

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**GEOTEKSTİL DONATILI KİLLERİN DAVRANIŞLARININ
LABORATUVARDA İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM ÇAKAR

BALIKESİR, 2016

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



GEOTEKSTİL DONATILI KİLLERİN DAVRANIŞLARININ
LABORATUVARDA İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GİZEM ÇAKAR

Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Arzu OKUCU (Tez Danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. Banu YAĞCI

Yrd. Doç. Dr. Eyyüb KARAKAN

BALIKESİR, 2016

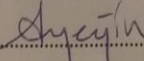
KABUL VE ONAY SAYFASI

Gizem ÇAKAR tarafından hazırlanan "GEOTEKSTİL DONATILI KİLLERİN DAVRANIŞLARININ LABORATUVARDA İNCELENMESİ" adlı tez çalışmasının savunma sınavı 08.01.2016 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

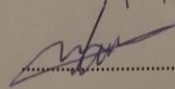
Jüri Üyeleri

İmza

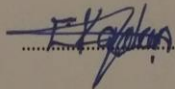
Danışman
Yrd. Doç. Dr. Arzu OKUCU


.....

Üye
Yrd. Doç. Dr. Banu YAĞCI


.....

Üye
Yrd. Doç. Dr. Eyyüb KARAKAN


.....

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez BAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....

Bu tez çalışması Balıkesir Üniversitesi tarafından 2013/53 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

**GEOTEKSTİL DONATILI KİLLERİN DAVRANIŞLARININ
LABORATUVARDA İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
GİZEM ÇAKAR
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. ARZU OKUCU)**

BALIKESİR, 2016

Bu çalışmada geotekstil kullanımının kil zeminlerin mekanik davranışları üzerindeki etkilerini ve potansiyel faydalarını tespit edebilmek, aynı zamanda elde edilen deneysel sonuçlarla geçmişte elde edilen benzer çalışmaları karşılaştırarak değerlendirmek amaçlanmıştır. Bu amaçla yapılan literatür araştırmaları sonucu kil-geotekstil donatılı zemin davranışına etkisi olabilecek bazı parametreler belirlenerek, bir dizi serbest basınç deneyi yapılmıştır. Geotekstil donatılı malzemenin mekanik özelliklerine etki eden parametrelerden, geotekstil tipi (örgülü-örgüsüz), yükleme hızı, geotekstil tabaka sayısı (tabakasız, tek tabakalı, iki tabakalı, üç tabakalı ve dört tabakalı), etkisi araştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümde geotekstillerin de içinde bulunduğu malzeme grubu olan geosentetiklerin tanımı yapılmış, tarihçesi anlatılmış ve sınıflandırması yapılmıştır. Geosentetiklerin malzeme özellikleri incelenmiş ve yaygın olarak kullanıldığı uygulamalara kısaca değinilmiştir. Üçüncü bölümde, geotekstillere bahsedilmiştir. Geotekstillerin tüm özellikleri tanımlanmıştır. Dördüncü bölümde geotekstil donatılı zeminlerin davranışları konusunda yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiştir. Beşinci bölümde kullanılan malzeme ve deney yöntemi tanımlanmıştır. Çalışmanın esasını oluşturan geotekstil donatılı kil zeminlerin mekanik davranışlarının incelenmesi konusu altıncı bölümde ele alınmıştır.

ANAHTAR KELİMELEER: Geotekstillere, serbest basınç deneyi, kil.

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF GEOTEXTILE REINFORCED CLAY BEHAVIOR
IN LABORATORY
MSC THESIS
GIZEM ÇAKAR
BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ARZU OKUCU)**

BALIKESİR, 2016

In this study, to ascertain their impact on the mechanical behavior of clays and potential benefits of the use of geotextile, also aimed to evaluate studies obtained by comparing experimental results obtained in the past. The results of the literature research carried out for this purpose, clay-geotextile-reinforced determining some parameters that can influence behavior on the ground is made of a series of unconfined compression test. Geotextile-reinforced material of the parameters affecting the mechanical properties, geotextile type (woven-non-woven), loading rate, geotextile layer number (layered, single-layer, two-layer, three-layer and four-layer), the effect was investigated. In the second part of the study, which is also found in the group of geotextile material made of geosynthetic definition, which describes the history and classification it is made. It examined the properties of geosynthetic materials and outlines the practices that are widely used. In the third part, geotextiles are mentioned. All the features of geotextiles were identified. Studies on the behavior of geotextile-reinforced soil are summarized in the fourth section. Material used in the fifth section and test methods have been introduced. Geotextile-reinforced forming the basis of the study examined the issue of the mechanical behavior of clays is discussed in chapter six.

KEYWORDS: Geotextile, self-pressure test, clay.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. GEOSENTETİKLER.....	4
2.1 Tanımı.....	4
2.2 Tarihçesi.....	5
2.3 Genel Özellikleri.....	6
2.4 Türleri.....	7
2.5 Kullanım Amaçları.....	14
3. GEOTEKSTİLLER.....	15
3.1 Geotekstillerin Tanımı.....	15
3.2 Geotekstillerin Tarihçesi.....	16
3.3 Geotekstillerin Hammaddeleri.....	16
3.4 Geotekstillerin Sınıflandırılması.....	18
3.5 Geotekstillerin Ek Yerleri ve Birleşim Yöntemleri.....	20
3.6 Geoteksillerin Fiziksel, Mekanik ve Hidrolik Özellikleri.....	21
3.7 Geotekstillerin Fonksiyonları.....	31
3.8 Geoteksillerin Kullanım Alanları.....	37
4. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	40
5. KULLANILAN MALZEME VE DENEY YÖNTEMİ.....	44
5.1 Deneylerde Kullanılan Mazemeler.....	45
5.1.1 Kullanılan Kil Zeminin Özellikleri.....	45
5.1.2 Deneylerde Kullanılan Geotekstillerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	50
5.2 Serbest Basınç Deneyi ve Deney Yöntemi.....	52
5.3 Serbest Basınç Deneyi Ekipmanları.....	56
5.4 Serbest Basınç Deneyinin Yapılışı.....	59
6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	65
6.1 Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etki Eden Parametreler.....	67
6.1.1 Geotekstil Türünün Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etkisi.....	67
6.1.2 Tabaka Sayısının Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etkisi.....	72
6.1.3 Yükleme Hızının Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etkisi.....	75
6.2 Kalıcı Kayma Dayanımına Etki Eden Parametreler.....	77
6.3 Serbest Basınç Mukavemetine Etki Eden Parametreler.....	79
7. SONUÇLAR.....	82
8. KAYNAKLAR.....	84

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Örgülü (sol taraf) ve örgüsüz (sağ taraf) geotekstil örneği	8
Şekil 2.2: Geomembran örneği	9
Şekil 2.3: Geogrid örneği.....	11
Şekil 2.4: Geonet örneği	11
Şekil 2.5: Geosentetik kil örtüsü örneği	12
Şekil 2.6: Geoweb örneği	12
Şekil 2.7: Erozyon kontrol matı örneği.....	13
Şekil 3.1: Değişik geotekstillerin sıkışabilirliği (Koerner,1998).....	24
Şekil 3.2: Kapma testi (Koerner,1998)	25
Şekil 3.3: Geniş numune çekme testi (Koerner,1998)	25
Şekil 3.4: Koni düşüş testi	27
Şekil 3.5: Delinme testi (8 mm çubuk).....	28
Şekil 3.6: CBR statik delinme testi (50 mm çubuk)	28
Şekil 3.7: Dikiş metotları (Shukla, 2002)	29
Şekil 3.8: Geotekstilin kullanım amaçları	31
Şekil 3.9: Geotekstilsiz ve geotekstilli kaplamasız yol imalatı	32
Şekil 3.10: Geotekstillerin kullanımı (www.grupo.com.tr).....	33
Şekil 3.11: Geotekstile bitişik doğal zemin filtresi.....	34
Şekil 3.12: Ktotal sistem permeabilitesi	35
Şekil 3.13: Kaplamasız yollarda geotekstil kullanıldığında oluşan gerimeler	36
Şekil 3.14: Yalıtım amaçlı geomembran kullanım alanına örnek	39
Şekil 3.15: Güçlendirme amaçlı geotekstil kullanım alanına örnek	39
Şekil 5.1: Numune hazırlamak için kullanılan kalıp	44
Şekil 5.2: Geotekstil yerleşim planı.....	45
Şekil 5.3: Manisa-Demirci'den alınan numune örneği.....	45
Şekil 5.4: Casagrande deneyi ile likit limit belirlenmesi	47
Şekil 5.5: Düşen koni penetrasyon deneyi ile likit limit belirlenmesi.....	48
Şekil 5.6: Hidrometre deneyi sonucu	49
Şekil 5.7: Standart Proktor enerjisi altında elde edilmiş olan su içeriği kuru birim hacim ağırlık ilişkisi	50
Şekil 5.8: Deneylerde kullanılan geotekstil çeşitleri soldan sağa doğru İzoteknik 1000 (G1), İzoteknik 2500 (G2), Sunjut/PP/80*80 (G3), Sunjut/PP/60*60 (G4)	52
Şekil 5.9: Serbest basınç deneyinde şekil değiştirme-gerilme ilişkileri (Uzuner,2000)	53
Şekil 5.10: Serbest basınç deneyi (Uzuner,2000)	53
Şekil 5.11: Deney düzeneğinin genel görünümü.....	56
Şekil 5.12: Numuneyi sıkıştırmak için kullanılan tokmak ve kalıp.....	57
Şekil 5.13: Serbest basınç deney aleti.....	57
Şekil 5.14: S tipi yük hücresi	58
Şekil 5.15: Doğrusal potansiyometrik cetvel.....	58
Şekil 5.16: Veri edinim ünitesi	59
Şekil 5.17: Etüvde kurumaya bırakılan zemin örnekleri	59
Şekil 5.18: Numunenin değirmende öğütülmesi	60
Şekil 5.19: Numune hazırlama	60
Şekil 5.20: Numuneyi kalıba yerleştirme	60

Şekil 5.21: Numunenin kalıptan çıkartılması ve tartılması	61
Şekil 5.22: Numunenin elektronik kumpas kullanılarak ölçülmesi.....	61
Şekil 5.23: Donatısız zemin örneği ve kırılma şekli.....	62
Şekil 5.24: Tek tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.....	62
Şekil 5.25: İki tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.....	63
Şekil 5.26: Üç tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.....	63
Şekil 5.27: Dört tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.....	64
Şekil 6.1: G1 (İzoteknik 1000) geotekstil türü için bir tabakalı, 0.1 mm/dk. yükleme hızında gerçekleştirilen deneyin üç kere tekrarlanması	65
Şekil 6.2: Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması	67
Şekil 6.3: Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması	68
Şekil 6.4: Yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması	69
Şekil 6.5: Yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması	69
Şekil 6.6: Yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması	70
Şekil 6.7: Yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması	71
Şekil 6.8: Farklı tabaka sayısı ve yükleme hızında geotekstil türünün gerilme-şekil değiştirme davranışına etkisinin karşılaştırılması.....	72
Şekil 6.9: Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde tabaka sayısı etkisinin karşılaştırılması	73
Şekil 6.10: Yükleme hızı 1 mm/dk. ve G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde tabaka sayısı etkisinin karşılaştırılması	74
Şekil 6.11: Yükleme hızı 5 mm/dk. ve G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde tabaka sayısı etkisinin karşılaştırılması	74
Şekil 6.12: G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde farklı tabaka sayıları için yükleme hızı etkisinin karşılaştırılması.....	76
Şekil 6.13: G2 ve G3 türü geotekstil kullanılan deneylerde tek tabaka için yükleme hızı etkisinin karşılaştırılması.....	76
Şekil 6.14: G2 ve G4 türü geotekstil kullanılan deneylerde iki tabaka için yükleme hızı etkisinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 6.15: Tek tabakalı G1 türü geotekstil, 0.1 mm/dk. yükleme hızı için kalıcı kayma dayanımı	78
Şekil 6.16: Üç ve dört tabakalı G1 türü geotekstil, 1 mm/dk. yükleme hızı için kalıcı kayma dayanımı	78
Şekil 6.17: G1 türü geotekstil için farklı tabaka sayılarında, 1 mm/dk. yükleme hızında kalıcı kayma dayanımına etkisi	79
Şekil 6.18: G1 türü geotekstil ve tabaka sayısı 0, 1, 2, 3, 4 için serbest basınç mukavemetlerinin karşılaştırılması	80
Şekil 6.19: Farklı geotekstil türü ile tabaka sayısı 1 ve 2 için serbest basınç mukavemetlerinin karşılaştırılması	81

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Polimer grubu özelliklerinin karşılaştırılması (Benek,2006).....	17
Tablo 3.2: Geotekstil üretiminde kullanılan hammaddelerin teknik özellikleri (Benek, 2006).....	18
Tablo 3.3: Polimerlerin yoğunlukları (Van Santvoort, 1994).....	22
Tablo 5.1: Doğal su içeriğinin belirlenmesi	46
Tablo 5.2: Casagrande deneyi ile likit limitin belirlenmesi	46
Tablo 5.3: Düşen koni penetrasyon deneyi ile likit limitin belirlenmesi	47
Tablo 5.4: Plastik limitin belirlenmesi	48
Tablo 5.5: Özgül yoğunluğun belirlenmesi.....	49
Tablo 5.6: Deneylerde kullanılan kile ait fiziksel özellikler	50
Tablo 5.7: Deneylerde kullanılan örgüsüz geotekstillere ait fiziksel ve mekanik özellikler	51
Tablo 5.8: Deneylerde kullanılan örgülü geotekstillere ait fiziksel ve mekanik özellikler	51
Tablo 5.9: Serbest basınç mukavemetine göre killerin sınıflandırılması	54
Tablo 5.10: Deney değişkenleri ve deney numaraları.....	55
Tablo 6.1: Deney parametreleri ve bu parametrelere karşılık elde edilen veriler	66

SEMBOL LİSTESİ

- c** : Kohezyon
q_u : Serbest basınç direnci
w_L : Likit limit
w_p : Plastik limit
I_p : Plastisite indisi
w : Doğal su muhtevası
w_{opt} : Optimum su muhtevası
ρ_k : Kuru yoğunluk
σ : Gerilme
ε : Şekil değiştirme
G_s : Özgül yoğunluk
P_{max}: Maksimum yük
A_o : Başlangıç alanı
H_o : Başlangıç boyu
A_f : Kırılma anındaki enkesit alanı
H_f : Kırılma anındaki boyu
ΔH : Boy değişimi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince deneyimini ve desteğini benden esirgemeyerek göstermiş olduğu ilgi, destek ve sabırdan dolayı, değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Arzu OKUCU'ya teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışmam boyunca, büyük ilgi ve desteğini gördüğüm, değerli görüş ve bilgilerini benimle paylaşan, laboratuvar çalışmalarımda ve bilgisayar analizlerimde bana yardımcı olan, çalışmalarımda beni yönlendiren saygı değer hocam, Yrd. Doç. Dr. Eyyüb KARAKAN'a en içten duygularımda teşekkür ederim.

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bilgisini ve deneyimlerini esirgemeyen ve jüri üyesi olarak tezimin savunmasında bulunan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Banu YAĞCI'ya teşekkürlerimi sunarım

Laboratuvar çalışmalarımda gösterdiği yardımlardan dolayı Limak Balıkesir Çimento Fabrikası kalite kontrol şefi sayın Fatma UZUN'a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarımda maddi olarak destekleyen Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne (Proje No:2013/53) teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hep hissettiğim, varlıklarından güç aldığım, hayatımın her döneminde olduğu gibi beni bu süreçte de cesaretlendiren, bana inanan annem Sabiha ALANKAYA, babam Sabahattin ALANKAYA ve kardeşim Semih Berkay ALANKAYA'ya yürekten teşekkür ederim.

Son olarak tez çalışmam ve yüksek lisans öğrenim süresi boyunca bana en büyük desteği veren, bana inanan, çalışmalarımda beni yalnız bırakmayan, ondan çalmış olduğum zamana rağmen beni cesaretlendiren, birlikte çalıştığımız hep yanımda olan biricik eşim Sercan ÇAKAR'a sonsuz minnetlerimi ve sevgilerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Yapıyı taşıyacak zemin uygun homojenlikte ve üzerine gelen yükleri taşıyacak sağlamlıkta olmalıdır. Bu durum da uygun olmayan zeminlerin çeşitli yöntemlerle iyileştirilmesi ile mümkün olmaktadır. Arazide zemin özelliklerinin proje kriterlerini sağlamadığı hallerde geoteknik mühendisinin yapacağı ilk çalışma değişik yöntemler ile zemini iyileştirerek öngörülen kriterleri sağlamaktır (Özaydın,2010).

İnsanoğlu ilk çağlardan beri inşa ettiği yapıların emniyetini sağlamak için zemin üzerinde iyileştirmeler yapmaya çalışmıştır. Bataklık gibi gevşek zeminlerde zemin iyileştirmesini zeminin içerisine ağaç gövdeleri ve dallar gibi çeşitli malzemeler ekleyerek gerçekleştirmiştir. Bu uygulamada karşılaşılan zorluklardan bazıları; eklenen malzemenin gevşek zemin içerisine batması, kullanılan malzemenin boşluklarından zemin kabarmaları olması ve eklenen malzemenin zamanla çürümesi şeklinde gözlenmiştir. Zaman içerisinde karşılaşılan zorluklar, insanları daha dayanıklı ve kullanışlı çözümler üretmeye sevk etmiştir. (Yılmaz,2010).

Zemin iyileştirmesindeki başlıca ilkeler, zemin içerisindeki mevcut boşlukların mekanik araçlarla azaltılması, zemin boşluklarının çeşitli bileşimlerdeki karışımlarla doldurulması, yer altı su seviyesinin düşürülmesi veya zeminin su içeriğinin azaltılması ya da çeşitli elemanların kullanılması ile mevcut zeminin güçlendirilmesi şeklindedir (Altun,2011).

Babil’de binlerce yıl önce başlayan zemin içerisine çekme elemanları koyarak ilk defa uygulanan zemin güçlendirme yöntemleri daha sonraki çağlarda Henri Vidal adında bir Fransız mimar tarafından geliştirilmiştir. Vidal çelik parçalarla zemin güçlendirmesi yapmış ve bu sisteme ‘Terre Armee’ diğer bir deyişle donatılı zemin demiştir (Tuna,2008).

İkinci Dünya Savaşı sonrasında Batı’nın ilgisi tekstil endüstrisinde yüksek teknoloji ve sentetik hammaddelerin kullanımına yönelmiştir. Bunun sonucu iç pazarda rekabetin ve talebin düşmesi ile tekstil endüstrisinde kapasite fazlalığı

meydana gelmiştir. Tekstil üreticilerinin inşaat mühendisliğinin ilgi alanına giren konularda pazar arayışına girmeleriyle birlikte tekstil ürünlerinden pamuklu lifler 1900'lü yılların ilk çeyreğinden itibaren inşaat mühendisliğinin uygulama alanlarında kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz,2010).

Teknolojik gelişmelerle birlikte mühendislik uygulamalarında özellikle de kullanılan malzemelerde oldukça hızlı gelişmeler yaşanmıştır. Bu doğrultuda, üretim kalitesindeki artış, uygulama hızı, zamandan tasarruf, erişim kolaylığı ve ekonomiklik gibi avantajlarından dolayı bu malzemelerin kullanımı da yaygınlaşmıştır (Sağlam,2009).

Türkiye'de geosentetiklerin kullanımına batılı ülkelere oranla daha geç başlanılmıştır ve tüm dünyada olduğu gibi giderek hızla artmaktadır. Özellikle Geoteknik, Hidrolik ve Ulaştırma Mühendisliği uygulamalarında, geosentetik malzemelerin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu malzemeler yurdumuzda da, otoyollardaki dayanma (istinat) yapılarında, dolgularda, temel zeminlerinde, yol, havaalanı vb. yapıların temellerinde sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Geotekstiller Türkiye'de ilk defa Elmadağ üstgeçidinde donatılı zemin uygulaması şeklinde kullanılmıştır (Özaydın,2010).

Geosentetik terimi geotekstil, geogrid, geomembran, ve inşaat mühendisliğinde kullanılan benzer ürünlerin hepsini kapsamaktadır. Geosentetikler, plastik veya fiberglastan üretilir ve gözenekli kumaş, ince keçe, seyrek gözlü ağ veya deliksiz (geçirimsiz) örtü gibi malzemeler şeklindedir. Genellikle zeminin taşıma gücünün artırılması (güçlendirme), geçirimsizliğin sağlanması (yalıtım), filtre, drenaj, farklı zemin tabakalarını birbirinden ayrılması gibi amaçlar doğrultusunda kullanılırlar (Yılmaz,2010). Donatılı zemin, donatısız zeminden daha fazla yük taşımaktadır ve bu durum donatının katkısı şeklinde açıklanabilir (Özaydın, 2010). Geosentetikler önemli bir ekonomik kazanç sağlamanın yanında güvenilir ve basit uygulamaya sahip olması yüzünden tercih edilir. Geosentetikler içinde geotekstil ve geogrid en çok kullanılanlarıdır.

Zeminde geotekstil kullanımının temel amacı, zemin içerisindeki dayanımı artırması ve deplasmanları azaltıp sistemin stabilitesini artırmasıdır (Mohiuddin,2003). Karşılaşılan birçok zemin probleminde geosentetik malzeme

kullanımı hem uygun bir mühendislik çözümü, hem de ekonomik ve çevreci bir yöntem olarak görülmektedir.

Zemin-geotesentetik ilişkileri üzerine geçmişte birçok araştırma yapılmış ve çok sayıda makale yayınlanmıştır. Araştırmalardaki asıl amaç geosentetik ile zemin arasındaki etkileşimi tespit edebilmek, zeminde oluşan gerilmelerin donatıya aktarılışı sırasında gelişen davranışları incelemek gibi önemli konular üzerine olmuştur. Daha sonra bu konularda yapılacak çalışmalar için de geçmişteki sonuçları toparlayan ve üzerine eklenebilecek olan yanlarıyla başvuru niteliği olan bir çalışma olma durumu amaçlanmıştır. Gerilme-şekil değiştirme davranışını tüm yönleriyle anlamak için bu konudaki yayınlar incelenmiştir. Geçmişte yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar izlenmiş ve sonuçta bir deney programı oluşturulmuştur. Gerilme-şekil değiştirme davranışında etkili olabilecek bazı parametreler belirlenmiş ve bu amaçla 99 adet serbest basınç deneyi yapılmıştır. Geotekstil donatılı zeminlerde donatısız zeminlere göre kullanılan geotekstilin mekanik özellikleriyle ilgili olarak bazı davranış değişimleri tespit edilmiştir. Maksimum gerilme davranışlarında bir artış saptanmış ve gerilme-şekil değiştirme davranışları donatılı ve donatısız zeminler için farklı bulunmuştur.

2. GEOSENTETİKLER

İnşaat mühendisliğindeki önemli gelişmeler yapı malzemelerindeki teknolojinin gelişimine paralel olarak meydana gelmiştir. Ahşap ve yapı taşı kullanımından, donatılı beton ve çelik kullanımına geçilmesiyle daha büyük ve kullanışlı yapıların inşasına olanak sağlanmıştır. Geosentetik malzemeler 1970'li yıllardan itibaren inşaat sektöründe alt yapı imalatlarında kullanılmıştır. İlk zamanlar sadece donatı olarak kullanılmış daha sonra çeşitli amaçlarla kullanılmaya başlanmıştır (Özaydın, 2010). Geosentetiklerin donatı olarak kullanılması, zeminin kritik yönlerdeki mukavemetini arttırmak amacı ile içerisine çekmeye dayanıklı ve zeminle arasında yeterli sürtünmeye sahip polimer malzemelerden üretilmiş geosentetikler yerleştirilerek kompozit yapı oluşturulması şeklinde gerçekleşmektedir. Zemini geosentetikler ile donatılma yöntemi hem ekonomik hem de uygulama açısından en makul olanıdır (Qiming Chen, 2007).

Geosentetik ürünler her gün gelişme göstererek çok etkin mühendislik çözümleri üretilmesini mümkün kılmaktadır. Bunun yanısıra, genelde hem inşaat zamanında kısalma hem de klasik yöntemlere göre maliyette düşüş sağlayabilmek gibi önemli faydalar sağlamaktadır. Bütün bu avantajlarının da ötesinde sürdürülebilir bir çevre için çok daha uygun çözümler sunmaktadır (Güler,2014).

2.1 Tanımı

Günümüzde hızlı bir gelişim gösteren geosentetikler, polimer malzemelerdir. Polimer malzemelerin fabrikalarda işlenmesiyle elde edilen, zemin, kaya ya da diğer geoteknikle ilgili malzemelerle birlikte kullanılan düzlemsel ürünlerdir (Yılmaz,2010). ASTM, geosentetiği “bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan, polimerik malzemelerden üretilen düzlemsel ürünlerdir” olarak tanımlamaktadır.

Geosentetikler, daha özel olarak geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan, sentetik hammaddelerden üretilen, geçirimli dokuma ve geçirimsiz membran tipli tekstil ürünleri ile bu tanımın dışında kalan ve benzer sentetik hammaddelerden üretilen ağ, ızgara, tabaka, şerit hücre vb. malzemelerdir.

2.2 Tarihçesi

Zemin içine çekme dayanımına sahip malzemeler katarak inşaat malzemesi üretilmesi çok eski tarihlerden beri uygulanır. En güzel örnek günümüze kadar gelmiş olan çeşidi ile kerpiçtir. Kerpiç, toprağın içine saman karıştırılarak kalıplara dökülmesi ile elde edilir ve sıkıştırılan çamur kurutulduktan sonra yapı elemanı olarak kullanılır. Kaldeliler ve Sümerler' in yapılarında kerpiç kullanılmıştır. Mezopotamyada'da da bir başka örnek olarak kil arasına organik lifli bitkiler yerleştirilmek sureti ile Ziguratlar ve Babilin asma bahçeleri inşa edilmiştir (Güler,2014).

1960'lı yıllarda geosentetiklerin filtre ve donatı olarak kullanılmasıyla ilk yayınlar ve üretimler başlamaktadır. Paris'te 1977 yılında toplanan ilk kongre bu konularda çalışan ilk üretici ve uygulamacıları bir araya getirerek buluşturmuştur. International Geosynthetics Society (IGS) 1982 yılında kurulmuştur ve bu gün 43 ülkedeki örgütlenmesi ve 3000'i aşkın üyesi ile önemli bir meslek örgütüdür (Güler,2014).

1926 yılında Güney Carolina Karayolları tarafından ilk defa yolları güçlendirmek amacıyla dokumalar; zeminin üzerine ağır pamuk dokuma serilmesi, üzerine sıcak asfalt uygulanması ve en üste de ince bir kum tabakası serilmesi şeklinde kullanılmıştır. Sonuçlar 1935 yılında yayınlanmış ve görülmüştür ki pamuk dokuma bozulana kadar yollar servis edilebilir durumda kalmıştır (Aşkın, 2011). Ayrıca sonuçlar, kullanılan dokumaların yoldaki çatlama, sökülme ve yerel bozulmaları azalttığını da göstermiştir (Koerner, 1998). Geosentetiklerin ayırıcı ve güçlendirici olarak kullanımına bu proje öncülük etmiştir. Bunların dışında geosentetiklerden, drenaj oluşturulması ve filtrasyon açısından da yararlanılmaktadır. Geosentetikler filtrasyon amacıyla kullanıldıklarında üzerindeki zemini arkasına geçirmeyecek kadar küçük

gözenekli olmasının yanısıra ince malzeme nedeniyle tıkanmadan da su geçişine izin vermelidirler. Geosentetikler sızıntı bariyeri oluşturarak sızının bir yerden başka yere akışını engellemek amacıyla da kullanılırlar (Aşkın,2011).

Polimerik malzemelerden polivinil klorür 1933, düşük yoğunluklu polietilen ve poliamid 1939, ekspande polistiren 1950, polyester 1953, yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen 1955 yılında ilk olarak üretilmiştir. Buna rağmen, ticari birer ürün olarak üretimlerine başlanması uzun yıllar sonra gerçekleşmiştir. 1950’li yıllarda ise A.B.D.’de geomembranların kanal inşaatlarında kullanımına başvurulmuştur (Shukla ve Yin, 2006). Geomembran benzeri kauçuk yalıtım malzemeleri, yalıtım uygulamalarında 1940’lı yıllardan itibaren kullanılmaya başlanmıştır. 1950’li yıllarda Terzaghi tarafından, barajların kazık temelleri ile taş kemer dolguları arasında geotekstillere benzer malzemeler kullanılmış ve aynı projenin devamında, geomembran türevi malzemeler, sızıntı kontrolü yapımında kullanılmıştır (Sağlam, 2009). Aynı yıllarda Japonya’da kıyı yapılarının korunması ve zeminden kaynaklanan çökmelerin önlenmesi amacıyla dokuma ürünlerden yararlanılmıştır (Shukla, 2002). İngiltere’de 1978 yılında geogrid benzeri malzeme üretilmiştir. 1984 yılında ise ilk geonet uygulaması Virginia’da gerçekleştirilmiştir (Shukla ve Yin, 2006). 1970’ li yıllarda yalnızca beş veya altı geosentetik çeşidi mevcutken, günümüzde 600’ ün üzerinde farklı geosentetik çeşidi mevcuttur. Dünya genelinde geosentetik kullanımı bir milyar m²’ ye yakındır ve bu tüketim miktarının parasal karşılığı yaklaşık olarak 1.5 milyar USD’dir (Holtz, 2001).

2.3 Genel Özellikleri

Geosentetikler genelde polimer hammaddeden üretilmiş malzemelerdir. Geosentetiklerin polimer malzemeden üretilmiş olmaları, içine konulan malzemeleri bozma eğilimi olan zemin için, kullanım açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Geosentetikler uygun imalat ve tasarım koşullarında atmosfere açık uygulamalarda da başarılıdır (Güler, 2014).

Geosentetik imalatında kullanılan hammaddeler, plastik endüstrisindedir ve polipropilen, polietilen, poliester, poliamid (nylon) ve polivinil klorid gibi

sentetik maddelerden oluşmaktadır (Altun, 2011). Genelde polimerler olmak üzere cam elyaf, kauçuk ve doğal malzemelerden de üretilebilirler. Fabrika koşullarında üretilen polimerik malzemeler zemin ile birlikte kullanılarak geoteknik projelerin uygulanmasında önemli rol almaktadırlar. Bu malzemeler geoteknik özellikleri iyileştirerek, geleneksel yöntemlere göre maliyetleri de düşürerek estetik çözümler üretebilmektedir (Aşkın, 2011).

Geosentetiklerin kullanımını ile bir çok avantaj sağlanır ve bunlar şu şekilde sıralanabilir; hepsi fabrika ortamında üretildiği için kalite-kontrol sürecinden geçerler, çok hızlı uygulanırlar, genellikle doğal kaynakların yerini alırlar, zor ve uygulanabilmesi imkansız olan tasarımları uygulanabilir hale getirirler. Uygulaması çok hızlı ve pratiktir, projelerin tamamlanması sürecinde zamandan tasarruf sağlarlar. Yerini aldıkları doğal zemine karşı genellikle daha ekonomik çözümler sunarlar (Koerner, 1998).

2.4 Türleri

Geosentetiklerin çok değişik çeşitleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanları geotekstilller, geogridler, geomembranlar, geokompozitler, geonetlerlerdir. Ancak uluslar arası literatür başlıca geosentetik tiplerini şu şekilde vermektedir: geotekstilller, geogridler, geomembranlar, geonetler, geokompozitler, geosentetik düşey direnler (PVD), geocell'ler, geosentetik kil kaplamalar (GCL), erozyon kontrol ürünleri, düşey geçirimsizlik perdeleri, geofiberler, geoborular, geofoamlar (Güler, 2014). Bunların her biri farklı özelliklere sahip olduğundan dolayı farklı amaçlar için kullanılırlar.

Geotekstilller; genel bakış açısı olarak tekstil olsa da içerik olarak doğal pamuk, yün veya ipek yerine sentetik ipliklerden meydana gelmektedir. Üretim tekniği açısından başlıca örgülü ve örgüsüz olarak imal edilebilmektedir (Şekil 2.1). Örgülü geotekstilller çeşitli yöntemlerle üretildiği gibi, örgüsüz geotekstilller de elyafın iğnelenmesi (needlepunching) ve ısı ile yapıştırılması (spanbonded) yöntemleri ile üretilebilmektedir. Ayrıca ham madde olarak geotekstil üretiminde en yaygın polipropilen ve poliester kullanılmaktadır (Güler, 2014). Örgülü geotekstilller; lifli ve %100 UV-dayanımlı polipropilenden mamül

malzemelerdir ve birbirlerini dik açıyla kesen ipliklerin örülmesi ile oluşmaktadır. Yüksek çekme kuvveti altında düşük uzama oluşturarak iyi bir yük dağılımı sağlarlar. Örgülü geotekstillerin ana fonksiyonları güçlendirme, ayırma ve zemin iyileştirmedir. Örgüsüz geotekstiller (keçeler) ise, mekanik olarak (iğnelenmiş) veya ısıyla bağlanmış sürekli lifli örgüsüz ve %100 UV-dayanımlı polipropilenden oluşmuş malzemelerdir. Uygulama esnasındaki fiziksel aşınmalara dayanımı ve hidrolik özelliklerini garanti altına alması ve uzun zamanlı performans sağlaması ürünün mekanik özellikleridir. Örgüsüz geotekstillerin ana fonksiyonları; ayırma, filtrasyon ve korumadır (Özaydın, 2010).



Şekil 2.1: Örgülü (sol taraf) ve örgüsüz (sağ taraf) geotekstil örneği.

Geomembranlar, geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akışını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından mamül membran tipi kaplama ve izole bariyeri malzemelerdir şeklinde tanımlanır (ASTM) (Şekil 2.2). Düşük geçirimsizlikleri sayesinde zemin içindeki akışa engel oldukları için öncelikli fonksiyonları yalıttır (Shukla, 2002). Karayolu yapılarında su ile etkileşimi önlemek ve suya bariyer vazifesi görerek yapıdan uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla kullanımına sık başvurulur (Sağlam, 2009). Kimyasal maddelere karşı yüksek dirence sahiptir, çekme mukavemeti yüksektir, geçirgenliği düşüktür, delinme ve çatlamalara karşı dayanıklıdır. Malzeme özelliklerine göre geomembran türlerine ayrılır. Bunlardan ilki; PVC geomembran; düşük yoğunluğa sahiptir ve teknik özellikleri bakımından diğer geomembranlara göre daha geridedir. Dayanıklılık açısından daha zayıf olmasına rağmen, geomembranlar arasında daha yumuşak olması nedeniyle uygulamada bazı avantajlar

sağlamaktadır. Ayrıca diğer türler ile kıyaslandığı zaman daha ekonomik bir malzemedir. LDPE geomembran; PVC kadar olmamakla birlikte yumuşak, ekonomik, düşük yoğunluğa sahip ve yüksek mukavemetli bir geomembran türüdür. HDPE geomembranlar; basınca, yüke, darbeye ve kimyasallara karşı en yüksek malzeme özelliklerine sahip geomembran türüdür. Sahip olduğu yüksek malzeme özellikleri düşünüldüğünde ekonomik sayılabilecek bir malzemedir. Dezavantajı ise; sert bir malzeme olmasından dolayı uygulamada çeşitli zorluklarla karşılaşılabilir olmasıdır. Geomembran uygulamalarından en çok bilinenleri, binaların zemin altı kısımlarının yalıtımını sağlamak, kaya dolgu barajlarında geçirimsizliği sağlamak, geçirimsizlik tabakası oluşturmak, su kanalları, tüneller, yol kaplamalarında geçirimsizliği sağlamak, şişen zeminlerin kontrolü ile dona hassas zeminlerin kontrolünde bulunmak şeklinde sıralanabilir (Sağlam, 2009).



Şekil 2.2: Geomembran örneği.

Geogridler; üzerinde büyük kare veya dikdörtgen benzeri boşluklar olan geosentetik bir malzeme türüdür (Şekil 2.3). Ayrıca yüksek moleküler ağırlığa sahiptir. Polyester liflerinden üretilmektedir ve polimer kaplamalıdır. Bu ürünün düşük şekil değiştirme seviyesinde yüksek gerilme dayanımı sağlaması en önemli özelliğidir. Böylece granüler dolgularda iyi sürtünme açısı sağlar. Geogrid uygulamalarına donatılı duvar, zemin iyileştirme, asfalt ve beton donatısı olarak uygulamada karşılaşılır. Ana fonksiyonu güçlendirmedir. Üretim metodlarına göre değişik geogrid çeşitleri vardır. Bunlardan ilki ekstrüde geogridler ve polimer tabakaların üzerini değişik yöntemlerle keserek kare veya dikdörtgen şeklinde

delikler açmak suretiyle üretimleri gerçekleştirilir. Ekstrüde geogridler tek eksenli ve iki eksenli olmak üzere iki gruba ayrılır. Tek eksenli geogridler; paralel şeritler arası açıklık, boyuna doğrultuda enine doğrultuya göre çok daha fazladır. Boyuna doğrultudaki çekme yüklerine karşı dayanıklılıkları yüksektir (Sağlam, 2009). Yük tek doğrultuda etkiyorsa ve bu doğrultu biliniyorsa tek eksenli geogrid kullanılır (Shukla, 2002). İki eksenli geogridlerde ise; geogrid üzerindeki boşlukların en ve boyları birbirine yakındır ve boşluk yapısı kareye benzer şekildedir. Kullanıldığı uygulamada, yük dağılımı düzensiz ve hareketli yükler değişken doğrultularda ortaya çıkıyorsa bu tür geogridlerin kullanımına ihtiyaç duyulur (Shukla, 2002). Bir başka geogrid çeşidi olan yapıştırma geogridler; polimerik şerit şeklindeki malzemelerin, iki doğrultuda birbirine paralel olarak dizilmesi ve bu şeritlerin yapıştırma veya presleme yöntemiyle birleştirilmesi sonucu elde edilir. Son olarak dokuma geogridler ise; polimerik şerit şeklindeki malzemelerin, dokuma yöntemiyle birleştirilerek geogrid formuna getirilmesi ile elde edilir. Geogridlerin kullanım alanı oldukça geniştir. Özellikle güçlendirme uygulamalarında, şev stabilitesinin artırılmasında ve donatı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kaplamasız yollarda, agreganın altında, toprak dolguların ve dolgu barajların güçlendirilmesinde, heyelanlarının onarılmasında, kaplamalarda asfalt donatısı olarak da kullanılır. Geogridler kaplamalı yollarda temel altında güçlendirme amaçlı kullanılır, aynı zamanda yüzeyi bozulmuş, çatlaklı yol kaplamalarının onarımında da kullanılmaktadır. Kaplamasız yollarda geogrid kullanılmasıyla dinamik yüklerin daha düzenli yayılması ve temel tabakasının homojen olmamasından kaynaklanan yumuşak zemin kısımlarındaki oturmalar önlenir. Şevlerde geogrid kullanımı sayesinde daha dik şevlerin inşası mümkün olmaktadır (Sağlam, 2009).



Şekil 2.3: Geogrid örneği.

Geonetler; ekstrüzyon yöntemi ile polimerlerden üretilir ve geogridlere benzer malzemelerdir (Şekil 2.4). Hatta geogridlerin bir çeşidi olarak düşünülebilir. Aralarındaki fark kullanım amaçlarından kaynaklanır. Geogridler güçlendirme, geonetler drenaj amaçlı kullanılır. Daha çok geotekstil, geomembran gibi malzemelerle birlikte kullanılır. Böylelikle kullanıldıkları zemindeki akıştan dolayı gözeneklerin tıkanması da engellenmiş olur.



Şekil 2.4: Geonet örneği.

Geokompozitler; geotekstil, geogrid, geomembran, geonet gibi geosentetiklerin iki veya daha fazlasının bir arada kullanılması ile oluşan malzemelerdir. Güçlendirme, ayırma, filtrasyon, drenaj, yalıtım ve koruma uygulamaları gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler ve yeni ürünlerin çıkmasıyla beraber gün geçtikçe çoğalmaktadır.

Geosentetik kil örtüleri de bir kompozit malzemedir (Şekil 2.5). Üst ve alt katmanları birbirine mekanik olarak (iğnelenmiş) bağlanmış örgüsüz geotekstil ve geomembranın kompozisyonlarından elde edilebilir. Orta katmanda sızdırmazlığı sağlayan bentonit bulunur ve malzemeler arası bütünlük iğneleme, dikiş ya da fiziksel bağlar yardımıyla gerçekleştirilir. Ana fonksiyon yalıttır ve tam bir sızdırmazlık gerektiren uygulamalarda kullanılır (Özaydın, 2010).



Şekil 2.5: Geosentetik kil örtüsü örneği.

Geowebler, polimerik alaşımdan yapılmış ve toprağı hücresel olarak hapsederek dağılmasını engelleyen malzemelerdir (Şekil 2.6). Üzerine yük binen zeminlerde, erozyon kontrolünde ve eğimli alanların yeşillendirilmesinde ihtiyaç duyulur. Ana fonksiyonu zemin güçlendirme, erozyon kontrolü ve zemin yeşillendirme olarak sayılabilir (Özaydın,2010).



Şekil 2.6: Geoweb örneği.

Erozyon kontrol matları; tek lifli polipropilen veya doğal malzemelerden elde edilen ve toprağı tutup suyun akışını sağlayarak eğimli yerlerde kalıcı bir yeşillenmeyi sağlayan ana fonksiyon erozyon kontrolü olan malzemedir (Özaydın,2010) (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Erozyon kontrol matı örneğı.

Geosentetik donatılı duvar; geogrid donatılı şevlere benzer olup, zeminin tabakalar halinde sıkıştırılıp arasına geogrid yerleştirilmesi şeklinde uygulanır. Ancak, yüzeylerine prekast beton veya beton blok kaplama yapılması sonucu şevlerden farklı olarak istinat duvarı benzeri yapılar inşa edilebilir. Yüzey kaplaması duvar yüzündeki malzemenin akmasını önlemek için yapılır (Sağlam, 2009). Şevli kazıların da zemin çivileri ile donatılarak daha dik açılarda tutulması çok yaygın bir uygulama iken dolgu şevlerinde ise en yaygın yöntem, geosentetik donatı kullanmaktır. Geosentetik donatılı istinat duvarlarının kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. Bunu asıl sebebi ekonomik tercihler gibi görünse de, artık geosentetik donatılı duvar ve şevlerin, özellikle de deprem durumunda çok daha iyi bir davranış sergilediğı bilinmekte, bu sebeple de rijit betonarme istinat duvarlarından daha fazla tercih edilmektedir (Koseki vd., 2006). Tatsuoka (1996) da yayınladığı bir vaka analizinde Japonya’da inşa edilmekte olan Hokkaido Shinkasen hızlı tren hattında tam 3.500 m uzunluğunda geosentetik donatılı duvar imal edilmekte olduğunu ve bu duvarların maksimum yüksekliğinin 11 m olduğunu ifade etmiştir. Aynı projede maksimum yüksekliği 13,4 m olan 29 köprü kenar ayağı da geosentetik donatılı duvar olarak

tasarlanmıştır. Ayrıca bir adet geosentetik donatılı entegre köprü inşa edilmiştir. Amerikan karayolları idaresi de bu tip köprülerin tasarımı ile ilgili yeni bir tasarım şartnamesi yayınlamıştır (Adams vd., 2011). Yukarıda kısaca özetlenen bilgiler, geosentetik donatılı istinat duvarlarının hem ekonomik, hem de mühendislik özellikleri açısından çok büyük üstünlükler sağlayan çözümler sunduğunu söylemektedir. Geosentetik donatılı istinat duvarlarının bir diğer avantajı da, betonarme istinat duvarları gibi paneller halinde inşa edilmedikleri için çok çeşitli geometrik koşullara kolayca uyum sağlayabilmesidir. Hem temel kotunda duvar uzunluğunca mevcut dik eğimlere son derece kolayca uygulanabilmekte hem de duvar üst kotları istenilen geometriye kolayca uydurulabilmektedir (Güler,2014).

2.5 Kullanım Amaçları

Geosentetikler zeminle ilgili birçok problemin çözümünde yaygın olarak kullanılır. Geosentetik malzemelerin kullanım amaçları, işi daha etkin (malzemenin zamanla bozulmadan kalması veya fazla sızıntının engellenmesi gibi) ve işi daha ekonomik yapabilmektir (ilk yatırım maliyetini düşürmek, daha iyi duraylılık sağlamak, daha uzun ömürlü imalatlar yapmak ve bunların sonucunda bakım maliyetlerini düşürmek). Geosentetiklerin başlıca kullanım amaçları ayırma, güçlendirme, filtrasyon, drenaj, koruma ve yalıtım (sıvı ya da gaz bariyeri olarak) olarak sınıflandırılabilir. Birçok alanda geosentetiklerin kullanımı güvenlik sayısını arttırmakta, performansı iyileştirmekte, diğer inşaat alternatifleri ve tasarım yöntemleriyle kıyaslandığında daha ucuz ve daha hızlı imalat olanağı sağlamaktadır.

3. GEOTEKSTİLLER

Geoteknik mühendisliğindeki uygulamalarda ve zemin malzemesinde diğer inşaat mühendisliği dalları ile kıyaslanıldığında paralel bir ilerlemeden bahsetmek mümkün olmamaktadır. Bunun sebebi geoteknik mühendisliğinin materyallerinin zemin ve kaya olması şeklinde yorumlanabilir. Kompaksiyon ve diğer zemin iyileştirme yöntemleri ihtiyaçlar doğrultusunda ve imalatçıların ortaya çıkardıkları yenilikler sonucu meydana gelmişlerdir. Donatılı zemin bu yeniliklere en iyi örnektir. Düşük veya hiç çekme kuvveti olmayan zeminlere çekme dayanımı kazandırmak amacıyla donatılı zemin kullanılmaktadır. Geotekstiller bu doğrultuda en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir (Kotan,2008).

3.1 Geotekstillerin Tanımı

Geotekstil toprak anlamına gelen geo kelimesi ile tekstil kelimesinden oluşmuştur. Geotekstil, esnek tabakalar şeklindeki geçirimli, polimerik tekstil ürünlerdir (Shukla ve Yin, 2006). ASTM geotekstili, insan yapısı bir proje, yapı veya sistemin bir parçası olarak temel elemanı, zemin, kaya veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile kullanılan geçirimli tekstil ürünüdür şekilde tanımlar. Geotekstiller, geosentetiklerin en çok ve en yaygın kullanılan sınıfıdır.

Geotekstiller, sürekli veya kesikli lifler şeklinde veya örgülü ve örgüsüz kumaşlar şeklinde olabilmektedir. Geotekstiller çeşitli kullanım amaçlarına göre çeşitli özelliklere sahiptir. Bunlar arasında en önemli performans özellikleri çekme dayanımı, yırtılma dayanımı, delinme dayanımı, su geçirgenliği, hava geçirgenliği, yatay su geçirgenliği, ısı yalıtımı, gözenek boyutu, kalınlık, gramaj ve benzerleridir (Can, 2008).

Gelişme sürecinde olan ülkelerin altyapı yatırımları çok miktarda geotekstil ihtiyacını da beraberinde getirmektedir. Geotekstiller konusunda

gerçekleştirilen araştırmalar uzun yıllar gömülü kalacak dayanıklılıkta ve sürekli performans sağlayacak tekstiller üzerinde yapılmaktadır (Can, 2008).

3.2 Geotekstillerin Tarihçesi

Geotekstilller, ilk olarak 1950'li yıllarda erozyon kontrolünde, zemin filtrasyonu uygulamalarında ve kıyılardaki istinat duvarlarında kullanılan bloklarda kullanılmıştır (Sağlam, 2009). 1960'ların sonlarına doğru Fransız tekstil firması Rhone-Poulenc örgüsüz iğne delikli kumaşları farklı uygulamalarda kullanmıştır. Bu farklı uygulamalara örnek: kaplamasız yolların güçlendirilmesi, demiryolları balastı, dolgular ve toprak barajlarda; güçlendirme ve ayırma amaçlı kullanılmasıdır. Ayrıca bu fonksiyonların yanında kumaşların su geçişine izin vererek drenaj vazifesi yaptığı görülmüştür (Aşkın,2011). 1970'li yıllarda geotekstil üretimine tüm dünyada önem verilmiş ve malzeme kalitesinde önemli ilerlemeler gerçekleştirilmiştir. Geotekstil kullanımı ile ilgili önemli araştırmalar yapılmış, dünyanın esitli yerlerinde önemli konferanslar verilmiştir (Koerner, 1998). Hollanda'da ve İngiltere'de de geotekstillerin ilk kullanımı ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. ICI Fibres firması da örgüsüz, ısıl işlem kaynaklı tekstillerin kullanılmasında önemli rol oynamıştır ve Amerika'da kullanılan ilk geotekstil, Mirafi şirketi tarafından bu firmadan ithal edilmiştir. Bu firmaya ek olarak Avusturya firması olan Polyfelt ve Avrupa ile Amerika'da faaliyet gösteren DuPont firmaları da örgüsüz geotekstillerin üretimi konusunda nc firmalardandır (Aşkın,2011).

3.3 Geotekstillerin Hammaddeleri

Geotekstillerin retiminde yaygın olarak polipropilen, polyester, poliamid (nylon) ve polietilen hammaddeleri kullanılmakta ve bunların arasında polipropilen ve polyestere ekonomik olmaları sebebiyle daha çok karşılaşılmaktadır (Shukla, 2002). Kullanım oranlarına göre sıralandıklarında %85 ile polipropilen başta bulunmakta ve sırasıyla polyester %12, polietilen %2 ve poliamid %1'lik kullanıma sahiptir (Koerner, 1998).

Tablo 3.1: Polimer grubu özelliklerinin karşılaştırılması (Benek, 2006).

Polimer Grubu Özellikleri	Poliester	Poliamid	Poliprolen	Polietilen
Dayanım	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Elastisite Modülü	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Kopma Uzama	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Sünme	Orta	Orta	Yüksek	Yüksek
Birim Ağırlık	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Maliyet	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük

Tablo 3.1’ de gösterilen farklı polimerlerin karşıştırmalarını Benek (2006), yapmıştır. Polietilenin özelliklerine bakıldığında; bükülüp eğilmesi kolaydır, yüksek dayanım modüllerine sahiptir, sürtmeye karşı dayanıklıdır ve 200°C’ ye kadar mekanik özelliklerini korur. Solventlere, deniz suyuna, asitlere karşı dayanıklıdır. pH’ın 11’den büyük olduğu durumlarda bazik maddelere duyarlılık gösterir ve malzeme özelliklerini iyileştirmek için katkı maddesi kullanılabilir (Benek, 2006) (Tablo 3.2). Poliester lifleri ve poliamid lifleri benzer yapıda olup aralarındaki fark benzen halkarından kaynaklanır. Poliester poliamid ve polipropilene göre daha rijittir, çekme ve basınç dayanımı açısından değerlendirildiğinde ise yüksektir (Hockenberger, 2004) (Tablo 3.2). Polipropilen (PP); yaygın kullanılan, çok iyi aşınma dayanımına sahip, alkali ortama çok iyi direnç gösteren ve düşük maliyetli polimerlerdir (Saraç, 2004). Kimyasal açıdan en dirençli hammaddeler Polipropilen ve polietilendir (Can, 2008) (Tablo 3.2). Polietilen (PE); yüksek yoğunluklu, yüksek kristalin yapıda (%80 kristalinite gözlenir), uzun zincirli polietilen yapıdan elde edilir ve PE lifi yüksek mukavemet ve düşük uzama sergiler (Saraç, 2004). Geotekstil üretiminde LDPE: Düşük yoğunluklu polietilen (Yoğunluğu 920-930 kg/m³), HDPE: Yüksek yoğunluklu polietilen (Yoğunluğu 940-960 kg/m³) olmak üzere iki ayrı tip polietilen kullanılmaktadır. HDPE; LDPE ile karşılaştırıldığında daha katı ve sert bir yapıdan oluşur, kimyasal dayanımı da daha yüksektir. Polietilene de özelliklerini iyileştirmek için katkı maddesi ilave edilebilir. Uzun süre ışık alması, yüksek sıcaklığa maruz kalması ya da nemli bir ortamda kalması halinde polietilen malzeme de bozulma gözlenir ve bu nedenle PE ürünlerin saklanması dikkatli olunmalıdır (Benek, 2006) (Tablo 3.2). Poliamidler;

yüksek mekanik dayanım göstermesi, aşınmaya karşı dirençli olması, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek sıcaklıklara kadar özelliklerini koruyabilmesi gibi birçok önemli özelliğe sahip yaklaşık %50 kristalinite değerine sahip bir malzeme türüdür (Kazanaç, 2002). PA 'nın mekanik özelliklerine bakıldığında malzemenin sulu ortamlara karşı duyarlı olmasından dolayı zeminin neminden etkilendiği görülür. Geotekstil üretiminde PA6 ve PA6.6 kullanılır (Tablo 3.2). Katkı maddelerinin kullanımı ile malzeme özellikleri istenilen düzeye çıkarılabilir ve ıslak, ısı etkisiyle bozulmalara engel olunulabilir (Benek, 2006) (Tablo 3.2).

Tablo 3.2: Geotekstil üretiminde kullanılan hammaddelerin teknik özellikleri (Benek, 2006).

Özellik	PA 6	PA6.6	PET	PP	LDPE	HDPE
Birim hacim ağırlık Kg/m ³	1 140	1 140	1380	900-930	920-930	940-960
Kristallik(%)	60	60	30-40	60-70	40-55	60-80
Erime Sıcaklığı(°C)	215-220	250	250-260	160-165	110-120	125-135
Müsaade edilen mak. Proses sıcaklığı (°C)	190	200	200	130	90	100
Müsaade edilen min. Proses sıcaklığı (°C)	-60	-60	-60	-40	-40	-40
Su absorpsiyonu, 20 °C de %65 bağı nemde(%)	4	4	0.4	0	0	0
Su absorpsiyonu, 20 °C de su içinde(%)	10	10	1	0.01	0.01	0.01
Elastisite modülü (N/mm ²)	3-4	3-4	12-18	2-5	Değişken	Değişken
Çekme dayanımı (N/mm ²)	700-900	700-900	800-1200	400-600	80-250	350-600
Kopma uzaması(%)	18-25	15-28	8-15	10-40	20-80	10-45
Çekme dayanımı ıslak (N/mm ²)	600-800	600-800	800-1200	400-600	80-250	350-600
Kopma uzaması ıslak(%)	20-30	18-30	8-15	10-40	20-80	10-45

3.4 Geotekstillerin Sınıflandırılması

Yapım tekniklerine göre geotekstillere sınıflandırıldığında örgülü ve örgüsüz olmak üzere başta ikiye ayrılır daha sonra bu iki grup kendi aralarında yapıldıkları fiberlerin veya ipliklerin cinsine göre alt gruplara ayrılır. Örgüsüz

geotekstillerde fiberlerin birbirlerine bağlanma prosesi, örgülü geotekstillerde ise örme teknikleri alt grupları oluşturur. Geotekstillerin çeşitli yöntemler kullanılarak sınıflandırılmalarının başında yapım teknikleri, polimer bileşimleri (PA, PP Geotekstil gibi), ağırlıkları/kalınlıkları, mühendislik fonksiyonları, mekanik, fiziksel ve hidrolik özellikleri gelir.

Örgülü geotekstillere; ipliklerin dokuma tezgâhlarında bir yönde uzatılan bir lif veya şeritler arasından onlara dik olarak lif veya şerit geçirilmesi şeklinde örülerek elde edilir ve iki yönde kesintisiz iplik içerir. Bir başka deyişle iki veya daha fazla iplik dizisinin düzgün açılarla, geleneksel dokuma yöntemleri kullanılarak birleştirilmesi sonucu elde edilir (Shukla ve Yin, 2006). Kullanılan ipliğin hammaddesine ve çeşidine göre elde edilen farklı geotekstillere farklı fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikler sergiler. Örgülü geotekstillerin yapısındaki ipliğin tüm teknik avantajlarından faydalanılarak düşük şekil değiştirmeler ile yüksek dayanım elde edilir. Ayrıca yüksek çekme dayanımı istenildiğinde de örgülü geotekstillere kullanılır. Örgülü geotekstillere monofilament, multiflament ve şerit veya film örgülüler olmak üzere üç gruba ayrılır. Bunlardan ilki monofilament örgülüler tek kalın iplikten oluşur. Genelde polietilen ve polipropilenden üretilir. Zemin içindeki akışa karşı dayanımları düşüktür ve iplik dizilerinin arasındaki boşluklar, zeminin tane boyutuna göre düzenlenmelidir (Van Santvoort, 1994). Multiflament örgülüler ince liflerin bir araya gelmesi ile meydana gelir. Genelde poliamid ve polyester tipi polimerlerden üretilirler. Görünümleri kumaş şeklindedir ve burulmuş veya burulmamış iplik dizilerinden dokunurlar (Van Santvoort, 1994). Şerit veya film örgülüler ince uzun filmlerin şerit halinde kesilmesi ile elde edilir (Kotan, 2008). Yapı olarak monofilament örgülü geotekstillere benzerler ve gözenek oranları az dolayısıyla düşük geçirimsizliğe sahiptirler. Tıkanma ihtimalleri yüksektir (Tunç, 2002). Örgülü geotekstillere yük taşıma kapasitesini arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Uygulama alanları: bisiklet yolları, otoyollar, şehir içi yollar, karayolları, kırsal kesim yolları, geçici yollar, donatılı toprak duvarlar, demiryolları, tramvay ve hafif raylı sistemler, yaya yolları, hava alanları ve drenaj sistemleri şeklinde sıralanabilir.

Örgüsüz geotekstillere; polimer ipliklerin belli bir yönde veya rastgele doğrultuda, gevşek ağ yapısı şeklinde birleştirilmesiyle meydana gelir (Shukla,

2002). Örgüsüz geotekstillerin yapısında atkı ve çözgü yoktur. Sonsuz lifler ve parça lifler diye kendi içinde ikiye ayrılır. Örgüsüz geotekstiller üç yöntemle birbirine bağlanır. Bunlar mekanik bağlama, ısı yoluyla bağlama ve kimyasal bağlamadır. Isı yoluyla bağlanan örgüsüz geotekstiller daha az mukavemet gösterir ve düşük şekil değiştirme altında ani kopma gözlenir. Mekanik bağlama ile üretilen geotekstiller ise daha büyük şekil değiştirme davranışı sergiler (Kotan, 2008). Örgüsüz geotekstillerin kullanım alanları: kalıcı yol yapımlarında, asfalt yenilemek gibi yol inşaatlarında, bina inşaatlarında, kanallar veya şevler gibi zemin uygulamalarında, drenaj ve filtrasyon sistemlerinde, barajlar ve diğer hidrolik yapılarda ve atık depolama sahaları ile arıtma tesislerinde şeklinde sıralanabilir.

3.5 Geotekstillerin Ek Yerleri ve Birleşim Yöntemleri

Örgülü ve örgüsüz geotekstillerin ek yerleri ve birleşim yöntemleri birbirlerinden farklıdır. Eklerin performansı yük aktarmaları ya da gelen yük altındaki şekil değiltirme ile belirlenir. Ek yerlerindeki birleştirme yöntemi seçilirken geotekstilin uygulama alanı da göz önünde bulundurulmalıdır. Örnek vermek gerekirse birleşim yeri çekme kuvvetini karşılaacaksa örme yoluna gidilmelidir.

Örgülü ekler; arazide taşınabilir örgü makineleri ile maksimum dikiş kalınlığı 9.5 mm, dikiş aralıkları 3 mm ile 8.5 mm arasında olacak şekilde tek sıra veya çift sıra dikiş yapılarak oluşturulur. İpliklerin çekme mukavemetleri 80 N ile 360 N arasında değer almaktadır (Kotan, 2008). Dikiş tipleri düz, J tipi, kelebek olarak adlandırılır. Çeşitli araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen deneylerde “düz” tip dikişlerin en düşük yük taşıma kapasitesine sahip olduğu ve J” tipi ile “kelebek” tipli olanların ise esas geotekstile göre % 80 civarında yük taşıma kapasitesine sahip oldukları gözlemlenmiştir (Kotan,2008). Araştırma sonuçları değerlendirildiğinde uygun dikiş tipinin geotekstilin cinsine göre farklılık göstermekte olduğu görülür (Töremiş, 2003).

Yapıştırma ekler; kayma ve çekme ekleri şeklinde iki çeşittir. Ek yerleri sıvı yapıştırıcılar ya da iki taraflı yapışkan bantlar yardımıyla birbirlerine

yapıştırılır. Bu metodda yapıştırma yapılacak ek yerlerindeki yüzeyler kuru ve temiz olmalıdır. Yapılan deneylerde kayma tipi ekler çekme tipi eklere göre daha iyi sonuçlar vermiş ve %100 taşıma gücüne ulaşarak minimum şekil değiştirme ile ek yeri deplasmaları 0 mm ile 15 mm arasında kalmıştır (Kotan, 2008).

Isıl birleşim yöntemi ile üretilen örgüsüz geotekstillerde, sürekli (uzun) polimer iplikler kullanılır ve bu iplikler birbirine karıştırılarak yığın haline getirilir. Daha sonra bu yığın halindeki iplikler fırın ya da sıcak rulolar ile ısıtılarak ipliklerin birleşim yerlerinin birbirine yapışması sağlanır. Ardından silindir veya benzeri makinelerle sıkıştırılır. Bu birleşim yöntemiyle yapılan üretimde genelde tek bir polimer türü kullanılmakla beraber, değişik polimer tiplerinin birlikte kullanıldığı durumlar da mevcuttur (Charles ve Walker, 1991).

Mekanik birleşimde; değişik boylardaki polimer ipliklerin iğneleme yoluyla birbirine rastgele bağlanması sonucu karmaşık bir iplik yapısı oluşturulur. Üretim gevşek durumdaki liflerin taşıyıcının üzerine serilmesi ve taşıyıcının hareketi ile kancalı iğnelerin aşağı yukarı hareketi ile birlikte liflerin karışması şeklinde gerçekleşir. Bu yöntemle üretilen geotekstillere keçe görünümünde ve göreceli olarak kalın malzemeler sayılır. Ancak iğnelerin dağılımı ayarlanarak geotekstilin sıklığı artırılıp azaltılabilir. Isıl birleşime göre daha düzenli boşluk boyutuna sahiptir ve ısıl birleşimle üretilen geotekstillere göre delinme dayanımı daha düşüktür (Charles ve Walker, 1991).

Kimyasal birleşim; mekanik yöntemle üretilen geotekstillere bağ yapısının güçlendirilmesi için kullanılır. Mekanik yöntemle üretilen geotekstil polimer iplikleri önce akrilik banyosuna yatırılır ya da sprey yöntemiyle yapıştırıcı madde enjekte edilir. Bunun sonucunda daha güçlü bir şekilde birbirine yapışan iplikler elde edilir (Charles ve Walker, 1991).

3.6 Geotekstillerin Fiziksel, Mekanik ve Hidrolik Özellikleri

Geotekstillerin fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri kullanım alanları açısından önemlidir. Geotekstillerin fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikleri kullanılan polimerlerin özelliğine ve geotekstilin üretim sürecine bağlı olarak

değişmektedir. Geotekstillerin fiziksel özellikleri dört grupta incelenir ve bunlar; özgül ağırlık, birim alan ağırlığı, kalınlık ve sıklıktır. Mekanik özellikleri ise; sıkışabilirlik, çekme mukavemeti (basit çekme testi, geniş numune çekme testi, iki eksenli çekme testi), sınırlandırılmış çekme mukavemeti, yırtılma mukavemeti, darbe mukavemeti, delinme mukavemeti, dikiş yeri mukavemeti diye gruplara ayrılır. Son olarak hidrolik özellikleri ise; porozite, boşluk boyutu, boşluk alanı yüzdesi, permitivite, transmissivite diye gruplanır.

Fiziksel özellikler geotekstillerin tip ve türlerine göre belirlenir ve herbiri için değişiklik gösterir.

Özgül ağırlık; maddenin birim hacim ağırlığının 4°C'deki damıtılmış, havası alınmış suyun birim hacim ağırlığına oranıdır. Bu oranlamada hacmin doğru ve boşluksuz hesaplanması için malzemenin su içinde kapladığı hacimden bahsedilir (Koerner, 1998). Herhangi bir geotekstil türünün özgül ağırlığı aslında geotekstilin imal edildiği polimerik hammaddenin özgül ağırlığıdır. Geotekstil hammaddesi olarak kullanılan bazı polimerik malzemelerin yoğunlukları Tablo 3.3'de gösterilmektedir. Tabloda görüldüğü üzere bazı polimerlerin (polietilen ve polipropilen) özgül ağırlık oranları 1'in altındadır. Suyun altında yapılacak çalışmalarda dikkate alınmalıdır. Bunun nedeni birim hacim ağırlığı sudan düşük olanlar, suda yüzeceklerdir.

Tablo 3.3: Polimerlerin yoğunlukları (Van Santvoort, 1994).

Polimer	Yoğunluk
Çeşidi	(g/cm ³)
PP	0.90-0.91
PET	1.38
PA	1.14
PE	0.92-0.96

Birim alan ağırlığı, bir geotekstilin birim alandaki ağırlığıdır. Hesaplanırken genelde 100 cm²'den daha büyük bir numunenin, herhangi bir

çekme kuvvetine maruz kalmaksızın net yüzey alanı belirlenir ve numunenin net ağırlığı belirlendikten sonra ölçülen alana bölünmesi sonucu numunenin birim alan ağırlığı belirlenir. Genelde örgüsüz geotekstillerin birim alan ağırlığı 100 ile 1000 g/cm² arasındadır ve en aygın kullanılanları 100 ile 300 g/cm² arasındaki örgüsüz geotekstillerdir. Örgülü geotekstiller örgüsüz geotekstillere göre daha ağırdır ve 100 ile 2000 g/cm² arasında değişen birim alan ağırlığa sahiptirler. Birim alan ağırlığı düşük olan geotekstiller ayırma amaçlı olarak kullanılırken yüksek birim alan ağırlığına sahip örgülü geotekstiller güçlendirme, örgüsüz geotekstiller ise filtrasyon ve koruma uygulamalarında tercih edilir (Van Santvoort, 1994).

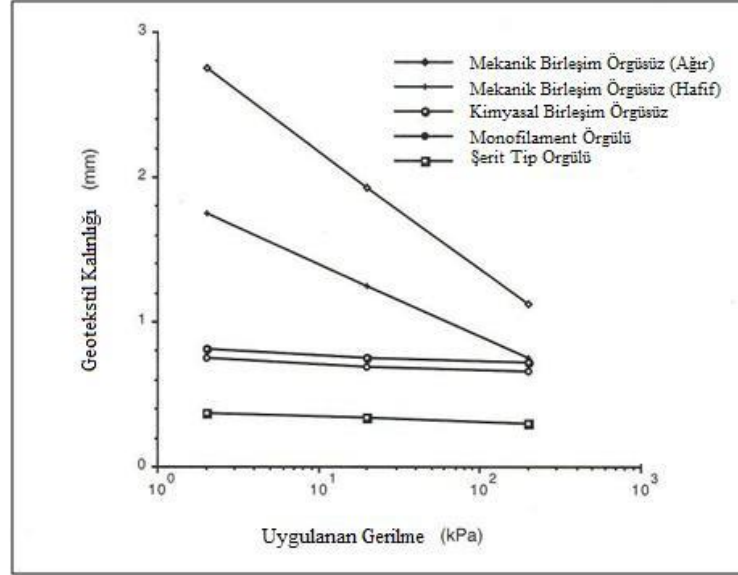
Bir geotekstil kalınlığı, en üst ile en alt yüzeyi arasında ASTM D5199 için 2.00 kPa basınç ölçülen mesafedir. Geotekstillerin kalınlığı genelde 0.2 mm ile 10 mm arasında değişkenlik göstermektedir (Shukla ve Yin, 2006).

Bir geotekstil sıklığı, malzemenin kendi ağırlığı altında eğilmeye karşı gösterdiği dirençtir. Sıklık belirleme testi “Single Cantilever Test” olarak bilinir. Bu testte, numune bir platform üzerine yerleştirilerek üzerine bir ağırlık konur ve uzun doğrultuya paralel olarak platform dışına doğru kaydırılmaya başlanır. Platform dışına taşan kısmın düşeydeki hareketi takip edilerek numunenin yatayla arasında oluşan açı 41.5° ulaştığında platformdan sarkan kısmın uzunluğu ölçülür. Ölçülen mesafe ikiye bölünerek eğilme uzunluğu bulunur. Bulunan eğilme uzunluğu değerinin küpü, numunenin birim alan ağırlığıyla çarpılarak malzemenin sıklığı hesaplanır. Yumuşak zeminlerde kullanılan geotekstillerin yüksek sıklığa sahip olması uygulamada tercih edilir (Shukla ve Yin, 2006).

Mekanik özellikler, geotekstillere uygulanan yüklerin uygulama koşullarından kaynaklanan çekme gerilmesine karşı direncini gösterir.

Bir geotekstil sıkışabilirliği, değişen normal yükler altında malzemenin kalınlığındaki değişimdir. Çoğu geotekstil için sıkışabilirlik düşüktür ve bir geotekstil yükler altında ne kadar çok sıkışırsa, onun düzleminden geçireceği sıvı akışı da o kadar az olur. Geotekstillerin sıkışabilirliğinin ölçümü için uygulanan test metodunda numune iki plaka arasına yerleştirilir ve plaka çift taraflı sıkıştırılarak numune üzerine normal kuvvet uygulanır. Numune üzerine

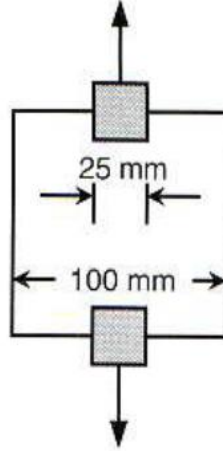
uygulanan gerilme altında numunede meydana gelen şekil değiştirme kaydedilir (Şekil 3.1). Mekanik birleşimli örgüsüz geotekstillerin sıkışabilirliği diğer geotekstillere göre gözle görülür seviyede yüksektir (Koerner, 1998).



Şekil 3.1: Değişik geotekstillerin sıkışabilirliği – (Koerner, 1998).

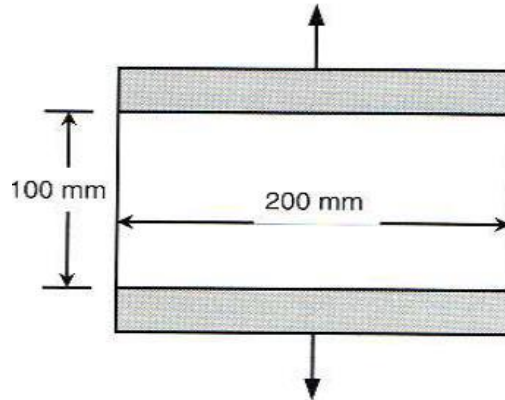
Çekme mukavemeti; kullanılan malzemeye etkiyen dış yükler altında, malzemenin bu yüklerden kaynaklanan şekil değiştirmelere gösterdiği maksimum direnç şeklinde tanımlanır. Geotekstillerin çekme dayanımları en önemli malzeme özellikleridir. Özellikle zeminlerdeki güçlendirme uygulamalarında, zemine gelen çekme gerilmeleri geotekstillere taşındığı için geotekstillerin çekme dayanımları son derece önemlidir. ASTM'de çekme dayanımının belirlenmesi için birden fazla test yöntemi vardır. Bu testler bir parça geotekstilin mekanik test makinasına kısaçaklarla tutturulması ve geotekstil kopana kadar gerilmeye devam edilmesi şeklindedir. Test boyunca uygulanan yük altında geotekstilin uğradığı şekil değiştirme ölçülür ve gerilme-şekil değiştirme eğrisi çizilir. Bu eğriler yardımı ile maksimum çekme gerilmesi (geotekstilin dayanımı olarak da tanımlanabilir.), geotekstilin özelliğini yitirdiği andaki şekil değiştirme (maksimum uzama), dayanıklılık (geotekstil zayıflamadan önceki birim hacimde yapılan işi gösterir, genelde gerilme-şekil değiştirme eğrisinin altında kalan alan olarak alınır.), elastisite modülü (gerilme-şekil değiştirme eğrisinin doğrusal olan ilk kısmının eğimi) gibi değerler elde edilir. Çekme testlerinde en çok kapma testi

(ASTM D4632: 2008) denilen basit çekme deneyi kullanılır. Bu deneyde 100 mm genişliğinde ve 150 mm uzunluğunda bir geotekstil numunesi Şekil 3.2’de de gösterildiği gibi üst ve alttan sıkıştırılır ve çekme testine maruz bırakılır. Bu testten, geotekstilleri birbirleriyle kıyaslarken ya da fabrikaların kalite kontrol birimlerinde sıklıkla yararlanır.



Şekil 3.2: Kapma testi (Koerner,1998).

Geniş geotekstil ile yapılan çekme testi, geotekstillere ile tasarım yapılacağı zamanlarda tercih edilir. Testte 200 mm genişliğinde ve 100 mm yüksekliğinde geotekstil kullanılır (ASTM D4595 ve ISO 10319:2008). Kapma testi, kolay ve ufak numune boyutları ile gerçekleştirildiği için en çok tercih edilen deneydir ama bu testte elde edilen sonuçlar daha güvenilirdir. Bu testte diğer testlere göre malzemenin en yüksek değerlerde çekme dayanımları elde edildiği için tasarımda geniş numune çekme deneyi testi tercih edilir (Şekil 3.3).



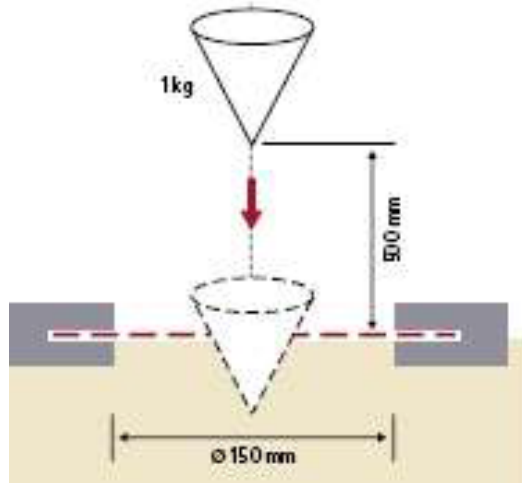
Şekil 3.3: Geniş numune çekme testi (Koerner,1998).

Şu ana kadar bahsedilen çekme testlerinin tamamında, numunenin çekme dayanımı, gerçek uygulamada geotekstillerin maruz olduğu durumlar farklı olmasına rağmen herhangi bir yanıl etki söz konusu olmaksızın gerçekleştirildi. Sınırlandırılmış çekme mukavemeti testinde, önceki testlerde olduğu gibi numune iki adet mengene arasına yerleştirilir. Farklı olarak, numunenin en alt ve en üstüne ince membran tabakaları yerleştirilir ve bu tabakalarla numune arasına zemin tabakası yerleştirilerek test uygulanır. Böylece, geotekstillerin zemin içindeki davranışlarına benzer sonuçlar elde edilir (Koerner, 1998).

Yırtılma mukavemetinde amaç geotekstilde meydana gelen bir yırtığın uzamaya karşı direncini belirlemektir. Geotekstilleri oluşturan ipliklerde veya birleşim yerlerinde, dış kuvvetlerin de etkisiyle kopmalar meydana gelir ve bu kopmalar sonucunda malzemenin yapısında yırtılma gözlenir. Geotekstil yapısındaki bu yırtıklar tek doğrultuda olabileceği gibi iki doğrultuda da gerçekleşebilir. Örgüsüz geotekstillerde yırtılma genelde tek doğrultuda oluşur. Örgülü geotekstillerde ise her iki doğrultuda da oluşabilir. Hatta yırtılma, uygulanan kuvvet doğrultusu dışında herhangi bir doğrultuda gerçekleşebilir. Yırtılma, malzemenin çekme mukavemeti ile doğrudan ilgilidir. Bu mukavemetin ölçülmesi için ASTM Standartlarında değişik test yöntemleri bulunmaktadır (Van Santvoort, 1994). Geotekstillere yırtılma ile ilgili yapılan üç ayrı test çeşidi mevcuttur. Trapezoidal yırtılma testi ile geotekstilde işleme başlamadan önce 150 mm kesik açılır ve bir gerilme test cihazının içine çapraz olarak yerleştirilir. Geotekstili oluşturan ipliklere uygulanan gerilme artırılarak yırtılma olayı gerçekleştirilir. Bu testte uygulanan yük iplikleri bağımsız olarak gerer. Testten elde edilen değerler kaydedilir (ASTM D4533:2010). İkinci olarak dil yırtılma testi: bu test, 75mm x 200mm ebatlarında geotekstil numune ile gerçekleştirilir. İşleme başlamadan önce geotekstilde 75 mm uzunluğunda başlangıç kesigi oluşturulur ve numune test cihazına yerleştirilir. Daha sonra numuneye artan bir gerilme kuvveti uygulanarak geotekstil yırtılana kadar devam edilir. Testten çıkan değerler kaydedilir. Bu iki test kıyaslandığında dil yırtılma testinden elde edilen veriler, trapezoidal testinden elde edilenlerden daha yüksektir (ASTM D751: 2006). Son olarak elmendorf yırtılma testi sadece örgülü geotekstillere uygulanır. Ayı şekilde başlangıç kesigi ile teste başlanır ve yırtılmanın meydana geldiği

kuvvet tespit edilir (ASTM D1424: 2009). Tüm yırtılma testlerinde geotekstilin yırtılmaya karşı direnci tespit edilir.

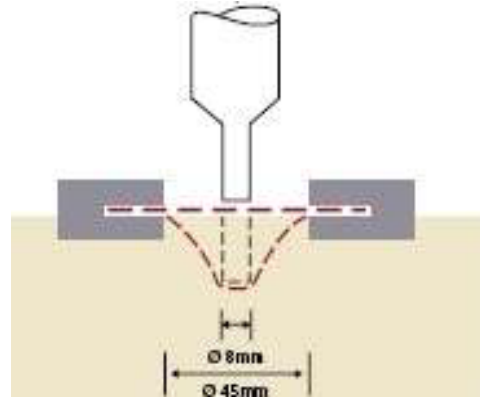
Darbe mukavemeti, uygulama sırasında ortaya çıkan ani yükler sonucu malzemede oluşan delinme problemini belirlemek için gerçekleştirilir. Genelde geotekstil tabakası üzerine agrega veya uygulamada kullanılan değişik malzemeler düşmesi sonucu malzemede delinme oluşur. Darbe mukavemetinin ölçülmesinde çoğunlukla Koni Düşüş Testi tercih edilir. Koni düşüş testinde numune, altı boş olacak şekilde, karşılıklı mingeneler arasında sıkıştırılır ve numune üzerine 500 mm yükseklikten, standart özellikleri olan bir koni bırakılır. Koninin düşüşü sonucu numune üzerinde meydana gelen deliğin çapı ölçülür ve bu değer malzemenin darbe mukavemet değeri olarak adlandırılır. Koninin geotekstile giriş miktarı, darbe gerilmelerine karşı malzemenin direncini gösterir. Delik çapının küçük olması, malzemenin darbe dayanımının o kadar yüksek olduğu gösterir (Şekil 3.4). Sonuç olarak bu testte yukarıdan bırakılan koninin 500 mm yükseklikten düşmesi sonucu geotekstilde açılan deliğin çapının ölçülmesi ile geotekstilin darbe dayanımı belirlenir (EN 918).



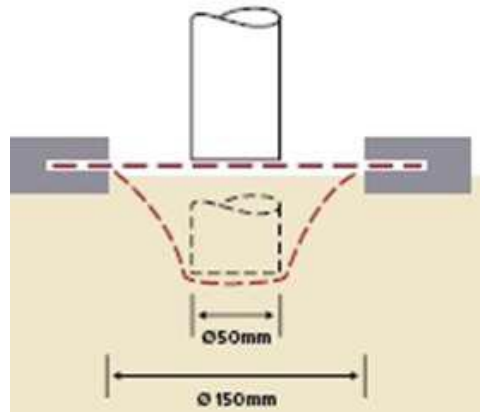
Şekil 3.4: Koni düşüş testi.

Delinme mukavemeti de çekme dayanımı ile doğru orantılı etkilendir. Darbe testinden farklı olarak taşlar veya kütüklerin geotekstili delmesi karşısındaki direnç diye tanımlanır ve belirlenmesi gereken diğer bir parametredir. Bu testte delici çelik çubuk kullanılır ve deliğin çapı 8 mm olarak belirlenmiştir. Geotekstil, iç çapı 45 mm olan bir silindire serbes şekilde herhangi bir gerilme

uygulanmadan sabitlenir ve çelik çubuk geotekstile doğru sıkıştırma test aleti yardımıyla itilir. Bu esnada delinmeye karşı direnç kuvvet biriminde ölçülür. Bu test son derece basit bir testtir ve otomatikleştirilebilmesi açısından oldukça sık kullanılan bir testtir. Test düzeneği şekil 3.'de gösterilmiştir. Bu yöntemle ile ölçülmüş çok geniş bir veri tabanı mevcuttur. Ayrıca normal toprak testlerinde kullanılan CBR test aleti ile de bu test uygulanabilir (Şekil 3.6). Test düzeneğinde 150 mm yarıçapında halka içine geotekstil yerleştirilir. Daha sonra geotekstil numunesine 50 mm yarıçapında çelik çubukla kuvvet uygulanır. Geotekstilin halka içine yerleştirilmesi esnasında, geotekstilde herhangi bir gerilme oluşmamasına dikkat edilmelidir. Çelik çubuk dakikada 50 mm hareket edecek şekilde geotekstile kuvvet uygulanarak deney gerçekleştirilir. Geotekstilde yırtılma meydana geldiği andaki gerilme değeri kaydedilir. Geotekstilin CBR delinme direnci değeri ile geniş numune çekme dayanımı arasında direkt bir ilişki bulunmaktadır.

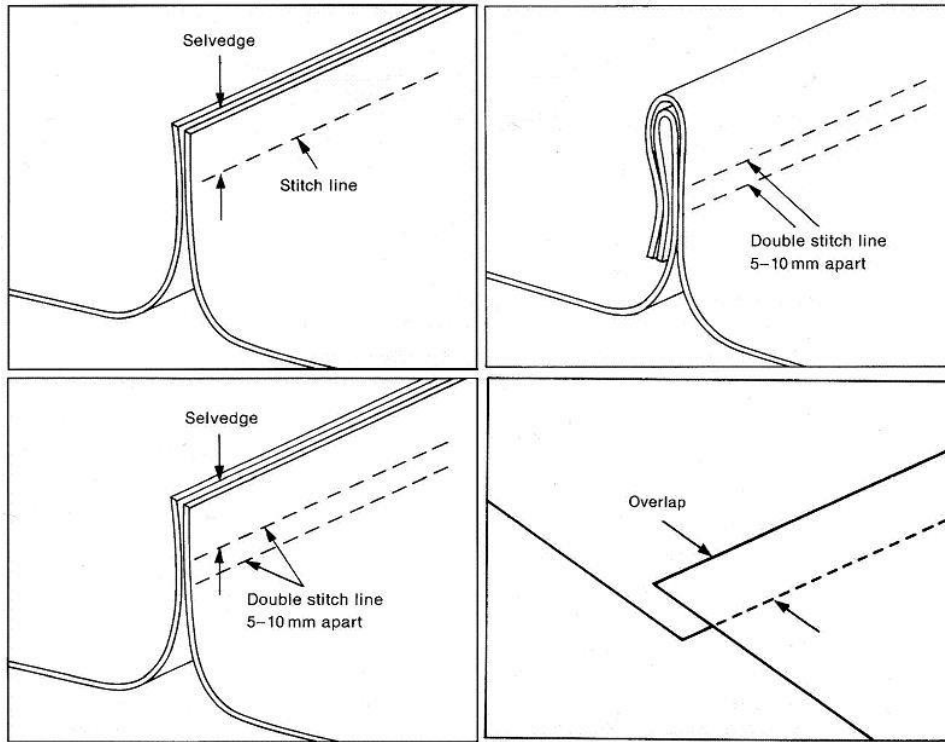


Şekil 3.5: Delinme testi (8 mm çubuk).



Şekil 3.6: CBR statik delinme testi (50 mm çubuk).

Dikiş yeri mukavemeti; geotekstil uygulamalarında, çekme kuvvetinin sürekli bir şekilde aktarılması geotekstil tabakalarının başlangıç, bitiş ve kenar kısımlarının birbirine birleştirilmesi ile mümkün olmaktadır (Şekil 3.7). Bu uygulamalarda en çok kullanılan birleştirme yöntemi ek yerlerinin dikilmesi. Bu birleşimde düz, J tipi, kelebek gibi değişik dikiş yöntemleri kullanılmakla beraber, asıl önemli olan konu dikiş yönteminden çok dikiş yerlerinin yük aktarım kapasitesidir. Dikiş yeri mukavemetinin belirlenmesinde geniş numune çekme testinden faydalanılır. Ek yerinde 50 mm'lik bir bindirme yapılarak ek yeri iki tarafından dikilir. Daha sonra çekme testi uygulanır. Ölçülen çekme mukavemeti, geotekstilin ek yeri olmaksızın ölçülen çekme mukavemeti ile kıyaslanır. Mukavemeti düşük olan geotekstillerde, dikiş yeri mukavemeti malzeme mukavemetinin %100'üne yaklaşırken, dikiş yeri mukavemeti yüksek mukavemetli geotekstillerde çok daha düşük gözlenir (Koerner, 1998).



Şekil 3.7: Dikiş metotları (Shukla, 2002).

Geotekstillerin hidrolik özellikleri, geosentetiklerin önemli kullanım alanları arasında drenaj ve filtrasyon uygulamaları bulunmasından ötürü son derece önemlidir. Geotekstillerin hidrolik özellikleri, yeni yöntem ve araçlarla

belirlenir. Bu özelliklerin en önemlileri porozite, boşluk boyutu, boşluk alanı yüzdesi, permitivite ve transmisivitedir (Shukla ve Yin, 2006).

Porozite, geotekstilin boşluk hacminin toplam hacmine oranı şeklinde tanımlanır. Geotekstilin geçirgenliğinin de bir ölçüsü olarak nitelenebilir. Porozite nadiren direkt olarak ölçülür. Yoğunluk ve birim alan ağırlığı bilinen bir geotekstilin porozitesi, doğrudan kalınlığı ile ilişkilidir (Sağlam, 2009).

Boşluk boyutunun belirlenmesi için değişik yöntemler mevcuttur. Bunlarda biri de kuru eleme yöntemi ile boşluk boyutunun belirlenmesidir. Bu yöntemde, çapları bilinen cam taneleri, geotekstil tabakasından elenir ve tane boyutu sürekli artırılarak, birbiri ardınca eleme işlemine devam edilir. İşleme geotekstil üzerinde kalan malzemenin oranı toplam malzemenin %5'i olana kadar devam edilir. Geotekstil tabakasından geçen en büyük tanenin çapı, geotekstil tabakasının boşluk boyutunu ifade eder ve bulunan değer aynı zamanda geotekstilin görünür gözenek boyutudur. Bir başka yöntem olan ıslak eleme yöntemi ile de boşluk boyutu belirlenebilir. Bu yöntemde, düzgün dane çapı dağılımına sahip kumun, su yardımıyla geotekstil tabakasından elenmesi işlemi yapılır. Aynı kuru eleme yöntemindeki gibi işlemlere devam edilir. İşleme geotekstil üzerinde kalan malzeme miktarı %15 olana kadar devam edilir. Tabakadan geçen en büyük malzemenin tane çapı, geotekstilin boşluk boyutunu verir. Bu yöntemle bulunan değer ise etkili gözenek boyutu olarak adlandırılır (Tunç, 2002). Islak eleme yöntemi, kuru eleme yöntemine göre daha az problem oluşturur ve şantiye ortamını daha iyi temsil eder.

Boşluk alanı yüzdesi, bir geotekstil tabakası üzerindeki boşlukların toplam alanının, geotekstil tabakasının toplam alanına oranıdır. Örgülü geotekstillerde, yapıları gereği bitişik iplikler arasında belli miktarda boşluk bulunmasından dolayı bir tasarım parametresi olarak kullanılabilir. Boşluk alanı yüzdesi oranı genelde %6 ile %12 arasında değer almaktadır. Daha büyük bir boşluk alanı yüzdesi değeri, geotekstil tabakası üzerinde, birim alanda daha büyük miktarda boşluk bulunduğu anlamını taşır. Özellikle filtrasyon uygulamalarında, geotekstil tabakası üzerindeki gözeneklerin tıkanmasını önlemek ve kullanım ömrünü uzatmak için daha büyük boşluk alanı yüzdesi değerine sahip malzeme seçilebilir

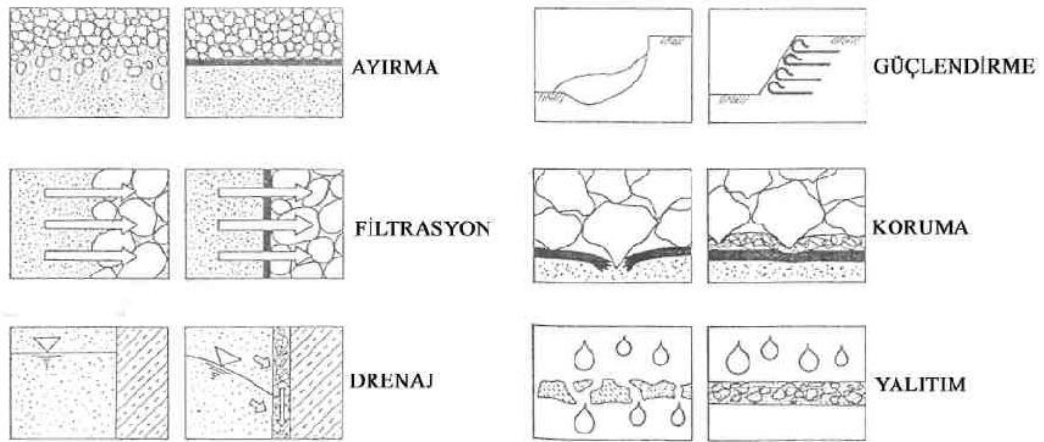
(Shukla ve Yin, 2006). Ayrıca daha büyük boşluk alanı yüzdesi değeri, daha düşük filtrasyon anlamını da taşımaktadır.

Permitivite; geotekstil tabakasının kendi düzlemine dik doğrultudaki geçirimsizliği olarak tanımlanır. Geotekstillerin filtrasyon uygulamalarında, kullanılan geotekstilin geçirimsizlik özellikleri son derece önemlidir. Permitivite, bir geotekstilin kendi düzlemine dik bir akış durumundaki geçirimsizlik katsayısının geotekstil tabakası kalınlığına oranıdır (Koerner, 1998).

Transmisivite; bir geotekstil tabakasının, kendi düzlemi boyunca geçirimsizliğidir. Ayrıca birim genişlikten, birim hidrolik eğim altında, birim zamanda geçen su miktarı şeklinde de tanımlanabilir. Geotekstilin kendi düzlemi boyunca geçirimsizlik katsayısının, tabaka kalınlığı ile çarpılması ile hesaplanır (Tunç, 2002).

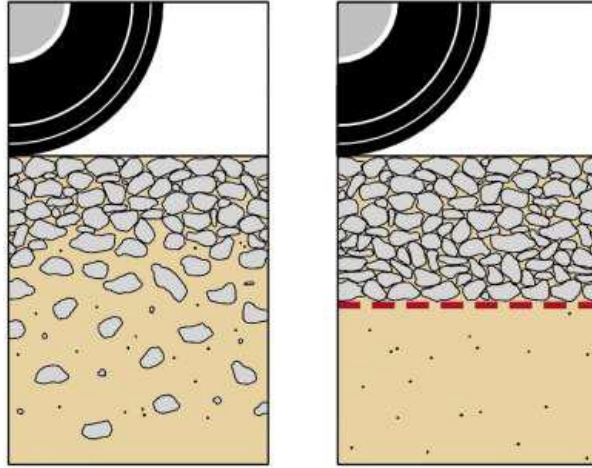
3.7 Geotekstillerin Fonksiyonları

Geotekstillerin ana kullanım amaçları ayırma, drenaj, filtrasyon, güçlendirme, koruma ve yalıtımdır (Şekil 3.8). Her kullanım amacı farklı geoteknik uygulamalara göre değişir. Bazı uygulamalarda farklı fonksiyonların bir arada kullanılması gerekebilir. Geotekstillerin ayrıca uygulama esnasındaki hasarlara karşı da dayanıklı olması aranan özelliklerindedir.



Şekil 3.8: Geotekstilin kullanım amaçları.

Ayırma; birbirine benzemeyen iki malzemeyi birbirine karışmaktan alıkoymak anlamına gelmektedir. Ayırma fonksiyonu geotekstillerin önemli özelliklerinden biridir. Geotekstil şekil 3.9'daki gibi ince ve kaba taneli zemin tabakalarının arasına yerleştirildiğinde, tabakaların ayrılması görevini görür. Böylece üst yapıdan gelen dinamik veya statik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımı engellenmiş olur. Geotekstillere, farklı geoteknik özelliklere sahip iki zemini süreklilik, esneklik, deforme olabilme, geçirimsizlik ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinden dolayı suyun doğal sirkülasyonuna engel olmadan, birbirinden ayırma görevi görür (Aksoy, 1993). Ayırma amaçlı kullanılan geotekstil, bu fonksiyonun yanında uygulamalarda drenaj filtrasyon ve güçlendirme gibi birçok ikincil faydalar da sağlamaktadır.



Şekil 3.9: Geotekstilsiz ve geotekstilli kaplamasız yol imalatı.

Drenaj; suyun ortamdan uzaklaştırılması şeklinde tanımlanır. Su kontrol altına alınmaması durumunda yapıda büyük problemler oluşturabilecek en büyük problemlerden biridir. Drenaj, yağmur ve zemin sularını veya diğer akışkanları toplamak ve transfer etmek demektir. Yapılarda zemindeki su akışını ve neden olduğu hidrostatik basıncın etkilerini kontrol altına alabilmek amacıyla drenaj yapılmaktadır. Geotekstillere, zemine oranla yüksek geçirimsizlik özelliğine sahiptir. Yapıları gözenekli olduğunda ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde suyu rahatlıkla iletebilirler. Bu özellikleri nedeniyle su tahliyesinin gerekli olduğu

birçok mühendislik uygulamasında kullanları büyük avantajları da beraberinden getirmektedir (Öztekin, 1992).

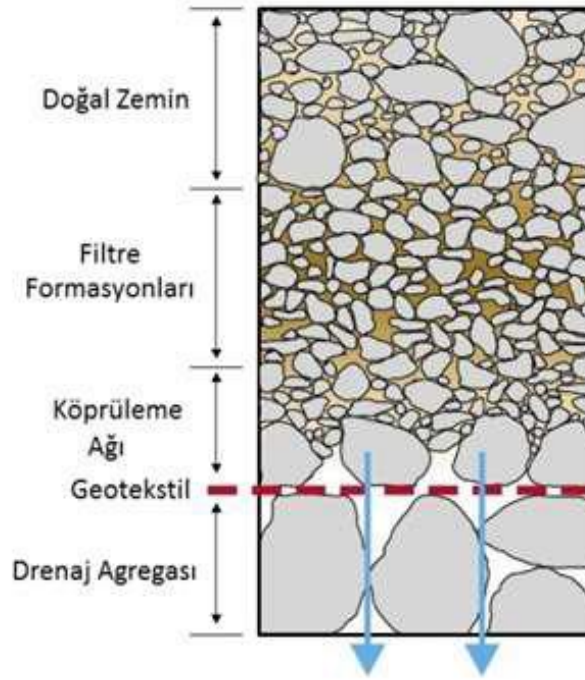
Geotekstiller drenaj amacıyla kullanıldıklarında sıvı ya da gaz hareketi için bir kanal veya boru gibi kullanılır. Kısmen daha kalın örgüsüz geotekstil ürünleri drenaj için daha çok kullanılmaktadır. Kullanılacak geotekstil ürününün seçilmesinde geotekstilin basınca yüksek dayanım göstermesi, geotekstilin iletkenlik (transmissivity) özelliği ve iyi filtre özelliğine sahip olması göz önüne alınmaktadır. Yapılacak drenaj yapıları çok sayıda faydayı beraberinde getirmektedir. Bunlar şu şekilde sıralanabilir: zeminin taşıma gücünü artırmak, sıkışabilirliğini azaltmak, istinat duvarlarında oluşan yatay basıncı azaltmak, şevlerin stabilitesini artırmak, erozyonu önlemek, kayma mukavemetini artırmak, sıvılaşma potansiyelini azaltmak gibi (Tunç, 2002). Şekil 3.10'da sulama kanalında, geotekstil kullanılarak doğal zemin ile ayırma, filtre ve drenaj işlevlerinin bir arada uygulama detayı gösterilmiştir.



Şekil 3.10: Geotekstillerin kullanımı (www.grupo.com.tr).

Filtrasyon; suyun geçişine izin verirken toprağın ya da diğer partiküllerin alt tabakaya geçişini sınırlandırmak olarak tanımlanır. Bir zemin uygulamasında, akışın geotekstil düzlemine dik doğrultuda gerçekleşmesi demek geotekstilin

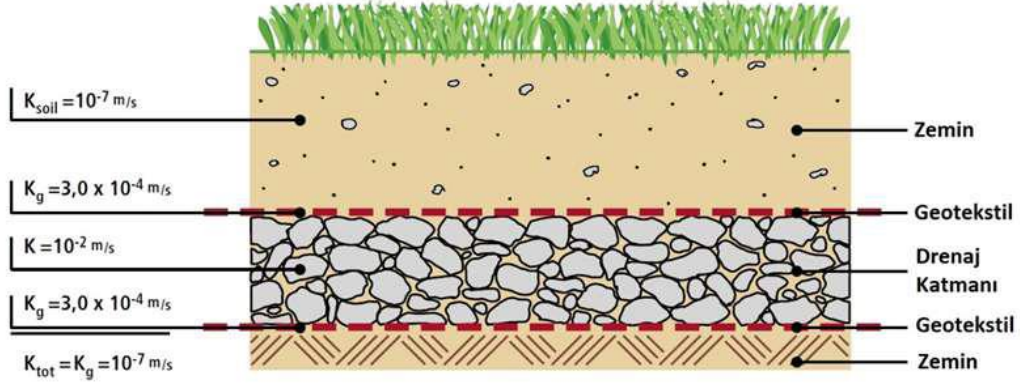
filtrasyon görevi gördüğü anlamına gelmektedir (Şekil 3.11). Filtrasyon uygulamasında kullanılacak geotekstilden, uygun maksimum gözenek açıklığına, yeterli su geçirgenliğine, uygun sıkışma oranına ve yüksek poroziteye sahip olması gibi özellikleri taşıması beklenir. Geotekstilin yerleştirilmesinden sonra, küçük partiküllerin başlangıçta büyük partiküllerin köprüleme ağı oluşumuna yardımcı olmaları için geotekstilin içinden zemin içindeki su ile birlikte geçmeleri beklenir. Bunun sonucunda geotekstilin temas ettiği yüzeyde ince daneli malzeme barındırmayan bir tabaka oluşur. Aynı zamanda bu tabaka filtre tabakası işlevi görerek küçük parçacıkların geotekstile doğru hareketini de engeller. İnce danelerin geotekstil bünyesinde tutulması durumunda az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akışına engel olmamak ve boşluk suyu basıncının oluşumunu engellemek için geotekstilin geçirgenliğinin en az zemin geçirgenliği kadar olması gerekmektedir (Yılmaz ve Eskişar, 2007).



Şekil 3.11: Geotekstile bitişik doğal zemin filtresi.

Etkili geotekstil filtrelerinin boyut dağılımı zeminin dane dağılımına benzer olmasının yanında farklı şekillerde ve boyutlarda gözeneklere sahip olmalıdır. Agregat alt temel sisteminde en az geçirgenliğe sahip olan katmanın, sistemin geçirgenliğini belirlemesi doğru geotekstil seçimiyle tasarımın gerçekleşmesinde göz önünde bulundurulması gereken bir durumdur. Zeminin

permeabilitesi geotekstil ile karşılaştırıldığında çok daha azdır. Bu nedenle tasarımda kullanılacak olan geotekstil seçilirken kullanılacağı yerdeki zemin geçirgenliği dikkate alınmalıdır (Şekil 3.12) (Aşkın, 2011).

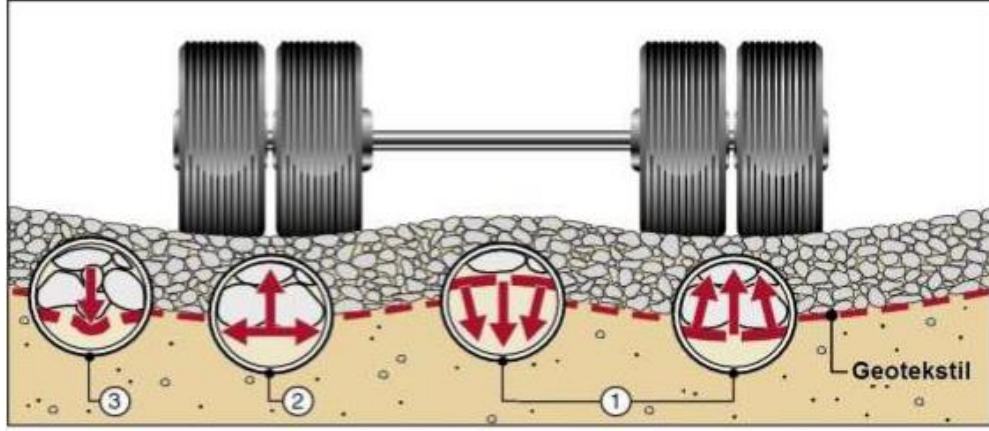


Şekil 3.12: Ktotal sistem permeabilitesi.

Bir geotekstilin geçirgenliği, aynı zamanda kendisinin sıkıştırılabilme özelliğinden de etkilenir. Genellikle kalın geotekstiller basınca karşı daha hassastır ve basınç uygulandığında permeabiliteleri düşer. Böylelikle geotekstil seçiminde sadece geotekstilin kalınlığını belirtmenin ve basınç altındaki permeabilite özelliğini gözardı etmenin yanlış sonuçlar doğurduğu görülür. Geotekstillerin filtrasyon fonksiyonlarından baraj inşaatlarında, erozyonun kontrol altında tutulmasında, yol drenajında ve alt zemin drenajında yararlanılır (Aşkın, 2011).

Güçlendirme amacıyla kullanılan geotekstillerle; zayıf zeminler üzerine yapı inşası mümkün olmaktadır. Zemin güçlendirme uygulamalarında geotekstil kullanımı tasarım açısından çeşitli kolaylıklar sunarak, birçok probleme de yeni uygulama metotları geliştirilerek etkili çözümler üretmektedir (Van Santvoort, 1994). Zeminlerin çekme direncinin olmamasından dolayı ortaya çıkan stabilite sorunlarının çözümünde geotekstillerden yararlanılır. Geotekstiller çekme direnci ve kopmadan önceki şekil değiştirme kabiliyetini artırarak, zeminlerin güçlendirilmesine olanak sunar (Yılmaz ve Eskişar, 2007). Geotekstiller daha çok sürtünme ve adhezyon kuvvetleri etkisiyle zeminin çekme veya kayma kuvvetlerine karşı durabilmesini sağlamak amacıyla güçlendirme uygulamalarında kullanılmaktadır. Gerekli güçlendirmeyi sağlayabilmek için, geotekstil belli bir

dayanıma ve çekme kuvvetlerine karşı durabilecek ebatlarda olmalıdır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Kaplamasız yollarda geotekstil kullanıldığında oluşan gerilmeler.

Koruma; geotekstil ya da geotekstille ilgili bir malzeme kullanarak verilen eleman veya malzemede lokal zararı önlemek veya sınırlamaktır (ISO 10318:2005). Koruma amacıyla yapılan uygulamalarda geotekstilin kullanım amacı şekil değiştirme ve/veya gerilmeyi azaltmak ya da yaymaktır. Geotekstilin koruma fonksiyonu ile hem malzemeler arasına yerleştirilerek malzemeler arası koruma oluşturmak hem de zemin üzerine yerleştirilen geotekstil ile malzeme hava koşulları, trafik gibi etkenlerden korumak da mümkündür. Bir geotekstilin koruma amaçlı kullanımında delinme direnci ve ürünün üniform özelliğinin olmasına dikkat edilmelidir. Geotekstilin koruma fonksiyonunu daha iyi yerine getirmesi için, onun sadece kalınlığı ve ağırlığı ile ilgili değil, üretim tekniğiyle, kullanılan hammaddeye göre en önemlisi de yapılan delinme testleri sonucuna karar verilmelidir.

Yalıtım amaçlı çok yaygın kullanılmaları da hem örgülü hem örgüsüz geotekstiller kullanılmaktadırlar. Bitüm, polimerik karışımlar ve plastik yalıtım ürünleriyle birlikte kullanılan geotekstil geçirimsiz bir malzeme oluşturarak bir çeşit membran görevi görür ve bu amaçla kullanılacak geotekstilin bitüme yeterli miktarda nüfus etme özelliğine sahip olmalıdır.

3.8 Geotekstillerin Kullanım Alanları

Geleneksel yöntemlerin yerine çok çeşitli işlerde kullanılabilen geotekstiller zemine doğal olarak sahip olmadığı yeni özellikler kazandırıp mühendislik parametrelerini geliştirmekte ve zemini güçlendirmekte, direkt ve indirekt avantajlar sağlamaktadır. Geotekstillerin kullanım avantajları: ucuzluk, 40-100°C arası hizmet, asit ve alkalilere direnç, bakteri ve çürümeye direnç, özel işçilik ve ekipman gerektirmemesi şeklinde sıralanırken dezavantajları da uygun tipin seçilemeyebilmesi, deliklerin tıkanabilmesi, ithalatın zorluğu şeklinde sıralanabilir.

Geotekstillerin kullanım alanları çok geniş bir yelpazede bulunmaktadır. Bu alanlara örnekler; kalıcı ve geçici yollar, yol inşaatları, yol genişletme, asfalt yenileme, park alanları, hava alanları, demiryolları, bina inşaatları, bina temelleri, taban betonları ses emme özelliği, teras çatılar, bahçe çatılar, zemin uygulamaları, borular ve kanalları, depolama alanları, spor sahaları, şevler, drenaj ve filtrasyon sistemleri, drenaj boruları, drenaj kanalları, yüzey drenajı, bina drenajları, hidrolik yapılar, kıyı koruma yapıları, barajlar, liman inşaatları, nehir yataklarının ve kanalların korunması, suni göletler, su rezervuarları, çöp ve atık depolama alanları v.b.(Altun, 2011) (Şekil 3.14) (Şekil 3.15).

Geotekstillerin güçlendirme amaçlı; kaplamasız yolların, havaalanı pistlerinin ve demiryollarının yumuşak zeminleri üzerinde, toprak dolgularda yumuşak zemin üzerinde, homojen olmayan zeminlerin üzerinde, dolguların güçlendirilmesinde, geosentetik donatılı duvar inşasında, dik şevlerin inşasında, esnek kaplamalarda birleşim yerlerinin güçlendirilmesinde, kazıklı temeller arasında ana donatı olarak, geosentetik donatılı duvarlarda yüzey panellerinin ankrajında, küçük istinat duvarlarındaki beton blokların ankrajında, kaplamasız dolgu sahalarının stabilizasyonunda, spor ve atletizm sahalarındaki yumuşak zemin üzerinde, demiryollarında balastın yanıl hareketini sınırlamak için, toprak ve kaya barajların güçlendirilmesinde, eğimleri geçici olarak stabilize etmek için, eğimli zeminlerde sünme hareketini önlemek için, geomembranların toprak veya dolgu tarafından delinip zarar görmesini önlemek için, sürtünmeyi arttırarak eğimli kenarları daha stabil hale getirmek için kullanılır (Aşkın,2011).

Geotekstiller ayırma amaçlı kaplamasız yollarda ve havaalanı pistlerinde temel tabakaları arasında, kaplamalı yollarda ve havaalanı pistlerinde temel tabakaları arasında, demiryollarında alt temel ve balast tabakaları arasında, temel ile dolgu toprağı arasında sürşarj yükleri için, istinat duvarlarında temel ve zemin arasında, eski ve yeni asfalt tabakaları arasında, kaldırım kaplamaları altında, kötü derecelenmiş filtre örtülerinin drenaj tabakaları altında, prekast panel kaplamaları altında, geomembranlar ve kum drenaj katmanları arasında, arazi doldurma ile taş temel arasında, toprak ve kaya barajlarda temel ile dolgu arasında, toprak barajların çeşitli zonları arasında kullanılır.

Geotekstillerin filtrasyon amaçlı granüler zemin filtrelerinde, kaplamasız yollar ve havaalanı pistlerinde kırma taş temel altında, kaplamalı yollar ve havaalanı pistlerinde kırma taş temel altında, demiryollarında balast tabakasının altında, kırmataş dolgulu drenaj boruları çevresinde, kırmataştan oluşturulmuş drenaj tabakaları çevresinde, yağmur sularını toplayan toprak altındaki perfore delikli drenaj borularının etrafında, hidrolik dolguların filtrasyonunda, erozyon kontrol sistemlerinde kum, harç ve beton için esnek kalıp olarak, bozulan dolguların yeniden inşası sırasında esnek kalıp olarak, istinat duvarlarında boşluklar ile arka dolgu arasında, toprağın geçişini engellemek için geokompozit malzemelerde, silt bariyeri olarak, kum drenajlarında kum kolonları etrafında, taş riprapların altında, prekast blokların altında kullanılır.

Geotekstillerin drenaj amaçlı istinat duvarları arkasında, demiryolu balast tabakası altında, geomembranların altında, zemin dolgularında boşluk suyunun dağıtılmasında (Koerner, 1998), toprak barajlarda baca drenajı olarak, toprak barajlarda drenaj galerisi olarak, düşey akışların drenajında, sürşarj dolguların altında drenaj battaniyesi olarak, geomembranların altında hava veya gaz drenajı için, spor ve atletizm alanlarının altında drenaj amaçlı, yeşil çatılarda drenaj amaçlı olarak, kum drenleri için yer değıştirici olarak, dona duyarlı alanlarda kapilariteyi önlemek için kullanılır.



Şekil 3.14: Yalıtım amaçlı geomembran kullanım alanına örnek.



Şekil 3.15: Güçlendirme amaçlı geotekstil kullanım alanına örnek.

4. GEÇMİŞTE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Geotekstil donatı ile güçlendirilmiş zeminler üzerinde deneysel ve teorik olmak üzere birçok araştırma yapılmıştır. Ingold (1979) güçlendirilmiş zeminlerin davranışını araştırırken üç eksenli basınç deney aletini kullanmıştır. Ingold ve Miller (1982) geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere iki farklı donatı kullanılarak kil zemini güçlendirme üzerine bir çalışma yapmıştır. Drenajsız koşullarda yükleme yapıldığında, geçirimsiz donatı ile hazırlanan örneklerin donatısız örneklere kıyasla dayanımlarında baskın bir azalma gözlemlenmiştir. Geçirimli donatı ile güçlendirilmiş kil örneklerinin dayanımında ise belirgin bir artış göstermiştir.

Ingold ve Miller (1983), alüminyum plakalar ve geçirimli plastik diskler ile güçlendirilmiş kaolin kilinin dayanım parametrelerini de ayrıca drenajsız üç eksenli deneyler yardımıyla belirlemiştir. Çalışmalarında, donatılı zeminlerin kayma dayanımlarında ve sekant şekil değiştirme modüllerinde, donatı tabakaları arasındaki mesafenin azalması ile bir artış görüldüğünü belirtmişlerdir.

Fabian ve Faurie (1986) permeabilitenin farklı değerleri ile materyallerle güçlendirilmiş killerin üzerinde yapılan konsolide olmayan-drenajsız (uu) üç eksenli basınç deneyi yürüterek güçlendirilmiş killerin mukavemetinin drenajsız takviye materyallerle geçirgenliğinin etkilerini tanımlamıştır. Düşük geçirgenlikteki materyallerle güçlendirilmiş killerin mukavemetinde %40'a varan azalma olduğu, yüksek geçirgenlikteki materyallerle güçlendirilmiş killerin mukavemetinde ise benzer oranda artış olduğunu söylemişlerdir. Ayrıca, kil ve geotekstil arasındaki yapışma faktörü nem içeriği ile orantılı olarak arttığı için numunenin mukavemetinin de nem muhtevası ile orantılı olduğunu belirtmişlerdir.

Lafleur ve arkadaşları (1987) son derece plastik kohezyonlu zeminlerin değerlendirilmesinde bir seri direkt kesme deneyi kullanmıştır ve örgülü ve örgüsüz geotekstiller altındaki killerin davranışlarını karşılaştırmıştır.

Krishnaswamy ve Srinivasula Reddy (1988) güçlendirici materyallerin (geoteksti donatılarının) arasındaki uzaklığın etkilerini hem de yanı sıra geotekstil ile güçlendirilmiş siltli killerdeki üç eksenli deneyleri kullanarak optimum su içeriğinin kuru ve ıslak tarafındaki su içeriğinin etkisini araştırmışlardır.

Srivastava ve arkadaşları (1988) serbest ve üç eksenli basınç deneylerini kullanılarak geotekstil donatılı siltli zeminlerin davranışı üzerine çalışmıştır. Sıkıştırma basınç analizi ile güçlendirici tabakaların sayısı ve numunenin çap-yükseklik oranı ölçülmüştür.

Al-Omari ve arkadaşları (1989) geotekstil donatılı killerin davranışını araştırmak amacıyla konsolidasyonlu-drenajlı ve konsolidasyonlu-drenajsız üç eksenli basınç deneylerini gerçekleştirmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki; hem drenajlı hem drenajsız koşullarda geotekstil ile güçlendirilmiş killerin dayanımı artmıştır. Bununla birlikte kil-geotekstil etkileşimi kumlardan farklıdır. Arttırılmış hücre basıncı uygulanmamaktadır ve güçlendirilmiş sertlik dayanımı önemli ölçüde etkilememektedir. Gözenek basıncı parametresindeki yetersizlik güçlendirilmiş numunelerde güçlendirilmemişlerden daha fazladır ve güçlendirilmiş tabakaların sayısı ile artar.

Indraratna ve arkadaşları (1991) konsolidasyonsuz-drenajsız(uu) üç eksenli basınç deneyi sayesinde güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş hafif siltli killerin davranışları üzerinde örgülü ve örgüsüz geotekstilleri kullanarak çalışmıştır. Örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki çeşit geotekstil ile donatılanmış denizel çökeltilerin kompaksiyon, dayanım ve konsolidasyon özelliklerini incelemiştir. Yüksek su içeriğine sahip olan örneklerde, örgüsüz ve örgülü geotekstillerin birbirinden farklı davrandıklarını ve örgüsüz geotekstillerin drenaja daha fazla olanak sağladığını gözlemlemiştir.

Ling ve Tatsuoka (1993) tarafından yarı doymun siltli killerin güçlendirilmesi için örgüsüz geotekstillerin kullanımı düzlem gerilme cihazı ile hesaplanmıştır.

Zornberg ve Mitchell (1994) güçlendirilmiş kohezyonlu zeminlerin davranışını deneysel ve analitik çalışmalar ile yorumlamıştır. Yetersiz drenaj

koşullarında güçlendirilmiş zemin yapılarının performansı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme ile uygun tasarım sonucu kararlı, dayanıklı ve ekonomik yapıların inşa edilebilir olduğunu göstermişlerdir. Sonuç olarak güvenli ve ekonomik yapıların tasarımı yetersiz drenaj dolgularında iki yönlü ele alınmalıdır: kohezyon- güçlendirilmiş zemin etkileşimi ve güçlendirilmiş drenaj özellikleri. Geosentetiklerin çekme mukavemeti, dayanıklılık ve kayma mukavemeti düşük sınırdaki zeminlerde ele alınmaktadır.

Unnikrishnan (2002) tarafından güçlendirilmiş killerin davranışı statik ve periyodik yükleme koşulları altında üç eksenli basınç deneyi ile incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda kum tabakalarının kalınlıklarının etkileri, nem içeriği ve güçlendirilme çeşitleri değerlendirilmiştir.

Vinod ve arkadaşları (2007) lif dolgusu ile güçlendirilen kil numuneler üzerinde yapılan bir seri drenajsız üç eksenli basınç deneylerini gerçekleştirmiştir. Kompozit zeminlerin kum-lif dolgusunun çevresinin kesitsel oranı, sıkıştırma basınç, lif içeriği ve lif boy oranı gibi değişkenlerin etkilerini incelemiştir.

Noorzad ve Mirmoradi (2010), geotekstil donatı içeren killer üzerinde kapsamlı bir araştırma yapmıştır. Düşük ve yüksek plastisite özelliklerine sahip killer ile farklı su içeriklerinde hazırlanan örneklere belirlenen sayılarda geotekstil donatı yerleştirilmiştir. Farklı geçirimsizlik özelliklerine sahip geotekstillerin, su içeriğinin, geotekstil donatı sayısının ve plastisitenin donatılı kilin dayanım parametrelerine etkisini üç eksenli ve serbest basınç deneyi ile incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre; donatılı zeminlerde dayanım donatısız koşula göre artış göstermektedir. Düşük plastisite indisine sahip donatılı zemin örneklerinde mukavemet artışının kohezyon artışı ile ilgili olduğunu açıklamıştır.

Guido (1985), gevşek kum zeminlerdeki taşıma gücü kapasitesinin nasıl değişeceğini tespit edebilmek amacıyla 1 ile 4 sıra arası örgüsüz geotekstilleri zemine yerleştirmiştir. Sonuçlara göre belirli bir miktar oturma yapan zeminin taşıma gücü kapasitesinde belirgin bir artış görülmüştür.

Uzuner (2000) yaptıkları çalışmada yüzeysel şerit temelin donatılı ve donatısız kumda davranışını inceleyerek kullanılan geotekstil, temelin taşıma gücünü artırdığını bildirmiştir.

Mandal ve diğ. (1990) tarafından geotekstil ile güçlendirilen kum zeminlerin taşıma gücü deneysel ve sonlu elemanlar analizi ile yapılmıştır. Yapılan çalışmada kullanılan geotekstil ile zeminin taşıma gücünün arttığı belirtilmektedir

Laman ve diğ. (2007) geogrid donatılı kum şeve oturan şerit temeller üzerinde yapılan deneyler sonucunda zeminin taşıma gücünün, uygun donatı yerleşimine bağlı olarak, donatısız duruma göre arttığını bildirmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda geotekstil ve geogrid donatılı zeminlerin istinat duvarlarının projelendirilme yöntemlerini açıklamışlardır.

Kohezyonsuz zeminlerde donatılendirme amaçlı geosentetikler kullanılmaktadır. Kumlu zeminlerde temellerin taşıma gücünü yükseltmek amacı ile geosentetik malzemeler kullanılmıştır. Bu araştırmacılar da geosentetik malzeme kullanımının, taşıma gücüne ciddi katkıları olduğunu gözlemlemişlerdir Koerner (1980) ve Önalp (1983).

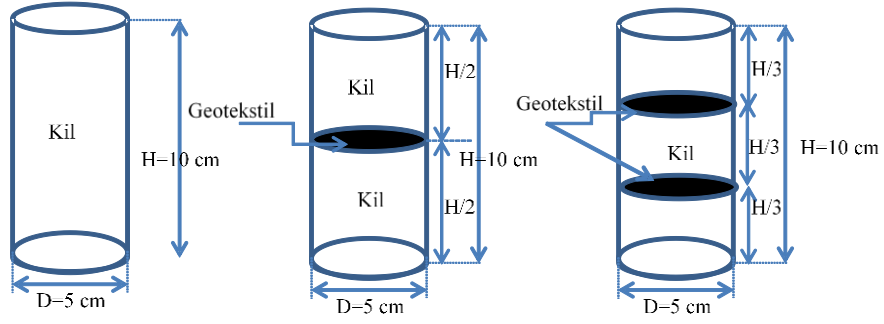
Killi zeminler ve taşıma kapasiteleri üzerine Sakti ve Das, 1987; Dawson ve Lee 1988; Mandal ve Şah, 1992; Ramaswamy ve Purushothaman, 1992, Shin ve ark., 1993, Das ve ark., 1994, çok sayıda deneysel çalışma bildirilmişlerdir.

5. KULLANILAN MALZEME VE DENEY YÖNTEMİ

Çalışma kapsamında Manisa'ya bağlı Demirci ilçesinin merkezinden getirilen örselenmiş kil numuneler kullanıldı. Deneylerde kullanılan kil farklı optimum su muhtevasında hazırlandı. Geotekstiller iki çeşit örgülü ve iki çeşit örgüsüz geotekstil olmak üzere dört çeşit kullanıldı. Donatısız ve donatılı kil zeminler üzerinde farklı zemin parametrelerinin etkisinin araştırılması amacıyla 99 adet deney seti hazırlandı ve örnekler serbest basınç deneyine tabi tutuldu. Deneyler boyunca tüm parametrelerin doğruluğunu kanıtlamak için en az üç adet deney yapıldı. Tüm deney örneklerinin hazırlanması için kullanılan kalıp 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde tasarlandı (Şekil 5.1). Numune hazırlama yöntemi ve deney prosedürü test sonuçlarında tekrarlanabilirliğe ulaşmak için standart hale getirildi. Deneylerde; geotekstiller 50 mm çapında dairesel olarak kesilerek numunenin ortasına ve üçte birlik kısmına gelecek şekilde yerleştirildi (Şekil 5.2). Bir seri deney, referans teşkil etmesi amacıyla geotekstil kullanılmadan gerçekleştirildi. Tek bir çeşit geotektilde tabaka etkisini araştırmak amacıyla dört tabakalı deneyler yapıldı. Deneylerde yükleme hızının etkisi 0,1 mm/dak , 1mm/dk. ve 5 mm/dk. seçilerek karşılaştırıldı.



Şekil 5.1: Numune hazırlamak için kullanılan kalıp.



Şekil 5.2: Geotekstil yerleşim planı.

5.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

DeneySEL çalışma kapsamında düşük plastisiteli kıl ile örgülü ve örgüsüz geotekstiller kullanıldı. Bu malzemelere ait özellikler alt bölümde verilmiştir.

5.1.1 Kullanılan Kıl Zeminin Özellikleri

DeneySEL çalışmada kullanılan kıl düşük plastisiteli olup örselenmiş olarak Manisa Demirci ilçesinden temin edilmiştir (Şekil 5.3). Zeminin endeks özelliklerini belirlemek için doğal su içeriği (w_n), yıkamalı elek analizi, likit limit deneyleri (Casagrande ve düşen koni), plastik limit, özgül ağırlık, hidrometre deneyleri yapıldı. Kıl malzemenin maksimum kuru yoğunluğu bulmak amacıyla standart protor deneyi gerçekleştirildi. Malzeme için yapılan fiziksel ve kompaksiyon deneyleri ASTM standartlarına uygun olarak yapıldı (ASTM D6913-04, ASTM D4318-10, ASTM D698-12).



Şekil 5.3: Manisa-Demirci'den alınan numune örneği.

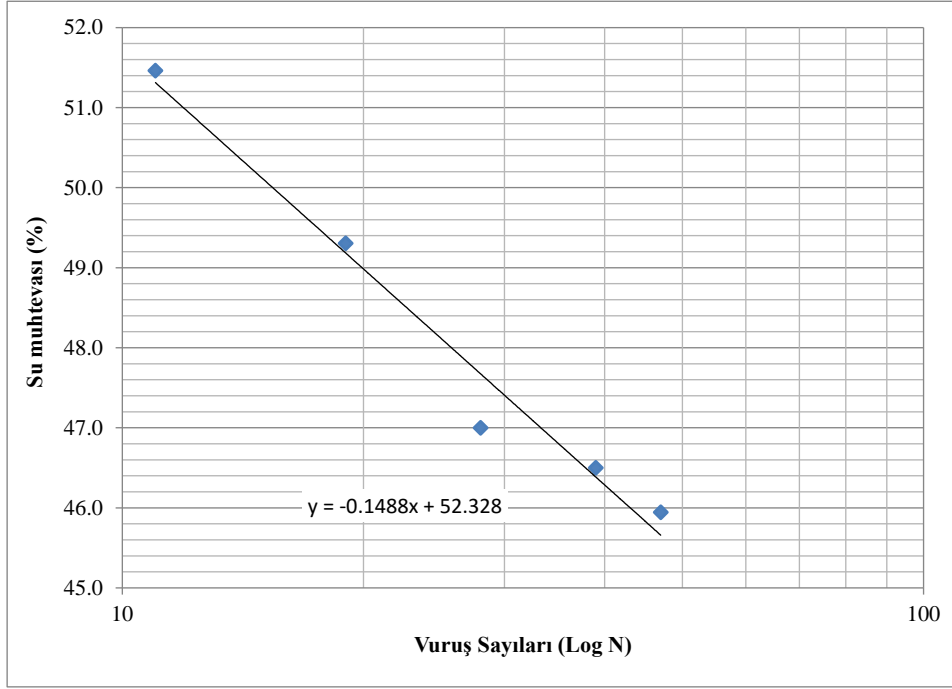
Doğal su içeriğinin belirlenmesi için yapılan deney sonuçları Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Kil zeminin doğal su muhtevası %16.5 olarak bulundu. Yıkamalı elek analizi deneyinde No:200 (0.074mm=74 mikron) eleği ile çalışıldı. Yapılan deney sonucunda numunenin %89.91 ‘i 200 nolu elekten geçti. Casagrande deneyi ile toplam 5 adet deney yapılarak likit limit değeri belirlendi (Tablo 5.2). Yapılan Casagrande deneyi sonucu likit limi değeri w_L =%48.6 bulundu (Şekil 5.4). Likit limit değerinin bulunması için ikinci yöntem olan düşen koni penetrasyon deneyi de yapıldı (Tablo 5.3). Yapılan düşen koni penetrasyon deneyi sonucu likit limi değeri w_L =%47.31 bulundu (Şekil 5.5). Casagrande ve düşen koni penetrasyon yöntemi ile bulduğumuz likit limit değerlerinin ortalamasını aldığımızda $w_L=(48.6 +47.31)/2=47.955 =48$ hesaplandı. Kil zeminin plastik limit deney sonucu Tablo 5.4’de gösterilmiştir. Plastik limit değeri %27.5 olarak bulundu. Likit limit ve plastik limit deney sonuçlarına göre plastisite indisi (I_p) değeri 20.5 olarak hesaplandı. Deneyler sonucu zemin sınıfı USCS’ e göre CL çıkmıştır. Kil zeminin özgül ağırlığı (G_s) yapılan deney sonucunda Tablo 5.5’de gösterildiği gibi 2.63 olarak bulundu. Şekil 5.6’da kil zemin için yapılan hidrometre deney sonucu gösterildi.

Tablo 5.1: Doğal su içeriğinin belirlenmesi.

Kap ağırlığı (gr)	115.25
Kap+yaş numune ağırlığı (gr)	986.70
Kap+kuru numune ağırlığı (gr)	863.20
Doğal su muhtevası (%) (w_n)	16.51

Tablo 5.2: Casagrande deneyi ile likit limitin belirlenmesi.

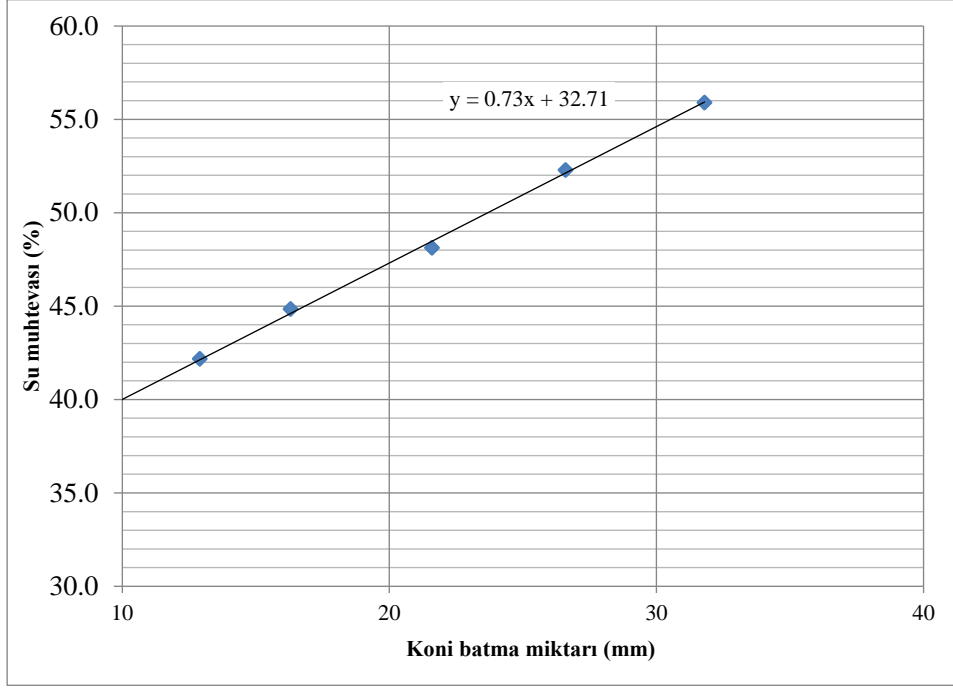
Deney Türü	Likit Limit (LL)				
	1	2	3	4	5
Kap no	1	2	3	4	5
Vuruş sayısı (N)	47	39	28	19	11
Yaş numune + kap (gr)	37.55	41.90	43.90	41.90	37.45
Kuru numune + kap (gr)	34.15	37.25	39.20	38.35	33.05
Kap (gr)	26.75	27.25	29.20	31.15	24.50
Su miktarı (gr)	3.40	4.65	4.70	3.55	4.40
Kuru zemin kütlesi (gr)	7.40	10.00	10.00	7.20	8.55
Su muhtevası (%)	45.90	46.50	47.00	49.30	51.50



Şekil 5.4: Casagrande deneyi ile likit limit belirlenmesi.

Tablo 5.3: Düşen koni penetrasyon deneyi ile likit limitin belirlenmesi.

Deney Türü	Likit Limit(LL)					
	İlk okuma (mm)	5.50	5.10	5.40	6.70	7.20
Koni penetrasyon okumaları (mm)	10	18	21.70	28.30	33.80	39
Koni penetrasyon ortalaması (mm)	4.50	12.90	16.30	21.60	26.60	31.80
Yaş numune + kap (gr)	42.35	43.50	47.70	33.70	44.10	48.80
Kuru numune + kap (gr)	38.65	37.70	41.60	29.85	37.80	39.80
Kap (gr)	28.35	23.95	28	21.85	25.75	23.70
Su miktarı (gr)	3.70	5.80	6.10	3.85	6.30	9.00
Kuru numune (gr)	10.30	13.75	13.60	8.00	12.05	16.10
Su muhtevası (%)	35.90	42.20	44.90	48.10	52.30	55.90



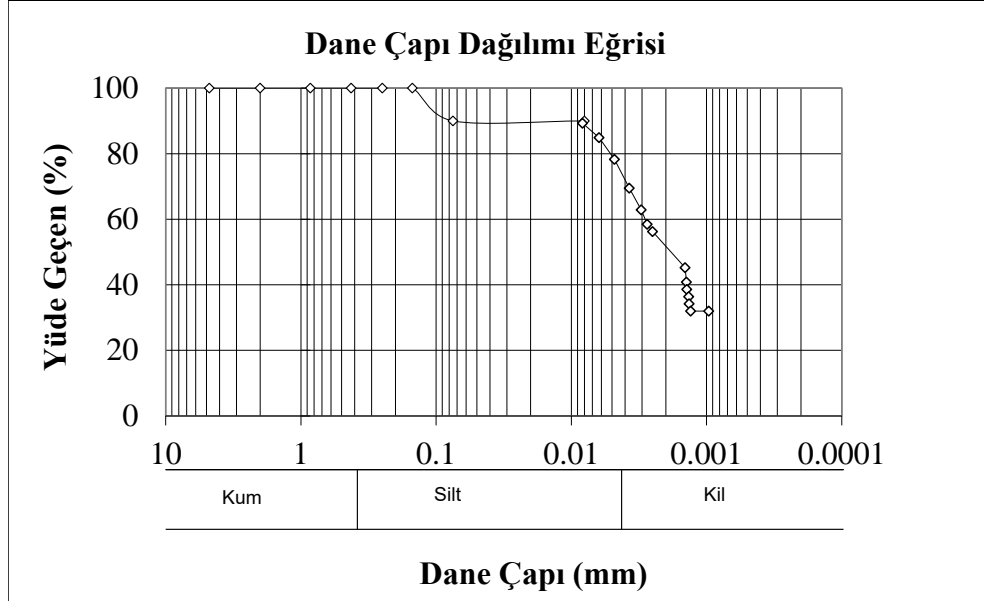
Şekil 5.5: Düşen koni penetrasyon deneyi ile likit limit belirlenmesi.

Tablo 5.4: Plastik limitin belirlenmesi.

Deney Türü	Plastik Limit		
	Yaş numune + kap(gr)	18.65	23.10
Kuru numune + kap (gr)	17.60	20.70	17.20
Kap (gr)	13.75	12.10	13.55
Su miktarı (gr)	1.05	2.40	1.00
Kuru numune (gr)	3.85	8.60	3.65
Su muhtevası (%)	27.30	27.90	27.40
Ortalama su muhtevası (w_p)	27.50		

Tablo 5.5: Özgül yoğunluğun belirlenmesi.

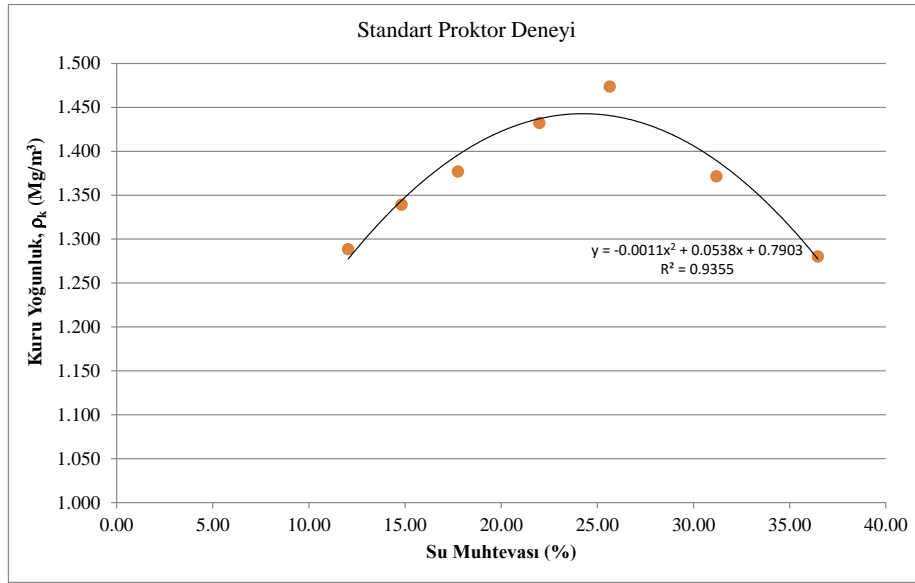
Özgül Yoğunluk Deneyi			
Örnek no	1	2	3
Piknometre kütlesi (W_1)	34.75	32.95	43.45
Piknometre + numune kütlesi(W_2)	54.80	52.35	62.75
Piknometre + numune + su kütlesi(W_3)	150.10	150	154.70
Sadece su ile dolu piknometre kütlesi (W_4)	137.70	137.90	142.80
Numunenin kütlesi ($W_2 - W_1$)	20.05	19.40	19.30
Piknometreyi dolduran su kütlesi ($W_4 - W_1$)	102.95	104.95	99.35
Zemine eklenen su kütlesi ($W_3 - W_2$)	95.30	97.65	91.95
Numune hacmi ($W_4 - W_1$) - ($W_3 - W_2$)	7.65	7.30	7.40
Zeminin tane özgül yoğunluğu	2.62	2.65	2.61
G_s	2.63		



Şekil 5.6: Hidrometre deneyi sonucu.

Kil numunenin optimum kuru yoğunluğunu ve su muhtevasını tespit edebilmek için standart proktor deneyi yapıldı, sonuç Şekil 5.7’de gösterildi. Elde edilen grafikten çizilen 2.derece polinom grafiğine göre kil zemine ait $\gamma_{max} = 1.448 \text{ Mg/m}^3$ olarak elde edildi. Buna karşılık gelen optimum su içeriği (w_{opt}) ise

%24.50 dolaylarındadır. Malzeme üzerinde yapılan deneyler sonucu belirlenen fiziksel ve kompaksiyon özellikleri Tablo 5.6’da gösterildi.



Şekil 5.7: Standart Proktor enerjisi altında elde edilmiş olan su içeriği-kuru birim hacim ağırlık ilişkisi.

Tablo 5.6: Deneylerde kullanılan kile ait fiziksel özellikler.

Zemin sınıflandırması (USCS)	CL
No 200 geçen %	90
Likit limit, w _L (%)	48
Plastik limit, w _P (%)	27.50
Plastisite indisi, I _p (%)	20.50
Tane özgül yoğunluğu, G _s	2.63
Maksimum kuru yoğunluk, ρ _k (Mg/m ³)	14.50
Optimum su muhtevası, w _{opt} (%)	24.50

5.1.2 Deneylerde Kullanılan Geotekstillerin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Serbest basınç deneylerinde esas olarak dört farklı tip geotekstil kullanılmıştır. Bunlardan iki tanesi örgülü ve iki tanesi örgüsüz olmak üzere bütün malzemeler çeşitli firmalarından elde edilmiştir. Bu geotekstillere çalışmanın

amacı doğrultusunda farklı geotekstil mekanik özelliklerinin kil zeminler üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla seçilmiştir. Bu geotekstillere ait bazı parametreler Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de verilmiştir.

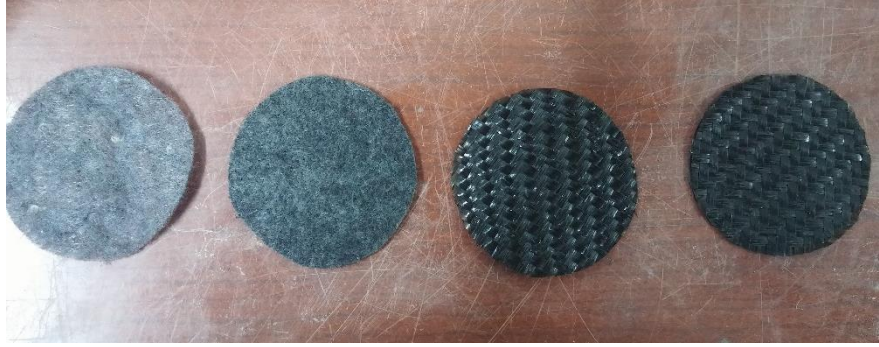
Tablo 5.7: Deneylerde kullanılan örgüsüz geotekstillere ait fiziksel ve mekanik özellikler.

Geotekstil	Ham madde	Birim Alan Ağırlığı (g/m ²)	Kalınlık (mm)	Çekme Mukavemeti (N/m)	Kopma Uzaması (%)		Görünür göz açıklığı (mm)
					Boy	En	
İzoteknik 1000-G1	Polyester	100	1	2500	80	80	0.17
İzoteknik 2500-G2	Polyester	250	2.50	8000	50	80	--

Tablo 5.8: Deneylerde kullanılan örgülü geotekstillere ait fiziksel ve mekanik özellikler.

Geotekstil	Statik Delinme Dayanımı (N)	Dinamik Delinme Miktarı (Koni Düşmesi, mm)	Çekme Dayanımı (N/m)	Kopma Uzaması (%)		Görünür göz açıklığı (mm)
				Boy	En	
SUNJUT/PP/80/80 G3	9980	7.50	80000	19	15	0.12
SUNJUT/PP/60/60 G4	8000	10	60000	17	13	0.18

Çalışma kapsamında kullanılmak üzere seçilen geotekstillere ait fotoğraflar Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.8: Deneyleerde kullanılan geotekstil çeşitleri soldan sağa doğru İzoteknik 1000 (G1), İzoteknik 2500 (G2), Sunjut/PP/80*80 (G3), Sunjut/PP/60*60 (G4).

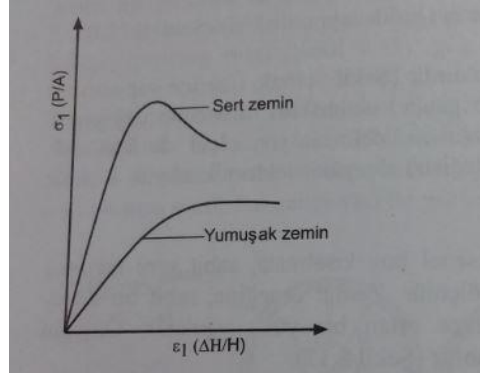
5.2 Serbest Basınç Deneyi ve Deney Yöntemi

Serbest basınç deneyi örselenmemiş zemin örneklerinin alınabildiği kohezyonlu zeminler için uygun olan bir deneyleerdir. Örselenmemiş silindirik ($D=38$ mm, $H=76$ mm) zemin örneği, yanal basınç olmaksızın ($\sigma_3=0$), düşey basınç gerilmesine (σ_1) tabi tutulur. Serbest basınç deney aleti, biri sabit, diğeri düşey yönde hareket ettirilebilen iki yuvarlak plakadan oluşur. Zemin örneği bu iki plaka arasına yerleştirilir. Düşey yük bir yük halkası, yük hücresi vb. bir yük ölçme düzeni ile ölçülür ve düşey deformasyon biçiminde uygulanır.

Kırılma anındaki en büyük yük (P_{max}), zemin örneğinin A_f enkesit alanına bölünerek, serbest basınç mukavemeti, q_u , bulunur.

$$q_u = \sigma_1 = P_{max} / A_f \quad (5.1)$$

Şekil 5.9'da zemine ait gerilme-şekil değıştirme ilişkileri görülüyor. Zeminde bu ilişki, elastisite teorisindeki gibi doğrusal olmayıp eğriseldir. Boşaltmada gene elastisite teorisindekinden farklı olup; elastik değıil plastiktir.



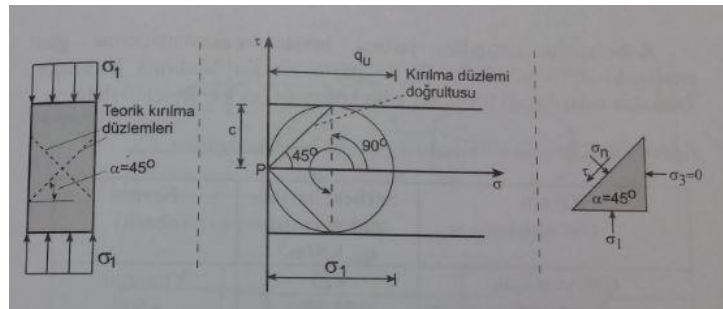
Şekil 5.9: Serbest basınç deneyinde şekil değiştirme- gerilme ilişkileri (Uzuner,2000).

Serbest basınç deneyinde, yükleme, görel olarak hızlıdır ve deney koşulları, drenajsız (zemin örneğinden su çıkmaz) olarak düşünülür. Kısaca zemin örneğinin hacmi, deney süresince sabit kalır. Kırılma sırasında, zemin örneğinin enkesit alanı, A_f , aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$V = \text{sabit} = A_o H_o = A_f H_f, H_f = H_o - \Delta H \quad (5.2)$$

$$A_f = \frac{A_o}{1 - \frac{\Delta H}{H_o}} \quad (5.3)$$

A_o , H_o , sırasıyla, zemin örneğinin başlangıçtaki enkesit alanı ve yüksekliğidirler. ΔH , kırılma anında, zemin örneğinin düşey boy kısalmasıdır. Deneye ait diyagram, Şekil 5.10' da görülmektedir. Serbest basınç deneyinde, kohezyon, serbest basınç mukavemetinin yarısına eşittir (Denklem 5.4). Drenajsız kohezyon değeri, killerde kıvam (sertlik-yumuşaklık) bağlıdır. Kıvam da zeminin su içeriğine bağlıdır. Kohezyon (c), sert zeminlerde yüksek, yumuşak zeminlerde düşüktür.



Şekil 5.10: Serbest basınç deneyi (Uzuner,2000).

$$c = \frac{q_u}{2} \quad (5.4)$$

Kohezyonlu zeminler, serbest basınç mukavemetlerine göre sınıflandırılabilirler. Serbest basınç mukavemeti, kilin kıvamına bağlıdır (Tablo 5.9).

Tablo 5.9:Serbest basınç mukavemetine göre killerin sınıflandırılması.

Kıvam (ayrıntılı)	Serbest basınç mukavemeti, q_u , kPa	Kıvam (basit)
Çok yumuşak	<25	Yumuşak <50
Yumuşak	25-50	
Yumuşak-orta sert	50-100	Orta sert 50-200
Orta sert	100-200	
Sert	200-400	Sert >200
Çok sert	>400	

Deney programı doğrultusunda hazırlanan örneklere geotekstil türünü (G1, G2, G3, G4), su içeriğini (w_{opt}), kullanılan geotekstil tabaka sayısını (0, 1, 2, 3, 4) ve yükleme hızını (0.1 mm/dk., 1 mm/dk., 5 mm/dk.) kullanarak deney numaraları belirlendi. Çalışma kapsamında, düşük plastisite özelliğine sahip kil örnekleri optimum su muhtevası olan % 24.50 su içeriğinde hazırlandı. Su içeriklerinin seçiminde arazide oluşabilecek farklılıkları yansıtmak için optimum su içeriğinden \pm %2 ve \pm %4 kadar bir fark dikkate alındı. Örnekler, donatısız, 1, 2, 3 ve 4 geotekstil tabakalı olarak serbest basınç deneyine tabi tutuldu. Serbest basınç deneyleri ASTM D2166 standartlarına uygun olarak yapıldı. Tablo 5.10'da deney programı sunulmuştur.

Tablo 5.10: Deney değişkenleri ve deney numaraları.

Test No	Geotekstil Türü	Yükleme Hızı (mm/dk.)	Tabaka Sayısı	Deneyler		
1	Yok	0.1	Sıfır	Deney1	Deney2	Deney3
2	Yok	1	Sıfır	Deney4	Deney5	Deney6
3	Yok	5	Sıfır	Deney7	Deney8	Deney9
4	G1	0.1	1	Deney10	Deney11	Deney12
5	G1	1	1	Deney13	Deney14	Deney15
6	G1	5	1	Deney16	Deney17	Deney18
7	G1	0.1	2	Deney19	Deney20	Deney21
8	G1	1	2	Deney22	Deney23	Deney24
9	G1	5	2	Deney25	Deney26	Deney27
10	G1	0.1	3	Deney28	Deney29	Deney30
11	G1	1	3	Deney31	Deney32	Deney33
12	G1	5	3	Deney34	Deney35	Deney36
13	G1	0.1	4	Deney37	Deney38	Deney39
14	G1	1	4	Deney40	Deney41	Deney42
15	G1	5	4	Deney43	Deney44	Deney45
16	G2	0.1	1	Deney46	Deney47	Deney48
17	G2	1	1	Deney49	Deney50	Deney51
18	G2	5	1	Deney52	Deney53	Deney54
19	G2	0.1	2	Deney55	Deney56	Deney57
20	G2	1	2	Deney58	Deney59	Deney60
21	G2	5	2	Deney61	Deney62	Deney63
22	G3	0.1	1	Deney64	Deney65	Deney66
23	G3	1	1	Deney67	Deney68	Deney69
24	G3	5	1	Deney70	Deney71	Deney72
25	G3	0.1	2	Deney73	Deney74	Deney75
26	G3	1	2	Deney76	Deney77	Deney78
27	G3	5	2	Deney79	Deney80	Deney81
28	G4	0.1	1	Deney82	Deney83	Deney84
29	G4	1	1	Deney85	Deney86	Deney87
30	G4	5	1	Deney88	Deney89	Deney90
31	G4	0.1	2	Deney91	Deney92	Deney93
32	G4	1	2	Deney94	Deney95	Deney96
33	G4	5	2	Deney97	Deney98	Deney99

5.3 Serbest Basınç Deneyi Ekipmanları

Deney düzeneğinin genel görüntüsü şekil 5.11’de gösterilmiştir. Kompaksiyon aletinin tokmağından yola çıkılarak aynı kompaksiyon enerjisi uygulanabilmesi amacıyla ½ ölçekte küçültülerek tokmak tasarlanmıştır (Şekil 5.12). Deneyler için 50mm x 100mm ölçülerinde silindirik kalıp hazırlanmıştır (Şekil 5.12). Serbest basınç test cihazının içine yerleştirilen numune, düşey basınç gerilmesine (σ_1) tabi tutuldu (Şekil 5.13). Düşey yük S tipi yük hücresi ile ölçüldü (Şekil 5.14). Düşey şekil değiştirme doğrusal potansiyometrik cetvel ile ölçüldü (Şekil 5.15). Deney sırasında gerilme şekil değiştirme gibi değerlerin bilgisayara aktarılabilmesi için veri edinim ünitesi kullanıldı (Şekil 5.16).



Şekil 5.11: Deney düzeneğinin genel görünümü.



Şekil 5.12: Numuneyi sıkıştırmak için kullanılan tokmak ve kalıp.



Şekil 5.13: Serbest basınç deney aleti.



Şekil 5.14: S tipi yük hücresi.



Şekil 5.15: Doğrusal potansiyometrik cetvel.



Şekil 5.16: Veri edinim ünitesi.

5.4 Serbest Basınc Deneyinin Yapılışı

Çalışma kapsamında yapılan işlemler ayrıntılı olarak aşağıda anlatılmıştır. Zemin örneği 110 °C' ye ayarlı etüvde 24 saat bekletilip kurumaya bırakıldı (Şekil 5.17). Kuruyan malzemeler ilk olarak kırıcıdan daha sonra öğütücüden geçirilerek, 200 nolu elekten elendi (Şekil 5.18).



Şekil 5.17: Etüvde kurumaya bırakılan zemin örnekleri.



Şekil 5.18: Numunenin değirmende öğütülmesi.

İstenilen sıklıkta zemini elde edebilmek için optimum su muhtevasına göre 70 gr. su ile 284 gr. zemin numunesi homojen karıştırılıp 50mm x 100mm boyutlarındaki kalıba yerleştirilmek üzere hazırlandı (Şekil 5.19). Zemin numunesi eşit parçalara ayrılıp tokmaklanarak standart proktor enerjisiyle kalıbın içine homojen bir şekilde altı tabaka şeklinde yerleştirildi (Şekil 5.20).



Şekil 5.19: Numune hazırlama.



Şekil 5.20: Numuneyi kalıba yerleştirme.

Numune kalıptan kriko yardımıyla çıkartıldıktan sonra tartıldı (Şekil 5.21). Çıkartılan numunenin eni ve boyu elektronik kumpas kullanılarak ölçüldü (Şekil 5.22). Bu işlem sonucunda 50 mm çapında, 100 mm yüksekliğinde silindirik numuneler oluşturuldu.

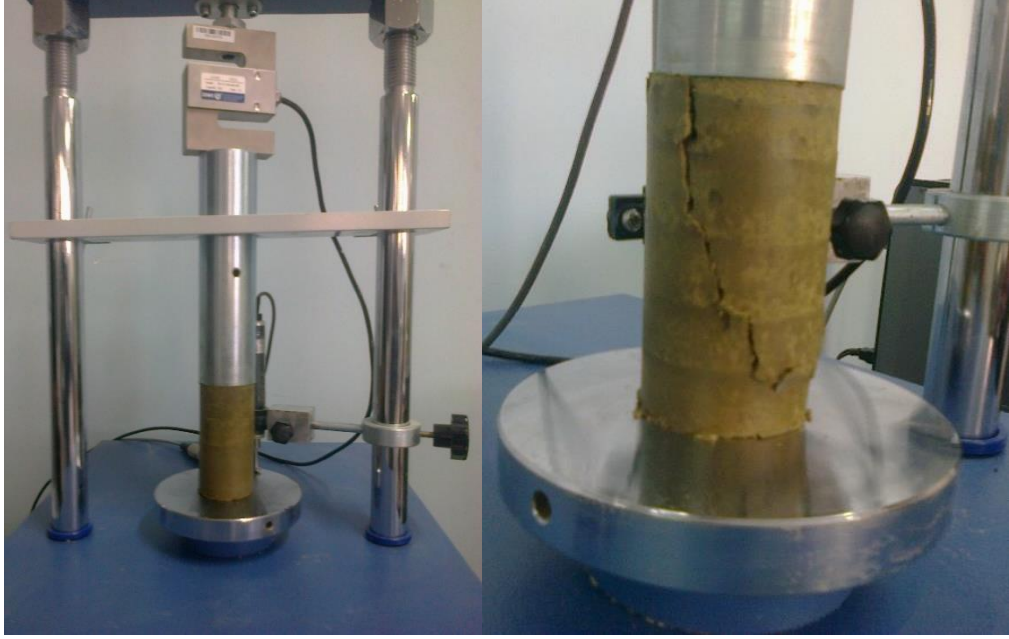


Şekil 5.21: Numunenin kalıptan çıkartılması ve tartılması.



Şekil 5.22: Numunenin elektronik kumpas kullanılarak ölçülmesi.

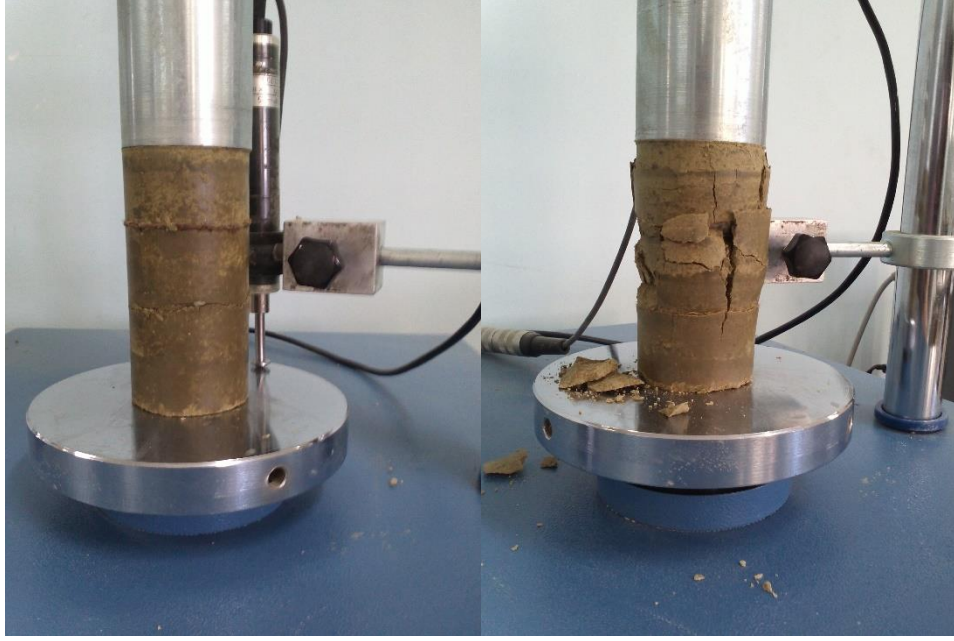
Hazırlanan örnekler geotekstil tabaka sayısına göre belirlendi. Geotekstil donatılı ve donatısız zemin örnekleri, hazırlandıktan sonra serbest basınç deneyi yapıldı (Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27).



Şekil 5.23: Donatısız zemin örneği ve kırılma şekli.



Şekil 5.24: Tek tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.



Şekil 5.25: İki tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.



Şekil 5.26: Üç tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.



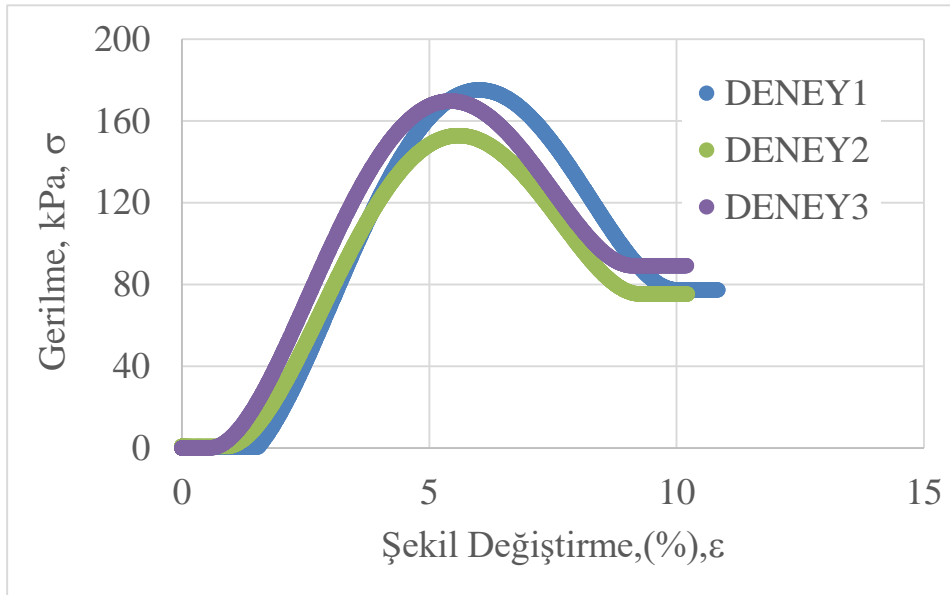
Şekil 5.27: Dört tabakalı geotekstil ile hazırlanmış zemin örneği ve kırılma şekli.

Kullanılan serbest basınç deney aletinde üst tabaka sabit alt tabaka hareketlidir. Proje kapsamında farklı parametreleri incelemek amacıyla dört grup değişken üzerinde çalışıldı. Kullanılan geotekstil çeşidinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin serbest basınç dirençleri üzerinde etkisi olup olmadığı incelendi. İkinci olarak geotekstil yerleştirme şekillerinin (tabaka sayısı) etkileri araştırıldı. Ayrıca yükleme hızının serbest basınç dayanımına olan etkisi belirlendi. Yapılan çalışmaları özetlemek gerekirse; dört farklı geotekstil türü, beş farklı geotekstil yerleştirme şekli, üç farklı yükleme hızı parametreleri kullanıldı.

6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Yapılan deneylerde ilk önce, killi zeminlerde ilk geotekstil türünün serbest basınç dayanımına (q_u) etkisi araştırılmıştır. Daha sonra, geotekstil tabaka sayısının serbest basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. İlk geotekstil türünün ve tabaka sayılarının etkileri tespit edildikten sonra yükleme hızının serbest basınç dayanımına olan etkisi araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden geotekstil ile güçlendirilen killi zeminlerin serbest basınç mukavemeti (q_u), maksimum gerilme (σ_{max}), maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme (ϵ), kohezyon (c_u), kıvam, kalıcı direnç (rezidüel) ve uygulanan maksimum yük (P_{max}) belirlenmiştir. Yapılan deney programı kapsamında deney parametreleri ve bu parametrelere karşılık elde edilen veriler Tablo 6.1’de sunulmuştur.

Tüm deneylerin doğruluğunun kanıtlanabilmesi için her durum için deneyler üçer kez tekrar edilmiştir. Şekil 6.1’de örnek bir deney seti verilmiştir.



Şekil 6.1: G1 (İzoteknik 1000) geotekstil türü için bir tabakalı, 0,1 mm/dk. yükleme hızında gerçekleştirilen deneyin üç kere tekrarlanması.

Tablo 6.1: Deney parametreleri ve bu parametrelere karşılık elde edilen veriler.

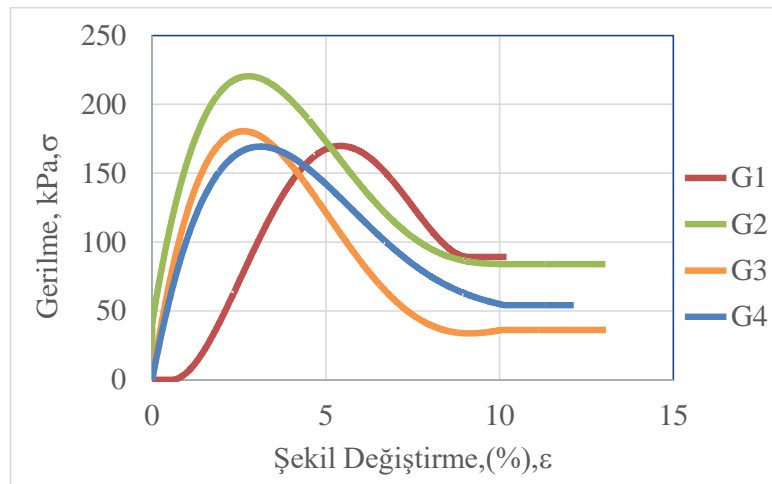
Deney No	Geotekstil Türü	Su Muhtevası (%)	Yükleme Hızı (mm/dk)	Tabaka Sayısı	Maksimum Gerilme (σ,kPa)	Maksimum Boy Değişimi (ε,%)	Serbest Basınç Mukavemeti (qu,kPa)	Kohezyon (c,u,kPa)	Kıvam (Ayrıntılı)	Kalıcı (Rezidüel) Direnç (kPa)	Pmak (N)
1	Yok	24.5	0.1	0	135.487	5.165	135.487	67.744	KATI	6.274	395.830
2	Yok	24.5	0.1	0	182.025	5.773	182.025	91.012	KATI	35.158	488.420
3	Yok	24.5	0.1	0	178.719	5.753	178.719	89.359	KATI	63.747	525.460
4	Yok	24.5	1	0	218.281	4.503	218.281	109.140	SERT	17.630	476.850
5	Yok	24.5	1	0	144.566	6.109	144.566	72.283	KATI	46.767	460.640
6	Yok	24.5	1	0	133.933	5.877	133.933	66.966	KATI	0.246	467.590
7	Yok	24.5	5	0	184.094	5.250	184.094	92.047	KATI	0.069	509.250
8	Yok	24.5	5	0	167.509	5.185	167.509	83.754	KATI	19.332	435.180
9	Yok	24.5	5	0	194.353	5.720	194.353	97.176	KATI	32.625	562.500
10	G1	24.5	0.1	1	175.191	6.010	175.191	87.595	KATI	77.381	486.110
11	G1	24.5	0.1	1	152.863	5.589	152.863	76.431	KATI	75.367	449.070
12	G1	24.5	0.1	1	185.203	5.427	185.203	92.601	KATI	104.579	460.640
13	G1	24.5	1	1	183.156	6.062	183.156	91.578	KATI	75.102	456.010
14	G1	24.5	1	1	204.848	7.496	204.848	102.424	SERT	115.992	527.770
15	G1	24.5	1	1	180.647	6.425	180.647	90.323	KATI	42.960	500.000
16	G1	24.5	5	1	185.457	5.251	185.457	92.728	KATI	99.282	458.330
17	G1	24.5	5	1	216.584	6.189	216.584	108.292	SERT	118.304	537.030
18	G1	24.5	5	1	169.460	6.188	169.460	84.730	KATI	58.057	458.330
19	G1	24.5	0.1	2	215.136	8.789	215.136	107.568	SERT	195.228	525.460
20	G1	24.5	0.1	2	228.031	8.000	228.031	114.016	SERT	182.820	550.920
21	G1	24.5	0.1	2	139.793	6.923	139.793	69.896	KATI	90.049	391.200
22	G1	24.5	1	2	200.557	7.802	200.557	100.279	SERT	136.620	500.000
23	G1	24.5	1	2	215.091	8.544	215.091	107.546	SERT	179.392	513.880
24	G1	24.5	1	2	197.455	7.022	197.455	98.728	KATI	85.209	555.550
25	G1	24.5	5	2	220.600	7.151	220.600	110.300	SERT	133.505	552.400
26	G1	24.5	5	2	148.536	7.077	148.536	74.268	KATI	56.604	407.400
27	G1	24.5	5	2	125.728	6.095	125.728	62.864	KATI	66.924	398.140
28	G1	24.5	0.1	3	201.011	7.227	201.011	100.505	SERT	159.682	500.000
29	G1	24.5	0.1	3	160.990	7.613	160.990	80.495	KATI	118.844	425.920
30	G1	24.5	0.1	3	187.785	6.687	187.785	93.893	KATI	137.328	486.110
31	G1	24.5	1	3	171.394	4.880	171.394	85.697	KATI	138.189	412.040
32	G1	24.5	1	3	187.255	8.487	187.255	93.627	KATI	151.306	457.680
33	G1	24.5	1	3	187.372	7.891	187.372	93.686	KATI	141.253	483.790
34	G1	24.5	5	3	235.825	6.972	235.825	117.912	SERT	140.620	537.030
35	G1	24.5	5	3	181.470	7.385	181.470	90.735	KATI	130.346	430.550
36	G1	24.5	5	3	184.335	8.435	184.335	92.167	KATI	142.786	456.010
37	G1	24.5	0.1	4	215.126	8.194	215.126	107.563	SERT	195.072	546.290
38	G1	24.5	0.1	4	232.744	6.531	232.744	116.372	SERT	188.812	560.180
39	G1	24.5	0.1	4	201.738	7.337	201.738	100.869	SERT	142.553	523.140
40	G1	24.5	1	4	275.393	7.503	275.393	137.697	SERT	230.324	608.790
41	G1	24.5	1	4	262.166	7.759	262.166	131.083	SERT	223.302	608.790
42	G1	24.5	1	4	292.765	8.771	292.765	146.382	SERT	279.872	712.960
43	G1	24.5	5	4	217.663	7.483	217.663	108.831	SERT	167.490	490.740
44	G1	24.5	5	4	214.868	6.862	214.868	107.434	SERT	147.202	513.880
45	G1	24.5	5	4	198.664	6.089	198.664	99.332	KATI	98.446	500.000
46	G2	24.5	0.1	1	220.441	2.779	220.441	110.221	SERT	57.223	527.770
47	G2	24.5	0.1	1	203.528	2.547	203.528	101.764	SERT	40.102	509.250
48	G2	24.5	0.1	1	176.211	2.170	176.211	88.106	KATI	34.417	525.460
49	G2	24.5	1	1	235.148	2.826	235.148	117.574	SERT	100.106	585.640
50	G2	24.5	1	1	227.545	2.460	227.545	113.772	SERT	94.163	553.240
51	G2	24.5	1	1	259.300	2.713	259.300	129.650	SERT	102.656	574.070
52	G2	24.5	5	1	245.386	2.691	245.386	122.693	SERT	80.254	594.900
53	G2	24.5	5	1	259.497	2.511	259.497	129.748	SERT	118.282	600.460
54	G2	24.5	5	1	247.701	3.085	247.701	123.850	SERT	119.861	543.980
55	G2	24.5	0.1	2	190.138	2.984	190.138	95.069	KATI	77.095	481.480
56	G2	24.5	0.1	2	203.887	3.430	203.887	101.943	SERT	131.012	532.400
57	G2	24.5	0.1	2	235.746	3.508	235.746	117.873	SERT	149.887	578.700
58	G2	24.5	1	2	264.931	3.669	264.931	132.465	SERT	220.423	576.380
59	G2	24.5	1	2	166.289	3.886	166.289	83.144	KATI	105.111	412.030
60	G2	24.5	1	2	222.497	4.471	222.497	111.249	SERT	156.521	525.460
61	G2	24.5	5	2	271.032	3.240	271.032	135.516	SERT	194.632	581.010
62	G2	24.5	5	2	258.189	3.309	258.189	129.095	SERT	159.774	620.370
63	G2	24.5	5	2	202.410	3.227	202.410	101.205	SERT	122.667	439.810
64	G3	24.5	0.1	1	149.686	2.241	149.686	74.843	KATI	5.172	421.290
65	G3	24.5	0.1	1	195.740	2.632	195.740	97.870	KATI	48.800	525.460
66	G3	24.5	0.1	1	243.922	3.054	243.922	121.961	SERT	101.499	576.380
67	G3	24.5	1	1	168.730	3.245	168.730	84.365	KATI	42.664	462.960
68	G3	24.5	1	1	220.631	2.516	220.631	110.315	SERT	81.183	592.590
69	G3	24.5	1	1	193.425	2.213	193.425	96.713	KATI	7.052	467.590
70	G3	24.5	5	1	231.750	2.501	231.750	115.875	SERT	92.502	553.240
71	G3	24.5	5	1	219.093	2.850	219.093	109.547	SERT	49.923	506.940
72	G3	24.5	5	1	245.578	2.164	245.578	122.789	SERT	49.824	597.220
73	G3	24.5	0.1	2	210.546	4.820	210.546	105.273	SERT	126.433	634.250
74	G3	24.5	0.1	2	244.854	4.827	244.854	122.427	SERT	144.979	634.250
75	G3	24.5	0.1	2	223.359	4.187	223.359	111.679	SERT	122.455	604.160
76	G3	24.5	1	2	250.113	3.899	250.113	125.057	SERT	138.695	583.330
77	G3	24.5	1	2	245.012	3.573	245.012	122.506	SERT	156.836	585.640
78	G3	24.5	1	2	311.835	6.395	311.835	155.917	SERT	177.293	745.370
79	G3	24.5	5	2	230.092	2.882	230.092	115.046	SERT	135.021	516.200
80	G3	24.5	5	2	222.656	5.951	222.656	111.328	SERT	119.840	555.550
81	G3	24.5	5	2	204.909	3.511	204.909	102.455	SERT	71.378	567.120
82	G4	24.5	0.1	1	196.625	3.107	196.625	98.312	KATI	67.188	490.740
83	G4	24.5	0.1	1	201.289	2.648	201.289	100.645	SERT	104.137	541.660
84	G4	24.5	0.1	1	226.529	3.091	226.529	113.264	SERT	62.440	587.960
85	G4	24.5	1	1	158.754	2.202	158.754	79.377	KATI	27.402	476.850
86	G4	24.5	1	1	273.836	2.436	273.836	136.918	SERT	113.466	662.030
87	G4	24.5	1	1	192.734	2.067	192.734	96.367	KATI	29.570	486.110
88	G4	24.5	5	1	193.969	2.523	193.969	96.984	KATI	46.696	502.310
89	G4	24.5	5	1	204.511	1.977	204.511	102.255	SERT	41.914	557.870
90	G4	24.5	5	1	228.596	2.399	228.596	114.298	SERT	54.593	530.090
91	G4	24.5	0.1	2	260.731	5.880	260.731	130.365	SERT	202.496	641.200
92	G4	24.5	0.1	2	185.143	3.759	185.143	92.572	KATI	102.297	511.570
93	G4	24.5	0.1	2	229.649	5.958	229.649	114.825	SERT	123.278	569.440
94	G4	24.5	1	2	236.495	3.427	236.495	118.248	SERT	127.647	601.850
95	G4	24.5	1	2	267.971	2.987	267.971	133.986	SERT	158.836	678.240
96	G4	24.5	1	2	217.254	3.486	217.254	108.627	SERT	119.962	483.790
97	G4	24.5	5	2	198.761	3.699	198.761	99.380	KATI	100.072	483.790
98	G4	24.5	5	2	176.699	3.571	176.699	88.349	KATI	100.288	465.270
99	G4	24.5	5	2	262.971	4.463	262.971	131.485	SERT	170.395	659.720

6.1 Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etki Eden Parametreler

Bir malzemenin gerilme ve şekil değiştirme arasındaki ilişkisi o malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrisi olarak bilinir. Malzemeye özgüdür ve farklı zaman aralıklarında uygulanan çekme ve basma gerilmelerinin yarattığı şekil değiştirme miktarı kaydedilerek bulunur. Gerçekleştirilen serbest basınç deneyleri sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme davranışına etki eden parametreler; geotekstil türü, tabaka sayısı ve yükleme hızının değişimi olarak ayrı ayrı incelenmiştir.

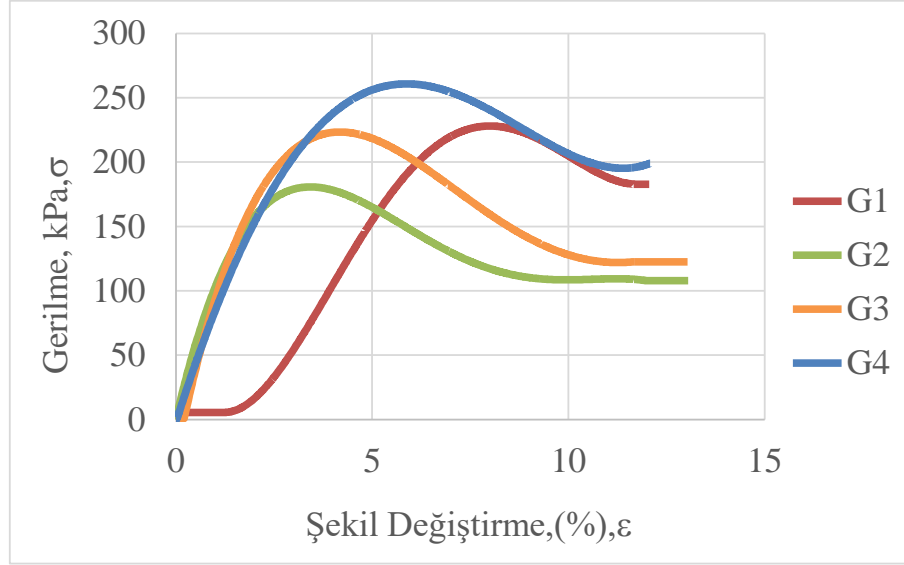
6.1.1 Geotekstil Türünün Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etkisi

Yapılan çalışmada geotekstil türünün, gerilme şekil değiştirme davranışına etkisini araştırmak amacıyla farklı yükleme hızları ve tabaka sayılarında deneyler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. İlk olarak yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 için elde edilen gerilme şekil değiştirme grafiği Şekil 6.2’de verilmiştir. G2 (izoteknik 2500) türü örgüsüz geotekstilin en büyük gerilme değerini aldığı ve G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstilin en küçük gerilme değerini aldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstilin maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirmesi en büyük değeri almıştır.



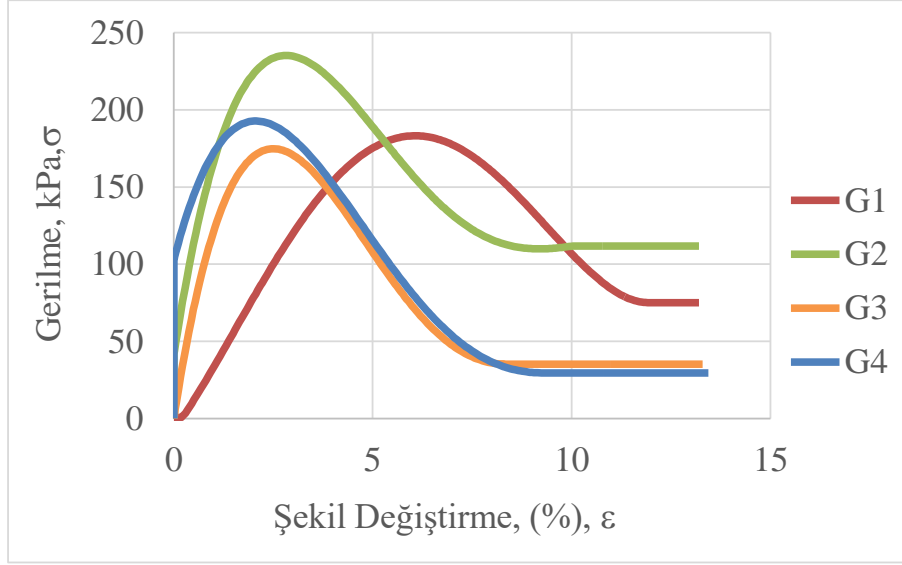
Şekil 6.2: Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması.

Şekil 6.3’de yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 için elde edilen gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir. G4 (SUNJUT/PP/60/60) türü örgülü geotekstilin en büyük gerilme değerini aldığı ve G2 (izoteknik 2500) türü örgüsüz geotekstilin en küçük gerilme değerini aldığı gözlemlenmiştir. Şekil 6.3’de maksimum gerilme değeri G4 türü örgülü geotekstil için yaklaşık 270 kPa iken G2 türü örgüsüz geotekstil için bu değer 175 kPa olarak elde edilmiştir.



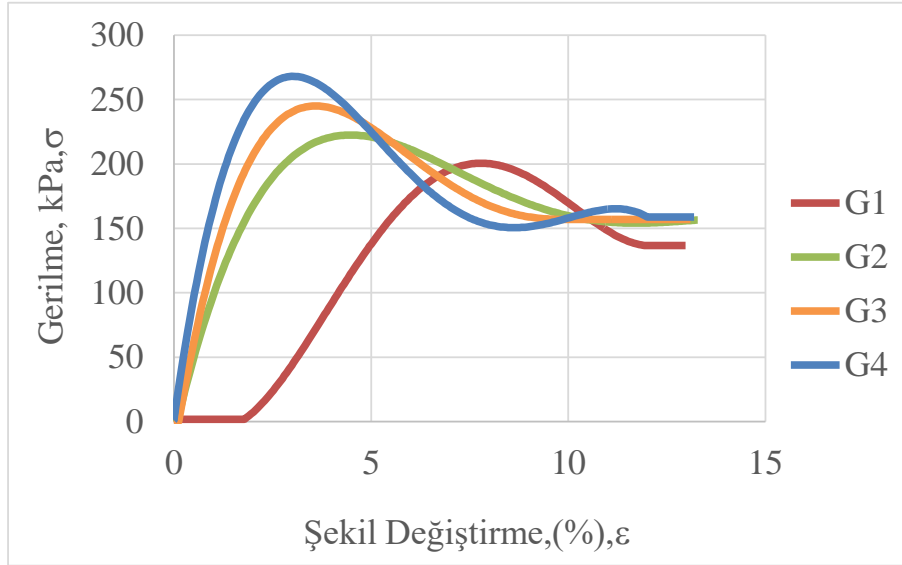
Şekil 6.3: Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması.

Şekil 6.4’de yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 için elde edilen gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir. G2 (izoteknik 2500) türü örgüsüz geotekstilin en büyük gerilme değerini aldığı ve G3 (SUNJUT /PP/80/80) türü örgülü geotekstilin en küçük gerilme değerini aldığı gözlemlenmiştir. G2 türü örgüsüz , G3 türü örgülü, ve G4 türü örgülü geotekstillerde maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değerleri %4’ün altında iken G1 türü örgüsüz geotekstilde maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme yaklaşık %8’dir.



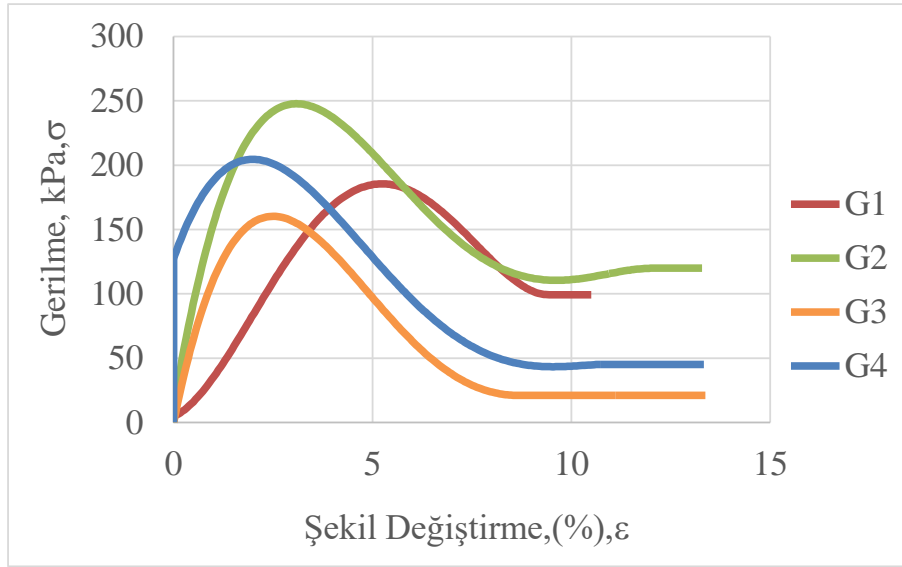
Şekil 6.4: Yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması.

Şekil 6.5’de yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 için elde edilen gerilme-şekil değişirme grafiği verilmiştir. G4 (SUNJUT/PP/60/60) türü örgülü geotekstil en büyük gerilme değerini aldığı ve G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstil en küçük gerilme değerini aldığı gözlemlenmiştir. Tüm deneylerde maksimum gerilme değeri 200 kPa’ın üzerinde elde edilmiştir.



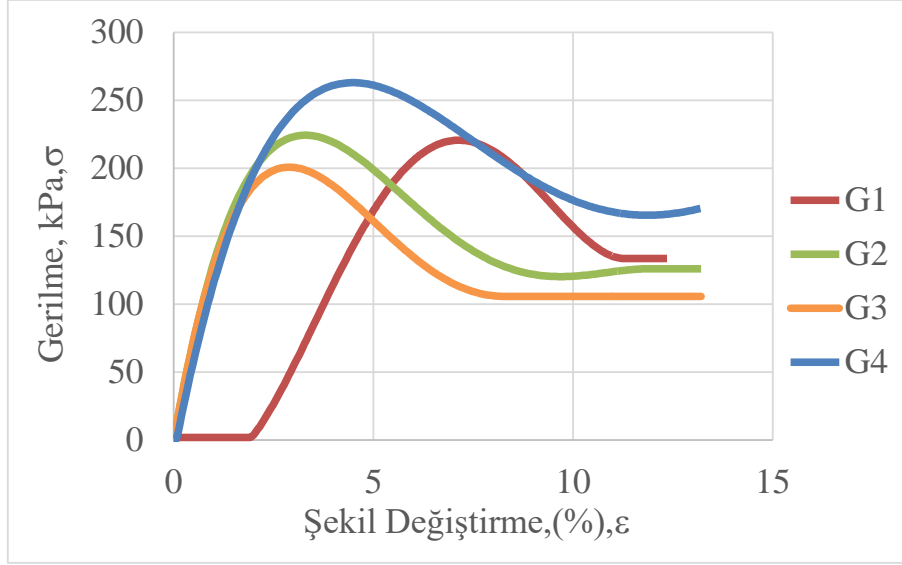
Şekil 6.5: Yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması.

Şekil 6.6'de yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 için elde edilen gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir. G2 (izoteknik 2500) türü örgüsüz geotekstilin en büyük gerilme değerini aldığı ve G3 (SUNJUT/PP/80/80) türü örgülü geotekstilin en küçük gerilme değerini aldığı gözlemlenmiştir. G2 türü örgüsüz geotekstil için elde edilen maksimum gerilme 250 kPa iken G3 türü örgülü geotekstil için elde edilen maksimum gerilme 160 kPa'dır. Bu durumda maksimum gerilmeler yaklaşık 1.5 kat artmıştır.



Şekil 6.6: Yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı 1 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması.

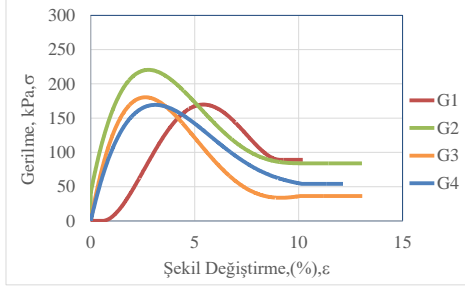
Şekil 6.7'de yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 için elde edilen gerilme şekil değiştirme grafiği verilmiştir. G4 (SUNJUT/PP/60/60) türü örgülü geotekstilin 260 kPa gerilme değerini aldığı ve G3 (SUNJUT/PP/80/80) türü örgülü geotekstilin 200 kPa değerini aldığı gözlemlenmiştir. G2 türü örgüsüz ve G3 türü örgülü geotekstil için maksimum gerilmelere karşılık gelen eksenel şekil değiştirme seviyeleri birbirine çok yakın elde edilmiştir.



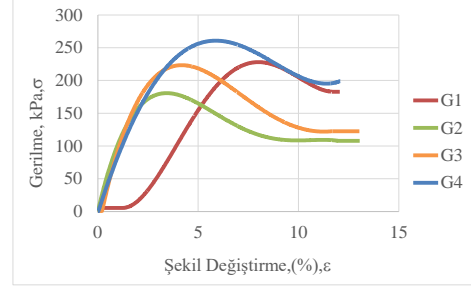
Şekil 6.7: Yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı 2 olan deneylerde geotekstil türü etkisinin karşılaştırılması.

Tüm deney sonuçlarında geotekstil türünün gerilme-şekil değişirme davranışına etkisi araştırıldığında Şekil 6.8’de farklı yükleme hızlarında gerçekleştirilen tek tabakalı deneylerde G2 türü örgüsüz geotekstil en büyük gerilme değerini aldığı görülmüştür. Tabaka sayısı ikiye çıkartıldığında ve farklı yükleme hızlarında gerçekleştirilen deneyler kıyaslandığında G4 türü örgülü geotekstil en büyük gerilme değerini aldığı gözlemlenmiştir. G1 türü örgüsüz geotekstil ise yapılan tüm deneylerde maksimum gerilme değerine karşılık gelen aksenal şekil değişirmesinin %5’in üzerinde değer olarak geotekstil türleri arasında en fazla şekil değişirme davranışına sahip olduğu gözlemlenmiştir. G1 ve G2 örgüsüz geotekstilleri mekanik ve fiziksel özellikleri açısından karşılaştırıldığında G2 türünün çekme mukavemeti 8000 N/m, G1 türünde ise bu değer 2500 N/m olduğu bilinmektedir (Tablo 5.7). Bu sebeple örgüsüz geotekstillerden G2 türünde tabaka sayısı bir iken daha yüksek değerler elde edilmiştir. Tüm geotekstil türlerinin kopma uzaması Tablo 5.7’de ve Tablo 5.8’de verilmiştir. Kopma uzaması %80 değeri ile G1 türünde en yüksek değerdedir. Bu durum tüm deneylerde G1 türü geotekstil en büyük aksenal şekil değişirme değerini almasını açıklar niteliktedir.

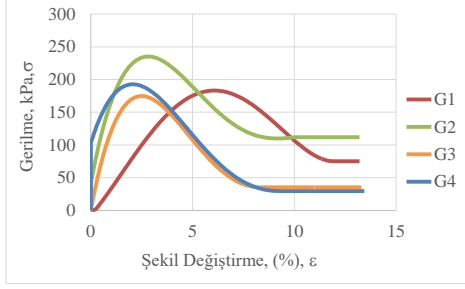
Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı:1;



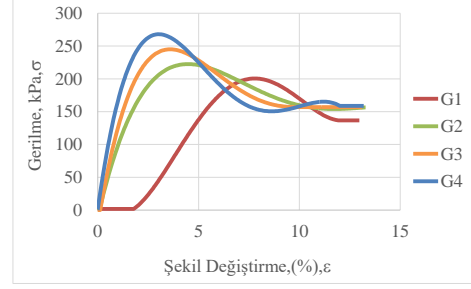
Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve tabaka sayısı:2;



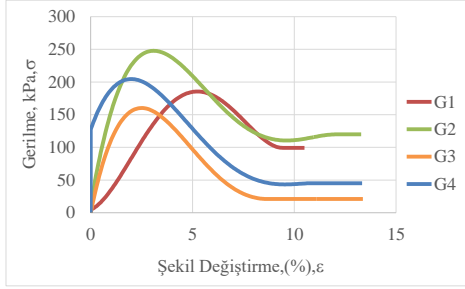
Yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı:1;



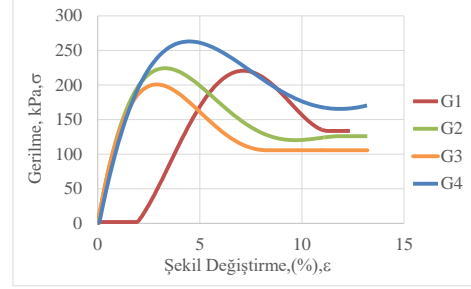
Yükleme hızı 1 mm/dk. ve tabaka sayısı:2;



Yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı:1;



Yükleme hızı 5 mm/dk. ve tabaka sayısı:2;



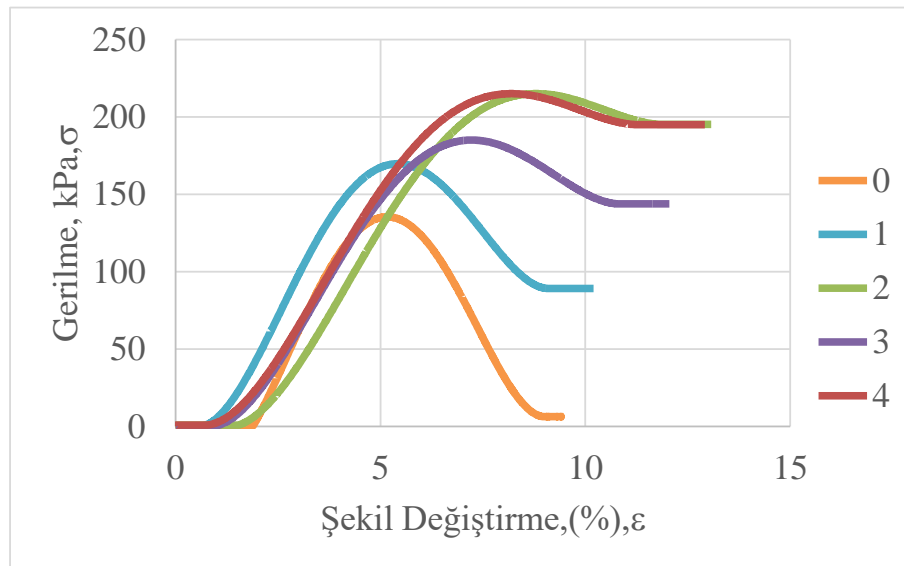
Şekil 6.8: Farklı tabaka sayısı ve yükleme hızında geotekstil türünün gerilme-şekil değişirme davranışına etkisinin karşılaştırılması

6.1.2 Tabaka Sayısının Gerilme-Şekil Değişirme Davranışına Etkisi

Zemin numunesine, sabit bir düşey deformasyon hareketi ile gittikçe artan yük uygulaması sonucu farklı kırılma şekilleri ve farklı kırılma açıları elde edilmiştir. Bu farklılığın en belirgin sebebi kullanılan geotekstilin tabaka sayısındaki değişimdir. Geotekstil kullanılmadan yüklemeye maruz bırakılan zemin numunelerinde diyagonal kırılma gözlemlenmiştir. Kırılmalar sert zeminlerde karşılaşılan gevrek kırılma olarak da adlandırılan kayma kırılması şeklinde gerçekleşmiştir. Geotekstil kullanılması ile birlikte kırılma şekli daha çok yumuşak zeminlerde gözlenen plastik (sünek) kırılma şeklini almıştır. Tabaka sayısının artması ile kırılma noktalarındaki direncin daha üst seviyelere çıktığı ve kırılma çatlaklarının numunenin üst bölgesinde toplandığı gözlemlenmiştir.

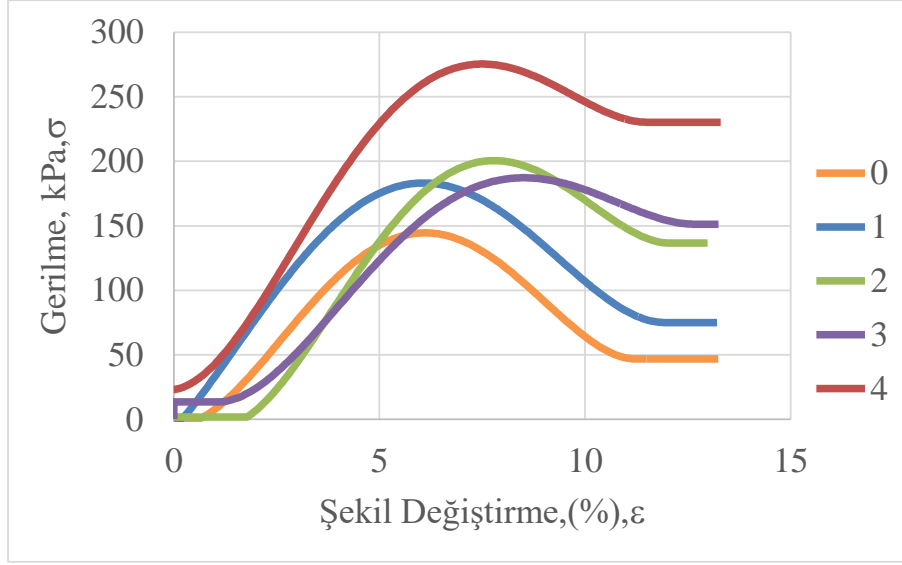
Serbest basınç dayanımının artan geotekstil tabaka sayısına bağlı olarak değişimi üç farklı yükleme hızı için çalışma kapsamında incelenmiştir. Tabaka sayıları sıfırdan dörde kadar ve G1 türü örgüsüz geotekstil için yapılmış olup diğer geotekstil türlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir. Deneylein tamamı optimum su muhtevasında yapılmıştır.

Şekil 6.9’da yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstil için elde edilen gerilme şekil değıştirme grafiği verilmiştir. Dört ve iki tabaka için elde edilen maksimum gerilme birbirine eşit ve yaklaşık 220 kPa civarındadır. Tabakasız deney için elde edilen maksimum gerilme değeri en düşük ve 130 kPa’dır. Tabaka sayısı arttıkça kalıcı dayanım değeri de artmıştır.



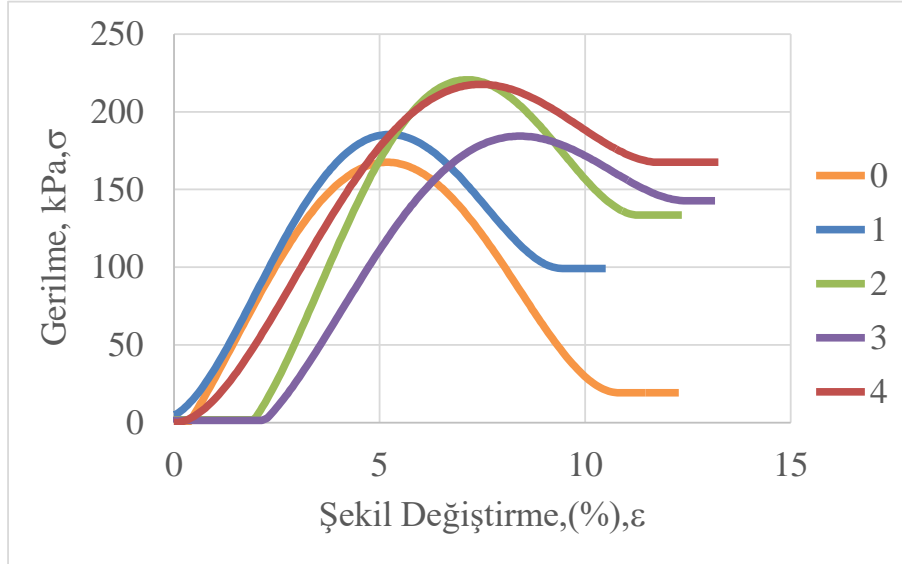
Şekil 6.9: Yükleme hızı 0.1 mm/dk. ve G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde tabaka sayısı etkisinin karşılaştırılması.

Şekil 6.10’da yükleme hızı 1 mm/dk. ve G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstil için elde edilen gerilme şekil değıştirme grafiği elde edilmiştir. Dört tabaka için maksimum gerilme 275 kPa elde edilirken, tabakasız deney için elde edilen maksimum gerilme değeri en düşük ve 147 kPa’dır. Tabaka sayısı arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır. Tabakasızdan dört tabakalıya çıkan deneylerde maksimum gerilme değeri 1.9 kat artmıştır.



Şekil 6.10: Yükleme hızı 1 mm/dk. ve G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde tabaka sayısı etkisinin karşılaştırılması.

Şekil 6.11’de yükleme hızı 5 mm/dk. ve G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstil için elde edilen gerilme şekil değişirme grafiği verilmiştir. Dört ve iki tabaka için elde edilen maksimum gerilme birbirine eşit 220 kPa iken, en düşük maksimum gerilme değeri olan 160 kPa tabakasız deneyde elde edilmiştir. Tabaka sayısı arttıkça maksimum gerilme değeri de artmıştır.



Şekil 6.11: Yükleme hızı 5 mm/dk. ve G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde tabaka sayısı etkisinin karşılaştırılması.

G1 türü örgüsüz geotekstil kullanılarak yapılan deneylerde yükleme hızları açısından tabaka sayısının etkisi çalışılmıştır. Yükleme hızı ilk olarak 0.1 mm/dk.

alınmış ve bu hız 10 kat ve 50 kat arttırılmıştır. Ancak yükleme hızındaki bu kadar büyük artış değerleri maksimum gerilme değerlerinde büyük bir fark yaratmamıştır. En temel fark ise tabaka sayısının 4 kat arttırılması ile elde edilmiştir.

6.1.3 Yükleme Hızının Gerilme Şekil Değişirme Davranışına Etkisi

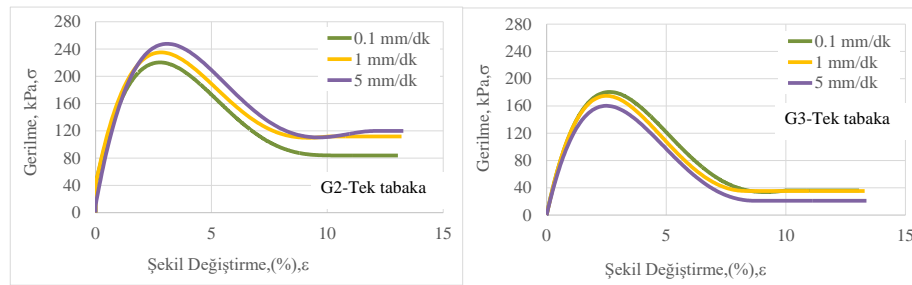
Serbest basınç deneyinde TS 1900-2 standardına göre yükleme hızının 0.5-2 mm/dk. aralığında yapılması önerilmektedir. Bu tez kapsamında farklı geotekstil türü ve tabaka sayısı için yükleme hızının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla ilk olarak G1 türü örgüsüz geotekstil ile tek tabakadan dört tabakaya kadar artan tabakalarda üç farklı yükleme hızı için deneyler yapılmıştır. Bu deneyler için yükleme hızları 0.1 mm/dk., 1 mm/dk. ve 5 mm/dk. olarak seçilmiştir. Bu hız değerleri TS 1900-2 standardının alt ve üst limitlerinin dışında olmak üzere iki değer (0.1 mm/dk. ve 5 mm/dk.) ve ortalama bir değer (1 mm/dk.) alınarak gerçekleştirilmiştir.

G1 türü örgüsüz geotekstil kullanılarak farklı tabaka sayılarında hazırlanan örnekler üç farklı yükleme hızında kırılmıştır. Şekil 6.12'deki deney sonuçları incelendiğinde tek tabaka, iki tabaka, üç tabaka ve dört tabaka için yükleme hızı bakımından maksimum gerilme değerlerinde belirgin bir fark gözlenmemiştir. Ayrıca, maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değişirme değerlerinde de belirgin bir fark yoktur.

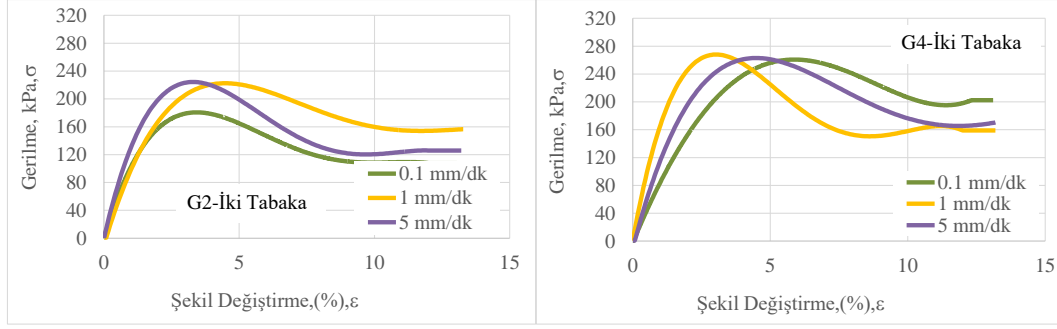


Şekil 6.12: G1 türü geotekstil kullanılan deneylerde farklı tabaka sayıları için yükleme hızı etkisinin karşılaştırılması.

G2 türü örgüsüz ve G3 türü örgülü geotekstil kullanılan deneylerde tek tabaka için yükleme hızının karşılaştırılması amacıyla bir seri deney yapılmış ve sonuçlar Şekil 6.13’de gösterilmiştir. Burada da benzer deney sonuçları elde edilmiş ve tek tabaka kullanıldığında farklı yükleme hızları için G2 türü örgüsüz ve G3 türü örgülü geotekstillere maksimum gerilme ve buna karşılık gelen şekil değiştirme değeri birbirine yakın çıkmıştır. G2 türü örgüsüz ve G4 türü örgülü geotekstiller kullanılarak iki tabaka için yükleme hızının etkisi araştırılmıştır. G2 türü örgüsüz geotekstil için iki tabaka kullanılarak yapılan deneylerde yükleme hızı 1 mm/dk. ve 5 mm/dk. için elde edilen maksimum gerilme değerlerinin birbirine eşit, 0.1 mm/dk. için elde edilen maksimum gerilme değerinin bir miktar daha küçük olduğu Şekil 6.14’de gösterilmiştir.



Şekil 6.13: G2 ve G3 türü geotekstil kullanılan deneylerde tek tabaka için yükleme hızı etkisinin karşılaştırılması.



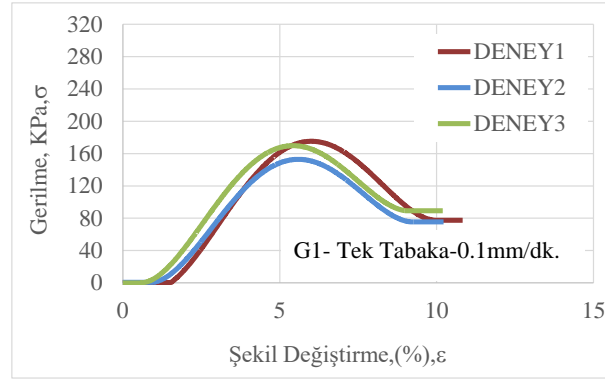
Şekil 6.14: G2 ve G4 türü geotekstil kullanılan deneylerde iki tabaka için yükleme hızı etkisinin karşılaştırılması.

6.2 Kalıcı Kayma Dayanımına Etki Eden Parametreler

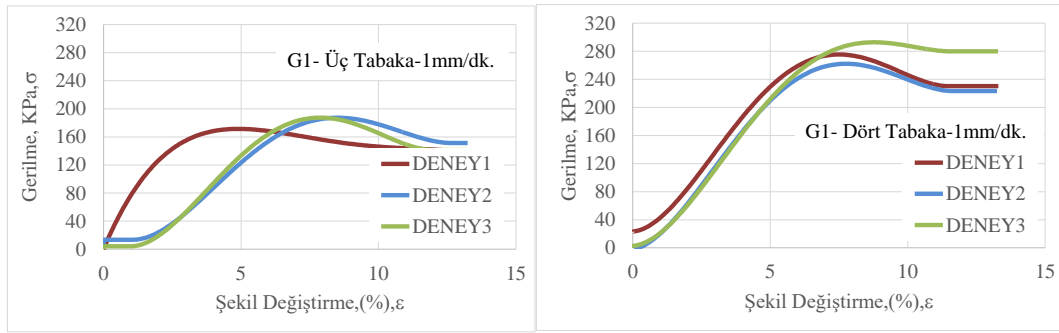
Yapılan deneylerde farklı geotekstil türü, yükleme hızı ve tabaka sayıları için kesme şekil değişirmesi devam ettikçe kayma direnci azalarak sabit bir değere yaklaşır ve bu değere kalıcı kayma dayanımı denir. Çalışma kapsamında Şekil 6.15’de tek tabakalı G1 türü örgüsüz geotekstil kullanılarak hazırlanan 0.1 mm/dk. yükleme hızına sahip örnek için kalıcı kayma dayanımı 80 kPa bulunmuş ve buna karşılık gelen şekil değişirme değeri %10 olarak elde edilmiştir. Şekil 6.16’da üç ve dört tabakalı G1 türü örgüsüz geotekstil için 1 mm/dk. yükleme hızı kullanılarak elde edilen gerilme şekil değişirme grafiklerinden elde edilen kalıcı kayma dayanımı değerleri gösterilmiştir. Üç tabaka kullanılarak yapılan deney için elde edilen kalıcı kayma dayanımı değeri 150 kPa ve buna karşılık gelen şekil değişirme %12’dir. Tabaka sayısı dörde çıkartılarak aynı yükleme hızında ve aynı geotekstil türü için yapılan deneylerden elde edilen kalıcı kayma dayanımı değeri 250 kPa ve buna karşılık gelen şekil değişirme %14’dür. Tabaka sayısının artması kalıcı kayma dayanımını 1.5 kat arttırmıştır. Ayrıca tabaka sayısı arttıkça, kalıcı kayma dayanımına karşılık gelen şekil değişirme değerlerinde de belirgin bir artış görülmüştür.

Farklı geotekstil türleri için tabaka sayısının kalıcı kayma dayanımına olan etkisini gözlemlemek amacıyla bir seri deney yapılmıştır. Şekil 6.17’de G1 türü örgüsüz geotekstil için beş farklı tabaka sayısının etkisi incelenmiştir. Gerilme şekil değişirme ilişkileri incelendiğinde, tabaka sayısının artması sonuçları olumlu yönde etkilemiştir. Şekil 6.17’de de belirgin bir şekilde görülür ki; %12.5 şekil değişirme seviyesinde kalıcı eksenel şekil değişirme değerleri

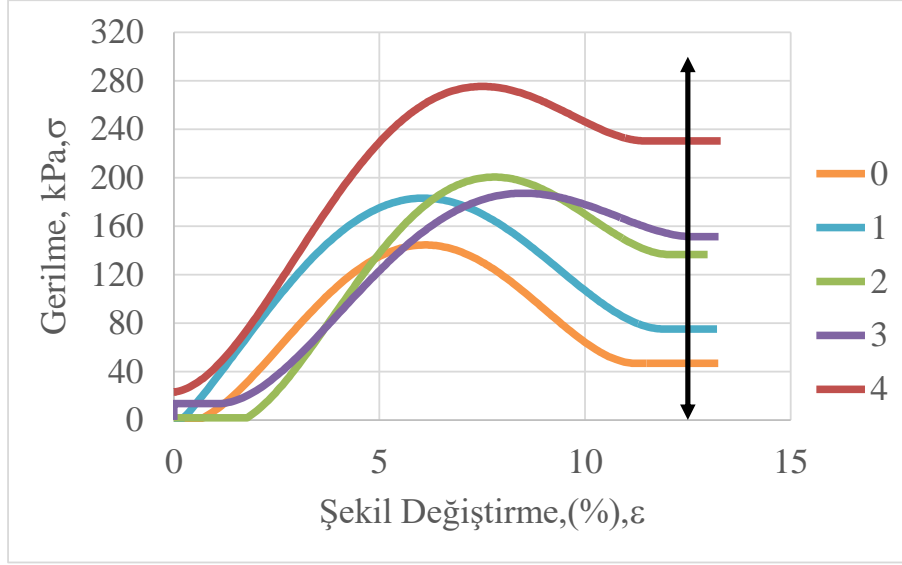
sabitlenmiştir. %12.5 şekil değiştirme seviyesi için en büyük kalıcı kayma dayanımı dört tabakalı örnek için 230 kPa olarak elde edilirken, en düşük değer ise tabakasız örnek için 50 kPa olarak elde edilmiştir. Tabaka sayısının dört kat artması kalıcı kayma dayanımının 4.6 kat arttırmıştır.



Şekil 6.15: Tek tabakalı G1 türü geotekstil, 0.1 mm/dk. yükleme hızı için kalıcı kayma dayanımı.



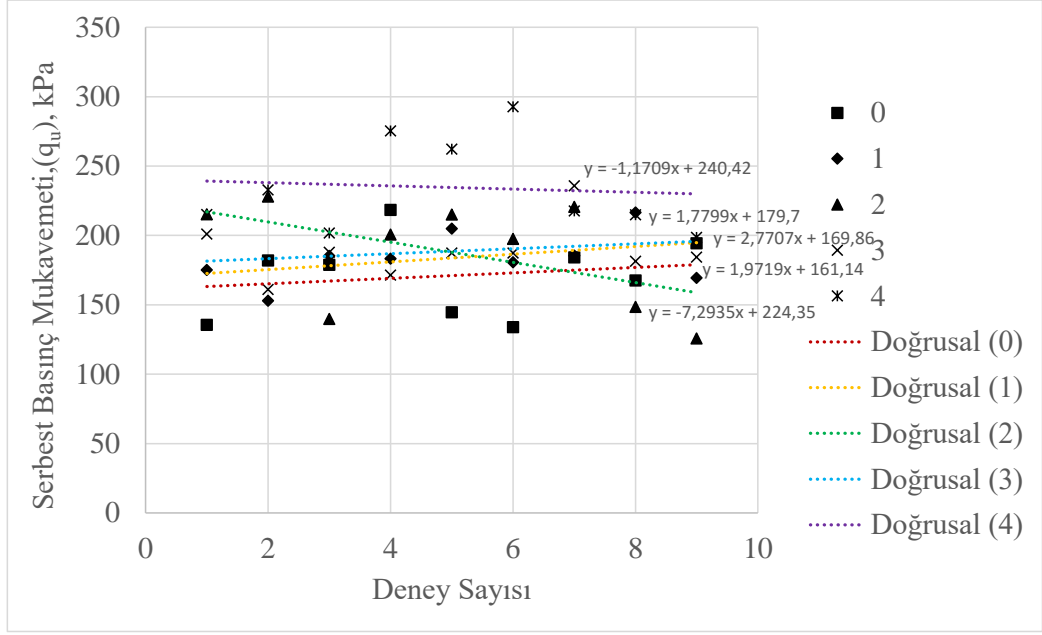
Şekil 6.16: Üç ve dört tabakalı G1 türü geotekstil, 1 mm/dk. yükleme hızı için kalıcı kayma dayanımı.



Şekil 6.17: G1 türü geotekstil için farklı tabaka sayılarında, 1 mm/dk. yükleme hızında kalıcı kayma dayanımına etkisi.

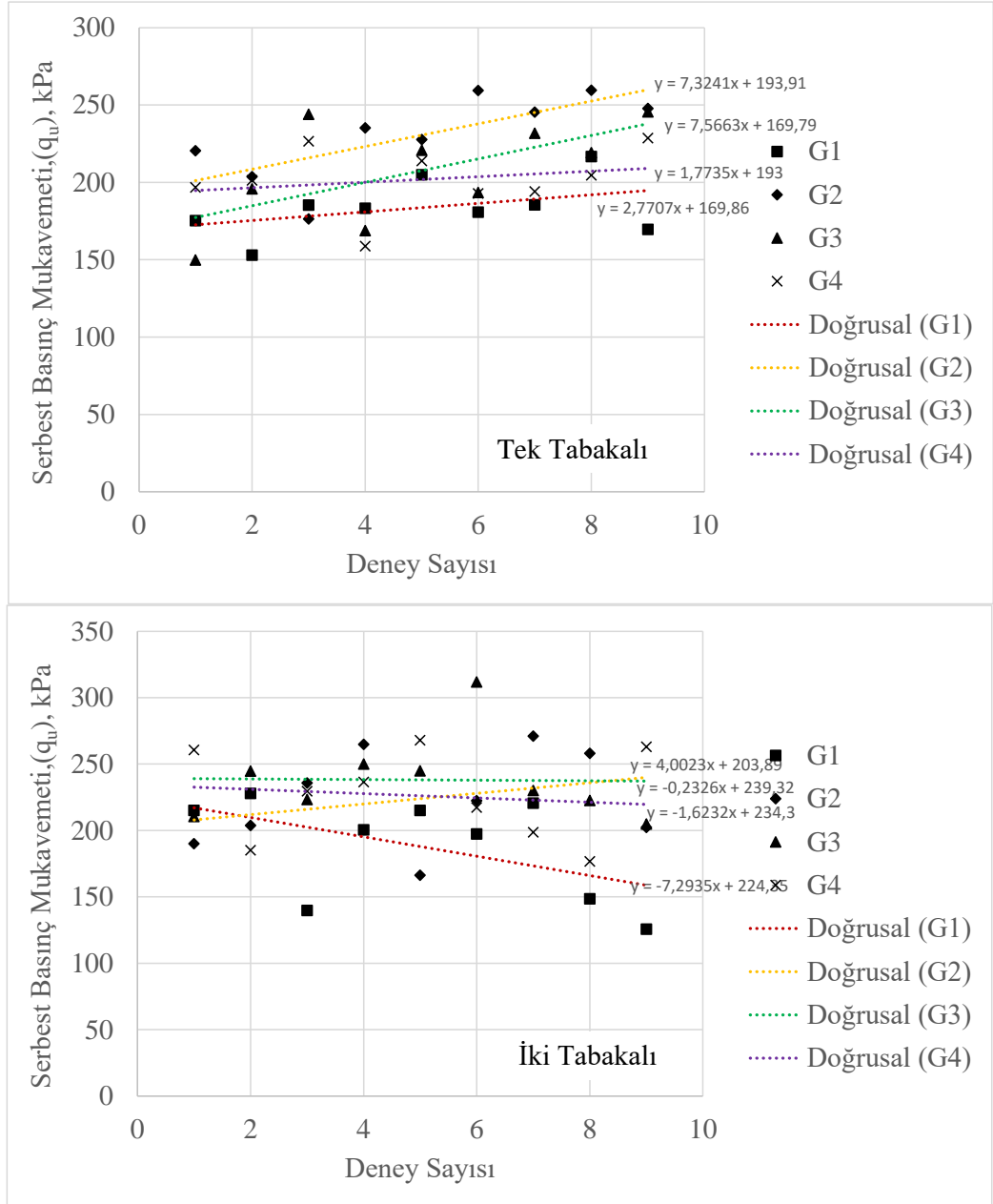
6.3 Serbest Basınç Mukavemetine Etki Eden Parametreler

Serbest basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi yalnızca aksenal doğrultuda yüklemeye tabi tutulmaktadır. Aksenal yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısılması ölçülmekte ve gerilme şekil değişirme eğrileri elde edilmektedir. Aksenal gerilmenin en büyük değeri veya göçme kabul edilebilecek şekil değişirme seviyesine karşılık gelen değer zeminin serbest basınç mukavemet (q_u) değerini vermektedir. Çalışmada G1 türü örgüsüz geotekstil kullanılarak ve tabaka sayısı 0, 1, 2, 3, 4 olarak serbest basınç mukavemetleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 6.18’de gösterilmiştir. Tüm yükleme hızlarında yapılan deneyler karşılaştırılmıştır. Şekil 6.18’ de de görüldüğü üzere yapılan deneyler sonucunda dört tabakalı için elde edilen serbest basınç mukavemeti 250 kPa olarak en büyük değeri almıştır. Tabakasız için elde edilen serbest basınç mukavemeti 170 kPa olarak en küçük değeri almıştır. Tabaka sayısını sıfırdan dörde çıkarmak serbest basınç mukavemet değerinde 1.5 kat artışa sebep olmuştur.



Şekil 6.18: G1 türü geotekstil ve tabaka sayısı 0, 1, 2, 3, 4 için serbest basınç mukavemetlerinin karşılaştırılması.

Serbest basınç mukavemetine tabaka sayısı 1 ve 2 için farklı geotekstil türlerinin etkisi Şekil 6.19’da karşılaştırılmıştır. İlk olarak tek tabakalı ve farklı geotekstil kullanılarak gerçekleştirilen deneylerde G2 (izoteknik 2500) türü örgüsüz geotekstilin ortalama olarak en büyük serbest basınç mukavemeti değerini verdiği, ortalama olarak en düşük serbest basınç mukavemeti değerini ise G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstilin verdiği görülmüştür. Maksimum ve minimum serbest basınç mukavemetlerinin örgüsüz geotekstil türlerinde olduğu, örgülü geotekstil türlerinin ise ara değerler aldığı sonucuna varılmıştır. İki tabakalı deney sonuçları değerlendirildiğinde ortalama olarak en büyük serbest basınç mukavemeti değerini G3 (SUNJUT/PP/80/80) türü örgülü geotekstilin, en küçük serbest basınç mukavemeti değerini yine G1 (izoteknik 1000) türü örgüsüz geotekstilin verdiği görülmüştür.



Şekil 6.19: Farklı geotekstil türü ile tabaka sayısı 1 ve 2 için serbest basınç mukavemetlerinin karşılaştırılması.

7. SONUÇLAR

Geosentetik ürünlerin kullanım alanları, günümüzde geoteknik uygulamalarında hızla artmaktadır. Yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda yeni kullanım alanları da mevcut uygulamalara eklenmektedir. Son yıllarda hızlı bir gelişim gösteren geotekstillerin kullanımı, uygulamada sağladığı kolaylıklar ve ekonomik çözümler sunması nedeniyle gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Geotekstil kullanımının kil zeminler üzerindeki etkilerini görebilmek için 99 adet serbest basınç deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler bölümlere ayrılarak değerlendirilmiş, aynı zamanda geçmişte yapılan benzer çalışmalardan alıntılar yapılarak konu üzerindeki çeşitlilik artırılmıştır. Bu çalışma kapsamında farklı geotekstil türleri, tabaka sayısı, yükleme hızının düşük plastisiteli kil zeminlerin mekanik özelliklerine etkisini incelemek amacıyla bir seri serbest basınç deneyi yapılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmada öncelikle geotekstilsiz farklı yükleme hızlarında (0.1 mm/dk., 1 mm/dk., 5 mm/dk.), tüm parametrelerin doğruluğunu kanıtlamak için en az üçer adet, deneyler yapılmış ve tüm durumlar karşılaştırılmıştır.

Donatılı ve donatısız killi zemin numuneler üzerindeki deneylerden elde edilen aksenal gerilme şekil değiştirme eğrileri, geotekstil kullanıldığında drenajsız kayma dayanımının arttığını göstermiştir. Geotekstil tabaka sayısının artması ile zeminlerin gerilme şekil değiştirme davranışlarında iyileşme olduğu bulunmuştur. Bu davranışın açıklamalarından biri geotekstil tabakalarının zemin örneğindeki kırılma zarfını kesmesi ile gerilmenin düzenli bir şekilde dağılmasını sağlayarak, donatılı durumda toplam dayanımı arttırması olarak yorumlanabilir. Aynı zamanda geotekstillik örneklerde sadece maksimum aksenal gerilme değerinin artışı değil, maksimum aksenal gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değerlerinin arttığı da bulunmuştur. İlave olarak, geotekstil donatılı zeminlerde maksimum gerilmeden sonra dayanımın donatısız zeminlere göre daha az

azaldığı, böylece kalıcı kayma dayanımı değerinin çok daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Bu sonuç geotekstil tabaka sayısının artması ile daha belirgin olmuştur.

Deney sonuçları incelendiğinde tabakasız, tek tabaka, iki tabaka, üç tabaka ve dört tabaka için yükleme hızı bakımından maksimum gerilme değerlerinde belirgin bir fark gözlenmemiştir. Ayrıca, maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme değerlerinde de belirgin bir fark yoktur.

Tüm deney sonuçlarında geotekstil türünün gerilme-şekil değiştirme davranışına etkisi araştırıldığında tek tabakalı deneylerde G2 türü örgüsüz geotekstilin en büyük gerilme değerini aldığı, iki tabakalı deneylerde ise G4 türü örgülü geotekstilin en büyük gerilme değerini aldığı gözlemlenmiştir. Örgülü ve örgüsüz geotekstiller maksimum gerilme değerleri açısından karşılaştırıldıklarında; iki geotekstil çeşidinde de farklı parametrelerde gerçekleştirilen deneylerde en büyük gerilme değeri elde edilmiştir.

Çeşitli zemin tipleri için daha fazla sayıda parametreyi dikkate alarak ve daha farklı malzemeleri kullanarak detaylı bir çalışma yapılması önerilmektedir. Uygulamada kullanılabilirlik açısından, diğer geosentetik türleri ile yapılan çalışmalarla geotekstil ile güçlendirme arasında, optimum donatı ekonomisi, emniyet açısından karşılaştırılmaların yapılması önerilmektedir.

8. KAYNAKLAR

Adams, M., Nicks, J., Stabile, T., Schlatter, W. and Hartmann, J. (2011). 'Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System, Interim Implementation Guide'. *FHWA-HRT,11-026*, 159sf.

Aksoy, İ. M. (1993). Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Al-Omari, R.R., Al-Dobaissi, H.H., Nazhat, Y.N. and Al-Wadood, B.A. (1989). Shear strength of geomesh reinforced clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 8 (4), 325–336.

Altun, R. (2011). Arkasında Geotekstil İle Güçlendirilmiş Donatılı Kum Zemin Bulunan İstinat Duvarı Daranışının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.

ASTM D698- Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort.

ASTM D751-Standard Test Methods for Coated Fabrics.

ASTM D1424- Standard Test Method for Tearing Strength of Fabrics by Falling-Pendulum (Elmendorf-Type) Apparatus.

ASTM D2166- Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil.

ASTM D4318- Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.

ASTM D4533- Standard Test Method for Trapezoid Tearing Strength of Geotextiles.

ASTM D4595- Standard Test Method for Tensile Properties of Geotextiles by the Wide-Width Strip Method.

ASTM D4632- Standart Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles.

ASTM D5199- Standard Test Method for Measuring the Nominal Thickness of Geosynthetics.

ASTM D6913- Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis.

Aşkın, H. (2011). Kaplamasız Yolların Geotekstil ile Tasarımında Analitik Çözümle Basitleştirilmiş Yaklaşımların Karşılaştırılması ve Geotekstillerde Enerji Emilim Potansiyelinin Önemi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Athanasopoulos, G.A. (1996). Results of direct test on geotextile reinforced cohesive soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 14, 619–644.

Benek, M.G. (2006). Geotekstiller Üzerine Bir İnceleme ve Uygulama Örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi*, Manisa.

BS EN 918- Geotextiles and geotextile-related products. Dynamic perforation test (Cone drop test).

Can, Ö. (2008). Endüstride Kullanılan Teknik Tekstiller Üzerine Bir Araştırma. *Teknolojik Araştırmalar*, 3, 31-43.

Charles, P. and Walker, N. (1991). Guide to Geotextiles, Australian Road Research Board, Victoria.

Das, B.M., Omar, M.T. (1994). The effects of foundation width on model tests for the bearing capacity of sand with geogrid reinforcement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 12,133-141.

Dawson, A., Lee, R. (1988). Full Scale Foundation Trials on Grid Reinforced Clay. *Geosynthetics for Soil Improvement, Geotechnical Special Publication*, 18, 127-147.

Fabian, K.J., Fourie, A.B. (1986). Performance of geotextile reinforced clay samples in undrained triaxial test. *Geotextiles and Geomembranes*, 4 (1), 53–63.

Guido, V.A., Biesiadecki, G.L. and Sullivan, M.L. (1985). Bearing Capacity of a Geotextile Reinforced Foundation, *The 1st International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, San Francisco, Vol. 3: pp. 1777-1780.

Güler, E. (2014). Geoteknik Mühendisliğinde Yeni Bir Devir Başlatan Malzeme: Geosentetikler. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbeşinci Ulusal Kongresi*, 16-17 Ekim 2014, rta Doğu Teknik iversitesi, Ankara.

Hockenberger, A. (2004), AlfaYayınları, 1.Baskı, İstanbul.

Holtz, R. D. (2001). Geosynthetics For Soil Reinforcement. *9th Spencer J. Buchanan Lecture*, 1-19.

Indraratna, B., Satkunaseelan, K. S. and Rasul, M. G. (1991). Laboratory Properties of a Soft Marine Clay Reinforced with Woven and Nonwoven Geotextiles. *Geotechnical Testing Journal*, GTJODJ, Vol. 14, No. 3, pp. 288-295.

Ingold, T.S. (1979). Reinforced clay – a preliminary study using the triaxial apparatus Argile Armee – Etude Preliminaire a L'appareil triaxial. *Ground Engineering*, 59–64.

Ingold, T.S. and Miller, K.S. (1982). The performance of impermeable and permeable reinforcement in clay subject to undrained loading. *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol.15, pp. 201–208.

Ingold, T.S. and Miller, K.S. (1983). Drained axi-symmetric loading of reinforced clay. *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE* 109 (7), 883–898.

ISO 10318- Geosynthetics-Terms and definitions.

ISO 10319- Geosynthetics-Wide-width tensile test.

Kalıpçılar, İ., Eskişar, T., Altun, S. (2014). *Geotekstil Donatılı Kil Zeminlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*. Altıncı Ulusal Geosentetikler Konferansı, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Koerner, R.M. (1980). *Durability of Geotextiles*. Selected Geotechnical Papers of James K. Mitchell, 1980.

Koerner, R. M. (1998). *Designing with Geosynthetics*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.

Koseki, J., Bathurst, R. J., Güler, E., Kuwano, J. and Maugeri, M. (2006). Seismic Stability of Reinforced Soil Walls. *8th International Conference on Geosynthetics*, 18-22 September 2006, Yokohama, Japan

Kotan, D. (2008). Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları İle Yamaçlarda Stabilitenin Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 34.

Krishnaswamy, N.R. and Srinivasulu Reddy, (1988). Behavior of reinforced earth under triaxial compression. *In: Proceeding of the First Indian Geotextiles Conference on Reinforced Soil and Geotextiles*.

Lafleur, J., Sall, M. And Ducharme, A. (1987). Frictional characteristics of geotextiles with compacted lateritic gravels and clays. *Proceedings of Geosynthetics*, 87 (1), 205–215.

Laman, M., Yıldız, L., Keskin, M.S. ve Uncuoğlu, E. (2007). Donatılı Kum Şeve Oturan Şerit Temelin Deneysel Olarak İncelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 18,4197-4217.

Ling, H.I. and Tatsuoka, F. (1993). Laboratory evaluation of a nonwoven geotextile for reinforcing on-site soil. *Proceedings of Geosynthetics*, 93 (2), 533–546.

Mandal, J.N., Mhaskar, S.Y. and Manjunath, V.R. (1990). Experimental and Finite element analysis on bearing capacity of geosynthetic reinforced sand. *Indian Institute of Technology Bombay*, 1991.

Mandal, J.N. and Sah, H. (1992). Bearing Capacity Tests on Geogrid-Reinforced Clay. *Geotextiles and Geomembranes*, 11(3), 327-333.

Mohiuddin, A. (2003). Analysis Of Laboratory And Field Pull-Out Tests Of Geosynthetics In Clayey Soils. *A Thesis Submitted To The Graduate Faculty Of The Louisiana State University And Agricultural And Mechanical College In Partial Fulfilment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science In Civil Engineering In The Department Of Civil And Environmental Engineering*, 110 p.

Noorzad, R. and Mirmoradi, S.H. (2010). Laboratory evaluation of the behavior of a geotextile reinforced clay. *Geotextiles and Geomembrans*, Vol.28, No.4, pp. 386-392.

Önalp, A. (1983). *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi*. Cilt II, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon: Birsen Yayınevi.

Özaydın, A. (2010). Arkasında Geotekstil İle Güçlendirilmiş Donatılı Kum Zemin bulunan İstinat Duvarı Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.

Öztekin, A. (1992). Geotekstil Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Qiming, C. (2007). An Experimental Study On Characteristics and Behaviour of Reinforced Soil Foundation. *B.S., Nanjing Architecture and Civil Engineering Institute, M.S., Tongji University, China*.

Ramaswamy, S.D. and Purushothaman, P. (1992). Model footings of geogrid reinforced clay. *Proceedings of the Indian Geotechnical Conference on Geotechnique Today*, 1,183- 186.

Sağlam, R. (2009). Karayolu Yapımında Geotekstil Uygulamaları. *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul, 1.

Sakti, J.and Das, B.M. (1987). Model tests for strip foundation on clay reinforced with geotextile layers. *National Academy of Sciences, Transportation Research Record*, No. 1153, Washington, D.C, 40-45s.

Shin, E.C., Das, B.M., Puri, V.K., Yen, S.C. and Cook, E.E. (1993). Bearing capacity of strip foundation on geogrid-reinforced clay. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 16(4),534-541.

Shukla, S. K. (2002). *Geosynthetics and Their Applications*. London: Thomas Telford Publishing,.

Shukla, S. K. and Yin, J. H. (2006). *Fundamentals of Geosynthetic Engineering*. London: Taylor & Francis Group,.

Srivastava, R.K., Jalota, A.V. and Pankaj Kumar. (1988). Strength and deformation behaviour of geotextile reinforced alluvial silt. *In: Proceeding of the First Indian Geotextiles Conference on Reinforced Soil and Geotextiles*.

Tatsuoka, F., Tateyama, M. and Koseki, J. (1996). Performance of soil retaining walls for railway embankments. *Soils and Foundations, Special Issue for the 1995 Hyogoken-Nambu Earthquake*, pp.311-324.

Töremiş, E. İ. (2003). Geotekstilller ve Plaxis Sonlu Elemanlar Programı. Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

TS 1900: İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri

Tuna, Ş.Ç. (2008). Geotekstil Donatılı Kum Zeminlerde Mekanik Davranışın Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1.

Tunç, A. (2002). *Yol Mühendisliğinde Geoteknik Uygulamaları*. İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım.

Unnikrishnan, N., Rajagopal, K. and Krishnaswamy, N.R. (2002). Behavior of reinforced clay under monotonic and cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 20, 117–133.

Uzuner B.A. (2000). *Temel Zemin Mekaniği*. Trabzon: Derya Kitapevi.

Van Santvoort, G. (1994). *Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering*, Rotterdam: A. A. Balkema Publishing.

Vinod, P., Bhaskar, A. and Lekshmi, C.S. (2007). Triaxial compression of clay reinforced with sand–coir fiber core. *Geotechnical Testing Journal*, ASTM 30 (4), 333–336.

www.grupo.com.tr

Yılmaz, H. R. ve Eskisar, T. (2007). Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı ve Sağlanan Faydalar. 2. *Geoteknik Sempozyumu*, İMO Adana 22-23 Kasım 2007, 437-452.

Yılmaz, N. M. (2010). Geotekstil ile Güçlendirilen Kumlu Zemin Üzerine Oturan, Yüzeysel Temel Üzerine Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş.

Zornberg, J.G. and Mitchell, J.K. (1994). Reinforced soil structures with poorly draining backfills, *Part I. Geosynthetics International* 1 (2), 103–148.