

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



**KUM ZEMİNLERİN GEOTEKSTİL KULLANILARAK
GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN ŞEKERCİOĞLU

BALIKESİR, OCAK 2015

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



KUM ZEMİNLERİN GEOTEKSTİL KULLANILARAK
GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN ŞEKERCİOĞLU

BALIKESİR, OCAK 2015

KABUL VE ONAY SAYFASI

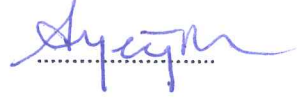
Serkan ŞEKERCİOĞLU tarafından hazırlanan “KUM ZEMİNLERİN GEOTEKSTİL KULLANILARAK GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 09.01.2015 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

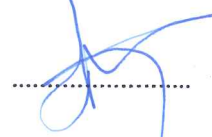
Danışman

Yrd. Doç. Dr Arzu OKUCU



Üye

Doç. Dr. Fatma Nurhayat DEĞİRMENCI



Üye

Yrd. Doç. Dr. Banu YAĞCI



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

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Cihan ÖZGÜR

.....

Bu tez alışması Balıkesir Üniversitesi Rektrlğ Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2011/47 nolu proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

KUM ZEMİNLERİN GEOTEKSTİL KULLANILARAK GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SERKAN ŞEKERCİOĞLU

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ DR. ARZU OKUCU)

BALIKESİR, OCAK 2015

Bu çalışmada geotekstil kullanımının kum 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 kum-geotekstil donatılı zemin davranışına etkisi olabilecek bazı parametreler belirlenerek, kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Kullanılan 2 tür zemin için iki farklı rölatif sıklıkta deneyler yapılmıştır. Türkiye’de kolayca bulunabilen ve çeşitli projelerde yaygın olarak kullanılan 6 farklı tür geotekstil malzeme üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneyler 60*60 mm lik kesme kutusu kullanılarak yapılmıştır. Çalışma kapsamında 78 adet kesme kutusu deneyi yapılmıştır, arayüzey davranışına etkisi olabilecek çeşitli parametreler incelenmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre donatılı zeminlerdeki kesme dayanımı donatısız zeminlere göre genel olarak daha yüksek değerler almıştır. Donatılı zeminlerde, donatısız zeminlerde görünen pik dayanım sonrası dayanım kaybı gözlenmemiştir. Deney sonuçlarında gözlenen kohezyon sahte kohezyondur, tamamen numune boyutunun bir sonucudur. Deney sonuçlarından arayüzey davranışının büyük ölçüde geotekstil yüzey parametreleri ile zemin indeks özelliklerine bağlı olduğu ortaya konulmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Kesme Kutusu Deneyi, kohezyon, geotekstil donatılı zemin, arayüzey davranışı.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF SANDY SOILS USING GEOTEXTILE

MSC THESIS

SERKAN ŞEKERCİOĞLU

BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. ARZU OKUCU)

BALIKESİR, OCAK 2015

The aim of this study is to find out the potential benefits and the influence of geotextile inclusions on the mechanical behavior of sands, at the same time analyzing the result of some experiments done in this study in the light of past studies about the same topics. Shear box tests were done to obtain the parameters that influence the sand-geotextile interface friction parameters which were studied in the literature. Two different densities of this two different graded sand was used. 6 different geotextile which are readily available in markets and used in different projects in Turkey were used in this study. 78 experiments were done in this study and the presented parameters related to the interface behavior were compared with the result of the past studies. According to the results, obtained from experiments in reinforced sand shear strength were mostly higher than unreinforced sand. In the reinforced sands there was no post-peak loss of strength seen in the unreinforced sands. Observed cohesion, that seems in the result of the experiment is phony cohesion and it's completely a result of the sample size. At the end of the result, it was concluded the interface friction behavior depends on the surface behavior of the geotextile and also the index properties of the soil.

KEYWORDS: Shear Box Experiment, cohesion, geotextile reinforced soil, interface behaviour.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu İle İlgili Yapılmış Çalışmalar	3
1.1.1 Donatılı Zeminler	3
1.1.2 Zemin ve Geotekstil Arasındaki Etkileşim.....	4
1.1.3 Zemin-Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımı	5
1.1.4 Literatür Özeti	7
2. GEOTEKSTİLLER.....	19
2.1 Geotekstil Hammaddeleri.....	20
2.1.1 Polipropilen (PP).....	20
2.1.2 Polyester (PET)	21
2.1.3 Poliamid (PA, Naylon).....	21
2.1.4 Polietilen (PE).....	21
2.2 Örgülü (Woven) Geotekstilleri.....	22
2.3 Örgüsüz (Nonwoven Geotekstilleri)	22
2.4 Geotekstillerin Özellikleri.....	23
3. GEOTEKSTİLLERİN FONKSİYONLARI	29
3.1 Ayırma	29
3.2 Filtrasyon	30
3.3 Drenaj.....	31
3.4 Güçlendirme	32
3.5 Koruma.....	34
3.6 Yalıtım	35
4. GEOTEKSTİLLERİN KULLANIM ALANLARI	36
4.1 Kaplamasız Yollarda.....	36
4.2 Kaplamalı Yol ve Pistlerde (Karayolları ve Havaalanlarında)	37
4.3 Demiryollarında	38
4.4 Barajlarda	39
4.5 Asfalt Takviye İşlerinde.....	39
4.6 Dren ve Hendeklerde.....	40
4.7 İstinat Duvarlarında.....	41
4.8 Binalarda	42
4.9 Şev-Kıyı Korumasında.....	42
4.10 Su İçindeki Yapılarda.....	43
4.11 Spor Sahalarında	44
4.12 Katı Atık Depolama Tesislerinde.....	45
4.13 Su Yalıtımında	45

5. GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE GEOTEKSTİLLER	47
5.1 Geoteknik Mühendisliğinde Geotekstille Güçlendirme Örneği.....	48
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	51
6.1 Deneylerde Kullanılan Zeminlerin Özellikleri.....	51
6.2 Deneylerde Kullanılan Geotekstillere ve Fiziksel-Mekanik Özellikleri.....	53
6.3 Kesme Kutusu Deneyinin Teorisi	54
6.4 Kesme Kutusu Deneyinin Yapılışı.....	56
6.5 Yapılan Kesme Kutusu Deneyleri.....	61
6.6 Deney Bulguları ve Değerlendirmeler	62
6.6.1 Normal Basıncın Arayüzey Davranışına Etkisi	62
6.6.2 Zemin Rölatif Sıkılığının Arayüzey Davranışına Etkisi	73
6.6.3 Zemin Gradasyonunun Arayüzey Davranışına Etkisi.....	99
6.6.4 Geotekstil Donatı Özelliklerinin Arayüzey Davranışına Olan Etkisi ..	104
6.6.5 Donatı Yüzey Özelliklerinin Arayüzey Davranışına Olan Etkisi	105
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	110
8. KAYNAKLAR	113

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Julien Coronel kesme kutusu deney sonuçları (2006).....	9
Şekil 2.1: Farklı tür geotekstillerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması (Wasti,1992).....	27
Şekil 2.2: Farklı fiziksel özelliklerdeki örgüsüz geotekstillerin sıkışmaları (Cindemir, 1997).....	28
Şekil 3.1: Geotekstillerin fonksiyonları (Aksoy, 1993).....	29
Şekil 3.2: Geotekstillerin drenaj amacıyla kullanılması (Dupont typar SF technical handbook, 2010)	32
Şekil 3.3: Geotekstillerin güçlendirme amacıyla kullanılması (www.sams.com.tr)	32
Şekil 3.4: Geotekstillerin güçlendirme amacıyla kullanılması (Dupont typar SF technical handbook, 2010)	34
Şekil 3.5: Geotekstillerin koruma amacıyla kullanılması (Dupont typar SF technical handbook, 2010)	35
Şekil 4.1: Kaplamasız yollarda geotekstil uygulaması (M. B. Benek, 2006).....	37
Şekil 4.2: Kaplamalı yollarda ve hava alanı pistlerinde geotekstil uygulaması (M. B. Benek, 2006).....	37
Şekil 4.3: Demiryollarında geotekstil uygulaması (M. B. Benek, 2006)	38
Şekil 4.4: Barajlarda geotekstil uygulaması (M. B. Benek, 2006)	39
Şekil 4.5: Afalt altı geotekstil uygulaması (www.tencate.com; 2014).....	40
Şekil 4.6: İstinat duvarlarında geotekstil uygulaması (M. B. Benek, 2006).....	41
Şekil 4.7: Binalarda çeşitli geotekstil uygulaması (M. B. Benek, 2006).....	42
Şekil 4.8: Binalarda çeşitli geotekstil uygulaması (M. B. Benek, 2006).....	42
Şekil 4.9: Şev kıyı korumasında geotekstil uygulamaları (M. B. Benek, 2006)	43
Şekil 4.10: Su yapılarında geotekstil uygulamaları (M. B. Benek, 2006)	44
Şekil 4.11: Spor sahası geotekstil uygulamaları (www.sportifzemin.com ; 2014) ...	44
Şekil 4.12: Katı atık depolama tesislerinde geotekstil uygulamaları (www.sams.com.tr ; 2014).....	45
Şekil 4.13: Su yalıtımı geotekstil uygulamaları (www.ode.com.tr ; 2014)	46
Şekil 5.1: Geotekstil üzerine dolgu tabanının serilmesi ve sıkıştırılması (M.Örnek; 2009)	49
Şekil 6.1: Deneysel çalışmada kullanılan iyi derecelenmiş ve kötü derecelenmiş kum zeminlere ait dane çapı dağılımı eğrileri.....	52
Şekil 6.2: Deneylerde kullanılan SW (sağda) ve SP (solda) zemin numuneleri	52
Şekil 6.3: Deneylerde kullanılan geotekstil numuneler	53
Şekil 6.4: 60x60 mm'lik kesme kutusu	55
Şekil 6.5: Çalışmalarda kullanılan ele international marka kesme kutusu cihazı.....	56
Şekil 6.6: Kesme kutusu içerisine sıkıştırılarak yerleştirilmiş SP zemin numunesi	57
Şekil 6.7: Arayüzeye geotekstil numunesinin yerleştirilmesi.....	58
Şekil 6.8: İstenilen rölatif sıklık için belirlenen yüksekliğe kadar zemin konulması	58
Şekil 6.9: Zemin numunesinin kesme kutusuna yerleşmiş hali	59

Şekil 6.10: Drenajlı (S kırılma zarfı) ve drenajsız (R ve Q kırılma zarfları) kırılma zarflarının karşılaştırılması	59
Şekil 6.11: Direkt kesme kutusu deney şeması	60
Şekil 6.12: Mohr-Coulomb kırılma zarfı	61
Şekil 6.13: SW-Örgüsüz 1 arayüzey davranışı	63
Şekil 6.14: SW- Örgüsüz 2 arayüzey davranışı	64
Şekil 6.15: SW- Örgüsüz 3 arayüzey davranışı	64
Şekil 6.16: SW-Örgülü 3 arayüzey davranışı	65
Şekil 6.17: SW-SW arayüzey davranışı.....	65
Şekil 6.18: SP- Örgüsüz 1 arayüzey davranışı.....	66
Şekil 6.19: SP- Örgüsüz 2 arayüzey davranışı.....	66
Şekil 6.20: SP- Örgüsüz 3 arayüzey davranışı.....	67
Şekil 6.21: SP-Örgülü 1 arayüzey grafikleri.....	67
Şekil 6.22: SP-SP arayüzey davranışı.....	68
Şekil 6.23: Normal basınç-arayüzey sürtünme açısı ilişkisi (Frost J.D. ;2002)	68
Şekil 6.24: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SP arayüzeyleri, Dr:%30)	69
Şekil 6.25: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SP arayüzeyleri, Dr:%60)	70
Şekil 6.26: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SW arayüzeyleri, Dr:%30)	70
Şekil 6.27: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SW arayüzeyleri, Dr:%60)	71
Şekil 6.28: SP-Örgüsüz 1 arayüzey grafikleri	73
Şekil 6.29: SP-Örgülü 1 arayüzey grafikleri.....	74
Şekil 6.30: SP-Örgüsüz 2 farklı normal basınçlar altında hacimsel değişimi. (Dr: %30, %60)	75
Şekil 6.31: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %30). (Arayüzey geotekstili örgüsüz 2).....	76
Şekil 6.32: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %60). (Arayüzey geotekstili örgüsüz 2).....	76
Şekil 6.33: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %30, %60). (Arayüzey geotekstili örgülü 3).....	77
Şekil 6.34: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %30). (Arayüzey geotekstili örgülü 3)	78
Şekil 6.35: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %60). (Arayüzey geotekstili örgülü 3)	78
Şekil 6.36: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %30, %60). (Arayüzey geotekstili örgülü 1)	79
Şekil 6.37: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %60). (Arayüzey geotekstili örgülü 1)	80
Şekil 6.38: SP zemin hacimsel değişimi (Dr: %30). (Arayüzey geotekstili örgülü 1)	80
Şekil 6.39: SW zemin hacimsel değişimi (Dr: %30, %60). (Arayüzey geotekstili örgülü 1)	81
Şekil 6.40: SW zemin hacimsel değişimi (Dr: %30). (Arayüzey geotekstili örgülü 1)	81
Şekil 6.41: SW zemin hacimsel değişimi (Dr: %60). (Arayüzey geotekstili	

örgülü 1).....	82
Şekil 6.42: SW zemin farklı normal basınçlar altında hacimsel değişimi. (Dr: %30) (Arayüzey de geotekstil yok).....	82
Şekil 6.43: SW zemin farklı normal basınçlar altında hacimsel değişimi. (Dr: %60) (Arayüzey de geotekstil yok).....	83
Şekil 6.44: Donatılı kohezyonsuz zeminlerde sabit σ_r ' öngerilmesi altında göçme (Ingold, 1982)	85
Şekil 6.45: Donatılı zeminde psödo-kohezyon oluşumu (Vidal, 1978)	86
Şekil 6.46: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr: %30, arayüzeyde geotekstil yok).....	86
Şekil 6.47: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 1)	87
Şekil 6.48: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 2)	87
Şekil 6.49: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 3)	88
Şekil 6.50: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 1)	88
Şekil 6.51: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 2)	89
Şekil 6.52: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr: %30, arayüzey geotekstili örgülü 3)	89
Şekil 6.53: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr: %60, arayüzeyde geotekstil yok).....	90
Şekil 6.54: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 1)	90
Şekil 6.55: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 2)	91
Şekil 6.56: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 3)	91
Şekil 6.57: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 1)	92
Şekil 6.58: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 2)	92
Şekil 6.59: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 3)	93
Şekil 6.60: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr: %30, arayüzeyde geotekstil yok).....	93
Şekil 6.61: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 1)	94
Şekil 6.62: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 2)	94
Şekil 6.63: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 3)	95
Şekil 6.64: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 3)	95
Şekil 6.65: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 1)	96
Şekil 6.66: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr: %60, arayüzeyde geotekstil yok).....	96

Şekil 6.67: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 1)	97
Şekil 6.68: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 2)	97
Şekil 6.69: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 3)	98
Şekil 6.70: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 3)	98
Şekil 6.71: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 1)	99
Şekil 6.72: SP zemin hacimsel değişim grafikleri; P=108,96 kPa	100
Şekil 6.73: SP zemin hacimsel değişim grafikleri; P=108,96 kPa	101
Şekil 6.74: SW zemin hacimsel değişim grafikleri; P=108,96 kPa	101
Şekil 6.75: SW zemin hacimsel değişim grafikleri; P=217,93 kPa-Dr: %30	102
Şekil 6.76: SW zemin hacimsel değişim grafikleri; P=217,93 kPa-Dr: %60	102
Şekil 6.77: SP zemin arayüzeyine ait gerilme-deplasman (%) grafikleri	104
Şekil 6.78: SP zemin %30 sıklıkta arayüzey sürtünme açıları	106
Şekil 6.79: SP zemin %60 sıklıkta arayüzey sürtünme açıları	106
Şekil 6.80: SW zemin %30 sıklıkta arayüzey sürtünme açıları	107
Şekil 6.81: SW zemin %60 sıklıkta arayüzey sürtünme açıları	107

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1: Direkt kesme deney sonuçları (Aydoğan, 2004)	10
Tablo 1.2: Farklı sıklıklarda SW ve SP zemin ile yapılan 6*6 cm'lik kesme kutusu deney sonuçları (Tuna Ş.Ç., 2008).....	12
Tablo 1.3: Farklı sıklıklarda SW ve SP zemin ile yapılan 6*6 cm'lik kesme kutusu deney sonuçları (Tuna Ş.Ç., 2008).....	12
Tablo 1.4: 6*6 cm ve 10*10 cm'lik kesme kutularıyla yapılan deney sonuçları (Tuna Ş.Ç., 2008)	13
Tablo 1.5: SW ve SP zeminlerin indeks ve kompaksiyon özellikleri (Erdoğan D. ; Altun S., 2008).	13
Tablo 1.6: Deneysel çalışmalarda kullanılan geotekstillerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (Erdoğan D. ; Altun S., 2008).....	14
Tablo 1.7: Kum zeminlerde yapılan üç eksenli deney sonuçları (Rajakobal K., Krishnaswamy N.R., Latha G.M.; 1998)	16
Tablo 1.8: Kesme kutusu ve sıyırılma deneyi sonuçları (Chengang B. ; 2004).....	17
Tablo 2.1: Geotekstil üretiminde kullanılan hammaddelerin teknik özellikleri (Cindemir, 1997).....	24
Tablo 2.2: Farklı geotekstil türlerinin mekanik ve hidrolik özelliklerinin karşılaştırılması (Wasti, 1992)	25
Tablo 2.3: Bir geotekstilin tanımlanması (Wasti, 1992)	26
Tablo 6.1: SW ve SP zeminlerin indeks ve kompaksiyon özellikleri	53
Tablo 6.2: Deneylerde kullanılan geotekstillerin bazı özellikleri	54
Tablo 6.3: Kesme kutusu deneyi SP zemin ön konsolidasyon sonuçları	77
Tablo 6.4: Kesme kutusu SW zemin deneyleri sonuçları	84
Tablo 6.5: Kesme kutusu SP zemin deneyleri sonuçları.....	84
Tablo 6.6: İyi ve kötü derecelenmiş kum-geotekstil arayüzey sürtünme açıları.....	103

SEMBOL LİSTESİ

A :	Gerçek arayüzey kontakt alanı
K :	Arayüzey elastik özelliklerine bağlı bir sabit
W :	Uygulanan normal basınç
BSB:	Kesme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı
n:	Arayüzey anomalitesiyle ilgili 0-1 arası bir değer.
ADU:	Veri aktarım ünitesi
SW :	Deneylerde kullanılan iyi derecelenmiş zemin
SP:	Deneylerde kullanılan üniform kum zemin
F :	Arayüzeye uygulanan kesme kuvveti
N :	Arayüzeye uygulanan normal kuvvet
μ :	Arayüzey sürtünme katsayısı
t_a :	Donatı kesme mukavemeti
t_p :	Aşırıma uğrayan donatı kesme mukavemeti
Y_{opt} :	Numune optimum yoğunluğu
E_{max} :	Maksimum boşluk oranı
E_{min} :	Minimum boşluk oranı
E_{opt} :	Optimum boşluk oranı
D_r :	Rölatif sıkılık oranı
E_q :	Donatı efektiflik katsayısı
C_a :	Adhezyon (kpa)
C :	Zemin içsel kohezyonu (kpa)
$\tan \delta$:	Zemin-donatı arayüzey sürtünme katsayısı
$\tan \phi$:	Zemin içsel sürtünme katsayısı
σ_1 :	Düşey basınç (kpa)
K_p :	Yatay basınç katsayısı
δ :	Arayüzey sürtünme açısı (derece)
ϕ :	Zemin içsel sürtünme açısı (derece)
σ_3 :	Yatay basınç (kpa)
$\Delta\sigma_3$:	Çevresel basınç değişimi (kpa)
C_r :	Sahte kohezyon (kpa)
ε_a :	Yer değiştirme
dw :	Birim deformasyon sonucu alan değişimi
A_0 :	Numune ilk alanı
A_c :	Numune düzeltme sonrası alanı

ÖNSÖZ

Yüksek lisans çalışmam süresinde bana sabır, anlayış gösteren, beni yönlendiren ve yardımlarıyla bana destek olup değerli bilgilerinden faydalandığım Tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Arzu Okucu'ya, ayrıca laboratuvar çalışmalarımda ve verilerin değerlendirilmesinde bana yardımcı olan ve değerli bilgilerini benimle paylaşan Araş. Gör. Eyyüb KARAKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

1. GİRİŞ

Zeminler üzerlerine inşa edilen yapıların temelleri altında taşıyıcı tabaka ve inşaat malzemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Birbirinden farklı özelliklerde ve zeminin mühendislik özellikleride zeminin cinsi yanında arazi koşullarına bağlı olarak (sıklık derecesi, su muhtevası, konsolidasyon basıncı, yükleme ve drenaj koşulları gibi) geniş bir aralık içinde değişmektedir. Günümüzde ihtiyaçların artması ve kullanılabilir iyi temel özelliği gösteren yerlerin azalması, uygun olmayan zeminler üzerinde mühendislik yapılarının inşasını zorunlu hale getirmiştir. Büyüyen ve gelişen şehirlerde yeni imara açılacak yerler, sanayi bölgeleri ve entegre üretim yapan fabrikalar için ihtiyaca cevap verecek büyük alanların bulunması her geçen gün azalmaktadır. Bunun sonucu olarak, zayıf temel özelliği gösteren alanlar istenmesede kullanıma açılmaktadır.

İlk kez bilimsel olarak betonarmedeki çelik gibi, zemin içerisinde donatının güçlendirici etkisi olduğu fikrini Fransız Mühendis Henri Vidal (1966) ortaya atmıştır. Vidal çelik parçalarla zemin güçlendirmesi yapmış ve bu sisteme “Terre Arme” yani donatılı zemin demiştir. Donatılı zemin sistemi, toprak ile donatının kullanımına ve bunlar arasındaki sürtünmenin ortaya çıkardığı kalıcı ve sağlam kompozit malzemeye dayanmaktadır.

Zeminlerde geogrid ve geotekstil gibi polietilen, polipropilen veya polyester esaslı polimer malzemelerinin kullanılmasının amacı; zemin içerisindeki yatay deplasmanları azaltıp sistemin stabilitesini arttırmak ve düşey deplasmanlarında azaltılarak oturmaların istenen sınırlar arasında kalmasıdır. Bununla birlikte zemin donatısı olarak kullanılan metal malzemelere oranla kimyasal ve biyolojik bozulmalara karşı daha uzun ömürlü kullanım sağlayan bu malzemeler düşük maliyetleri ve kolay uygulanabilirlikleriyle tercih edilmektedirler.

Donatılandırılmış sistemde en önemli nokta ara yüzey davranışıdır. Arayüzey davranışını daha iyi anlamak adına Literatür taraması yapılmış ve direkt kesme deneyleri kullanılarak zemin-geotekstil sürtünme davranışını inceleyen birçok araştırmayla karşılaşılmıştır.

Geçmişte yapılmış olan bu çalışmaların sonuçları irdelenmiş ve arayüzey davranışında etkili olabilecek bazı parametrelerle oluşturulan deney programına göre bir dizi kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Donatılı ya da donatısız zeminin kayma dayanımlarında bir farklılık gözlenmişse de basınç ve deplasman ilişkisi incelendiğinde geotekstil ile donatılandırılmış kum zeminin taşıma gücünde iyileşmeler tespit edilmiştir.

Günümüzde birçok projede zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan geosentetikler yerleştirildikleri zeminlerin özelliklerindeki dayanım artışları ve geosentetik türüne göre bu artıştaki değişiklikler çalışma kapsamında yapılan deneysel çalışmalarla ortaya konulmaya çalışılacaktır.

Balıkesir' in özellikle körfez ilçelerinde zeminler alüvyon seriye ait kumlu kil ve siltli kum olup, yapılan temel projelendirilmeleri zemin taşıma güçleri arttırılmadan gerçekleştirilmektedir. Geleneksel güçlendirme yöntemlerinin münferit konut üreticileri için yüksek maliyetli olması, zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanılmamasının nedeni olarak gösterilmektedir. Piyasada üretilen geotekstillere ile kum zeminlerin dayanım artışları gösterilerek bu tip konut üreticilerine alternatif ve ekonomik güçlendirme yöntemlerinin olduğu gösterilmeye çalışılacaktır.

Geotekstil-kum arayüzey davranışı incelenmek amacıyla farklı dane çapı dağılımına sahip iki tür kum ile 3 adet örgülü ve 3 adet örgüsüz geotekstil kullanarak, 6x6 cm boyutundaki kesme kutusu ile 2 farklı rölatif sıklıkta (%30 ve %60) 78 adet kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deneylerde Balıkesir ve çevre zemin profilinde sıkça karşılaşılan kum tipi olan kepsut deresi kumu kullanılmıştır.

1.1 Konu ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Bu bölümde kum zeminlerle yapılmış çalışmaların yanı sıra, geotekstillerin donatı olarak kullanıldığı kil zemin çalışmalarında yer verilmiştir. Öncelikle 1970’li yıllardan itibaren tüm dünyada, özellikle dolgu ve dayanma yapılarında yaygın bir şekilde kullanılan “donatılı zemin” kavramı irdelenmiştir. Ardından, Bölüm 1.1.2 ve 1.1.3’de zemin ile geotekstil arasındaki etkileşim ve arayüzey kayma dayanımı kavramlarına değinilmiştir. Bölüm 1.1.4’ de ise konu ile ilgili önceden yapılan çalışmalar taranmıştır.

1.1.1 Donatılı Zeminler

Donatılı zeminler çekme dayanımı düşük olan zeminin içerisinde mühendislik özelliklerinin iyileştirilebilmesi için metal şerit, geotekstil veya geogrid gibi malzemeler kullanılmasıdır. Çoğunlukla dolgu ve dayanma yapılarında kullanılarak 1970’ li yıllardan bu yana giderek uygulamaları yaygınlaşmıştır.

Zeminlerde donatı olarak kullanılan elemanlar; doğal, işlenmiş metal veya sentetik lifli malzemelerden üretilmektedir. İlk yapılan çalışmalarda, metal şeritler veya çubuklar kullanılırken 1980’li yıllardan sonra bu tür malzemelerin yerini geosentetik türü malzemeler almıştır (Yıldız, 2002).

Geosentetikler çatısı altında geotekstillere ise yine aynı dönemden günümüze kadar giderek yaygınlaşan kullanımlarıyla bir çok proje için vazgeçilmez malzemeler haline gelmiştir. Bölüm 2’ de geotekstiller konusu detaylı bir şekilde incelenecektir.

1.1.2 Zemin ve Geotekstil Arasındaki Etkileşim

Donatılandırılmış zeminlerin en önemli noktası zemin ile geotekstilin birleştiği arayüzey olarak isimlendirilen bölümdür.

Zemin içerisine yerleştirilmiş donatılar daha yüksek kesme mukavemetlerinin oluşmasında etken olurlar. Donatılı zeminlerin kesme mukavemetini etkileyen pek çok faktör vardır. Bunlar donatının rijitliği, donatının yerleştirilme düzeni, donatının kimyasal etkilere veya mikroorganizmalara dayanıklılığı, donatının sünme özelliği ve zeminle donatı arasındaki sürtünmedir (Akkol O.; Baykal G.; 1996). Zeminle donatı arasındaki sürtünme arayüzey olarak tabir edilen bölgede gerçekleşir.

Arayüzey olarak tabir edilen bölge belirli bir kalınlıktaki kontak yüzeyi ve ona bağlı kesme bölgesinden oluşur (Chenggang B. , 2005). Ara yüzeyde meydana gelen sürtünme kuvveti arayüzey alanından çok uygulanan normal basıncın büyüklüğü ile ilgilidir. İki kontakt yüzeyi arasındaki (kum-geotekstil) gerçek arayüzey alanı, görünürdeki temas eden alandan çok daha ufaktır (Tuna Ş. Ç. ; 2008). Bowden ve Tabor (1939) görsel ve elektriksel bazı yöntemlerle bu kontak yüzeyini ölçmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak arayüzeydeki basıncın yüzeyde bulunan taneciklerin etkileşimi sonucu kontakt noktalarından taşındığı anlaşılmıştır (İşçimen M. ; 2004).

Arayüzeyde oluşan sürtünme kuvveti iki farklı bileşenden oluşur; adezyon ve aşındırma. Adezyon dayanımı kontakt noktalarda oluşur. Çünkü normal kuvvet birbirine geçmiş kontakt noktalardan oluşan küçük kontakt alanlarına etkir. Bu adezyon dayanımı şu şekilde ifade edilir.

$$F_{adezyon} = \tau_a A \quad (1.1)$$

Burada τ_a donatının kesme mukavemeti ve A ise gerçek kontakt alanıdır. Sürtünme dayanımını oluşturan bir diğer bileşen olan aşındırma, belirli bir normal basınçtan sonra yumuşak yüzeyli malzemelerde gözlenir.

$$F_{\text{aşındırma}} = \tau_p A \quad (1.2)$$

Burada τ_p yumuşak arayüzey elemanının mukavemeti ve A ise aşınma uğrayan alandır (İşçimen M. ; 2004).

1.1.3 Zemin-Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımı

Zemin-geotekstil ara yüzey kayma dayanımını, aynen zeminlerde olduğu gibi sürtünme açısı ve kohezyon şeklinde ifade etmek mümkündür. Ancak zemin-geotekstil durumunda, bu parametreler, zemin ile geosentetik arasında meydana gelen sürtünme açısı ve adhezyon şeklini alırlar (Ingold, 1991).

$$\tau_f = c_a + \sigma_n \tan \delta \quad (1.3)$$

Burada; c_a :zemin-geotekstil arayüzeyindeki adhezyon, δ : zemin-geotekstil arayüzeyindeki sürtünme açısı, σ_n : normal gerilme, τ_f : arayüzey kayma dayanımı olmaktadır.

Collios vd. (1980) arayüzey kayma dayanımının bir göstergesi olan ve geosentetiklerle güçlendirilmiş zeminlerin tasarımında kullanılan bir parametre tanımlamışlar ve arayüzey verimi şeklinde adlandırmışlardır (Erdoğan D.; Altun S.; Sezer A.; Tuna Ç.; 2008).

$$E_c = \frac{c_a}{c} ; E_\phi = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (1.4)$$

Burada; E_c : kohezyon verimi, E_ϕ : sürtünme açısı verimi, c: zeminin kohezyonu, c_a : zemin-geosentetik arayüzeyindeki adhezyon, ϕ : zeminin içsel sürtünme açısı, δ : zemin/geosentetik arayüzeyindeki sürtünme açısı olarak verilmektedir.

Cowell vd. (1993), Koutsourais vd. (1991), Tatlısöz vd. (1998) tarafından yapılan çalışmalarda, etkileşim katsayısı adı verilen ve geosentetik ile zemin arasındaki arayüzey dayanımının zeminin kayma dayanımına oranı olarak tanımlanan bir parametre tanımlanmıştır (Denklem 1.5). Bu parametrenin bir tasarım parametresi olarak kullanılabilirliği daha sonraki birçok çalışmanın temelini oluşturmuştur. Etkileşim katsayısı, kum zemin durumunda Denklem 1.6'da görülen şekli alır. Etkileşim katsayısını pik ve rezidüel değerler cinsinden ifade etmek mümkündür. Burada sözü edilen pik ve rezidüel değerler hem zemin-zemin, hem de zemin-geosentetik arayüzeyine ait pik ve rezidüel değerlerdir (Erdoğan D.; Altun S.; Sezer A.; Tuna Ç.; 2008).

$$C_i = \frac{c_a + \sigma_n \tan \delta}{c + \sigma_n \tan \phi} \quad (1.5)$$

$$C_i = \frac{\tan \delta}{\tan \phi} \quad (1.6)$$

Burada; c : zeminin kohezyonu, c_a : zemin-geosentetik arayüzeyindeki adhezyon, ϕ : zeminin içsel sürtünme açısı, δ : zemin/geosentetik arayüzeyindeki sürtünme açısı, σ_n : normal gerilme, c_i : etkileşim katsayısı veya arayüzey verimidir.

Birçok araştırmacı, etkileşim katsayısının (C_i) tasarım parametresi olarak kullanılması konusunu araştırmıştır (Cowell ve diğ., 1993; Koutsourais ve diğ., 1998; Tatlısöz ve diğ., 1998). Bu araştırmacılar etkileşim katsayısını, “donatı ve zemin arasındaki arayüzey dayanımının zeminin kayma dayanımına oranı” olarak tanımlamışlardır. Cowell ve diğ. (1993), kum zemin içinde geotekstillerin ve geogridlerin etkileşim katsayısı değerinin 0.8 ile 1.0 arasında olduğunu belirlemişlerdir. Buna karşın Koutsourais ve diğ. (1998), geotekstilleri ve geogridleri kil zemin içindeki koşullarda incelemişler ve etkileşim katsayısının bu ortamda 0.5 ile 0.9 arasında olduğunu bulmuşlardır. Tatlısöz ve diğ. (1998), geosentetik donatılar ve zemin-lastik kırpıntısı karışımı arasındaki etkileşimi incelemişlerdir. Bu çalışmada, farklı geosentetik ve farklı zemin kombinasyonları için ilgili etkileşim

katsayılarını elde etmişlerdir. Bulunan etkileşim katsayısı değerleri 0.3 ile 1.5 arasında değişmektedir. Etkileşim katsayısı 1.0 den büyük olursa ($C_i > 1$), geosentetik ve zemin arasında etkili bir aderans vardır ve zemin ve donatı arasındaki arayüzey dayanımı, zeminin kayma dayanımından daha fazladır (Tatlisoğ ve diğ., 1998). Tatlisoğ ve diğ. (1998). Buna benzer olarak, eğer etkileşim katsayısı 0.5' den az olursa ($C_i < 0.5$), zemin ve geosentetik arasında zayıf bir aderans bulunduğu ya da geosentetik tabakalarında kopmalar olabileceğini belirtilmiştir (Mohiuddin, 2003).

1.1.4 Literatür Özeti

Gerek örgülü, gerek örgüsüz geotekstillere, zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde, istinat duvarlarında ve bunun gibi uygulama alanlarında donatı olarak kullanılmaktadır. Zemin ile geotekstillere arasındaki etkileşimin saptanmasında kullanılan deney yöntemleri, içsel sürtünme açısı ve adhezyon değerlerinin saptanmasını içermektedir. Yapılan araştırmalarda başlıca iki tip deney aleti kullanıldığı görülmüştür. Bunlar kimi zaman uyarlanmış, kimi zaman ise hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılan çeşitli boyutlardaki kesme kutuları ile çekme deneylerinin yapıldığı aletlerdir. Arayüzey davranışını tüm yönleriyle anlamak için bu konudaki yayınlar incelenmiş, kum ve kil ile yapılmış olan kesme kutusu deneyleri özetlenmiştir.

Mahmood ve Zakaria (2000), geotekstil/zemin arayüzey sürtünme katsayısını belirlemek için bir araştırma programı geliştirmiştir. Bu amaçla laboratuvarında bir seri (100 mm x100 mm) kesme kutusu deneyi kullanılmıştır. Kumlu zemin ve organik kil ve farklı çekme mukavemetine sahip dört tip örgüsüz geotekstil kullanılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda, geotekstilin çekme mukavemetinin zemin-geotekstil sürtünme katsayısı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçta, geotekstil çekme mukavemetinin zemin-geotekstil arayüzey sürtünme katsayısında önemli bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir.

Lee ve Masunath (2000), zemin-geotekstil arayüzeyi davranışını büyük boy kesme deneyleri ile tanımlamışlardır. Zemin-geotekstil arayüzey sürtünme

katsayısının belirlenmesi için orta daneli üniform kum ve değişik tekniklerle üretilmiş örgülü ve örgüsüz üç tip geotekstil kullanmışlardır. Deneyler, arayüzey deneyleri için özel olarak dizayn edilen kesme kutusu kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlar geleneksel kesme aletinden elde edilen sonuçlarla mukayese edildiğinde sonuçların, deney aletinin sınırı ve test şartlarından etkilendiğini belirtmişlerdir.

Mahmood ve diğ. (2000), zemin-geosentetik arayüzünde sürtünme davranışını araştırmak ve zeminin kayma direnci değerlerini belirlemek için klasik kesme kutusu deneyleri yapmışlardır. Deneylerde, organik killi silt ve kumlu zemin olmak üzere iki ayrı zemin ve dört ayrı çekme mukavemetine sahip örgüsüz iğnelenmiş geotekstil kullanmışlardır. Geotekstilin çekme mukavemetinin değişiminin, sistemin davranışı üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Deney sonuçlarından, geotekstil-dolgu arayüzeyinin kayma direncinde, geotekstil çekme mukavemeti ile tutarlı bir ilişki bulunmadığı rapor edilmiştir. Organik kil-geotekstil arayüzeyindeki kayma mukavemeti, artan geotekstil çekme mukavemeti ile artmaktadır.

Kum ve değişik plastisitede üç ayrı kil ve üç değişik geogrid ve bir adet örgülü geotekstil kullanarak büyük boy kesme deneyleri yapılmıştır (Murad ve Coronel, 2006). Çalışmada, zemin ve geosentetikler arasındaki arayüzey adhezyonu ve arayüzey sürtünme açıları gibi arayüzey özellikleri araştırılmıştır. Deney sonuçlarından, kum kullanılan deneylerde değişik geosentetiklerin değişik arayüzey sürtünme açıları; kil kullanılarak yapılan deneylerde de farklı adhezyon ve arayüzey sürtünme açıları bulunmuştur. Deney sonuçlarında, kohezyonlu zeminlerin, çeşitli geosentetiklerle kullanıldığında zemini iyileştirebileceği gösterilmiştir. Kum zeminlerle ilgili kesin yargılara varılmamış olmasıyla birlikte içsel sürtünme açılarının düştüğü ve kohezyon değerlerinin olması gerektiği gibi sıfır olarak raporlandığı deney sonuçlarında görülmektedir (Şekil 1.1).

Soil	Geosynthetic	Miragrid 8XT		Bas-Xgrid 11		BX-6100		Woven 4x4 Geotextile	
		c (kPa)	ϕ (degrees)	c (kPa)	ϕ (degrees)	c (kPa)	ϕ (degrees)	c (kPa)	ϕ (degrees)
Sand	Unreinforced	0	41.5	0	41.5	0	41.5	0	41.5
	combined (with transverse members)	0	40.1	0	39.9	0	40.1	0	33.36
	combined (without transverse members)	0	38.4	0	39.4	0	41.2		
	Total friction parameters	0	37.1	0	34.1	0	33		
	Actual friction parameters	0	28.7	0	28.3	0	38.3		
Clay 6 PI	Unreinforced	13.19	25.1	13.2	25.1	13.2	25.1	13.19	25.11
	combined (with transverse members)	12.2	24.8	23.5	12.2	12.7	23.7	5	23.61
	combined (without transverse members)	13.06	24.9	24.2	13.3	12.2	24.6		
	Total friction parameters	10.14	24.1	9.22	18	9.1	18.9		
	Actual friction parameters	12.71	24.3	14	20	8.29	19.9		
Clay 25 PI	Unreinforced	15.51	27.1	15.5	27.1	15.5	27.1	15.51	27.08
	combined (with transverse members)	13.7	26.9	14.7	28.3	14.3	26.1	8.09	23.68
	combined (without transverse members)	14.93	26.7	15	27.6	15.4	26.6		
	Total friction parameters	10.33	25.8	12.7	30.7	8.93	21.4		
	Actual friction parameters	13.84	24.7	13.5	28.4	14.7	21.7		
Clay 49 PI	Unreinforced	14.84	23.8	14.8	23.8	14.8	23.8	14.84	23.78
	combined (with transverse members)	14.53	22.1	13.3	23.6	14.7	22	7.33	22.78
	combined (without transverse members)	14.4	23.7	13.3	23.3	14.8	22.5		
	Total friction parameters	13.89	18.5	8.39	23	14	13.3		
	Actual friction parameters	13.21	23.3	6.45	20.9	14.1	10		

Şekil 1.1: Julian Coronel kesme kutusu deney sonuçları (2006).

Örgülü geotekstilin zemin-geotekstil sürtünme özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, standart ve büyük boy kesme deneyleri yapılmıştır (Aydoğan, 2004; Güler ve Aydoğan, 2005). Deneylerde, kum, çakıl ve yol dolgusu olmak üzere üç farklı tip zemin ve üç farklı geotekstil (GE1, GE2 ve GE3) kullanılmıştır. Değişik özelliklere sahip geotekstillere GE1, GE2 ve GE3' den daha elastiktir. Deneylerde 300mmx300mm ve 100mmx100mm boyutlarında kesme kutusu kullanılarak 0.76mm/dak. hızda kesme deneyleri yapılmıştır. Çakıl kullanılarak yapılan deneylerde içsel sürtünme açısı $\phi = 49^\circ$ olarak bulunmuştur (Tablo 1.1). Üç tip geotekstilin çakıl ile yapılan deneyleri, çakıl-geotekstil arayüzeyinde kayma direnci ve sürtünme açıları, sadece çakıl'a göre azalma olduğu görülmüştür. Bunun başlıca nedeninin geotekstil kullanıldığında, çakıl daneleri arasındaki kenetlenmeyi kaybetmesi olarak açıklanmıştır. İkincil olarak, kayma mukavemeti ve sürtünme açısının azalması, çakıl daneleri arasındaki sürtünmenin çakıl daneleri ve geotekstil arasındaki sürtünmeden daha yüksek olmasından kaynaklanabileceği açıklanmıştır. Bir çok durumda zeminlerin içsel sürtünme açıları, zemin-geotekstil arayüzey sürtünme açılarından daha yüksektir (Aydoğan, 2004; Güler ve Aydoğan, 2005).

Tablo 1.1: Direkt Kesme Deney Sonuçları (Aydoğan, 2004).

Kullanılan Malzeme	Kesme Kutusu	Φ, δ (deg.)
Çakıl	30x30	49
GE1-Çakıl	30x30	23
GE2-Çakıl	30x30	32
GE3-Çakıl	30x30	33
Kum	30x30	32
GE1-Kum	30x30	23
GE2-Kum	30x30	25
GE3-Kum	30x30	33
YD	10x10	36
YD-GE1	10x10	28
YD-GE1 (CD)	10x10	33
YD-GE2	10x10	32
YD-GE3	10x10	32
YD-GE1	30x30	19
YD-GE3	30x30	18

GE1 geotekstil, en düşük, GE2 ve GE3 ise benzer arayüzey içsel sürtünme açılarına sahiptir. Buda içsel sürtünme açısının, geotekstilin çekme mukavemetinden etkilenmediğini göstermektedir. Daha çok geotekstilin yüzey pürüzlülüğüyle ilgilidir. GE3 daha fazla pürüzlü yüzeye ve en yüksek içsel sürtünme açısına sahiptir (Aydoğan, 2004; Güler ve Aydoğan, 2005).

Kum ve örgülü geotekstilin sürtünme davranışı incelendiğinde, kumun içsel sürtünme açısı, $\phi = 32^\circ$ olarak bulunmuştur (Tablo 1.1). GE1 ve GE2, GE3'den daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir. Test sonuçlarından GE1 en az içsel sürtünme açısına sahiptir (Aydoğan, 2004; Güler ve Aydoğan, 2005).

Yol Dolgusu ve üç ayrı örgülü geotekstil kullanılarak, büyük boy direkt kesme (300mm x 300mm x 300mm) ve standart direkt kesme deneyleri (100mmx100mm) yapılmıştır (Tablo 1.1). Yol dolgusu ile GE1 ve GE2 kullanılarak yapılan büyük boy kesme deneylerinde, numune boyunun kohezyonlu yol dolgusu ve örgülü geotekstil arayüzeyindeki sürtünme özelliklerinde büyük etkisi olduğu

görülmektedir. Standart direkt kesme aleti (100mmx100mm) ile yapılan deneylerde, YD-GE1'in arayüzey sürtünme açısı YD-GE3 den daha az bulunurken, 300mmx300mm direkt kesme kutusu sonuçları tam tersini göstermiştir (Aydoğan, 2004; Güler ve Aydoğan, 2005).

Tablo 1.1'den de görüldüğü gibi, standart boy kesme aleti ile yapılan deneyler, büyük boy direkt kesme deneylerine göre daha yüksek içsel sürtünme açısı vermektedir. Büyük boy kesme kutusunda yol dolgusu ve kesme kutusunun yan duvarları arasındaki sürtünmenin etkisi standart boy kesme kutusuna göre daha yüksektir. Bu durum deney sonuçlarına yansımakta ve büyük boy kesme kutusu ile elde edilen arayüzey sürtünme açıları azalmaktadır (Guler ve Aydoğan, 2005).

İki farklı rölatif sıklıkta üç adet örgülü ve iki adet örgüsüz geotekstil ile farklı normal basınçlar da 100x100 mm lik ve 60x60 mm lik kesme kutusu kullanarak bir seri kesme kutusu deneyleri yapılmıştır (Tuna Ş. Ç. 2008). Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara geotekstil donatılı kum zeminlerde arayüzey sürtünme açılarında donatısız zeminlere göre azalma tespit edilmiştir. Kesme dayanımlarında fazla bir değişim gözlenmezken pik dayanım sonrası donatısız zeminde görülen dayanım kaybına donatılı zeminlerde rastlanmamıştır. Deney sonuçlarından arayüzey davranışının büyük ölçüde geotekstil yüzey parametreleri ile zemin indeks özelliklerine bağlı olduğu ortaya çıkmıştır (Tuna Ş. Ç. 2008).

Deney sonuçlarında gözlenen kohezyon değerlerinin 100x100 mm lik deney sonuçlarında, 60x60 mm lik deney sonuçlarına göre giderek düştüğü ifade edilmiş, geotekstil donatının zemin üzerindeki sınırlayıcı bir etkisinden söz edilsede gözlenen kohezyon değerlerinin numune boyut etkisi olduğu yargısına varılmıştır (Tablo 1.2, Tablo 1.3, Tablo 1.4).

Tablo 1.2: Farklı sıklıklarla SW ve SP zemin ile yapılan 6*6 cm' lik kesme kutusu deney sonuçları (Tuna Ş. Ç., 2008).

ARAYÜZEY/RÖLATİV SIKILIK		NORMAL BASINÇ (KPA)/ KESME						C(KPA)	δ(PİK)
		27,2	54,5	109	327	654	981		
SIKI	SW-İZO1000	49,1	67,5	124,4	352,3	644,3	767	48,93	38,47
	SW-İZO2500	44,6	77	115,1	339	610,9	688,1	55,2	35,6
	SW-Typar SF44	24,7	51,5	102,9	259,8	455,4	730,3	13,38	35,65
	SW-PP80	45,6	75	104,7	263,9	455,1	652,9	39,31	32,32
	SW-PP25	67,2	69,2	106,8	282,8	448,8	709,8	40,78	33,7
	SW-SW	39	71,1	128,6	321,7	473,5	781	36,48	36,57
GEVŞEK	SW-İZO1000	33,1	54,1	106,9	287,6	499,4	702	28,02	35,16
	SW-İZO2500	40,2	76,4	165,2	261,1	510,7	708,6	48,68	34,35
	SW-Typar SF44	34	54,1	104,1	263,6	452,7	637,3	30,76	33,32
	SW-PP80	31	44,2	106,3	278,7	472,7	584,4	37,68	30,97
	SW-PP25	79,1	97,8	119,7	255,3	475,7	681,5	56,82	32,46
	SW-SW	34,5	57,9	124,9	265,6	469,5	695,3	31,05	34,19

Tablo 1.3: Farklı sıklıklarla SW ve SP zemin ile yapılan 6*6 cm' lik kesme kutusu deney sonuçları (Tuna Ş. Ç., 2008).

ARAYÜZEY/RÖLATİV SIKILIK		NORMAL BASINÇ (KPA)/ KESME						C(KPA)	δ(PİK)
		27,2	54,5	109	327	654	981		
SIKI	SP-İZO1000	43,5	58,4	118,8	254,5	393,5	690,5	29,23	32,75
	SP-İZO2500	42,5	75,9	120,8	248,8	527,9	695	36,5	34,72
	SP-Typar SF44	34,5	51,1	97,1	283,5	458,5	650	30,02	32,95
	SP-PP80	27,1	52,2	90,4	236,6	408,3	606,4	22,17	30,89
	SP-PP25	49,6	65,9	94,9	245	484,7	673,1	29,47	33,7
	SP-SP	39	62	99	276	501	688	39,56	34
GEVŞEK	SP-İZO1000	31	58,9	103,1	254,9	470,9	688	25,71	33,66
	SP-İZO2500	26	50,7	99,9	273,2	469,4	645,9	26,86	33,12
	SP-Typar SF44	34	54,1	104,1	263,6	452,7	637,3	30,78	32,32
	SP-PP80	31,9	50,1	99,1	251,4	443,3	593,3	31,61	30,81
	SP-PP25	40,7	49,7	103,4	254,4	433,9	636	29,44	31,95
	SP-SP	30,5	60,6	95,2	272,5	476,1	622,3	33,08	32,1

Tablo 1.4: 6*6 cm ve 10*10 cm' lik kesme kutularıyla yapılan deney sonuçları (Tuna Ş. Ç., 2008).

ARAYÜZEY	10luk		6lık	
	C (KPA)	& (°) (PİK)	C (KPA)	& (°) (PİK)
SP-SP	18,159	30,5816	39,56	34,31
SP-PP80	14,325	30,1033	22,17	30,89
SP-İZO1000	8,373	36,23	29,23	32,73
SP-TYPAR SF44	8,27	35,2285	30,02	32,95
SW-SW	0	42,1444	36,47	36,57
SW-PP80	12,76	32,5748	39,31	32,32
SW-İZO1000	9,77	37,6117	48,93	38,47
SW-TYPAR SF44	8	35,3049	13,38	35,65

Geosentetik kullanımın kum zeminlerin kayma dayanımı davranışları üzerindeki etkisini incelemek için iyi ve kötü derecelenmiş kum (SW ve SP) zeminler üzerinde, geosentetiksiz ve geosentetikli durumlarda konsolidasyonsuz drenajsız (UU) şartlarda (100x100mm ve 300x300 mm)kesme kutusu deneyleri yapılmıştır (Erdoğan D. ; Altun S. 2008). Çalışmada kullanılan zeminlerin indeks ve kompaksiyon özellikleri Tablo 1.5'de, yine kullanılan geotekstillerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1.6'da gösterilmiştir.

Tablo 1.5: SW ve SP zeminlerinin indeks ve kompaksiyon özellikleri (Erdoğan D. ; Altun S., 2008).

İndeks ve Kompaksiyon Parametreleri	İyi Derecelenmiş Kum (SW)	Kötü Derecelenmiş Kum (SP)
D_{10}	0.13	0.28
D_{30}	0.30	0.36
D_{60}	0.80	0.54
Uniformluk katsayısı, C_u	6.1	1.9
Derecelenme katsayısı, C_c	1.1	0.86
Maksimum boşluk oranı, e_{max}^a	0.72	0.88
Minimum boşluk oranı, e_{min}^b	0.36	0.56
Standard Proctor enerjisi altında	$\gamma_{k,max}$ (gr/cm ³) ^c	1.79
	W_{opt} (%)	11
		21

Tablo 1.6: Deneysel çalışmada kullanılan geotekstillerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (PY:Polyester, PP: Polipropilen, Ösz: Örgüsüz, Örg: Örgülü) (Erdoğan D. ; Altun S., 2008).

Geotekstil	Tipi	Ham madde	Ağırlık (gr/m ²) ^a	Kalınlık (mm) ^b	Çekme dayanımı (N/m) ^c		Kopma uzaması ^d (%)		Görünür göz açılığı (mm) ^e
					boyuna	enine	boyuna	enine	
İzo100	Ösz	PY	100	1	2500	2500	80	80	0.17
İzo250	Ösz	PY	250	2.5	8000	9000	50	80	-
Typar44	Ösz	PP	150	0.46	10300		52		0.1
PP 25/25	Örg	PP	-	-	25000		13-15		0.23
PP 80/80	Örg	PP	-	-	80000		8.5-13.5		0.12

Deneysel çalışmalarda farklı tip ve özelliklerdeki geotekstiller kullanılarak kumların kayma direnci özelliklerinin ne ölçüde değiştiği araştırılmıştır. Deney sonuçları, geotekstil tipi, kum zeminin granülometrisi ve relatif sıklığı ile deneysel koşullardaki farklılıkların ara yüzey kayma dayanım parametreleri üzerinde büyük ölçüde etkili olduğunu ortaya koymuştur (Erdoğan D. ; Altun S. 2008). Yine deney sonuçlarında yapılan deneylerin tümünde, özellikle düşük normal gerilmelerde, oldukça yüksek pik arayüzey sürtünme açıları elde edilmiştir. Tüm sıklık, derecelenme ve normal gerilme durumları göz önüne alındığında, örgüsüz geotekstillerin bükülebilir malzemeler olmaları nedeniyle kum zeminin deformasyonlarına kolay uyum sağlayabilme yeteneklerinden ve yüksek yüzey pürüzlülüklerine sahip olmalarından dolayı, örgülü geotekstillere nazaran yüksek performans sergiledikleri görülmüştür. Teorik olarak iyi derecelenmiş kumların kötü derecelenmiş kumlardan, sıkı kumlarında gevşek olan kumlara göre daha yüksek arayüzey sürtünme açıları vermesi beklenmesine karşı, deney sonuçlarında bu teoriye uymayan sonuçlarla karşılaşıldığı raporlanmıştır.

S.A. Tan (1998) tarafından %55 rölatif sıklıkta hazırlanan kum zemin ile 8 farklı çekme dayanımına sahip aynı tür geotekstiller üzerinde 50-300 kPa normal basınçlar altında kesme kutusu deneyleri yapılmıştır (Tuna Ş.Ç, 2008). Deney sonuçlarında artan normal basınçla birlikte arayüzey sürtünme açılarının azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca geotekstillerin çekme mukavemetinin arayüzey sürtünme açısında belirgin bir etkisi olmadığını belirtmişlerdir. S.A. Tan vd. gözlemlenen sürtünme açısındaki düşüşün en önemli sebebini düşük normal basınçlar altında gerçekleşen genleşme etkisine bağlamışlardır. Düşük normal gerilmeler

arayüzeydeki genleşme eğilimine daha az engel teşkil ettiği için daha rahat genişleyen zemin tanecikleri, birbirlerini arayüze doğru daha çok sıkıştırırlar. Sonuç olarak arayüzey sürtünme dayanımını arttırlar (Tan S. A., Chew S. H., Wong W. K.; 1998).

Benzer bir çalışmada S.M. Haeri ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir. Kuru sahil kumunun geotekstil ile donatılarak üç eksenli basınç deneyine tabi tutulduğu çalışmada, donatılı zeminin kesme dayanımının donatısız zemininkine göre oranı, artan normal basınçla beraber azalmaya başladığı gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak da artan normal basınçla birlikte geotekstil-kum arasındaki etkileşimde meydana gelen azalmayla ilgisi olabileceği söylenmiştir (Haeri S.M., Noorzad R., Oskoorouchi A.M.; 2000).

Mizyal İzgin ve Yıldız Wasti'nin yapmış oldukları direkt kesme kutusu deneylerinden sahte kohezyon ve yüksek arayüzey sürtünme açıları elde edilmiştir. Kayma indislerinin çoğunda gözlenen kohezyonlar, kesme kutusu içerisindeki donatı-zemin arayüzeyinde bulunan pürüzlülüklerden ve yüksek normal gelirmelerden kaynaklandığını bildirmişlerdir (İzgin M. , Wasti Y. ; 1998).

Başka bir üç eksenli çalışmada ise geocell, örgülü ve örgüsüz geotekstiller kullanılarak kum zeminlerde deneyler gerçekleştirilmiştir (Rajagopal K. , Krishnaswamy N.R. , Latha G.M. ; 1998). Deney sonuçlarında donatısız zeminlerde herhangi bir kohezyon gözlenmezken, geocell ile donatılan kum zeminlerde belirgin kohezyon değerleri raporlanmıştır. Yazar kohezyon görülmesinin sebebi olarak numunenin sınırlanması sonucu ortaya çıkan gerilim fazlasını göstermiştir. Yine deney sonuçlarında en yüksek arayüzey açısı örgüsüz geotekstillere aittir (Tablo 1.7; Tuna Ş.Ç. ; 2008).

Tablo 1.7: Kum Zeminlerde Yapılan Üç Eksenli Deney Sonuçları
(Rajagopal K. , Krishnaswamy N.R. , Latha G.M. ; 1998).

Donatı Tipi	δ (°)	C (kPa)
Donatısız	40,5	0
Örgülü Geotekstil (beyaz)		
Tek Hücre	39,2	98,9
İki Hücre	39,2	134,9
Üç Hücre	39	159,2
Dört Hücre	39	169,1
Örgülü Geotekstil (Siyah)	40,5	77,1
Örgüsüz Geotekstil	40,9	17,3

Başka bir çalışmada ise 60mm ve 300mm lik kesme kutuları kullanılarak ince ve orta daneli kum zeminde arayüzeyde örgüsüz geotekstilin kullanıldığı kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre 80 kPa normal basınçtan yukarısı için kesin bir fark gözlenmez iken, 65 kPa ve aşağısı değerlerde büyük boyutlu olan deneylerin daha az dayanım değerleri verdiği gözlenmiştir. Yazar bu durumu düşük basınçlar altında geotekstilin zeminle beraber deforme olmamış olmasına bağlamıştır (Ingold, 1982).

Farklı özelliklere sahip üç çeşit kumla, üç farklı rölatif sıklıkta (Sıkı,orta ve gevşek) 60 mm,101,6 mm ve 304,8 mm lik kesme kutularıyla deneyler yapıldığı bir çalışmada, direkt kesme kutusu deney sonuçlarının, arayüzey sürtünme açısının numune boyutuna, numune boyutunun etkisinde kum tipi ve rölatif sıklığın bir fonksiyonu olduğunu ve sürtünme açısının bu değişkenlere bağlı olduğunu açıklamışlardır. İyi derecelenmiş kumlar için kesme kutusu boyutu arttıkça içsel sürtünme açılarının azaldığını belirtmişlerdir (Cerato A.B. , Lutenegeger A.J. , 2005).

Düşük normal basınçlar altında, iki tip kum ve iki tip kil ile 19 farklı geotekstil ve 2 tip geomembran ile yapılmış basit kesme kutusu deneylerinde, geotekstil ve zemin arasındaki sürtünme açısının, zeminin içsel sürtünme açısından daha düşük bulunduğu söylenmiştir. Deney sonuçlarında örgüsüz geotekstillerin arayüzey sürtünme açılarının, örgülü geotekstillere nazaran daha yüksek bulunduğu ve yine kum zeminlerde elde edilen arayüzey sürtünme açılarının kil zeminlerde yapılan deneylere göre daha yüksek bulunduğu belirtilmiştir (Eigenbrod K.D. , Locker J.G. ; 1987).

Diğer bir yandan Swan (1987) siltli ve farklı çekme dayanımlarına sahip üç farklı tip geotekstil kullanarak yaptığı kesme kutusu deneylerinde, ara yüzey kayma dayanımının geotekstil çekme dayanımındaki artış ile azalma eğilimi gösterdiğini gözlenlemiştir. Analizlerinde düşük çekme dayanımına sahip geosentetiklerin normal gerilme altında daha kolay deforme olabildiğini, dolayısı ile zemin danelerinin geosentetiğe kenetlenerek ara yüzey kayma dayanımını arttırdığını ifade etmiştir (Tuna Ş.Ç. ; 2008).

Chenggang B. (2004) değişik zeminler üzerinde farklı pürüzlülük değerlerine sahip geosentetik malzemelerle 100x100x120 mm (genişlik, derinlik, yükseklik) lik kesme kutusu deneyleri ve ayrıca çekme deneyleri yapmışlardır. Deney sonuçlarında kullandığı en pürüzlü geosentetik için en yüksek arayüzey açısını bulmuştur. Bunu kenetlenme etkisine, oluşan kesme bölgesinin diğerlerine göre daha kalın olmasına bağlamıştır. Ayrıca deneylerinde sahte kohezyon değerleri de bulmuştur (Tablo 1.8, Chenggang B. ; 2004).

Tablo 1.8: Kesme Kutusu ve Sıyırılma Deneyi Sonuçları (Chenggang B. ; 2004).

Zemin	Geosentetik	Direkt Kesme Kutusu			Sıyırılma Deneyi		
		C (kPa)	δ	δ/Φ	C (kPa)	δ	δ/Φ
Kumlu Çakıl	Plastik Geogrid	2	30.5	0.84	2.6	33.6	0.96
	Çift Yönlü Geogrid	5.1	33.3	0.94	3.5	37.2	1.09
	Örgülü Geotekstil	5.7	25.8	0.69	9.1	22	0.57
Kaba kum	Plastik Geogrid	1.5	28.3	0.89	4	28.3	0.89
	Çift Yönlü Geogrid	5.4	30.2	0.95	0.8	32.6	1.05
	Örgülü Geotekstil	3	27.2	0.84	1.8	31.3	1

Lafleur ve diğ. (1987), üç farklı geotekstili (ince örgüsüz, kalın örgüsüz ve örgülü geotekstil) direkt kesme deneylerine tabi tutarak, geotekstillerin orta plastisiteli kırmızı killi çakıllar ve yüksek plastisiteli killerle aralarındaki temas katsayılarını incelemişlerdir. Zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu, zemin-geotekstil arayüzey sürtünme açısı ve adhezyonu drenajlı durum (çok düşük kesme hızı ile) göz önünde bulundurarak elde edilmiştir. Örgüsüz geotekstillere için temas katsayısı 1.0 ve örgülü geotekstillere için temas katsayısı 0.5 ile 0.6 arası bulunmuştur. Lafleur ve diğ. (1987), zemin ve geotekstil arasında iyi bir adhezyon

oluşmadığını belirtmişler, bunun sebebini de geotekstilin pürüzsüz yüzeyinin danelerin penetrasyonuna izin vermemesi olarak açıklamışlardır. Düşük sertlikteki örgüsüz geotekstillerin, geotekstil ve zemin arasındaki toplam kayma dayanımını harekete geçiren kayma deformasyonu değeri, örgülü geotekstillere karşılaştırıldığı zaman daha büyüktür. Araştırmacılar, örgüsüz geotekstillerin etkileşim katsayılarının daha yüksek olduğunu ve suyu zeminden dışarı atabildiğini belirtmişlerdir (Coronel J., 2006).

2.GEOTEKSTİLLER

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

Temel olarak iki tip geotekstil yapısı vardır. Bunlar; örgülü ve örgüsüz geotekstillerdir. Bunların dışında mekanik, ısı ve kimyasal birleştirme yöntemleri gibi özel işlemler görmüş geotekstiller de mevcuttur. (GMA, 2002). Geotekstillerin 100’ den fazla özel uygulama alanı bulunmaktadır; ama genelde geotekstiller aşağıda belirtilen altı fonksiyon göz önünde bulundurularak kullanılmaktadır. Bu özellikleri ;

1. Ayırma
2. Filtrasyon
3. Drenaj
4. Güçlendirme
5. Koruma
6. Yalıtım (Asfalt takviye tabakalarının yapımında bitüm emdirilerek) (Wasti, 1992) olarak sıralayabiliriz.

Geotekstiller genellikle petrol ürünleri olan polyester, poliamid, poliprobilen, polietilen, naylon, polivinil klorür (PVC) gibi sentetik hammaddeden üretilen geçirimli örtülerdir. Doğal malzemelerin ömrü kısa olduğu için geotekstillerin yapımında pek kullanılmazlar. Bununla birlikte metal ve benzeri malzemelerden üretilen geotekstil malzemelerde korozyona dayanaksız oldukları için sentetik en yaygın malzeme olmuştur. Bunlar örülerek (dokunarak=woven) veya yukarıdaki malzemelerin fiberleri özel makinelerde işlenip preslenerek, örgüsüz (dokumasız=non-woven) olarak imal edilirler (Demiröz, 1996).

Geotekstillerin başlıca türleri lif, flaman veya şeritlerin kumaş gibi dokunduğu örgülü ve mekanik (iğneleme), ısı veya kimyasal yöntemlerle elyafların

birleştirildiği örgüsüz tiplerdir. Geotekstil pazarının % 70'i örgüsüz tiplere aittir. Isı ile birleştirilen örgüsüz geotekstillerin kalınlıkları, 0.5-1.0 mm arasında, iğneleme yöntemi ile birleştirilenler ise; 2-5 mm. veya daha fazladır ve bunlara “keçe” tipi de denilmektedir. Kimyasal birleştirme yöntemi ise pek sık kullanılmamaktadır (Koerner, 1993).

2.1 Geotekstil Hammaddeleri

Geotekstiller çeşitli polimerik malzemeler kullanılarak üretilmektedir. Aşağıda bu malzemelerin bazılarının birim hacim ağırlıkları sunulmuştur:

- Polipropilen 910 kg/m³
- Polyester 1220 - 1380 kg/m³
- Naylon 1050 – 1140 kg/m³
- Polietilen 920 – 960 kg/m³
- Polivinilklorid 1690 kg/m³ (Cindemir, 1997).

Yukarıdaki polimerik malzemelerin birim hacim ağırlıklarına dikkat edilirse bazılarının birim hacim ağırlıklarının, suyun birim hacim ağırlığından daha az olabileceğini görülmektedir. Bu durumda su altında yapılan çalışmalarda çeşitli zorluklarla karşılaşabiliriz (Bağcı F. ; 2007).

2.1.1 Polipropilen (PP)

Geotekstil imalatında en yaygın olarak kullanılan malzemedir. Kimyasal direnci yüksektir. Organik asit etkilerine karşı oldukça dayanımlıdır. pH' ı 13'e kadar olan alkalilere karşı dayanıklıdır. Erime sıcaklığı 165 °C' dir. Uzun süre ışık alması, yüksek sıcaklığa maruz kalması ya da nemli bir ortamda kalması halinde bozulmalar oluşur. Bu sebepten güneş ile direkt temasa geçtiği durumlarda ek bir koruyucu malzeme gerekmektedir. Yük altında zamana bağlı olarak fazla deformasyon gösterir, diğer bir deyişle sünme dayanımı çok düşüktür. Yorulma dayanımı çok yüksektir, diğer bir deyişle sürekli gerilme altında kısa sürede yorulmaz (Öztekin,

1992). Polipropilen esaslı geotekstilller, polipropilenin polyestere nazaran daha ucuz olmasından dolayı çoğu zaman tercih sebebi olmaktadır.

2.1.2 Polyester (PET)

Bükülüp eğilmesi kolaydır. Yüksek dayanım modülüne sahiptir. Sünmeye karşı dayanıklıdır ve 200 °C' ye kadar mekanik özelliklerini korur. Solventlere, deniz suyuna ve asitlere karşı dayanım gösterir. Ancak pH' ın 11'den büyük olması durumunda bazik maddelere duyarlılık gösterir. Malzeme özelliklerini iyileştirmek için katkı maddesi kullanılabilir. Erime sıcaklığı 260 °C' dir (Cindemir, 1997). Ülkemizde de yaygın olarak üretilen polyester esaslı geotekstilller yüksek fiyatlarına karşın farklı mühendislik uygulamaları için çok fonksiyonlu işlevlerinden dolayı çoğunlukla tercih edilirler. Geotekstillerin fonksiyonlarına Bölüm 3'de ayrıca değinilecektir.

2.1.3 Poliamid (PA, Naylon)

Aşınmaya karşı dayanımları yüksektir. Düşük yanabilirlik derecesine sahip olan PA sulu ortamlara karşı duyarlıdır. Naylon ürünleri uzun süre su içinde tutulmaları durumunda mekanik özelliklerinde %20 – 30 arasında bir düşüş görülmektedir. Diğer bir deyişle PA' nın mekanik özellikleri zeminin neminden etkilenir. Geotekstil üretiminde PA ve PA6.6 kullanılmaktadır. Malzeme özelliklerini istenilen düzeye çıkarmak için, katkı maddeleri kullanılabilir. Bu şekilde ışık ve ısı etkisiyle bozulmaların önüne geçilebilir (Cindemir, 1997).

2.1.4 Polietilen (PE)

Erime sıcaklığı 110 °C' dir. Bu yüzden lifler arasında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Güneş ışınlarına karşı dayanıksızdır, bu yüzden ek bir koruyucu gerektirir. Hidrokarbonlarla temasa geçince bozunur (plastikleşir ve şişer). Organiklerden çabuk etkilenir (çatlar). Sünme dayanımı çok düşüktür. Yorulma

dayanımı yüksektir (Öztekin, 1992). Geotekstil üretiminde iki farklı tip polietilen kullanılmakta olup bunlar; LDPE : Düşük yoğunluklu polietilen (Yoğunluğu 920–930 kg/m³), HDPE: Yüksek yoğunluklu polietilendir (Yoğunluğu 940–960 kg/m³) (Cindemir, 1997). LDPE; Bükülgenliğin önemli olduğu ve su buharına karşı dayanım istenen durumlarda kullanılır. HDPE; LDPE ile karşılaştırıldığında daha katı ve sert bir yapı elde edilir. Ayrıca HDPE' nin kimyasal dayanımı da LDPE' den yüksektir (Cindemir, 1997).

Polietilene de katkı maddeleri ilave edilerek özellikleri iyileştirebilir. Uzun süre ışık alması, yüksek sıcaklığa maruz kalması yada nemli bir ortamda kalması halinde polietilen malzeme gevrekleşir ve bozulur. Bu sebeple PE ürünlerin saklanması dikkatli olunmalıdır (Cindemir, 1997).

2.2 Örgülü (Woven) Geotekstilller

Genellikle yüksek çekme dayanımı istenildiğinde kullanılan örgülü geotekstilller, iki yönde kesintisiz iplik içermektedir. Bu bakımdan ipliğin tüm teknik avantajlarından yararlanılarak düşük uzamalarda yüksek dayanımlar elde edilir. Her ne kadar iplikler birbirlerine dik açı yapacak şekilde iki yönde dokunmuşlarsa da iplikler arasındaki sürtünme ve sarılma nedeniyle malzeme önemli ölçüde diyagonal dayanım gösterir (Cindemir, 1997).

Örgülü geotekstilller geleneksel dokuma tezgahlarında üretilirler. Bir dizi boyuna eleman (atkı) ve bir dizi enine eleman (çözgü) kullanılarak dokuma üretilir. Kullanılan ipliğin hammaddesine ve tipine göre farklı geotekstilller üretilerek farklı fiziksel, mekanik ve hidrolik özellikler elde edilebilir (Demiröz A.; 2008).

2.3 Örgüsüz (Nonwoven) Geotekstilller

Geotekstillerin dünya pazarındaki asıl gelişmeleri örgüsüz geotekstillerin ortaya çıkmasıyla olmuştur. Örgüsüz geotekstilller; İpliğe dönüştürülmemiş, çeşitli yöntemlerle birbirine tutturulmuş., doğal yada sentetik, kesikli yada sonsuz

uzunlukta elyaflardan oluşurlar. EDENA (European Disposables and Nonwovens Association) örgüsüz ürünleri şu şekilde tanımlamaktadır: “Mekanik, kimyasal yada fiziksel yöntemlerle birbirlerine tutturulmuş, tek yönlü yada gelişigüzel dizilmiş elyaflardan imal edilmiş, tabaka, ağ yada keçedir” (Cindemir, 1997).

Örgüsüz kumaşın mekanik özellikleri, elyaflar arasındaki sürtünmeye, ürünün yoğunluğuna ve sıklığına, elyafların uzunluk ve birim hacim ağırlıklarına ve iğneleme hızına bağlıdır. Özellikle iğneleme yoğunluğunun (100 batış/cm² veya 600 batış/cm²) örgüsüz kumaşın yapısına etkisi çok büyüktür. İğneleme ile elde edilen dokusuz tekstil yapılarında bağlar esnek olduğundan deformasyon enerjisi oldukça yüksektir. Sonsuz elyaflar kullanıldığı takdirde kaliteli ve özellikle çekme dayanımı yüksek olan dokusuz yüzeyler elde edilmektedir (Aktaş, 1991).

Genel olarak ifade edildiğinde herhangi bir gerilme değerini için, örgüsüz donatılar, örgülü yada geogrid donatılardan daha yüksek arayüzey dayanımına sahiptirler (Coronel j., 2006).

2.4 Geotekstillerin Özellikleri

Bir imalat sırasında geotekstil kullanacak ise, onunla ilgili özelliklerin bilinmesi ve projelendirilmenin ona göre yapılması gerekmektedir (Bağcı F. ; 2007). Tablo 2.1’ de geotekstil yapımında kullanılan hammaddelerin teknik özellikleri sunulmuştur. Çeşitli geotekstillerin mekanik ve hidrolik özelliklerinin karşılaştırılması ise Tablo 2.2’ de verilmiştir. Bir geotekstilin tanımlanmasında belirtilmesi gerekli hususlar Tablo 2.3’ te sunulmuştur.

Tablo 2.1: Geotekstil üretiminde kullanılan hammaddelerin teknik özellikleri (Cindemir, 1997).

ÖZELLİK	PA6	PA6.6	PET	PP	LDPE	HDPE
Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	1140	1140	1380	900-910	920-930	940-960
Kristallik (%)	60	60	30-40	60-70	40-55	60-80
Ergime Sıcaklığı (°C)	215-220	250	250-260	160-165	110-120	125-135
Müsaade edilen maksimum proses sıcaklığı (°C)	190	200	200	130	90	100
Müsaade edilen minimum proses sıcaklığı (°C)	-60	-60	-60	-40	-40	-40
Su absorpsiyonu, 20(°C) de %65 bağıl 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)	3-4X10 ³	3-4X10 ³	12-18X10 ³	2-5X10 ³	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

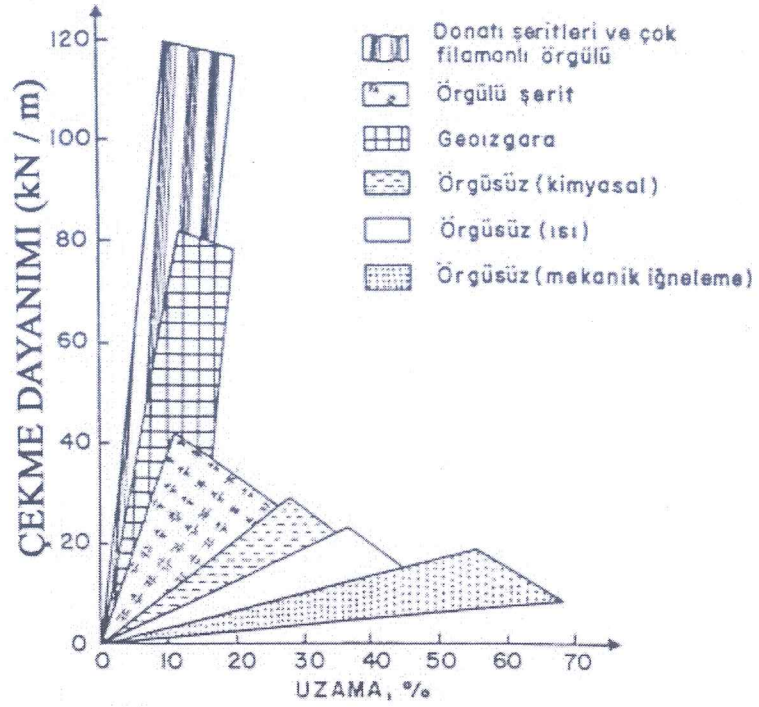
Tablo 2.2: Farklı Geotekstil Türlerinin Mekanik Ve Hidrolik Özelliklerinin Karşılaştırılması (Wasti, 1992).

1. GERİLME-DEFORMASYON İLİŞKİSİ	
Örgülü geotekstiller :	İki yöndeki özellikleri farklı
Örgülü geotekstiller ve geogridler :	Düşük uzamada yüksek dayanım
Örgüsüz (ısı) :	Orta dayanım, düşük uzamada ani kopma
Örgüsüz (mekanik - iğneleme) :	Nispeten düşük dayanım kopmada yüksek uzama
2. FİLTASYON / DRENAJ ÖZELLİKLERİ	
(Kalınlık, gözenek boyut dağılımı, açık yüzey oranı / poroziteye bağlı olarak)	
Örgülü:	İnce (drenaj işlevi yok), tek boylu gözenek açıklığı Flaman : Yüksek açık yüzey oranı , yüksek permeabilite ,zayıf filtrasyon Şerit : Düşük açık yüzey oranı,düşük permeabilite , tıkanma olasılığı fazla
Örgüsüz (ısı) :	İnce (drenaj işlevi yok), yüksek permeabilite (basınç etkisi yok), özellikle tek yönlü akım şartlarında iyi filtrasyon
Örgüsüz (mekanik - iğneleme) :	Kalın :(drenaj işlevi var), daha yüksek permeabilite, özellikle yön değiştiren akım şartlarında iyi filtrasyon

Tablo 2.3: Bir Geotekstilin Tanımlanması (Wasti, 1992).

1- GENEL Tip ve imalat yöntemi Polimer Ağırlık,kalınlık Rulo boyutları
2-MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ A) MEKANİK ÖZELLİKLERİ Çekme dayanımı Gerilme-deformasyon özellikleri/çekme modülü Sünme Delinme dayanımı Yırtılma dayanımı Patlama dayanımı Zemin/geotekstil arasındaki sürtünme B) HİDROLİK ÖZELLİKLERİ Geçirgenlik (permeabilite) -düzlemine dik yönde -düzleminde Gözenek boyutları
3-ÇEVRE ŞARTLARINA DAYANIM U.V. ışığı Isı Su Kimyasal madde Mikro organizma

Örgülü geotekstillerin mekanik özellikleri fiber yapısına, ipliklerin çapına ve üretim biçimine bağlıdır. Şekil 2.1' de farklı tekniklerle üretilmiş geotekstillerin çekme dayanımları karşılaştırılmaktadır (Cindemir, 1997) .



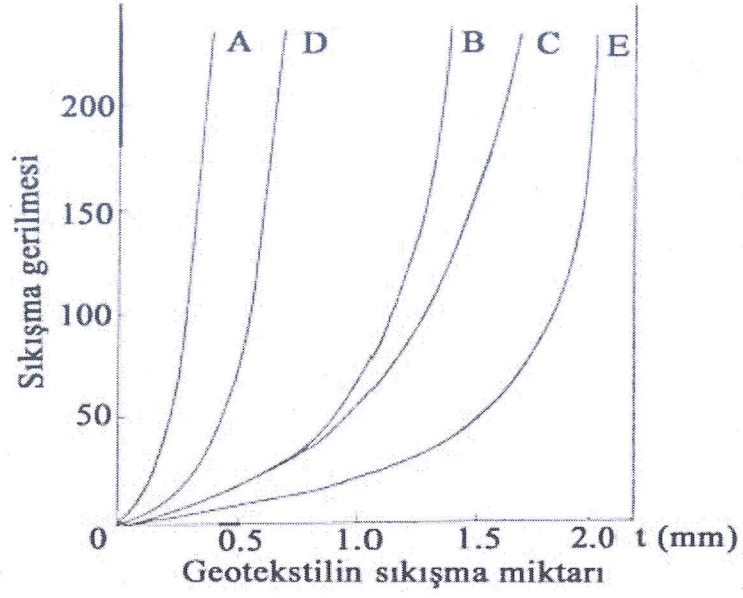
NOT : Çakışan bölgeler gösterilmemiştir

Şekil 2.1: Farklı tür geotekstillerin çekme dayanımlarının karşılaştırılması (Wasti, 1992).

Çoğu geotekstillerde sıkışma tasarım esnasında dikkate almaya gerekmeyecek kadar küçük olmaktadır. Bunlara karşılık örgüsüz iğnelemeyle veya kimyasal yolla bağlanmış dokumalarda sıkışma miktarı göreceli olarak fazla olmaktadır. Özellikle son bahsedilen türden geotekstillerin, kendi düzlemleri boyunca sıvı iletiminde kullanıldığı durumlarda sıkışma istenmez. Çünkü yük altında meydana gelen sıkışma, geotekstilin sıvı iletkenliğini azaltır (Cindemir, 1997).

Miyamori, farklı ağırlıklardaki örgüsüz geotekstillerin sıkışma davranışlarını farklı basınçlar için incelemiştir. Şekil 2.2' de görüldüğü gibi aynı basınç değeri altında iken kalın olan geotekstilde daha fazla sıkışma görülmektedir. Yine aynı deneyden, aynı kalınlıktaki geotekstillere C ve E' den daha hafif olan E' nin daha çok sıkışma gösterdiği tespit edilmektedir (Cindemir, 1997).

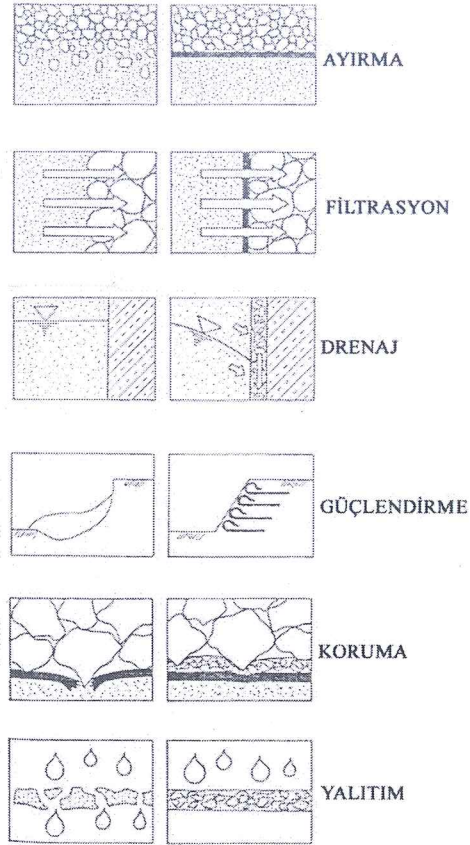
Geotekstil	Malzeme	Üretim	Ağırlık (g / m ²)	Kalınlık (mm)
A	Polyester	İğneleme ve kimyasal tutturma	95	0,72
B	Polyester	İğneleme	135	2,2
C	Polipropilen	İğneleme	500	4
D	Polyester	İğneleme ve kimyasal tutturma	11	0,8
E	Polyester	İğneleme	420	4



Şekil 2.2: Farklı fiziksel özelliklerdeki örgüsüz geotekstillerin sıkışmaları (Cindemir, 1997).

3.GEOTEKSTİLLERİN FONKSİYONLARI

Bu bölümde, geotekstillerin projelendirmede kullanılan fonksiyonları incelenecektir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Geotekstillerin fonksiyonları (Aksoy, 1993).

3.1 Ayırma

Geotekstil, ince daneli zemin ile kaba daneli zemin ara yüzeyine yerleştirildiğinde ayıraç fonksiyonu görür. Böylece, üst yapıdan gelen dinamik yükten dolayı oluşacak malzeme karışımını önlemiş olur. Geotekstillere, süreklilik, esneklik, deforme olabilme, permeabilite ve yüksek çekme dayanımı özelliklerinin sonucu olarak suyun doğal sirkülasyonuna engel olmadan değişik geoteknik

özelliklere sahip iki zemini birbirinden ayırır (Sekil 3.2) (Aksoy, 1993). Geotekstillere ayırma amacı için kullanıldıkları zaman aşağıda belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

1. Keskin kenarlı malzemelere karşı koymak için, yüksek yırtılma dayanımı
2. Önemli yerel deformasyonlara karşı dayanıklılık
3. Kopma oluşuncaya kadar yeterli bir uzama
4. Etkilere karşı koymak için, yüksek dayanım
5. İnce zemin parçacıklarını tutarak, borulanmaya izin vermeden su akımına izin vermek (Öztekın, 1992).

Ayırıcı amaç için kullanılan geotekstilin, bu fonksiyondan başka birçok ikincil faydası olmaktadır. Bunlara örnek olarak; dinamik yükler altındaki ince daneli zeminlerin hareketini engellediği ve fazla suyun drenajına izin verdiği için, yolların servis ömrünü ve taşıma kapasitesinin artması; kaliteli malzeme ile ince daneli zeminin birbirine karışmasını önlediği için, inşaatın durabileceği hava şartlarında bile inşaatın devam etmesi; özellikle yol inşaatlarında daha az agrega kullanılması ve daha iyi sıkılaşma oluşmasını sağlaması gösterilebilir (Öztekın, 1992).

Tekrarlı yükler altında ayırıcı olarak geotekstillere, uzama oluşmaması için yüksek elastisite modülüne sahip olmalıdır. Geotekstillere elastisite modülü nispeten küçük değerlerde ise; geotekstil, elastisite modülünün yetersizliğini karşılamak için, yüksek kopma gerilmelerini taşıyabilmelidir. Örgülü geotekstillere genel olarak yüksek başlangıç modülüne ve kopma gerilmelerine sahiptirler, fakat uzamaları azdır. Sürekli liflerden yapılan örgülü geotekstillere performansı, çeşitli boylarda kesilmiş kısa liflerden yapılan örgülü geotekstillere performansından fazladır. Kesik liflerden yapılan örgülü geotekstillere, agrega ile sıkıştığında; temas yüzeyleri yırtılmakta ve lifler ayrışmaktadır (Öztekın, 1992).

3.2 Filtrasyon

Geotekstil, bir filtre gibi davranarak, suyun geçişine izin verir ama buna karşın en küçük dane çaplı zemini tutar ve sürüklenmesine izin vermez. Geotekstil, su akımına karşı yerleştirilir. Filtrasyon isinde kullanılacak geotekstiline uygun maksimum gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmadan az etkilenme ve

yüksek poroziteye sahip olması istenir. Geotekstilin yerleştirilmesinden sonra zemin içindeki su ile birlikte bir miktar ince daneli zemin de taşınır. İlk etapta taşınan bu malzeme geotekstilden mutlaka geçmelidir. Böylece, geotekstilin karşısında içerisinde ince daneli malzemenin bulunmadığı bir tabaka oluşur. Bu doğal olarak elenmiş filtre tabakası işlevi görerek küçük parçacıkların geotekstile hareketini önler. Eğer bu ince daneler geotekstil bünyesinde tutulursa, az geçirimli bir tabaka oluşur ve suyun akışı engellenir. Su akışına engel olmamak ve boşluk suyu basıncı oluşumunu önlemek için, geotekstilin geçirgenliği en az zeminin geçirgenliği kadar olmalıdır. Tıkanma riskini ve geotekstilin sıkışabilirliğini de göz önüne alarak güvenlik faktörü 10 veya 100 (önemli barajlarda) olarak alınır (Aksoy, 1993).

3.3 Drenaj

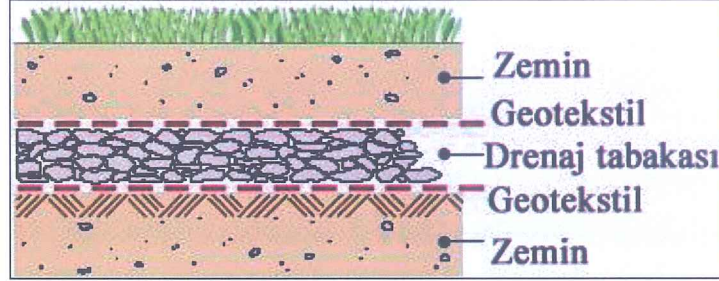
Geotekstil, kendi düzlemi boyunca (bünyesinde) sıvı veya gazı istenilen çıkışa doğru taşır (Şekil 3.2). Bu iletim sırasında, sıvı ya da gaz geotekstilin bünyesinde toplanır ve kendi düzlemi içerisinde aktarılır (Aksoy, 1993).

Geotekstiller zemine nazaran, çok geçirgendirler. Özellikle gözenekli olduklarında ve yeterli eğim sağlandığında, kendi düzlemlerinde su akımı sağlanabilir. Tünel, düşey dren, rezervuar kaplamaları, temel duvarları gibi suyun tahliye edilmesi gereken inşaatlarda faydalı olmaktadır (Öztekin, 1992). Drenaj amacı ile kullanılacak geotekstiller, aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

1. Kendi düzleminde yüksek geçirgenlik
2. Basınca karşı yüksek dayanım
3. İyi filtre özelliği (Öztekin, 1992).

Bosluklu zeminler, genellikle küçük parçacıklardan ve biraz da büyük parçacıklardan oluşmaktadır. Eğer bu tip zeminlerde geotekstil kullanılırsa, kaba daneli zeminlerin içinde hareket eden ince daneli zeminler geotekstili tıkar. Ünliform ince parçacıklı siltli zeminler, suyun geçişine az izin verir. Eğer bu tip zeminlerde geotekstil kullanılırsa, su akımı iyice azalır. Siltli zemin ile kaba kum karıştırılırsa

veya geotekstil ve siltli zemin arasına kaba kum konursa, su akımı daha iyi sağlanır (Öztekın, 1992).

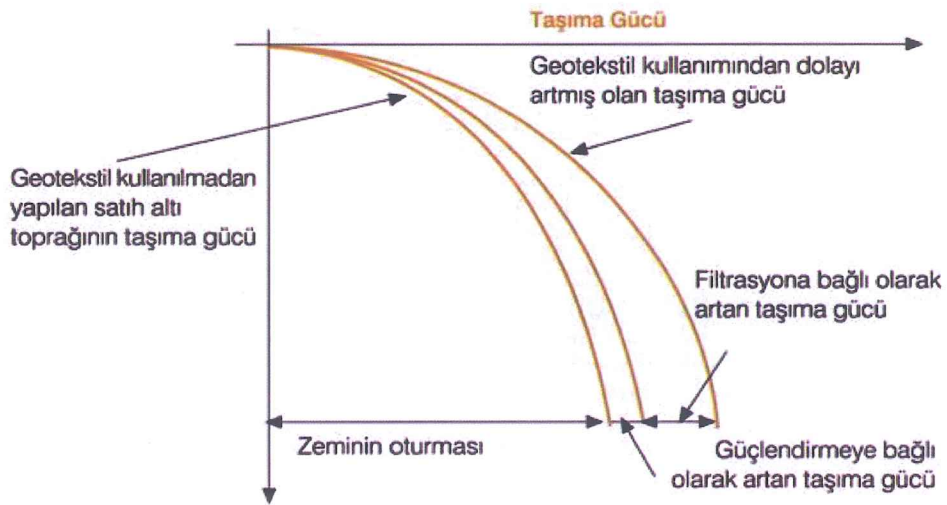


Sekil 3.2: Geotekstilin drenaj amacıyla kullanılması (Dupont typar SF technical handbook, 2010).

Ayrışmış killi zeminler, suyun içinde hareket edebilen ufak kil daneleri içerir. Bu kil daneleri büyük gözenekli geotekstillerden geçebilir fakat küçük gözenekli veya yoğun geotekstillerden geçemez ve geotekstili tıkar (Öztekın, 1992). Geonet ve geotekstilden oluşan bir geokompozitin drenaj özelliği, sadece geotekstilin kullanıldığı durumdan çok daha üstün olmaktadır (Koerner, 1999).

3.4 Güçlendirme

Noktasal yüklerin esit olarak geniş bir alana yayılması ve oluşan gerilme kuvvetlerine direnerek, zemin kütleini güçlendirmesidir (Sekil 3.3) (Öztekın, 1992).



Sekil 3.3: Geotekstillerin güçlendirme amacıyla kullanılması (www.sams.com.tr).

Zeminlerin aksine, geotekstiller çekme direncine sahiptir. Çekme direncini ve kopmadan önce deformasyon kabiliyetini artırarak, zeminin güçlendirilmesini sağlarlar (Öztekın, 1992).

Yol yapımında geotekstillerle güçlendirme sayesinde yumusak zeminlerde, önemli derecede agrega tasarrufu yapılabilmektedir. Güçlendirme amacı için kullanılacak geotekstiller, aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

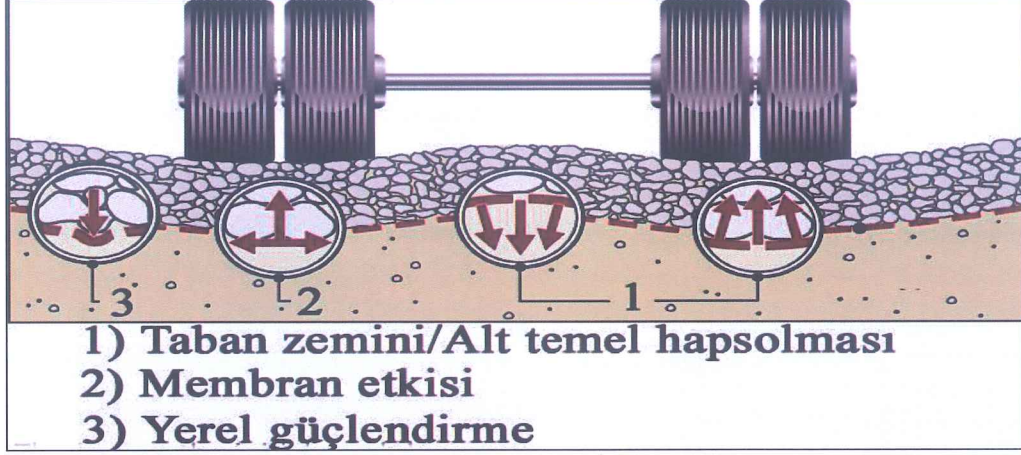
1. Yüksek başlangıç elastisite modülü
2. Yüksek dayanıklılık
3. Maksimum yükte yeterli uzama (Öztekın, 1992).

Geotekstiller, zeminin gerilme direncini ve göçmeden önceki deformasyon kapasitesini artırarak kuvvetlendirme sağlarlar. Geotekstillerin güçlendirme fonksiyonunu iki şekilde gerçekleştirir:

a) Membran mekanizması: Yol yapım çalışmalarında tekerlek izi sonucu taban zemini deforme olduğu an harekete geçer. Tasıma kapasitesi düşük taban zeminlerinde çok önem tasır (CBR < 2%). Üst yapıdan gelen konsantre yük, geotekstil üzerine dağılarak etkisini kaybeder. Membran etkisi, yüksek modüllü geotekstillerde daha fazladır. Bu durumda, yüksek çekme gerilmesine karşı uzamalar küçük boyuttadır (Aksoy, 1993).

b) Yanal hapsolme: Yatay destekleme diye de adlandırılır. Geotekstil kullanımıyla temel tabakası ve taban zeminindeki yatay deformasyonlar önlenir. Geotekstil, sürtünme kuvveti oluşturarak, taban zemini ve temel malzemesini tutar. Geotekstille temel malzemesi arasındaki etkiye temel hapsolması, geotekstille taban zemini arasındaki de taban zemini hapsolması adı verilir. Yanal hapsolme etkisi, çok zayıf zeminlerde ve çok ağır taşıt yüklerinde kendini pek gösteremez. Bu konuda hesap yapılacak düzeye gelinmemiştir. Pozitif yanı sudur ki, temel tabakasında daha iyi yük dağılımı yapmaktadır ve taban zemine daha az yük gelmektedir. Buna ek olarak, geotekstil, deformasyonun bir kısmını karşıladığından taban zemini daha az deforme olmaktadır. Böylece daha az tekerlek izi derinliği oluşuyor ve daha sağlam yol yapısı

meydana gelmektedir. Yanal hapsolma miktarını, malzeme pürüzlülüğünün etkilediği düşünülmektedir (Sekil 3.4) (Aksoy, 1993).

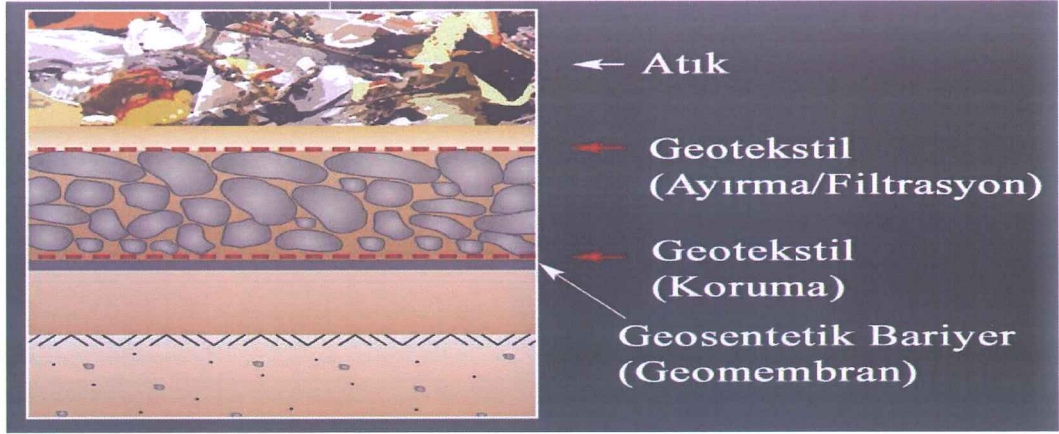


Sekil 3.4: Geotekstil in güçlendirme amacıyla kullanılması (Dupont typar SF technical handbook, 2010).

3.5 Koruma

Geotekstil, deformasyonu ve gerilmeyi azaltarak ya da yayarak istenilen malzemeyi korur (Sekil 3.5). Koruma iki tipte gerçekleşir:

- Yüzey Koruması: Zemine yerleştirilen geotekstil, hava koşulları ve trafik gibi etkilerden yüzeyi korur.
- Arayüzey Koruma: İki malzeme arasına yerleştirilen geotekstil (örneğin asfalt kaplama ile eski yol kaplaması arasına veya geomembran ile agrega arasına) malzemelerden birini korur (asfalt kaplama veya geomembran) (Aksoy, 1993).



Sekil 3.5: Geotekstilin koruma amacıyla kullanılması (Dupont typar SF technical handbook, 2010).

3.6 Yalıtım

Geotekstil, geçirimsiz bir tabaka oluşturmak için bitüm veya plastik yalıtım malzemeleriyle doygun hale getirilir. Bir çeşit membran görevi görür. Özellikle yeni kaplama yapılacak eski kaplamalı yolların üzerine serilir. Geotekstilin, yeterli miktarda bitümü tutma özelliği olması gerekir (Aksoy, 1993).

4.GEOTEKSTİLLERİN KULLANIM ALANLARI

4.1 Kaplamasız Yollarda

Geotekstilin ilk ve en yaygın kullanım alanlarından biri kaplamasız yollardır. (Şekil 4.1a Şekil 4.1b) Geçici yollar, tali yollar, şantiye yolları ve orman yolları gibi bu tür yollar temel zemini üzerine belli kalınlıkta sıkıştırılmış agrega serilerek teşkil edilirler. Temel zemininin yumuşak kohezyonlu bir zemin olması durumunda veya yağışlı mevsimlerde; araç yükleri neticesinde tekerlek geçiş, bası noktalarında, zeminde yerel göçmeler gözlenebilir. Bu durumda agrega tabakasının yumuşak zemine karışması veya batması ile yük dağıtıcı özellikteki agrega tabakasının kalınlığı azalır. Bakım yapılarak ara ara agrega serilmesi veya agrega kalınlığının fire vereceği düşünülerek baştan daha kalın serilmesi gerekir. Temel zeminin kohezyonsuz veya silt gibi az kohezyonlu suya doymuş bir zemin olduğu durumlarda araçların ve diğer hareketli yüklerin tatbik ettiği tekrarlı (dinamik) yükler yüksek boşluk suyu basınçlarının oluşmasına; bu da zeminin kısmi sıvılaşmasına neden olabilir. Sıvılaştıran zeminde üstteki agrega tabakası içine nüfuz eder.

Geotekstil kullanıldığında ise; geotekstil, zayıf temel zemini ve agrega tabakasının karışmasını önleyerek agreganın serilme ve sıkıştırılmasını kolaylaştırır, agreganın yumuşak zemine batmasını önler. Gerektiğinde filtrasyon işlevini de yerine getirerek boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesini sağlar. Geotekstilin sahip olduğu çekme gerilmesi dayanımı sayesinde, membran etkisi ile aynı anda bir nevi güçlendirme işlevini de görür. Temel zemini ve agrega arasında geotekstil olduğu ve olmadığı durumlarda gerekli agrega kalınlığının saptanmasına yönelik, yerleşmiş en az iki tasarım yöntemi mevcuttur. Geotekstil kullanılması, temel zemini CBR değerinin yaklaşık olarak %3'ten küçük (drenajsız kayma dayanımı $C_u \approx 0.5 \text{ kg/cm}^2$) olduğu durumlarda uygun bir alternatiftir.

Kaplamasız yol tasarım metot ve prensipleri, kaplamalı yol ve uçuş pistlerinin yapım safhası için ya da yumuşak zemin üzerine (drenaj, kapiler su yükselmesini önleme gibi amaçlarla) agrega - filtre tabakası serildiği durumlarda da geotekstil uygulamaları yapılmaktadır.



Şekil 4.1: a) Kaplamasız yollarda geotekstil uygulaması. b) Kaplamasız yollarda geotekstil uygulaması (M. B. Benek 2006).

4.2 Kaplamalı Yol ve Pistlerde (Karayolları ve Havaalanlarında)

Kaplamalı yol ve uçuş pistlerinin yapım safhasında yumuşak zemin üzerine agrega-filtre tabakası serildiği durumlarda dahi geotekstil uygulamaları yapılmaktadır. Bu tür imalatlarda geotekstiller vazgeçilmez malzemelerdendir. (Şekil 4.2a ve Şekil 4.2b) de çeşitli kullanım tipleri gösterilmiştir.

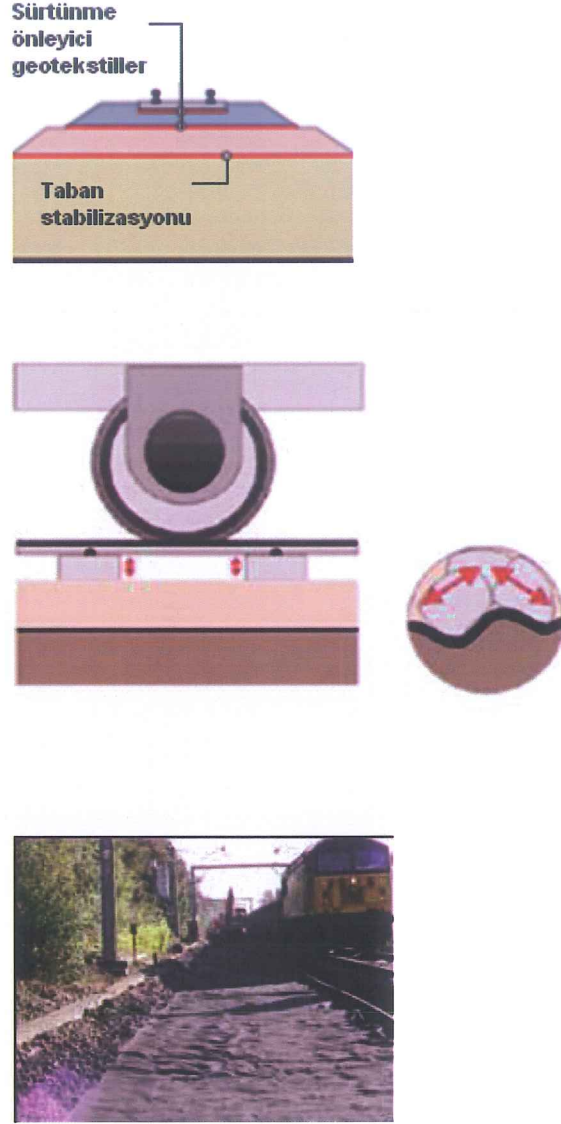
Kaplamalı yol ve pistlerde özellikle maruz kalınan gerilmelerin yüksek olduğu trafik ışığı yaklaşım kesimleri, havaalanı kargo terminalleri gibi yerlerde yol üst yapısında, yüksek çekme dayanımlı geozgara türü malzemeler kullanılmaktadır. Böyle bir durumda üst yapı tasarımı için önerilen metotlar olmasına rağmen halen uygulamada üst yapı tasarımı, güçlendirici bu tabaka (geotekstil - geozgara) yokmuş gibi yapılmakta ve bu tabakanın kaplama ömrünü uzatıcı etkisi olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.2: a) Kaplamalı yollarda geotekstil uygulaması, b) Havaalanı pistlerinde geotekstil uygulaması (M. B. Benek 2006).

4.3 Demiryollarında

(Şekil 4.3a, Şekil 4.3b, Şekil 4.3c) de gösterildiği gibi geotekstiller filtrasyon-drenaj, seperatör (ayırıcı) ve takviye amaçlı olarak balast altlarına serilerek uygulanmaktadır.



Şekil 4.3: Demiryollarında geotekstil uygulaması a)filtrasyon-drenaj, b)seperatör (ayırıcı), c)takviye (M. B. Benek 2006).

4.4 Barajlarda

Geotekstillerin barajlarda ilk kez kullanımı 1970 yılında Fransa'nın Valcros Barajında olmuştur. Ayrıca örgüsüz geotekstillerin drenlerde ilk kullanımları da bu barajda olmuştur. Şekil 4.4' de barajlarda geotekstillerin muhtemel kullanılma yerleri gösterilmektedir. Buna göre geotekstillerin barajlarda kullanılma yerleri ve buralarda kullanılma amaçları şöyledir;

- Geçirimsiz kaplama altında basınç düşürme drenlerinde,
- Memba tarafında anroşman altında,
- Kret üzerinde yol yapımında,
- Baca ve yatay dreni teşkil eden filtre malzemesinin korunmasında,
- Topuk dreninde kullanılmaktadır.

Kalın geotekstiller çok katlı olmak koşuluyla doğrudan, bizzat dren teşkilinde de kullanılabilir.



Şekil 4.4: Barajlarda geotekstil uygulaması (M. B. Benek 2006).

4.5 Asfalt Takviye İşlerinde

Geotekstillerin yaygın uygulama alanlarından biride asfalt takviye (tamir) tabakaları altına geotekstil - geoizgara serilmesidir. (Şekil 4.5) Geotekstil kullanıldığında; bitümlü emülsiyon püskürtme asfaltını emerek geçirimsiz hale gelen geotekstilin esas işlevi, alt katmanlara suyun geçmesini önlemektir. Ayrıca geotekstil konulması, mevcut çatlak veya derzlerden başlayan yansıma çatlaklarının kontrol altına alınmasını sağlar. Bulgular ile, bu uygulamanın takviye tabakasının ömrünü 3 -

10 katına çıkardığı anlaşılmıştır. Bu uygulamalarda geotekstil kullanıldığında; Yansıma çatlaklarını geciktirir, eski kaplamadaki çatlakların üstteki yeni takviye tabakasına yansımalarını önler, bir nem bariyeri oluşturur; yapıştırma tabakasını emerek geçirimsiz bir tabaka oluşturarak temel, alt temel ve tabana su sızmasını önleyerek kaplama stabilitesini artırır, kaplama ömrünü uzatır ve çatlakları geciktirir.



Şekil 4.5: Asfalt altı geotekstil uygulaması.(www.tencate.com ; 2014).

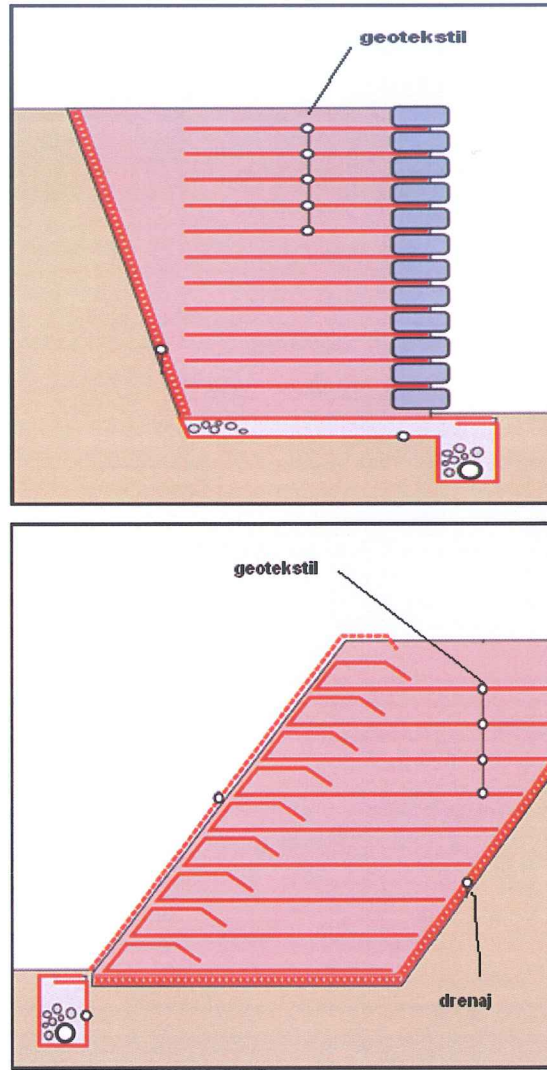
4.6 Dren ve hendeklerde

Geotekstiller drenlerde perfore boru etrafına veya hendek etrafına sarılarak kullanılabilir. Geotekstil kullanılması ile ince filtre tabakası teşkiline gerek kalmadığı gibi agrega, filtre tabakasının filtrasyon, tane tutabilme işlevi kalmadığı için gradasyonlu, permeabilitesi çok yüksek malzeme kullanılabilir. Drende boruya gerek kalmayabilir veya daha dar bir dren yeterli olabilir.

Yüksek geçirgenlikleri olan geotekstiller; yağmur, yer altı ve yüzey suyu drenajları dahil olmak üzere çok geniş kapsamlı olarak inşaat uygulamalarında kullanılır. Böylece uzun ömürlü ve düşük maliyetli drenajların yapılması sağlanır. Uygulamaları kolay olduğundan işçilik maliyetleri ile birlikte bakım masraflarının da azalmasını sağlar. Çoğunlukla drenaj borusuna veya büze bile gerek kalmadan kullanılmaktadır. Gradasyonlu, ince ve pahalı kum filtre malzemesine gerek duyulmaz, tek boyutlu gradasyonsuz, iri ve ucuz tabii malzemeler kullanmak yeterli olmaktadır.

4.7 İstinad duvarlarında

Geotekstiller istinad duvarlarında; Şekil 4.6' de görüldüğü gibi en fazla drenaj amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca geotekstiller sayesinde çok fazla miktarda filtre malzemesine gerek kalmayacağından dolayı olarak dayanımına da ekstra fayda sağlar. İmalatı ve işçiliği kolay olduğundan projenin ve imalatların uygulanmasını kolaylaştırır.

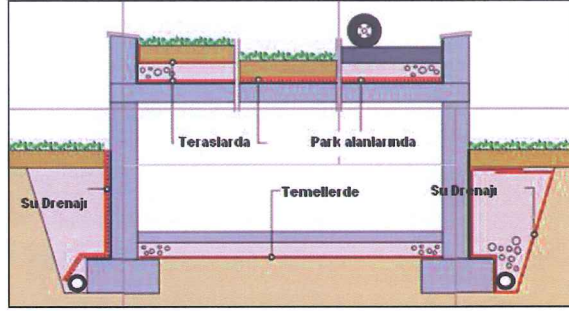


Şekil 4.6: İstinad duvarlarında geotekstil uygulaması(M. B. Benek 2006).

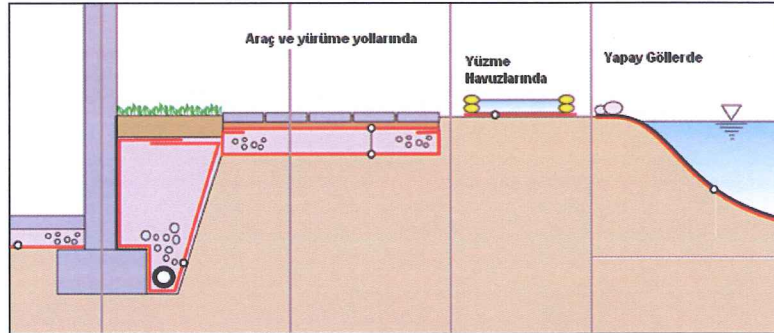
4.8 Binalarda

Hemen hemen istinad duvarları için söylediklerimiz burada da geçerlidir. Şekil' 4.7 ve Şekil' 4.8 da görüldüğü gibi binalarda özellikle geotekstiller, temellerden teraslara kadar tüm bina genelinde kullanılmaktadır.

Taşıma gücü yüksek olmayan zeminlerde temellendirme yapılırken mutlaka güçlendirme yöntemleri uygulanmaktadır. Kullanılan çeşitli yöntemler arasında zemini geosentetikler ile donatılendirma yöntemi hem ekonomik hem de uygulama açısından en makul olanıdır (Quming Chan, 2007). Kullanılan donatılar zeminin taşıma gücü kapasitesini artırır, aynı zamanda zayıf zemine direkt gelen basıncı dağıtarak farklı oturumları azaltmaktadır.



Şekil 4.7: Binalarda çeşitli geotekstil uygulamaları(M. B. Benek 2006).



Şekil 4.8: Binalarda çeşitli geotekstil uygulamaları(M. B. Benek 2006).

4.9 Şev - Kıyı Korumasında

Geotekstiller Şekil 4.9' da görüldüğü gibi filtrasyon, seperasyon, drenaj ve takviye amaçlı olarak şev ve kıyılarda kullanılmaktadır. Böylece kıyı ve şevlerin

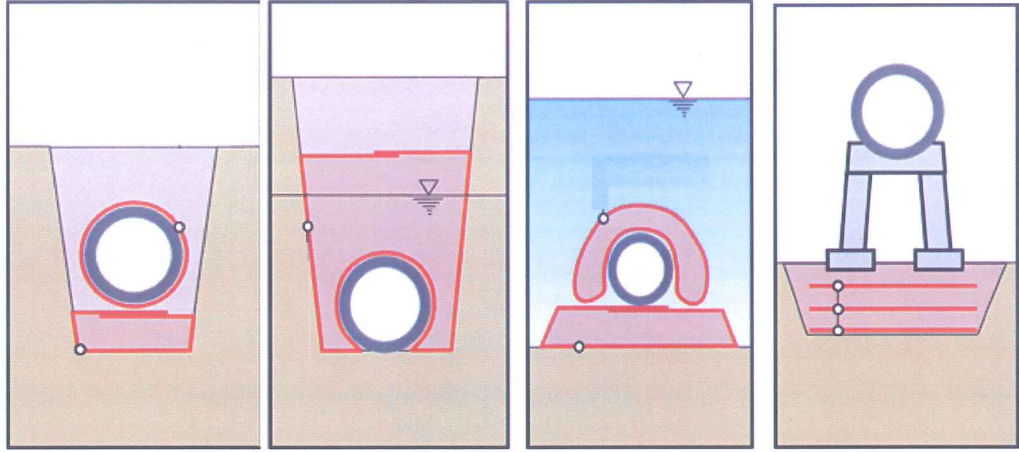
özellikle erozyonu önlenerek çeşitli istenmeyen hareketlerin (heyelan, akma ve kaymalar) gelişmesi önlenmektedir.



Şekil 4.9: Şev kıyı korumasında geotekstil uygulaması örnekleri (M. B. Benek 2006).

4.10 Su İçindeki Yapılarda

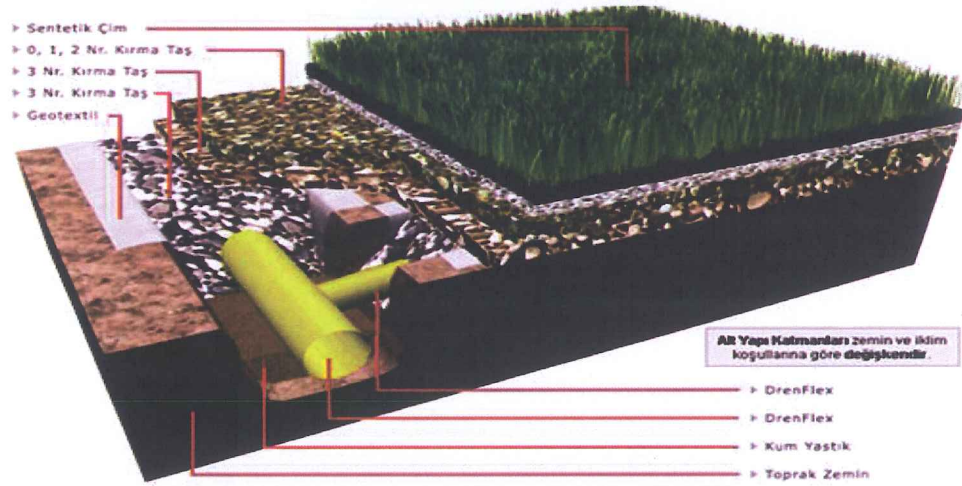
Dere, nehir, deniz gibi sulu ortamlardan geçen köprü, viyadük, tünel vs... imalatlarında özellikle seperasyon, yük dağıtıcı ve koruyucu nitelikleri ile kullanılmaktadır. Şekil 4.10'de bir örnek uygulama metodu verilmiştir.



Şekil 4.10: Su yapıları geotekstil uygulamaları (M. B. Benek 2006).

4.11 Spor Sahalarında

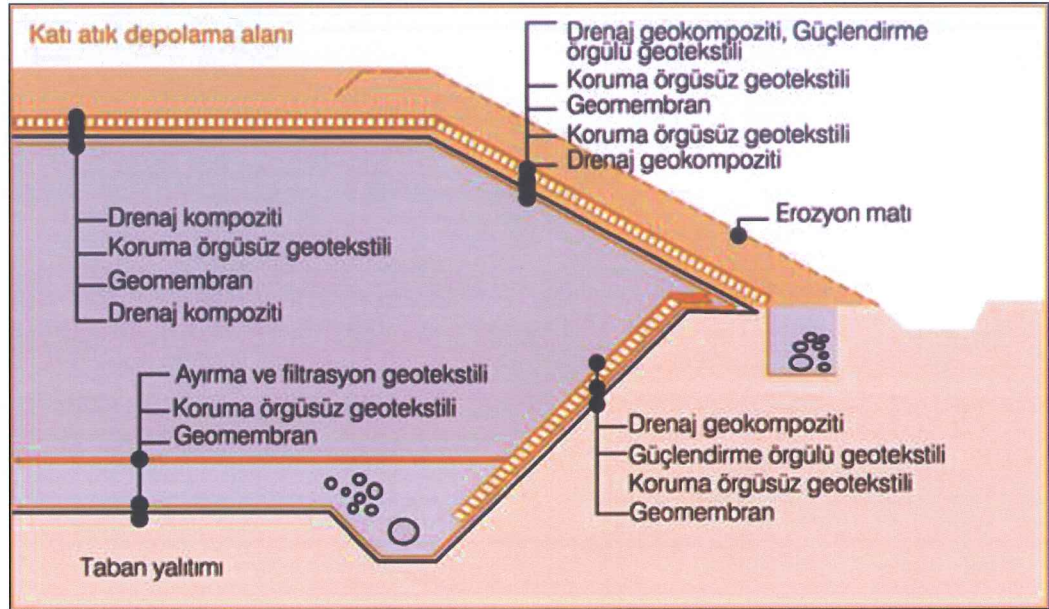
Geotekstiller spor sahaları gibi geniş alanların drenajının yapılmasında oldukça yararlı olarak kullanılmaktadır. Geotekstiller sayesinde gereksiz filtre malzemelerinden kurtularak maliyetin düşmesi sağlanır. İşin hızlanmasını sağlar, yüzey kaplamasının (çim) bozulmasını önler (Şekil 4.11).



Şekil 4.11: Spor sahası geotekstil uygulamaları (www.sportifzemin.com; 2014).

4.12 Katı Atık Depolama Tesislerinde

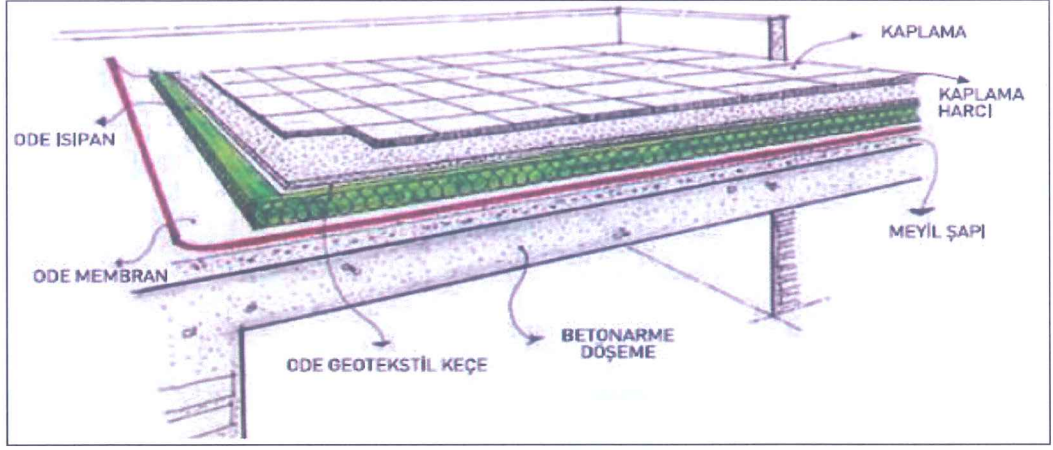
Geotekstiller katı atık depolama tesislerinde, geomembranlarla birlikte vazgeçilmez malzemelerdir. Seperasyon özelliği ile farklı tabakaların birbirine karışmasını önler, sızıntıların kontrollü drenajlarını ve yüzey - yağmur sularının atıklara ulaşmadan drenajını sağlar. Şekil 4.12' de bu amaçla bazı kullanılışları verilmiştir. Yine geotekstiller normal tabii filtre malzemelerinden çok daha ince olduklarından atık depolama tesislerinin en önemli sorunlarından olan yer probleminde optimum alanın ve hacmin kullanılmasına olanak verir.



Şekil 4.12: Katı atık depolama tesislerinde geotekstil uygulamaları (www.sams.com.tr; 2014).

4.13 Su Yalıtımında

Geotekstiller su yalıtımında koruyucu ve drenaj elemanı olarak kullanılırlar (Şekil 4.13). Yüzey pürüzlerini yumuşatarak, yalıtım membranlarının hasar görmelerini engelleyen bir perde gibi görev yaparak su yalıtım sisteminin uzun ömürlü ve güvenilir olmasını sağlar.



Şekil 4.13: Su yalıtımı geotekstil uygulaması (www.ode.com.tr; 2014).

5. GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE GEOTEKSTİLLER

Geotekstillerin kullanılmasıyla, bazı yapılar teorik olarak göçmeye çok yakın olmalarına rağmen gerçekte stabil kalabilmektedirler. Tekrarlı yüklere maruz kalan kaplamasız yollarda ya da benzeri yapılarda tabakalar geotekstille korumaya alınırsa yapının ömrü uzamaktadır. Zemin-geotekstil ilişkisinin gün geçtikçe daha iyi anlaşılması geotekstille tasarımı da geliştirmektedir. Geotekstilin davranışında kendi mekanik özellikleri kadar bulunduğu ortamla ilişkisi de etkilidir. Bu konuda yapılmakta olan çalışmalar geotekstillerin daha etkili kullanımını sağlamaktadır. Detaylı tasarım ve uzmanlaşma da bu bakımdan önemlidir. Örneğin genellikle geotekstilin bulunduğu yerde bir gerilme bulunur. Bu gerilme hidrostatik ya da başka mekanik etkilerle oluşup çeşitli sebeplerle gerilmeler yoğunlaşabilir. Barajlarda geçirimsizliğin kil çekirdekle, dayanımın ise kaya dolguyla sağlandığı durumlarda çekirdekle kaya dolgunun temas ettiği bölge oldukça hassastır. Çünkü bu bölgede yüksek su basıncı nedeniyle borulanma, kayma gerilmesi yoğunlaşması sebebiyle kırılma oluşabilir. Bu durum geotekstil kullanılması halinde de geçerlidir ve dikkate alınmalıdır. Teknolojinin hızlı ilerlemesiyle, dünyada geotekstilin hiç girmediği ülkeler varken, yeni ürünlerin çokluğu ve çeşitliliği kafaları karıştırmaktadır. Beton çelik gibi geleneksel malzemelerin davranışları birbirlerine benzer ve kolay anlaşılırken geotekstillere ilgili bilgi ve tecrübe eksikliği projecileri şüpheli bir davranışa itmektedir. Ama bugün artık hem teknik olarak, hem uygulamada, hem de tasarımda yaklaşık yarım yüzyıllık bir birikim oluşmuştur (Benek, 2006).

Bir taraftan uygulama sahasında hızlı gelişmeler diğer taraftan da uluslararası standardizasyon çalışmalarının yürütülmesi gerekmektedir. Mevcut deney yöntemleri yetersiz kaldığında uygulayıcıların ve tasarımcıların tecrübeleri devreye girmektedir.

5.1 Geoteknik Mühendisliğinde Geotekstille Güçlendirme Örneği

Konya Selçuk’ da bir Otel İnşaatında Temel Altı Zemininin Geotekstil kullanılarak güçlendirilmesi amaçlanmıştır. Otel binası çok katlı ve 82 m yüksekliğinde bir çekirdek yapı ile onun etrafında yer alan 8.0 m kadar yüksekliğe sahip servis kısımlarından oluşmaktadır. Müteahhit firma tarafından proje aşamasında zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla 12 m derinlikte 3 adet sondaj yaptırılmıştır. Proje tamamlanmadan 7 m derinliğinde bodrum hafriyatı yapılmış ve problemli zemin ile karşılaşmıştır. Daha sonra 12 m sondaj derinliğinin zemin incelemesi için yeterli olmadığı görülmüştür. Sahada ilave olarak 35 m derinlikte zemin sondajı yapılmıştır. Sondajlar arasında örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Alınan bu numuneler üzerinde gerekli deneyler, İTÜ İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı ve Konya Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda zemin katmanlarının genelde suya doymun olmadığı ve lös zemin özelliklerinin hakim olduğu görülmüştür.

Lös özelliğindeki zeminler, danelerdeki bağlayıcılar sayesinde büyük boşluk oranlarına rağmen yüksek taşıma gücüne sahip bir tabaka gibi gözükmelerine karşın, ortamın suya doymun hale gelmesi ile bu bağlayıcılar çözülerek ani çökmelere neden olabilirler. Büyük gerilmeler altında da aynı çözümler ve benzer çökmeler yaşanmaktadır. Lös özelliği gösteren zemin tabakalarına sahip böyle bir temel zemininde yüksek taban basınçları altında, sıg temel sisteminin seçilmesi güvenli bulunmadığından, derin temel uygulaması veya zemin iyileştirilmesi yapılmasının doğru olacağı düşünülmüştür. Jetgrout uygulaması ile zemin iyileştirilmesi çevre zemin tabakalarının ıslanma riski nedeniyle uygun görülmemiştir. Zemin iyileştirilmesi olarak fore kazık ve geotekstil donatılı dolgu yapılması uygun görülmüştür (İncecik vd.,2006).

Zemin iyileştirmesi olarak çok katlı çevre bölümlerinin altına 15 m derinliğinde 65 cm çaplı fore kazıklarının 2,5 m eksenel akslarıyla aralıklarıyla imal edilmesi, yapının az katlı çevre bölümlerinin altında ise aynı derinlik ve çaptaki kazıkların 5 m eksenel aralıklarla imal edilmesi planlanmıştır. Kazıkların foraj işlemlerinden sonra kazıkların donatıları yerleştirilmiş ve betonlama işlemi yapılarak

kazıkların imalatı tamamlanmıştır. Binanın radye jeneral temeli ile kazıklarının arasına geotekstil donatılı bir bölge oluşturulması planlanmıştır. Öncelikle kazıkların üzerine 2-100 mm arasında dane ihtiva eden ve uygun granülmetreye sahip 20 cm kalınlığında kum-çakıl dolgu serilmiş ve sıkıştırılmıştır. Dolgu üzerine geotekstil serilmiş, üzerine yine aynı özelliklere sahip 50 cm kalınlığında dolgu malzemesi serilerek sıkıştırılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1: Geotekstil üzerine dolgu tabanının serilmesi ve sıkıştırılması (M.Örnek; 2009).

Bu işlemler geotekstil donatılı dolgu bölgesinin kalınlığı 100 cm olana kadar tekrarlanmıştır. Geotekstil dolgu üzerine radye jeneral temel arasına 10 cm kalınlığında grobeton serilmiştir. Geotekstil donatılı dolgu üzerine yapılan radye jeneral temel kalınlığı 200 cm'dir. Bu uygulamada kullanılan geotekstil türü örgülü olarak seçilmiş olup her iki yönde de 60 kN/m çekme mukavemetine sahiptir. Kazık ve geotekstil donatılı dolgu ile iyileştirilmiş temel zemini üzerine oturacak radye jeneral temel için emniyet gerilmesinin $q=5,5 \text{ kg/cm}^2$ değerine kadar alınabileceği belirlenmiştir. Burada temel yüklerinin kazıklar ve iyileştirilmiş temel zemini tarafından beraberce taşınacağı düşünülmüştür (İncecik vd., 2006).

Lös özelliği gösteren zemin tabakalarına sahip böyle bir temel zemininde taban basınçları altında, sığ temel sisteminin seçilmesi güvenli bulunmamış, derin temel uygulaması veya zemin iyileştirilmesi yapılması düşünülmüştür. Kazık ve

geotekstil donatılı dolgu ile iyileştirilmiş temel zemini üzerine oturan radye jeneral temel çözüm olarak önerilmiştir. Bu durumda üst yapı yükü örgülü geotekstil donatılı dolgu vasıtasıyla kısmen alt zemin ve kazıklara aktarılır. Yükün yayılma yüzeyi genişler ve temel altındaki zemin üzerinde basınç azalır. Geotekstil donatılı dolgu tabanda yük dağılımında iyi dağıtıcı vazifesi görür ve oturmaların azalmasında da etkili olur.

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

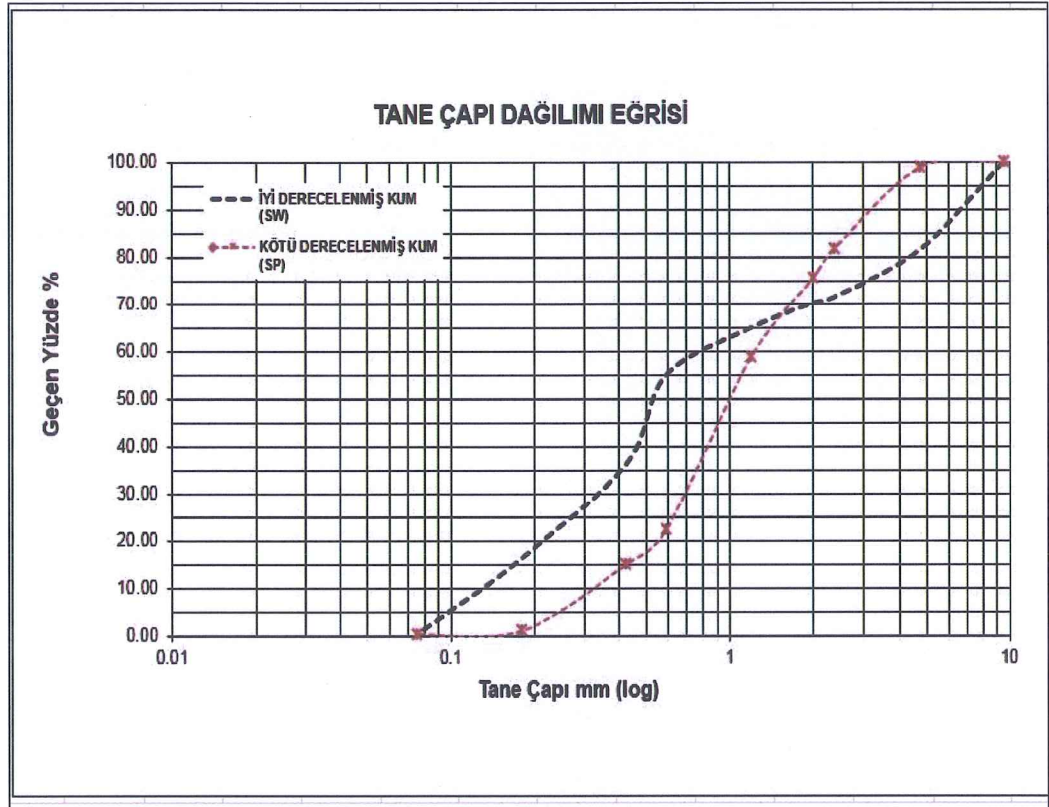
Geosentetikler güçlendirme, diranaj, filtrasyon ve stabilizasyon gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadırlar. Geosentetiklerin güçlendirme fonksiyonu ve geotekstil-kum arayüzey davranışı incelenmek amacıyla farklı dane çapı dağılımına sahip iki tür kum ile 3 adet örgülü ve 3 adet örgüsüz geotekstil kullanarak, 6x6 cm boyutundaki kesme kutusu ile 2 farklı rölatif sıklıkta (%30 ve %60) 72 adet kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deneylerde Balıkesir ve çevre zemin profilinde sıkça karşılaşılan kum tipi olan kepsut deresi kumu kullanılmıştır (Şekil 6.1). Donatılı zemin analizlerinde kullanılacak olan arayüzey etkileşim parametrelerinin arayüzey davranışını nasıl etkileyeceği anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu tez çalışmasında farklı dane çapına sahip 2 tip dere kumu ve çeşitli firmalardan alınan 3 adet örgülü ve 3 adet örgüsüz geotekstil kullanılmıştır. Deneylerde kaba ve ince daneye sahip temiz kumlar için zeminin taşıma gücü parametreleri iki farklı rölatif sıklıkda ve üç farklı basınç kuvveti altında kesme kutusu deneyleri ile incelenmiştir. Ayrıca örgülü ve örgüsüz geotekstillerin davranışları karşılaştırılmıştır.

6.1 Deneylerde Kullanılan Zeminlerin Özellikleri

SW ve SP zeminlerine ait tane çapı dağılım eğrisi Şekil 6.2’de verilmiştir. Yine SW ve SP zeminlerine ait bazı indeks özellikler Tablo 6.1’ de yer almaktadır.



Şekil 6.1: Deneylerde kullanılan SW (sağda) ve SP (solda) zemin numuneleri.



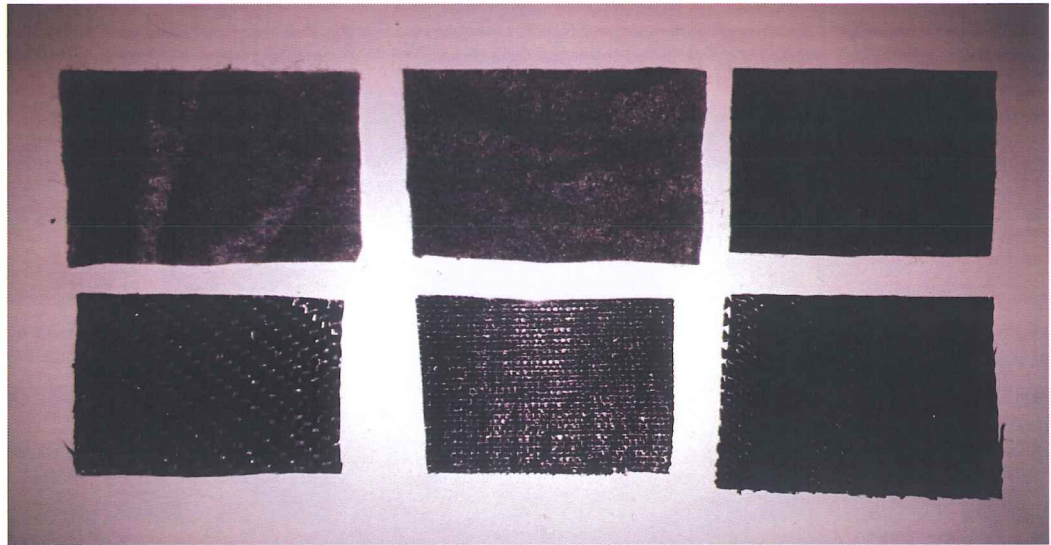
Şekil 6.2: Deneysel çalışmada kullanılan iyi derecelenmiş ve kötü derecelenmiş kum zeminlere ait dane çapı dağılımı eğrileri.

Tablo 6.1: SW ve SP zeminlerinin indeks ve kompaksiyon özellikleri.

İndeks ve Kompaksiyon Parametreleri	İyi Derecelenmiş Kum (SW)	Kötü Derecelenmiş Kum (SP)
D ₁₀	0,13	0,33
D ₃₀	0,35	0,68
D ₆₀	0,80	1,26
Uniformluk katsayısı, C _u	6,15	3,81
Derecelenme katsayısı, C _s	1,18	1,1
Maksimum boşluk oranı, e _{max a}	0,78	0,86
Minimum boşluk oranı, e _{min b}	0,59	0,52
G _s	2,66	2,66

6.2 Deneylerde Kullanılan Geotekstiller ve Fiziksel-Mekanik Özellikleri

Farklı sıklıklardaki kum numunelerinin kesme etkisine maruz bırakarak numuneye ait kayma direncinin ve kayma açısının belirlenmesi amacıyla kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Kesme kutusu deneylerinde 6 farklı tip geotekstil kullanılmıştır. 3 tanesi örgülü ve 3 tanesi örgüsüz olmak üzere bütün malzemeler yurt içi firmalarından temin edilmiştir (Şekil 6.3). Bu geotekstillere ait bazı parametreler Tablo 6.2'de verilmiştir



Şekil 6.3: Deneylerde kullanılan geotekstil numuneleri. a)Üst grup soldan sağa doğru; Örgüsüz 1-Örgüsüz 2-Örgüsüz 3, alt grup soldan sağa doğru; Örgülü 1-Örgülü 2-Örgülü 3.

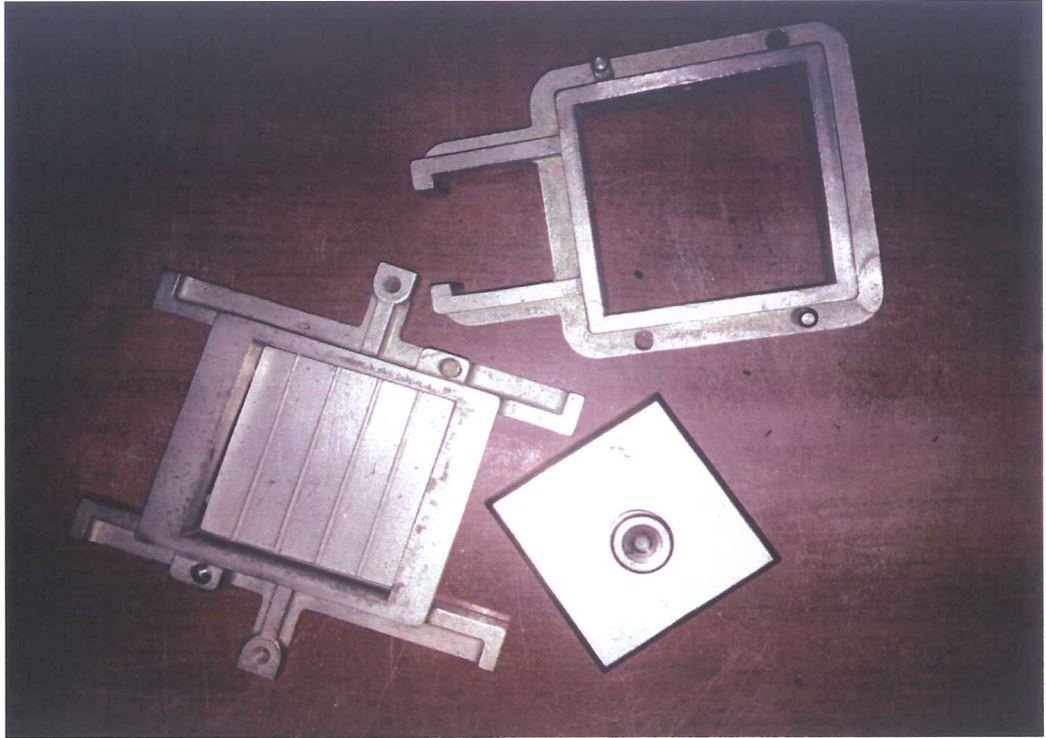
Tablo 6.2: Deneylerde kullanılan geotekstillerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri (PY:Polyester, PP:Polipropilen, Ösz:Örgüsüz, Örg:Örgülü, Y:Yüksek, D:Düşük, O:Orta).

Geotekstil	Hammadde	Ağırlık (gr/m ²)	Kalınlık (mm)	Çekme Dayanımı (N/m)	Kopma Uzaması %		Görünür Göz Açıklığı, 090(mm)	Pürüzlülük	Esnelik	Sertlik
					Boyuna	Enine				
Ösz 1	PY	100	1	2500	80	80	0.17	Y	Y	D
Ösz 2	PY	150	1.5	5500	80	80	-	Y	Y	D
Ösz 3	PY	250	2.5	8000	50	80	-	Y	Y	D
Örg 1	PP	-	0.7	60000	13	17	0.18	D	O	O
Örg 2	PP	88	0.43	18000	13	15	0.11	D	D	Y
Örg 3	PP	398	1	87000	11.5	17.5	0.13	D	D	Y

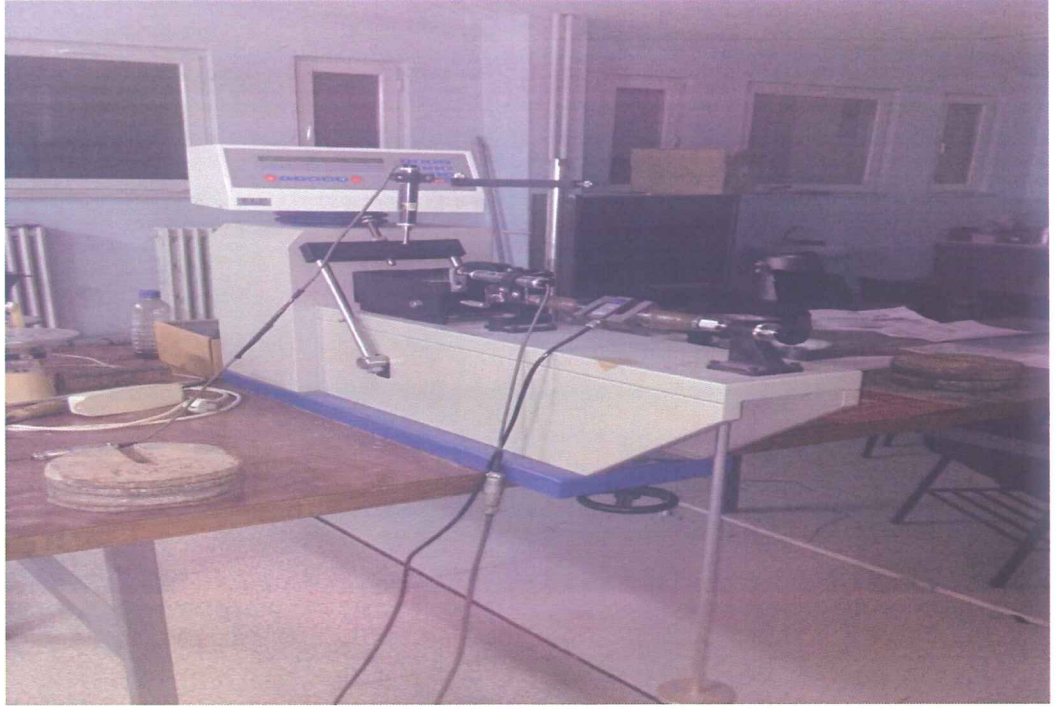
6.3 Kesme Kutusu Deneyinin Teorisi

Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir (Şekil 6.4). Uygulanan bir kesme kuvveti altında; kutunun üst parçası sabit tutulurken alt parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır (Şekil 6.5). Numune üzerine normal gerilme uygulayarak böylece kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır. Zemin önceden belirlenmiş yatay bir düzlem boyunca kırılmaya zorlanmaktadır. Belirli bir normal gerilme altında uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmeler ölçülmektedir. Eğrilerin şeklinin zeminin cinsine ve başlangıç durumuna bağlı olduğu gözlenmektedir. Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirmelere yol açan kayma mukavemetini vermektedir. Kesme sırasında zeminin drenajını kontrol etmek, en çok yükleme hızını zeminin permabilitesine göre ayarlamak ile mümkün olmaktadır. Permabilitesi yüksek zeminlerde (kumlarda) drenajlı koşullar geçerli olurken, düşük permabiletli zeminlerde (killerde) normal yükleme hızlarında drenajsız, çok yavaş yükleme hızlarında drenajlı koşullar geçerli olmaktadır. Kesme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı (BSB) artışlarını ölçmenin mümkün olmaması, göçmeye ulaşmadan önceki

gerilme seviyelerinde asal gerilme doğrultularının belirsiz olması ve kırılma düzlemi boyunca gerilme dağılımının üniform olmaması deneyin kısıtlayıcı yüzlerini oluşturmaktadır. Uygulamada, kesme kutusu deneyi daha çok kumların kayma mukavemetini saptamak için kullanılmaktadır. Kum zeminler için elde edilen kayma mukavemeti açısı drenajlı yükleme durumları için olup, arazi koşulları ile uyumlu olduğu kabul edilir. Deney numunesinin arazi boşluk oranına sahip olacak şekilde hazırlanmasına dikkat etmek gerekmektedir.



Şekil 6.4: 60x60 mm'lik kesme kutusu.



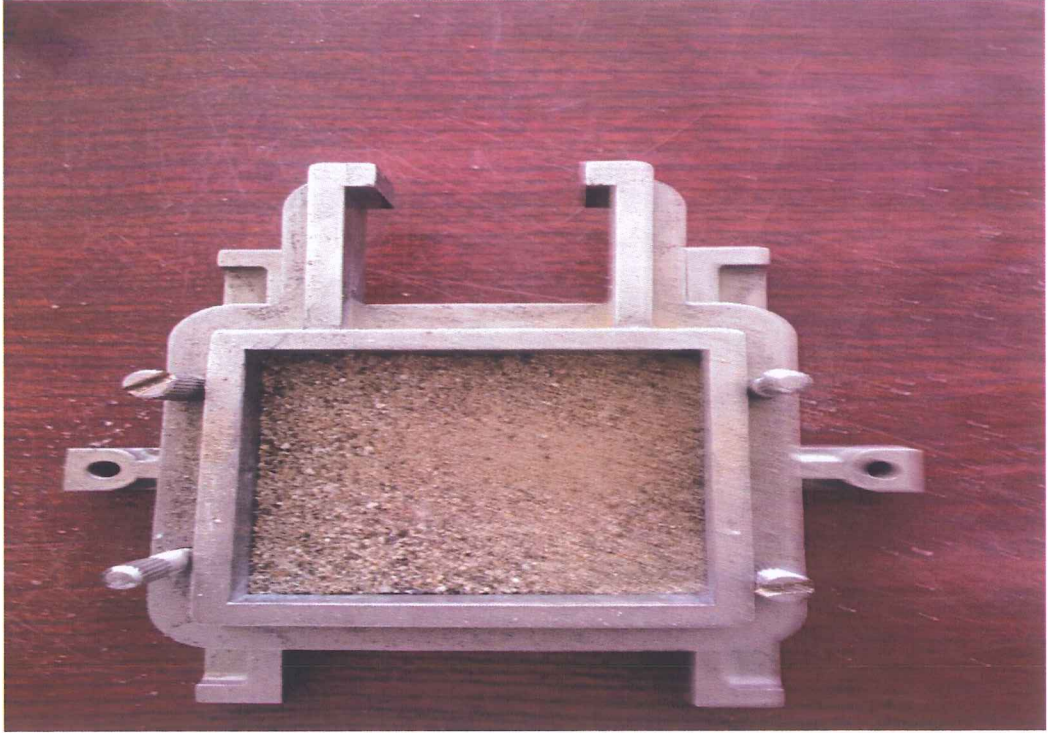
Şekil 6.5: Çalışmalarda kullanılan ELE International marka kesme kutusu cihazı.

6.4 Kesme Kutusu Deneyinin Yapılışı

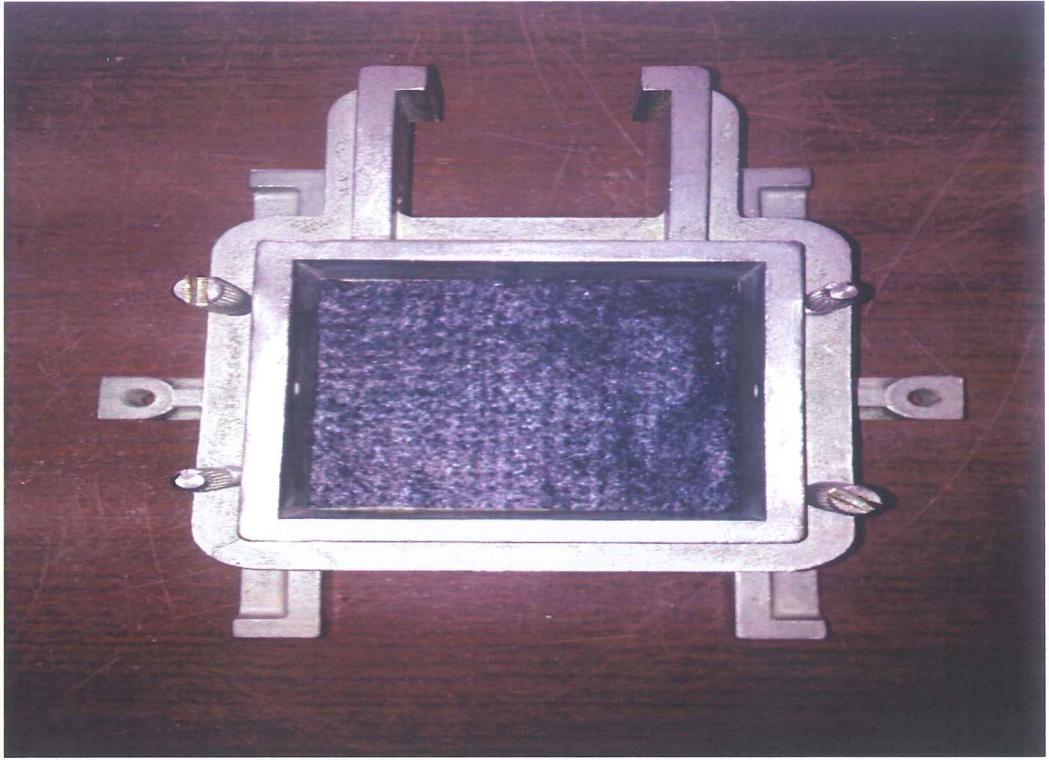
Standart referansı olarak ASTM-D 5321-02 (Standart Test Method for Determining the Coefficient of Friction of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the direct shear Method) standartları kullanılmıştır.

İstenilen sıklık oranındaki zemini elde edebilmek için yapılan ölçümler sonrasında 60x60 mm boyutlarındaki kesme kutusu içine numune belirli aralıklarla sıkıştırılarak yerleştirilir (Şekil 6.6). Kullanılan kesme kutusunda üst taraf sabit alt taraf deplasman yapmaktadır. Arayüzde geotekstil malzeme kayma sırasında istenmiyecek şekilde yer değiştirmesi engellenecek şekilde yerleştirilir (Şekil 6.7). Üst kutunun vidalar yardımıyla alt kutuya bağlanmasından sonra uygun sıklığı sağlayacak hacim için belirlenen yükseklikte zemin konulmasına devam edilir (Şekil 6.8). Bu şekilde toplam numune 2 eşit ağırlık ve hacimde kesme kutusu içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 6.9). Kesme kutusu cihaza yerleştirildikten sonra ilk aşama olarak konsolidasyon ölçümleri yapılır. Belirlenmiş olan normal basınç, kuvvet kolu yardımıyla numuneye yüklenir. (4, 8, 16 kg lık ağırlıklar kullanılmıştır.). Kum numuneler üzerinde çalışıldığı için konsolidasyon süresi 1 dakika tutulmuştur. Bu

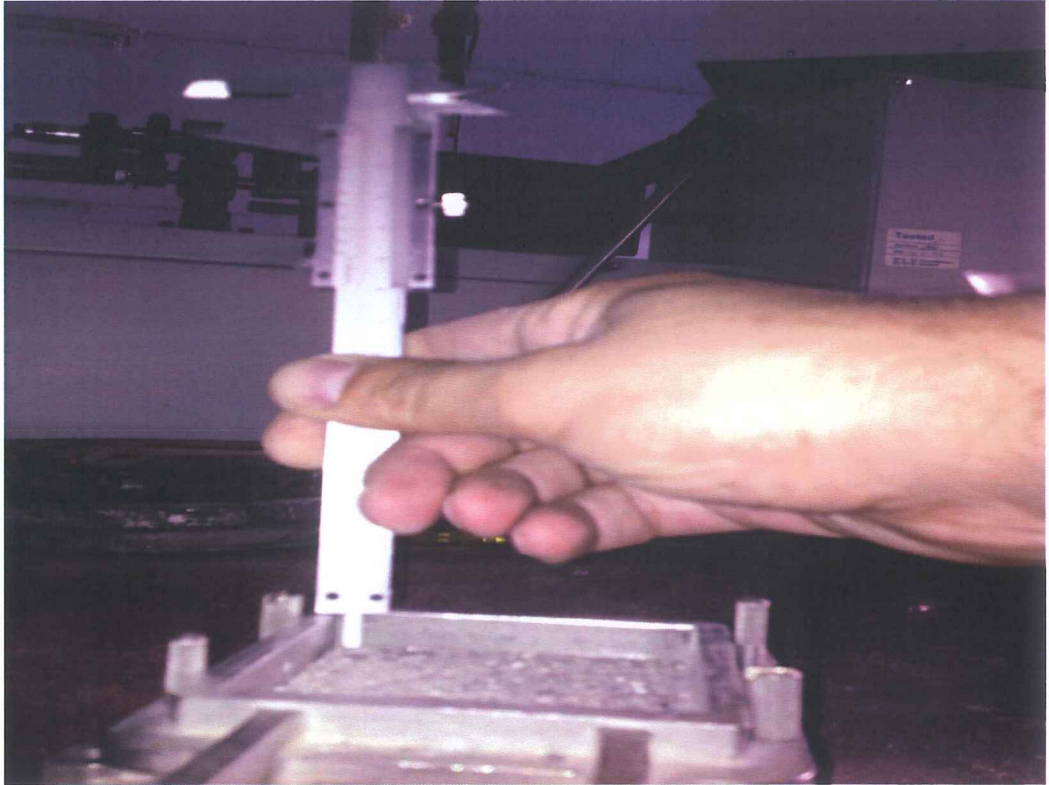
aşamadan sonra cihaz üzerinden belirlenen yatay deplasman hızı seçilerek sabitleme vidaları çıkarılarak arayüzey kesme safhasına geçilir. Seçilen yatay deplasman hızı kum zeminlerde drenaj problemi olmamasına karşın yavaş seçilmiştir (1 mm/dak.). Bunun nedeni ise realitede zemin katmanlarının karma bir yapı içerisinde olmasıdır. Balıkesir ve bölgesinde incelenen birçok yapı temelinin kumlu kil ve/veya siltli kum katmanlarına oturduğu gözlemlenmiştir. Kohezyonlu zeminlerde, kesme hızına bağlı olarak kesme gerilmesi değerinde de artma gözlenmektedir. Bunun sebebi; kesme hızı arttıca kayma düzlemindeki boşluk suyunun kaçışından dolayı efektif gerilme değerindeki artıştır (Crawford 1964; etin 1995; etin 1998, Mitchet end Soga 2005). Bu sebepten dolayı yüksek kesme hızında drenajsız testlerde elde edilen efektif kırılma zarfı, düşük kesme hızındaki drenajlı testten elde edilen kırılma zarfının üzerinde yer alır (Hirschfeld, 1960) (şekil 6.10).



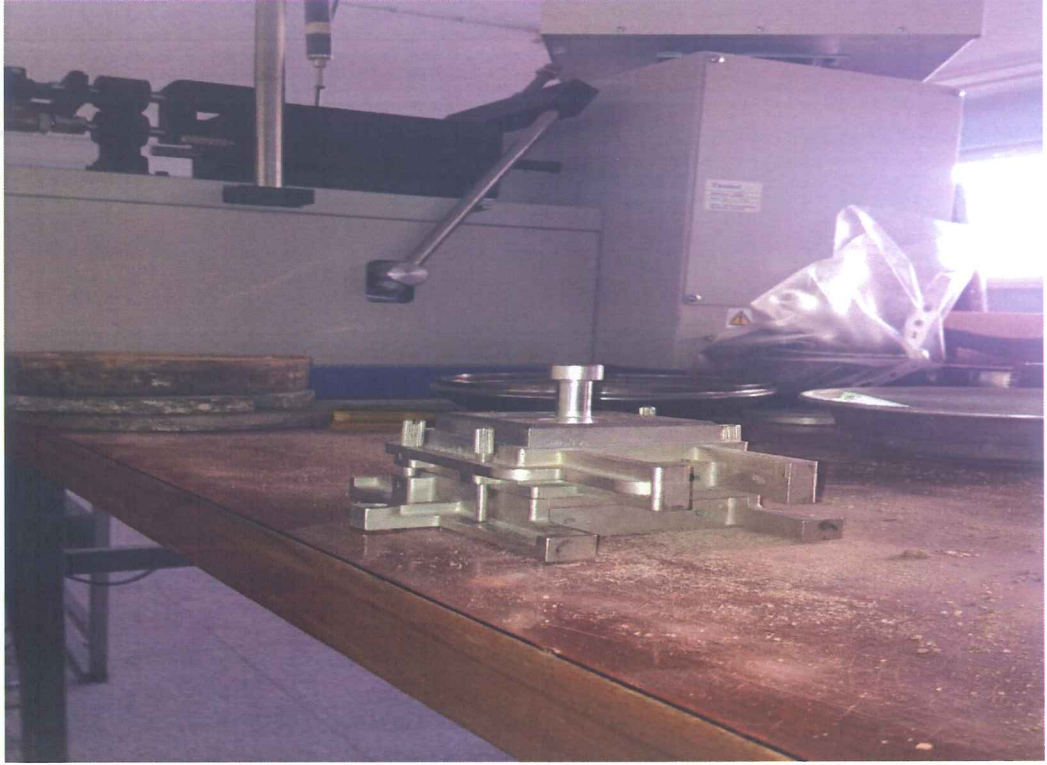
şekil 6.6: Kesme kutusu içerisine sıkıştırılarak yerleştirilmiş SP zemin numunesi.



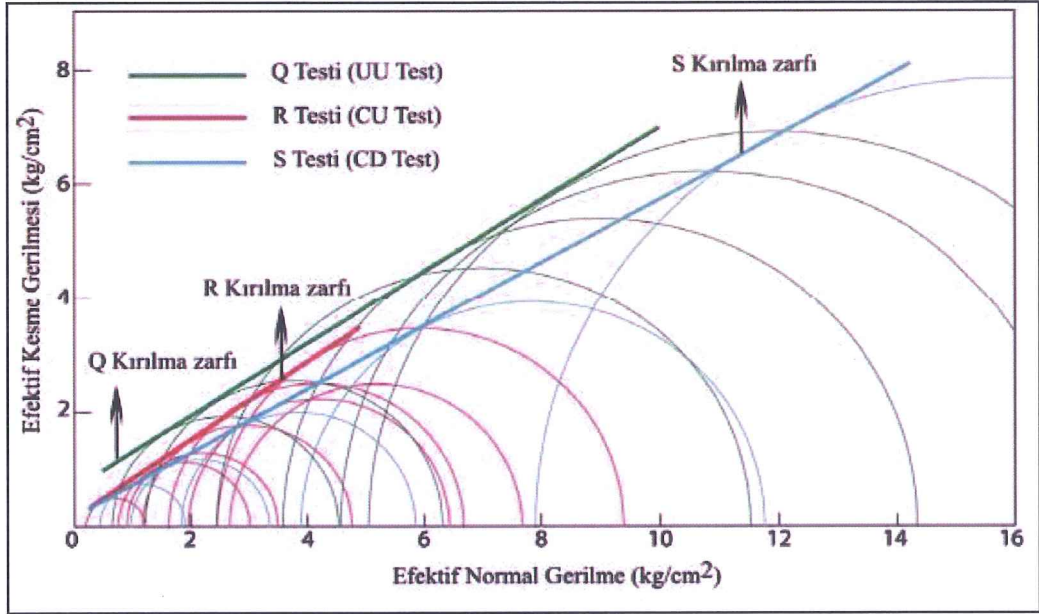
Şekil 6.7: Arayüzeye geotekstil numunenin yerleştirilmesi.



Şekil 6.8: İstenilen rölatif sıkılık için belirlenen yüksekliğe kadar zemin konulması.



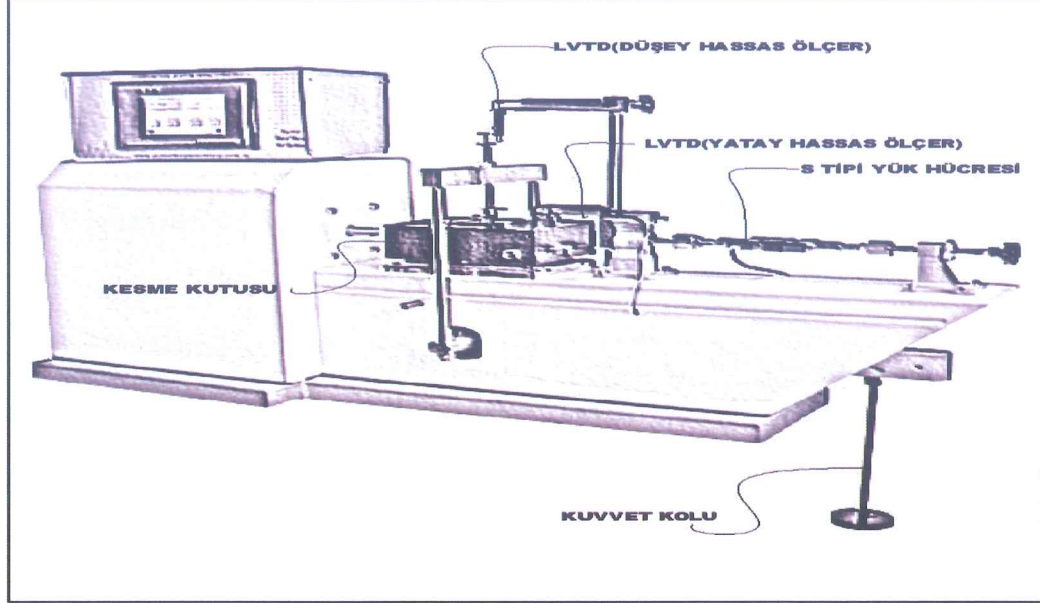
Şekil 6.9: Zemin numunesinin kesme kutusuna yerleşmiş hali.



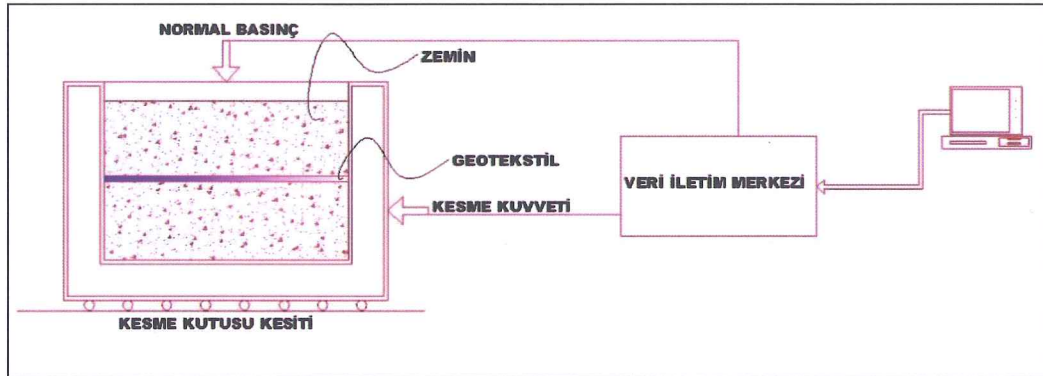
Şekil 6.10: Drenajlı (S Kırılma Zarfı) ve drenajsız (R ve Q Kırılma Zarfları) kırılma zarflarının karşılaştırılması (Hirschfeld, 1960).

Sonuç olarak kesme hızı düşük seçilerek daha gerçekçi bir yaklaşımla deneylerin gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Deney sonucunda uygulanan yatay

deplasman karşısında oluşan kesme gerilmeleri 1 adet S tipi yük hücresiyle; yatay ve dikey deplasmanlar ise 2 adet LVDT (lineer variable differential transformer) ile veri aktarım ünitesine (ADU) ve oradan da bilgisayara aktarılır (Şekil 6.11).



Şekil 6.11: a) Direkt kesme kutusu deney şeması, b) Direkt kesme kutusu deney şeması.



Numuneye uygulanan kesme basıncı, okumalardan elde edilen kesme kuvvetinin arayüzey alanına bölümüyle bulunur (Tuna Ş.Ç. , 2008).

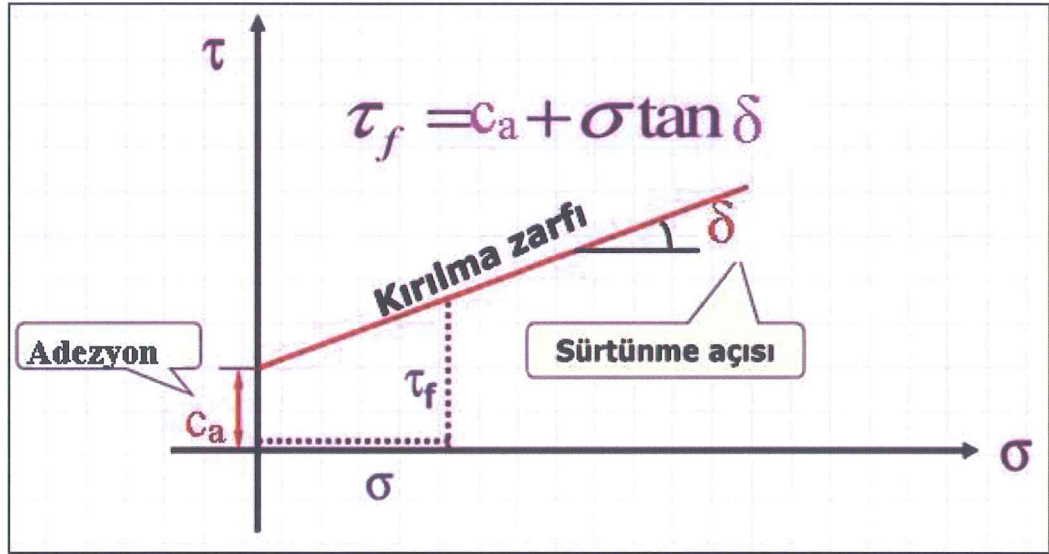
$$\tau = F_s / A_c \quad (6.1)$$

Yatay deplasman devam ettiği sürece temas halindeki arayüzey alanı azalacağı için her bir deplasman değerinde formül (6.1) için düzeltilen numune alanı A_c bulunur ve kullanılır (Tuna Ş.Ç. , 2008).

$$A_c = A_o - (dw) \quad (6.2)$$

Formülde A_c sürekli olarak düzeltilen numune alanı; A_o numunenin ilk alanı ve dw değeri ise birim yatay deformasyon süresinde numune alanındaki değişim miktarıdır. Farklı normal basınçlar altında tekrarlanan deneyler sonucunda Mohr-Coulomb kırılma indisi, basınç deplasman grafikleri, düşey deplasman-yatay deplasman grafikleri ile beraber adhezyon (c_a), arayüzey sürtünme açısı (δ) gibi geotekstil-zemin arayüzey davranışıyla ilgili parametreler elde edilir. Çizilen Mohr-Coulomb göçme zarfının (regresyon analizleri sonucu çizilen en uygun doğru) eğimi bize zemin-geotekstil sürtünme açısını (arayüzey sürtünme açısı) verir (Tuna Ş.Ç. , 2008).

Kırılma çizgisinin y eksenini kestiği nokta bize donatı-zemin arası adezyon (c_a) değerini verir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12: Mohr-Coulomb kırılma zarfı.

6.5 Yapılan Kesme Kutusu Deneyleri

Bu çalışmada geotekstil donatılarının kum zeminlerde arayüzey davranışlarına olan etkileri kesme kutusu deneyleri ile incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan farklı geotekstil donatılarının mekanik ve fiziksel özellikleri, iki farklı

kum numune için iki farklı sıklıkta (Dr %30; Dr %60) ve 3 farklı normal basınç altında (P=108.96 kPa; 217.93 kPa; 435.85 kPa) arayüzey davranışa olan etkileri kesme kutusu deneyleri ile incelenmiştir.

Özetle:

- 2 farklı zemin (SW ve SP)
- 2 farklı sıklık (% 30 ve % 60)
- 6 farklı geotekstil türü
- 3 farklı normal basınç değişimi parametreleri kullanılmıştır.

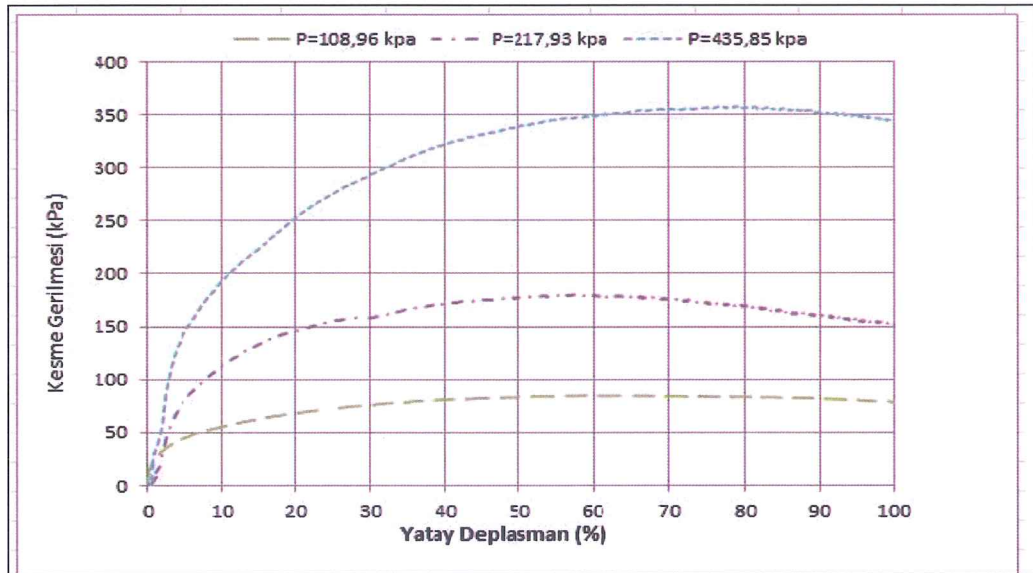
6.6 Deney Bulguları ve Değerlendirmeler

6.6.1 Normal Basıncın Arayüzey Davranışına Etkisi

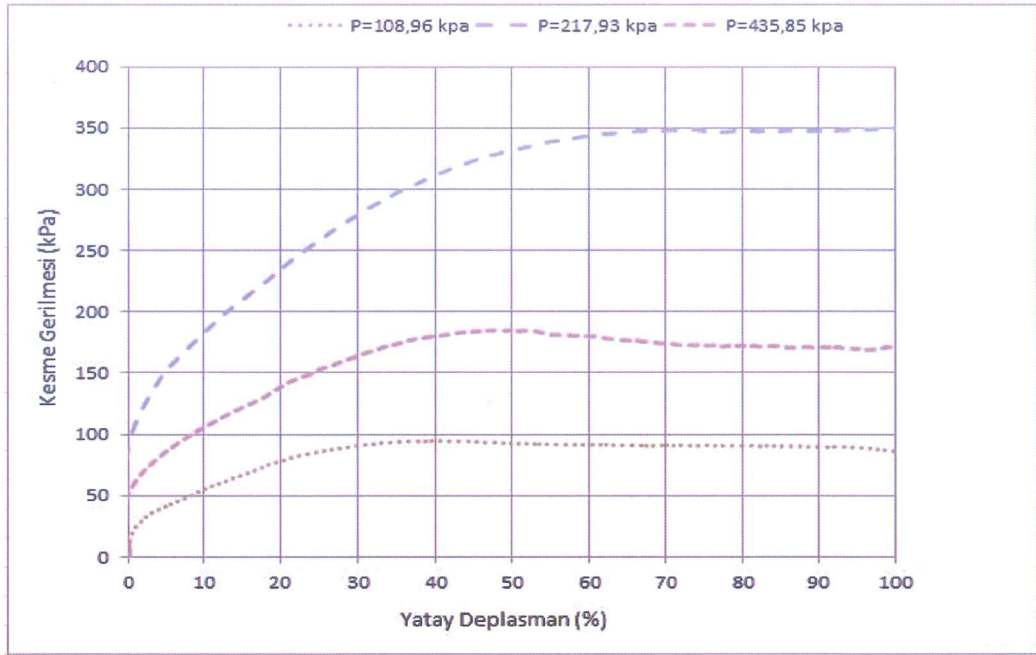
Daha önce de bahsedildiği gibi geotekstil malzemeler çok farklı kullanım alanına sahiptirler. Farklı kullanım alanları da geotekstillerin farklı büyüklüklerde normal gerilmelere maruz kalmalarına yol açmaktadır. Farklı oluşabilecek normal gerilmeler altında zemin-geotekstil arayüzey davranışını incelemek amacıyla iki farklı zemin sınıfının iki farklı sıklığı altında ve 3 farklı normal basınç altında kesme kutusu deneyler yapılmıştır. Şekil 6.13 - 6.16 donatılı SW zemin, Şekil 6.17 ise donatısız SW zeminin, Şekil 6.18 – 6.21 de ise donatılı SP zemin, Şekil 6.22 de ise donatısız SP zeminin farklı normal basınçlar altındaki davranışlarını verir. Grafiklerde de görüldüğü üzere uygulanan normal basınç artışı sonucu arayüzeydeki tanecikler üzerindeki basınç da artacak, birim yatay deformasyon yapmaları için daha çok enerji ve iş gerekecek, dolayısıyla gözlenen kesme mukavemetlerinde de artış olacaktır. Genel olarak ifade edildiğinde donatılandırılmış zeminde normal basınç la birlikte artan kesme gerilmesi öncelikle pik bir gerilmeye ulaşmakta ve sonrasında resüdüel dayanıma doğru gitmektedir. Donatılandırılmamış zeminlerde bu hareket görülmezken örgülü zeminler ile yapılmış olan çalışmada pik gerilmeden resüdüele geçiş net bir şekilde görülmektedir (Şekil 6.16, Şekil 6.21).

Dove ve Frost'un (1999) çalışmalarında kum zeminle çeşitli arayüzey donatı elemanları arasında arayüzey sürtünme deneyleri yapılmıştır. Artan normal basınçla beraber arayüzey sürtünme açısının değişimi donatı yüzey sertliği de göz önüne alınarak araştırılmıştır. Buna göre belirli bir sertlik değerine sahip malzeme için, arayüzey kesme dayanımı artan normal basınçla azalır, belirli bir kritik basınçtan sonra tekrar artışa geçmektedir (Tuna Ş.Ç. , 2008).

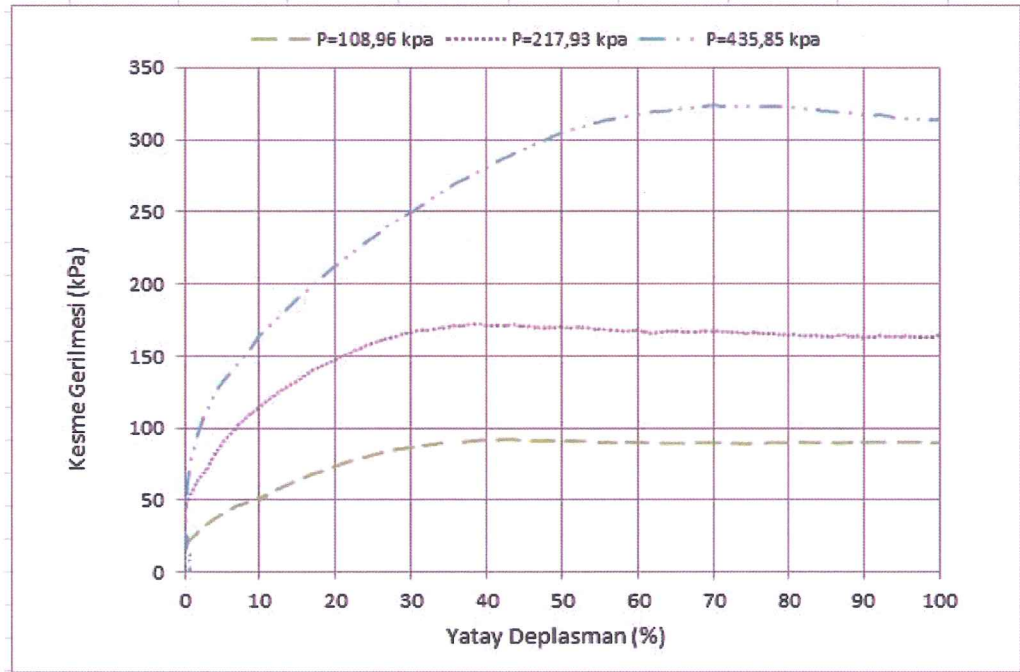
Zemin-geotekstil arayüzeyine uygulanan normal basınçlar kontakt noktaları tarafından arayüzeye iletilmektedirler. Artan normal basınçla beraber kontakt noktaları tarafından aktarılan basınçlarda da artış olur. Fakat kontakt noktalarındaki artış çok fazla olduğu için arayüzeye kontakt noktaları tarafından aktarılan bu basınç değeri, uygulanan normal basınç ile orantılı olarak artmaz. Fakat kritik bir normal basınçtan sonra kontakt noktaları artık daha fazla artamaz ve bir limite ulaşır, sonuç olarak normal basınçtaki her artış direkt olarak arayüzeydeki taneciklere sayıları artmaksızın yansır ve bu tanecik başına düşen kontakt basıncını artırır (Tuna Ş.Ç. , 2008).



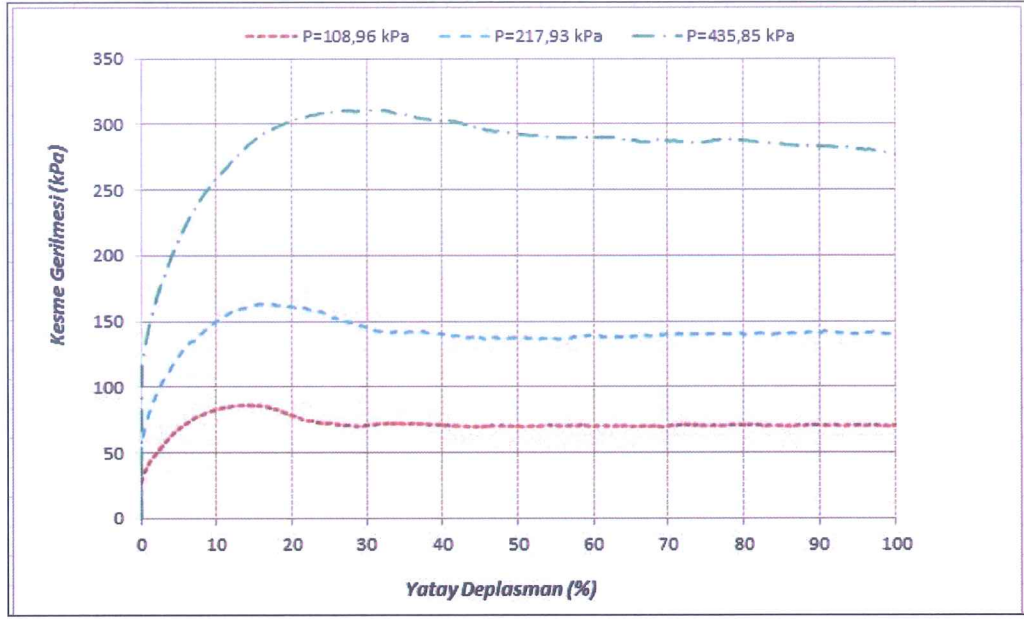
Şekil 6.13: SW-Örgüsüz 1 arayüzey davranışı.



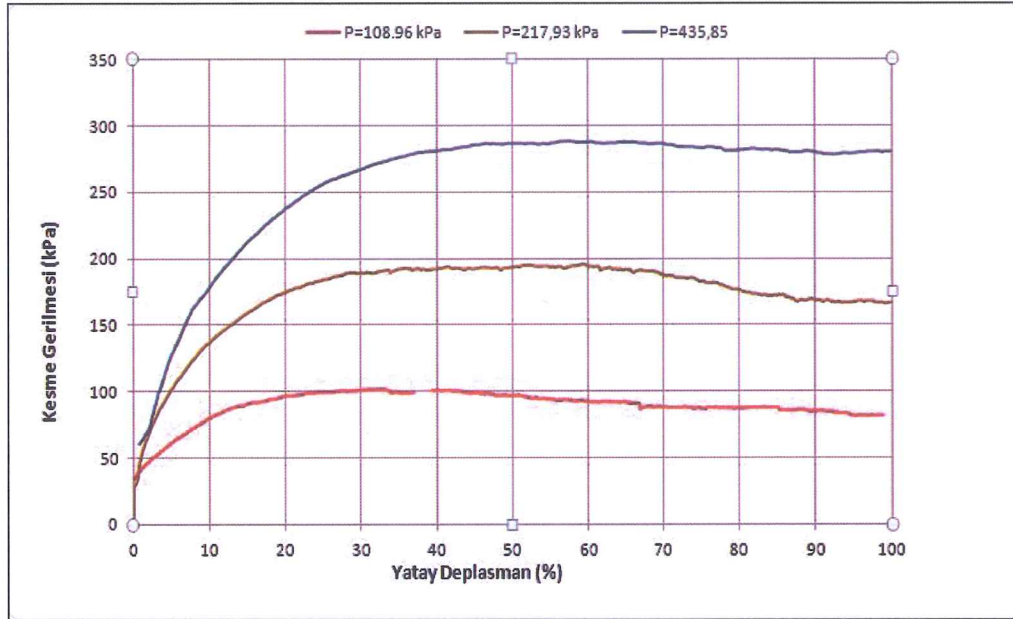
Şekil 6.14: SW-Örgüsüz 2 arayüzey davranışı.



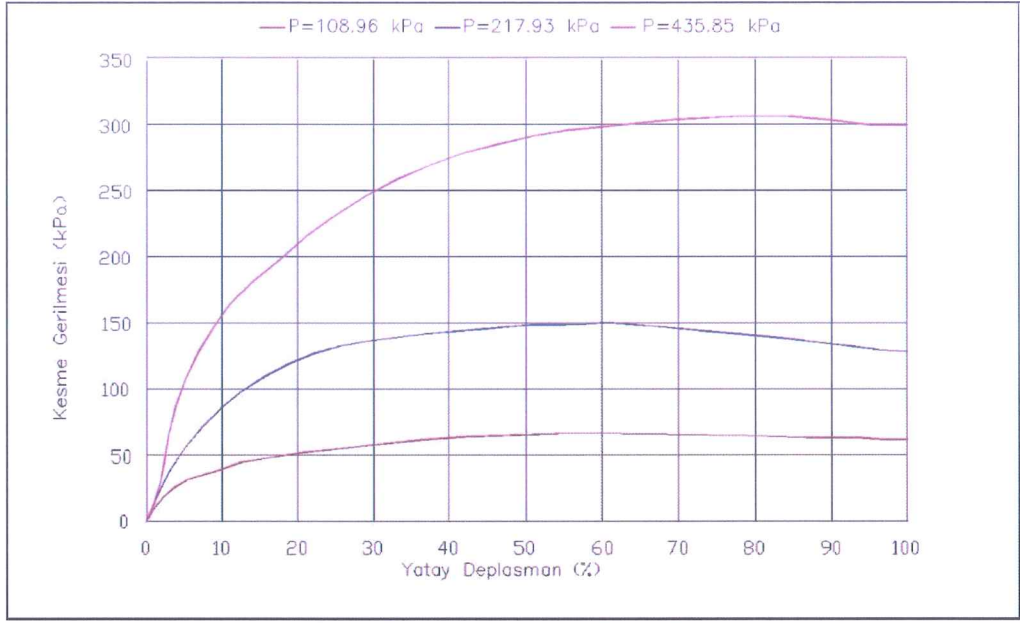
Şekil 6.15: SW-Örgüsüz 3 arayüzey davranışı.



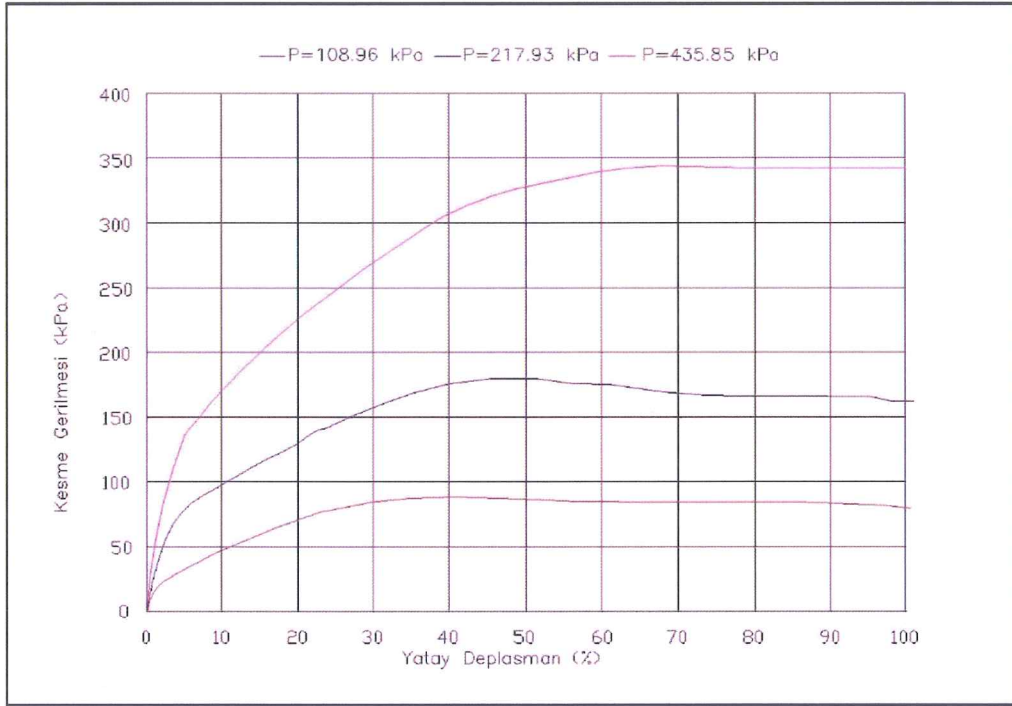
Şekil 6.16: SW-Örgülü 3 arayüzey davranışı.



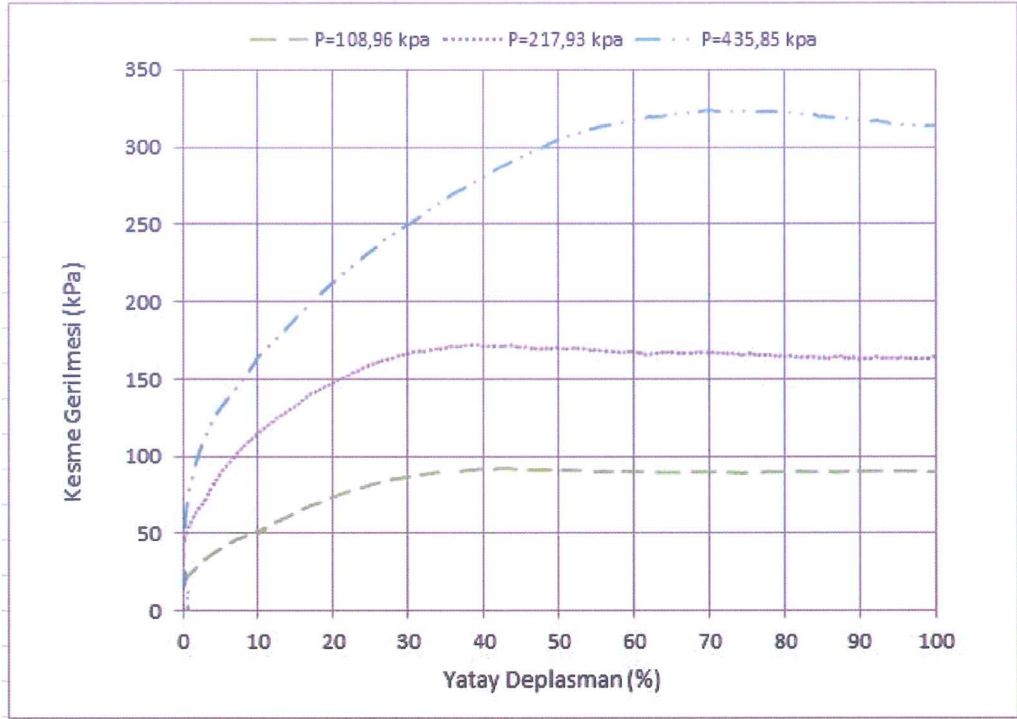
Şekil 6.17 SW-SW arayüzey davranışı.



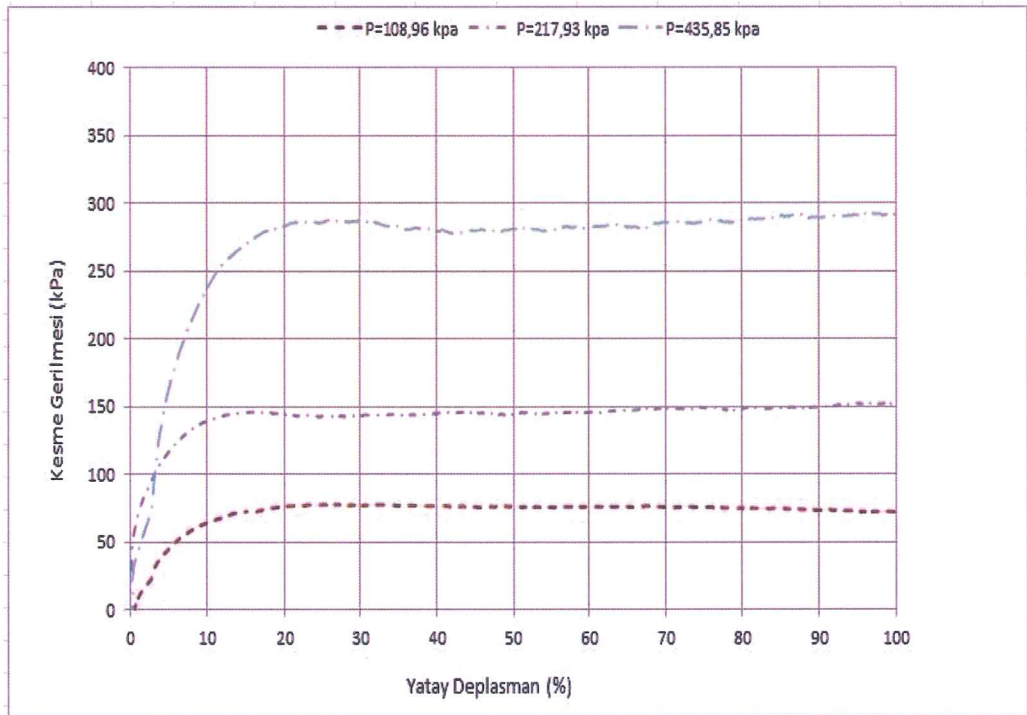
Şekil 6.18: SP-Örgüsüz 1 arayüzey davranışı.



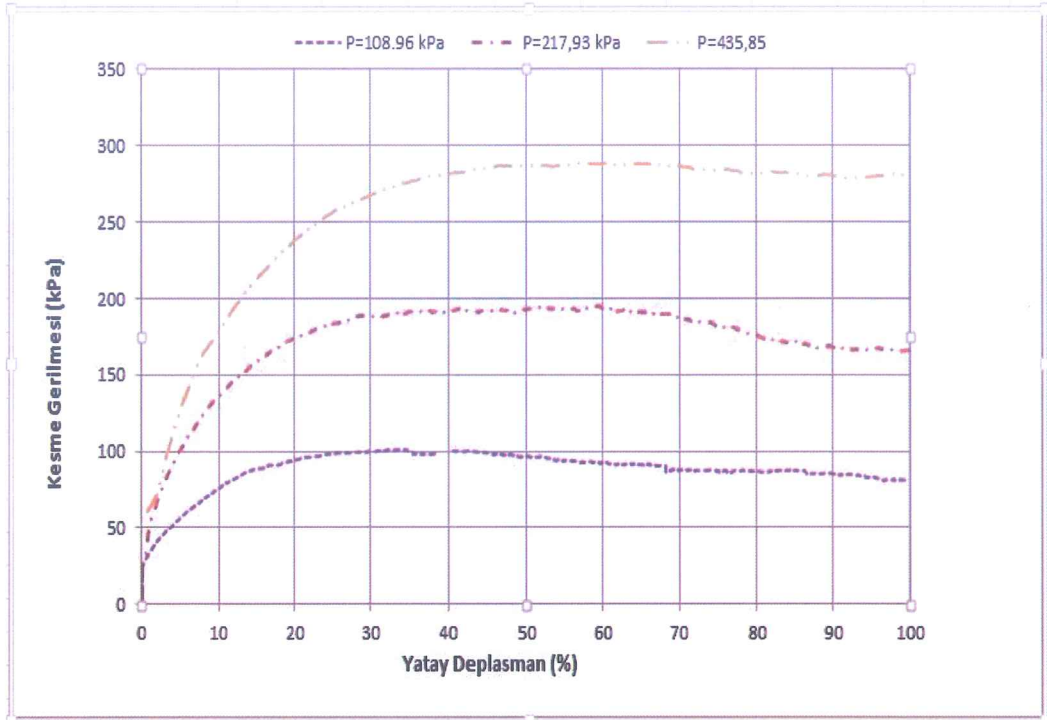
Şekil 6.19: SP-Örgüsüz 2 arayüzey davranışı.



Şekil 6.20: SP-Örgüsüz 3 arayüzey davranışı.

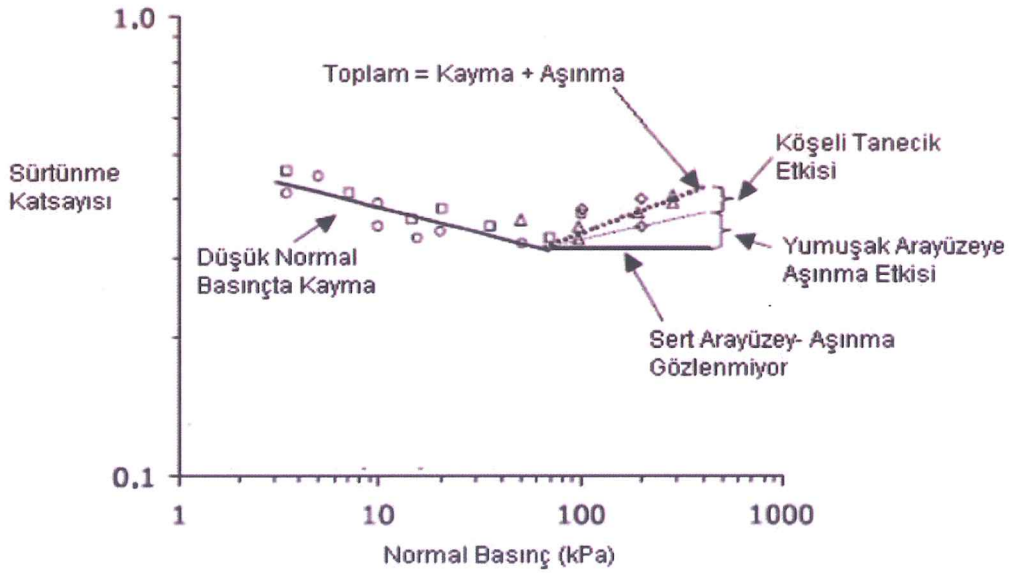


Şekil 6.21: SP-Örgülü 1 arayüzey davranışı.



Şekil 6.22: SP-SP arayüzey davranışı.

Şekil 6.23 incelendiğinde eşik basıncından sonra (650-700 kPa) arayüzey davranışının donatı elemanının yüzeysel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak değiştiği gözlemlenir.

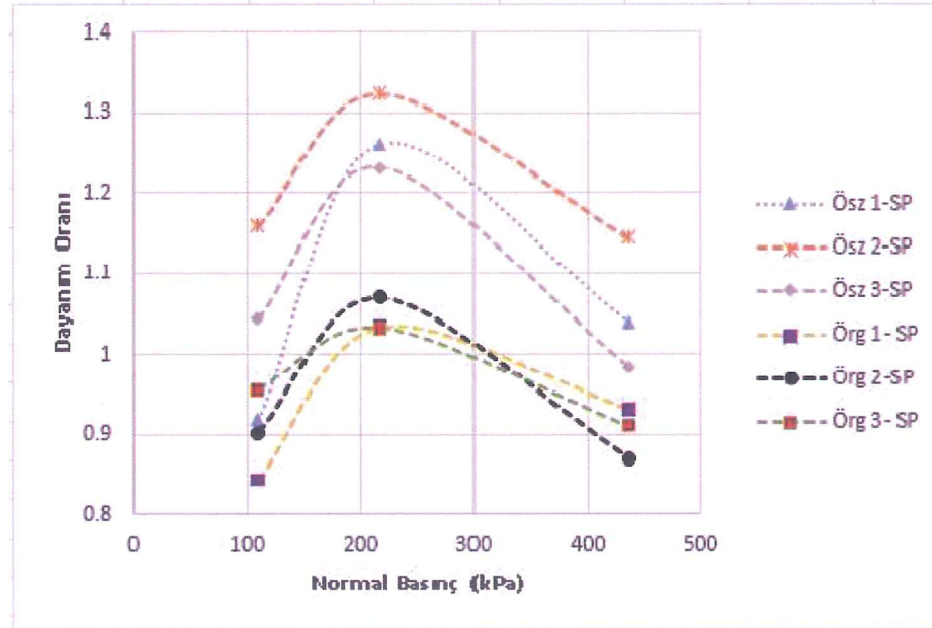


Şekil 6.23: Normal basınç-Arayüzey sürtünme açılarının ilişkisi (Frost J. D. ;2002).

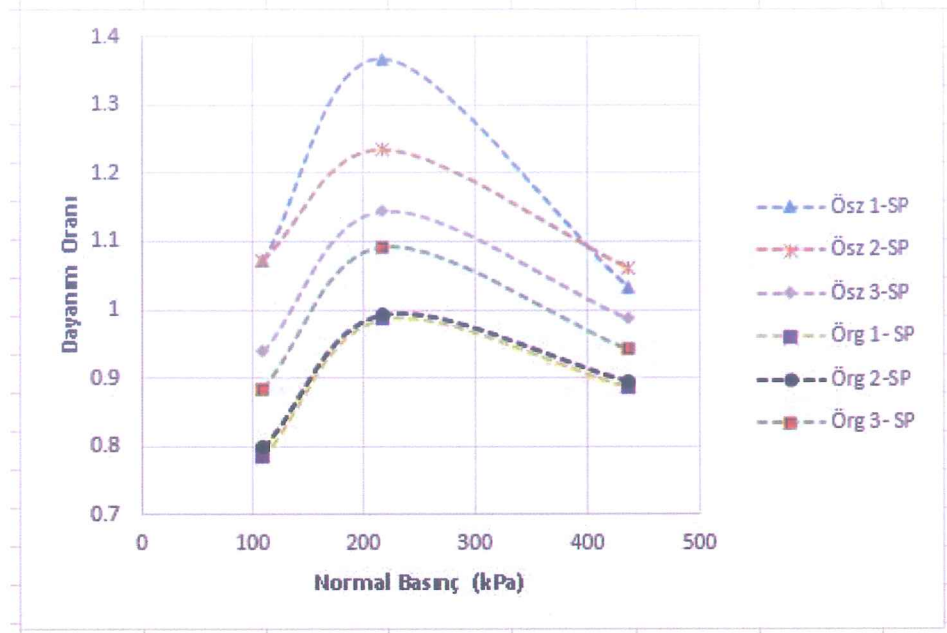
Kritik normal basınç altında donatı yüzeyinin sertlik yada dayanıklılığına bakılmaksızın artan normal gerilmeyle beraber kum taneciklerinin malzeme üzerindeki kayma hareketleri gözlemlenir. Arayüzeyde tanecikler üzerindeki normal basınç belirli bir eşiği geçtiği zaman ise tanecikler kayma hareketiyle beraber donatı yüzeyini aşındırma hareketini de beraberinde yaparlar, bu şekilde arayüzey kesme dayanımında artış olur. Bu aşındırma hareketi daha çok yumuşak, elastik yüzeylerde (geomembran gibi) gözlenirken çelik, demir vs. gibi sert olan arayüzeylerde fazla rastlanmaz (Tuna Ş.Ç. , 2008).

Deneylerde kullanılan malzemelerden örgüsüz geotekstil grubu yumuşak, esnek ve pürüzlü malzemeler, örgülü geotekstiller ise sert malzemelerdir. Örgülü gruptan örgülü 1, örgülü 2 ve örgülü 3'e göre biraz daha yumuşak ve esnek olduğu söylenebilir.

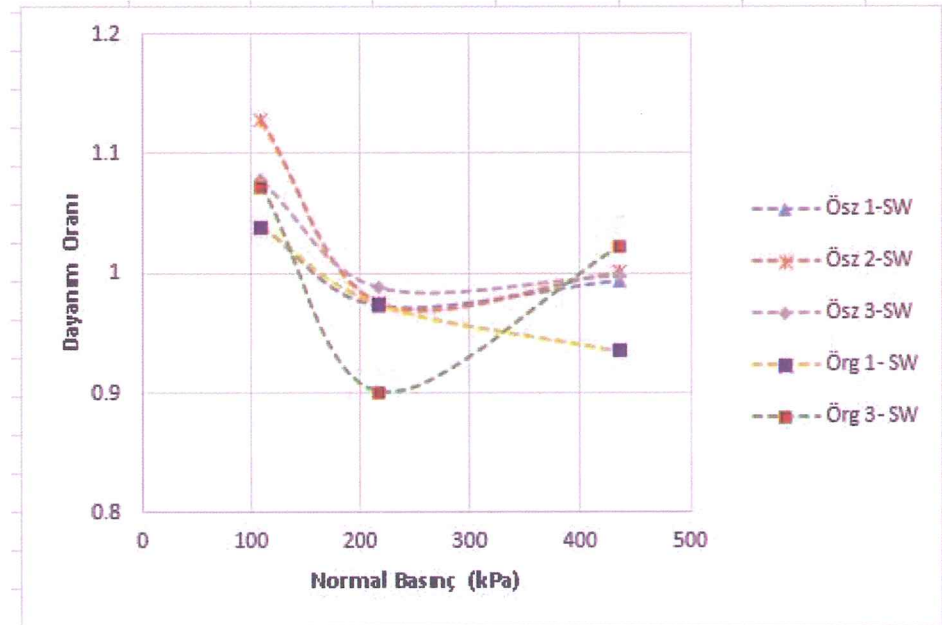
Artan normal basıncın dayanım oranını nasıl etkilediğini tespit etmek için artan normal basınçlara karşılık gelen dayanım oranları grafikleri çizilmiştir (Şekil 6.24, 6.25, 6.26, 6.27). (Dayanım oranı = Donatılı zemine ait kesme mukavemeti / donatısız zemine ait kesme mukavemeti).



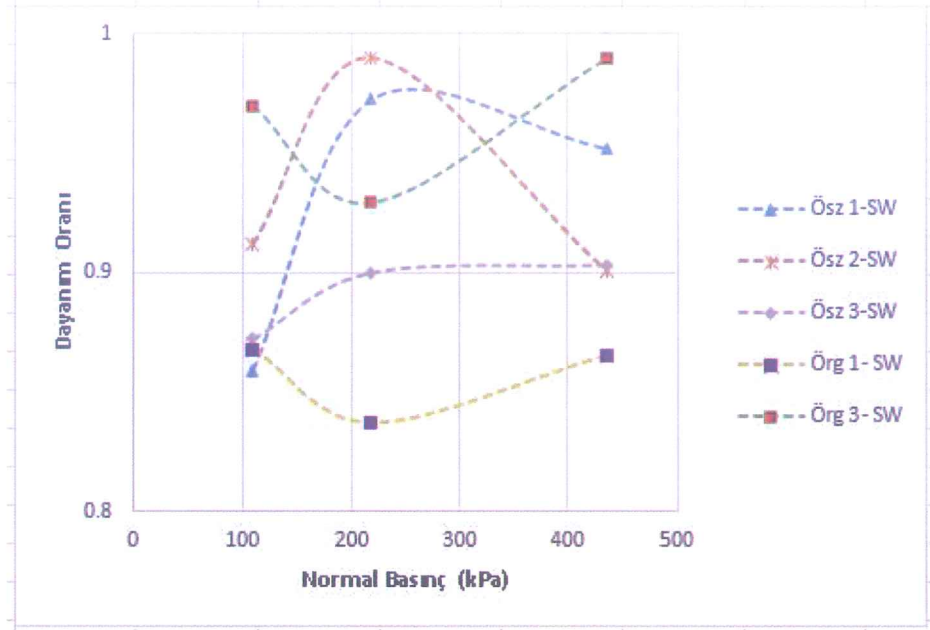
Şekil 6.24: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SP arayüzeyleri, Dr:%30).



Şekil 6.25: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SP arayüzeyleri, Dr:%60).



Şekil 6.26: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SW arayüzeyleri, Dr:%30).



Şekil 6.27: Dayanım oranı ile normal basınç değişimi grafiği (SW arayüzeyleri, Dr:%60).

Şekil 6.24 ve 6.25 deki SP arayüzlerindeki grafikler incelendiğinde artan normal basınçla dayanım oranlarının öncelikle arttığı, 217.93 kPa lık normal basınçla dayanımın pik seviyeye ulaştığı, ardından tekrar düştüğü görülmüştür. SP Zemin tipinde genel olarak dayanım oranlarının “1” seviyesinin üzerinde oluşu, donatılandırılmış zeminin donatısız zemine göre dayanımının arttığını göstermektedir. Yine daha esnek ve pürüzlü bir yüzeye sahip olan örgüsüz geotekstillerin, örgülü geotekstillere oranla daha yüksek dayanım gösterdikleri sonucuna varılabilir. Artan normal basınçla geotekstil-kum arasındaki etkileşim belirli bir eşik değere kadar artmış, normal basınçtaki artışın devam etmesiyle bu eşik değer kırılmış ve dayanım düşüşü başlamıştır.

SW Zemin tipinde ise durum tam tersidir. Artan normal basınçla birlikte dayanımın düştüğü ancak kritik normal basınçtan sonra donatı tipi fark etmeksizin dayanım oranının aynı değere ($1'e$) yaklaştığı söylenebilir (Şekil 6.26). Şekil 6.27 deki “1”seviyesinin altındaki dayanım oranları, artan normal basınçtan çok artan rölatif sıkılıkla ilgilidir. Elbetteki donatılandırılmış zeminde bir dayanım artışı görülmek istenmektedir. Ancak SW zemin yapısında, yüksek rölatif sıkılıklarda bu etkiyi görebilmek için düşük normal gerilme aralıklarında çalışılmalıdır. Dayanım artışı gözükmesede örgülü ve örgüsüz donatıların farklı özelliklerinden dolayı

(pürüzlülük, sertlik, esneklik) arayüzeydeki davranış eğilimlerini ortaya koymaktadır.

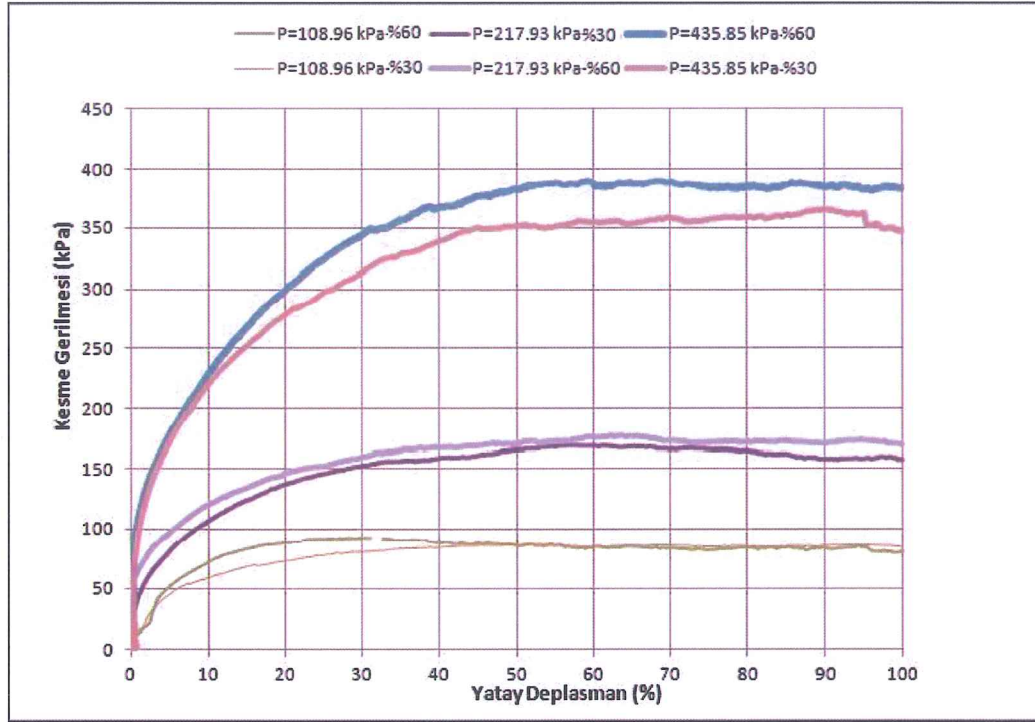
Rölatif sıklık oranı belirtilmemiş olsada, benzer bir çalışmada artan normal basınçla düşen dayanımın 650-700 kPa basınçlarında biraz arttığı sonra ise tekrar azalarak donatı tipi farketmeksizin aynı değere ($1'e$) yaklaştığı belirtilmiştir (Tuna Ş.Ç. ; 2008).

Yine S.M. Haeri ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, dayanım oranının artan normal basınçla beraber azalmaya başladığı gözlenmiştir. Bu davranışın, artan normal basınçla birlikte geotekstil-kum arasındaki etkileşimde meydana gelen azalmayla ilgisi olabileceğini ifade etmişlerdir (Haeri S.M., Noorzad R., Oskoorouchi A.M.; 2000).

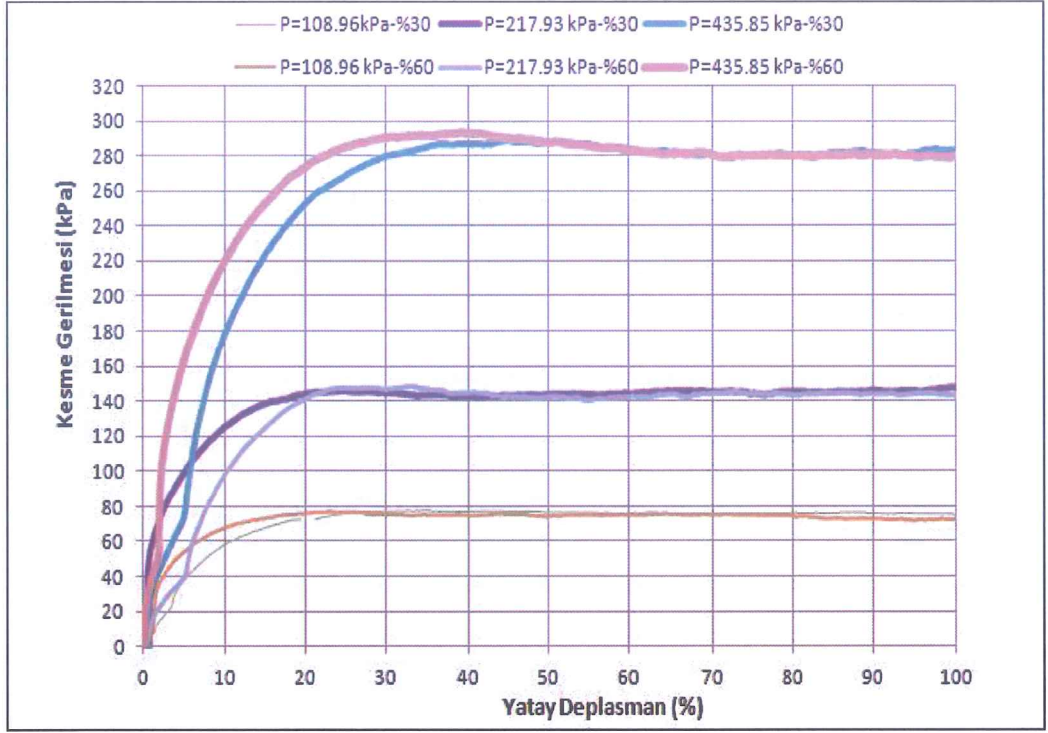
6.6.2 Zemin Rölatif Sıklığının Arayüzey Davranışa Etkisi

Kesme kutusu deneyleri 6 tip geotekstil ile SW ve SP zemin için %30 ve %60 rölatif sıklığa sahip iki farklı numune üzerinde çalışılmıştır. Deneylerde kullanılan kesme hızı 1 mm/dak. olarak belirlenmiştir.

Örgüsüz 1 ile farklı sıklıktaki SW zemin arayüzey davranışına ait gerilme-deplasman sonuçları Şekil 6.28'de gösterilmiştir. Örgülü 1 ile farklı sıklıktaki SP zemin arayüzey davranışına ait gerilme-deplasman sonuçları Şekil 6.29'de gösterilmiştir.



Şekil 6.28: SW-Örgüsüz 1 arayüzey grafikleri.



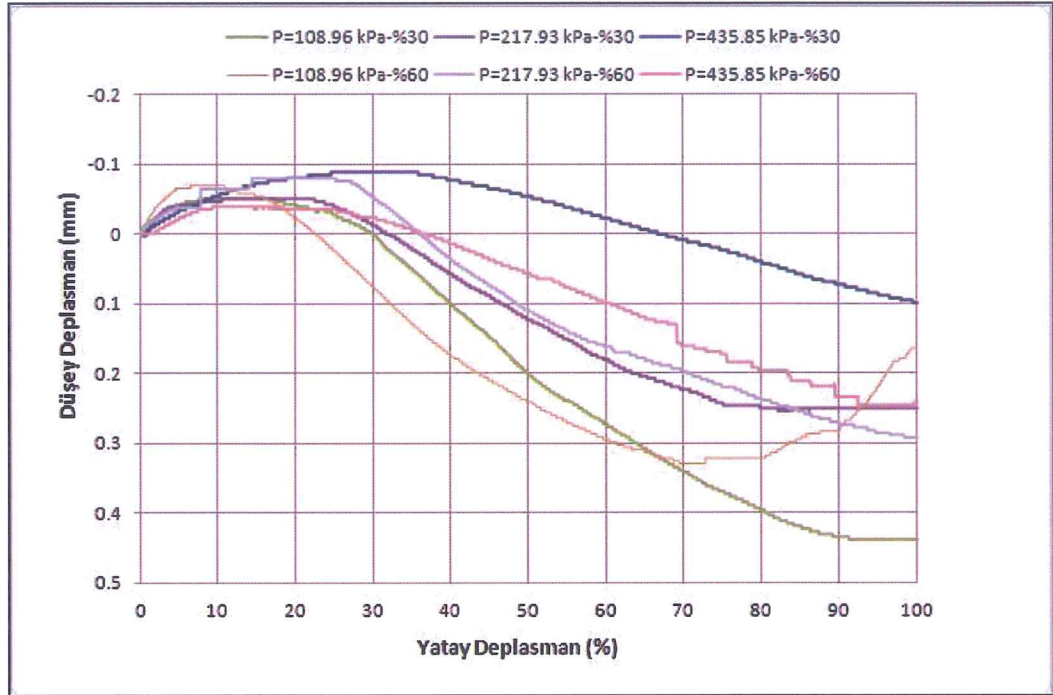
Şekil 6.29: SP-Örgülü 1 arayüzey grafikleri.

Gevşek olan donatılı zeminler daha az rijitlik göstermiş, normal basınç arttıkça basınç-deplasman grafiklerinde gözlenen farklı eğilimler artan yatay deplasmanla beraber birleşmiştir (Şekil 6.29). Özellikle yüksek normal basınç altında sıkı olan zeminlerde ilk önce pik dayanımın yakalanması, ardından da rezidüel dayanıma doğru iniş izlenirken gevşek zeminlerde direct olarak rezidüel dayanıma doğru bir hareket gözlenmiştir. Sıkı zeminlerde gözlemlenen yüksek kesme dayanımları tanecikler arasında görülen ekstra kenetlenme etkisinin bir sonucudur. Artan birim hacim ağırlıkları ile beraber aynı şartlar altında ve aynı normal basınçlarda sıkı olan zemin gevşek olan zemine göre daha fazla dayanım göstermektedir. Genel olarak zemin sıklığı arttıkça elde edilen pik dayanımlar artmaktadır.

SW ve SP zeminle farklı malzemelerin 3 farklı basınç ve 2 farklı sıklık altında donatılı ve donatısız, hacimsel değişim grafikleri şekil 6.27-6.45 arasında verilmiştir. Hacimsel değişim zeminlerde meydana gelen kabarma hareketiyle gerçekleşir ve normal basıncın miktarı ana etkidir. Artan normal basınçla beraber hacim artışı zorlaşacağı için genel davranış hacim azalması olacaktır. Örgülü 1

geotekstilinin hacimsel değişim grafiği incelendiğinde (Şekil 6.33 ve Şekil 6.36) $P=435.85$ kPa lık normal basınçla hacmin azaldığı, $P=108.96$ kPa lık normal basınçla ise kabarma hareketinin gerçekteştiği ve hacim artışının belirgin olduğu gözlenir. (Şekil 6.35, Şekil 6.37). Aynı şekilde benzer normal basınçlar altındaki ve yüksek rölatif sıklıktaki numunelerin hacim artışının daha yüksek olduğu söylenebilir (Şekil 6.34 ve Şekil 6.38). Bunun nedeni ise gevşek zeminlerin ön konsolidasyon sonuçlarının daha yüksek olmasına bağlanır (Tablo 6.3).

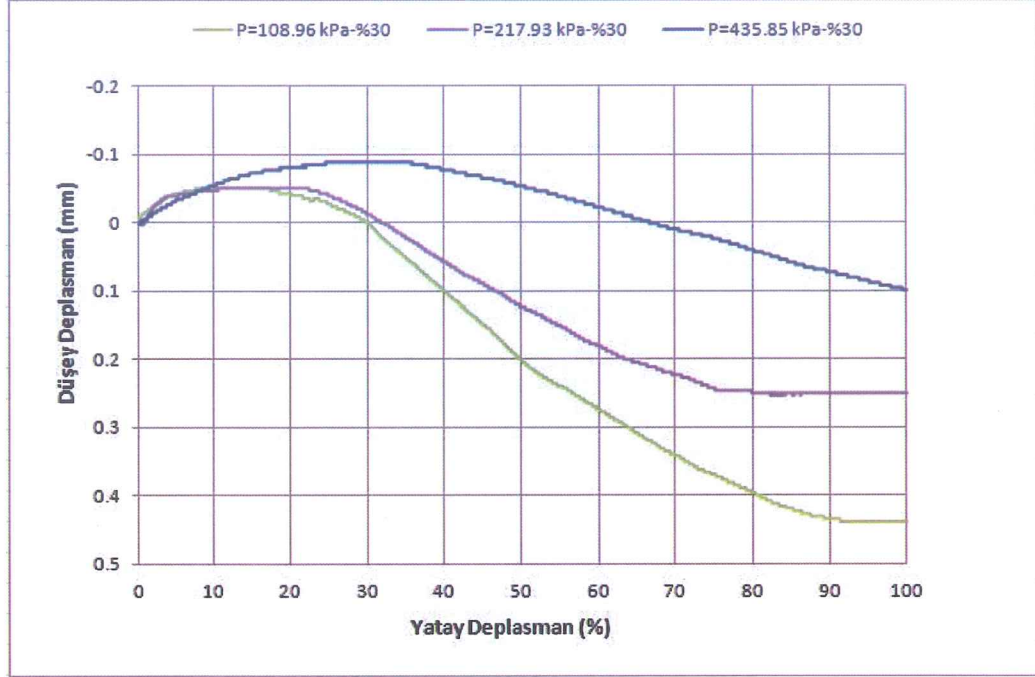
Diğer grafiklerde incelendiğinde zeminlerdeki genleşmelerin zeminin sıklığına uygulanan normal kuvvete ve arayüzeyde kullanılan geotekstil türüne göre değişim gösterdiği söylenebilir.



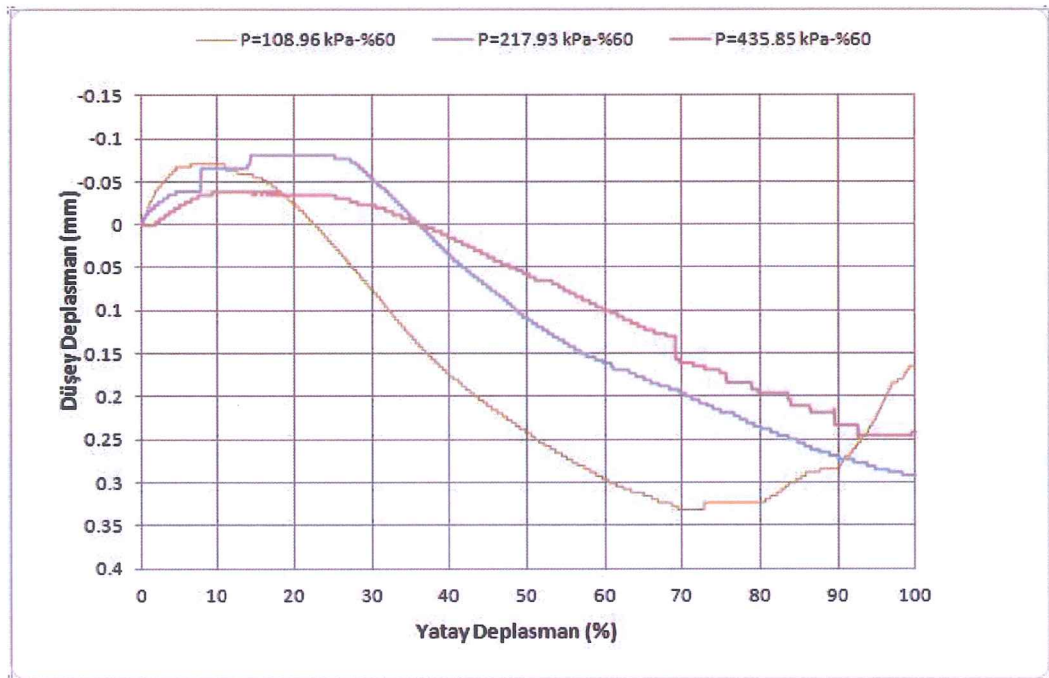
Şekil 6.30: SP-Örgüsüz 2 farklı normal basınçlar altında hacimsel değişim grafikleri. (Dr : % 30, % 60).

Genel olarak farklı rölatif sıklıktaki geotekstillerin hacimsel değişim grafikleri incelendiğinde sıkı zemindeki kabarma hareketinin daha belirgin olduğu gözlenmektedir. (Şekil 6.30 - Şekil 6.35). Düşük normal basınçta ön konsolidasyon miktarının düşük olup kesme esnasında zemin taneciklerinin hareket alanlarının daha fazla olmasıyla birlikte ,artan normal basınçla kesme öncesi konsolidasyonu artar ve kesme esnasında zemin taneciklerinin hareketinde hacimsel bir azalma görülür. Daha önce yapılmış olan tez çalışmalarında hacimsel değişimin yapmış olduğu kabarma

hareketi üzerinde durulmuş olsada, bu hareketin nedeni tamamıyla ön konsolidasyondur. Bu da arayüzeyde kullanılan geotekstillerin fiziksel özellikleriyle ilgidir. Düşen normal basınçla birlikte kabarma hareketi belirgin biçimde görülür (Şekil 6.30 %60 rölatif sıklıktaki $P=108.96$ kPa normal basınç altındaki grafik).



Şekil 6.31: SP zemin hacimsel değişimi (Dr : % 30). (Arayüzey geotekstili örgüsüz 2).

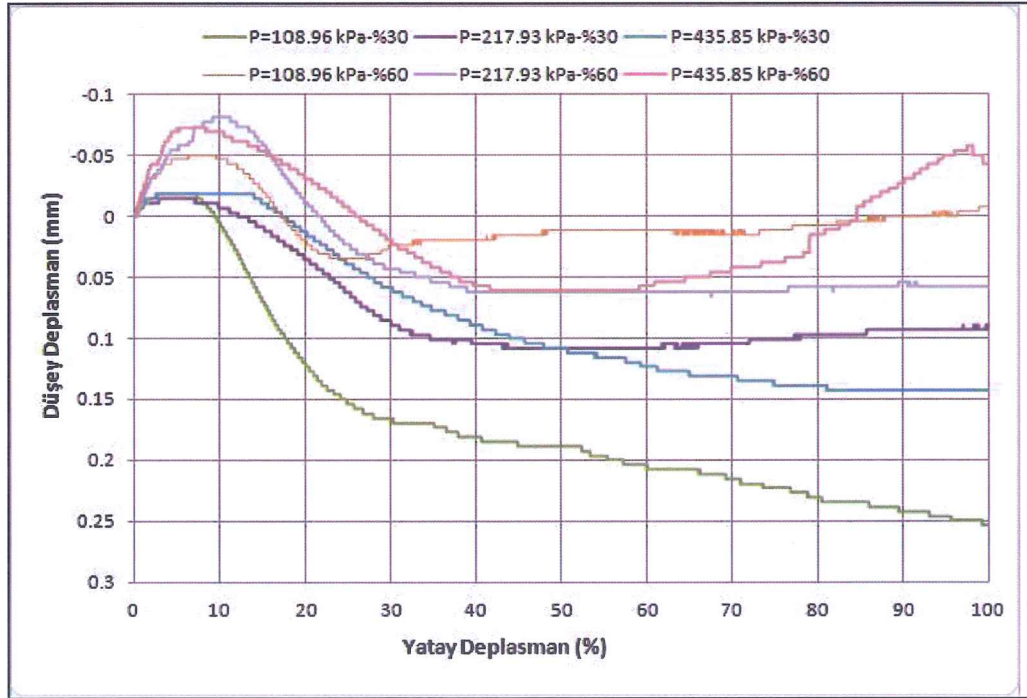


Şekil 6.32: SP zemin hacimsel değişimi (Dr : % 60). (Arayüzey geotekstili örgüsüz 2).

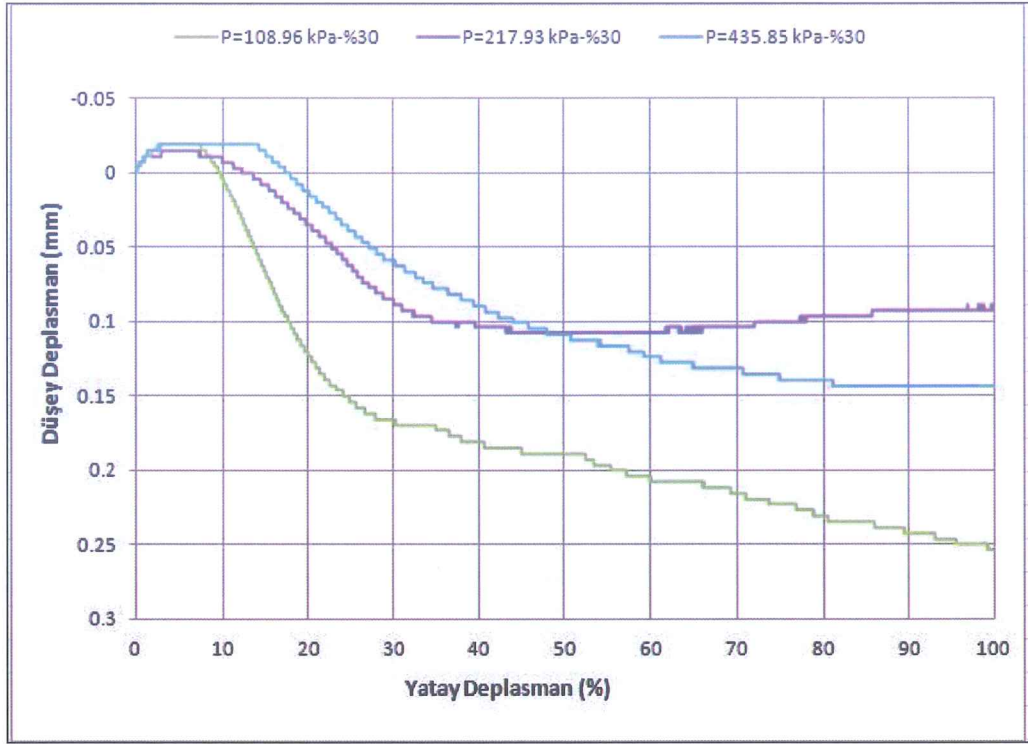
Diğer bir yandan düşük rölatif sıklıkta yani gevşek zeminlerde ön konsolidasyon sonuçları daha yüksektir (Tablo 6.3). Zemin tanecikleri kesme esnasında normal basınc etkisine bağlı hacimsel azalma eğilimindedirler. Bu da sıkı zeminlerde ki kabarma hareketini açıklamaktadır.

Tablo 6.3: Kesme kutusu deneyi SP zemin ön konsolidasyon sonuçları.

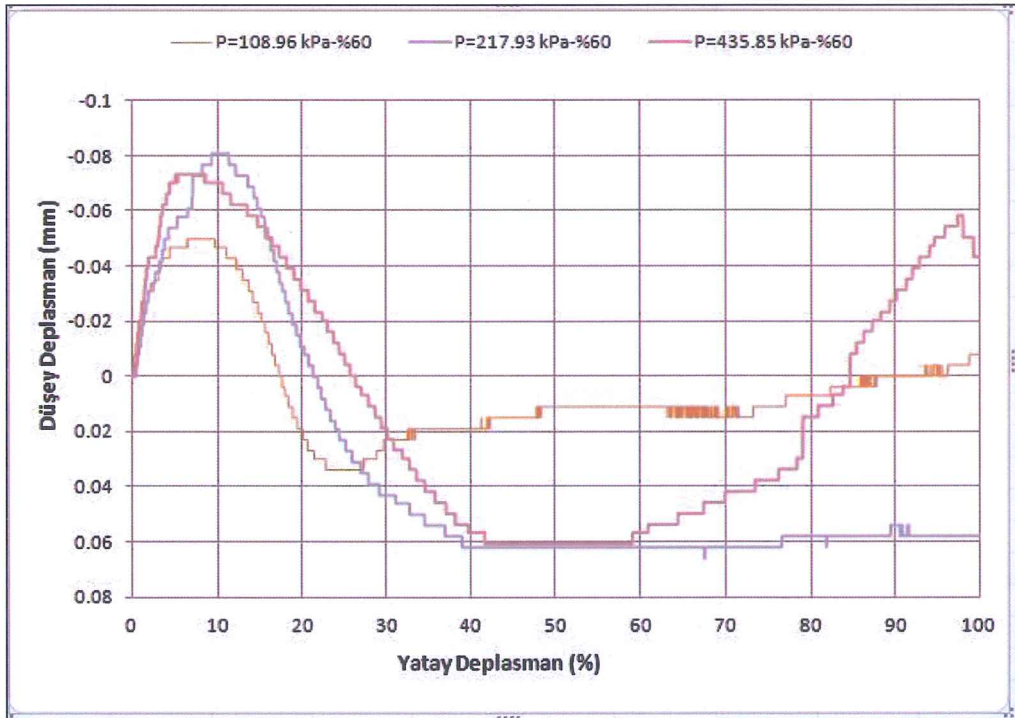
ARAYÜZEY	108,96 kPa		217,9 kPa		435,85 kPa	
	Konsolidasyon (mm)		Konsolidasyon (mm)		Konsolidasyon (mm)	
	% 30	% 60	% 30	% 60	% 30	% 60
SP-SP	15,16	10,12	10,51	10,81	14,80	14,78
SP ÖRGÜLÜ 2	6,01	3,46	9,85	8,9	12,55	10,28
SP ÖRGÜLÜ 3	6,00	3,40	9,70	8,04	12,74	10,05
SP ÖRGÜSÜZ 1	10,74	9,08	11,20	10,78	14,70	12,44
SP ÖRGÜSÜZ 2	9,78	9,28	12,12	11,94	14,06	11,55
SP ÖRGÜSÜZ 3	7,62	7,54	11,32	10,35	14,13	11,43
SP- ÖRGÜLÜ 1	5,33	3,27	9,51	7,70	10,00	8,76



Şekil 6.33: SP zemin hacimsel değişimi (Dr : % 30, % 60). (Arayüzey geotekstili Örgülü 3).



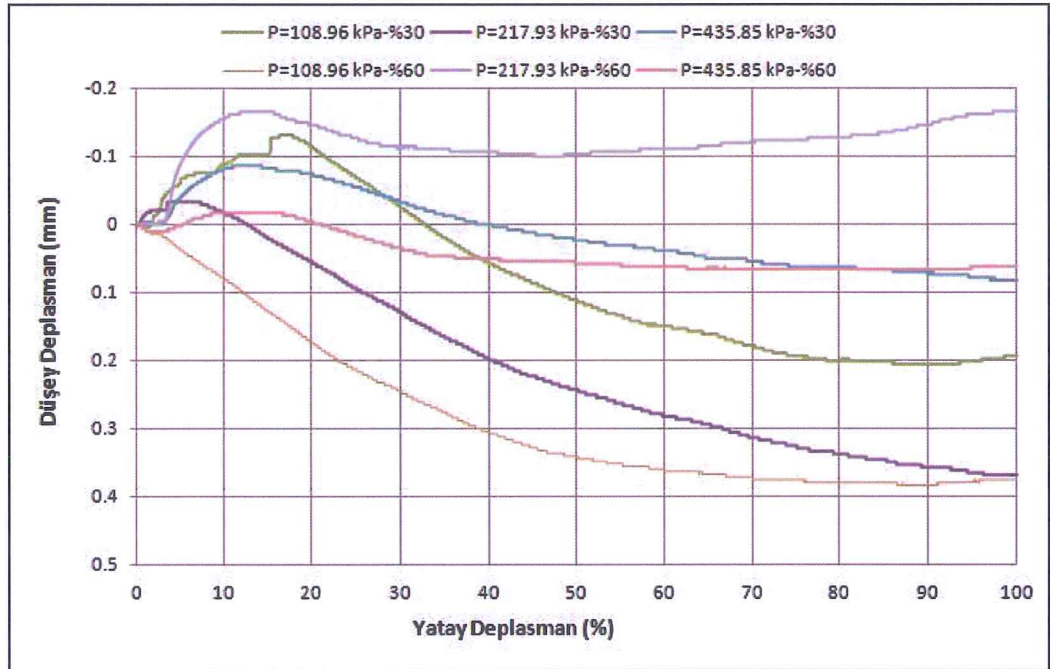
Şekil 6.34: SP zemin hacimsel değişimi (D_r : % 30). (Arayüzey geotekstili örgülü 3).



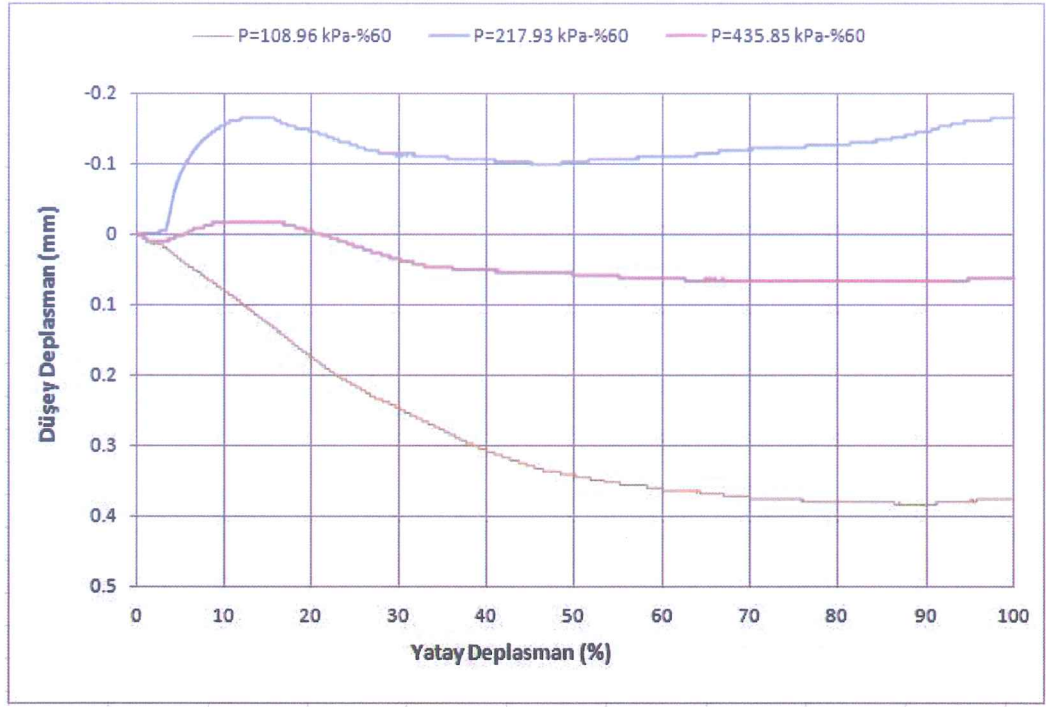
Şekil 6.35: SP zemin hacimsel değişimi (D_r : % 60). (Arayüzey geotekstili örgülü 3).

Arayüzeyde örgülü 3 geotekstili bulunurken SP zeminin hacimsel değişimi incelendiğinde ise rölatif sıkılığın dışında malzeme etkisiyle hacimsel değişimin

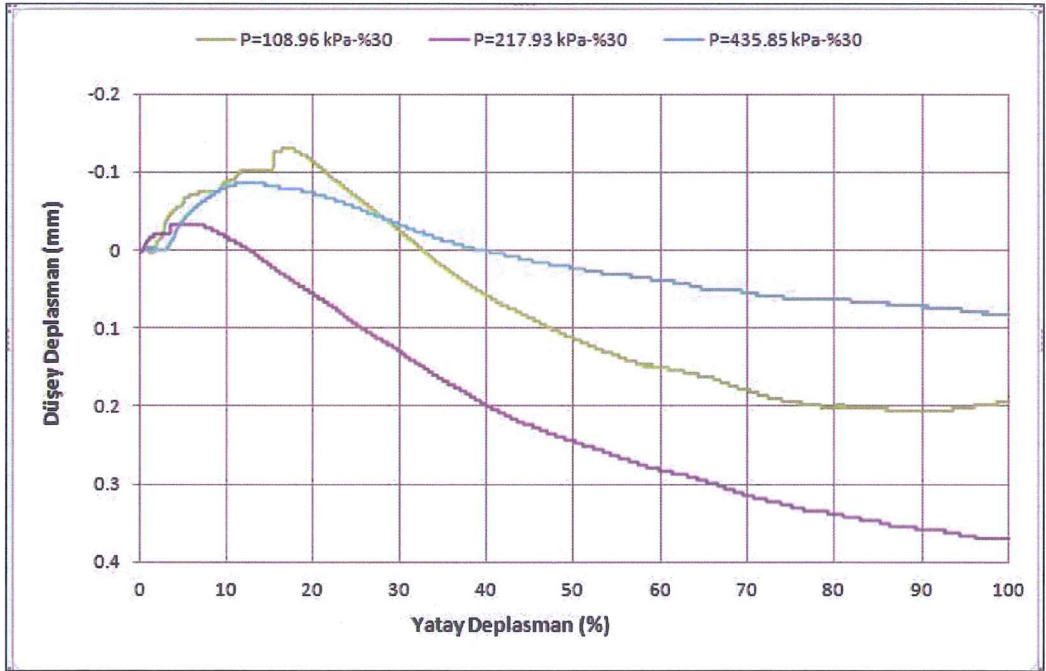
sınırlandırıldığı görülür (Şekil 6.33 - 6.35). Özellikle düşük normal basınçlar altında ve sıkı olan zeminlerde malzemenin hacimsel değişimi sınırlayıcı etkisi göze çarpar (Şekil 6.35). Normal basınç arttıkça ve yatay deplasman devam ettikçe bu sınırlayıcı etkinin kaybolduğu görülür. Grafikler diğer bir taraftan Tablo 6.3 ile birlikte incelenecek olursa yine rölatif sıkılığın dışında ve yine malzeme etkisiyle yüksek basınç altında hacimsel sınırlayıcı etkilerin kalkması yani hacimsel değişimin arttığı göze çarpar. Örgülü 3 geotekstili deneylerde kullanılan diğer geotekstillere nazaran daha performanslı ve rijit bir yapıya sahip olduğundan ancak düşük rölatif sıkılıklarda ve yüksek basınç altında en yüksek önkonsolidasyona ulaşır. Dolayısı ile kesme hareketi esnasında arayüzeyde en yüksek hareket hacmine düşük rölatif sıkılıkta ve yüksek basınçlar altında ulaşır. Düşük basınçlar altında ise (P=108.96 kpa ve P=217.93 kpa) fazla miktarda konsolide olamayan kesme arayüzü elemanları (kum ve geotekstil) için kabarma hareketi yapabilecek daha kısıtlı bir hacim sözkonusudur. Rölatif sıkılığın ve malzeme etkisinin hacimsel sınırlandırma yapmasını, yüksek basınçla birlikte gelen hacim artışının yendiğini Şekil 6.35’de P=435.85 kpa lık basınç altında görmekteyiz.



Şekil 6.36: SP zemin hacimsel değişimi (Dr : %30, % 60). (Arayüzey geotekstili Örgülü 1)

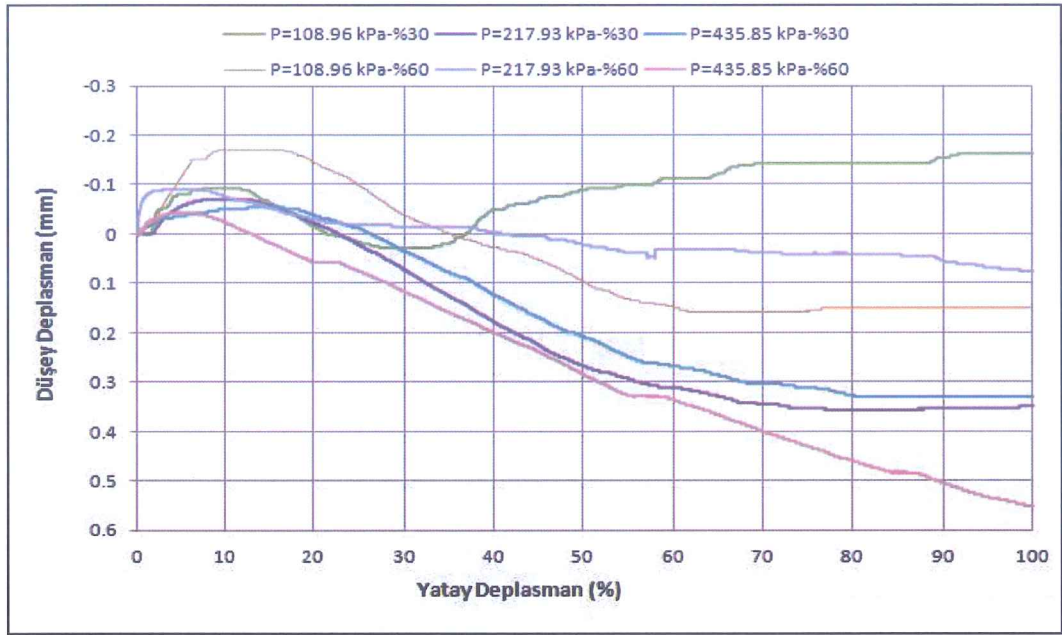


Şekil 6.37: SP zemin hacimsel değişimi (Dr : % 60). (Arayüzey geotekstili örgülü 1).



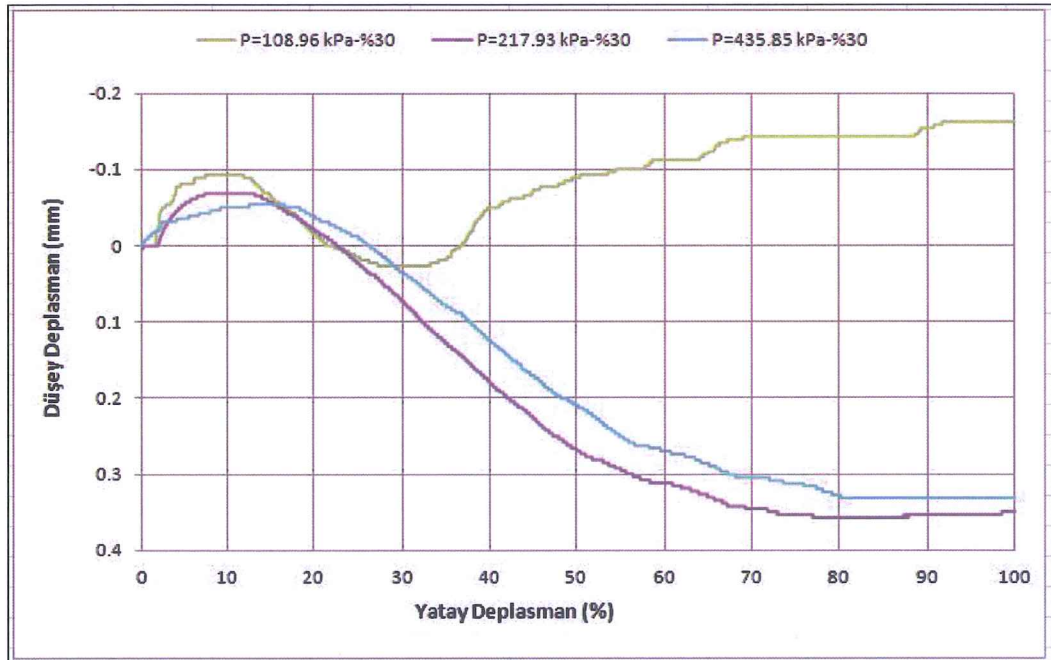
Şekil 6.38: SP zemin hacimsel değişimi (Dr : % 30). (Arayüzey geotekstili örgülü 1).

Yine SP zeminde arayüze örgülü 1 geotekstili yerleştirildiğinde de örgülü 3 geotekstili için yapılmış olan yorumlara benzer yorumlar yapılabilir (Şekil 6.36 – 6.38). Burada dikkat edilmesi gereken nokta örgülü 1 in ön konsolidasyon sonucudur (bkz. Tablo 6.3). Örgülü 1 deneylerde kullanılan en rijit geotekstildir.

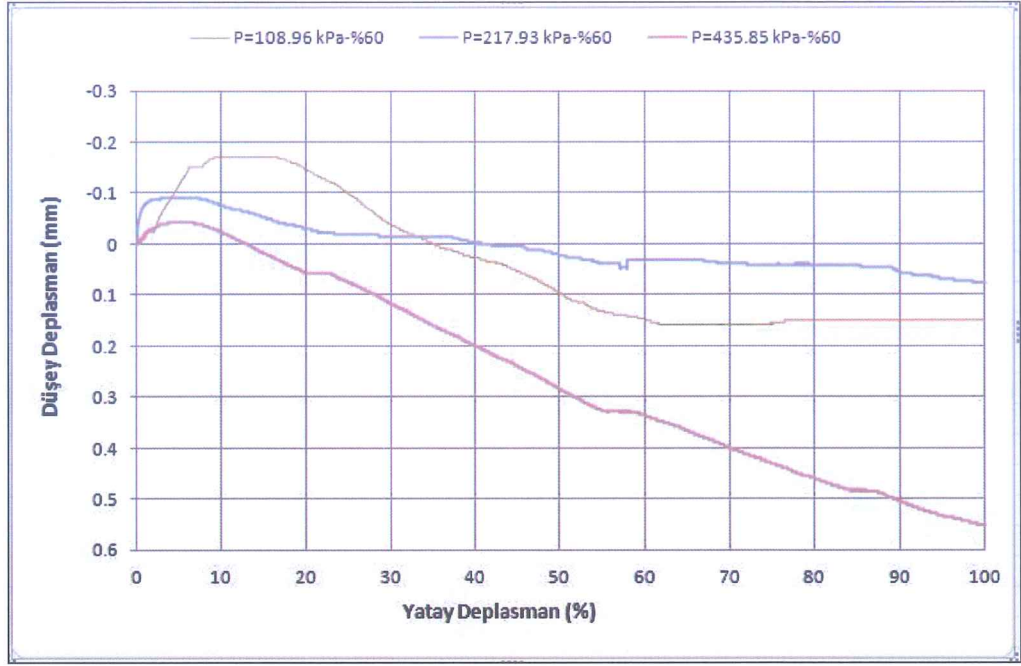


Şekil 6.39: SW zemin hacimsel değişimi (Dr : %30, % 60). (Arayüzey geotekstili örgülü 1).

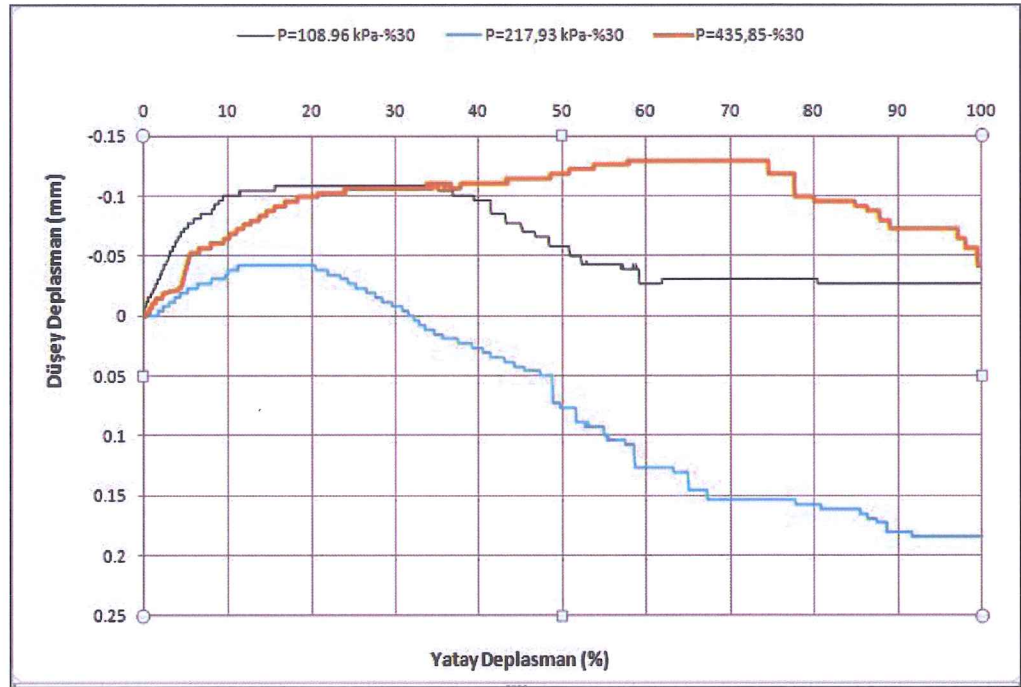
SW zeminler için elde edilen sonuçlarla oluşturulan hacimsel değişim grafikleri incelendiğinde de, kötü derecelendirilmiş zeminler gibi benzer sonuçlar elde edildiği söylenebilir.



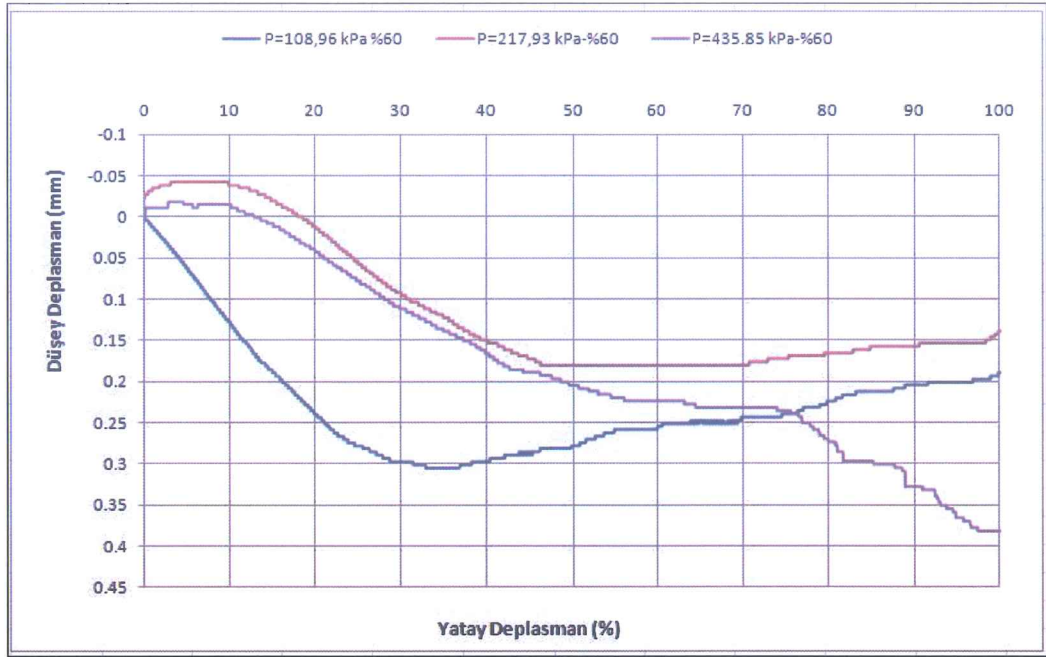
Şekil 6.40: SW zemin hacimsel değişimi (Dr : %30). (Arayüzey geotekstili örgülü 1).



Şekil 6.41: SW zemin hacimsel değişimi ($D_r : \%60$). (Arayüzey geotekstili örgülü 1).



Şekil 6.42: SW zemin farklı normal basınçlar altında hacimsel değişimi ($D_r : \%30$). (Arayüzey de geotekstil yok).



Şekil 6.43: SW zemin farklı normal basınçlar altında hacimsel değişimi (D_r : %60). (Arayüzey de geotekstil yok).

SW donatısız zeminlerde artan rölatif sıkılıkla beraber zeminin içsel sürtünme açısı da artmıştır. Örgülü geotekstillere yapılan deneylerde her iki zemin tipinde eğilimin artış yönünde olduğu söylenebilir. Örgüsüz geotekstillere ile SP zemin tipinde yapılmış olan deneylerde ise deney sonuçlarına göre bu durum söz konusu değildir.

Tablo 6.4 ve tablo 6.5'de yapılan deneylerin sonuçlarında elde edilen kohezyon, sürtünme açısı değerleri ile her bir normal basınca karşılık gelen kesme dayanımları verilmiştir.

Arayüzey davranışını belirlemede zemin sıkılığının etkisi kesindir. Rölatif sıkılık arttıkça gözlenen arayüzey sürtünme açısında arttığı söylenebilir. Kohezyon değerleri ile bir sonuca varmak güçtür. Artan zemin sıkılığıyla birlikte arayüzeyle temas halinde olan tanecik sayısı artmakta, sonuç olarak ise sürtünme açısıyla birlikte kesme dayanımında artış gözlenmektedir. Deney sonuçlarında gözlenen kohezyon değerleri sahte kohezyondur. Bilindiği üzere kumlar, kuru veya doymuş halde kohezyonsuzdur ancak rutubetli halde iken belirgin bir kohezyonları vardır. Oluşan bu sahte kohezyon New South Wales (NSW) Kohezyon Teorisi olarak da bilinen teori ile açıklanabilmektedir.

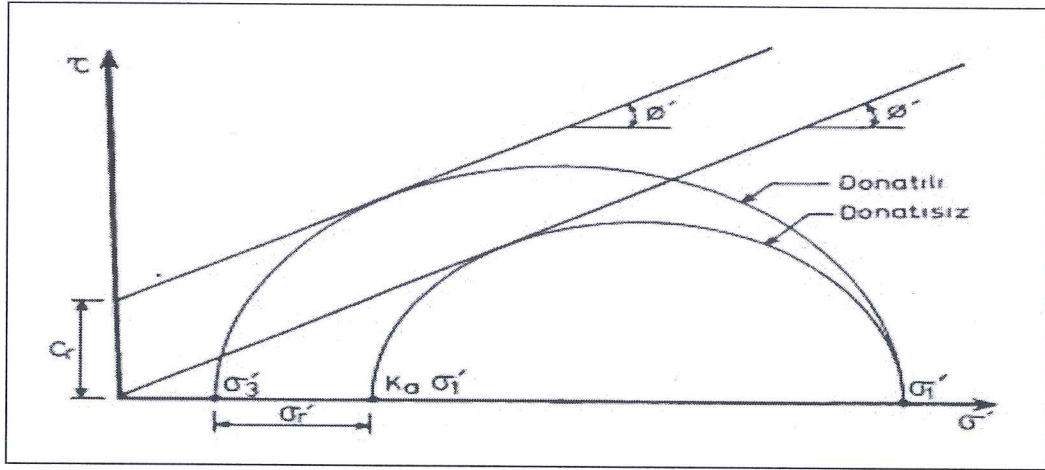
Tablo 6.4: Kesme kutusu deneyleri SP zemin sonuçları.

ARAYÜZEY/ RÖLATİV SIKILIK		Normal Basınç (kPa)/Kesme Dayanımı (kPa)			C-Ca (kPa)	Φ - δ (°)
		108,96 kPa	217,93 kPa	435,85 kPa		
%30	SP-SP	92,6	147,99	325,01	4,09	35,96
	SP-ÖRGÜSÜZ 1	85,4	186,45	338,10	9,57	37,31
	SP-ÖRGÜSÜZ 2	107,3	195,82	371,97	19,23	38,99
	SP-ÖRGÜSÜZ 3	96,56	181,96	320,10	27,49	34,08
	SP ÖRGÜLÜ 1	78,233	152,92	302,71	3,34	34,48
	SP ÖRGÜLÜ 2	83,60	158,26	283,01	21,23	31,16
	SP ÖRGÜLÜ 3	88,52	152,89	295,99	16,97	32,53
%60	SP-SP	98,6	150,01	330,06	8,58	35,94
	SP-ÖRGÜSÜZ 1	105,08	205,20	341,13	37,12	35,30
	SP-ÖRGÜSÜZ 2	105,09	185,08	350,072	22,59	36,85
	SP-ÖRGÜSÜZ 3	92,096	171,67	325,94	14,96	35,54
	SP-ÖRGÜLÜ 1	76,89	147,97	292,82	4,45	33,78
	SP ÖRGÜLÜ 2	78,25	148,89	295,53	4,93	33,66
	SP ÖRGÜLÜ 3	86,73	163,62	310,70	13,19	34,36

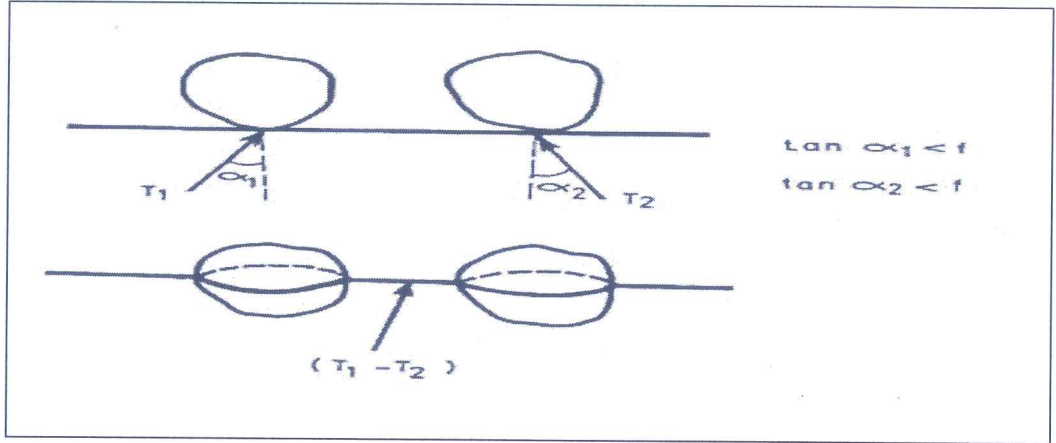
Tablo 6.5: Kesme kutusu deneyleri SW zemin sonuçları.

ARAYÜZEY/ RÖLATİV SIKILIK		Normal Basınç (kPa)/Kesme Dayanımı (kPa)			C-Ca (kPa)	Φ - δ (°)
		108,96 kPa	217,93 kPa	435,85 kPa		
%30	SW-SW	89,99	184,16	342,71	10,72	37,47
	SW- ÖRGÜSÜZ 1	93,44	178,99	340,29	12,79	36,98
	SW- ÖRGÜSÜZ 2	101,50	179,60	342,91	19,84	36,51
	SW- ÖRGÜSÜZ 3	97,02	181,95	342,02	16,99	36,78
	SW ÖRGÜLÜ 1	93,44	179,28	320,38	22,89	34,51
	SW ÖRGÜLÜ 3	96,52	165,84	350,05	4,42	38,15
%60	SW-SW	101,48	189,55	365,85	13,33	38,97
	SW-ÖRGÜSÜZ 1	87,18	184,33	348,26	5,21	38,38
	SW-ÖRGÜSÜZ 2	92,56	187,65	329,62	21,58	35,55
	SW-ÖRGÜSÜZ 3	88,52	170,59	330,43	8,60	36,47
	SW-ÖRGÜLÜ 1	88,09	158,73	316,56	9,18	35,09
	SW ÖRGÜLÜ 3	98,42	176,14	362,02	5,48	39,11

Hausmann tarafından New South Wales Teknoloji Enstitüsü'nde yürütülen bir seri araştırma sonucu, oluşumu savunulan teoriye göre donatılı kohezyonsuz zeminlerde donatı kopması ile meydana gelen göçme durumunda, zeminin yanal genişlemesi, değeri statik olarak zemin-donatı arasındaki sürtünme kuvvetine eş bir " σ_r ' sabit öngerilmesi" doğurur. Bu öngerilmenin maksimum değeri ise donatı malzemesinin çekme mukavemeti ile tayin olunur. Sabit bir öngerilme altında kayma mukavemetindeki artım C_r psödo-kohezyon değeri ile sağlanır (Şekil 6.44). Daha yalın bir ifade ile Vidal (1978), psödo-kohezyon kavramını donatı şeridi ve ona temas eden iki zemin danesini gözönüne alarak açıklamıştır (Şekil 6.45). Eğer, donatı ile daneler arasındaki temas kuvvetlerinin (T_1, T_2) donatı normal düzlemiyle yaptıkları açılar (α_1, α_2) zemin-donatı sürtünme açısından küçük ise donatı $dT=T_1-T_2$ kuvvetine eşit bir kuvvetle iki daneyi birbirine çekiyormuş gibi etkir. Sürtünme direnci aşılmadığı sürece daneler birbirine bağlıymış, diğer bir ifadeyle kohezyona sahipmiş gibi davranırlar. Deney sonuçlarında gözükten kohezyon değerleri bahsi geçen teori doğrultusunda irdelenebilir. Aksi takdirde gözükten kohezyon değerleri "0" olarak raporlanmalıdır.

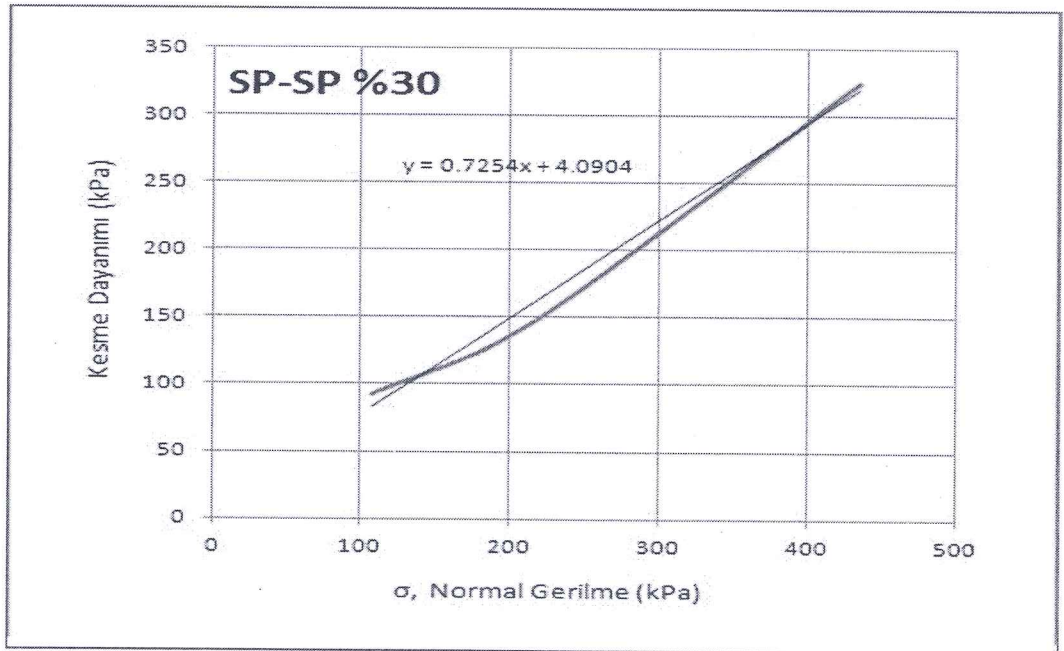


Şekil 6.44: Donatılı kohezyonsuz zeminlerde sabit σ_r ' öngerilmesi altında göçme (Ingold, 1982).

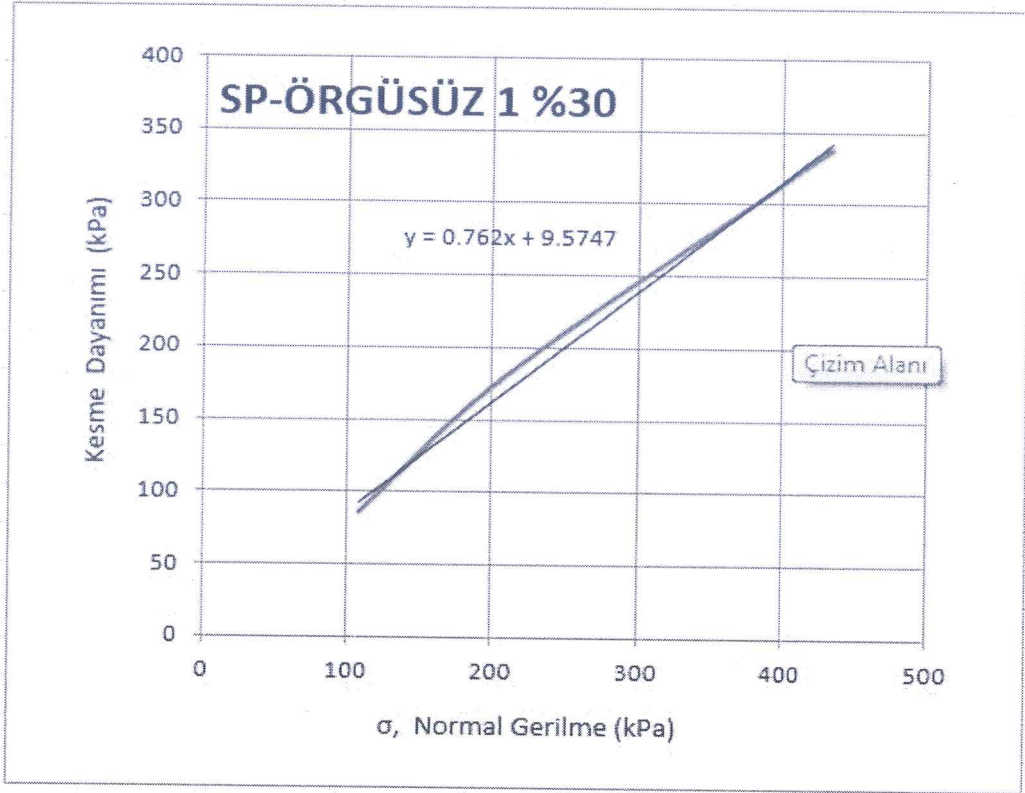


Şekil 6.45: Donatılı zeminde Psödo-Kohezyon oluşumu (Vidal, 1978).

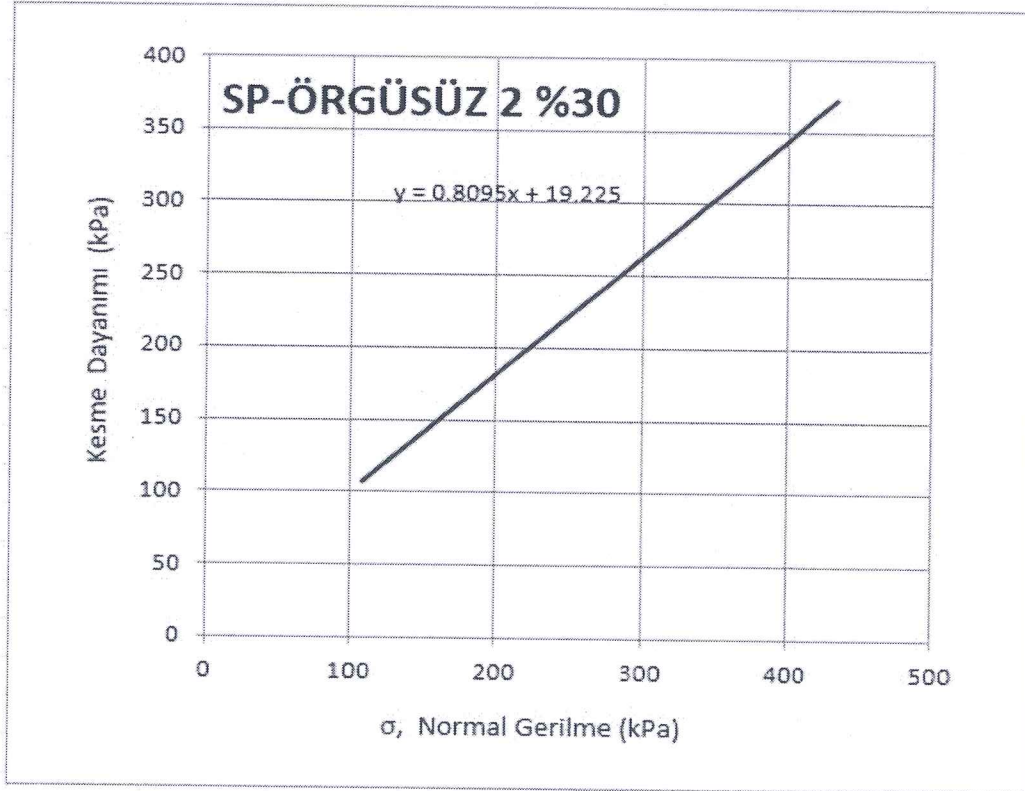
Tablo 6.4 ve 6.5’de gösterilen kohezyon ve içsel sürtünme açılarını bulmak için kullanılan Mohr-Coulomb kırılma zarfları, iki farklı zemin (SP ve SW) ve iki farklı rölatif sıklık (Dr: %30 ve %60) için 6 farklı geotekstil kullanılarak yapılmış olan kesme kutusu deneylerinden elde edilen kesme dayanımı ve normal gerilme sonuçlarına bağlı olarak elde edilmiştir (Şekil 6.46 - 6.71).



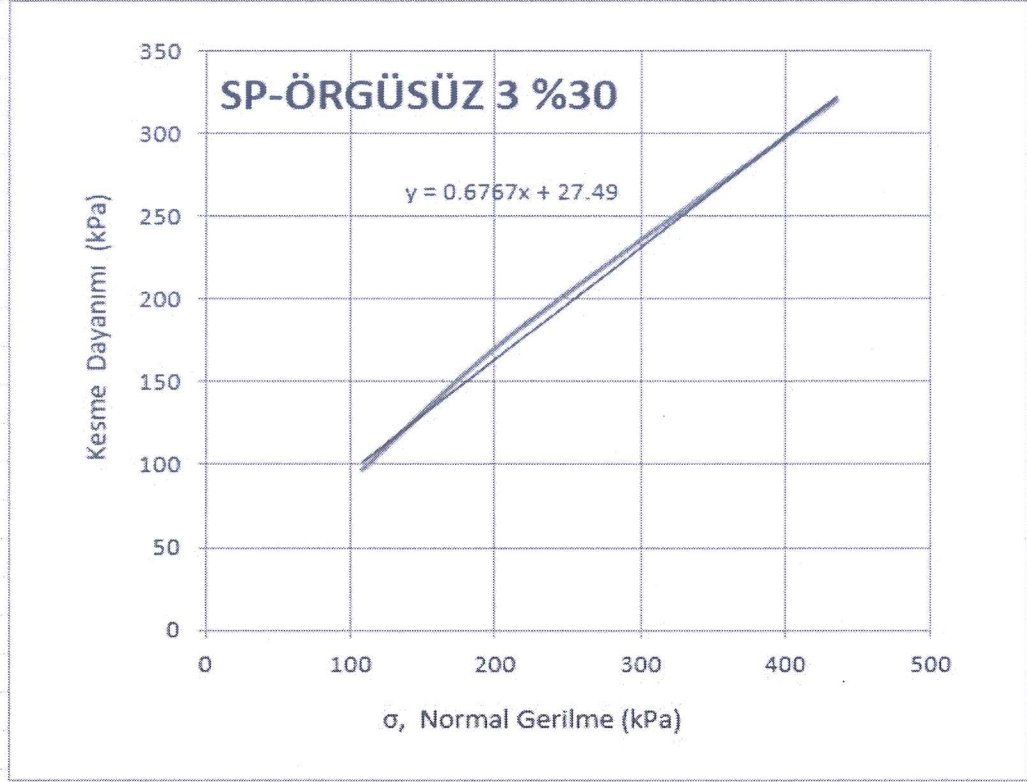
Şekil 6.46: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzeyde geotekstil yok).



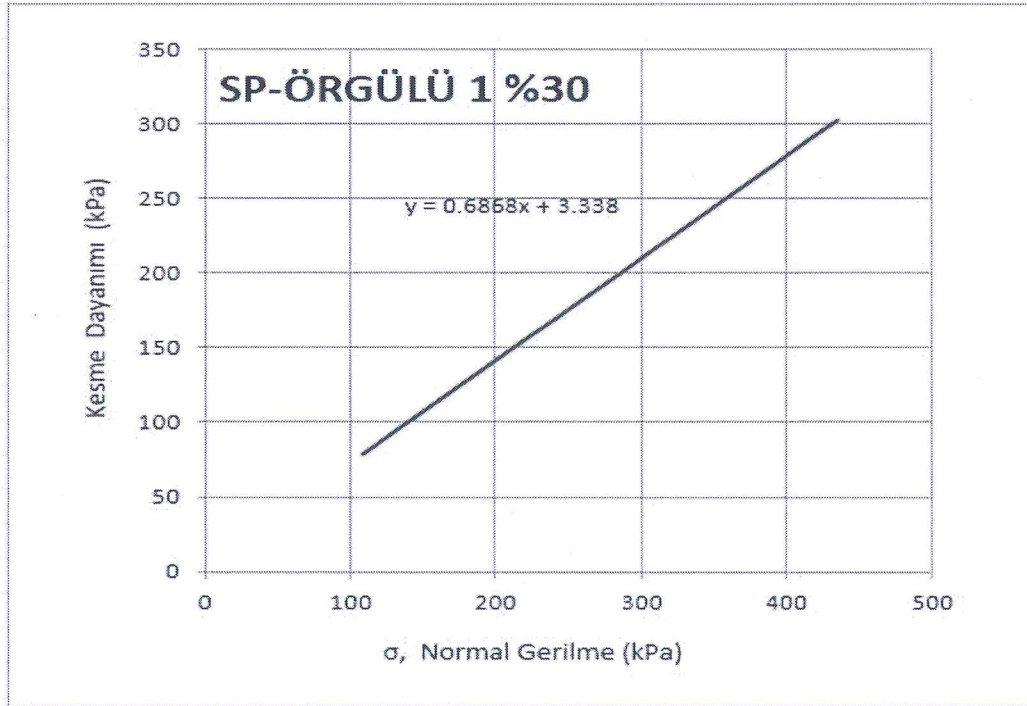
Şekil 6.47: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 1).



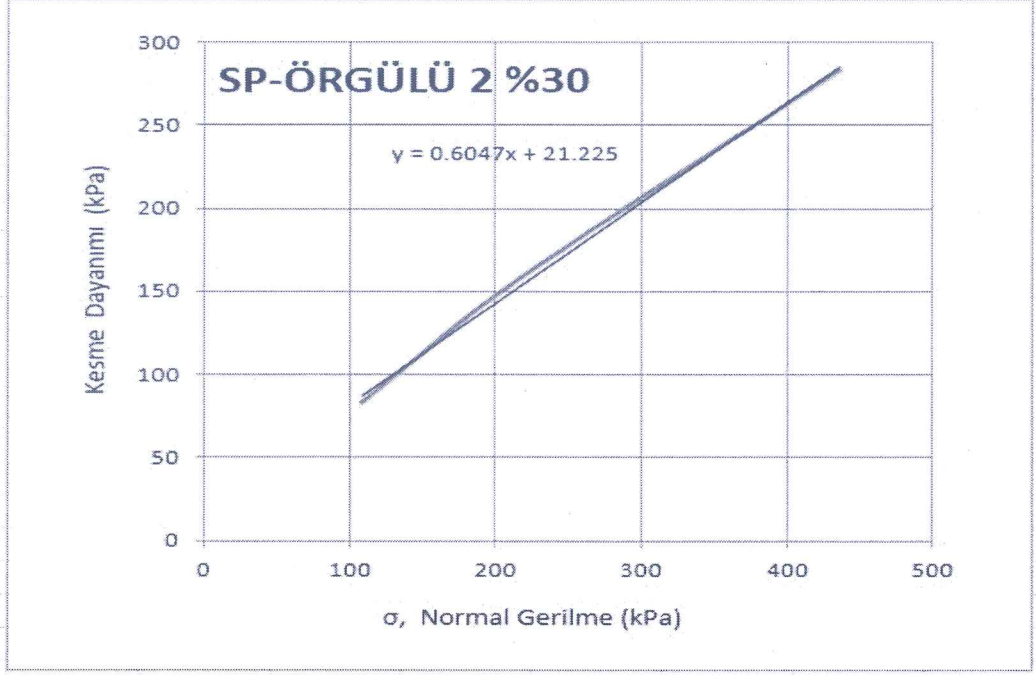
Şekil 6.48: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 2).



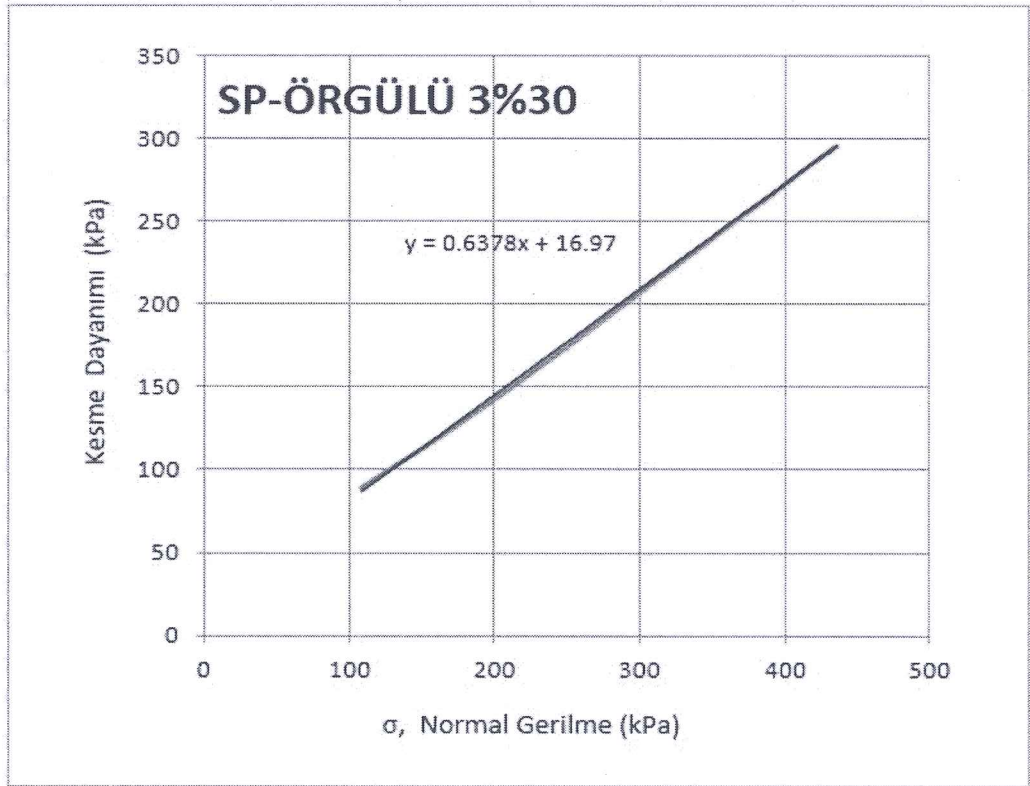
Şekil 6.49: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 3).



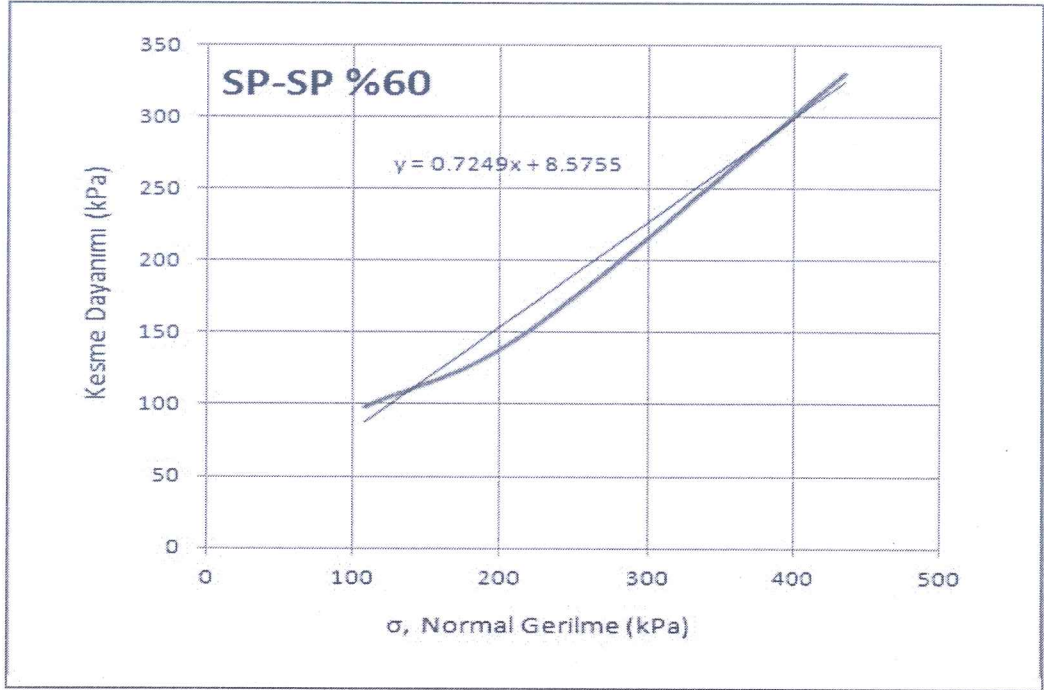
Şekil 6.50: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 1).



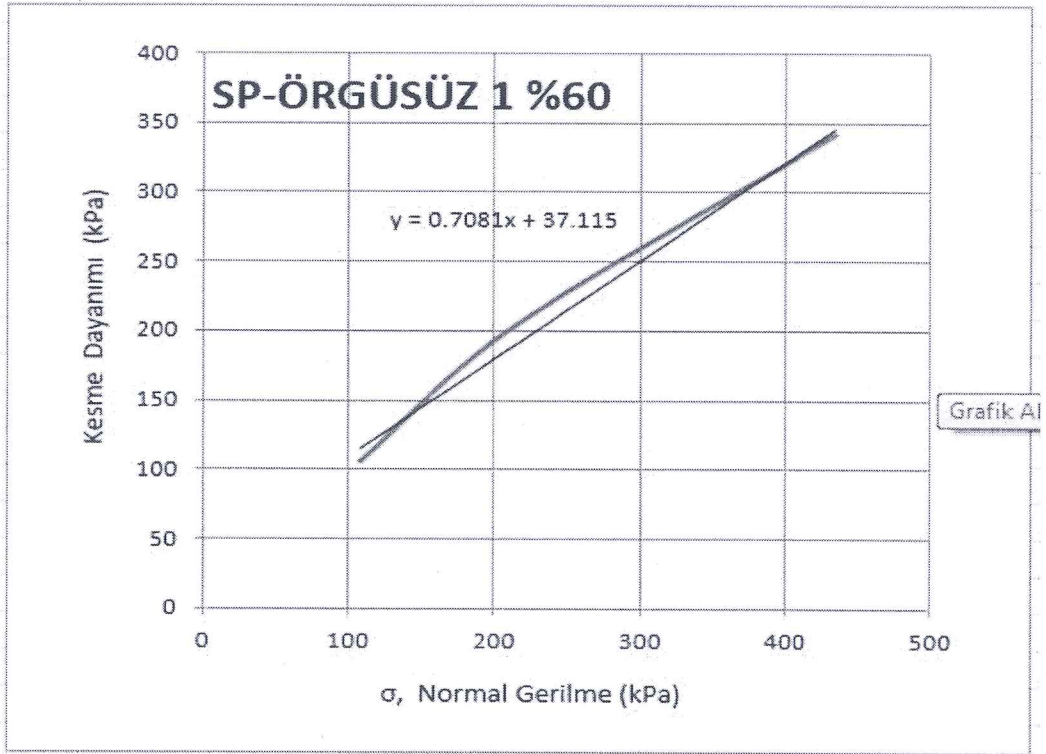
Şekil 6.51: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 2).



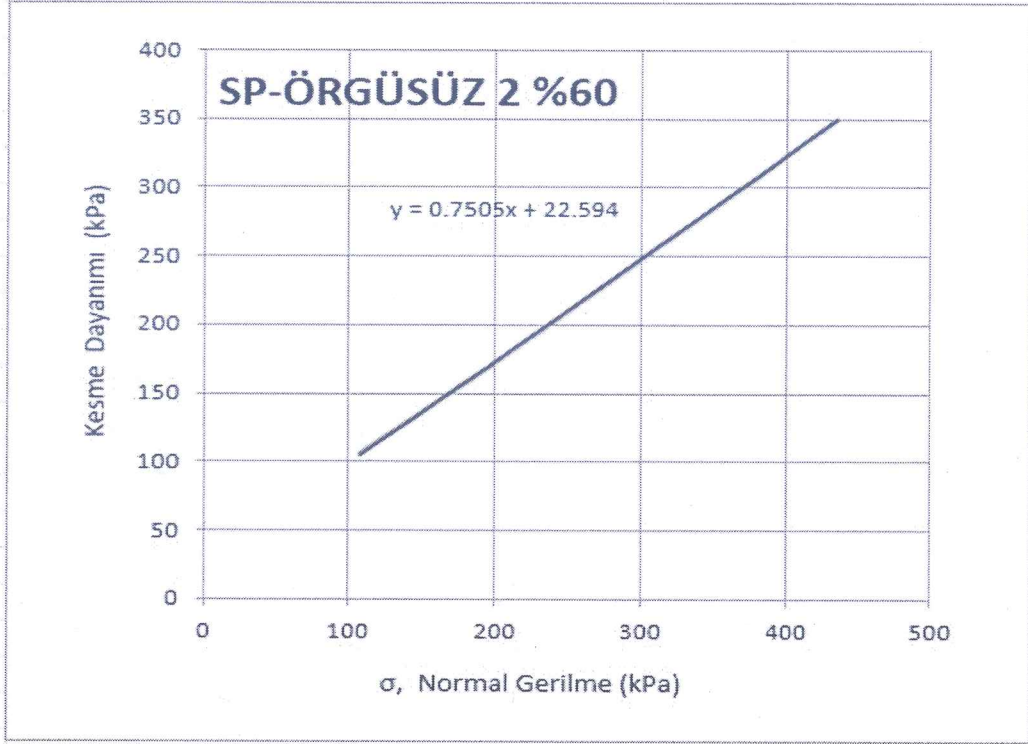
Şekil 6.52: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 3).



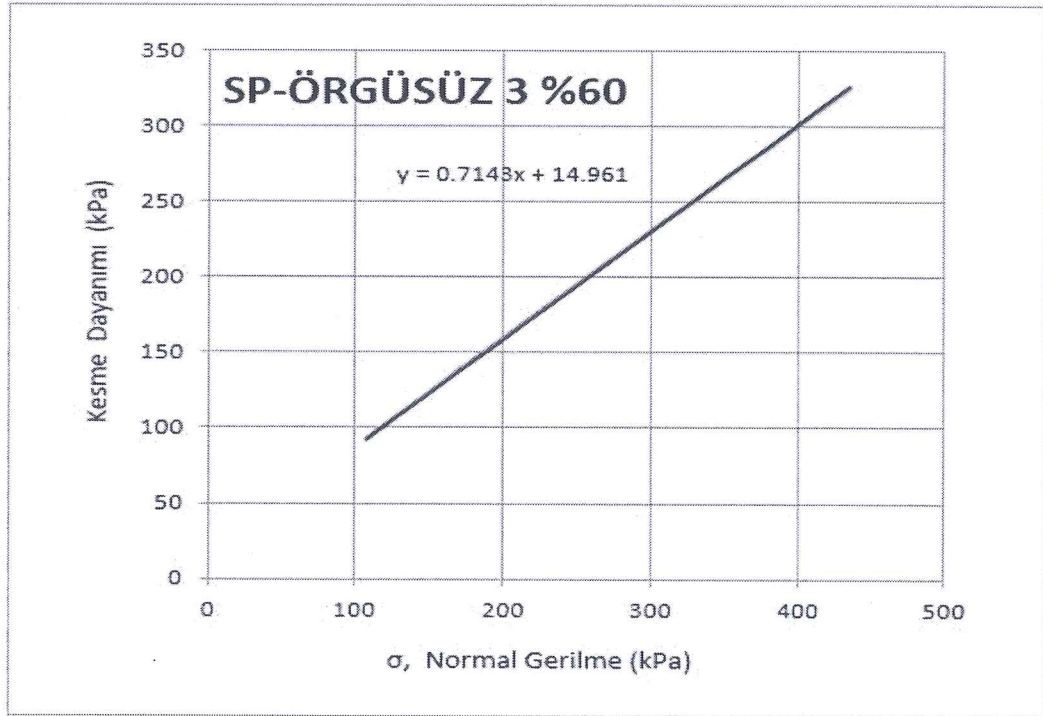
Şekil 6.53: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzeyde geotekstil yok).



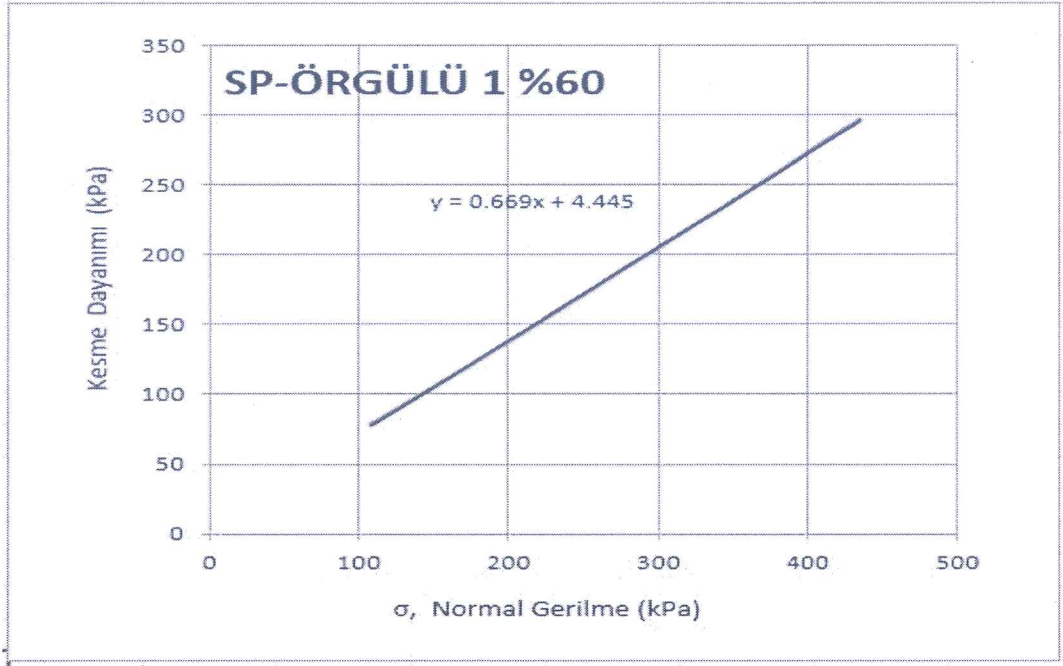
Şekil 6.54: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 1).



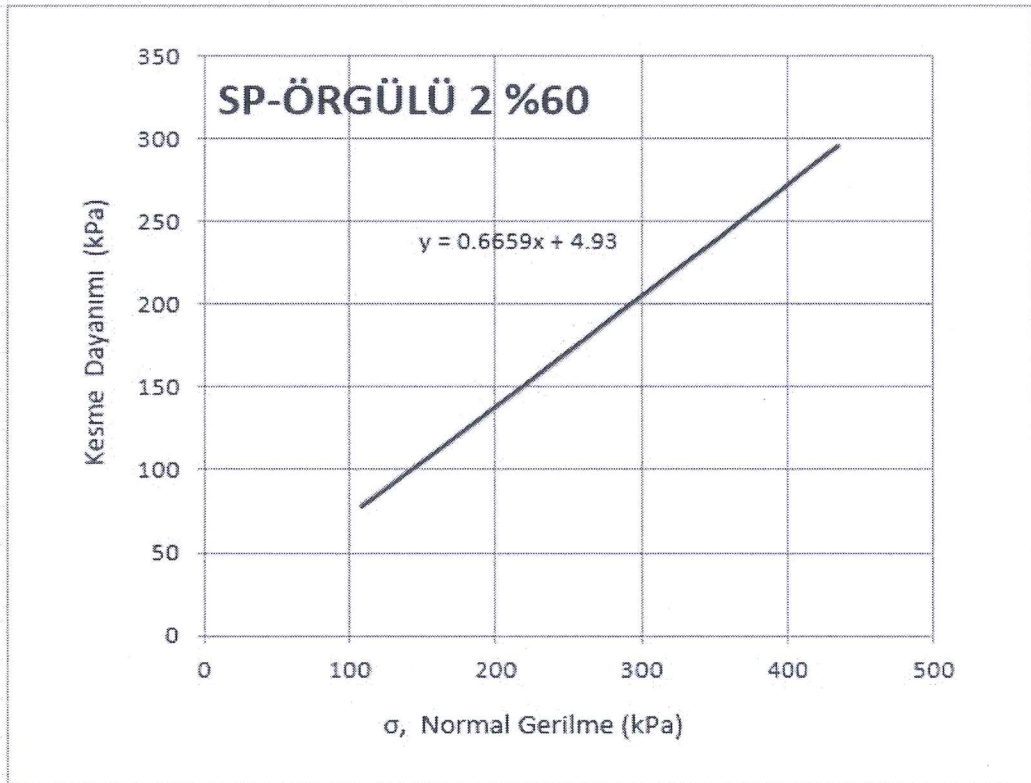
Şekil 6.55: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 2).



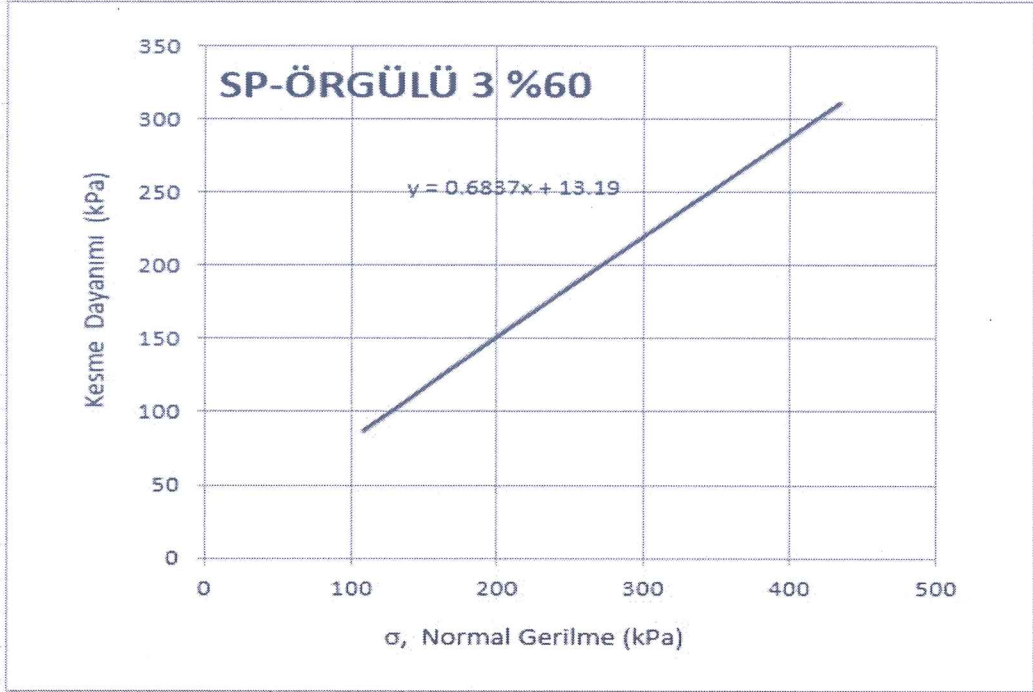
Şekil 6.56: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 3).



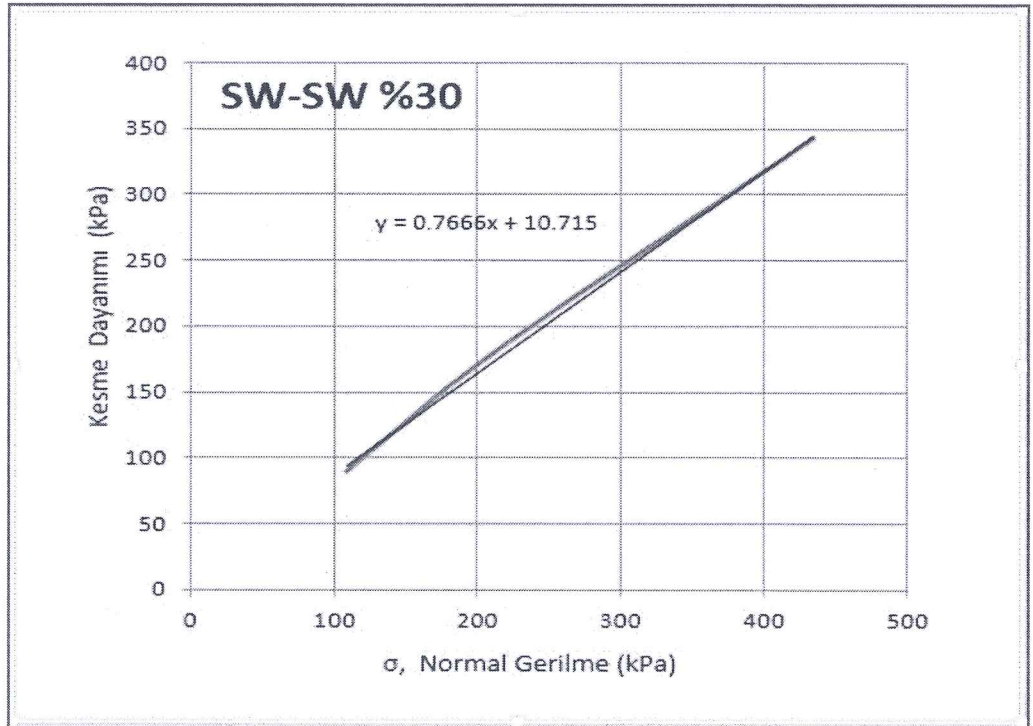
Şekil 6.57: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 1).



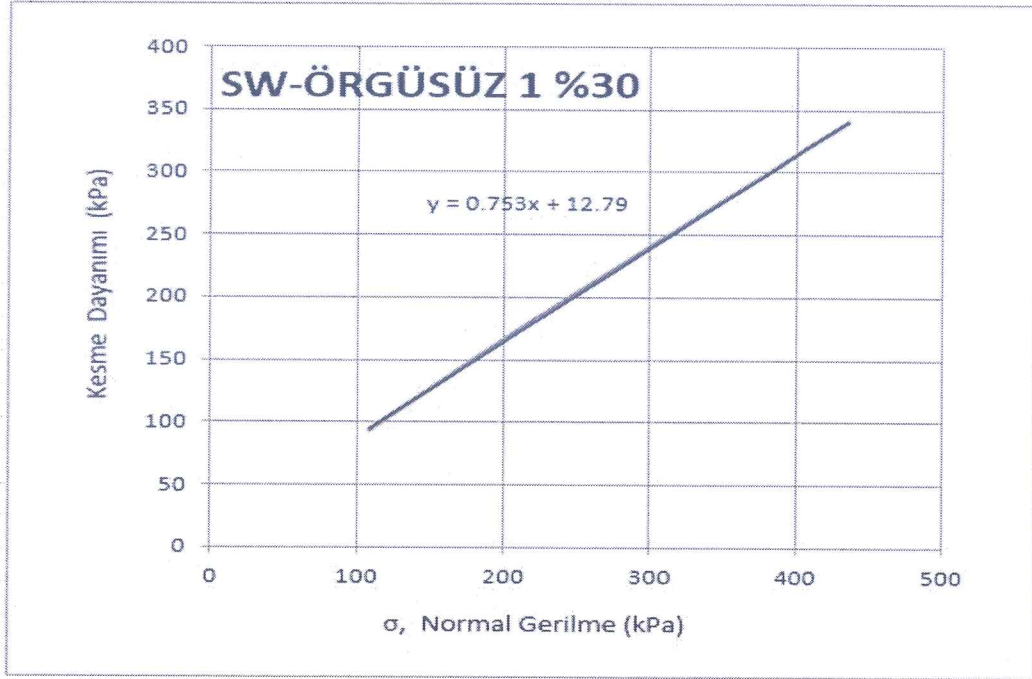
Şekil 6.58: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 2).



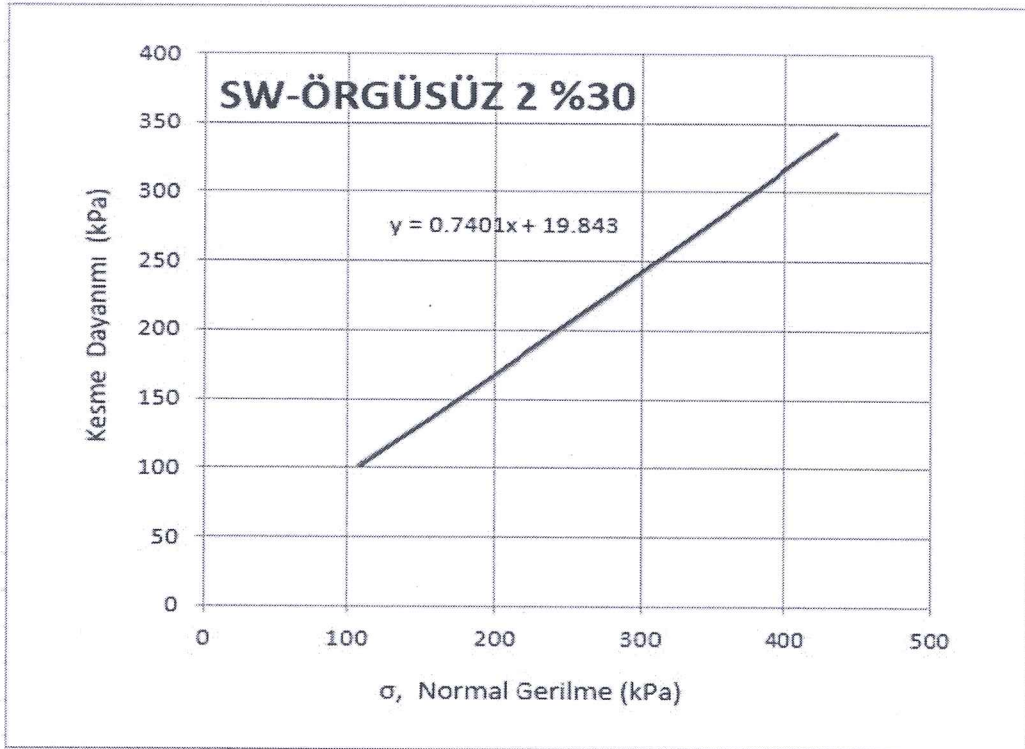
Şekil 6.59: SP zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 3).



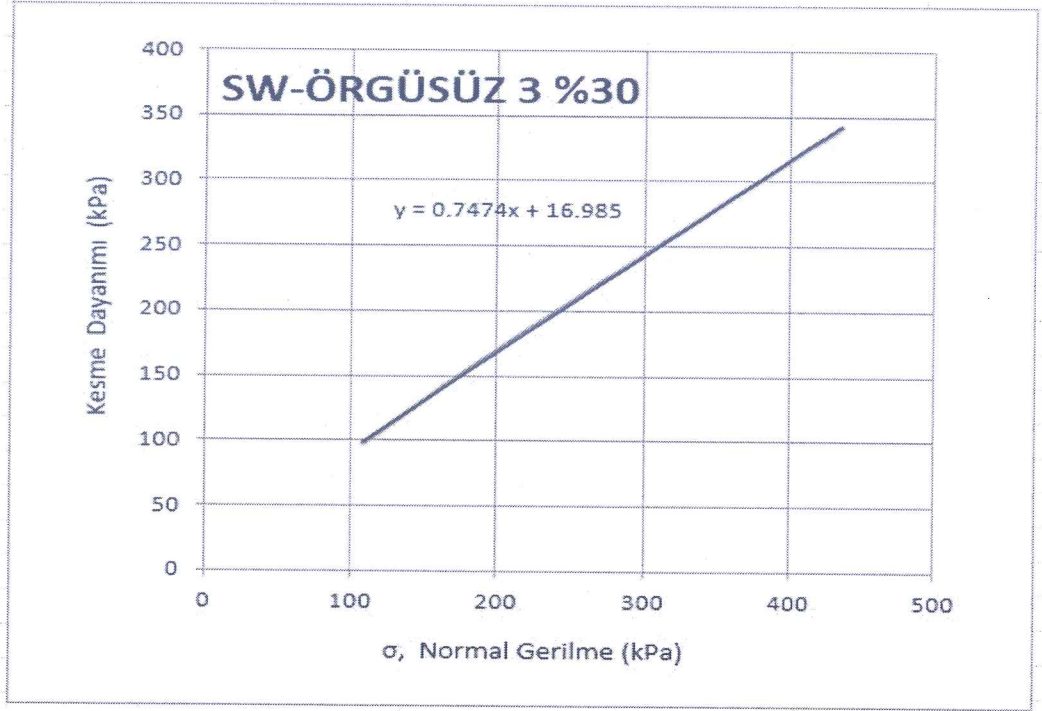
Şekil 6.60: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzeyde geotekstil yok).



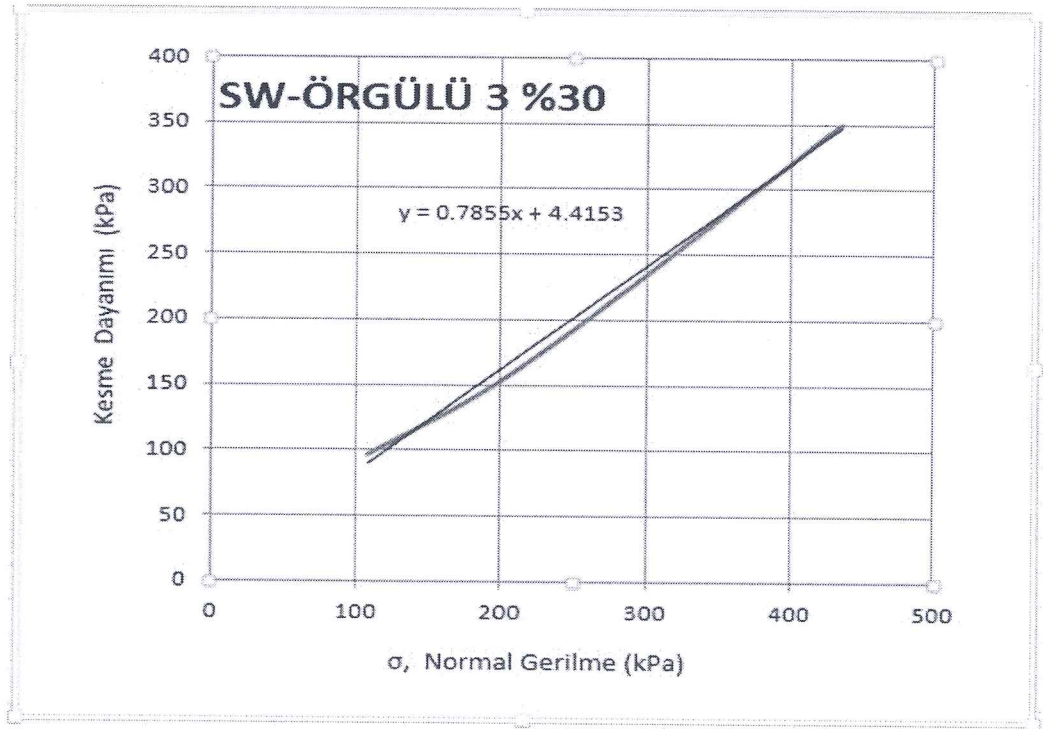
Şekil 6.61: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 1).



Şekil 6.62: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 2).



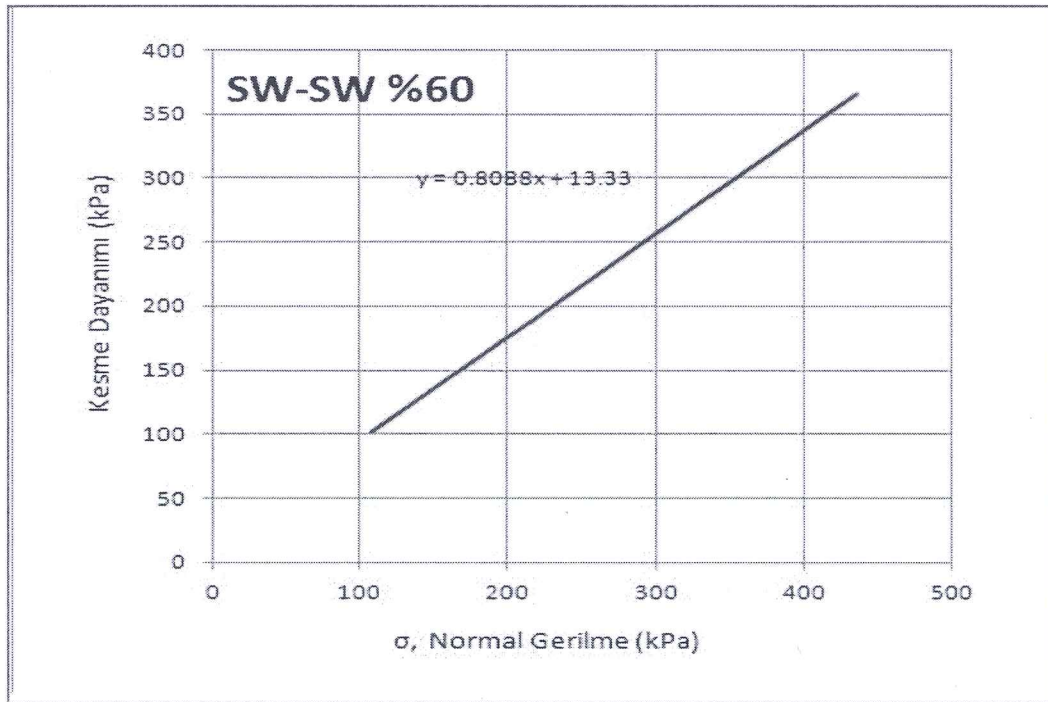
Şekil 6.63: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgüsüz 3).



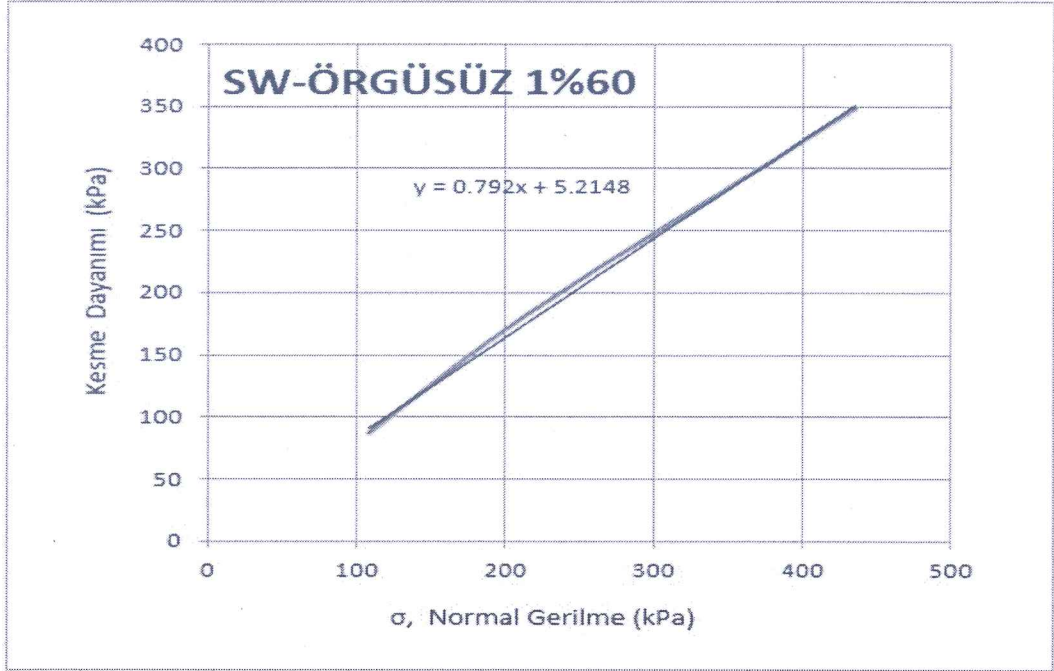
Şekil 6.64: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 3).



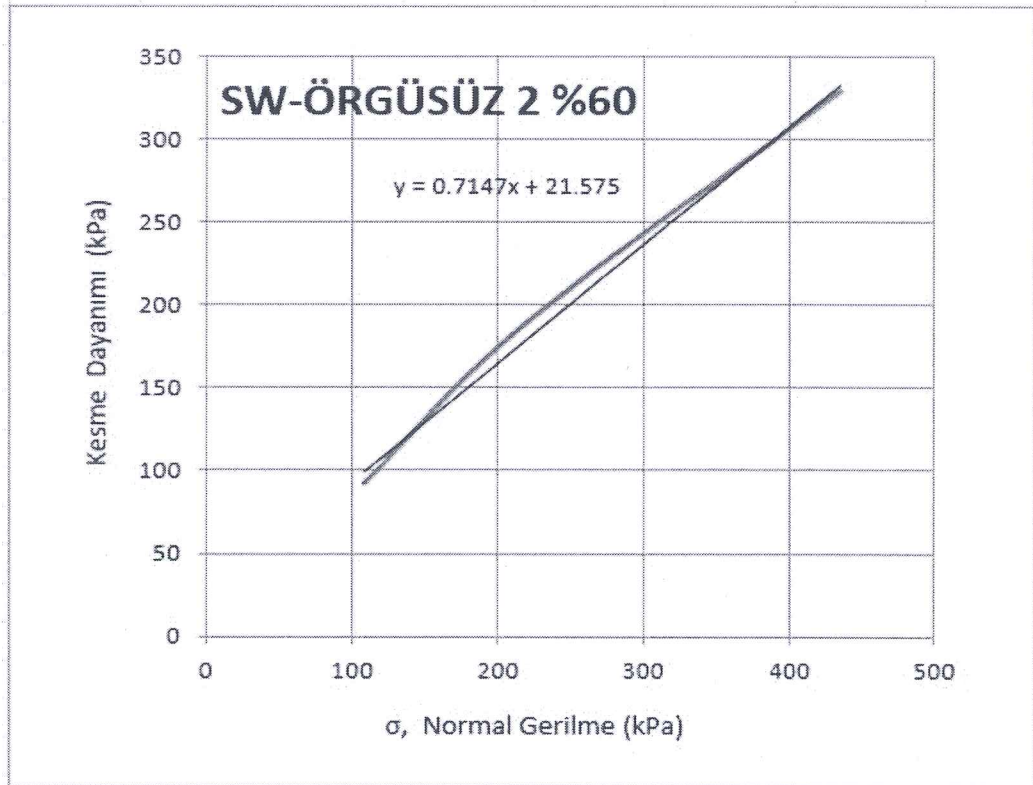
Şekil 6.65: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %30, arayüzey geotekstili örgülü 1).



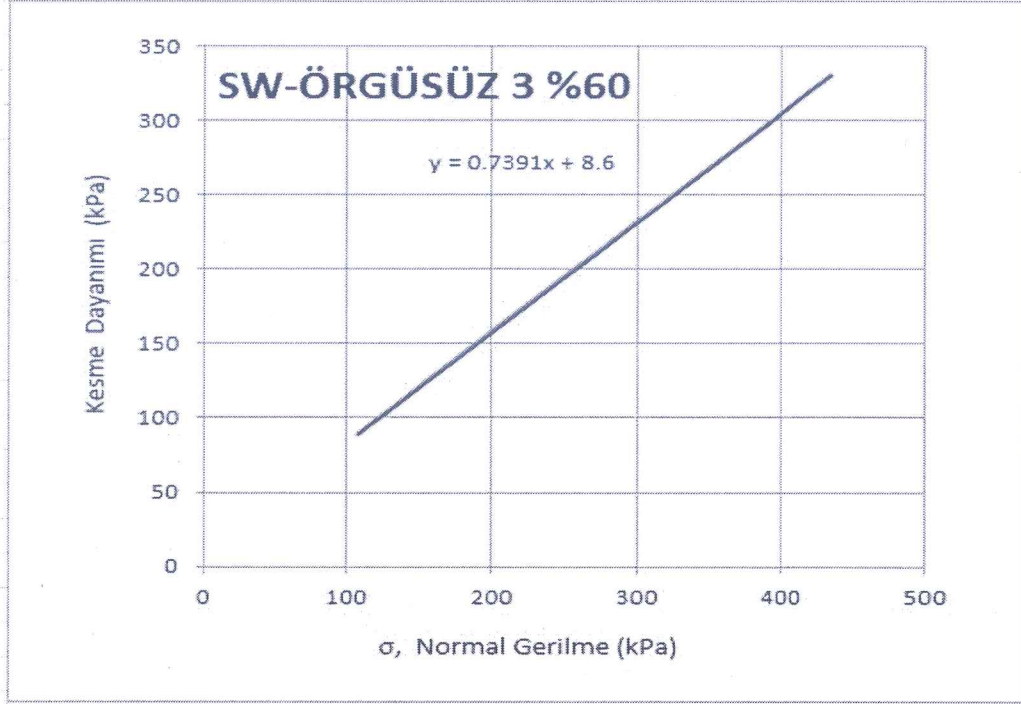
Şekil 6.66: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzeyde geotekstil yok).



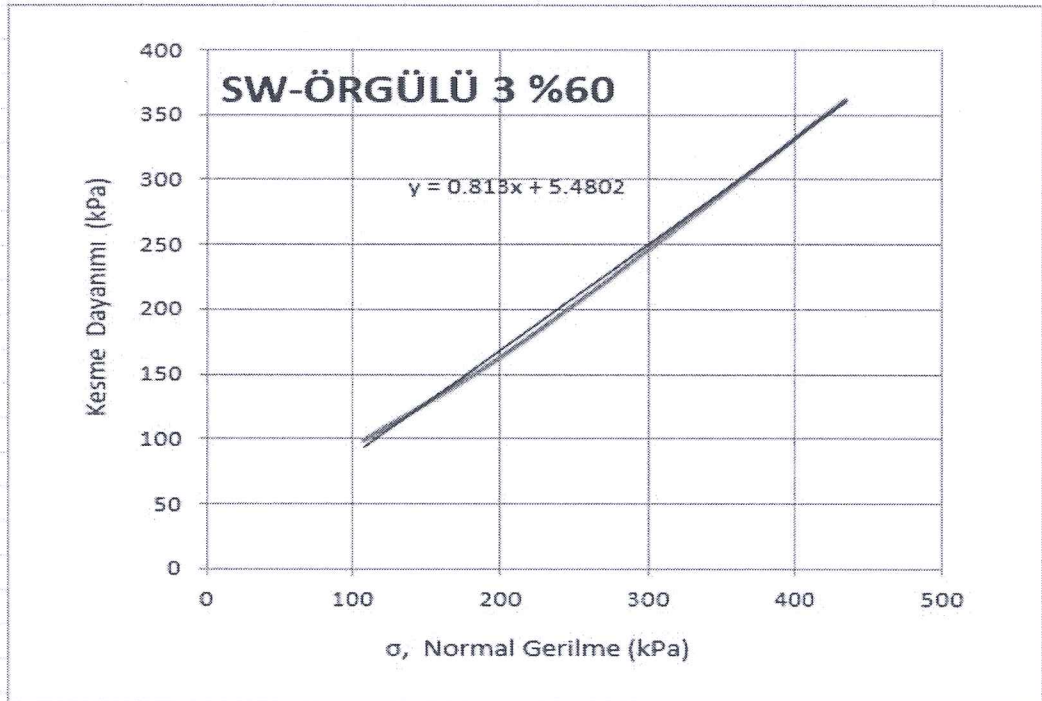
Şekil 6.67: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 1).



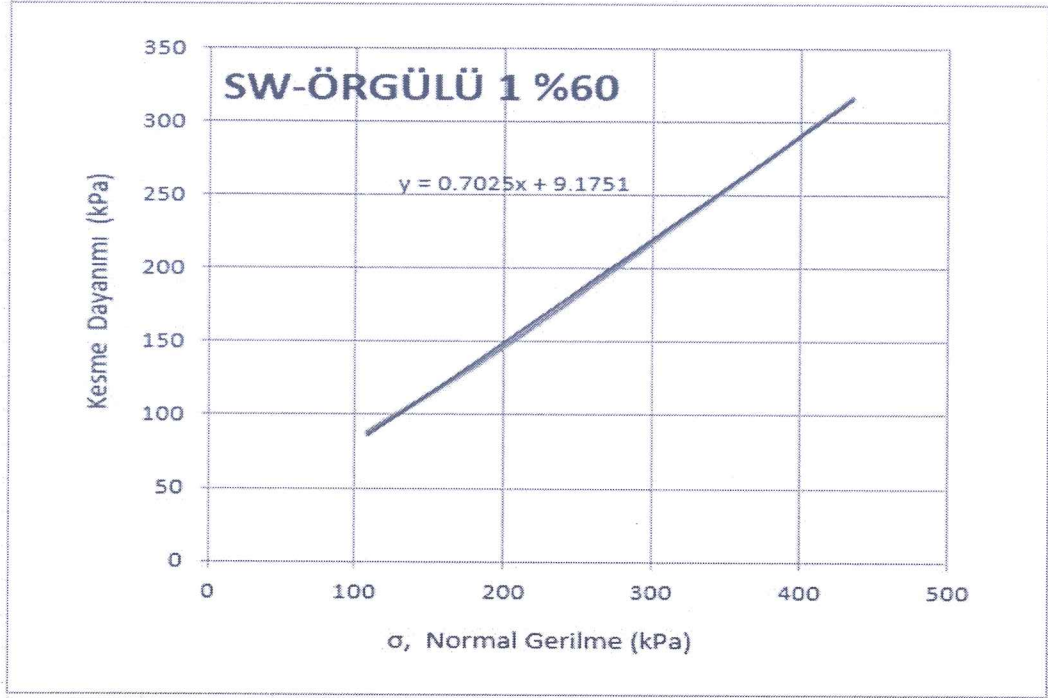
Şekil 6.68: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 2).



Şekil 6.69: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgüsüz 3).



Şekil 6.70: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 3).



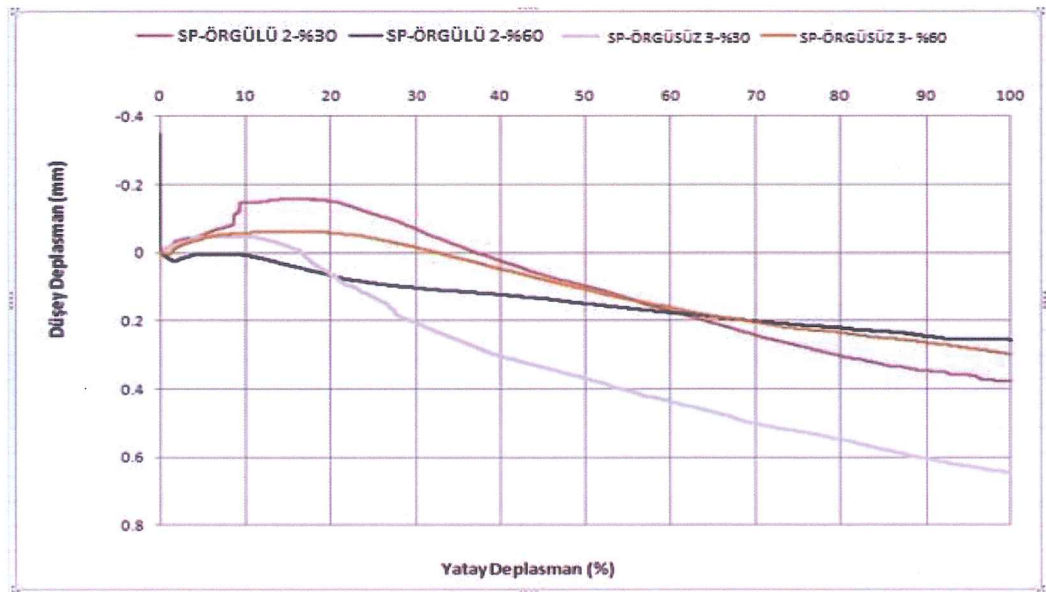
Şekil 6.71: SW zemin için Mohr-Coulomb kırılma zarfı (Dr : %60, arayüzey geotekstili örgülü 1).

6.6.3 Zemin Gradasyonunun Arayüzey Davranışına Etkisi

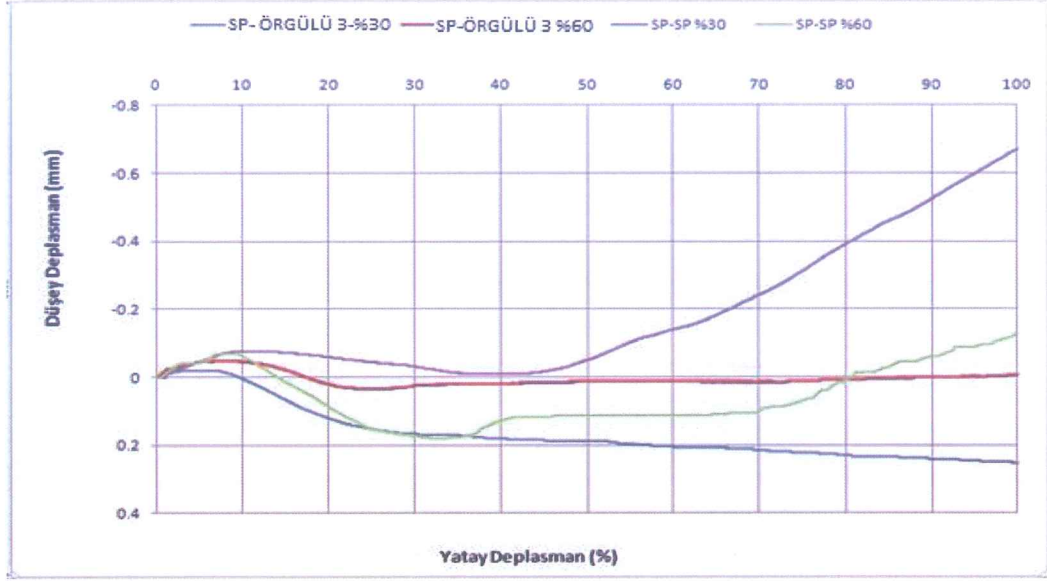
İyi derecelendirilmiş zeminler, kötü dercelendirilmiş zeminlere oranla daha iyi arayüzey sürtünme dayanımı sağlar. Kepsut kumuna ait iki farklı gradasyonla ayrıştırılan zeminlerin 6 tip geotekstil donatı ile beraber davranışları incelenmiştir. İki farklı gradasyondaki zemin ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’de verilmiştir.

Kum zeminin derecelenmesi göz önüne alındığında, düşük ve yüksek normal gerilme aralıklarında yapılan deneylerde, hem sıkı hemde gevşek sıkılık durumlarında iyi derecelenmiş kum ile olan ara yüzeylerin kötü derecelenmiş kum ile olan ara yüzeylerden teorik olarak daha yüksek arayüzey açıları vermeleri gerekir. Kum zeminin sıkılık durumu göz önüne alındığında ise, normal gerilme aralığı ve zeminin derecelenmesi ne olursa olsun sıkı durumda elde edilen sürtünme açılarının gevşek durumda elde edilenlerden daha yüksek olması beklenir (Erdoğan D. , Altun S. ; 2008).

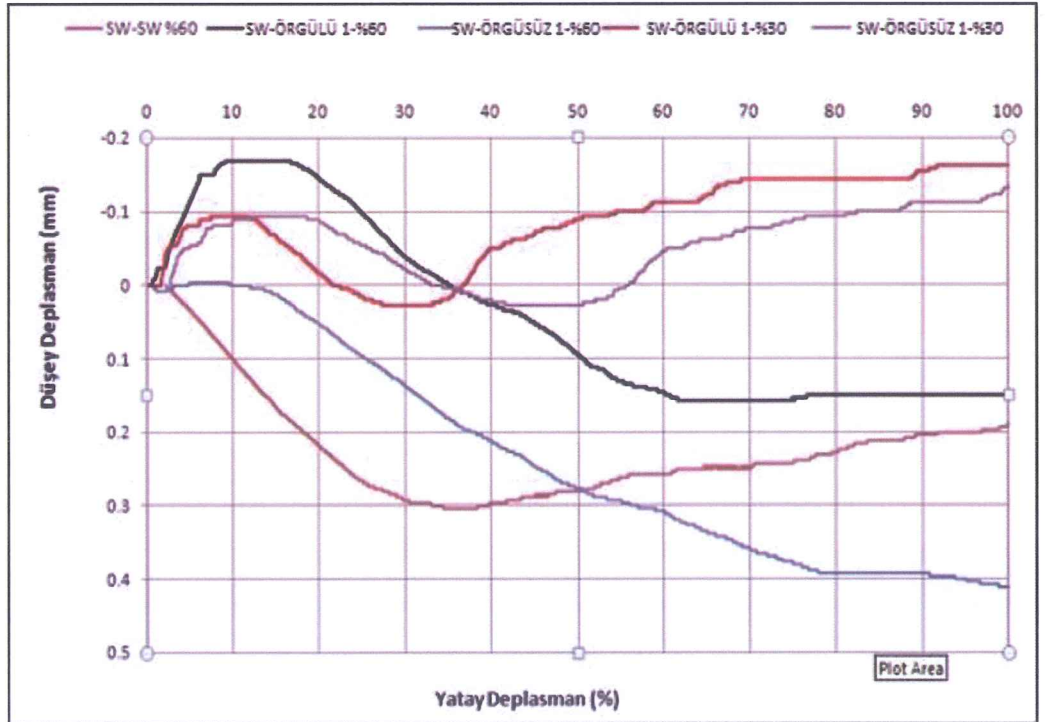
Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’de görüldüğü gibi SP zeminlerde elde edilen sürtünme dayanımları SW zeminlerden çoğu zaman daha az çıkmıştır. Kesme dayanımındaki farklılıklar donatılı ve donatısız zeminler de de artan normal basınçla beraber daha belirgin olarak görülmeye başlamıştır. Kesme dayanımlarında gözlenen bu farklılığın hacimsel değişim grafiklerindeki karşılığının ne olduğunu anlamak için Şekil 6.72, Şekil 6.73, Şekil 6.74, Şekil 6.75 ve Şekil 6.76’de $P=108,96$ kpa ile $P=217,93$ kpa basınç altında SW ve SP ile 6 farklı geotekstil arayüzeylerinden oluşan hacimsel değişim grafikleri verilmiştir. İyi gradasyonlu olan SW zeminde bütün geotekstillere arayüzeylerde hacimsel artış daha fazla olmuş iken, üniform gradasyonlu olan zeminde tanecikelerin genişleme durumları daha az olmuştur. Özellikle donatısız SW zeminde görünen genişleme miktarı donatısız SP zeminde gözlenen artıştan çok daha fazladır (Şekil 6.73, Şekil 6.74). Grafiklerde donatıların arayüze etkisini göstermekten çok, SW ve SP zeminlerde ki hareket eğilim farkını göstermek amaçlanmıştır. SW arayüzeylerde hacimsel değişimler ve hacim azalmaları belirgindir. Bunun sebebi zemin ortalama dane boyutlarının farklı olmasıdır. 6×6 cm’ lik numune boyutlarıyla ve 1 mm/dak kesme hızıyla SW zeminde 5, SP zeminde ise 6 farklı geotekstilin arayüzey davranış parametreleri (arayüzey dayanımları, kohezyon ve sürtünme açıları) Tablo 6.4 ve Tablo 6.5’de verilmişti. SW ve SP zeminleri arasında içsel sürtünme açıları arasında ortalama 2° lik fark (% 30 sıklık için 1° ve % 60 sıklık için 3°) zemin dane boyutunun ne kadar önemli bir etken olduğunu gösterir.



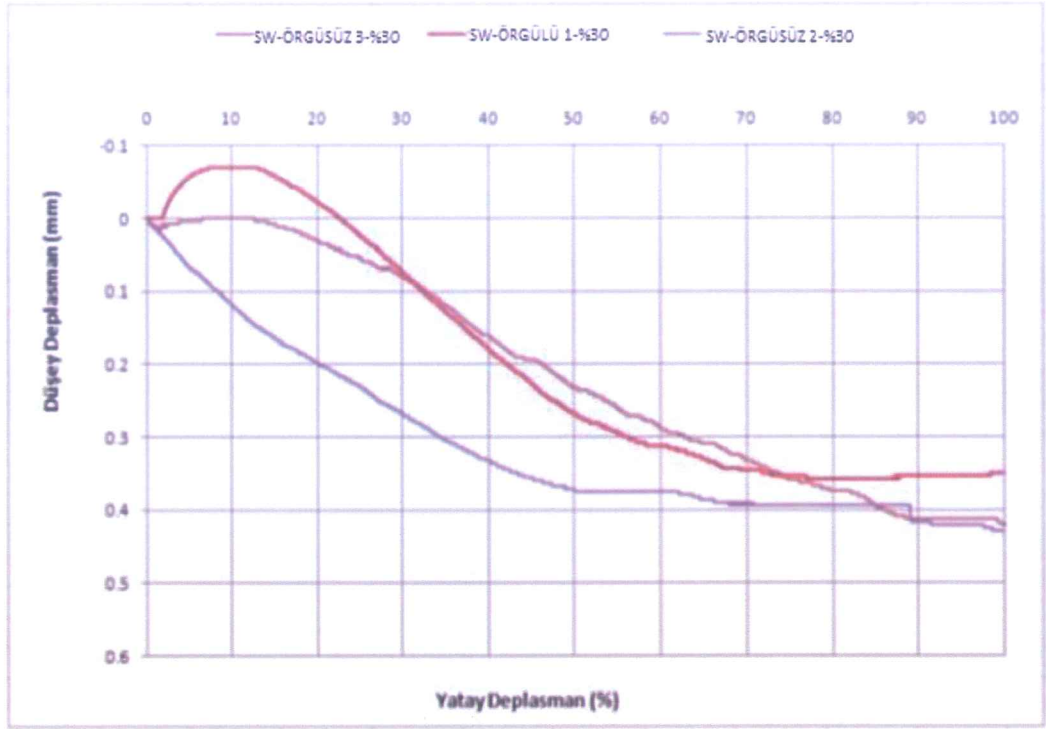
Şekil 6.72: SP Zemin hacimsel değişim grafikleri; P=108,96 kPa.



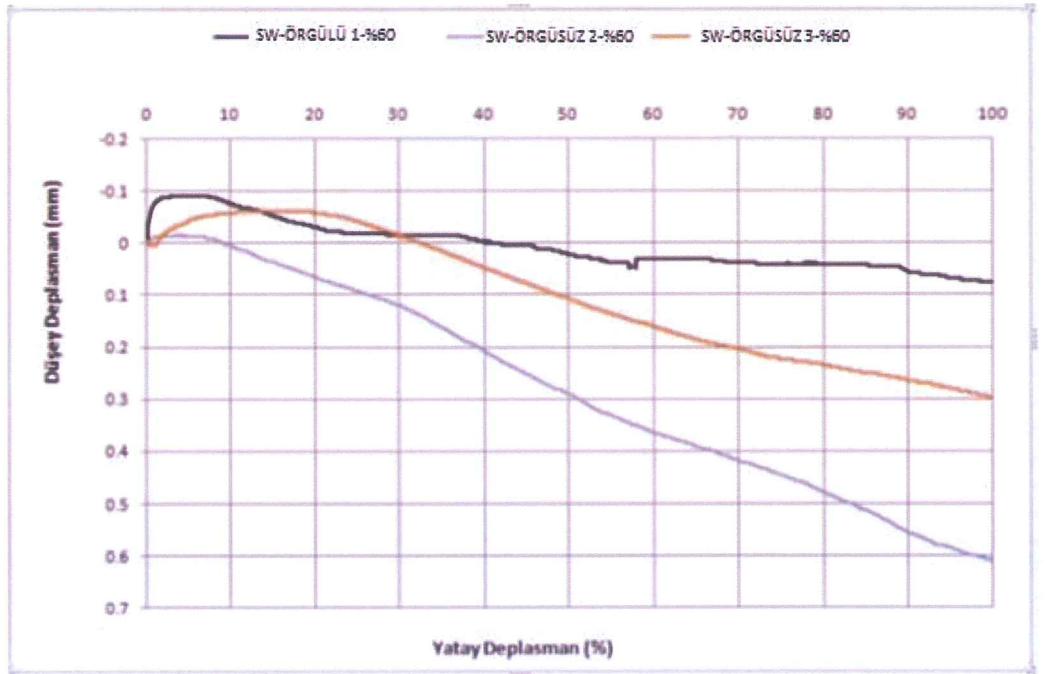
Şekil 6.73: SP Zemin hacimsel değişim grafikleri; P=108,96 kPa.



Şekil 6.74: SW Zemin hacimsel değişim grafikleri; P=108,96 kPa-Dr : %30



şekil 6.75: SW Zemin hacimsel değişim grafikleri; P=217,93 kPa-Dr :%30



şekil 6.76: SW Zemin hacimsel değişim grafikleri; P=217,93 kPa-Dr: %60

Yine daha önceki bir çalışmada SW zeminlerdeki hacimsel artışın (genleşme hareketi) SP zeminlerden daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bunun sebebi zemin ortalama dane boyutlarının farklı olmasıdır. Şöyle ki, aynı anda yatay ve düşey basınç altında bir taneciğin başka bir tanecik üzerinden geçerek genleşme hareketi yapacağını düşünelim. Burada tanecik boyutu büyük olan küçük olana göre daha fazla alanı etkileyeceği için zeminde gözlenen genleşme ve kabarma hareketi daha fazla olacaktır. Aynı şekilde bu durumda daha fazla iş yapılmakta ve dolayısıyla arayüzey dayanımı da fazla olmaktadır (Tuna Ş.Ç.; 2008).

Tablo 6.6: İyi ve kötü derecelenmiş kum-geotekstil arayüzey sürtünme açıları.

Kum-Geotekstil	Sıkı Kum	Gevşek Kum	Kum-Geotekstil	Sıkı Kum	Gevşek Kum
arayüzeyi	$\Phi-\delta$	$\Phi-\delta$	arayüzeyi	$\Phi-\delta$	$\Phi-\delta$
SW	38.97	37.47	SP-SP	35.94	35.96
SW-ÖSZ 1	38.38	36.98	SP-ÖSZ 1	35.30	37.31
SW-ÖSZ 2	35.55	36.51	SP-ÖSZ 2	36.85	38.99
SW-ÖSZ 3	36.47	36.78	SP-ÖSZ 3	35.54	34.08
SW-ÖRG 1	35.09	34.51	SP-ÖRG 1	33.78	34.48
-	-	-	SP-ÖRG 2	33.66	31.16
SW-ÖRG 3	39.11	38.15	SP-ÖRG 3	34.36	32.53

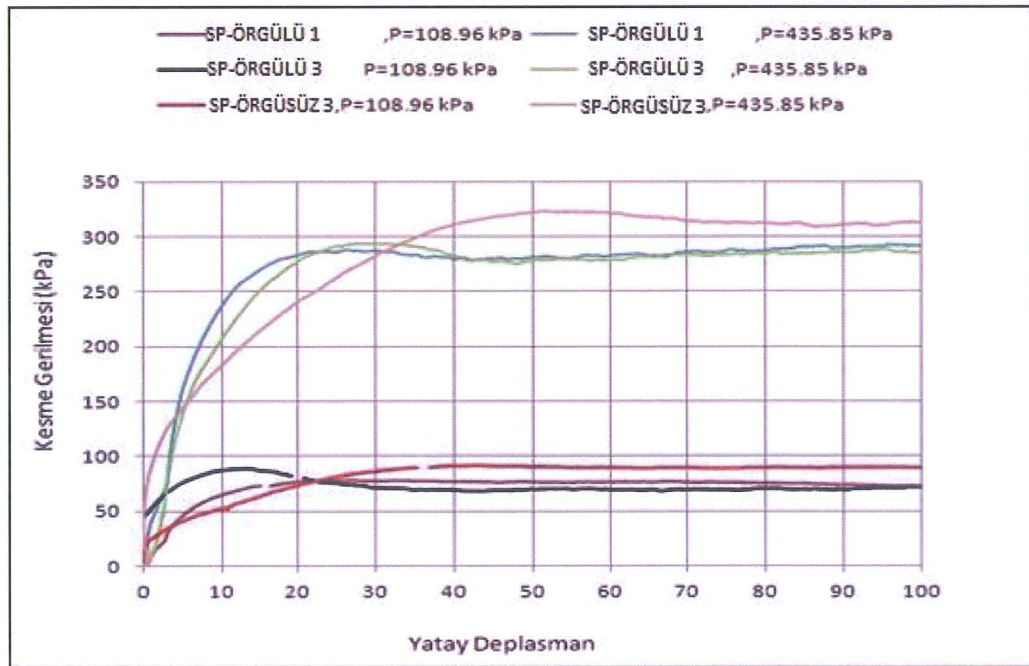
İyi derecelenmiş kumlar ile kötü derecelenmiş kumların, arayüzey davranışına nasıl etki ettiğini daha net görebilmek için Tablo 6.4 ve Tablo 6.5'deki veriler ile Tablo 6.6 oluşturulmuştur. Tüm durumlarda SW zeminin içsel sürtünme açısının SP zeminin içsel sürtünme açısından büyük olduğu görülmektedir. Arayüzeye geotekstil konularak zemin donatılandırıldığında ise arayüzey sürtünme açısı adını alan açının, zemin türü dışında rölatif sıklığın etkisiyle de değişim içinde olduğu söylenebilir. Sıkı zeminlerde örgüsüz 2 geotekstili hariç, donatılandırılmış SW zeminlerde, donatılandırılmış SP zeminlere göre daha yüksek arayüzey sürtünme açıları elde edilmiştir. Gevşek zeminlerde ise örgülü geotekstiller ve örgüsüz 3 geotekstili ile donatılandırılmış arayüzelerde, donatılandırılmış SW zeminlerin donatılandırılmış SP zeminlerden daha yüksek arayüzey açıları elde edildiği gözlenmektedir.

Teorik olarak sıkı kum arayüzeylerinde büyük sürtünme açıları beklenir. Deneysel çalışmalarda SP zemin tipinde tersine elde edilen sonuçlar, klasik boyutlarda kesme kutusu kullanımına bağlı olarak ara yüzeylerde, üniform olmayan

gerilme dağılımlarının meydana gelmiş olmasına bağlanabilir (Erdoğan D., Altun S., Sezer A., Tuna Ç.; 2008).

6.6.4 Geotekstil Donatı Özelliklerinin Arayüzey Davranışına Olan Etkisi

Şekil 6.77’de farklı geotekstil ailesinin 2 farklı normal basınç altında SP zeminle yapılan kesme kutusu deney sonuçları gösterilmiştir. Donatısız zeminlerde gözlenen doğrudan resüdüel dayanıma yönelim ve pik gerilim sonrası dayanım kaybı donatılı zeminlerde gözlenmeyip, kullanılan bütün geotekstillerin kendi özelliklerinin arayüzeyi etkilemiş olduğu gözükmetedir. Örneğin örgülü 3 geotekstili yüksek rijitliğe sahip bir malzeme olup diğerlerine nazaran daha erken kopma noktasına ulaşır, benzer şekilde örgülü 1 geotekstilide öyledir. Dolayısıyla kırılğan malzeme özelliklerini taşır. Örgüsüz 3 geotekstili ile donatılan SP zeminin ise yüksek mukavemet ve içsel sürtünme açısı ile elastik özellikleri dikkat çeker. Elastik olan donatı arayüzeyde rahatça deforme olabileceği için zemin tanecikleriyle beraber harekete edip, örgülü geotekstillere göre daha yüksek dayanım oranı sağlar (Dayanım oranı = Donatılı zemine ait kesme mukavemeti / donatısız zemine ait kesme mukavemeti).



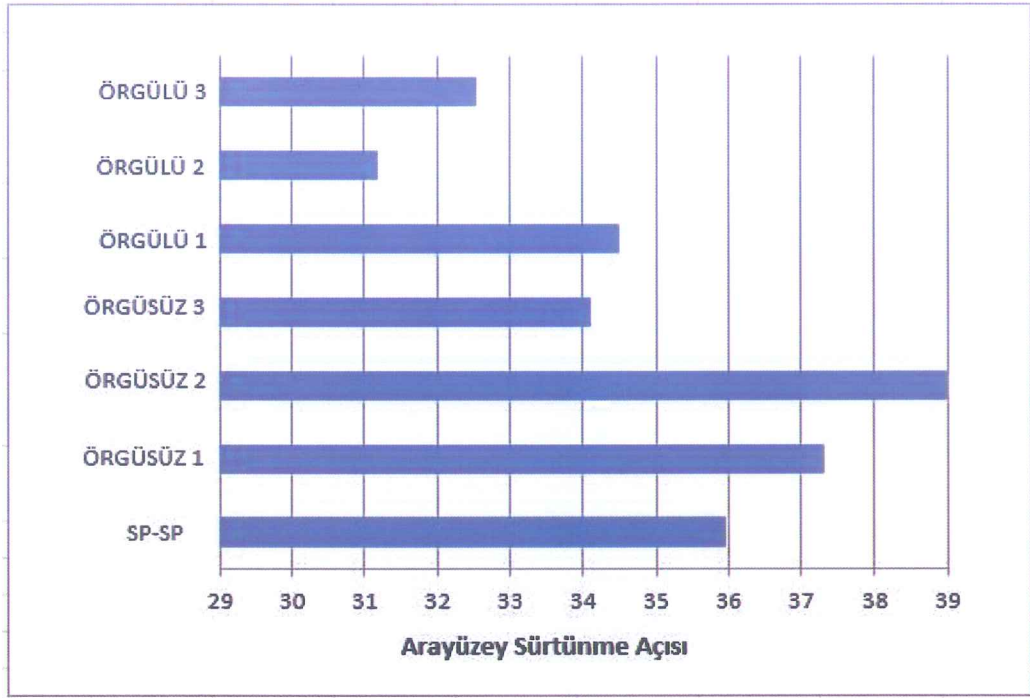
Şekil 6.77: SP Zemin arayüzeyine ait gerilme-deplasman (%) Grafikleri.

6.6.5 Donatı Yüzey Özelliklerinin Arayüzey Davranışına Olan Etkisi

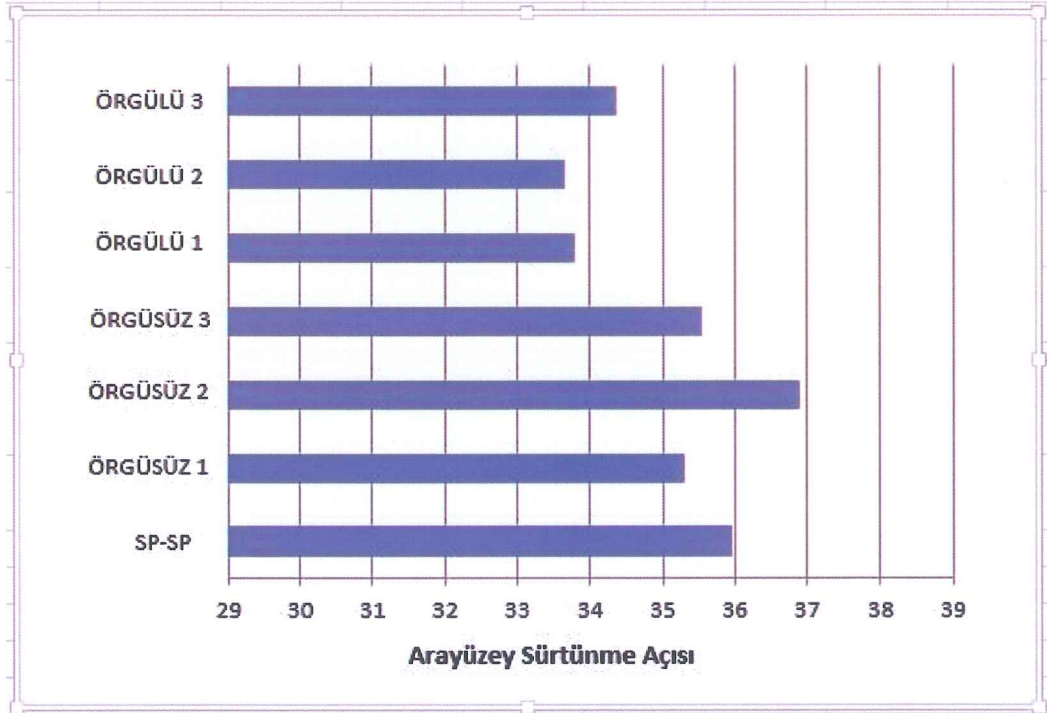
Arayüzey sürtünme dayanımını etkileyen en önemli iki parametre donatı yüzeylerinin pürüzlülük ve sertlik özellikleridir. Örgüsüz geotekstil grubu geotekstillere çekme dayanımı düşük olup daha fazla pürüzlü ve yumuşak özelliklere sahiptir. Örgülü 3 ve örgülü 1 geotekstili yüksek çekme mukavemetine sahip olan numunelerdir. Genel olarak örgülü geotekstil grubunun daha sert ve daha az bükülebilir geotekstil grubu olduğu anlaşılmaktadır.

Yapılan deney sonuçlarından iki ayrı zemin ve 6 ayrı geotekstil ile beraber yapılan deneyler sonucu elde edilen arayüzey sürtünme açıları Şekil 6.78 ve 6.81 arasında verilmiştir.

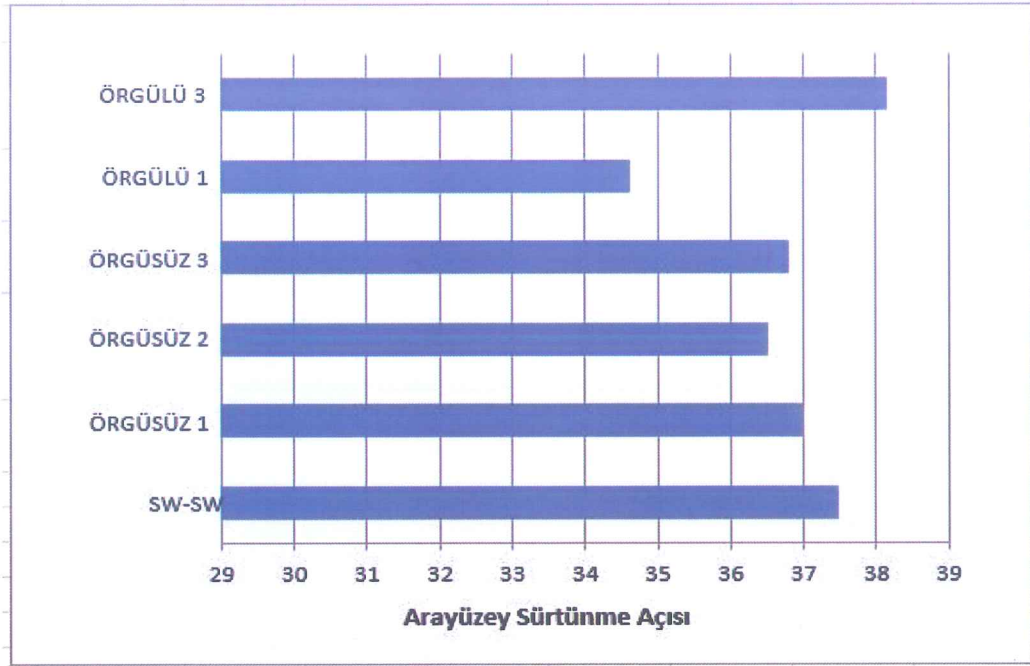
Genel olarak incelendiğinde küçük çekme mukavemetine sahip örgüsüz geotekstillere arayüzey sürtünme açılarının ve buna bağlı kesme dayanımlarının daha fazla olduğu söylenebilir (Şekil 6.78, 6.79, 6.80, 6.81). Örgülü 2 geotekstili en düşük kesme dayanımına sahiptir. En düşük arayüzey sürtünme açısı örgülü 2 ürününe aittir (Şekil 6.78, 6.79). Örgülü 3 geotekstili SW zeminde göstermiş olduğu performans ise dikkat çekicidir; en yüksek kesme dayanımı örgülü 3 geotekstiline aittir. (Şekil 6.80, 6.81). Deney sonuçlarından yüzey pürüzsüzlüğünün ve donatı sertliğinin arayüzey sürtünme dayanımına önemli etkileri olduğu söylenebilir.



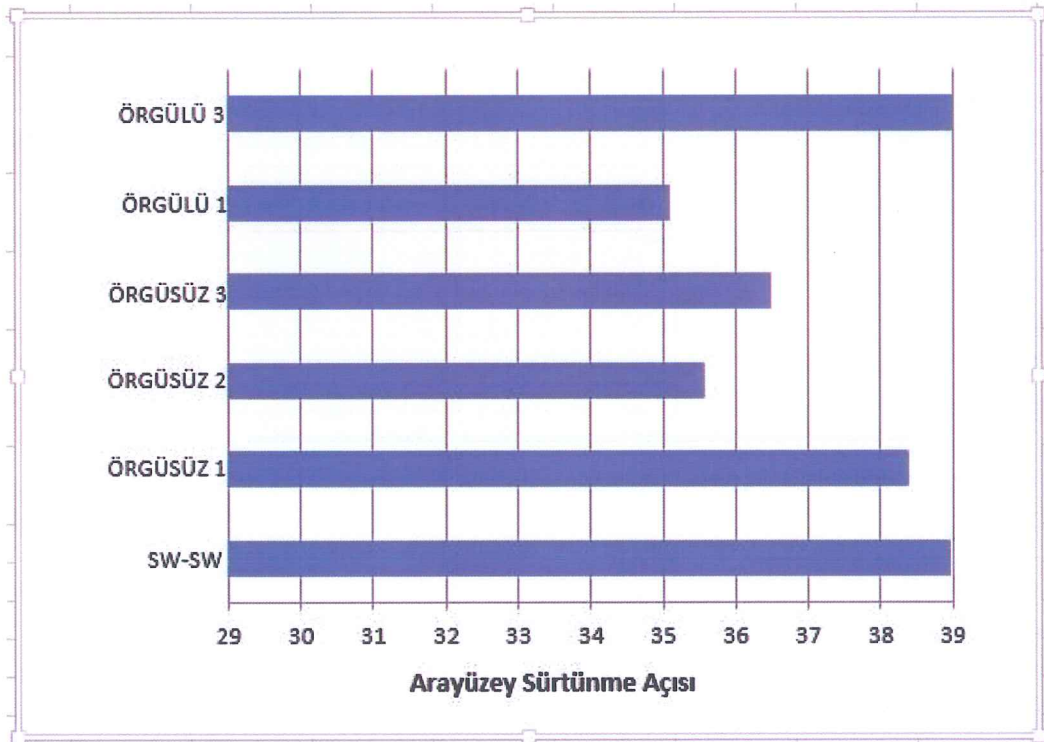
Şekil 6.78: SP Zemin %30 sıkılıkta arayüzey sürtünme açıları.



Şekil 6.79: SP Zemin % 60 sıkılıkta arayüzey sürtünme açıları.



Şekil 6.80: SW Zemin % 30 sıkılıkta arayüzey sürtünme açıları.



Şekil 6.81: SW Zemin % 60 sıkılıkta arayüzey sürtünme açıları.

Genel olarak çekme mukavemeti düşük olan örgüsüz geotekstil grubunun daha yüksek arayüzey sürtünme açılarına sahip olduğunu görülsede, bu yüksek olan

arayüzey sürtünme açılarının çekme mukavemeti ile ilgisi olmadığı düşünülmektedir. Daha önce yapılmış olan bir çalışmada, geotekstil çekme mukavemetinin zemin-geotekstil arayüzey sürtünme katsayısında önemli bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir (Mahmood ve Zakaria ; 2000).

Benzer şekilde yüksek çekme mukavemetine sahip örgülü 1 geotekstilin SP zemin ve düşük rölatif sıklık altında, düşük çekme mukavemetine sahip örgüsüz 3 geotekstilinden daha fazla arayüzey sürtünme açısına sahip olduğu Şekil 6.74' de görülmektedir. Yine genel davranış tersine örgülü 3 geotekstili SW zemin tipinde en çok arayüzey sürtünme açısına sahip olan numunedir. Daha önce yapılmış olan bir çok çalışmada artan yüzey pürüzlülüğü ile arayüzey sürtünme açısının artacağı belirtilmiştir (Aydoğan, 2004; Güler ve Aydoğan, 2005; Tuna Ş.Ç., 2008; İzgin M. Wasti Y.,1998; Chenggang B. ; 2004). Yüzey pürüzlülüğünün arayüzey davranışına etkisi kesindir, örgülü ve örgüsüz geotekstiller, yani pürüzlü ve pürüzsüz geotekstiller arasındaki arayüzey sürtünme açılarında gözlenen fark açık ve nettir. Ancak özellikle örgülü geotekstillerde üzerine pek değinilmemiş bir konu atkı ve çözgü genişlikleridir. El ile yapılan ölçümlerde örgülü 1 geotekstilin 2.5 mm, örgülü 3 geotekstilin ise 1.5 mm atkı ve çözgü genişliklerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca üretici test sonuçlarına göre görünür göz açıklıkları farkı 50 µm dir. Ve yine üretici verilerine göre örgülü 1 geotekstili kalınlığı 0.7 mm, örgülü 3 geotekstili kalınlığı ise 1 mm dir. Üreticilerin çoğunlukla çekme ve kopma gerilmesi üzerine yoğunlaşmış olması, düşük maliyet ile maksimum çekme ve kopma gerilimlerini yakalamaya çalışmalarında beraberinde getirmiştir. Üreticiler mutlak suretle polipropilen hammaddelerinin içerisine kalsit vb. gibi farklı materyalleri değişik oranlarda karıştırmaktadırlar. Örneğin kalsit oranı arttırılmış bir hammadde karışımıyla üretilmiş örgü şeritleri (tapeleri), daha yoğun polipropilen ile üretilmiş şeritlere göre daha yumuşak ve esnek olmasıyla birlikte düşük maliyetli de olabilir, bununla birlikte çekme ve kopma gerilmeleri açısından iki üretimde de çok büyük farklar gözlenmeyebilir. Deneylerde kullanılan örgülü 3 geotekstili diğer tüm geotekstillerden serttir. Ayrıca daha düşük örgü şerit genişlikleri kullanılarak üretilmesiyle, daha pürüzsüz bir yüzeye sahip olmasına rağmen SW zemin altında yüksek arayüzey sürtünme açısı sonuçları vermiştir. Donatı pürüzlülüğünün yanında, özellikle örgülü geotekstillerde donatı sertliğinin, kullanılan örgü şerit genişliğiyle

birlikte dokuma tipinin ve geotekstil kalınlığının arayüzey sürtünme açısına etkidiği düşünölmektedir.

Arayüzey sürtünme açısı grafiklerinde oldukça yüksek sürtünme açılarının elde edildiği görölmektedir. Ancak aynı deneyler 60 mm. x 60 mm. Kesme kutusu yerine 300 mm.x300 boyutlarındaki büyük kesme kutusu kullanılarak gerçekleştirilse idi daha düşük açđ değerlerinin elde edilmesi beklenebilirdi. Literatürde, kesme kutusu boyutları büyüdükçe arayüzey sürtünme açılarının azaldığını ortaya koyan çalışmalar mevcuttur (Aydoğan, 2004; Güler ve Aydoğan, 2005; Tuna Ő. Ő. , 2008; Cerato A.B. , Lutenegger A.J. , 2005; Tan S. A., Chew S. H., Wong W. K.; 1998). Büyük kesme kutularının kullanımı daha üniform gerilme dağılımlarının oluşumuna olanak vermekte ve böylece gerçeğe daha yakın arayüzey kayma dayanımı davranışının elde edilmesi sağlanmaktadır (Erdoğan D., Altun S.; 2008).

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğal zeminlerin, özellikle kumların çekme gerilmesi alamaması, bu tür zeminlerin dayanımının artırılması için fiber veya geotekstil, geomembran, geodrid gibi düzlemsel malzemeler ile güçlendirilebileceğini ortaya çıkarmaktadır. Bu tip geosentetik malzemelerin kullanılması sonucu zeminin dayanımında meydana gelen artışlar çoğu projede fiyat/performans açısından özellikle kimyasal katkılara göre oldukça büyük kazanımlar sağlamaktadır.

Geotekstil kullanımının kum zeminlerin geoteknik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla 78 adet kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Çalışma sonu değerlendirilmeler yapılmış, geçmişte yapılan benzer çalışmalardan alıntılar yapılarak geotekstillerin kum zeminlerdeki davranışları konusunda açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Üç adet örgüsüz ve üç adet örgülü olmak üzere toplam altı farklı geotekstil üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Deneysel kumuna ait iyi gradasyonlu ve üniform olmak üzere 2 adet zemin tipi kullanılmıştır. Her bir zemin tipi için %30 %60 izafi sıklıklarında deneyler yapılmıştır. Arayüzeydeki normal basıncın etkisini anlayabilmek için 3 farklı normal basınç altında testler tekrar edilmiştir.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre donatılı zeminlerdeki kesme dayanımı donatısız zeminlere göre genel olarak daha yüksek değerler almıştır. Donatılı zeminlerde, donatısız zeminlerde görünen pik dayanım sonrası dayanım kaybı gözlenmemiştir. Dolayısı ile uzun vadeli stabilite istenilen bazı projelerde donatılı zemin kullanımı çözüm olarak sunulabilir.

- Donatılı zeminlerde, kullanılan geotekstilin yüzeysel ve mekanik özelliklerine göre rijitlik ve gerilme-deplasman ilişkileri değişim göstermektedir.

- Düşük normal basınçlarda arayüzeyde gözlenen genişleme hareketi uygulanan yatay kuvvetle beraber taneciklerin birbirleri üzerinden dikey deplasman ve dönme hareketi yapmaları sonucu oluşur. Basınç artışıyla beraber bu hareket çok daha zorlaşacağı için yüksek normal basınçlar altında genellikle yüzey aşınmaları, ya da geotekstilin deforme olmasıyla beraber göçme arayüzeyinden çıkması gibi durumlar gözlenir.

- Deney sonuçlarında gözlenen kohezyon sahte kohezyondur, tamamen geotekstil tipine bağlı olarak değişmektedir.

- Genel olarak donatılandırılmış kum zeminlerde, içsel sürtünme açıları değişmediği kabul edilse dahi, sahte kohezyondaki artıştan dolayı zeminlerin kayma dayanımları artmıştır.

- Kesme deneyleri sonucu bulunan arayüzey açıları ve dayanım değerleri diğer geotekstillere göre çoğunlukla fazla olan örgüsüz geotekstiller elastikiyeti en fazla olan geotekstil grubudur. Donatı pürüzlülük ve sertliğinin arayüzey kesme mukavemeti ve sürtünme açısı üzerinde kesin bir etkisi vardır.

- Örgüsüz geotekstillerin örgülü geotekstillere göre arayüzey sürtünme açılarının genel olarak yüksek olduğu söylenebilir.

- Örgüsüz geotekstillerin arayüzey sürtünme açılarının yüksek olmasında, yüzey pürüzlülüğü arttıkça arayüzey sürtünme açısının arttığı savunulabilen bir durumdur. SW zeminde yüzeyleri daha pürüzsüz olan örgülü geotekstillere yapılmış bazı deney sonuçlarında gözlenen yüksek arayüzey sürtünme açıları, kullanılan örgü şerit genişliğiyle birlikte dokuma tipinin ve yüzey sertliğiyle birlikte örgülü geotekstil kalınlığının arayüzey sürtünme açısına etkidiğini düşündürmektedir.

- Örgülü geotekstillerin ön konsolidasyon sonuçları örgüsüz geotekstillere göre daha düşüktür. Buda yine malzemenin sertliği, kalınlığı ve arayüzeyde normal kuvvetler altında göstermiş olduğu rijitlikle ilgilidir. Yapılan tüm ölçümlerde donatılandırılmamış zeminlerin ön konsolidasyonları, donatılandırılmış zeminlerden yüksek çıkmıştır.

- İyi derecelenmiş kum zemin içsel sürtünme açıları, kötü derecelenmiş kum zemin içsel sürtünme açılarından yüksek çıkmıştır. Arayüzeye geotekstil konularak zemin donatılandırıldığında ise arayüzey sürtünme açısı adını alan açının, zemin türü dışında rölatif sıkılığın etkisiyle de değişim içinde olduğu söylenebilir. Sıkı zeminlerde örgüsüz 2 geotekstili hariç, donatılandırılmış SW zeminlerde, donatılandırılmış SP zeminlere göre daha yüksek arayüzey sürtünme açıları elde

edilmiştir. Gevşek zeminlerde ise örgülü geotekstiller ve örgüsüz 3 geotekstili ile donatılanmış arayüzlerde, donatılanmış SW zeminlerin donatılanmış SP zeminlerden daha yüksek arayüzey açıları elde edildiği gözlenmektedir.

- Düşük yatay deplasmanlarda donatısız ve donatılı zeminlerde hacim azalması görülmüş, devam eden deplasman artışıyla beraber ise hacim artışı gözlenmiştir. Normal basınç artışı ile hacimsel artış sınırlanmıştır.

- Donatılı ve gevşek durumda olan zeminlerde donatının zemine kattığı sınırlama etkisinden dolayısıyla genleşme azalışından bahsedilebilir. Zeminin rölatif sıklığı arttığı zaman bu sınırlama etkisi ortadan kalkmakla beraber düşük olan normal basınçta daha yüksek genleşme hareketi görülmüştür. Yüksek normal basınçlarla çalışıldığı için bu etkiler sınırlı düzeyde görülmektedir.

- Rölatif sıklığı fazla olan deneylerde, yani daha fazla genleşen yüzeylerde daha büyük kesme dayanımları gözlemlenmiştir. Bu arayüzeyde kayma hareketi için daha fazla enerji ihtiyacından kaynaklanmaktadır.

- Rölatif sıklık arttıkça beklenen davranış arayüzey sürtünme açıları artmasıdır. Deney sonuçlarında SW zemin tipi için bu geçerli olurken, SP zemin tipinde bu duruma uymayan deney sonuçlarıyla karşılaşılmıştır. Bu durum, klasik boyutlarda kesme kutusu kullanımına bağlı olarak ara yüzeylerde, ünüform olmayan gerilme dağılımlarının meydana gelmiş olmasına bağlanabilir.

- Bu çalışma tamamen arayüzey davranışına etkide bulunan bazı parametrelerin incelenmesi için ve sonuçları karşılaştırmak amaçlı hazırlanmıştır. Test sırasında ki ortam şartları, aparatlar, kalibrasyon ve numune boyut etkileri sonuçlar üzerinde tamamen etkindir.

- Farklı özellikteki zemin yapısıyla (su içeriği, yoğunluk vb.) ve farklı özellikteki geotekstillerle (Dayanım, sertlik, geometri, tür ve farklı dokuma teknikleri), çok fazla sayıda kesme deneyleri yapılarak bulunan sonuçlarla karşılaştırılmalıdır.

- Deney sonuçlarının herhangi bir tasarımda kullanılması sakıncalıdır.

8. KAYNAKLAR

ASTM D 5321-02. Standart Test Method for Determining the coefficient of Soil and Geosynthetic or Geosynthetic and Geosynthetic Friction by the direct Shear Method. 4, 04.13, 123-129.

Akkol, O., Baykal G. (1997). A New Test Device and Method: Geotextile-soil Interface Cylindrical Test. İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler III. Teknik kongre, ODTU , Ankara, Turkey.

Aydoğan, N.Ö. (2004). Effect of Woven Geotextile Type on Soil-Geotextile Friction Properties. MSc Thesis, Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.

Aksoy, İ.M. (1993). Modern Yol İnşaatında Geotekstil Ve Geogrid Uygulaması Konularında Arastırma. Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aktas, M. (1991). Jeotekstillerin Çesitleri, Kullanımı En Yaygın Olan Tiplerin Üretim Yöntemleri ve Özelliklerinin Degerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bowden, F.P. Tabor, P. (1939). The Area of Contact Between Stationary and Between Moving Surfaces: Proceedings of the Royal Society of Londoni Series A, Mathematical and Physical Sciences, Vol.169, Issue 938, pp.391-413.

Benek, M. B. (2006). Geotekstilller Üzerine Bir İnceleme Ve Uygulama Örnekleri. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Manisa.

Bağcı, F. (2007). Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin Geosentetik Arayüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türleri İçin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, İzmir.

Coronel, J. (2006). Frictional Interaction Properties between Geomaterials and Geosynthetics. M. SC. Thesis, Louisiana State University, Pineville.

Crawford, C.B. (1964). Interpretation of The Consolidation Test. Jour. Of Soil Mech. And Found. Div., ASCE, Vol.90, No. SM5,87-102.

Chenggang, B. (2005). Study on the Interaction Behavior of Geosynthetics and Soil in China. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, China, 315100.

Cindemir, Y.O. (1997). Yeni Bir İnşaat Malzemesi Olarak Geotekstiller. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Cetin, H. (1995). Multidisciplinary Technique to Differentiate Paleoseismic From Creep Displacement of Faults: Tested at the Meers Fault, Ph.D. Dissertation, Texas A&M Univ., College Station, pp. 235, Oklahoma.

Cetin, H. (1998). Water Content Changes along Shear Planes in Drained and Undrained Triaxial Compression Tests on Unsaturated Cohesive Soils, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, TÜBİTAK, pp. 465-471.

Cerato, A.B. (2005). Scale Effects of Foundation Bearing Capacity on Granular Material. Doctoral Thesis, Lafayette College, University of Massachusetts Amherst.

Cowell, M.J., Sprague, C.J. (1993). Comparison of Pull Out Performance of Geogrids and Geotextiles. Geosynthetics, 93,579-592.

Demiröz, A. (2008). Geogrid Donatılı Kum Üzerine Oturan Şerit Temellerde Taşıma gücünü Etkileyen Tasarım Faktörlerinin Deneysel Olarak Araştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Dove, J. Frost, J. (1999). Peak Friction Behavior of Smooth Geomembrane-Particle Interfaces. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 125(7), 544-555.

Demiröz, A. (1996). Geoteknik Açısından Katı Atık Depolarının Değerlendirilmesi. Doktora semineri I , Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Erdoğan, D., Altun S. (2008). Kum/Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımının Kesme Kutusu Deneyle İle Belirlenmesi. *S. Ü. Müh.-Mim. Fak. Der.*, 23 (2), 1-12.

Erdoğan, D., Altun S., Sezer A., Tuna Ç. (2008). Farklı Tipte Geotekstil Kullanımının İyi Derecelenmiş Kumun Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, 16-17 Ekim, Selçuk Üniversitesi.* 769-778, Konya.

Eigenbrod K. D., Locker J. G. (1987). Determination of Friction Values for the Design of Side Slopes Lined or Protected with Geosynthetics. *Canadian Geotechnical Journal*, 24(4): 509-519, 10.1139/t87-067.

Erbil S. (2009). Geosentetik Ürünlerin Türkiye'deki Uygulamaları, Gelişme Potansiyeli, Sağlanan Faydalar Ve Mevcut Sorunlar İle Ekonomikliği Üzerine Genel Bir İnceleme. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, İzmir.

Güler, E., ve Aydoğan, N.O. (2005). Einflussgrößen Auf Den Reibungswinkel Zwischen Gewebten Geotestilien und Boden. 9. Informatons-und Vortragstagung über "Kunststoffe inder Geotechnik", Munih, pp.117-121.

Hirschfeld, R. C. (1960). The Relation Between Shear Strength and Effective Stress, Proc. 1st Pan-American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, pp.517-536. Mexico.

Haeri, S.M., Noorzad, R., Oskoorouchi, A.M. (2000). Effect of Geotextile Reinforcement on the Mechanical Behavior of Sand. Geotextiles and Geomembranes, Vol.1 18 (6), 385-402.

Hushmand, B. and Martin, G.R. (1990). Final Report SBIR Phase I Study, Layered Soil-Synthetic Liner Base Isolation System, Report Submitted To The National Science Foundation Small Business Innovative Research Program, The Earth Technology Corporation, Long Beach, California, USA, 86 p.

Ingold, T. S. (1982). *Reinforced Earth*. London: Thomas Telford Ltd, 4-122.

Ingold, T. S. (1982). Some Observations on the Laboratory Measurement of Soil-Geotextile Bond. Geotechnical Testing Journal, Vol:5, No.3/49, 57-67.

Ingold, T. S. (1991). Friction Testing In: Geomembranes Identification and Performance Testing. A.Rollin and J.M.Rigo ed., Chapman and Hall, pp.176-203.

Izgin, M., Wasti Y. (1998). Geomembrane-sand Interface Frictional Properties as Determined by Inclined Board and Shear Box Tests. Geotextiles and Geomembranes, Vol:16, 207-219pp.

İşçimen, M. (2004). Shearing Behaviour of Curved Interfaces. M. SC. Thesis, Georgia Institute of Technology, Atlanta.

Koerner, R. M. and Koerner, G. R. (2007). Interpretation of Laboratory Generated Interface Shear Strength Data for Geosynthetic Materials With Emphasis on the Adhesion Value. Geosynthetic Institute, 1-8.

Koerner, R.M. (1993). Designing with Geosynthetics. Prentice Hall Inc, Third Edition, Newjersey.

Koerner, R.M. (1999). *Designing With Geosynthetics*. Prentice Hall, New Jersey, 4th ed., 761 p.

Koutsourais, M.M., Sprague, C.J., Precutas, R.C. (1991). Interfacial Friction Study of Cap And Liner Components For Landfill Design. *Journal of Geotextiles and Geomembranes*, Vol.10 (5/6), 531-548.

Lafleur, J., Vendling, G., Tetreault, M. (1986). Fütation Of Boadly Graded Solils by Woven Geotextiles. *Int.conf.on Geotgx*. pp 657-662, Vienna.

Lee, K.M., Manjunath, V.R. (2000). Soil-Geotextile Interface Friction by Direct Shear Tests. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol:37 (1), 238-252.

Murad, Y.A. ; Coronel, J. (2006). Characterization of Cohesive Soil-Geosynthetic Interactions from Large Direct Shear Tests. 85th Tranportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.

Mahmood, A., Zakaria, N. (2000). A Study On the Coefficient Of Friction Of Soil/Geotextile Interfaces. *Electronic Journal Of Geotechnical Engineering*, Vol. 5.

Mahmood, A. A., Zakaria, N., Ahmad, F. (2000). Studies On Geotextile/Soil Interface Shear Behaviour. *EJGE Paper*, 2000-013.

Moroğlu, B., şadoğlu, E., Uzuner, B. A. (2006). Bir Model Yüzey şerit Temelinin Donatısız ve Donatılı Kumda Davranışları. *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, 39-46.

Mohiuddin, A. (2003). Analysis Of Laboratory And Field Pull-Out Tests Of Geosynthetics In Clayey Soils. M. SC. Thesis., The Louisiana State University And Agricultural And Mechanical College. Baton Rouge, LA.

Mitchell, J. K., and Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*. Third Edition, John Wiley&Sons, Inc., New Jersey, 577 p.

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

Özdemir, A., Özdemir, M. (2006). Zayıf zeminlerin iyileştirilmesi ve son yıllarda yaygın olarak uygulanan bazı zemin iyileştirme yöntemleri. *Sondaj Dünyası Dergisi*, 3, 34-38.

Özdemir, A., Özdemir, M. (2009). Zemin İyileştirme Metotları. *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Teknik-Online Dergi*, 8 (3), 176-192.

Örnek, M. (2009). Yumuşak Kil Zeminlerin Geogrid Donatı İle Güçlendirilmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Adana.

Rajagopal, K., Krishnaswamy N.R., Latha, G.M. (1999). Behaviour of Sand Confined with Single and Multiple Geocells. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol.17, No: 3, 171-184.

Tuna, Ş. Ç. (2008). Geotekstil Donatılı Kum Zeminlerin Mekanik Davranışının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, İzmir.

Tan, S. A., Chew, S. H., Wong, W. K. (1998). Sand-Geotextile Interface Shear Strenght by Torsional Ring Shear Tests. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol:16, 161-174pp.

Tatlısöz, N., Edil, T.B., Benson, C.H. (1998). Interaction Between Reinforcing Geosynthetics and Soil-Tire Chip Mixtures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. Vol:128, No.1.

Vidal, M. H. (1968). La Terre Arme. *Ann Annelesde L'Intitut Technique du Batiment et des Travox Publics*, pp.888-938. (as referred by Das, M. B., 1990).

Vidal, M. H. (1978). The development and Future of Reinforced Earth., *Symposium on Earth Reinforcement*, A.S.C.E, Pittsburg , 1-61.

Yetimoğlu, T. (1990). Donatılı Kohezyonsuz Zeminlerde Kırılma Zarfları. *Zemin Mek. ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Üçüncü Ulusal Kongresi*, 1, Boğaziçi Üniversitesi, 59-68.

Yıldız, A. C., Laman, M., Örnek, M., Demir, M. (2006). Donatılı Kum Zeminlere Oturan Dairesel Temellerin Sayısal Analizi. *İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı*, 75-84.

Yıldız, A. (2002). Donatılı Zeminler Üzerine Oturan Yüzeysel Temellerin Tasarımı. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı, Adana.

Yılmaz, H. R. (2007). Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı ve Sağlanan Faydalar. *2.Geoteknik Sempozyumu 22-23 Kasım Bildiriler Kitabı*, 433-447.

Dupont Typar SF Technical Handbook, (10 Mart 2014), http://www2.dupont.com/Typar/en_US/assets/downloads/other_languages/uk/TH_Typar_uk_2010_LR.pdf, (2010).

(15 Temmuz 2014), www.sams.com.tr, (2014).

(15 Temmuz 2014), www.tencate.com, (2014).

(20 Temmuz 2014), www.sportifzemin.com, (2014).

(10 Eylül 2014), www.ode.com.tr, (2014).