum 25 yıl hizmet ömrü dayanıklılığına sahip olabilir [15].

1.2.11. Geotekstillerin Fonksiyonları

Geotekstilller genelde birden fazla işlevi bir arada yerine getirebilirler. Toprak, kaya veya herhangi bir malzeme ile temas halinde oldukça fazla özel uygulama alanına

sahiptir, ancak genelde ayırma, drenaj, filtrasyon, güçlendirme, koruma, yalıtım olmak üzere altı fonksiyonu göz önünde bulundurularak kullanılırlar. Geotekstil yapabileceği işlevler fiziksel, mekanik ve hidrolik yapısına bağlıdır [12].

Tablo 1.1. Fonksiyonlara göre geotekstil çeşitlerinin performansı

	FİLTASYON	AYIRMA	DRENAJ	TAKVİYE	KORUMA
DOKUSUZ	XX	XX	XX	X	XXX
DOKUMA	X	XX	-	XXX	-
ÖRME	XXX	-	-	X	-
KOMPOZİT	Kompozit tasarımına bağlı olarak değişken				

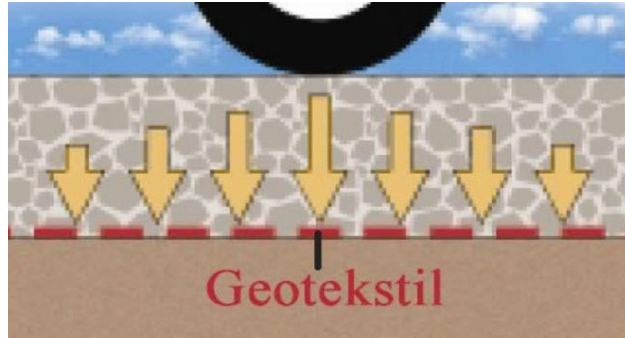
-, Uygulanamaz; X, belirli uygulamalara uyarlanabilir; XX, çoğu uygulama da kullanılır; XXX, ideal çözüm.

1.2.11.1. Ayırma

Geotekstiller, farklı dane boyutlarındaki zeminlerde ince daneli zemin ile kaba daneli zeminleri birbirinden ayırarak iki ayrı katman şeklinde tutmak ve bu katmanların karışmasını önlemek amacıyla yerleştirildiğinde ayırıcı olarak kullanılırlar [70, 36]. Geotekstil ayırımı, temas halinde olan iki toprağın işleyişinin bozulmadan kalabilmesi veya iyileştirilebilmesi için ve uzun vadeli performansını artırmak amacıyla iki katman arasına tekstil malzemesinin yerleştirilmesidir [60]. Ayırma geotekstillerin birincil işlevidir. Geotekstiller kullanıldıkları uygulamaların hepsinde temelde ayırma işlevi görürler. Ayırıcı olarak geotekstillerin kara yollarda ve demiryollarında uygulamaları daha sık görülür. Ayırıcı olarak geotekstillerin işlevleri;

- Hava alanlarında zemin ve taş taban arasında, toprak dolgularda geomembranlar ve kum drenaj katmanları arasında [8],
- Temel toprakları ve esnek istinat duvarları arasında, eski ve yeni asfalt tabakalar arasında, kaldırım döşeme altında [8],
- Demiryollarında alt zemin ile ray balastı arasına yerleştirilerek iki tabaka arasındaki kuvvet kaybını önlemek için, ayrıca demiryolunda eski kirli balast zemin ile yeni temiz balast arasında olmak üzere birçok alanda kullanılırlar [70].

- Erozyon kontrollerinde kullanılan geosentetiklerin de zemin yüzeyini rüzgâr, yağmur, kar gibi hava şartlarından koruduğu için bir ayırma işlevi gerçekleştirdiği düşünülebilir [20].



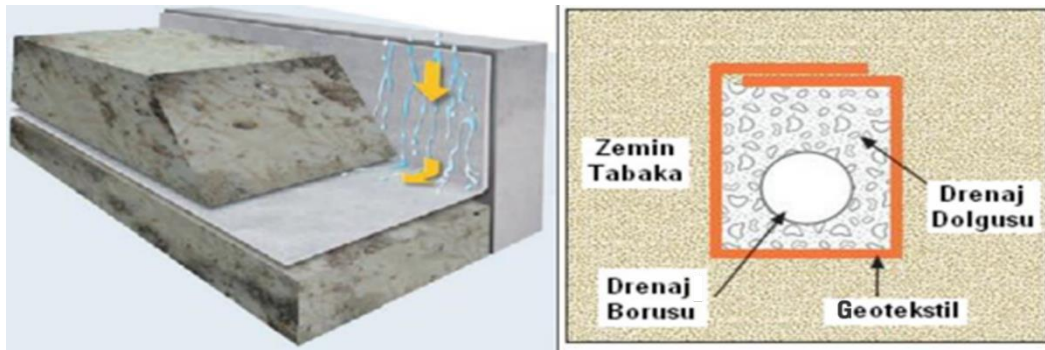
Şekil 1.44. Geotekstilin ayırma amacıyla kullanımı [59]

Ayrımda kullanılacak geotekstil kumaşlar agreganın alt tabakaya nüfuz edilmesini önlemesinden dolayı, kimyasallara karşı dayanımı, yırtılma, patlama ve delinme mukavemeti, kopma uzaması ve geçirgenlik özelliklerinin bu hizmeti karşılayacak kapasitede olması gerekir. Ayrıca geotekstillerin gözenek boyutu ve açılma özelliği, dinamik yükler altında hem ıslak hem kuru koşullar için alt ince taneli tabakadan kumların taban tabakasına yükselmesini engelleyecek şekilde olmalıdır [7].

1.2.11.2. Drenaj

Drenaj, geotekstilin üç boyutlu yapısı sayesinde kendi düzlemi boyunca sıvı ve gaz akışını toprak kaybı olmadan bir yerde toplayan veya bir yol sağlayan geotekstil yeteneğini ifade eder. Ayrıca drenaj, topraktan söz konusu uygulama ile uyumlu bir hizmet ömrü boyunca sınırlı miktarda toprak kaybı ile sıvı akışına izin veren denge olarak da tanımlanabilir [18]. Drenaj fonksiyonları için geotekstil kumaşın kalınlık ve yatay geçirgenlik özelliği önemli parametrelerdir [29]. Drenaj fonksiyonlarında geotekstillere sıvının düzlem boyunca akışına izin verir ve fazla su basıncının dağılmasını sağlayarak yapı performansını artırır [14].

Tüm geotekstillere düzlem içi sıvı akış kapasitesi sağlayabilmesine rağmen, dokunmamış (ısıyla bağlanmış ve iğneyle bağlanmış) geotekstillere yapılarında daha fazla boşluk alanına sahip oldukları için drenaj malzemeleri olarak daha uygundur [18].



Şekil 1.45. Geotekstillerin drenaj fonksiyonu uygulaması [29]

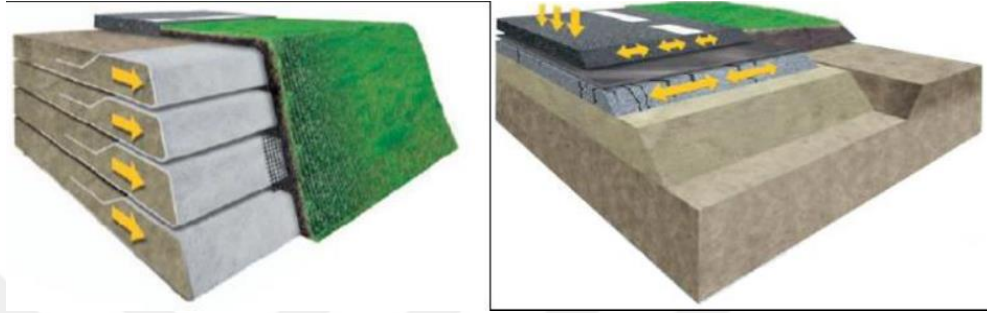
Drenaj olarak kullanılan geotekstillerin uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir;

- Drenaj amacıyla geotekstillere yol drenaj sistemlerinin bir parçası olarak kullanıldıkları zaman yol ömrünü uzatma ve yapısal destek sağlamada yardımcı olurlar.
- Donmaya duyarlı topraklarda don etkisini azaltmak ve kılcal kırılmaya sebebiyet vermek amacıyla geokompozit arasında kullanılırlar.
- Yüksek akış gereksinimleri olan durumlarda, örneğin, kaldırım kenarı drenleri, eğim önleyici drenleri ve tutucu duvar drenleri, geo-kompozit drenler sıklıkla kullanılır.
- Yeraltı suyunu kesmek için temel bir duvar veya istinat duvarı arkasına yerleştirilerek su ileten drenaj tabaka olarak görev alırlar.
- Dolgu ile zayıf zemin arasında yatay drenaj elemanı olarak kullanılabilirler [12].

1.2.11.3. Güçlendirme (Takviye) Fonksiyonu

Geotekstil kumaşlar, toprak yapısına taneler arasındaki uyumu artıracak şekilde yerleşip, kumaşın yüksek gerilme mukavemeti sayesinde zayıf alt zemin veya toprağı destekler ve stabilizesinin artmasını sağlayarak takviye (güçlendirme) görevi yaparlar. Bu fonksiyonun temel amacı geotekstil ile zemin üzerine temas eden yükleri üst tabakadan alt tabakaya kadar eşit dağıtarak yapının dayanıklılığını artırmaktır. Bu süreçte geotekstil, kesme ve gerilme kuvvetlerine karşı koyarak sürtünme, hapsedme, kenetlenme ve yapışma yoluyla toprak veya dolgu malzemesine bağlanmış bir eleman olarak hareket eder ve kayma gerilmelerini azaltarak toprak stabilizesini korur [15]. Takviye sağlamak için geotekstillere yüksek başlangıç elastisite modülü, küçük

gerilmelerde bile yeterli mukavemet, temas eden yüke karşı yeterli uzama özelliklerine sahip olmalıdırlar. Dolgu yapılarda ve istinat duvarlarında küçük gerilmelerde bile yüksek mukavemet sağlayacağı için bu alanlarda dokuma geotekstiller takviye malzemesi olarak kullanılırlar. Buna ek olarak geohücreler ve geogridler de takviye elemanı olarak kullanılan geosentetik malzemelerdir [18].



Şekil 1.46. Geotekstillerin takviye fonksiyonu [29]

Geotekstil ile takviye, geleneksel yöntemlere göre ekonomiktir. Geleneksel yöntemlerde toprak dikey duvarlar püskürtme beton koruması veya dökme beton paneller gibi kaplama elemanları kullanılarak sağlamlaştırılırlar. Dik yüzeylerin geotekstil ile güçlendirilmesiyle kaplama elemanların kullanımı ortadan kalkar. Böylece malzeme maliyetinden ve yapım süresinden tasarruf edilir [18].

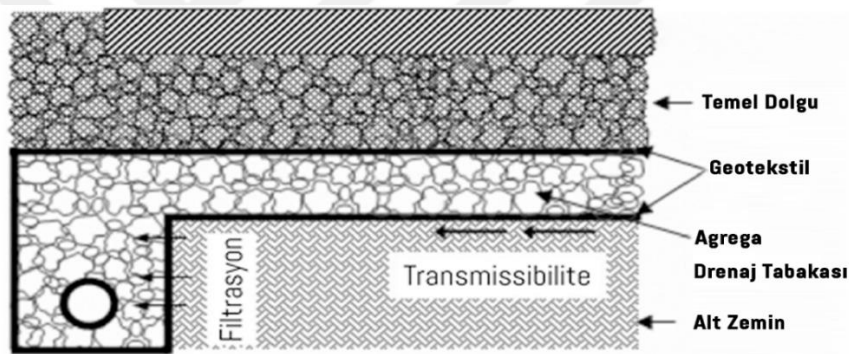
Geotekstil takviyesinin, inşaat aşaması kolay ve özel iş gücü gerektirmemesi, bileşenlerin çoğunun hızlı konstrüksiyona izin verecek şekilde prefabrike edilmesi, esnek olmaları ile çekme direncine sahip olmaları, yapısal deformasyon olmadan büyük deformasyonu gidermeleri gibi teknik avantajları vardır. Bunlara ek olarak geosentetik takviye ile doğal gürültü azaltma bariyerleri inşa edilerek peyzajın doğal görünümü korunabilir [46].

1.2.11.4. Filtrasyon Fonksiyonu

Geotekstillerin filtreleme uygulamalarında kullanımı muhtemel en bilinen ve en çok kullanılan fonksiyonudur [70]. Filtrasyon fonksiyonu, bir geotekstilin söz konusu uygulama alanında hizmet ömrü boyunca düzlemine dik gelen gaz ve sıvı gibi maddelerin geçişine ince toprak parçacıklarını tutarak izin verme kabiliyetidir [15]. Filtreleme fonksiyonu sayesinde ince partiküllerin çevredeki drenaj elemanlarını tıkaması engellenmiş olur. Bu işlevi yerine getirebilmek için filtre kumaşın gözenek

boyutu ince toprak parçacıklarını tutacak kadar küçük olmalı aynı zamanda düzlemine dik gelen sıvı akışına izin vermelidir. Ayrıca filtrasyon için önemli parametreler geotekstilin uzun süre dayanıklılığı, dikey geçirgenliği, kalınlığı, sıkışmadan az etkilenmesi, kimyasal ve biyolojik saldırılara karşı gerekli dayanıklılığı sağlamasıdır [71].

Filtre olarak kullanılacak geotekstiller için yüksek gerilme mukavemeti gerektiği zaman dokuma ve örme geotekstiller kullanılır. Deformasyon kabiliyeti, koruma katmanı olarak sağlamlık ve gözeneklik gerektirdiği koşullarda ise dokusuz geotekstiller kullanılır. Çoğu filtrasyon uygulamalarda geotekstil kullanımı; daha küçük boyutta kanalizasyon kullanımı, daha kolay inşaat uygulaması, drenaj agregasının daha az ayrılma ve kirlenme imkânı, azaltılmış kazı gibi avantajlar sağlar.



Şekil 1.47. Filtrasyon amacıyla geotekstil kullanımı [9]

Filtrasyon fonksiyonunda geotekstillerin kullanıldığı yerler şu şekilde sıralanabilir:

- Drenaj agrega ve dolgu toprağı ayırırken zemin sızma suyunun geçişine izin vermede [12],
- Barajların drenaj yüzeyi çevresinde filtre olarak,
- Yol üzerinde kaplamalarda [36],
- Havayolu, demiryolu, karayolu vb. alanlarda yüzey drenajı, istinat duvarı drenajı gibi alanlarda drenaj boruların çevresinin sarılması [36],
- Havuzlarda, göllerde, kanallarda ve nehirlerde yüzey suyu ile yeraltı suyunun karışmasının istenmediği alanlarda kıyı koruma malzemesi altında filtre olarak [18],
- Hendeklerde ve dikey duvarlarda drenajın altında filtre olarak kullanılırlar.

1.2.11.5. Koruma Fonksiyonu

Koruma fonksiyonun temel amacı geotekstillerin belirli bir yüzeye veya katmana dış etkenlerden verilen gerilmeyi ve deformasyonu azaltarak veya yayarak hasarı önlemektir [15]. Ara yüzey koruması olarak iki tabaka arasına yerleştirilen geotekstil katmanlar tabakalardan birini korur. Koruma fonksiyonunda kullanılacak geotekstillerin kalınlık, yırtılma dayanımı, aşınma dayanımı ve kimyasallara dayanımı yüksek olmalıdır [29].



Şekil 1.48. Kaldırım döşemesi altında geotekstilin koruma amacıyla kullanılması [72]

Koruma olarak kullanılacak geotekstillerin uygulama alanları aşağıdaki şekilde sırlanabilir:

- Atık ve sıvı toplama tesislerinde kullanılan geomembranları delinmeye karşı korumak [18],
- Eski kaplamadan oluşabilecek çatlakları engellemek veya dağıtmak amacıyla geotekstil ile üzerini örterek yeni kaldırım kaplaması veya asfalt tabakayı korumak,
- Bir dolgu tabaka altına yerleştirilen geomembranın üzerini geotekstil ile örterek büyük ve küçük toprak parçacıklardan geomembranı korumak amacıyla [18],
- Tünel inşaatları, kanal revizyonları ve kıyı kaplamalarında [60],
- Beton ve duvar barajlarının astarı olarak kullanılan geomembranların altında yastık tabakası olarak kullanılırlar.

1.2.11.6. Yalıtım (Su Geçirmezlik) Fonksiyonu

Bir geotekstil, bitümlü, kauçuk-bitüm, asfalt veya diğer polimerik karışımlar empenye edildiğinde ön görülen hizmet ömrü boyunca neredeyse geçirimsiz bir hal alarak yalıtım (su geçirmezlik) fonksiyonunu yerine getirirler [70]. Bu empenye işleminden sonra geotekstilin hem dikey yönde hem de düzlemler arası sıvı ve buhar geçirgenliği çok düşük hal alır [29]. Bu fonksiyonda geotekstil, asfalt yol katının uygulanmasının ardından kaplama yüzeyine yerleştirilir üzerine de asfalt katı yerleştirilir. Böylece geotekstil, asfaltın yapısına dikey su akışını en aza indiren bir su yalıtım membranı olarak görev yapar. Yalıtım fonksiyonu ile geotekstillere, kaldırım veya asfalt bileşenlerinin mukavemetinde azalmayı önler, eski kaldırım tabakadan yeni kaldırım tabakaya gelebilecek mevcut çatlakları önler, sistemin performansını artırır ve asfalt ömrünü uzatır [70]. Ayrıca çeşitli izolasyon malzemelerin altında, metalik ve plastik malzeme yüzeylerinde, kazık temellerde, köprü ayaklarında, kıyı mühendisliğinde geçirimsiz tabakalar oluşturulmak istenen yapılarda kullanılmaktadır. Bu fonksiyon için kritik performans özellikleri geotekstilin asfalt emisyonu emme yeteneğidir.

1.2.12. Geotekstillerin Kullanım Alanları

Geotekstillerin ve geosentetiklerin yaygın kullanım alanları vardır. Bu alanlarda kullanımları için geotekstillerin birincil ve ikincil fonksiyonları göz önünde bulundurularak projelendirme yapılmaktadır.

1.2.12.1. Katı Atık Depolama Tesislerinde

Atık depolama tesisleri için geotekstillerin temel uygulama amaçları filtre, drenaj ve koruma fonksiyonlarını yerine getirmektir. Bu alanlarda geotekstillere, geleneksel granül toprak tabakalarının yerini alır ve böylece çamur üzerini kapatarak takviye ve ayırma tabakası olarak kullanılırlar [15]. Ayrıca kendi başlarına veya geonetlerle birlikte yağmur ve kardan gelen suyun atığa karışıp sızıntı suyu üretmesini engellemek için nihai atık depolama yapılandırılmasının üzerine yerleştirilerek yağmur/yüzey sularının kontrolü için filtre katmanı olarak hizmet eder [18]. Yine geotekstil depolama örtüsü, sızıntı suyunu engellemek amacıyla kullanılan geomembran drenaj tabakası altında olası delinmeye karşı yastık görevi görerek geomembran astarın kaymasını en az seviyeye indirir ve çevreden gelebilecek hasarı engeller [14].



Şekil 1.49. Katı atık depolama sahasında geosentetik uygulaması [73]

1.2.12.2. Kaplamasız Yollarda

Geotekstillerin ilk ve en yaygın kullanım alanlarından biri kaplamasız yollardır. Kaplamasız yollar, yumuşak zemin üzerine taşıma gücünü sağlaması amacıyla sıkıştırılmış agrega veya çakıllı kum serilmiş geçici yollar, tali yollar, orman yolları ve şantiye yollarını kapsayan karayoludur [12]. Bu yollarda sert yüzey kaplaması (asfalt, bitümlü veya çimento kaplama) yoktur. Takviye ve ayırma geotekstillerin bu tabakalarda sunduğu iki ana işlevdir. Toprak alt zemin yumuşaksa yani California Taşıma Oranı (CBR) düşükse, ıslatılmamış değeri %3'ten az (ıslatılmış değeri %1'den az) ise burada geotekstilin birincil görevi güçlendirme olmaktadır. Eğer alt zemin orta iyi özellikte yani $CBR \geq \%8$ (kuru) veya $CBR \geq \%3$ (ıslak) ise takviye görevi ihmal edilebilir seviyede olacağı için burada geotekstilin birincil görevi ayırma olacaktır. Zemin alt tabakasının California Taşıma Oranı (CBR) değeri, 50 mm çapındaki pistonun kırma taş zemin üzerine verdiği kuvvetle oluşan deformasyona karşı zeminin sıkışma dayanımıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir [4, 24].

Kaplamasız yollarda zemin düşük mukavemete sahip olduğu için zamanla tekerlek yükleri altında yanal yayılma gösterir ve aşırı gözenek su basınçlarından dolayı alt zemin zayıflaması nedeniyle ince taneli topraklar granül dolgu ile karışır. Yeterli mukavemete sahip geotekstillere agrega ile alt tabaka arasına yerleştirilerek tekerlek yükünün altındaki potansiyel arıza yüzeyinde meydana gelen yanal harekete karşı çekme direnciyle takviye sağlar ve taşıma kapasitesini artırır [15]. Burada geotekstil takviye agrega tabanındaki kesilmeyi azaltır. Ayrıca geotekstil kullanımı ile agreganın zayıf temel ile karışmasını önleyerek agreganın daha kolay sıkılaşmasını sağlar ve yumuşak zemine batmasını engeller [12].

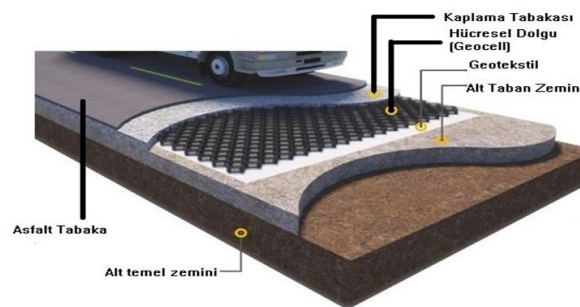


Şekil 1.50. Kaplamasız yollarda geotekstil uygulaması [74]

Kaplamasız yollarda geotekstil uygulamaların temel parametreleri delinme direnci, çekme uzaması, kalınlığı ve geçirgenlik özelliğidir [14].

1.2.12.3. Kaplamalı Yollar ve Pistlerde (Hava alanları ve Karayolları)

Geotekstil katmanlar asfalt yollarda genellikle granül taban tabaka ile toprak alt yapısının ara yüzeyine asfalt dolgu macunu veya yapışkan kaplamayla birleştirilerek membran tabaka sistemi oluşturur ve ayırma, filtrasyon, drenaj ve aynı zamanda takviye işlevlerini sağlar. Bu nedenle, asfalt yolların hizmet ömrünü ve performansını artırır. Bu alanlara düzgün yerleştirilmiş bir geotekstil, kaplama ile toprak arasındaki yansıtıcı çatlamları azaltır, yüzey suyunun kaplama yapısına girmesine engel olarak temel deformasyonunu önleyen bir nem bariyeri görür [75]. Yumuşak, eski ve kirlili alt tabaka ile asfalt tabaka arasında ayırıcı olarak ve suyun geçmesine izin veren ancak ince kum tanelerine izin vermeyerek toprak ve granül karışmasına engelleyen filtre görevi görür [70]. Bitümlü empreye edilmiş geotekstiller kaplamalı yollarda, donmaya duyarlı alanlarda donma etkisini azaltırlar. Ayrıca asfalt kaplama altındaki geotekstil mevcut kaplamanın hareketinden meydana gelebilecek yatay ve dikey gerilmeleri ara tabaka içinde hafif hareketlere izin vererek emer, gerilme mukavemeti sağlar [14].



Şekil 1.51. Kaplamalı yollarda geotekstil kullanımı [76]

Kaplamalı yol ve pistlerde en yaygın kullanılan geosentetikler birim alan başına kütlesi 120-200 g/m² olan iğnelemeyle bağlanmış dokusuz geotekstillerdir [15]. Bu alanda uygulanan geotekstillerin temel parametreleri kalınlık, çekme uzaması, delinme direnci ve düzlemsel geçirgenlik özellikleridir [7].

1.2.12.4. Demiryollarında

Bir demiryolu yapımında geotekstil kullanımı alt zemin, yol yapısı, trafik, drenaj koşulları ve bakım gereksinimleri gibi faktörlere bağlıdır. Demiryolu uygulamalarında geotekstil kullanımı öncelikli olarak ayırma, filtrasyon, takviye ve yanıl drenaj işlevlerini yerine getirmektir [70].



Şekil 1.52. Demiryollarında geotekstil kullanımı [19]

Demiryolu uygulamasında geotekstiller, ince daneli zemin toprağı içeren ve zor drenaj koşullarına sahip alt tabaka ile balast tabakası veya alt kirli balast tabaka ile yeni temiz tabaka arasına ayırma amacıyla, karayolu ile demiryolu geçiş yerleri ve köprü yaklaşımlarının olduğu aşırı pist bakımı gerektiren yerlere yerleştirilir [14]. Geosentetiğin alt ve üstünden gelen suyun yanıl drenajı için ve ayrıca bu alanlarda vagonların dinamik etkisiyle topraktan yükselen suyun filtrelenmesi için hizmet eder [7]. Demiryolları için ayırıcı olarak tasarlanan geotekstillerin patlama mukavemeti, delinmeye karşı direnci ve darbe dayanımı dikkate alınması gereken temel parametrelidir [13]. Demiryolu uygulamalarında yaygın olarak düzlem içi geçirgenlikleri ve yüksek esneklikleri nedeniyle iğnelemeyle bağlanmış dokusuz geotekstiller kullanılmaktadır. Ayrıca geogrid tabakası yüksek gerilme kuvvetlerini emebilme kabiliyetine sahip olduğu için zemin alt koruyucu tabaka olarak etkili bir şekilde hizmet edebilmektedir [14, 70].

1.2.12.5. Toprak Barajlarda

Toprak barajlar, normal kaya veya topraktan oluşan suyun tutulduğu yapılardır. Beton barajlara oranla inşaat maliyeti daha ekonomiktir. Toprak veya toprak/kaya barajlarında, geotekstiller düzenli olarak kullanılırlar. Barajlarda kullanılan geotekstiller su bariyeri, takviye, drenaj, koruma ve filtrasyon işlevlerine hizmet ederler [14]. Akış aşağı eğim boyunca kayaların altında, sızan sudan kontrollü drenajı sağlayan yapıların korunmasında ve topuk dreni amacıyla kullanılırlar. Ayrıca baraj setinden sızan suya karşı bariyer görevi yapan geomembran tabakayı, alt tabaka ve üst tabakadan kaynaklanabilecek hasardan korumak için kullanılırlar. Bu uygulamalarda geomembran ile baraj arasında, iğne ile delinmiş kalın dokusuz geotekstil kullanılmaktadır. Eğer kullanım alanında dik eğimler gerekiyorsa genellikle takviye amacıyla geogridler ve dokuma geotekstiller kullanılır. Bunlara ek olarak toprak barajlarının yağmur suyunun neden olduğu yüzeysel erozyonu kontrol etmek için de aşağı ve yukarı akış eğiminde geotekstil bir filtre olarak kullanılmaktadır. Baraj projelerinde kullanılacak geosentetiklerin verimli olarak işlevine devam etmesi için gerekli özellikleri; geçirimsiz olması, esnekliği, mekanik dayanımları, ısı ve donmaya direncidir [15].



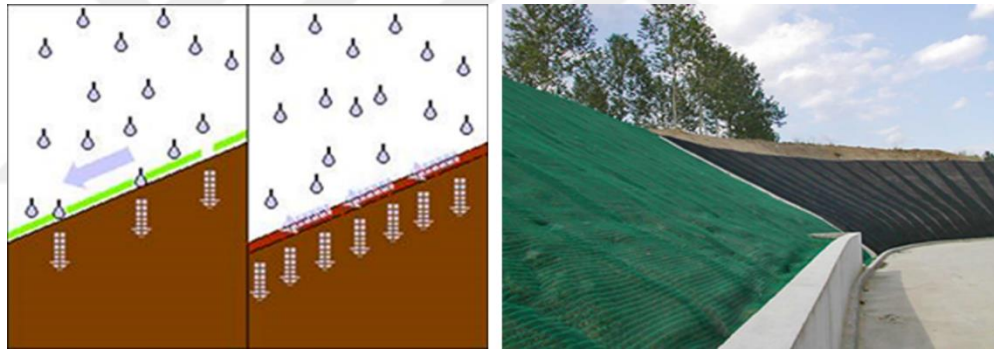
Şekil 1.53. Barajlarda geotekstil uygulaması [77]

Toprak barajlarda kullanılan geosentetiklerin kullanım avantajları şu şekildedir:

- Yumuşak ve esnek oldukları için toprağın çökmesi genişmesi, heyelan gibi etkilerden meydana gelecek deformasyona dayanıklıdırlar.
- Geotekstiller ve geogridler baraj dolgu malzemeleri için yeterli mukavemete sahiptirler.
- Geomembranların geçirgenliği kil ve betondan daha düşüktür.

1.2.12.6. Erozyon Kontrolünde

Toprak stabilizasyonunda erozyon kontrolü olarak geotekstillere, yoğun yağış ve toprak yıkamasından kaynaklanan erozyonun dik, yeni oluşan toprak eğimleri üzerinde, alttaki eğimin aşınmasını önlerken fazla suyun geçmesine izin veren drenaj tabakası ve sahadan gelen su akışına yavaşlatan ve sudan gelen kum tortularını tutan bir filtre olarak kullanılabilir. Bu kurulumlardaki temel parametreler kurulum gerilmelerine dayanacak mukavemet, toprak tutma verimliliği ve geçirgenliktir. Erozyon kontrol için geotekstil, kaplama muhafaza ünitesine mukavemet ve bütünlük sağlayarak kum kaybını önler. Düzgün tasarlanmış bir geotekstil rip rap ve mafsallı bloklar gibi sert zırh sistemlerinin altına yerleştirildiğinde filtre olarak kullanılırlar [15]. Su yükseldikçe sızıntıdan kaynaklı yumuşamış zemin üzerine destek sağlar ve su geri çekildiği zaman zırh tabakasının zarar göreceği toprak parçacıklarının geçişini engeller [78].

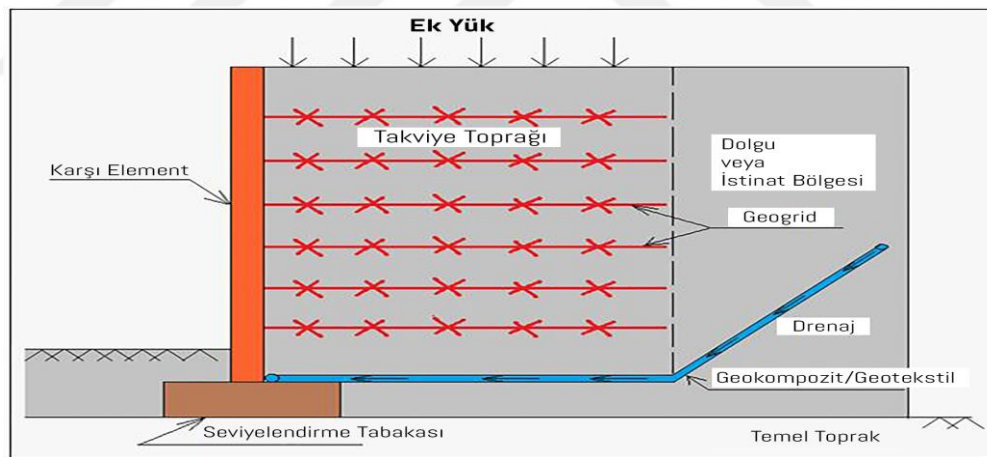


Şekil 1.54. Erozyon kontrolünde geotekstil kullanımı [75]

Doğal elyaf geotekstillere, nehirler ve hendekler gibi yavaş su akışının olduğu alanlardaki tepe eğiminin neden olabileceği erozyon kontrollerinde kullanılır. Bu alanlarda bitki örtüsünün kök salma zamanı gelene kadar maruz kalan toprağı erozyondan korurlar [18]. Doğal elyaf geotekstillere yapısı higroskopik olduğu için yüksek miktarda su emerler ve zamanla bozularak bitki büyümesini engellemez. Böylece kalıcı erozyon kontrolü sağlayan bitki örtüsüne yardımcı olurlar. Atmosferik doğa olaylarından kaynaklı yüzeysel erozyonu kontrol etmek için günümüzde ticari olarak temin edilebilen ve kalıcı olarak kullanılan diğer geosentetik malzemeler ise üç boyutlu geomatlar ve geocellerdir [78].

1.2.12.7. İstinat Duvarlarında

Eğim yapımının ekonomik olmadığı ve teknik olarak mümkün olmadığı durumlarda dolgu toprağının doğal eğilimini engellemek amacıyla istinat duvarları yapılır. Yanal toprak basınçlarına direnmek için dolgu tabakada takviye elemanları olarak dokuma geotekstil ve yüksek elastikiyet modülüne sahip geogridler kullanılırlar. Bu uygulamalarda takviye olarak gözenekli geotekstil tabaklar kullanılırsa yapışkan topraklar gözeneklerde dolgu elemanı olurlar [15]. Yanal toprak basıncından gelen kuvvetler yüzey sürtünmesi ile geotekstil ve geogrid tabakalara iletilir. Bu kuvvet aktarımı sayesinde sistemin dengesi korunur ve dayanıklılığı artar. Geotekstillerin dayanıklılık, geçirgenlik, gerilme mukavemeti ve sünme özellikleri ile uzun süreli deformasyon dağılımı sağlanmış olur. Ayrıca istinat duvarlarında geotekstillere çoğunlukla drenaj amacıyla kullanılırlar. Bu duvarların esnek olması sebebiyle zayıf temel malzemesinin bulunduğu alanların üzerine veya depreme duyarlı alanlara inşa edilebilir.



Şekil 1.55. Geosentetik donatılı istinat duvarlarının bileşenleri [19]

Geotekstillere güçlendirilmiş duvarların geleneksel beton duvarlara göre bazı avantajları [70];

- Ekonomik çözüm sunarlar ve estetik görünüm oluştururlar.
- Nitelikli iş gücü gerektirmediği ve bileşenlerin çoğu prefabrik olduğu için inşaatı genellikle kolay ve hızlıdır.
- Duvarın yüksekliği ve uzunluğu boyunca geleneksel yapılarda olduğu gibi desteklenme gerektirmez.

- Esnek olmaları nedeniyle geniş yanal ve düşey deformasyonlar izin verebilirler.
- Doğal enerji emme özelliklerinden dolayı deprem yüklerine karşı uygundur.

1.3. Konu ile İlgili Literatür Çalışmaları

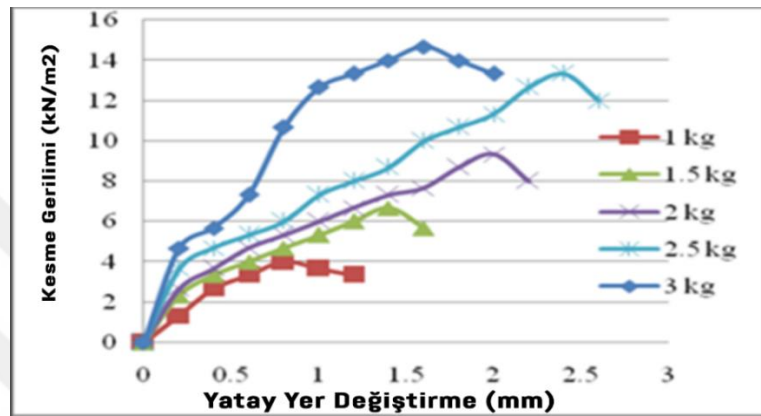
Birçok araştırmacı, zemin güçlendirmede donatı olarak kullanılan geosentetiklerin, zemin/geosentetik, geosentetik/geosentetik ara yüzey dayanım özelliklerini, bu dayanım artışında geosentetiklerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkisini direkt kesme kutusu deneyi, sıyrılma deneyi ve eğik düzlem deneyleri yaparak incelemişlerdir.

Bağcı (2007), yapmış olduğu tez kapsamında 200 gr/m^2 örgüsüz geotekstili kayma yönünde yatay ve dikey olarak yerleştirilerek kohezyondaki ve arayüzey sürtünme açılarındaki değişiklikleri incelemiştir. Uygulamada standart kesme kutusu deneyi kapsamında farklı normal gerilmelerde 3 dk/mm kesme hızı uygulanmıştır. Deneyler sonucunda geotekstilin yatay yerleştirildiğinde zemin içsel sürtünme açısında daha yüksek değer mevcut iken kohezyonda azalma olduğunu tespit etmiştir. Dikey olarak yerleştirildiğinde elde edilen sonuçta ise zeminin hem sürtünme açısı hem de kohezyonda yüksek değerler elde edildiğini gözlemlemiştir [4].

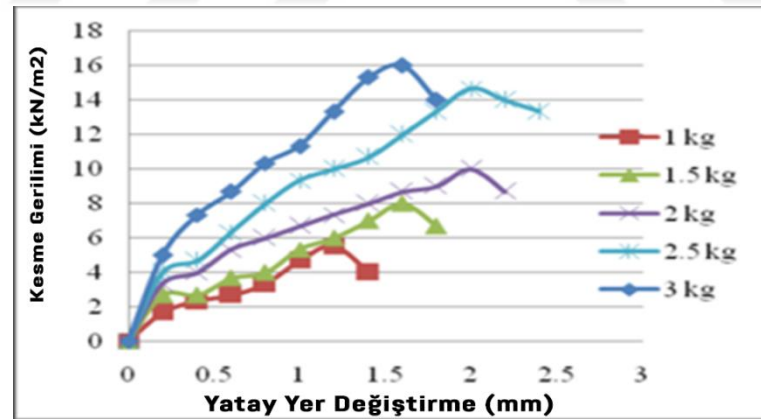
Deng ve ark. (2008), geogrid donatı kullanarak büyük direkt kesme testi ile toprak ara yüzü, su içeriği, geogrid gözenek çapı, sıklık ve büyük tanecikli toprak gibi ana faktörler üzerine bir araştırma yapmışlardır. Direkt kesme testini tek eksenli PP (polipropilen) geogrid ve çift eksenli PE (polietilen) geogrid üzerinde 4 farklı basınç altında ($100 \text{ kPa}, 200 \text{ kPa}, 300 \text{ kPa}, 400 \text{ kPa}$) $1,5 \text{ mm/dk}$ kesme hızı ile gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, takviyeli toprağın sürtünme açısının, dolgu sıklığının artmasıyla arttığını ve topraktaki tanecik boyutunun irileşmesiyle arttığını ancak su içeriğinin artmasıyla azaldığını tespit etmişlerdir. Dolgu su içeriğinin güçlendirilmiş toprak ara yüzeyinde büyük etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca geogrid gözenek çapının ara yüz sürtünme performansını etkilediği için optimum bir geogrid gözenek çapı olduğunu gözlemişlerdir [79].

Jayashree ve ark. (2017), geotekstil kullanılarak zemin güçlendirilmesi üzerine ara yüz sürtünmesini belirlemek için farklı yükleme koşulları altında donatılı ve donatısız doğrudan kesme testleri yapmışlardır. Donatı amacıyla 3 mm kalınlıkta dokusuz geotekstil iki farklı pozisyonda yerleştirilmiştir. $60 \times 60 \text{ mm}$ ebadında model kesme

kutusu aparat ile çeşitli yüklemelerde kesme testleri yapmışlardır. Sonuç olarak takviyeli kumun takviye tarafından sağlanan yüksek deforme etkisi nedeniyle donatısız kumdan daha yüksek kesme mukavemeti sağladığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca toprak kapasitesinin iyileştirilmesinin takviye katman sayısının artırılmasına bağlı olduğunu belirtmişlerdir [80]. Şekil 1.56 ve şekil 1.57 de tabaka sayısı ile kayma gerilimi arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 1.56. Zayıf dereceli kumun 1 katmanlı geotekstil ile kayma gerilimi-yatay yer değişimi [80]

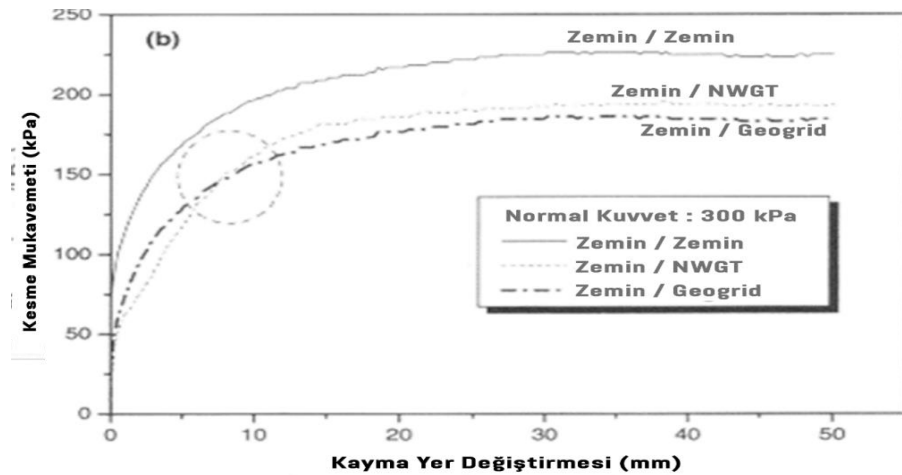


Şekil 1.57. Zayıf dereceli kumun 2 katmanlı geotekstil ile kayma gerilimi-yatay yer değişimi [80]

Tuna (2008), geotekstil kullanımının kum zeminler üzerine etkilerini ve potansiyel faydalarını tespit etmek için kesme kutusu deneyi yapmıştır. Deney kapsamında 2 farklı rölatif sıklıkta zemin, üç adet örgüsüz PES ve 2 adet örgülü PP geotekstil ile farklı normal basınçlarda 100×100 mm' lik ve 60×60 mm' lik kesme kutusu kullanılmıştır. Yapılan deneylerde elde edilen sonuçlara göre donatı pürüzlüğünün ve sertliğinin kesme mukavemeti ve sürtünme açısı üzerinde kesin etkisi olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca düşük normal basınçlar altında donatılı ve sıkı olan zeminde, donatılı ve gevşek olan

zemine göre daha çok genleşme gözlemlenmiştir. Zemin sıklığının ara yüzey davranışını belirlemede kesin bir etkisi olduğunu tespit etmiştir. Bu durumu artan zemin sıklığının birim hacim içerisinde daha çok taneciğin bulunmasına sebep olması sonucu beraberinde sürtünme dayanımını artırdığı şeklinde yorumlamıştır. İki sıra geotekstil kullanılarak yapılan testlerin sonunda sınırlama etkisi olduğunu ve ara yüzey davranışın büyük ölçüde geotekstil yüzey parametreleri ile zemin indeks özelliklerine bağlı olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır [81].

Won ve ark. (2008), geogrid takviyeli duvarların dış deformasyon davranışları ile toprak geosentetik ara yüzey kayma gerilmelerini incelemek amacı ile doğrudan kesme testleri ve geniş genişlikli çekme testleri yapmıştır. Deneysel kil dolgulu zemin, dokusuz geotekstil ve geogrid donatı olarak kullanılmış farklı normal gerilmeler altında büyük kesme kutusu deneyi (300×300 mm) yapmışlardır. Kayma gerilmesinin artan normal basınç ile arttığını ve kayma yer değiştirmesini artırdığını gözlemlenmiştir. Deneyin başlangıcında kayma yer değiştirmesi yaklaşık 5,7 mm (kayma gerilmesi %2,5 kPa) olana kadar geogrid/toprak ara yüz kayma geriliminin dokusuz geotekstil/toprak ara yüzeyinin kayma gerilmesinden büyük olduğunu gözlemlenmiştir (Şekil 1.58). Ancak toprak/geotekstilin %2,5 kayma gerilmesi üzerindeki değerler sonrası geogrid/toprak ara yüzey kayma gerilmesinden daha büyük gerilme değerleri verdiği sonucuna varmışlardır. Bunun nedenini, dokusuz geotekstilin düşük sertliği ve pürüzlü yüzeye sahip olması sonucu geogrid arasındaki yapı farkından kaynaklandığını belirtmişlerdir [82].



Şekil 1.58. 200-300 kPa normal gerilmelerde toprak/toprak ve toprak/geotekstil kayma yer değiştirmesi [82]

Şekercioğlu (2015), çalışmasında geotekstil kullanımının kum zeminlerin mekanik davranışı üzerindeki etkilerinin ve ara yüzey etkileşim parametrelerinin, ara yüzey davranışını nasıl etkilediğini analiz etmek için 60×60 mm boyutlara sahip bir dizi kesme kutusu deneyi yapmıştır. Deneylerde, kaba ve ince daneye sahip (Dr %30; Dr %60) kumların üç farklı basınç kuvveti altında iki farklı rölatif sıklıkta kumların dayanım parametreleri için örgülü polipropilen ve örgüsüz polyester altı farklı geotekstil ile davranışları karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda, donatılı zemindeki kesme dayanımının donatısız zemindeki kesme dayanımından daha yüksek değerlere sahip olduğunu bildirmiştir. Kesme deneyler ile bulunan ara yüzey açıları ve dayanım değerlerinin, örgüsüz geotekstillerin elastikiyetinin fazla olmasına bağlayarak örgülü geotekstillere kıyasla daha yüksek olduğu tanısına varmıştır. Bir diğer sonuçta örgüsüz geotekstilin pürüzlülüğünün artmasıyla ara yüzey sürtünme açısının da artacağını savunmuştur. Ara yüzeye geotekstil kullanılarak donatılandırıldığında meydana gelen ara yüzey sürtünme açısının, zemin türü dışında rölatif sıklığın etkisiyle değiştiğini gözlemlemiştir. Sıkı zeminlerde daha yüksek ara yüzey sürtünme açıları elde etmiştir [10].

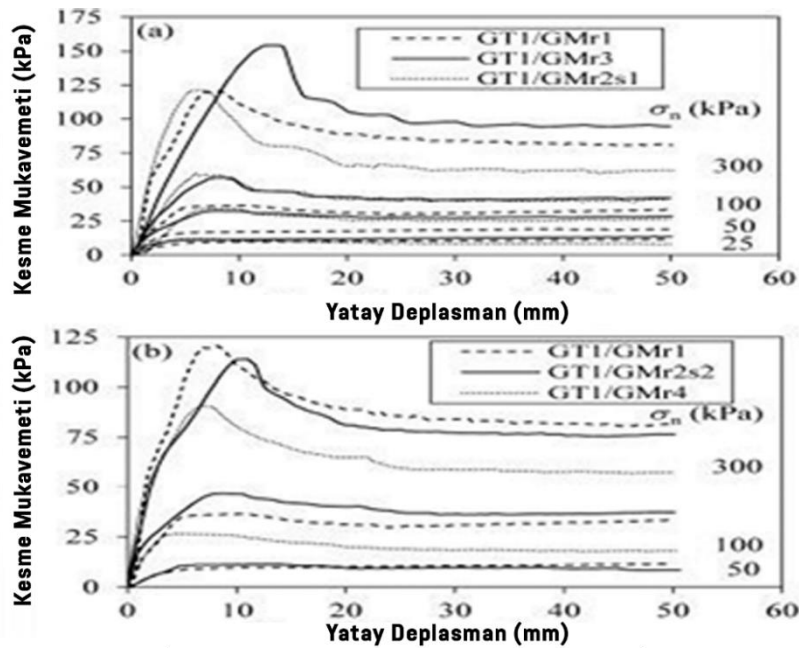
Karpuzcu (2001), zeminlerin mukavemet, geçirgenlik ve sıkışma özelliklerinin üzerinde geotekstil takviyesinin etkisini araştırmak için deneyler yapmıştır. Deney kapsamında iki farklı tip polyester ve polipropilen (PP) dokusuz geotekstil ve PP örgülü geotekstil kullanmıştır. Üç farklı tip zemin kullanıldığı çalışmalarda (kum, ponza ve kil), kil için serbest basınç deneyi, kompaksiyon ve konsolidasyon deneyi, kum ve ponza kompaksiyon, permeabilite ve kesme kutusu deneyleri yapmıştır. Geotekstil numuneleri kum zemin numunesi üzerine bir veya birkaç tabaka halinde yerleştirmiş ve tabaka sayısının zemin mukavemetine etkisini araştırarak raporlamıştır. Kesme kutusu deneyleri sonucunda, takviyesiz numunelerde, takviyeli numunelerdeki değerlerden daha büyük kesme gerilmeleri ve sürtünme açıları olduğunu elde etmiştir. Bu durumu, geotekstil yerleşim düzlemine paralel kayma yüzeylerinin oluşması ve geotekstil ile zemin arasında yeterli sürtünme ve aderansın olmamasının neden olduğunu açıklamıştır. [83].

Bacas ve ark. (2015), düzenli depolama atık sahalarında kullanımı fazlasıyla tercih edilen geomembran/geotekstil ara yüzeylerin kesme etkileşim mekanizmasında geosentetiklerin mikro yapısının ara yüz kayma davranışındaki etkilerini 300×300 mm

boyutundaki aparat ile direkt kesme deneyleri ile incelemişlerdir. Deney numunesi olarak 3 adet dokusuz geotekstil ve 5 adet geomembran kullanmışlardır. Çalışmayı farklı normal basınçta (25, 50, 100, 300, 450 kPa) ve ıslak koşullarda gerçekleştirmişlerdir. Bununla birlikte su muhtevası, ara yüz kayma mukavemetini önemli ölçüde etkilememektedir. Çalışmada kullanılan geosentetiklerin özellikleri Tablo 1.2 de gösterilmiştir [84].

Tablo 1.2. Deneysel çalışmada kullanılan geosentetiklerin bazı özellikleri (PP:polipropilen; PE: Polietilen, NW: Nonwoven, GT: Geotekstil, Gmr: Geomembran, HDPE: yüksek yoğunluklu polietilen)

Geosentetik	Etiket	Hammadde/ Lif türü	Kütle / Alan (g/m ²)	Yoğunluk (g/m ³)
Geotekstil / NW	GT1	PP / monofilament	500	
	GT2	PP / kesikli elyaf	500	
	GT3	%70 PP + %30 PE/ monofilament	335	
Geomembranlar	GMr1	HDPE / tekstüre		≥0,94
	GMr2	HDPE / tekstüre		≥0,94
	GMr3	HDPE / tekstüre		0,94
	GMr4	HDPE / tekstüre		≥0,93



Şekil 1.59. (a) İğnelenmiş geotekstil (GT1, GT2) /Gmr, arayüzey kayma mukavemetlerinin karşılaştırılması [84]

Sonuç olarak düşük normal basınç (50 kPa'dan az olan) şartlarında kesme mukavemeti yüzey pürüzlülüğüne bağlı olmadığını, normal basıncın arttıkça sıkışan geotekstillerin adezyon kuvvetinin artmasıyla yüzey sürtünmesini artırdığını gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak yüzey pürüzlülüğü arttıkça geomembran ile geotekstil ara yüzey daha fazla sürtünme performansı gösterdiği için ara yüzey kesme mukavemetinin arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca yapılan çalışmada, lif uzunluğunun kayma mukavemetini etkilediğini gözlemlemişlerdir. Düşük normal basınç altında kesikli elyafların monofilamentler kadar iyi kenetlenmediği için ara yüzey kesme mukavemet değerinin küçük olduğunu ve termal olarak bağlanmış monofilament geotekstilin en yüksek ara yüzey değeri gösterdiğini tespit etmiştir (Şekil 1.59) Bunu termal olarak bağlı monofilamentlerin kesme sırasında gerilerek kenetlendiğini ve geotekstilin geomembran üzerinde kaydıkça daha yüksek dirence neden olmasına bağlamışlardır. GT2 normal olarak en düşük pik sonrası değerlerini sunar, çünkü kesikli lifler en kolay şekilde gerilir ve sürtünür. Sonuç olarak pik değer sonrası ara yüzey kesme mukavemetlerinin esas olarak geotekstil tipine bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir [84].

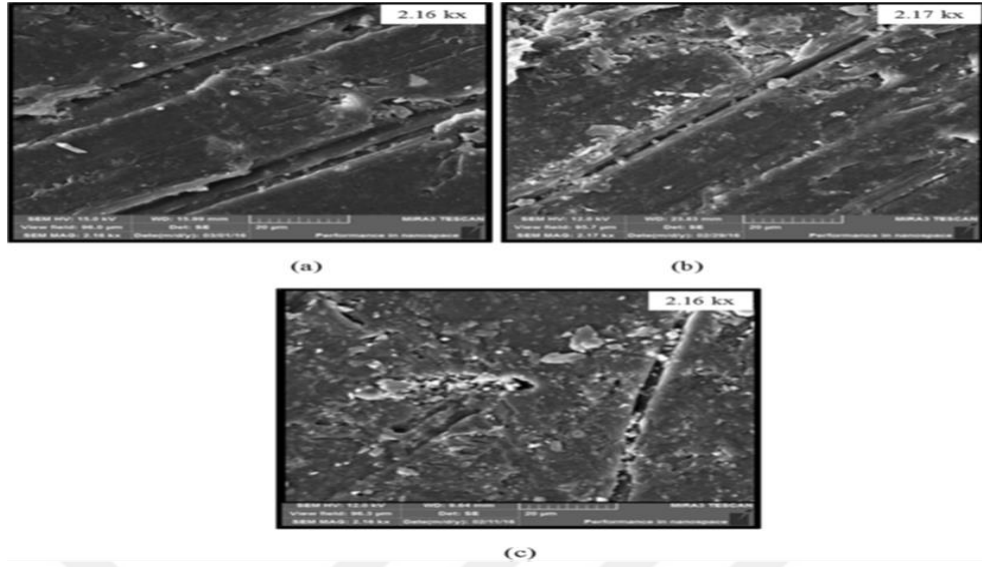
Erdoğan ve Altun (2008), kumlu zeminlerde farklı tip ve özelliklerde polipropilen geotekstiller kullanarak statik koşullar altında kumların kayma direnci özelliklerinin ne ölçüde değiştiğini incelemişlerdir. Deney çalışmalarında 2 tip örgülü ve 3 tip örgüsüz geotekstil kullanarak kesme deneyleri yapmışlardır. Bu kapsamda iyi ve kötü derecelendirilmiş zemin üzerinde donatılı ve donatısız deneyler farklı normal gerilmeler altında yapılarak sonuçları raporlamışlardır. Deney sonuçlarını, tüm sıklık ve derecelendirme durumu göz önüne alarak, örgüsüz geotekstillerin bükülebilir ve yüksek yüzey pürüzlükleri nedeniyle kum zeminin deformasyonuna daha kolay uyum sağladıkları için, örgülü geotekstillere nazaran daha yüksek performans sergilediklerini gözlemlemişlerdir. Yine deney sonuçları, ara yüzey kayma dayanımında geotekstil tipi, zemin rölatif sıklığı ve granülometresi, deneysel koşullardaki farklılıkların büyük ölçüde etkisi olduğunu ortaya koymuşlardır [85].

Russell ve ark. (1998), geomembran ve geotekstil ara yüzey kesme kuvvetini kontrol etmek amacıyla dairesel kesme deneyi ve 300 mm direkt kesme kutusu deneyinden oluşan laboratuvar araştırmaları yapmışlardır. Bu deneyler ile gerginlik yumuşatması ve

ara yüzey kesme kuvvetlerinin önemini tartışmışlardır. Testler için HDPE pürüzsüz ve dokulu geomembran, pürüzsüz PP geomembran, HDPE ve PP olmak üzere iki farklı iğneyle delinmiş dokusuz geotekstil kullanmışlardır. Laboratuvar testleri sonucunda, pürüzsüz geomembran için kayma gerilmesinin, dokulu geomembran ara yüzey değerlerinden farklı olduğunu, direkt kesme deneylerinde ara yüzey kesme gerilmelerinin dokulu geomembranlarda daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca yapılan çalışma sonucu, pürüzsüz PP geomembranlar, geotekstillere karşı yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) geomembranlardan daha yüksek ara yüz kesme dayanımları gösterdiğini ortaya koymuşlardır [86].

Sayeed ve ark. (2017), toprak/geotekstil arasındaki etkileşimi anlamak için üç farklı normal gerilme altında (25,50,100 kPa) kum/geotekstil ara yüzey kesme özelliğini belirleyen direkt kesme kutusu deneyleri yapmışlardır. Deneyde numune olarak jüt/PP hibrit ve PP (polipropilen) dokusuz geotekstilleri kullanmışlardır. Hibrit iplikten oluşan geotekstil ile PP geotekstilin ara yüzey kayma dayanımına etkisi karşılaştırılarak analiz etmişlerdir. Sonuçlarda, dokunmamış geotekstillerin temas etkinliğinin kum parçacıklarının geotekstil gözenekleri ile birbirine kenetlenmesinden dolayı yüksek olduğunu ifade etmişlerdir. Yine sonuçlarda %100 PP liflerden oluşan dokusuz geotekstillerin, jüt/PP hibrit dokusuz geotekstillere kıyasla daha yüksek başlangıç kayma sertliğine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte kum/hibrit geotekstillerin temas etkinliğinin %100 PP esaslı dokusuz geotekstillerin temas etkinliğine benzer ve yüksek sonuç verdiğini bulmuşlardır [87].

Punetha ve ark. (2017), kum ve geosentetik ara yüzeyi üzerinde doğrudan kesme kutusu (300×300×200mm) ile kapsamlı bir deneysel çalışma yapmışlardır. Geosentetik olarak HDPE geomembran ve iğneyle delinmiş dokusuz geotekstil ve iki farklı granül büyüklüğe sahip kum kullanılmıştır. Ayrıca FESEM (saha emisyon taramalı elektron mikroskobu) ile deforme olmuş numunenin mikro yapısal özelliklerini incelemişlerdir. Ara yüzey kesme mekanizmasını etkileyen faktörler arasında kritik normal stres değerinin kuru ve ıslak kum için farklı olduğunu gözlemlemişlerdir. Geomembran yüzeyindeki sürtünme miktarının kumun ortalama parçacık büyüklüğü arttıkça azaldığını tespit etmişlerdir ve FESEM görüntüleri ile ıslak kumları içeren parçacıkların geotekstil liflere yapıştığını ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte kuru kumda hiçbir sürtünme olmadığını belirtmişlerdir [88].



Şekil 1.60. a) 50 kPa; b) 150 kPa c) 200 kPa normal gerilmede doymamış kum içeren testler için deforme olmuş geomembran numune FESEM görüntüleri [88]

FESEM görüntüleme sonucunda kum-geosentetik ara yüzey kesme mekanizmasının normal strese ve kumun doyma derecesine bağlı olduğunu analiz etmişlerdir.

2. BÖLÜM

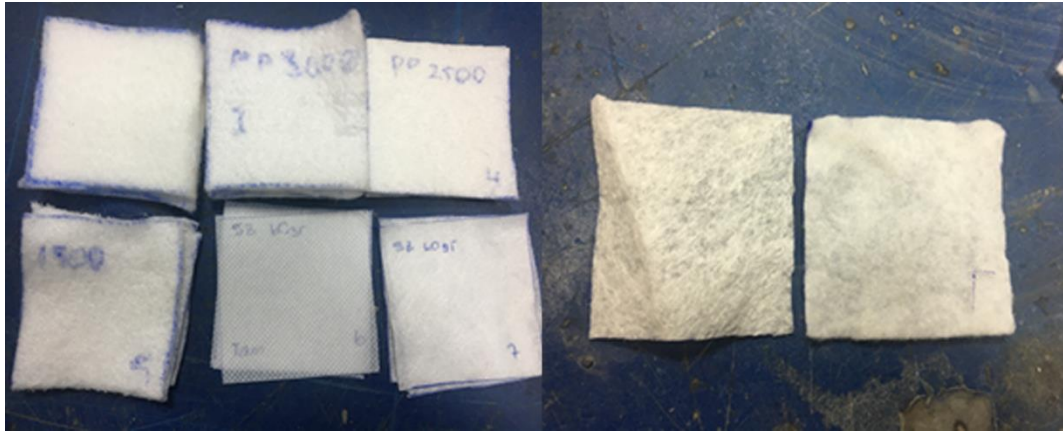
MATERYAL VE METOD

2.1. DeneYlerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada farklı birim alan ağırlığa sahip dokusuz geotekstillerin, kum zemin ile donatı olarak kullanılma olanaklarının belirlenmesinde zemin/geotekstil kayma direnci ve kayma açısına olan etkisini incelemek amacıyla 60mm×60mm boyutunda kesme kutusu ile bir dizi standart kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Araştırma materyali olarak zemin numunesi için her deneyde 161,30 gr kuru kum ve donatı olarak polipropilen (PP) liflerinden üretilmiş farklı gramajda ve farklı üretim tekniğine sahip 7 adet dokusuz geotekstil seçilmiştir. Donatılı zemin analizinde kullanılacak olan dokusuz geotekstillerin özelliklerinin zemin ile etkileşiminde ara yüzey davranışına olan etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır.

2.1.1. Deneyde Kullanılan Geotekstillerin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Kesme kutusu deneylerde çalışmanın amacı doğrultusunda, esas olarak farklı mekanik özelliklerde polipropilen (PP) hammaddeden üretilmiş farklı birim alan ağırlığa sahip 5000, 3000, 2500, 1500 gr/m² kesikli elyaflardan oluşan iğnelenerek üretilmiş dokusuz yüzey geotekstilleri, yine kesikli elyaflardan oluşan 100 g/m² sıcak silindirele ısıl bağlama yöntemiyle üretilmiş geotekstil ve birim alan ağırlığı 60 gr/m² olan aynı hammaddeden oluşan, su jetiyle bağlama tekniğiyle (spunlace) ve filamentlerden oluşan sonsuz elyaf serme metodu (sponbond) ile üretilen geotekstilleri olmak üzere farklı üretim tekniklerine sahip 7 adet dokusuz geotekstil seçilmiştir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Deneyde kullanılan geotekstil numuneler. Üst grup soldan sağa: PP5000, PP3000, PP2500; alt grup soldan sağa: PP1500, SB60, SL60; sağda K100

Çalışma kapsamında kullanılan geotekstillere ait bazı özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir

Tablo 2.1. Aynı hammaddeden üretilen dokusuz geotekstillerin bazı özellikleri

Geotekstil (Dokusuz)	Üretim Yöntemi	Gramaj (g/m ²)	Çekme Mukavemeti (N)	Kopma Uzaması (%)
K/100	Sıcak Silindirle	114	348,56	47,13
PP/1500	İğneleme	1500	382,67	125,45
PP/2500	İğneleme	2500	519,31	79,47
PP/3000	İğneleme	3000	887,38	69,91
PP/5000	İğneleme	5000	1587, 57	99,33
SB/60	Spunbond	60	49,9	105,41
SL/60	Spunlace	60	92,82	49,43

Spunbond 60 geotekstil, polimerlerin eritilerek filament olarak serilmesi sonucunda oluşan dokunun sıcak silindirle bağlanması tekniğiyle üretilmiştir. Spunlace 60 geotekstil ise kesikli liflerin mekanik yöntemlerle serilmesiyle oluşan dokunun, su jetiyle bağlanarak sabitlenmesi tekniğiyle üretilmiştir. PP5000, PP3000, PP2500 ve PP1500 tarakla serilmiş kesikli liflerin iğneleme ile mekanik olarak bağlanmasıyla üretilmiş ve K100 tarakla serilen kesikli liflerin sıcak silindirle bağlanmasıyla üretilmiş olan dokusuz geotekstillerdir. Yüzey pürüzlülükleri açısından incelendiğinde kısa liflerden oluşan sıcak silindirle bağlanmış K100 en pürüzlü yüzeye sahiptir. İğneleme

ile bağlanmış PP5000, PP3000, PP2500 ile PP1500 birbirine yakın yüzey pürüzlülükleri sergilemektedirler. SL 60 geotekstil, SB60 ve diğer dokusuz numunelere göre daha yumuşak ve neredeyse pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Kalınlık açısından, gramajla eş değer olarak PP 5000 en kalın, spunbond60 ve spunlace60 numunelerin kalınlıkları birbirine eşdeğer, eğilip bükülmesi kolay ve incedir. İğnelenerek üretilen geotekstillere göre spunbond, su jetiyle ve sıcak silindire bağlama tekniğiyle üretilen geotekstillere göre daha yüksek çekme dayanımlarına sahiptir.

2.1.2. Deneylerde Kullanılan Zeminin Özellikleri

Deneylerde kullanılmak üzere Kayseri Melikgazi Asfalt şantiyesinden kum zeminler temin edilmiş ve kuru ortamda muhafaza edilecek şekilde depolanmıştır. Kum zeminler Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarlarına getirilerek endeks özelliklerinin tayin edilebilmesi için deneylere tabi tutulmuştur.

2.1.2.1. Deneyde Kullanılan Kum Zeminlerin Endeks Özelliklerinin Belirlenmesi

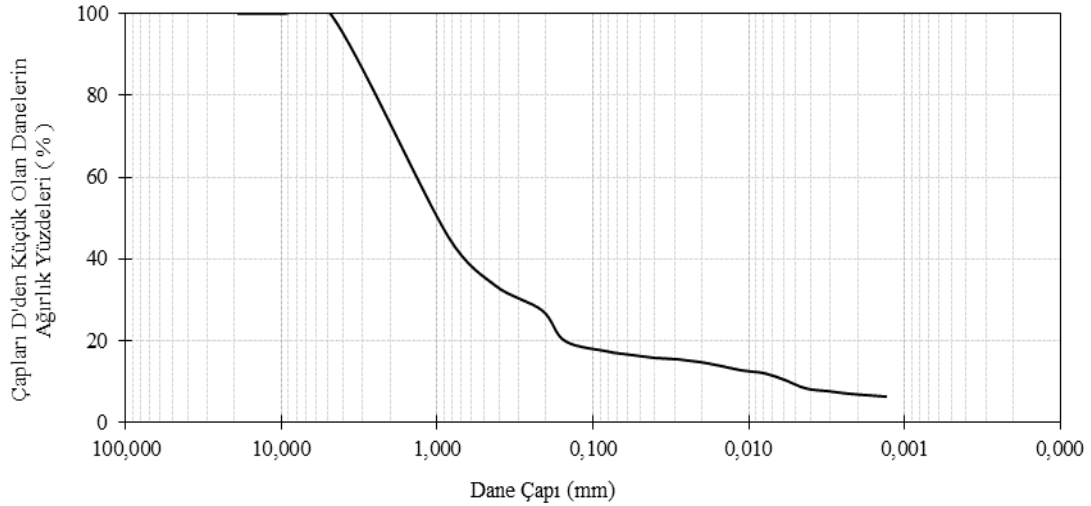
Su muhtevasını tayin edebilmek için kum zeminler $105 \pm 5^\circ\text{C}$ sıcaklığa ayarlanmış etüvde 24 saat boyunca kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda kum zeminlerin su içerikleri %0,1 olarak tespit edilmiştir. Su muhtevası deney sonuçları dikkate alınarak temin edilen kum zeminin kuru olduğu kabul edilmiştir.

Kum zemine ait özgül ağırlık değeri ASTM 854-14 standardına uygun olarak üç farklı numune üzerinde gerçekleştirilen deneyler ile belirlenmiştir [89]. Kum zemine ait ortalama dane birim hacim ağırlığı değeri ortalama $26,49 \text{ kN/m}^3$ olarak belirlenmiştir.

Deneye tabi tutulan kum zeminler $D_r = 0.60$ relatif sıkılıkta yerleştirmiştir. Belirlenen bu sıkılık değerine denk gelen boşluk oranı 0,35 olarak hesaplanmıştır. Bu boşluk oranına bağlı birim hacim ağırlığı değeri ise $19,62 \text{ kN / m}^3$ olarak elde edilmiştir. Bu hesaplamalar dikkate alınarak 60 mm kenar uzunluğunda 20 mm yüksekliğindeki kesme kutusu deney hücresine 161,30 gr ağırlığında kum zemin yerleştirilmiştir.

ASTM D3080-11 standardına uygun olarak yapılan gerçekleştirilen kesme kutusu deneylerinde içsel sürtünme açısı (ϕ) değeri $46,13^\circ$ ve kohezyon (c) değeri $11,01 \text{ kN/m}^2$ olarak tespit edilmiştir [90].

ASTM D7181-20 standardı dikkate alınarak alınan 50 mm çapında 100 mm yüksekliğinde ve $D_r = 0.60$ relatif sıkılıkta hazırlanan kum zeminler üç eksenli deney türlerinden olan konsolidasyonlu-drenajlı üç eksenli deneyine (CD) deneyine tabi tutulmuştur [91]. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda içsel sürtünme açısı (ϕ) değeri $41,40^\circ$ ve kohezyon (c) değeri $10,71 \text{ kN / m}^2$ olarak belirlenmiştir.



ASTM D2487-17e1 standardı dikkate alınarak zeminler Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemine (USCS) göre sınıflandırılır [94]. Araziden örselenmiş olarak alınan ve endeks özellikleri belirlenen kum zeminlerin, USCS' ye göre zemin sınıfı "Siltli Kum (SM)" olarak belirlenmiştir.

2.2. Metod

2.2.1. Kopma Mukavemeti/ Uzama Tayini

Donatı amacıyla kullanılan geotekstil numuneleri kullanımları sırasında farklı yönlerde gerilme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bu nedenle farklı üretim tekniğindeki numunelerin sağlamlıklarının tayin edilmesi ve geotekstillerin kopma mukavemetinin kum zemin üzerindeki etkisini tahlil edebilmek amacıyla kopma mukavemeti ve uzaması testi uygulanmıştır. Kopma uzaması testinde numune çeneler arasına yerleştirilerek sabit hızda uygulanan kuvvet sonucu olarak, numunede kopma meydana geldiği andaki kuvvet ve numunede oluşan boyut değişimi kaydedilir. Test için 200mm×50mm boyutlarında numuneler hazırlanmış ve 24 saat boyunca standart atmosfer koşullarında kondisyonlanmıştır. Kondisyonlanmış numunelere kopma mukavemeti / uzama testi Shimadzu marka test cihazı ile yapılmıştır (Şekil 2.3). Test sırasında çeneler arasına numune yerleştirildikten sonra mesafe 200 mm'ye ayarlanmış ve cihazın çene hızı 100mm/dk'ya ayarlanarak testler gerçekleştirilmiştir. Deney sonrasında kopmanın gerçekleştiği anda cihaz durmakta ve bağlı olan bilgisayarda kopma anında uygulanan kuvvet ve numunede gözlenen %uzama değeri okunmaktadır.



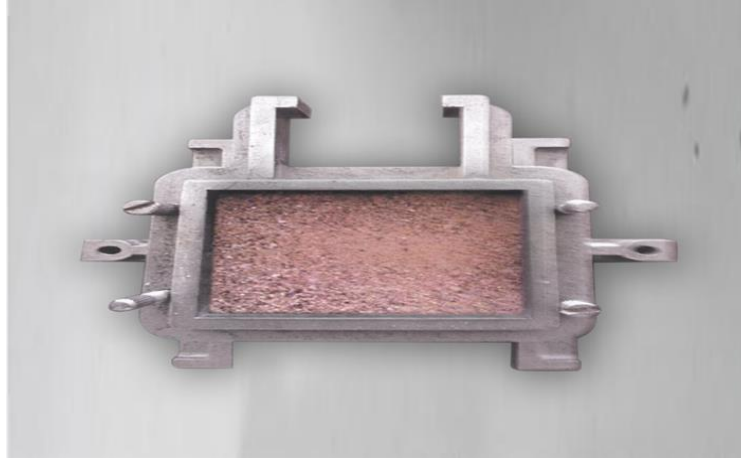
Şekil 2.3. Shimadzu marka çekme cihazı

2.2.2. Kesme Kutusu Deney Yöntemi

Zeminlerin kesme mukavemetinin saptanmasında, zemin-geotekstil etkileşiminde malzeme parametrelerinin etkisinin belirlenmesi için kesme kutusu deneyi yaygın olarak kullanılmaktadır. Standart kesme deneyinde, Erciyes Üniversitesi geoteknik laboratuvarında bulunan ELE marka kesme kutusu deney aleti ile 60 mm×60 mm boyutunda kesme kutusu kullanılarak 2 kg, 4 kg ve 6 kg olmak üzere üç farklı yükleme koşulları altında donatısız kum ve aynı şartlarda donatılı kum/geotekstil için testler yapılmıştır. Deney yapılışında ASTM D 5321-02 (Standart Test Method for Determining the coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the direct Shear Method) standartı referans olarak alınmış ve kum zeminle drenajsız koşullar altında testler gerçekleştirildiği için deneyler 3mm/dk kesme hızı ile yapılmıştır. Kesme kutusu deneyinde kutunun üst taraf sabit alt taraf yatay deplasman yapmaktadır (Şekil 2.4). İlk aşamada kesme kutusu içerisine, altta ve üstte olmak üzere filtre kâğıdı ile drenaj bloğunu koyarak zemin numunesi olan kum özenle belirli aralıklarda kare tokmak ile sıkıştırılarak yerleştirilir (Şekil 2.5). Üzerine geotekstil numune zeminle tam temas kuracak ve kayma sırasında şekil değiştirmesine izin verilmeyecek şekilde yerleştirilir. Üst kesme kutusu vidaları yardımıyla alt kutuya sabitlenir ve yeniden istenilen seviyede kum zemin yerleştirilir. Kesme kutusu cihaza kancalardan geçirilerek oturtulur. Belirlenmiş olan normal basınç 2 kg, 4 kg ve 6 kg lık ağırlıklar kullanılarak numuneye kuvvet kolu yardımıyla yüklenir. İlk aşamada numuneler üzerine 1 dk konsolidasyon yapılmıştır. Bu aşamadan sonra test numunesini tutan çerçeveden sabitleme vidaları çıkarılıp 3 mm/dk belirlenen yatay deplasman hızı seçilerek kesme deneyine başlanır. Cihaz yatayda 0,1 mm de bir ölçüm yapmaktadır.



Şekil 2.4. Çalışmalarda kullanılan kesme kutusu deney düzeneğinin görünümü



Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan 60×60mm'lik kesme kutusu ve sıkıştırılmış zemin numune

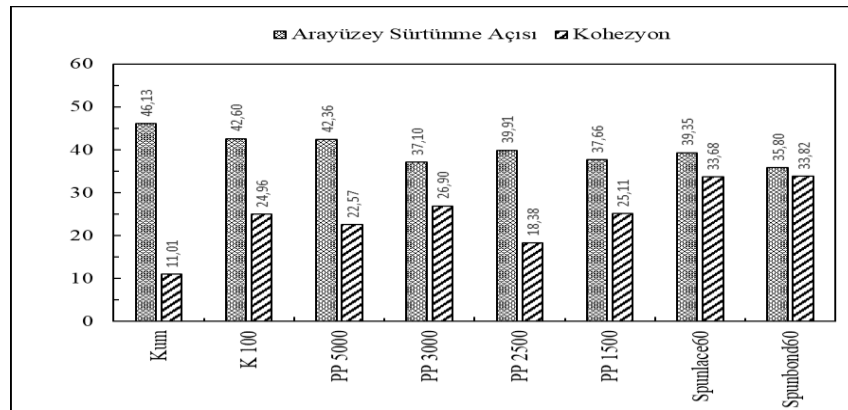
Deney her numune için üç farklı normal kuvvet 54,5 kPa, 109 kPa ve 218 kPa basınçta üçer kez tekrarlanmıştır. Deney sırasında olan en büyük kesme gerilmesi ve şekil değiştirmelere neden olan kayma mukavemet sonuçları hassas ölçüm aletleri ile veri aktarım ünitesinden bilgisayara aktarılır.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Donatılı ve Donatısız Kum Zemin ile Yapılan Direkt Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

Tezin deneysel kapsamında saf kumun numune ağırlığı 161,30 gr ve zeminin yüksekliği 20 mm olarak seçilmiştir. 60mm×60 mm direkt kesme kutusu deneyleri kapsamında üç farklı düşey yük altında 54,5 kPa, 109 kPa ve 219 kPa olmak üzere, 3mm/dk. kesme hızı numune üzerine uygulanmıştır. İlk olarak donatısız zemin üzerinde deneyler yapılmış ve zeminin içsel sürtünme açısı, kesme gerilmesi ve kohezyon değerleri belirlenmiştir. Daha sonra, farklı birim alan ağırlığı (g/m^2) ve üretim tekniğiyle üretilmiş farklı konstrüksiyonda dokusuz geotekstiller zemin üzerine yatay olarak yerleştirilmiş ve yatay yönde kesme kuvveti uygulanarak kesme gerilmesine olan etkisi, ara yüzey sürtünme açısı ve kohezyondaki değişimler incelenmiştir. Uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlarda kum zemin ile 4 farklı üretim tekniği ve farklı gramajdaki 7 adet PP dokusuz geotekstillerin normal basınç altında oluşan ara yüzey sürtünme açıları ve kohezyon değerleri Şekil 3.1’de verilmiştir.

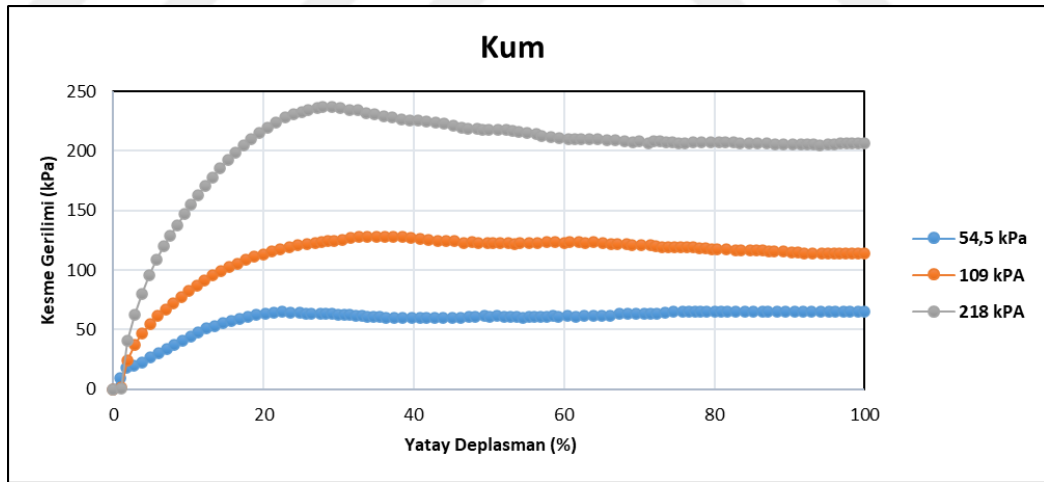


Şekil 3.1. Farklı normal gerilmelerde kum ve geotekstiller ile elde edilen içsel sürtünme açıları

Yapılan direkt kesme kutusu deneyi sonrasında, donatısız zemin ve farklı birim alan ağırlığındaki PP5000, PP3000, PP2500, PP1500, K100, SL60, SB60 numunelere üç farklı normal gerilme uygulanarak (54,5 kPa, 109 kPa, 218 kPa) elde edilen maksimum kesme gerilmesi ve yatay deplasman bulguları donatısız kum ve her numune için ayrı ayrı tablolar ve grafikler halinde (Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3,9) gösterilmiştir.

Tablo 3.1.Kum zemin kesme kutusu deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	65,6	128,3	236,9
Maksimum kesme kuvveti için deplasman (%)	89,49	37,29	29,07

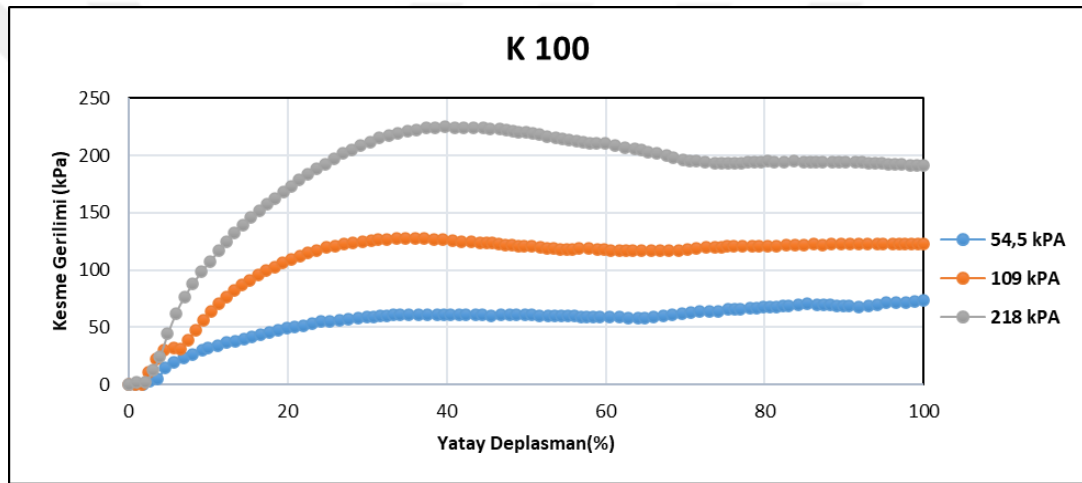


Şekil 3.2. Donatısız kum ara yüzey davranışı

Kum zemin üzerinde geotekstil kullanılarak yapılan kesme deneylerine ait zemin davranışında normal basıncın etkisiyle meydana gelen kayma dayanımı sonuçları her numune için aşağıda tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

Tablo 3.2. Kum zemin-K100 deney sonuçları

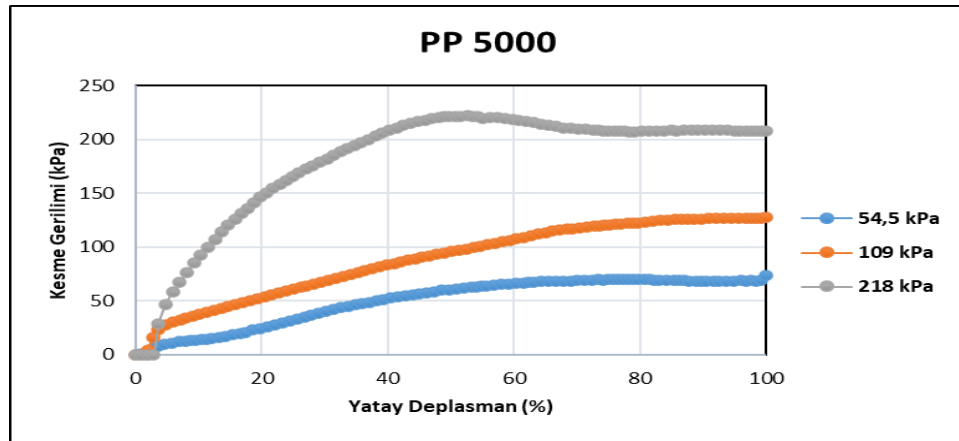
DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin / K100	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	73,5	127,8	224,7
Maksimum kesme kuvveti için deplasman (%)	100	37,18	39,8



Şekil 3.3. Kum/K100 geotekstil ara yüzey davranışı

Tablo 3.3. Kum zemin-PP5000 deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin / PP5000	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	73,7	128	222
Maksimum kesme kuvveti için deplasman (%)	100	100	52,6

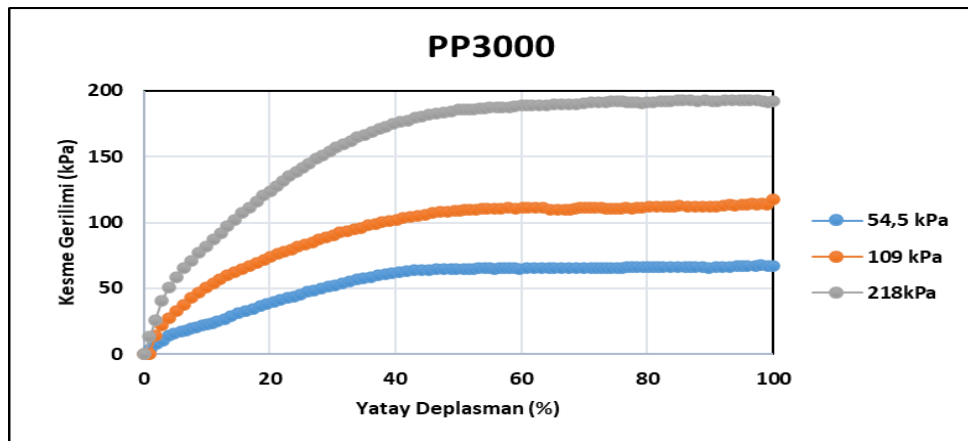


Şekil 3.4. Kum/PP5000 ara yüzey davranışı

Farklı normal basınçlarda zemin/PP3000 ara yüzey davranışına ait deney sonuçları Tablo 3.4 ve Şekil 3.5’de verilmiştir.

Tablo 3.4. Kum zemin-PP3000 deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin / PP 3000	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	67,6	117,6	193,3
Maksimum kesme kuvveti için deplasman(%)	97,98	100	92,36

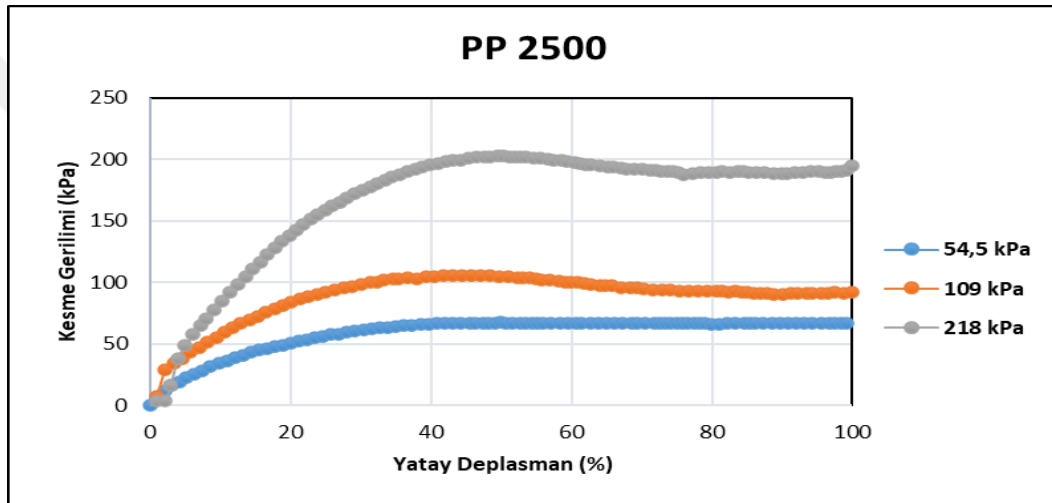


Şekil 3.5. Kum/PP3000 ara yüzey davranışı

Farklı normal basınçlarda zemin/PP2500 ara yüzey davranışına ait deney sonuçları Tablo 3.5 ve Şekil 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.5. Kum zemin-PP2500 deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin / PP2500	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	67,6	105,9	210,7
Maksimum kesme kuvveti için deplasman (%)	49,87	44,46	100

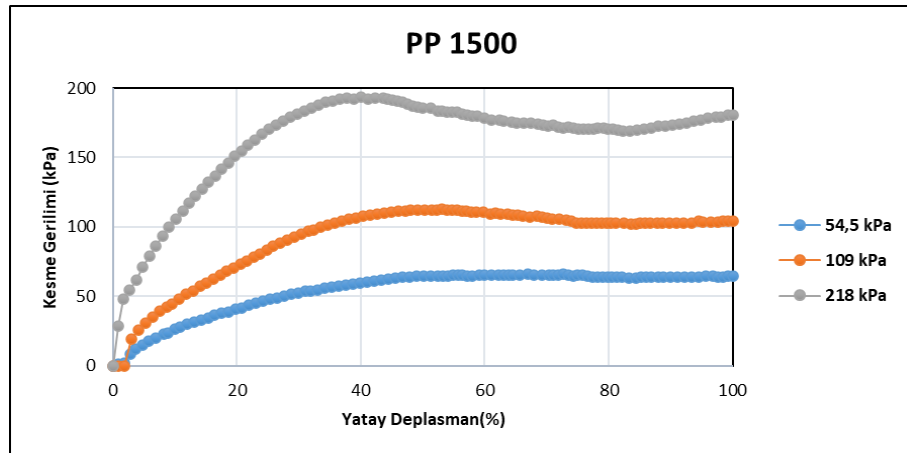


Şekil 3.6. Kum/ PP 2500 ara yüzey davranışı

Farklı normal basınçlarda zemin/PP1500 ara yüzey davranışına ait deney sonuçları Tablo 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.6. Kum zemin-PP1500 deney sonuçları

DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin / PP1500	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	65,8	112,6	193,3
Maksimum kesme kuvveti için deplasman (%)	72,66	53,05	40,06

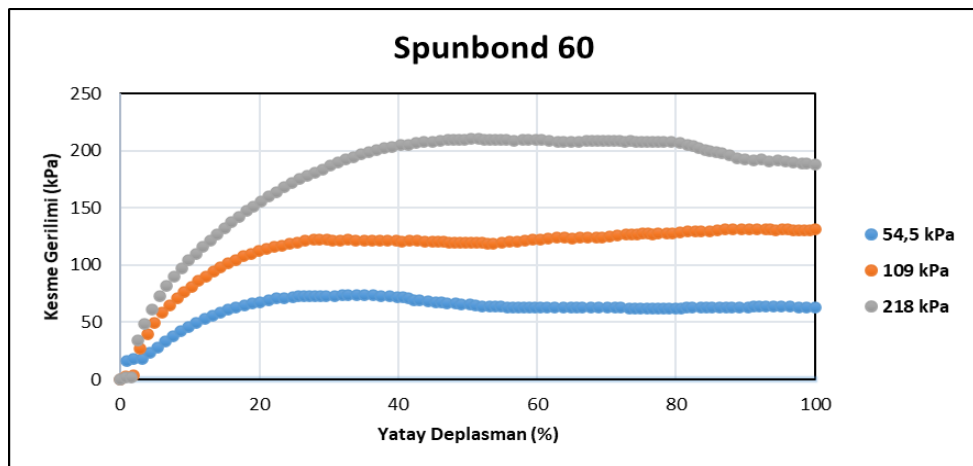


Şekil 3.7. Kum/PP1500 arayüzey davranışı

Farklı üretim teknikleriyle üretilen ancak aynı birim alan ağırlığa sahip SB60 ve SL60 geotekstillerin ile kum zemin arayüzey davranışına ait kesme kutusu deneyi sonuçları Tablo 3.7, Tablo 3.8 verilmiştir ve Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da kesme gerilmesi yatay deplasman sonuçları grafikler halinde gösterilmiştir.

Tablo 3.7. Kum zemin-SB60 deney sonuçları

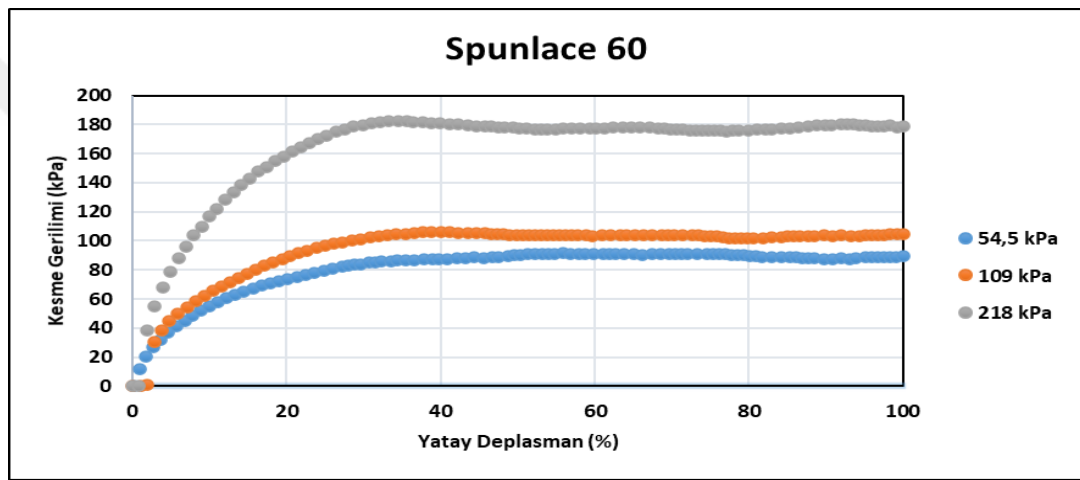
DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin / SB60	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	91,5	105,9	182,6
Maksimum kesme kuvveti için deplasman (%)	55,95	41,19	34,47



Şekil 3.8. Kum/SB60 artan normal gerilmelere bağlı ara yüzey davranışı

Tablo 3.8. Kum zemin-SL60 deney sonuçları

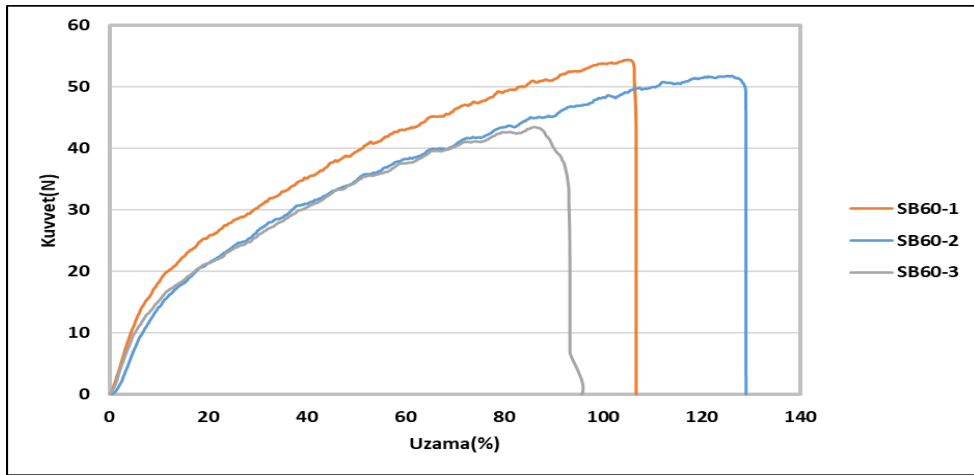
DENEY SONUÇLARI			
Kum Zemin / SL60	Normal Yük		
	2 kg	4 kg	6 kg
Normal Basınç (kPa)	54,5	109	218
Maksimum kesme gerilmesi (kPa)	73,7	131,8	210,5
Maksimum kesme kuvveti için deplasman (%)	32,8	92,83	50,45



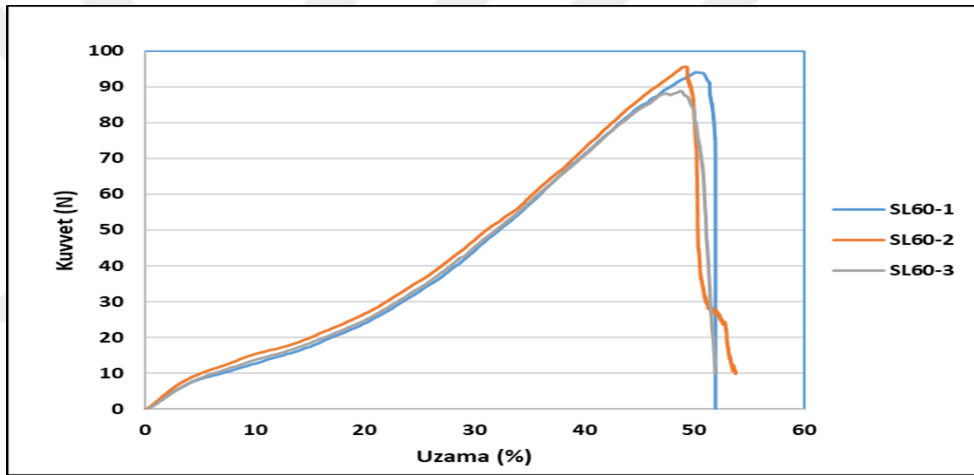
Şekil 3.9. Kum /SL60 artan normal gerilmelere bağlı arayüzey davranışı

3.2. Geotekstil Donatılarının Kopma Mukavemeti/Uzama Deneyi Sonuçları

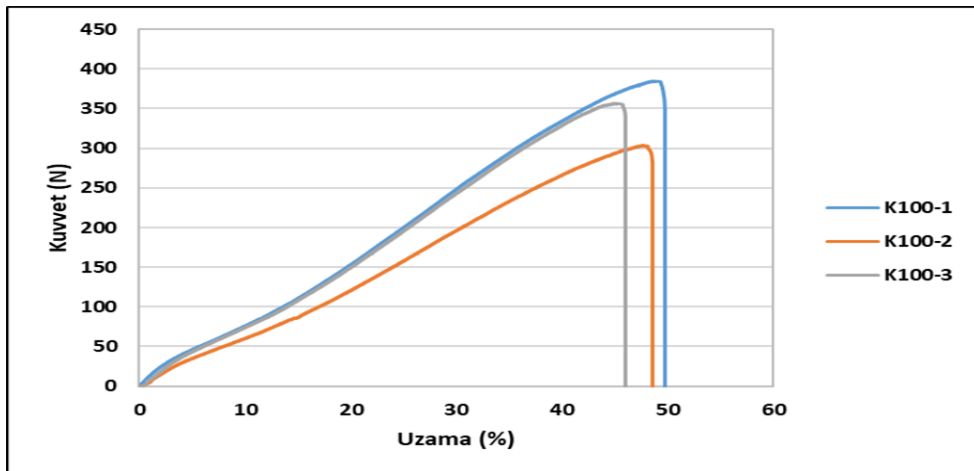
Çalışmada kullanılan farklı üretim tekniğindeki dokusuz numunelere standardına göre çekme deneyi yapılarak sonuçlar aşağıda grafikler halinde verilmiştir. Ayrıca kopma anında uygulanan kuvvet ve numunede gözlenen uzama değerlerinin ortalaması alınarak sonuçlar Tablo.2.1’de görülmektedir. Mukavemet testleri Bölüm 2.2.1.’de belirtildiği gibi yapılmıştır. 7 farklı geotekstil numunesine ait kuvvet – uzama grafikleri Şekil 3.10., Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15 ve 3.16’da verilmiştir.



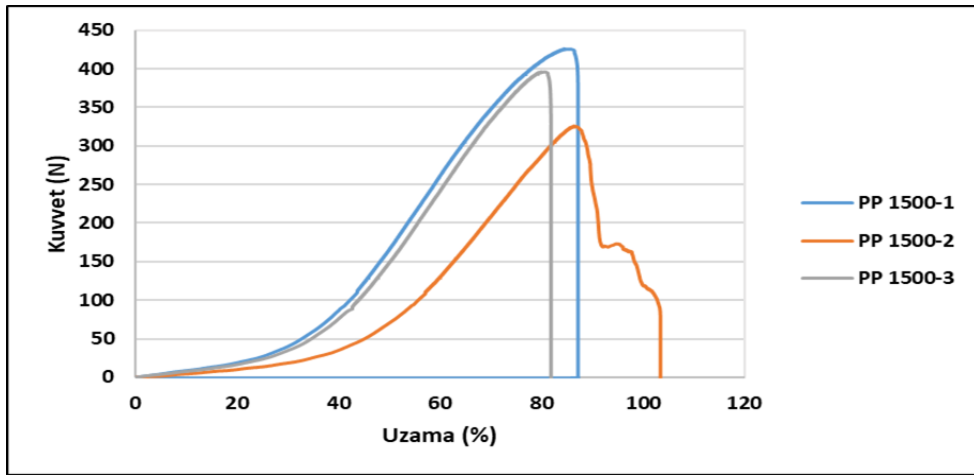
Şekil 3.10. SB60 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri



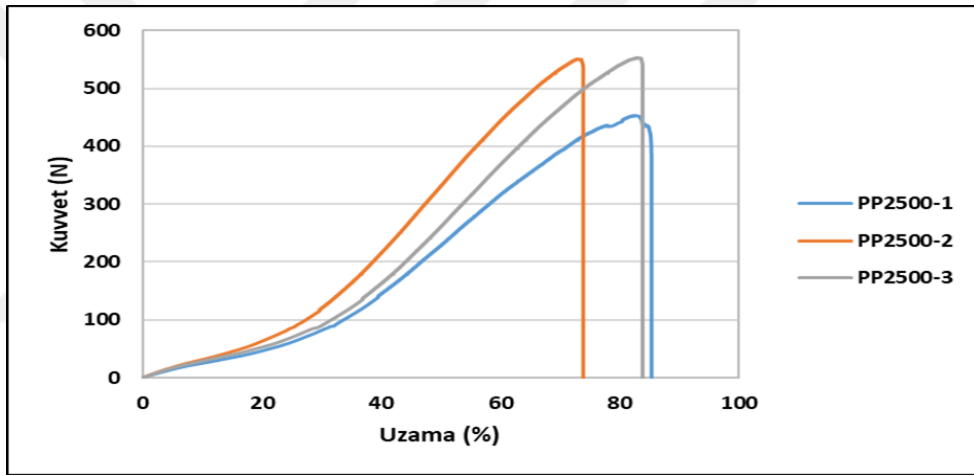
Şekil 3.11. SL 60 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri



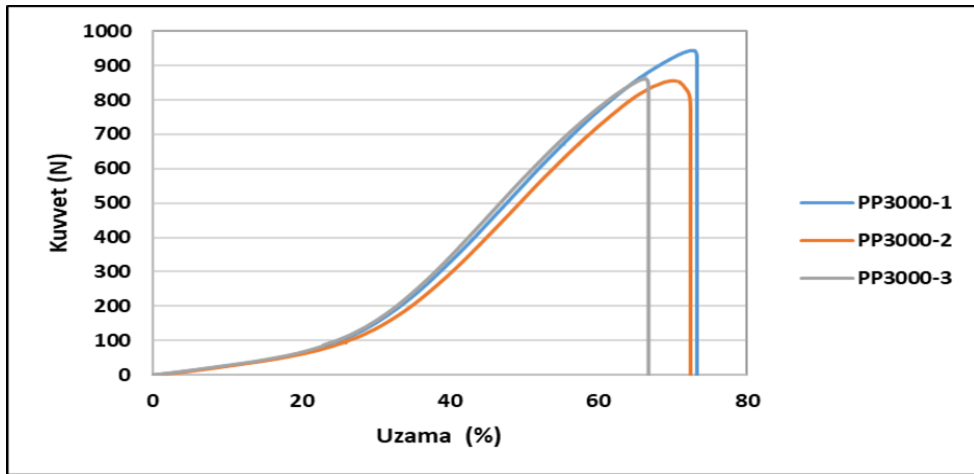
Şekil 3.12. K100 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri



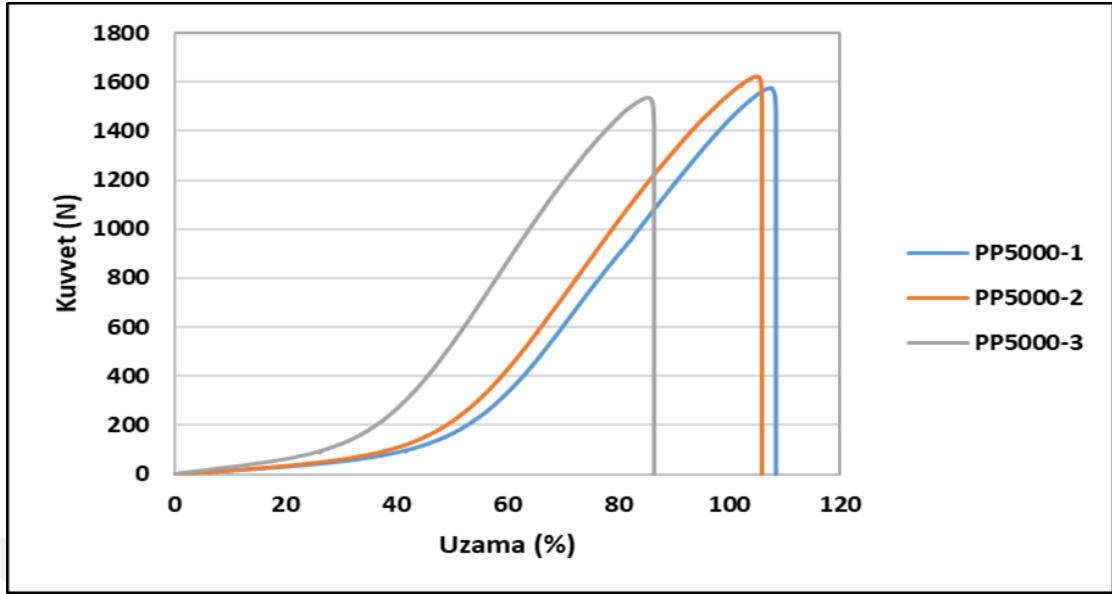
Şekil 3.13. PP1500 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri



Şekil 3.14. PP2500 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri



Şekil 3.15. PP3000 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri



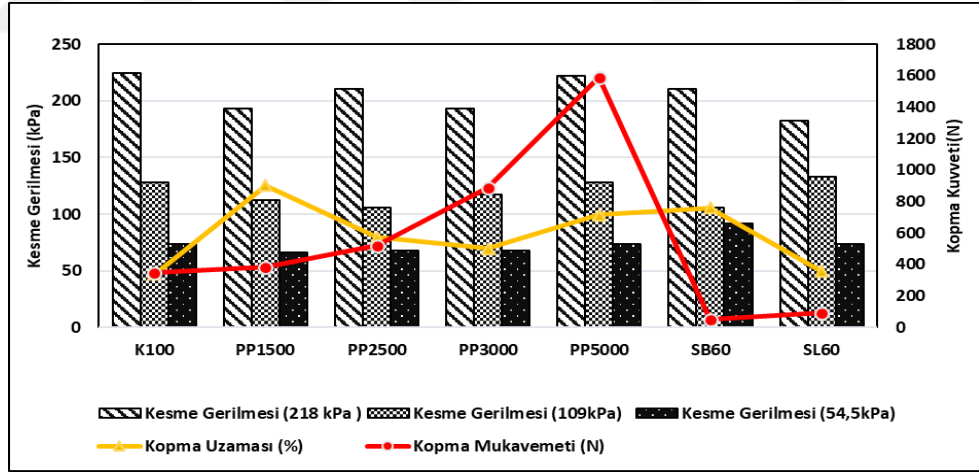
Şekil 3.16. PP5000 dokusuz yüzey için kopma mukavemeti uzama eğrileri

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Geotekstillerin Mekanik Özellikleri

Geotekstil donatılarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi için Kısım 2.2.1’de belirtildiği gibi çekme testleri yapılmıştır. Test sonucu geotekstil numunelerin kopma uzama diyagramları elde edilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Tablo 2.1’de çalışmada kullanılan geotekstillerin gramaj, çekme mukavemeti ve kopma uzaması değerleri verilmiştir.



Şekil 4.1. Geotekstillerin kopma mukavemeti, kopma uzaması, kesme gerilmesi değerleri

Geotekstillerin kopma mukavemeti, kesme gerilmesi ilişkisi Şekil 4.1.’de verilmiştir. İğneleme yöntemi ile doku sabitleme işlemi yapılmış en yüksek kopma uzamasına sahip PP1500 geotekstili en düşük kopma uzamasına sahip PP3000 geotekstilidir. İğneleme yöntemi ile üretilmiş geotekstillerin gramajı ile çekme uzaması arasında ilişki görülmemiştir. Mukavemet değerlerinde ise kumaş gramajındaki artışla birlikte mukavemet değerleri de yükselmiştir. SB60 geotekstili en yüksek ikinci kopma

uzamasına sahiptir. SL60 geotekstili kopma uzamasının iki katından fazla uzama göstermiştir. SB 60 geotekstili kesiksiz (filament) liflerden üretilmiş olması daha yüksek uzama göstermesini sağlamış olabilir. Sıcak silindirle bağlanmış olan dokusuz yapılarda ısının etkisiyle lifler eriyerek birbiriyle geniş bağlanma alanı oluşturur.

Şekil 4.1.'de görüldüğü gibi kopma uzaması ile 3 farklı normal gerilmede hesaplanan kesme gerilmeleri arasında bir ilişki görülmemiştir. Geotekstilin arayüzey olarak kullanılması durumunda geotekstile etki edecek çekme kuvveti sınırlıdır. Ayrıca kesme kutusu deneyi 60×60 mm ebatlarında olduğundan çekme uzaması ile kesme mukavemeti ilişkisinin belirlenmesi mümkün olmayabilir. Geotekstil kopma uzaması ile kesme gerilmesi ilişkisi daha büyük ebatlara sahip kesme kutusu ile deneylerinin yapılması ile tespit edilebilir.

İğnelenerek üretilen geotekstillere göre daha yüksek çekme dayanımlarına sahiptir. Sıcak silindirle bağlanmış olan dokusuz yapılarda ısının etkisiyle lifler eriyerek birbiriyle geniş bağlanma alanı oluşturur. Daha ince olan bu dokusuz yüzeylerde çekme kuvveti esnasında oluşan lifler arasındaki kohezyon kuvvetinin azalmasıyla kopma sırasında liflerin hareketi sınırlanır ve çekme testi sırasında yapı daha kırılğan hale gelmekte ve yapının kopma uzamasını azalmasına neden olmaktadır.

4.2. Kesme Kutusu Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Donatısız zemin ve donatılı zemin ile yapılan kesme kutusu deney sonuçları değerlendirilmiştir. Tez çalışması kapsamında materyal olarak farklı gramajda polipropilenden üretilen iğneleme yöntemiyle bağlanmış, su jetiyle bağlanmış, sıcak silindirle bağlanmış ve spunbond üretim tekniğiyle oluşturulmuş 7 farklı dokusuz geotekstillere kum zemin ile olan etkileşiminde donatı parametrelerinin zeminin kayma dayanımı ve ara yüzey özelliklerine olan etkisi üç farklı normal gerilim altında 24 adet kesme kutusu deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için geotekstil yüzeyler dokunun sabitlenmesi göre iğneleme ve sıcak silindirle üretilen dokular olarak iki gruba ayrılmıştır. Birinci grupta farklı gramaja sahip kesikli elyaflardan üretilen iğneleme tekniğiyle sabitlenmiş PP5000, PP3000, PP2500, PP1500 dokusuz yüzeyler ile çalışmalar yapılmıştır. İkinci grupta ise kesikli elyaflardan oluşan sıcak silindirle doku birleştirilmesi yapılan K100 ve filament elyaflardan oluşan sıcak

silindirle birleştirilmiş SB60 incelenmiştir. Su jetiyle bağlanmış SL60 numuneleri ile yapılan denemeler ise üçüncü grupta değerlendirilmiştir. Uygulanan deney sonucunda zemin/geotekstil ara yüzey davranışının deney sonu değerlendirmeleri yapılmış ve benzer çalışmalar ile sonuçlar tartışılmıştır.

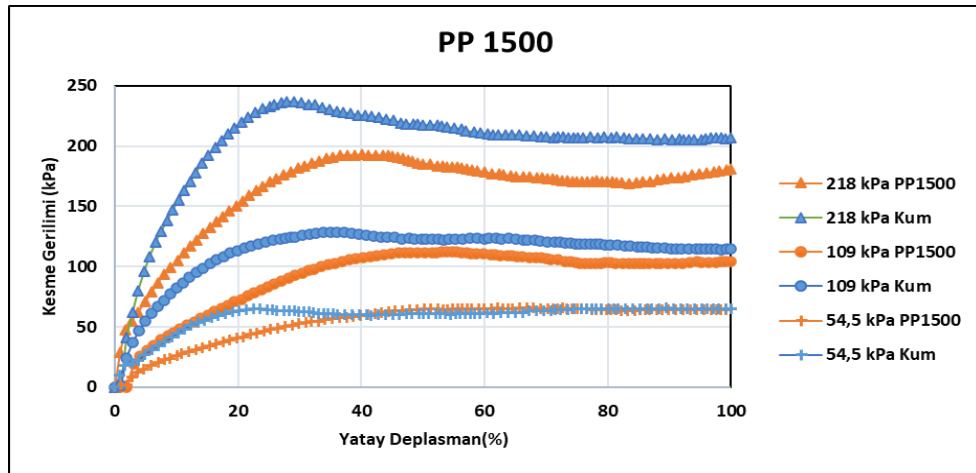
4.2.1. İğneleme Yöntemi ile Birleştirilen Geotekstillerin Zemin Davranışına Etkisi

Donatısız zemine ait kesme kutusu deney sonuçları incelendiğinde gevşek kumlarda görülen yatay deformasyon/ kesme kuvvetine benzer bir eğilim göstermiştir. Donatısız kum zemin Şekil 3.2’de görüldüğü üzere, düşük normal basınçlarda (54,5 kPa ve 109 kPa) pik dayanım yakalamadan rezidüel dayanıma doğru bir davranış göstermiştir [81]. 218 kPa normal gerilmeye maksimum kesme kuvveti %29,07’lik yatay deplasman gösterdikten sonra düşüş göstermiştir (Tablo 3.1). Sıkı kum ile yapılan kesme kutusu deneylerinde benzer eğri görülmektedir.

İğneleme yöntemi ile sabitlenmiş 4 farklı gramaja sahip kesikli liflerden üretilmiş geotekstiller kumlu zeminde donatı olarak kullanılarak kesme kutusu deneyi bölüm 2.2.2’de belirtildiği gibi yapılmıştır.

4.2.1.1. PP1500 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

PP1500 numunesi ile 3 farklı normal basınçta yapılan kesme kutusu deney sonuçları Tablo 3.6’da verilmiştir. PP1500 numunesi 1500 gr/m² gramaja sahiptir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi PP1500 numunesi ile yapılan çalışmada normal yük arttıkça kesme gerilimi donatısız zemine göre azalmaktadır. 54,5 kPa normal yük altında donatısız zemine yakın kesme gerilimi görülmüştür. 109 kPa normal yükte donatısız zemine göre daha düşük bir kesme gerilimi ve normal yükün 218 kPa olması durumunda ise donatılı zeminde donatısız zemine göre kesme gerilimindeki düşüşün daha çok arttığı söylenebilir.

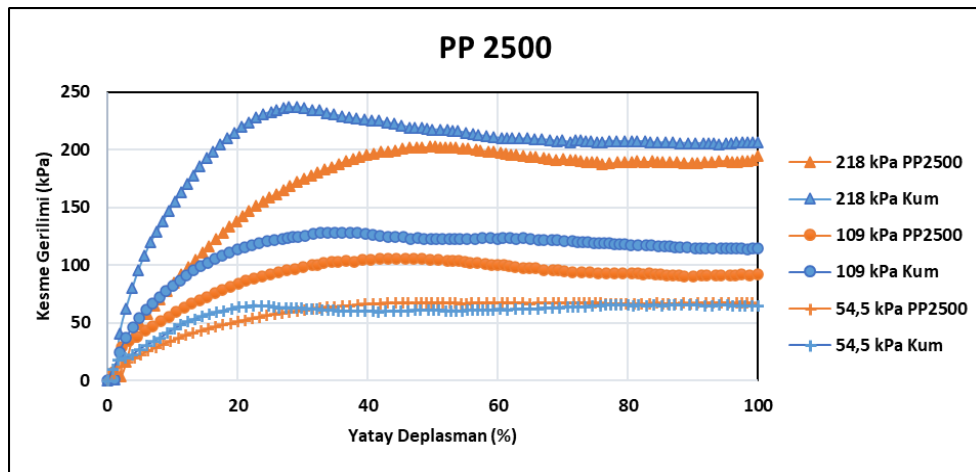


Şekil 4.2. Donatısız kum ve kum/PP1500 ara yüzey davranışı

Normal gerilmedeki artışa paralel olarak donatılı zeminin kesme gerilimi dayanımının düştüğü PP1500 numunesi ile yapılan çalışmalarda görülmüştür.

4.2.1.2. PP2500 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

PP2500 numunesi ile 3 farklı normal basınçta yapılan kesme kutusu deney sonuçları Tablo 3.5’de verilmiştir. Şekil 4.3’de görüldüğü gibi PP2500 numunesi ile yapılan çalışmada 54,5 kPa normal yük altında donatılı ve donatısız zeminde benzer kesme gerilimi – yatay deplasman eğrileri elde edilmiştir. Normal gerilimin 109 kPa olması durumunda donatılı zeminde kesme gerilimi değeri donatısız zemine göre azalma göstermiştir. 218 kPa normal gerilim altında yapılan kesme kutusu deneylerinde ise donatısız zeminde maksimum kesme gerilmesi 236,9 kPa’dan 210,7 kPa’a düşmüştür.

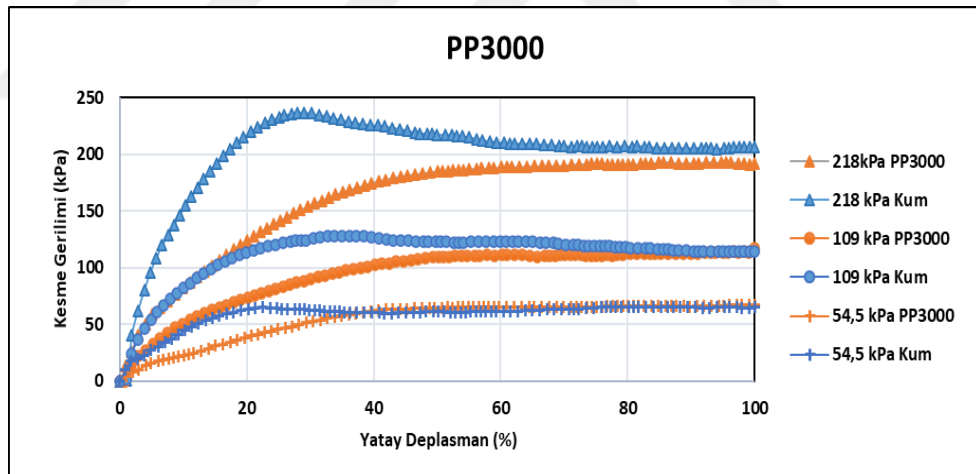


Şekil 4.3. Donatısız kum ve kum/PP2500 ara yüzey davranışı

218 kPa normal gerilme uygulandığında donatısız zeminde maksimum kesme gerilmesi %29,07 yatay deplasmanda görülmüştür. PP2500 numunesi ile yapılan çalışmada ise gevşek kumlarda görülen davranışa benzer olarak belirgin bir pik gerilmesi görülmemiştir (Şekil 4.3).

4.2.1.3. PP3000 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

PP3000 numunesi ile 3 farklı normal basınçta yapılan kesme kutusu deney sonuçları Tablo 3.4'de verilmiştir. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi PP3000 numunesi ile yapılan çalışmalarda PP2500 numunesi ile yapılan çalışmalara benzer sonuçlar elde edilmiştir. PP2500 ve PP3000 numuneleri arasında 500 gr/m² fark vardır. Şekil 4.4'de görüldüğü gibi 109 kPa normal gerilme ile yapılan kesme kutusu deney sonuçlarında donatısız zeminde elde edilen kayma gerilmelerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Normal gerilimin 218 kPa olması durumunda donatılı zeminde maksimum kesme gerilimi 193,3 kPa, donatılı zeminde ise 236,9 kPa olarak ölçülmüştür.



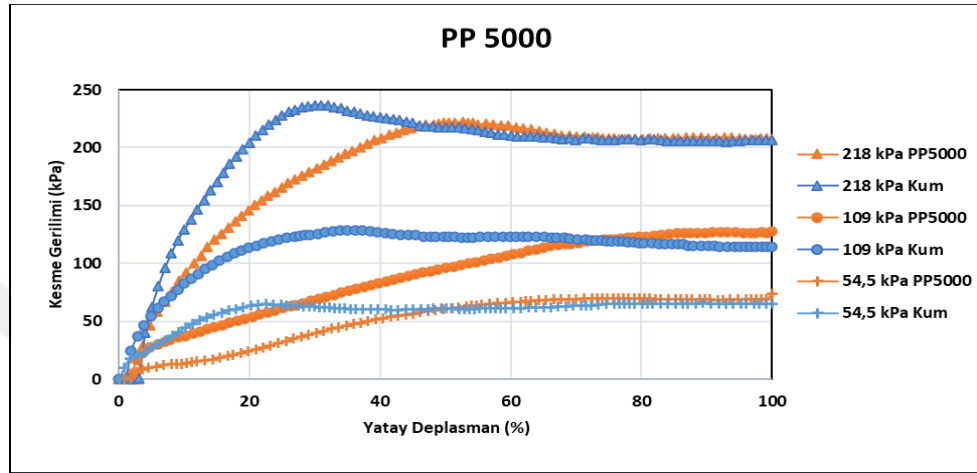
Şekil 4.4. Donatısız kum ve kum/PP3000 ara yüzey davranışı

PP3000 numunesi ile yapılan kesme kutusu deneyi çalışmalarında donatısız zemine en yakın sonuç normal geriliminin 109 kPa olduğu çalışmada elde edilmiştir.

4.2.1.4. PP5000 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

PP5000 numunesi ile 3 farklı normal basınçta yapılan kesme kutusu deney sonuçları Tablo 3.3'de verilmiştir. Şekil 4.6'de görüldüğü gibi PP5000 numunesi ile 3 farklı normal gerilmelerde yapılan çalışmalarda yatay deplasmanın %100 olduğu durumda

kesme gerilmesi donatısız zemin ile yapılan çalışmalardan daha yüksek kesme gerilmeleri elde edilmiştir. Maksimum kesme gerilmesi değerleri incelendiğinde 54,5 kPa normal gerilim ile donatılı zeminde 73,7 kPa, donatısız zeminde ise 65,6 kPa maksimum kesme gerilmesi elde edilmiştir. 109 ve 218 kPa normal gerilmelerinde donatısız zeminde daha yüksek maksimum kesme gerilmesi sonuçları elde edilmiştir.

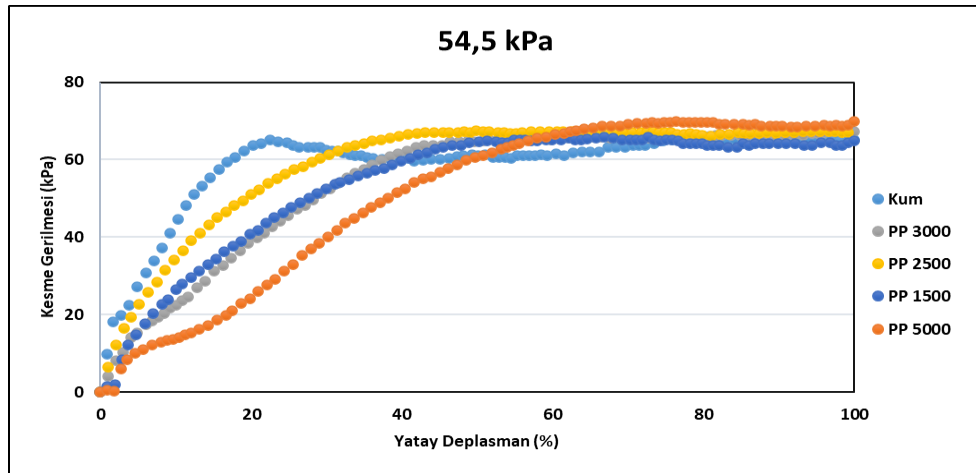


şekil 4.5. Donatısız kum ve kum/PP5000 ara yüzey davranışı

PP5000 numunesi ile yapılan çalışmalarda kesme geriliminin yatay hale gelmesi daha yüksek yatay deplasman (%) değerlerinde meydana gelmiştir (şekil 4.5). PP5000 numunesi en yüksek gramaj ve kalınlığı en fazla olan numunedir. Donatı kalınlığının artması ile kesme gerilmesinin yatay forma dönüşmesi daha yüksek yatay deplasmanda meydana geldiği söylenebilir. Geotekstil zemin numunenin daha büyük yatay deformasyonda kırılmasını sağlamıştır.

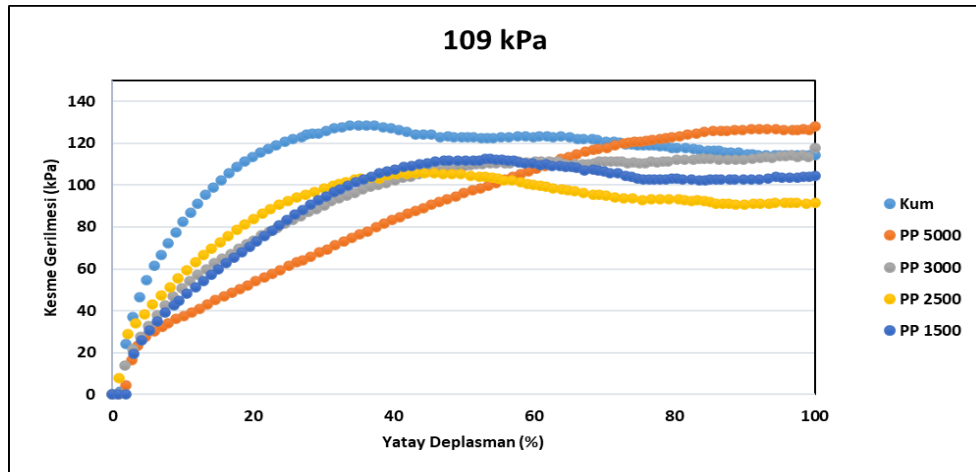
4.2.1.5. İğneleme Yöntemi ile Birleştirilen Geotekstillerin Karşılaştırılması

İğneleme yöntemi ile sabitlenmiş numuneler ile yapılan donatılı kesme kutusu deney yöntemi sonuçları karşılaştırılmak amacıyla şekil 4. 6, şekil 4.7 ve şekil 4.8'deki grafiklere dnştrlmştir.



Şekil 4.6. 54,5 kPa normal gerilim için donatısız kum ve donatılı kum (iğnelenmiş dokusuz yüzeyler/kum) arayüzey davranışı

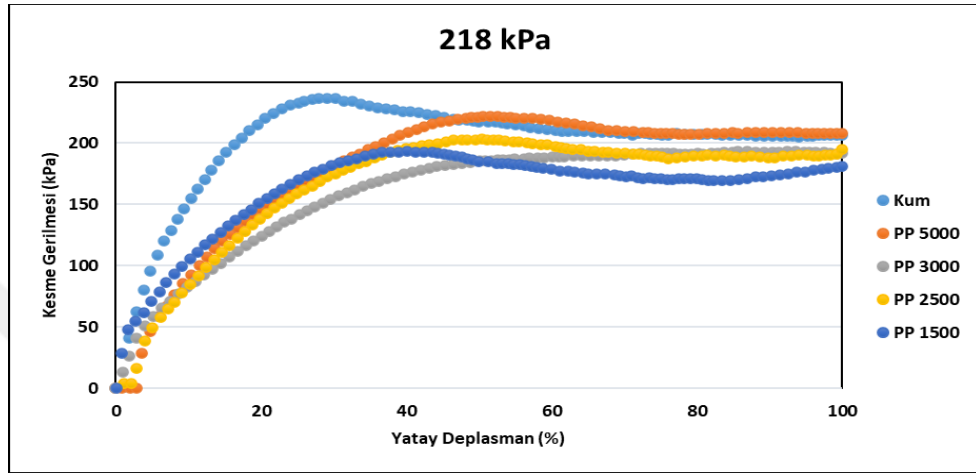
54,5 kPa normal gerilim ile yapılan çalışmalarda maksimum kesme gerilmesi donatısız zeminde 65,6 kPa, PP1500, PP2500, PP3000 ve PP5000 donatılı zeminlerle yapılan çalışmalarda sırası ile sırası ile 65,8 kPa – 67,6 kPa – 67,6 kPa – 73,7 kPa olduğu görülmüştür. Donatı gramajının artması ile donatı kalınlığı da artmaktadır. Normal gerilimin düşük olması durumunda kumaş gramajı ve dolayısı ile donatı kalınlığının artması maksimum kesme gerilmesini artırmıştır. Donatı gramajının artmasıyla daha yüksek yatay deplasman (%) değerlerinde kesme gerilmesi değişimi azalmakta ve yataya yakın olmaktadır (Şekil 4.6).



Şekil 4.7. 109 kPa normal gerilim donatısız ve donatılı (iğnelenmiş dokusuz yüzeyler/kum) arayüzey davranışı

109 kPa normal gerilim ile yapılan çalışmalarda maksimum kesme gerilmesi donatısız zeminde 128,3 kPa, PP1500, PP2500, PP3000 ve PP5000 donatılı zeminlerle yapılan

çalışmalarda sırası ile sırası ile 112,6 kPa – 105,9kPa – 117,6kPa – 128 kPa olduğu görülmüştür. Normal gerilimin artması PP1500, PP2500, PP 3000 donatıları ile yapılan çalışmalarda donatısız zemine göre maksimum kesme gerilmeleri düşmüştür. En yüksek gramaja sahip PP5000 ile yapılan çalışmada ise donatısız zeminden daha yüksek maksimum kesme gerilmesi değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.8. 218 kPa normal gerilim donatısız ve donatılı (iğnelenmiş dokusuz yüzeyler/kum) arayüzey davranışı

218 kPa normal gerilim ile yapılan çalışmalarda maksimum kesme gerilmesi donatısız zeminde 236,9 kPa, PP1500, PP2500, PP3000 ve PP5000 donatılı zeminlerle yapılan çalışmalarda değeri ise sırası ile 193,3 kPa – 210,7 kPa – 193,3 kPa – 222 kPa olduğu görülmüştür. Normal gerilimin artmasıyla iğnelenmiş donatıların kullanılması donatısız zemine göre maksimum kesme gerilmesinde düşüşe neden olmuştur. Yatay deplasmanın (%100) maksimum olduğu durumda PP5000 donatısı ile yapılan çalışmada kesme gerilmesi donatısız zeminden yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.8).

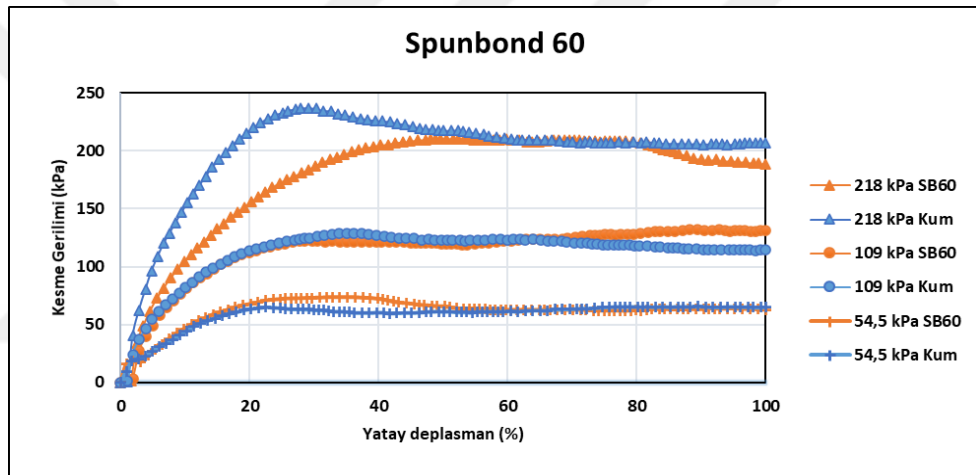
Kesme kutusu deneyinde uygulanan normal gerilme donatılı zeminin kesme gerilmesi değerini etkilemektedir. Normal gerilmenin düşük olması donatısız zeminden daha yüksek kesme gerilmesi elde edilmesini sağlamıştır. Normal gerilmenin artması ile donatısız zemine göre kayma gerilmeleri genel olarak azalmıştır. Gramajın artması; artan normal gerilmelerde donatısız zemine göre daha yüksek kesme gerilmesi değerlerinin elde edilmesini sağlamıştır. Artan gramaj doğrultusunda, artan dokusuz yüzey kalınlığıyla arayüzeyde oluşan basınç yoğunlaşması sonucu zemin taneciklerinin daha iyi kenetlenmesine ve kesme dayanımının artmasına sebep olduğu söylenebilir.

4.2.2. Isıl Yöntemler ile Birleştirilen Geotekstillerin Zemin Davranışına Etkisi

Üretim teknikleri ve gramajları Tablo 2.1’de verilen kesikli liflerden üretilmiş SL60 ve K100 ile filament (kesiksiz) liflerden üretilmiş SB60 dokusuz yüzeylerin kum zeminde donatı olarak kullanılması ile direkt kesme kutusu deneyleri yapılmıştır.

4.2.2.1. SB 60 Donatısı ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

Yapılan direkt kesme kutusu deneyi sonrasında, SB60 numunelere üç farklı normal gerilme uygulanarak (54,5 kPa, 109 kPa, 218 kPa) elde edilen kesme gerilmesi ve yatay deplasman bulguları Şekil 4.1’de grafik halinde gösterilmiştir.

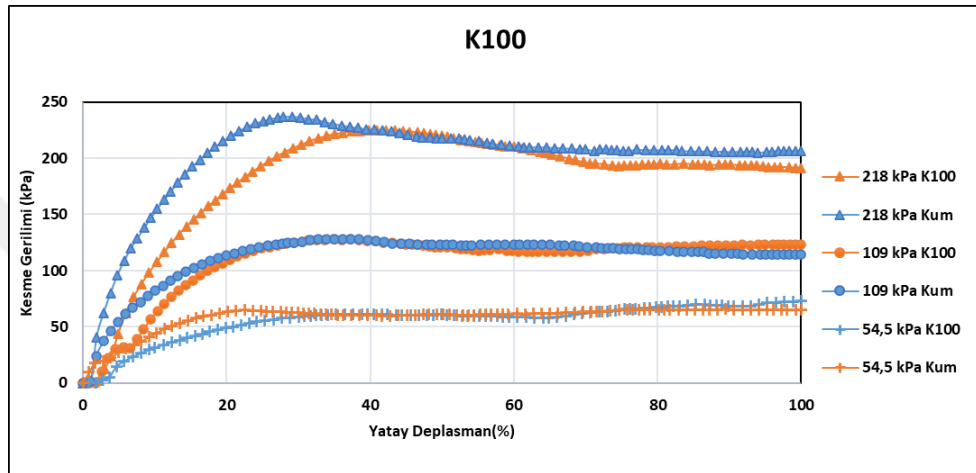


Şekil 4.9. Donatısız kum ve kum/SB60 ara yüzey davranışı

54,5 kPa normal gerilmede yapılan deneylerde donatısız zemin için maksimum kesme gerilimi 65,6 kPa, SB60 donatılı zemin için 91,5 kPa’dır. Normal gerilimin 109 kPa olması durumunda donatılı zemin için maksimum kesme gerilmesi 128,3 kPa, donatılı zemin için ise 105,9 kPa olmuştur. Normal gerilmenin 218 kPa olması durumunda donatılı zeminin maksimum kesme gerilmesinde düşüş görülmüştür. SB60 numunesi spunbond yöntemine göre filament formda üretilmiştir. Isıl fikse işlemiyle kalender silindirlerinden geçmektedir. Normal gerilmenin düşük olduğu koşullarda en yüksek kesme dayanımı SB60 donatısı ile elde edilmiştir. Filamentlerden oluşan SB60 numunesinin boşluk oranının az olması ve örtüçülüğünün fazla olması düşük normal gerilmede daha yüksek kesme dayanımı meydana gelmesine neden olduğu söylenebilir.

4.2.2.2. K100 Geotekstil ile Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

K100 geotekstili 100 gr/m² gramaja sahip kesikli liflerden üretilmiş ve doku birleştirmesi sıcak silindirlerle yapılmıştır. K100 donatısı ve donatısız zemin ile yapılan direkt kesme kutusu deneyi üç farklı normal gerilme uygulanarak (54,5 kPa, 109 kPa, 218 kPa) yapılmıştır. Elde edilen kesme gerilimi – yatay deplasman (%) eğrileri Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. Donatısız kum ve kum/K100 ara yüzey davranışı

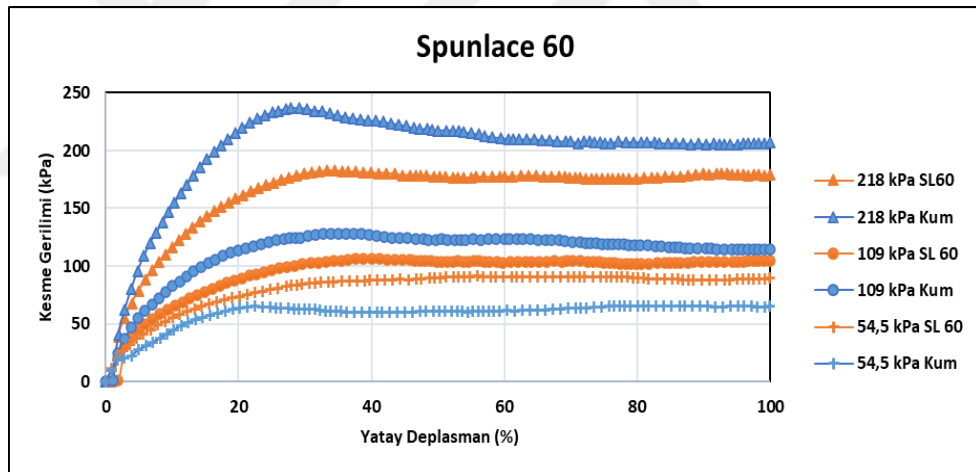
54,5 kPa normal gerilmede yapılan deneylerde donatısız zemin için maksimum kesme gerilimi 65,6 kPa, K100 donatılı zemin için 73,5 kPa'dır. Normal gerilimin 109 kPa olması durumunda donatısız zemin için maksimum kesme gerilmesi 128,3 kPa, donatılı zemin için ise 127,8 kPa olmuştur. Normal gerilmenin 218 kPa olması durumunda donatılı zeminin maksimum kesme gerilmesi 236,9 kPa, donatılı zeminin ise 224,7 kPa olduğu görülmüştür. Düşük normal gerilmelerde K100 donatısı ile yapılan çalışmalarda SB60 donatısına göre daha düşük kesme dayanımı görülmüştür. Normal gerilmenin artması durumunda K100 donatısı ile yapılan çalışmalarda SB60 ile yapılan çalışmalara göre daha yüksek kesme dayanımı elde edilmiştir. K100 donatısı yüzeyi SB60 donatısı yüzeyine göre daha pürüzlü bir yapıdadır. Donatı yüzeyinin pürüzlü olması düşük normal gerilmede daha yüksek kesme dayanımı elde edilmesine neden olmuş olabilir. SB60 numunesi yüzey pürüzlülüğü iğneleme tekniği ile birleştirilen PP1500, PP2500, PP3000 ve PP5000 geotekstillerine göre daha pürüzlüdür. 54,5 kPa normal gerilmede K100 donatısı PP1500, PP2500 ve PP3000 donatılarından yüksek, PP5000 donatısına yakın kesme dayanımı göstermiştir. Normal gerilmenin düşük olduğu durumlarda SB60

donatısı, normal gerilmenin yüksek olduğu durumlarda K100 donatısından daha iyi performans göstermiştir.

4.2.3. Su Jeti ile Birleştirilen SL 60 Geotekstilin Kesme Kutusu Deneyi Sonuçları

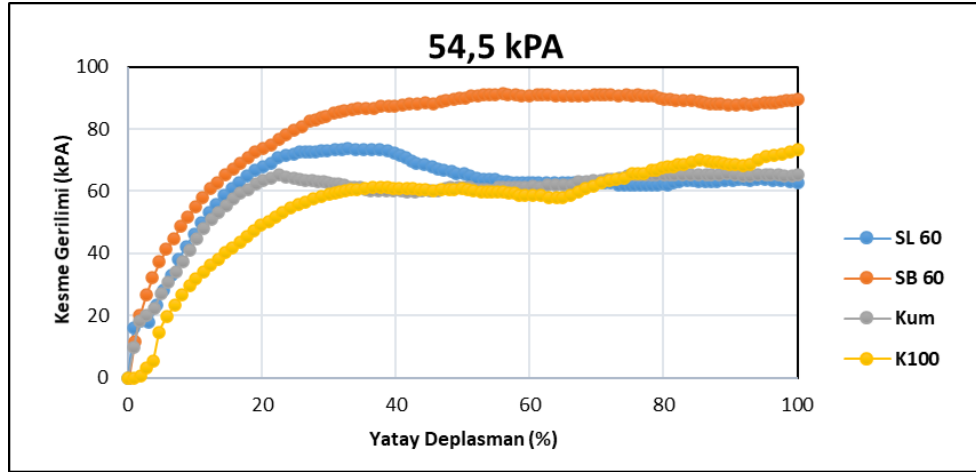
Su jeti ile sabitlenmiş, üretim teknikleri ve gramajları Tablo 2.1’de verilen kesikli liflerden üretilmiş SL60 dokusuz yüzeylerin kum zeminde donatı olarak kullanılması ile direkt kesme kutusu deneyleri Kısım 2.2.2.’de belirtildiği gibi yapılmıştır.

SL60 geotekstili 60 gr/m² gramaja sahip kesikli liflerden üretilmiş ve doku birleştirmesi su jeti ile gerçekleşmiştir. SL60 donatısı ve donatısız zemin ile yapılan direkt kesme kutusu deneyi üç farklı normal gerilme uygulanarak (54,5 kPa, 109 kPa, 218 kPa) yapılmıştır. Elde edilen kesme gerilimi – yatay deplasman (%) eğrileri Şekil 4.11’de verilmiştir.



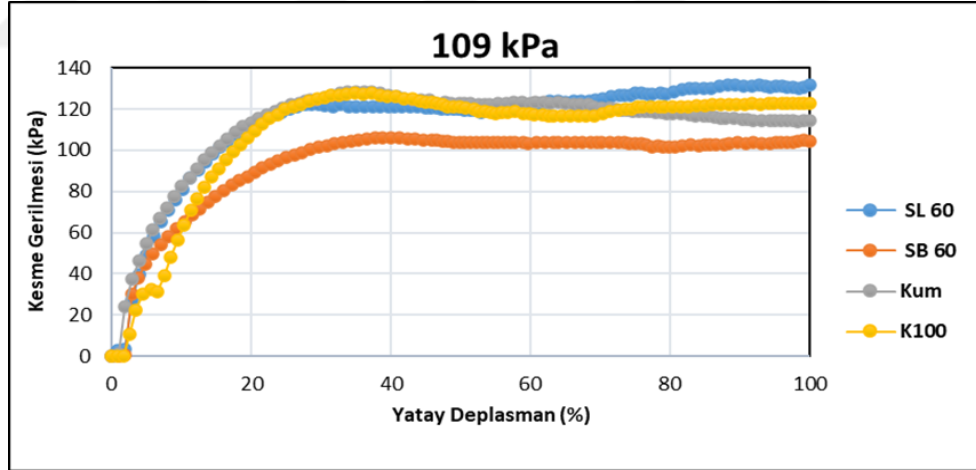
Şekil 4.11. Donatısız kum ve SL60 donatılı zemin ara yüzey davranışı

54,5 kPa normal gerilmeye yapılan deneylerde donatısız zemin için maksimum kesme gerilimi 65,6 kPa, SL60 donatılı zemin için 73,7 kPa'dır. Bu değer K100 donatısı ile elde edilen değere yakındır. Normal gerilimin 109 kPa olması durumunda donatılı zemin için maksimum kesme gerilmesi 128,3 kPa, donatılı zemin için ise 132,8 kPa olmuştur. 109 kPa normal gerilme değerinde en iyi performans SL60 donatısı ile elde edilmiştir.



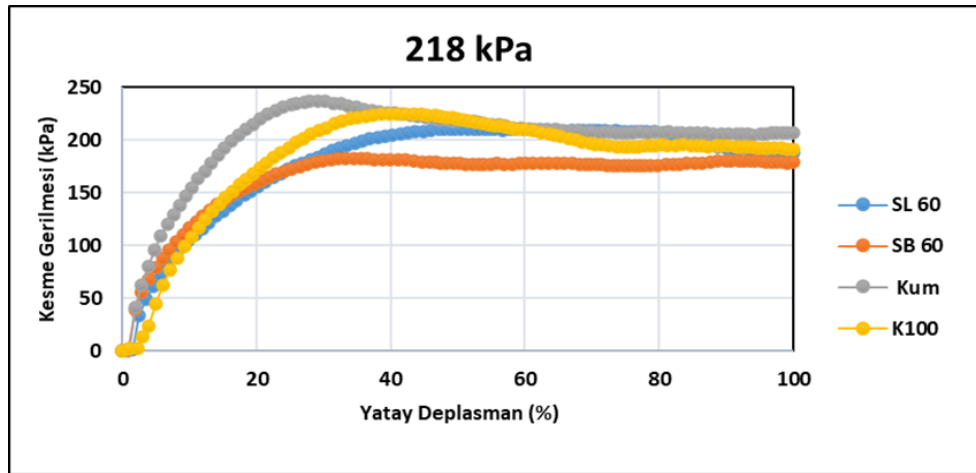
Şekil 4.12. 54,5 kPa normal gerilmede donatısız, SL60, SB60 ve K100 donatıları ile zemin arayüzey davranış grafiği

54,5 kPa normal gerilmede SB60 donatılı zemin kesme gerilimi en iyi performansı göstermiştir (Şekil 4.12). SL60 donatılı zemin %32 yatay deplasmanda 73,7 kPa pik kesme gerilmesi ile en iyi ikinci performansı göstermiştir. K100 donatılı zeminin kesme gerilimi donatısız zemine göre daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.12).



Şekil 4.13. 109 kPa normal gerilmede donatısız, SL60, SB60 ve K100 donatıları ile zemin arayüzey davranış grafiği

109 kPa normal gerilmede SL60 donatılı zemin kesme gerilimi en iyi performansı göstermiştir (Şekil 4.12). K100 donatılı zemin kesme gerilmesi 54,5 kPa normal gerilme ile yapılan deneylerden daha iyidir. 54,5 kPa normal gerilmede en iyi performansı gösteren SB60 donatılı zemin 109 kPa normal gerilmede en kötü performansı göstermiştir (Şekil 13).



Şekil 4.14. 218 kPa normal gerilmede donatısız, SL60, SB60 ve K100 donatıları ile zemin arayüzey davranış grafiği

218 kPa normal gerilmede en iyi performansı donatısız zemin göstermiştir. Donatı kullanılması artan normal gerilmelerde kesme gerilmesini bir miktar düşürmektedir (Şekil 4.14).

Grafiklerden anlaşılacağı üzere, normal basınç değerindeki artışa bağlı olarak ara yüzey kesme gerilmelerinde artışlar olmaktadır ve maksimum kesme gerilmelerine farklı yatay deformasyon değerlerinde ulaşılmıştır (Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9). Uygulanan normal basıncın artmasıyla ara yüzeydeki tanecikler üzerindeki basınçta artacak ve donatılı zeminde birim yatay deformasyon yapmaları için daha çok iş ve enerji gerekecek, dolayısıyla düşük normal gerilmeye kıyasla kesme mukavemetinde artış olmaktadır [10].

4.3. Geotekstillerin Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı İlişkisi

Tablo 4.1'deki verilere göre donatı özelliği ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı ilişkileri incelenmiştir.

Tablo 4.1. Direkt kesme kutusu deneyi zemin/geotekstil deney sonuçları

Arayüzey/Geotekstil	Normal Basınç (kPa)						Kohezyon (C)	Sürtünme Açısı (θ/δ)
	Kesme Dayanımı (kPa) / Yatay Deplasman (%)							
	54,5 kPa		109 kPa		218 kPa			
Kum Zemin	65,6	89,49	128,3	37,29	236,9	29,07	11,01	46,13
K100/Zemin	73,5	100	127,8	37,18	224,7	39,8	24,96	42,6
PP5000/Zemin	73,7	100	128	100	222	52,6	22,57	42,36
PP3000/Zemin	67,6	97,98	117,6	100	193,3	92,36	26,9	37,1
PP2500/Zemin	67,6	50,71	105,9	44,46	210,7	100	18,38	39,91
PP1500/Zemin	65,8	72,66	112,6	53,05	193,3	40,06	25,11	37,66
SL60/Zemin	73,7	32,8	132,8	89,39	210,5	50,45	33,68	39,35
SB60/zemin	91,5	55,95	105,9	41,19	182,6	34,47	33,82	35,8

Kum zeminin kohezyon değeri 11,01 kPa olarak ölçülmüştür. Kumlu zeminlerde kohezyon sıfırdır. Ancak çalışmalarda kullanılan kumun endeks özellikleri Kısım 2.1.2.1

'de verilmiştir. Kum silt ve kil ihtiva ettiği için kohezyon görülmüştür. Donatısız zemin ile yapılan kesme kutusu deneyi sonucunda kum zeminin kohezyon değeri 11,01 kPa olduğu görülmüştür. Geotekstil donatı kullanılması ile kohezyon değerlerinde artış olmuştur. İçsel sürtünme açısı ise 46,13° ile en yüksek çıkmıştır.

İğneleme yöntemi ile birleştirilmiş geotekstillere yapılan çalışmalarda kohezyon ve içsel sürtünme açısı incelendiğinde iki parametrenin de kumaş gramajı ile ilişkisi belirgin değildir. PP1500, PP2500, PP3000 ve PP5000 geotekstilleri ile yapılan çalışmalarda kohezyon değerinin sırası ile 25,11 kPa – 18,38 kPa – 26,9 kPa – 22,57 kPa olduğu görülmüştür. Bu verilere göre donatı gramajı ile kohezyon arasında ilişki olduğu söylenemez. Arayüzey sürtünme açıları değerlendirildiğinde donatı gramajı ile arayüzey sürtünme açısı arasında belirgin bir ilişki görülmemiştir.

Isıl yöntemlerle birleştirilen SB60 ve K100 geotekstilleri ile yapılan çalışmalarda kohezyon değeri sırası ile 33,82 ve 24,96 kPa olduğu görülmüştür. Arayüzey sürtünme açısı değerleri ise sırası ile 35,8° ve 42,6° olarak tespit edilmiştir. Arayüzey sürtünme

açısı kum zemine en yakın K100 donatısı ile elde edilmiştir. K100 donatısı pürüzlülüğü diğer donatılardan daha yüksektir. Pürüzlü olması; kumun donatıya daha iyi tutunmasına ve sürtünme açısının yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir. SL60 donatısı ile yapılan çalışmada kohezyon değeri SB60 ile elde edilen kohezyon değerine yakın çıkmıştır. Arayüzey sürtünme açısında ise azalma görülmüştür.

4.4. Genel Sonuç ve Öneriler

Kumlu zeminlerde donatı olarak geotekstil kullanılması kesme kutusu deneyi sonucu elde edilen ara yüzey parametrelerini etkilemektedir. Geotekstil yüzeylerin mekanik özellikleri incelendiğinde iğneli yöntemle doku sabitleme işleminin yapıldığı geotekstillerin kopma kuvveti ve kopma uzaması değerleri kumaş gramajına bağlı olarak değişmektedir. Gramaj arttıkça kopma mukavemeti artmaktadır. Kopma uzaması (%) değerinde belirgin bir ilişki olmamakla birlikte en yüksek kopma uzaması gramajı en yüksek geotekstil numunesinde görülmüştür. Kopma uzamasını etkileyen en önemli parametre dokusuz yüzeyin kesikli veya sürekli (kesiksiz) liflerden üretilmiş olmasıdır. Kesiksiz liflerle yapılan çekme testi sonucu kopma uzaması kesikli liflere göre yüksek çıkmıştır.

Düşük normal gerilim ile yapılan çalışmalarda donatı kalınlığının artması maksimum kesme gerilmesini artırmıştır. Donatı gramajının artmasıyla daha yüksek yatay deplasman (%) değerlerinde kesme gerilmesi değişimi azalmakta ve yataya yakın kalıcı (rezidüel) kayma dayanımı olduğu görülmüştür. İğneleme yöntemine göre doku sabitlemesi yapılan geotekstillerin arayüzey donatısı olarak kullanılması artan normal gerilmelerde donatısız zemine göre daha düşük performans göstermiştir. Artan normal gerilmelerde donatısız zeminin en yüksek kesme gerilimine sahip olduğu görülmüştür.

Normal gerilmenin düşük olduğu koşullarda en yüksek kesme dayanımı SB60 donatısı ile elde edilmiştir. K100 donatısı ile yapılan çalışmalarda SB60 donatısına göre daha düşük kesme dayanımı görülmüştür. Normal gerilmenin artması durumunda K100 donatısı ile yapılan çalışmalarda SB60 ile yapılan çalışmalara göre daha yüksek kesme dayanımı elde edilmiştir. Bu durum K100 donatısının yüzey pürüzlülüğünün yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir. Donatı özelliği kesme gerilmesi üzerinde normal gerilmedeki artışa paralel olmayan bir değişim göstermiştir. Saha uygulamalarında geotekstilin kullanılacağı ara yüzeydeki normal gerilime göre geotekstil seçiminin

yapılması doğru olacaktır. Bu amaçla sahadaki zemin ile kesme kutusu deneyi yapılarak en uygun geotekstil seçimi yapılabilir.

Geotekstilin üretim yöntemi, kullanılan lifin kesikli veya sürekli olması, birleştirme yöntemi, gramaj gibi parametreleri kumlu zeminlerde donatı olarak kullanılması durumunda maksimum kayma gerilmesini etkilemektedir. Kesme kutusu deneyinde uygulanan normal gerilme değerlerine göre maksimum kayma gerilmesi değerleri değişmektedir. Örnek olarak SB60 donatısı düşük normal gerilmelerde yüksek kesme dayanımı göstermekte fakat normal gerilmenin artması durumunda kesme dayanımındaki artış azalmaktadır. K100 donatısı ise yüksek normal gerilmelerde daha iyi kesme dayanımı göstermektedir.

İğneleme yöntemi ile birleştirilmiş geotekstillere yapılan çalışmalarda kohezyon ve içsel sürtünme açısı incelendiğinde iki parametrenin de kumaş gramajı ile ilişkisi belirgin değildir.

Arayüzey sürtünme açısı kum zemine en yakın K100 donatısı ile elde edilmiştir. K100 donatısı pürüzlülüğü diğer donatılardan daha yüksektir. Pürüzlü olması; kumun donatıya daha iyi tutunmasına ve içsel sürtünme açısının yüksek çıkmasına neden olmuş olabilir. İçsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri geotekstilin yüzey özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Çalışma kapsamında sadece PP hammaddeden üretilen geotekstil, tek tip kum ve küçük boyutlu kesme kutusu kullanılmıştır. Büyük kesme kutusu düzeneğiyle, farklı hammaddeden üretilmiş geotekstillere ve farklı özelliklerde zemin numunesi (dane boyutu, rölatif sıklığı, su içeriği vb.) kullanılarak başka çalışmalar yapılabilir.

Bu çalışmada %100 polipropilen liflerinden kesikli ve kesiksiz yöntemlere göre farklı üretim teknikleri ile dokusuz yüzeyler üretilmiş ve geotekstil amaçlı kullanılmıştır. Üretilen geotekstillere kumlu zeminlerde arayüzey olarak kullanılmış ve kesme kutusu deneyleri ile donatılı zeminlerin kesme dayanımları belirlenmiştir. Geotekstillere mekanik özellikleri, gramajları, üretim teknikleri, doku birleştirme yöntemleri, kesikli ya da kesiksiz liflerden üretilmeleri gibi parametrelerin, kesme kutusu deneyi ile elde edilen kohezyon, içsel sürtünme açısı, yatay deplasman ve kesme dayanımı özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir.

KAYNAKÇA

1. Afatoğlu, H. A., 2004. Yumuşak Kil Zemine Oturan Kum Dolgunun Taşıma Gücü Güvenliğinin Geotekstiller ve Taş Kolonlarla Arttırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul,164s
2. Özdizdar, A.,2004. Teknik tekstil sektör araştırması. İstanbul Ticaret Odası, İstanbul, 2004.
3. Arslan, S., 2017. Kil İçeriğinin Zemin-Geotekstil Ara Yüzeyindeki Kayma Parametrelerine Etkisi. Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman, 82s.
4. Bağcı, F., 2007. Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin - Geosentetik Arayüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türleri İçin Araştırılması. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 312s.
5. Edinçliler, A., ve Akkol O.A., [edt.]. **Sekizinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, 442s**, 16-17 Mayıs 2019, İstanbul, Boğaziçi Üniversitesi, ISBN: 978-975-518-413-5.
6. Duquennoi, C., 2002. Containment Ponds, Reservoirs and Canals, pp 299-325. In **Geosynthetics and their Applications**. (Eds.Shukla S.K.).Thomas Telford Publishing., London.
7. Koerner, R. M., 1999. Designing With Geosynthetics,. No: 5. Pearson Prentice Hall, New Jersey , s. 761.
8. Sağlam, R., 2009. Karayolu Yapımında Geotekstil Uygulamaları. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 126 s.
9. Agrawal, B. J., (2011, May). Geotextile: It's application to civil engineering–overview. **In:National Conference on Recent Trends in Engineering & Technology**. Pp. 1-6 s.
- 10.Şekercioğlu, S., 2015. Kum Zeminlerin Geotekstil Kullanılarak Geoteknik Özelliklerinin Araştırılması. Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. Balıkesir, 119s..

11. Demiröz, A., 2008. Geogrid Donatılı Kum Üzerine Oturan Sürekli Temellerde Taşıma Gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Deneysel olarak Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 227 s.
12. İngold, T. S., 1994. Geotextiles and Geomembranes Manual. Oxford, UK : Elsevier Advanced Technology, s. 612.
13. Koerner, R.M., 2016. Geotextile From Design to Application. UK : Woodhead Publishing, 2016. s. 642.
14. Shukla, S.K., 2016, An Introduction to Geosynthetic Engineering. London : CRS Press, s. 451 s.
15. Shukla, S.K and Yin, J.H., 2006. Fundamentals of Geosynthetic Engineering. Taylor and Francis, London , s. 410s.
16. Davis G.W., Spraguel C.J., 1991. Geotextiles Durability of Polyethylene Terephthalate Fibers and Fabrics. In High-Tech Fibrous Materials, **American Chemical Society(ACS) Symposium Series**. Washington DC : Vigo T., s. 319-305.
17. Karagül, B.Ç., 2007. Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 93s.
18. Zornberg, J. G., & Christopher, B. R., 1999. Geosynthetics. (Eds: Jacques W. Delleur)In: The Handbook of Groundwater Engineering. Boca Raton, Florida : CRC Press, Chapter 27.
19. Mandal, J.N., 2019. Geosynthetics Engineering: In Theory and Practise. Mumbai, India : Department of Civil Engineering. Ders Notları.
20. Holtz, R. D., 2001. Geosynthetics for soil reinforcement. The Ninth Spencer J. Buchanan Lecture By. Washington, Seattle, USA : University of Washington, November (2001). s. 1-19.
21. Kelsey, C., 2018. Geopipe Webinar to Examine Durability, Infrastructure Uses, and More. Geosynthetica [Çevrimiçi]. <https://www.geosynthetica.com/geopipe-webinar-durability-infrastructure/>. (Erişim tarihi: 09.06.2020)
22. Mok M. S., Blond E., Mlynarek J., Jeon H. Y., 2008. Evaluation On Stress Cracking Resistances Of Various HDPE Drainage Geonets, ss 54-57. In:

Geosynthetics in Civil and Environmental Engineering (Eds: Guangxin Li, Chen Yunmin ve Xiaowu Tang). Springer, Berlin, Heidelberg, 874s.

23. Snow M. S., Kavazanjian E. and Sanglerat T. R., 1994,.(September) Geosynthetic composite liner system for steep canyon landfill side slopes. In: **Proceedings of the 5th International Conference on Geotextiles**,1994 September, Geomembranes and Related Products, 1994, September). s 969-972.
24. Koerner, R. M., Koerner, G. R., & Huang, W., 2016. Geotextile tubes for dewatering and decontamination of fine-grained soils. In Geotextiles., Woodhead Publishing, s. 483-494.
25. Arı Mühendislik. Geotüp - (Geotekstil Tüpler). [Çevrimiçi] <https://www.arieng.com/images/pages/kiyi-koruma-geotube.jpg>. (erişim tarihi: 10.06.2020)
26. Black Ground Grid Geo Cell, For Slop Construction. İndiamart. [Çevrimiçi] <https://www.indiamart.com/proddetail/ground-grid-geo-cell-16987967988.html>. (Erişim tarihi: 10.04.2020)
27. Arellano, D., Özer, AT, Bartlett, SF ve Vaslestad, J., 2019. Key Note, Geofoam Blocks in Civil Engineering Applications ss. 3-40. In: 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications.(Eds: D. Arellano at al), Springer, Switzerland.
28. Associates, David Rigby. fibre2fashion.com. fibre2fashion. [Çevrimiçi] Şubat 2007. <https://www.fibre2fashion.com/industry-article/1630/technical-textiles-and-nonwovens-world-market-forecasts-to-2010>. (Erişim tarihi: 05.05.2021)
29. Erdoğan, Ü, H., 2008. Jeotekstillerde Kullanılan Polipropilen liflerin Kullanım anındaki Özelliklerinin Çeşitli Metodlarla İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008. Doktora Tezi. , İzmir, 195s..
30. Global Market Insight. Global Market Insight Web sitesi. [Çevrimiçi] 2016. <https://www.gminsights.com/assets/img/geotextile-market.png>. (Erişim tarihi: 30.04.2021)

31. Elbeyli, Y., 2016. Geotekstil ile Güçlendirilmiş Marjinal Dolguların Sızma Kuvvetleri Altındaki Davranışlarının Laboratuvar Deneyleri ile İncelenmesi., Okan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi , İstanbul, 57s.
32. Russell, S.J., 2006. Handbook of Nonwovens. Woodhead Publishing, Cambridge , 503s.
33. Islam, T., Rahman, Md. Mostafizur ve Mazumder, Nur-Us-Shafa.,2020. Polymers for Textile Production. s. 13-57. In: Frontiers of Textile Materials Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques. [eds: Mohd Shabbir ve Shakeel Ahmed.), USA , Sheikh Scrivener.
34. Zhang, D., 2007. Developments in Nonwoven for Wipes. UK : Pira International Ltd., 2007. s. 101. ISBN 1 85802 550 8.
35. Alagirusamy, R., Das A. 2011. Yarns: Production, processability and properties. ss.29-61. In: Fibrous and Composite Materials For Civil Engineering Applications. (Eds: R. Figueiro.),Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, s. 389.
36. Benek, M. B., 2006. Geotekstiller üzerine Bir İnceleme ve Uygulama Örnekleri. Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, . Yüksek Lisans Tezi, Manisa, 90s.
37. Eichhorn, S., Hearle, J. W. S., Jaffe, M., & Kikutani, T. 2009. (Eds.). Handbook of Textile Fibre Structure: Volume 1: Fundamentals and Manufactured Polymer Fibres. CRC Press, s. 491. Cilt 1. ISBN 978-1-4398-0119-2., Cambridge .
38. Edana Web Sitesi. [Çevrimiçi] <http://www.edana.org/discover-nonwovens/what-arenonwovens> . (Erişim tarihi: 02.07.2020)
39. Şahin, S., 2011. Medikal Alanda Kullanılan Tekstillerde Antibakteriyel Etkiler İçin Sol-Jel Uygulamaları. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü., Yüksek Lisans Tezi, İzmir : 91s.,
40. Onan , M., 2010. Tek Kullanımlık Hidrofil Antimikrobiyel Dokusuz Yüzey Lamine Çarşaf. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul , 143s. (47)
41. Spencer, D. J.,2001. Knitting technology. A Comprehensive Handbook And Practical Guide. Lancaster,USA, Woodhead Publishing, (3.),378s.

42. Jiangsu Hanovo New Material Co LTD. [Çevrimiçi] 2019. <http://m.geogridchina.com/geosynthetics/geocomposite/warp-knitting-composite-geotextile.html>. (Erişim Tarihi: 27.06.2020)
43. Tekstil Bilgi Web Sitesi. [Çevrimiçi] 2016. <https://tekstilbilgi.net/cozgulu-orme-teknolojisi.html>. (Erişim Tarihi:27.06.2020)
44. Gandhi, K.L., 2012. The fundamentals of weaving technology . In:Woven textiles Principles, Developments and Applications. (5) UK : Woodhead Publishing, 2012, s. 117-160.
45. Halis., 2016. Tekstilbilgi web sitesi. [Çevrimiçi] <https://tekstilbilgi.net/dokumakumas-teknolojisi.html>. (Erişim tarihi: 01.05.2020)
46. Rawal, A., Shah, T. ve Anand, S.,2010. Geotextiles: Production, properties and performance. Textile Progress, Taylor & Francis Group, 42(3), s. 181-226.
47. Rawal, A., 2012. Woven Fabrics for Geotextiles. (Ed: Gandhi K.L.) Woven Textiles Principles, Developments and Applications, Woodhead Publishing, 12, s. 367-384, India.
48. Nawab, Y., Hamdani S. T. A. ve Khubab S.,2017. Structural textile design: interlacing and interlooping. CRC Press, Boca Raton, s. 271.
49. Başer, G., 2005. Dokuma Tekniği ve Sanatı. Punto Yayıncılık, s. 283. Cilt 1., İzmir, ISBN: 975-96989-3-5.
50. Çinçik, E. 2010. İğneleme Yöntemiyle Üretilen Polyester/Viskon Karışımli Dokusuz Yüzey Özelliklerinin Deneysel Ve İstatiksel Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi., Adana, 273s.
51. Karthik, T., Rathinamoorthy, R. ve Praba Karan, C. 2016., In: Nonwovens: Process, Structure, Properties and Applications. Woodhead Publishing, New Delhi , India , pp. 338.
52. Malkan, S.R. ve Bhat, G.S. 2007. Polymer-Laid Web Formation. 4, pp: 143-200. (Eds: Russell S.)In: Handbook of Nonwovens, CRS Press, USA .
53. Emirhan, G., 2015. Mekanik Olarak Üretilen Dokusuz Yüzey (Nonwoven) Kumaşlara Uygulanan Farklı Isıl İşlem Parametrelerinin Kumaş Özelliklerine

Etkisinin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 127s.

54. Wilson, A.2010. The formation of dry, wet, spunlaid and other types of nonwovens. In: Application of Nonwoven in Tecnical Textiiles. (Eds: Chapman R.) UK : Woodhead Publishing Series, (1) s. 3-17.
55. Zhang, D., 2010. Nonwovens for consumer and industrial wipes. In: Applications of Nonwoven in Tecnical Textiles (Eds: Roger Chapman.). New York : Woodhead Publishing, 6.
56. Alagöz B.A., 2012. Nonwoven (Dokusuz) Yüzeyler. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği bölümü, Lisans Tezi, Kahramanmaraş, 58s.
57. Albrecht, W., Fuchs H., & Kittelmann, W.(eds.), Nonwoven fabrics: raw materials, manufacture, applications, characteristics, testing processes.John Wiley & Sons, 2006. s. 737. ISBN: 3-527-30406-1.
58. Marg, L.B.S., Kopar G(W)., 2012. Handbook of Geotextiles. Mumbai : The Bombay Textile Research Association,. s. 191. ISBN 978-81-7674-132-3.
59. Aşkın, H., 2011. Kaplamasız Yolların Geotekstil ile Tasarımında Analitik Çözümle Basitleştirilmiş Yaklaşımların Karşılaştırılması ve Geotekstillerde Enerji Emilim Potansiyelinin Önemi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 111s.
60. Bérubé Texel, D., Saint-Elzéar, 2016. Manufacturing Process of Geotextile. s. 25-60. In: Geotextiles: From Design To Applications. (Edt: Robert Koerner) Canada , Elsevier Ltd., 2016, (3).
61. Erdoğan, Ü. H.,2012. Jeotekstiller; Üretim Teknikleri Kullanım Alanları ve Fonksiyonları.(İtkib İta) Dokusuz Yüzeyleri Genel Bakış & Jeotekstiller Eğitimi. İzmir : V. Uluslararası Teknik Tekstiller Kongresi.
62. ASTM D4884: Standart Test Method for Index Puncture Resistance of Geomembranes and Related Products.
63. ASTM D4491: Standart Test Method for Water Permeability of Geotextiles by Permittivity. USA , ASTM İnternational.

64. ISO 11058 : Geotextiles and geotextile-related products e Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load.
65. ASTM D1435: Standard Practice for Outdoor Weathering of Plastics. ,West Conshohocken, PA, USA : ASTM İnternational.
66. ASTM D746 -20: Standard Test Method for Brittleness Temperature of Plastics and Elastomers by Impact.
67. Durability of Geotextiles. 1988. The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures(RILEM). (Edt: Hall and Chapman) London, New York , Taylor & Francis, s. 180s ISBN 0-203-62649-4.
68. Allen S.R.,2016. Geotextile durability. 177-215 (9). In:Geotextiles From Design to Applications (Edt: Koerner R.M.) Woodhead Publishing, Elsevier Ltd., United States .
69. Koerner, G.R., Hsuan, Y.G., Koerner, R.M. 2007. The durability of geosynthetics. : s. 36-65. In: Geosynthetics in civil engineering(Edt: R.W. Sarsby). Woodhead Publishing Ltd, London .
70. McCarthy, J. E. 1995. Engineering use of geotextiles. In: Washington, USA. : Departements of The Army and The Air Force, (Edt: Patricia A. Annis) s. 62s. TM 5-818-8.
71. Adanur, S., 1995. Wellington Sears Handbook of İndustrial Textiles. Lanchaster & Basel : Technomic Pub. Co. Inc., U.S.A , s. 825s.
72. Laying of geotextiles under the pavement. What is geotextile? Definition, properties, application and assembly methods of geotextiles. steklo-servise.ru . [Çevrimiçi] 2019. <https://steklo-servise.ru/tr/laying-geotextiles-under-the-paving-slab-geotextiles-whats-this.html>. (erişim tarihi: 12.06.2020)
73. Maccaferri Company Türkiye Web Sitesi. [Çevrimiçi] 2019. <https://maccaferri.com.tr/cevre-susuzlastirma-kati-atik-alanlari/>. (Erişim tarihi:16.05.2020)
74. Structural Improvement of Unpaved Roads. Tensar Academy. [Çevrimiçi] 2012. <https://www.tensar.co.uk/Applications/Unpaved-Roads/Structural-Improvement>. (Erişim tarihi: 27.05.2020)

75. Suits, L. D. 1991. The Use of Geotextiles in Transportation Facilities. New York : American Chemical Society , 1991. High-Tech Fibrous Materials,ACS Symposium Series. s. (24) 358-375. 9780841219854.
76. Kayış, G., Hücresel Dolguçell Çalışma Mekanizması. İnşaport İnşaat Platformu Web Sitesi. [Çevrimiçi] 2020. <https://www.insaport.com/haberler/hucresel-dolguçell-sisteminin-calisma-mekanizmasi/>. (Erişim Tarihi: 05.05.2021)
77. Jovanov , D., Regional sanitary landfill zrenjanın. [Çevrimiçi] <http://www.evropa.gov.rs/Documents/Home/DACU/5/103/112/127/164/Regional%20Landfill%20Zrenjanin%20en.pdf>. (Erişim tarihi:16.06.2020)
78. Sprague, C. J., & Sprague, J. E. (2016). Geosynthetics in erosion and sediment control (pp. 531-562). In Geotextiles from Design to Applications. (Edt: Robert Koerner) . Woodhead Publishing, London.
79. Deng, W. D., Deng, C. Z. ve Yan, Q. R.,2008. Study on Direct Shear Test on Interface Performance of Geogrid and Corase-grained Soil, pp157-161. Proceedings of the 4th Asian Regional Conferance on Geosynthetics. Zhejiang University Press, June 17-20, 2008. Shangai, China.
80. Jayashree, J., Nithesh, N., Parthiban, M., Ganesh, C. S., & Sangeetha,, Study on interface friction between sand and geotextile. **İnternational Journal of Engineering Research and Modern Education**,Special Issue, April,2017. pp. 124-126.
81. Tuna, Ş. Ç., 2008. Geotekstil donatılı kum zeminlerin mekanik davranışlarının belirlenmesi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir. 130s.
82. Won M.S., Kim Y.S., 2007. Internal deformation behavior of geosynthetic-reinforced soil walls. In: Geotextiles and Geomembranes, (Eds: Rowe R.K. Yoo C.S.Bergado D.T.) 25(1), 10-22.
83. Karpuzcu M., 2005. Zeminlerin Stabilizasyonunda Geotekstil. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 82s.

84. Bacas B.M., Canizal, J., Konietzky H., 2015. Shear Strength of Geotextile/Geomembrane Interfaces, China , Creative Common, **Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering**, Cilt 7(5), s. 1-8.
85. Erdoğan D., Altun S., 2008. Kum/Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımının Kesme Kutusu Deneyleri ile Belirlenmesi. **Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi**, Cilt 23, s. 1-12.
86. Jones, D. R. V., Dixon, N. 1998. Shear strength properties of geomembrane/geotextile interfaces. *Geotextiles and Geomembranes*, Elsevier.,16(1), 45-71.
87. Sayeed, M.M.A., Ramaiah, B.J and Rawal, A. 2014. Interface shear characteristics of jute/polypropylene hybrid nonwoven geotextiles and sand using large size direct shear test, 63-68. İn: *Geotextiles and Geomembranes*, New Delhi , Cilt 42, s. 63-68.
88. Punetha, P., Mohanty, P., & Samanta, M. 2017. Microstructural investigation on mechanical behavior of soil-geosynthetic interface in direct shear test. Elsevier, *Geotextiles and Geomembranes*, İndia , Cilt 45 (3), pp 197-210.
89. ASTM International 2014. D854-14 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
90. ASTM D3080 / D3080M-11, Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions (Withdrawn 2020), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011,
91. ASTM D7181-20, Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2020,
92. ASTM C136 / C136M-19, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019,
93. ASTM D2434-19, Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019, 94. ASTM International (2017) D2487-17e1 Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Şerife ERDOĞAN OLCAY
Uyruğu: Türkiye (T.C)

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Pamukkale Üniversitesi, Tekstil Mühendisliği	2016
Lise	Kocasinan Anadolu Lisesi, Kayseri	2011

YABANCI DİL

İngilizce