



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ



LASTİK PARÇACIKLARININ KUMLU ZEMİNLERİN KAYMA

DAYANIMINA ETKİSİ

Koray AKTÜRK

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**LASTİK PARÇACIKLARININ KUMLU ZEMİNLERİN KAYMA
DAYANIMINA ETKİSİ**
Koray AKTÜRK

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezin Sunulduğu Tarih: 29/08/2018

Tez Danışmanı:
Dr. Öğr. Üyesi Öznur KARACA

ÇANAKKALE

Koray AKTÜRK tarafından Dr. Öğr. Üyesi Öznur KARACA yönetiminde hazırlanan ve **29/08/2018** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**Lastik Parçacıklarının Kumlu Zeminlerin Kayma Dayanımına Etkisi**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Dr. Öğr. Üyesi Öznur KARACA

Başkan

Doç. Dr. Cem KINCAL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ozan DENİZ

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:.....

Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: FYL-2017-1181

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Koray AKTÜRK

TEŞEKKÜR

Tez konumu belirlemede öncülük eden ve çalışmam boyunca benden yardımlarını bir an olsun esirgemeyen saygı değer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Öznur KARACA'ya,

Tez sürecim boyunca verdiği teknik dersler ve bilgilerinden yararlanma fırsatı bulduğum Doç. Dr. Celal TUNUSLUOĞLU'na,

Her konuda desteğini esirgemeyen Öğr. Gör. Dr. Şaziye Özge DİNÇ GÖĞÜŞ'e,

Çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, gayret ve yardımlarıyla bu tezin tamamlanmasında büyük pay sahibi olan nişanlım Jeoloji Mühendisi Harika MARMARA'ya,

Ve hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Koray AKTÜRK
Çanakkale, Ağustos 2018

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASTM	Amerikan Test ve Materyal Topluluğu
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik Arama ve Genel Müdürlüğü
%	Yüzde oranı
M	Magnitüd (Deprem Büyüklüğü)
SP	Kötü derecelenmiş kum
W	Ağırlık
°C	Santigrat derece
km	Kilometre
m	Metre
mm	Milimetre
kg	Kilogram
g	Gram
µg	Mikrogram
cm ³	Santimetreküp
kg/cm ³	Kilogram/santimetreküp
g/cm ³	Gram/santimetreküp
kg/cm ²	Kilogram/santimetrekare
kN	KiloNewton
kN/m ²	KiloNewton/metrekare
kN/m ³	KiloNewton/metreküp
kPa	KiloPaskal
MPa	MegaPaskal
Dr	Rölatif Sıklık
D ₁₀	Danelerin %10'unun geçtiği efektif çap
D ₃₀	Danelerin %30'unun geçtiği efektif çap
D ₆₀	Danelerin %60'ının geçtiği efektif çap
D _r	Rölatif sıklık
σ	Normal gerilme
G _s	Özgül Ağırlık
γ _n	Doğal birim hacim ağırlık
γ _k	Kuru birim hacim ağırlık

γ_s	Dane birim hacim ağırlık
γ_{kmin}	Minimum kuru birim hacim ağırlık
γ_{kmax}	Maksimum kuru birim hacim ağırlık
e	Boşluk oranı
e_{max}	Maksimum boşluk oranı
e_{min}	Minimum boşluk oranı
e_{kum}	Kumun boşluk oranı
c	Kohezyon
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ω_n (%)	Doğal su içeriği
ω_{opt} (%)	Optimum su içeriği
C_u	Homojenlik katsayısı
C_c	Eğrilik katsayısı

ÖZET

LASTİK PARÇACIKLARININ KUMLU ZEMİNLERİN KAYMA DAYANIMINA ETKİSİ

Koray AKTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Öznur KARACA

29/08/2018, 55

İnşaat yapılarının temeli olan zeminlerin bazı durumlarda inşaat sahasında her zaman istenilen özelliklere sahip olmaması durumu, mühendislikte zemin problemleri kavramını yaratmaktadır. Bu gibi problemleri zeminlere iyileştirme yöntemleri uygulanmakta olup farklı zemin ve inşaat tiplerine uygun olarak çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri mevcuttur. Bu tez çalışmasında, atık lastik katkısının kumların kayma dayanımına etkisi araştırılmış, bu amaçla granüler boyuttaki atık lastikler %10, %20, %25, %30, %40 ve %50 oranlarında alınarak kötü derecelenmiş (SP) kum ile karıştırılmıştır. Oluşturulan atık lastik-kum karışımları bir dizi laboratuvar deneylerine tabi tutularak kohezyon, içsel sürtünme açısı, kayma dayanımı gibi mekanik özellikleri belirlenmiştir. Buna ek olarak, zeminin özgül ağırlık, su muhtevası, birim hacim ağırlığı gibi fiziksel parametreleri de elde edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda atık lastiklerin %100 kum ile kıyaslandığında, kayma dayanımına pozitif katkısı olduğu gözlenmiştir. Deneyler neticesinde elde edilen verilere bakıldığında en yüksek kayma dayanımı %20 lastik içeriğine sahip zeminlerde bulunurken, daha yüksek oranda lastik katkısının kayma dayanımında düşüşe sebep olduğu, %50 lastik içeriği kullanıldığında %100 kuma oranla daha düşük sonuçlar verdiği saptanmıştır. Yapılan fiziksel ve mekanik deneylere ek olarak, optimum kayma dayanımı veren %20 lastik-%80 kumdan oluşan karışımın çevresel etkileri de araştırılmıştır.

Anahtar sözcükler: Atık Lastik, Kum, Zemin, Kayma Dayanımı.

ABSTRACT

EFFECT OF GRANULAR WASTE TIRES ON THE SHEAR STRENGTH OF SANDY SOIL

Koray AKTÜRK

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Science and Engineering

Main Branch of Geological Engineering Science, Thesis

Advisor: Assist. Prof. Öznur KARACA

29/08/2018, 55

The fact that the soil, the main layer of construction structures, does not always have the desired characteristics in the construction field, creates soil problems in engineering in some cases. The problematic soil is treated with soil remediation methods and various soil remediation methods are available in accordance with different types of ground and construction types. For this purpose, the waste tires in granular size were mixed with sand by taking 10%, 20%, 25%, 30%, 40% and 50% waste tires in the granular dimension. The waste rubber-sand mixtures formed were subjected to a series of laboratory tests and mechanical properties such as cohesion, angle of internal friction and shear stress were defined. In addition, the physical parameters such as specific gravity, water content, unit volume weight of the soil sample were determined. As a result of this study, it was observed that the waste tire admixture has positive contributions on the shear strength when compared to 100% sand. Based on the results of the experiments, the highest shear stress was determined for soils with 20% tires content, resulting in lower shear strength of the tire admixture, resulting in lower results than 100% sand compare to 50% tires. In addition to the physical and mechanical tests, the column test was conducted on the mixture with 20% tire-80% sand content, which giving the optimum shear strength to investigate the environmental effects of the mixture used.

Keywords: Waste Tire, Sand, Soil, Shear Strength.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vii
ABSTRACT.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	1
1.2. Çalışma Alanının Tanıtılması	2
1.3. Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Atık Lastiklerin İyileştirmede Değerlendirilmesi..	3
1.3.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri	3
1.3.1.1. Yüzeysel İyileştirme Yöntemleri	3
1.3.1.2. Derin İyileştirme Yöntemleri.....	4
1.3.1.3. Alternatif İyileştirme Yöntemleri	5
1.3.2. Atık Lastiklerin Değerlendirilmesi.....	5
1.3.3. Atık Lastiklerin Günlük Hayatta ve İnşaat Sektöründe Kullanım Alanları	6
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	8
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1. Su Muhtevası.....	18
3.2. Özgül Ağırlık	19
3.3. Dane Boyu Dağılımı (Elek Analizi).....	19
3.4. Standart Proktor	20
3.5. Kayma Dayanımı	22
3.6. Atık Lastiklerin Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi.....	24
BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	25
4.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Jeolojisi.....	25
4.2. Laboratuvar Deneyleri	28

4.2.1. Su Muhtevası	28
4.2.2. Özgül Ağırlık	29
4.2.3. Dane Boyu Dağılımı (Elek Analizi Deneyi)	30
4.2.4. Standart Proktor	32
4.2.5. Kesme Kutusu	35
4.2.6. Kolon Testi	48
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	I



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanının konumu	2
Şekil 1.2. Kum örneklerinin alındığı Güzelyalı sahil kesiminden görünüm (35T 4432770N-443810E, bakış yönü: GB'dan KD'ya doğru)	3
Şekil 3.1. Kurumaya bırakılan numuneler	18
Şekil 3.2. Etüv cihazı	18
Şekil 3.3. Özgül ağırlık deneyi yapılışı.....	19
Şekil 3.4. Elek analizi deney seti ve deneyin yapılışı.....	20
Şekil 3.5. Standart proktor deneyinin yapılışı.....	21
Şekil 3.6. Atık lastiklerin maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi.....	22
Şekil 3.7. (a) Kesme kutusu deney aletinin kesiti, (b) kesme kutusu deney aleti parçaları.	23
Şekil 3.8. Kesme kutusu deney ekipmanı	23
Şekil 3.9. Kesme kutusu deneyinin yapılışı.....	24
Şekil 3.10. Kolon testi düzeneği	24
Şekil 4.1. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojisi	26
Şekil 4.2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti	27
Şekil 4.3. Deneyde kullanılan kumun dane boyu dağılımı	31
Şekil 4.4. Deneyde kullanılan atık lastiklerin dane boyu dağılımı	32
Şekil 4.5. Kuru birim hacim ağırlık–su muhtevası grafiği	33
Şekil 4.6. Öğütülmüş atık lastik parçacıklarının boyutu.....	35
Şekil 4.7. %100 kum kayma gerilmesi–düşey gerilme grafiği.....	36
Şekil 4.8. %90 kum+ %10 atık lastik kayma gerilmesi–düşey gerilme grafiği	37
Şekil 4.9. %80 kum+ %20 atık lastik kayma gerilmesi–düşey gerilme grafiği	38
Şekil 4.10. %75 kum+ %25 atık lastik kayma gerilmesi–düşey gerilme grafiği	39
Şekil 4.11. %70 kum+ %30 atık lastik kayma gerilmesi–düşey gerilme grafiği	40
Şekil 4.12. %60 kum+ %40 atık lastik kayma gerilmesi–düşey gerilme grafiği	41
Şekil 4.13. %50 kum+ %50 atık lastik kayma gerilmesi–düşey gerilme grafiği	42
Şekil 4.14. Atık lastik yüzdesi–içsel sürtünme açısı (ϕ) grafiği.....	43
Şekil 4.15. Atık lastik yüzdesi–kohezyon (c) grafiği	44
Şekil 4.16. Çalışmada kullanılan malzemelere ait kırılma zarfları.....	45
Şekil 4.17. Önceki çalışmalardaki atık lastik çeşitlerinin sütun grafik ile gösterimi.....	47
Şekil 4.18. Önceki çalışmalardaki atık lastik çeşitlerinin dairesel grafik ile gösterimi.....	48
Şekil 4.19. Optimum atık lastik kum karışımının kolon testi	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 4.1. Kum numunesine ait su muhtevası değerleri.....	29
Çizelge 4.2. Atık lastik-kum karışımlarının birim hacim ağırlığı değerleri	30
Çizelge 4.3. Kum için yapılan elek analizi deney verileri	30
Çizelge 4.4. Atık lastikler için yapılan elek analizi deneyinin verileri.....	31
Çizelge 4.5. Standart proktor deneyi fiziksel verileri	32
Çizelge 4.6. Standart proktor deneyinden elde edilen su muhtevası verileri.....	33
Çizelge 4.7. Standart proktor deneyinden elde edilen sonuçlar.....	34
Çizelge 4.8. Rölatif sıklık değerleri	34
Çizelge 4.9. % 100 kum numunesi kesme kutusu deney verileri	36
Çizelge 4.10. %90 kum numunesi+ %10 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri	36
Çizelge 4.11. %80 kum numunesi+ %20 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri	37
Çizelge 4.12. %75 kum numunesi+ %25 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri	38
Çizelge 4.13. %70 kum numunesi+ %30 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri	39
Çizelge 4.14. %60 kum numunesi+ %40 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri	40
Çizelge 4.15. %50 kum numunesi+ %50 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri	41
Çizelge 4.16. Atık lastik içeriklerine göre kohezyon ve içsel sürtünme açıları.....	42
Çizelge 4.17. Lastik içeriklerine göre makaslama gerilmesi değerleri.....	45
Çizelge 4.18. Önceki çalışmalarda yer alan kayma dayanımına etki eden parametreler.....	46

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Zeminler, üzerlerine inşa olunan yapıların altındaki temel tabakalardır. Temeller, hafif yükleri taşıdıkları gibi bazı durumlarda baraj, köprü ayağı gibi daha ağır yükleri de taşımak durumundadırlar. Fakat istisnai durumlarda inşaat sahasındaki zeminler, üzerine yapılacak yapılar için her zaman istenilen özelliklere sahip olmayabilirler. Stabilizasyonun sağlanmadığı böyle zeminler problemlili zeminler olarak adlandırılmaktadır. Problemlili zeminlerde zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir. Yumuşak veya sıkışabilir zeminlerde çeşitli problemler görülebilmektedir (Özaydın, 2011).

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgularda stabilite problemleri oluşmaktadır. Sıkışabilir zeminler üzerine inşa edilen yapılarda ise stabilite ve oturma problemleri kritik durumdadır (Özaydın, 2011). Dolgu zemin ile iyileştirme yöntemlerinde klasik dolgu malzemeleri yerine cüruf, uçucu kül, plastik atıkları, cam kırıkları, atık araç lastikleri gibi hafif ağırlıklı malzemeler kullanılmaktadır (Keskin ve Laman, 2012).

Son yıllarda, atık malzemelerin kullanılıp yeni ürünler elde etmek için değerlendirildiği çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda, çeşitli kimyasal maddelerin birleşiminden oluşan atık lastiklerin, gereksinim duyulan boyutlara kadar küçültülerek zeminlerle yaptığı karışımlarda kullanımının zeminin kesme direncini arttırıcı bir rol oynadığı görülmüştür (Humphrey ve Manion, 1992; Ahmed ve Lovell, 1993; Edil ve Bosscher, 1994; Zimmerman, 1997; Reddy ve Marella, 2001; Moo-Young ve ark., 2003; Zornberg ve ark., 2004; Gotteland ve ark., 2005; Çağatay, 2008).

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, granüler boyuttaki atık lastiklerin kumlu zeminler ile karıştırılması durumunda zeminlerin kayma dayanımına etkilerini araştırmak ve en yüksek kayma dayanımını veren karışım oranını belirlemektir. Ayrıca çalışma kapsamında incelenen bu lastik parçacıklarının, arazi koşullarında zemin iyileştirme yöntemi olarak kullanılması durumunda çevresel etkileri de araştırılmıştır.

Bu amaç kapsamında; aktif bir heyelan bölgesi olan Güzelyalı köyü çalışma alanı olarak seçilmiş olup, yapılacak çalışmanın bu bölgenin zemininde duraylılık sorunu yaratan ve bu soruna bağlı olarak yapı hasarına sebep olan doğal kum üzerinde gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir.



Şekil 1.2. Kum örneklerinin alındığı Güzelyalı sahil kesiminden görünüm (35T 4432770N-443810E, bakış yönü: GB'dan KD'ya doğru)

1.3. Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Atık Lastiklerin İyileştirmede Değerlendirilmesi

Stabilizasyonunun sağlanamadığı problemlili zeminleri, üzerine gelecek yükleri taşıyabilecek duruma getirmek için yapılan çalışmalara zemin iyileştirme çalışmaları denir. Zeminlerin türlerine ve zemin üzerine gelecek yüklerin taşıma gücü ve zeminin potansiyel oturma miktarına göre farklı zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Atık lastiklerin zeminlerle karıştırılıp değerlendirilmesi de zeminlerin kayma dayanımının artırılabilirliği açısından zemin iyileştirme yöntemi olarak araştırılmaktadır.

1.3.1. Zemin İyileştirme Yöntemleri

Zemin iyileştirme yöntemleri, derinliklerine göre yüzeysel iyileştirme yöntemleri ve derin iyileştirme yöntemleri olarak iki gruba ayrılabilir. Bu grubun dışında kalan alternatif zemin iyileştirme yöntemleri de mevcuttur (Demiröz ve Karaduman, 2009).

1.3.1.1. Yüzeysel İyileştirme Yöntemleri

Zeminin yüzeye yakın kesimine uygulanan ve yüzey bölgesindeki zeminin fiziksel özelliklerini güçlendirme amacı taşıyan yöntemlerdir. Bu yöntemlerden başlıcaları; kompaksiyon ve katkı maddesi kullanma yöntemidir.

Zemin tanelerini birbirine yaklaştırmak suretiyle mekanik işlemler uygulanarak zeminlerin sıkıştırılması işleminde kompaksiyon (sıkıştırma) yöntemi denir (Demiröz ve Karaduman, 2009).

Çimento, uçucu kül, kireç ve bazı kimyasallar gibi katkı malzemelerinin zeminlere ilavesiyle zeminlerin fiziksel özelliklerini değiştirmeyi ve zeminlerin mühendislik özelliklerini arttırmayı konu alan çalışmalar da yüzeysel iyileştirme çalışmalarına örnektir (Demiröz ve Karaduman, 2009).

1.3.1.2. Derin İyileştirme Yöntemleri

Zeminin fiziksel özelliklerini oldukça derin kottan başlayarak yüzeye kadar güçlendirmeyi hedefleyen maliyetli ama etkin çözümleri barındıran metotlardır. Başlıca derin iyileştirme yöntemleri; dinamik kompaksiyon, vibroflotasyon, taş kolonlar, enjeksiyon, dinamik yerdeğiştirme ve derin karıştırmadır.

Dinamik kompaksiyon çalışmaları, granüler zeminlerin sağlamlaşıp sıkışmasını sağlamak, taşıma kapasitelerini arttırmak ve sıvılaşma potansiyelini azaltmak amacıyla yapılmaktadır. Bu yöntemde vinç yardımıyla büyük ağırlığa sahip bir kütle belirli bir yükseklikten serbest düşürülerek zeminlerin sıkışması sağlanmaktadır (Demiröz ve Karaduman, 2009).

Vibroflotasyon yöntemi, derin ve kohezyonsuz zeminlerde uygulanmakta olup zemine yerleştirilen bir sonda yardımıyla zeminde yüksek enerjili titreşimler yaratarak malzemeyi kompakt bir hale getirmeyi amaçlamaktadır (Thilakasiri ve ark., 2001; Demiröz ve Karaduman, 2009).

Yumuşak ve gevşek zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri de taş kolonlar kullanmaktır. Zeminin delinmesiyle, çakıl muhtevalı kolonlar oluşturulup gevşek zemine mukavemet kazandırma amacı güdülen bir yöntemdir.

Zemin içerisindeki boşluklara akışkan sıvı ilave edilmesini esas alan enjeksiyon yöntemi derin iyileştirme yöntemlerinin iyi bir örneğidir. Bu yöntemde güçlendirilen zeminin, zemine aktarılacak yapı yüklerini taşıyabilmesi önemli bir unsurdur. Tünel ve barajlarda sızdırmazlığı sağlamak amacıyla tercih edilen bir yöntemdir (Demiröz ve Karaduman, 2009).

Dinamik kompaksiyonun daha geniş çaplı uygulaması olan dinamik yer değiştirme yöntemi, özellikle siltlerde ve killerde uygulanmakta olup yumuşak zeminlerin dayanımını arttırmak için kullanılmaktadır (Thilakasiri ve ark., 2001).

Mevcut zeminin diğer yöntemlerdeki gibi belirli derinliklere ulaştırılmadan, bulunduğu yerde özel olarak üretilmiş makineler kullanılarak, çeşitli bağdaştırıcı ve katkıları ile iyileştirilmesini hedefleyen çalışmalardan biri de derin karıştırma yöntemidir (Demiröz ve Karaduman, 2009).

1.3.1.3. Alternatif İyileştirme Yöntemleri

Yaygın olarak kullanılan yüksek maliyetli yüzeysel ve derin iyileştirme yöntemlerine alternatif olarak geliştirilen, deneme veya sınırlı uygulanabilir durumda olan iyileştirme yöntemleridir. Bu yöntemlerden başlıcaları; ısıtma-dondurma metodu, biyoteknolojiler ve atık lastikle iyileştirme metodlarıdır.

Isıtma-dondurma metoduyla, zemini oluşturan bileşenleri ısıtarak ve soğutarak zeminin plastisite indisi, mukavemet, sıkışabilirlik, taşıma gücü gibi özelliklerinde iyileştirme sağlanması hedeflenmiştir (Demiröz ve Karaduman, 2009).

Zemindeki havanın kimyasal ve mekanik yollarla dışarı çıkarılarak danelerin birbirlerine daha çok yaklaştırılmasını konu alan biyoteknoloji kullanım metodu ise zeminlerde mukavemetin artırılmasını hedeflemektedir (Çanakçı ve Çabalar, 2002).

Atık lastik, cüruf, mermer parçaları gibi atık malzemeleri hem tekrar değerlendirmeyi hem de bu değerlendirmeyle beraber karışım oluşturulan zemine mukavemet katıp kuvvetlendirmeyi amaçlayan donatı ile güçlendirme yöntemleri de mevcuttur (Demiröz ve Karaduman, 2009).

1.3.2. Atık Lastiklerin Değerlendirilmesi

Lastik yönetiminde lastik ve lastiği oluşturan maddelerin çeşitli işlemlere tabi tutularak lastiğin ilksel konumuna getirilmesi işlemlerine geri dönüşüm adı verilir (Yakaboylu, 2010). Genellikle az aşınmış ve tekrar kullanılabilir atık lastikler, yeniden değerlendirilmek üzere atık lastik deposuna gönderilmektense doğaya atılmaktadır. Oysaki bu durumdaki lastikler, depoya giren lastik oranını %5-10 arasında azaltmaktadır (Sugözü ve Mutlu, 2009). Atık lastikler deniz ve göllerde yaşayan canlılar için bir ortam yaratmak amacıyla, oyun yerlerinde salıncak ve iskelelerde gemilere tampon malzeme olarak doğrudan kullanılabilirler.

Tekrar kaplama yöntemiyle yenilenen lastikler, depolama alanında yer açmalarının yanında, kullanılmamış lastiklerle hemen hemen aynı kaliteye sahip olmalarından dolayı lastik üretimi için kullanılan yağdan tasarruf sağlayarak üreticiler için ekonomik açıdan

yarar sağlamaktadır (Sugözü ve Mutlu, 2009). Bazı ülkelerde yeniden kaplanmış lastiklerin kullanımı konusunda kanunlar da düzenlenmiştir (Gönüllü, 2004).

Tekrar kaplanan lastikler yeni lastiklere göre maliyeti %50 düşürmekle beraber, kullanılmamış lastiklerle hemen hemen aynı kalitededirler. Tekrar kaplama yöntemiyle hem ekonomik olarak yarar sağlanır hem de kullanılmış lastiklerin işgal edeceği depo alanları boşaltılmış olur (Gönüllü, 2004).

Atık lastikler, %65 sentetik, %35 doğal kauçuktan meydana gelmektedirler. İçerisindeki kauçukların %60-70'i geri kazanılabilmektedir (Sugözü ve Mutlu, 2009). Lastikler, fiber, çelik ve diğer kirleticilerden ayrılarak geri kazanılabilmektedir (Yakaboylu, 2010).

Lastiklerin sahip oldukları enerji miktarı çok yüksek olduğu için, termik olarak değerlendirilmeleri depolanmalarına oranla daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca bütün ve parçalanmış halde yakılabilmektedirler (Sugözü ve Mutlu, 2009). Lastiklerin bu şekildeki kullanımı, ısı santralleri ve çimento fabrikalarında tercih edilmektedir (Umu, 2013).

Lastikleri oluşturan maddeler; katı, sıvı ve gaz olarak elde edilmek üzere ısı bozundurma işlemlerine tabi tutulabilmektedirler. Bu işlemler karbonizasyon, piroliz ve gazlaştırma olarak 3 farklı yöntemle gerçekleştirilebilmektedir (Yakaboylu, 2010).

Piroliz yöntemi ile lastiklerin içerisindeki yağ, gaz, karbonun siyahı, kül ve çelik ayrıştırılarak üretilebilmektedir. Sıcaklığın artırılmasıyla gaz, azaltılmasıyla ise yağ elde edilmektedir. Elde edilen gaz ve yağ yakıt olarak değerlendirilmektedir (Sugözü ve Mutlu, 2009).

1.3.3. Atık Lastiklerin Günlük Hayatta ve İnşaat Sektöründe Kullanım Alanları

Atık lastiklerin günlük hayatta;

- Park ve koşu alanı yüzeylerinde esnek malzeme olarak,
- Oyun parklarında bütün ve parçalanmış halde oyuncak yapımında,
- Gemi yanaşma noktaları ve deniz kıyılarında bariyer ve dalga kırıcı olarak,
- Koltuk, masa, saksı gibi kullanım eşyalarında bütün ya da parçalanmış olarak,
- Ses ve titreşimi azalttıkları için otoyol ve yarış pistlerinde bariyer olarak kullanılabilmektedirler (Young ve ark., 2003).

Atık lastikler günlük yaşamdaki bu kullanımlarının yanı sıra mühendislik uygulamalarında da, birim hacim ağırlıklarının düşük olması, drenaj kabiliyetlerinin yüksek olması, ısı yalıtımlarının iyi olması ve yüksek sıkışabilirlik özelliklerine sahip

olmalarından dolayı kullanılmaktadırlar. Birim hacim ağırlıkları düşük olduğu için hafif agrega gibi değerlendirilerek istinat duvarları ve toprak setlerde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadırlar (Umu, 2013).

Atık lastiklerin jeoteknik mühendisliği ve inşaat sektöründeki kullanımları şu şekilde sıralanabilir:

- Şevlerde toprak kaymasını engelleyici malzeme özelliği gösterirler (Keskin ve Laman, 2012).
- Hafif bir malzeme oldukları için, istinat duvarlarında ve dolgu malzemesi olarak kullanılarak zeminin oturmasını azaltmada ve duraylılığının artmasını sağlamada yardımcı malzeme olarak yararlanılabilirler (Zornberg ve ark., 2004).
- Boşluk oluşturduklarından dolayı ısı yalıtımı sağlamakta kullanılabilirler.
- Deponi alanlarında drenaj malzemesi olarak kullanılabilirler (Reddy ve Marella, 2001).

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde atık lastik-kum karışımlarının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili birçok deneysel çalışma mevcuttur. Genel olarak karışımın kayma mukavemet özellikleri üzerine yoğunlaşmış olan bu çalışmalara ek olarak, karışımların özgül ağırlık, hidrolik iletkenlik ve sıkışabilirlik özellikleri üzerine gerçekleştirilmiş olan çalışmalar da mevcuttur. Atık lastik-kum karışımlarının kayma mukavemeti davranışı ile ilgili literatür derlemesi yapıp aşağıda özetlenmiştir.

Humphrey ve Manion (1992) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, atık lastiklerin zeminlerde iyileştirme yöntemi olarak kullanılabilirliği araştırılmış, bu sebeple 72 mm'den küçük uzunluklara sahip üç farklı tip atık lastik kullanılarak, bu lastik parçacıkları üzerinde kesme kutusu deneyleri uygulanmıştır. Deneyler neticesinde lastik parçacıklarının kohezyon değerlerinin 7,7-8,6 kPa, içsel sürtünme açılarının ise 19°-25° arasında değiştiği gözlenmiştir. Buna ek olarak atık lastik parçacıklarının ısı yalıtımı, drenaj ve yumuşak zeminlerin üzerine inşa edilecek dolgularda kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Ahmed (1993), yaptığı çalışmada Ottawa kumu ve sert Crosby kilini tek başına ve atık lastiklerle karışım halinde kullanmıştır. Tamamen kum ve kil zeminine ek olarak belirli yüzdelerde atık lastik içeren bu karışımlar üzerinde kesme kutusu ve üç eksenli basınç testleri gerçekleştirerek atık lastiklerin zeminlerin kayma dayanımı parametrelerine olan etkileriyle ilgili yorumlarda bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar %33 ve daha az lastik içeriğinde malzemenin mükemmel mühendislik özellikleri vermiş olup düşük kuru yoğunluk, düşük sıkışabilirlik ve yüksek drenaj özellikleri sergilediğini de göstermiştir. Lastik-zemin karışımlarının uzun vadede çevresel açıdan yeraltı suyuna etkisinin ne olacağı bilinmemekle beraber karayolu çalışmalarında dolgu malzemesi olarak ve yeraltı su seviyesinin üstündeki yapılarda kullanımının uygun olabileceği belirtilmiştir.

Foose ve ark. (1996) atık lastikleri kumlu zeminlerle %10 ve %20'lik oranlarda karıştırarak lastik içeriğinin kayma dayanımına etkisini araştırmıştır. Bu çalışmada elde ettiği karışımların birim hacim ağırlıklarını 14,7 ve 16,8 kN/m³ olarak iki farklı değerde sabit tutarak, 5 ve 15 cm'lik iki farklı lastik uzunluğunu dikey ve rastgele yönlendirmelerle 25,5 kPa'lık sabit normal gerilme altında kesme kutusu deneyleri uygulamışlardır. Yapılan deneyler sonucunda birim hacim ağırlık, lastik yönlenmesi ve lastik uzunluğu değişkenlerinin kesme gerilmesi değerleri üzerinde düzenli bir etkisinin bulunmadığı görülmüş olup en yüksek kesme gerilmesi değeri %30 lastik içeriğine sahip sette 14,7

kN/m^3 birim hacim ağırlığa sahip ve 15 cm'lik lastiklerin dikey yönlenme ile kullanılmasıyla elde edilmiştir. Bu çalışmada kayma dayanımını arttırmada düzenli bir etkide bulunan tek parametrenin lastik içeriğindeki artış olduğu saptanmıştır.

Wu ve ark. (1997) tarafından yapılan farklı boyut ve şekillere sahip atık lastiklerin kumun kayma dayanımı parametrelerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, 40 mm'den küçük uzunluklarda oransal olarak beş farklı şekil ve boyut dizilimine sahip olan atık lastik parçacıklarına üç eksenli basınç dayanımları uygulanmış, bu deneyler sonucunda atık lastiklerin kayma mukavemet parametreleri belirlenmiştir. Çalışma neticesinde atık lastiklerin içsel sürtünme açılarının 45° ile 60° arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

Tatlisoğ ve ark. (1998) yaptığı çalışmada, geniş ölçekli kesme kutusu deneyleri gerçekleştirerek atık lastiklerin kum ve kumlu siltli zeminler üzerindeki kayma dayanımına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla granüler boyutta hazırladığı lastikleri %10, %20 ve %30'luk oranlarda kum ve kumlu silt ile karıştırarak tamamen zemin numunesi kullanılması durumuna göre (donatısız zemin) kayma parametrelerindeki etkisine bakmış olup deney sonucunda en yüksek kohezyon değerini 39 kN/m^2 ile %30 lastik içerikli sette, en yüksek içsel sürtünme açısı değerini ise 54° ile %20 lastik içeriğinde elde etmiştir. %20 ve %30 lastik içeriğindeki içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinin birbirlerine oldukça yakın değerler olduğunu ve en yüksek dayanım değerleri veren karışım aralığının %20-30 aralığı olduğunu söylemişlerdir.

Naval ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, atık lastiklerin farklı sıklık oranlarına sahip kumlardaki kayma dayanımı parametrelerine etkisini araştırmış, kum örneklerine %0,25, %0,50, %0,75 ve %1,0 oranlarında atık lastik katkısıyla karışımlar oluşturmuşlardır. Bu karışımlar %60, %70, %80 ve %90 rölatif sıklık oranlarında, 0,1 MPa, 0,2 MPa ve 0,4 MPa oranlarındaki hücresel basınçlarla üç eksenli basınç testlerine maruz bırakılmıştır. Deney sonucunda atık lastik katkısının kayma mukavemetine pozitif yönde katkılarının bulunduğu ortaya çıkmış, tüm hücresel basınçlarda ve lastik içeriklerinde kesme değerlerini %0,75'e kadar arttırmıştır.

Edinçliler ve ark. (2004) lastik tozlarının kumlu zeminler ile yaptığı karışımlarda zeminin kayma dayanımına etkisini araştırdığı çalışmasında tamamen kum ve lastik kullanımına ek olarak ağırlıkça %5, %10, %20 ve %30 lastik tozu içeren karışımlar da elde ederek geniş ölçekli kesme kutusu deneyleri gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda lastik tozu kullanımının içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri üzerinde düzenli bir etkisinin olmadığı gözlenmiş olup en yüksek kohezyon değeri %20 lastik

içerikli sette 15,5 kPa'lık değerle, en yüksek içsel sürtünme açısı değeri ise tamamen kum kullanılan sette 33° ile elde edilmiştir.

Zornberg ve ark. (2004) dilimlenmiş lastikler ile kumlu zeminleri karıştırarak geniş ölçekli kesme kutusu deneyleri uygulamak suretiyle lastik dilimlerinin kum üzerindeki kayma dayanımına etkisini araştırmıştır. Tamamen kum ve tamamen lastik kullanılarak da deneyler yapılmış olup en yüksek kohezyon değeri %38,3 lastik içeren sette 41,2 kPa değeriyle elde edilmiştir. İçsel sürtünme değerlerinin lastik kullanımıyla genel olarak azaldığı ve en yüksek değer 41° ile tamamen kum kullanılması durumunda gerçekleştiği görülmüştür. Kohezyon değerleri baz alındığında optimum değer %38,3 lastik içeren sette elde edilmiştir.

Ghazavi ve Sakhi (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kum ile farklı şekil ve boyutlardaki atık lastiklerden oluşan lastik-kum karışımlarına kesme kutusu deneyleri uygulanmış, atık lastik içeriği ve formlarının zeminin kayma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışma neticesinde elde edilen bulgulara göre; lastik katkısı ve katkı olarak kullanılan lastiklerin boyutlarının, kayma mukavemetine etki eden parametreler olduğu belirlenmiş, içsel sürtünme açısının %50 lastik içerikli numunede 67° ye ulaşabildiği gözlenmiştir.

Gotteland ve ark. (2005) atık lastik parçacıklarını yatay ve dikey yönlendirmelerle ağırlıkça %14 ve %22'lik içeriklerde kumlu zeminler ile karıştırarak geniş ölçekli kesme kutusu deneyi uygulamışlar, lastik parçacıklarının kumlu zeminler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Buna ek olarak tamamen kum ve tamamen lastik kullanarak da deneyler gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek kohezyon değerini 50 kPa'lık değerle %22 lastik içeriğinde, en yüksek içsel sürtünme açısı değerini ise $42,6^\circ$ ile %14 lastik içeriğinde elde etmişlerdir. Ulaşılan verilere bakıldığında optimum dayanımın %14-22 lastik içeriğinde olduğu görülmektedir.

Attom (2006) çalışmasında, üç farklı tane boyutuna sahip kum ile ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40'lık oranlarda lastik parçacıklarını karıştırarak elde ettiği karışımlar üzerinde kesme kutusu deneyleri gerçekleştirmiş ve lastik içeriğinin kayma mukavemetine etkisini araştırmıştır. Çalışma neticesinde lastik içeriği arttıkça kayma dayanımı değerleri ve içsel sürtünme açısı değerlerinde artış gözlenmiştir. En yüksek kayma dayanımı %40 lastik içerikli sette bulunmuştur. İçsel sürtünme değerlerindeki en yüksek artış en ince daneli kumda görülmüştür. Çalışma sonucunda kayma dayanımının genel olarak kumun cinsinden bağımsız olarak atık lastik içeriğiyle doğru orantılı olarak değiştiği saptanmıştır.

Çetin ve ark. (2006) yaptıkları çalışmada, atık lastik parçacıklarını kaba ve ince olmak üzere iki dane boyutunda hazırlayıp ayırmış ve bu lastik parçacıklarıyla kohezyonlu zemin numunelerini karıştırarak, elde ettikleri karışımlara kesme kutusu ve kompaksiyon deneyleri uygulamışlardır. Yaptıkları bu deneylerle kayma dayanımının farklı lastik içeriği ve formlarına bağlı olarak değişimini inceleyerek, en yüksek kayma dayanımını veren karışım setini saptamaya çalışmışlardır. Kesme kutusu ve kompaksiyon deneyleri sonucunda %20 ve %30 içerikli ince boyutlu lastik parçacıklarıyla hazırlanan karışımlarda yüksek kayma mukavemeti değerleri elde etmişlerdir.

Ayhan (2007) çalışmasında kum, tamamen lastik parçacıkları ve belirlenen oranlarda atık lastik-kum karışımlarına normal ve geniş ölçekli kesme kutusu deneyleri uygulamıştır. Bu deneyleri yaparak atık lastiklerin kumlu zeminlerin kayma dayanımına etkisini araştırmış ve optimum kayma dayanımını veren karışımı saptamaya çalışmıştır. Çalışmada 40 mm'den büyük, 20-40 mm arasında ve 20 mm'den küçük olmak üzere üç farklı lastik seti kullanılmış ve lastik formlarındaki bu farkların kayma dayanımına etkisi de araştırılmıştır. Direkt kesme dayanımı deneyleri sonucunda; kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri değişiklik göstermiştir. Kayma dayanımı değerleri ise genel olarak %15-40 lastik içerikleri arasında artış göstermiş, sonrasında ise düşüşe geçmiştir. Geniş ölçekli kesme kutusu deneyi sonuçlarına göre ise 40 mm'den büyük lastik parçacıklarının kullanıldığı %20 lastik içerikli karışımda en yüksek kayma dayanımı elde edilmiştir. Yapılan deneyler kayma dayanımının genel olarak %15-30 lastik içeriği arasında arttığını, lastik içeriği arttırılmaya devam ettikçe dayanımın düştüğünü göstermiştir. Lastik-kum karışımlarının bütün deneylerde %100 kuma göre daha yüksek kayma mukavemeti değerlerine sahip olduğu görülmüştür. %100 lastik kullanılan sette ise en düşük kayma dayanımı ve içsel sürtünme açısı değerleri elde edilmiştir. Kayma mukavemeti değerlerini; normal gerilme miktarı, lastik içeriği ve lastik şekli önemli ölçüde etkilemiştir.

Emiroğlu ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada, beton bünyesinde kullanılmak üzere hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında atık lastik kullanarak lastik agregalı betonlar üretmişler ve eğilmede çekme deneylerine tabi tutmuşlardır. Eğilmede çekme deneyine tabi tutulan kırış numunelerin boyutlarını 100x100x500 mm ebatlarında hazırlamışlardır. Deneyler sonucunda hesapladıkları elastisite modülü değerleri arasındaki ilişkiyi ortaya koymuş ve atık lastik oranının artmasına paralel olarak iki farklı elastisite modülü arasındaki ilişkinin azaldığını saptamışlardır.

Karacasu ve Bilgiç (2009) atık lastik içeriğinin asfalt betonuna etkisini araştırdıkları çalışmada; 1150 g agregaya %3,5, %4,0, %4,5, %5,0, %5,5 ve %6,0 oranlarında atık lastik

ilavesi ile 160 °C'de karıştırarak Marshall deneyine tabii tutmuşlar ve deneye tabii tutulan malzemelerin spesifik gravite, su emme, bitüm emme, aşınma ve dayanım parametrelerini değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucunda %2 atık lastik içerikli karışımın yüklere karşı daha dirençli olduğu sonucuna varmışlardır. Buna ek olarak araştırma bulgularına göre; atık lastik miktarı arttıkça özgül ağırlığın, bitümle dolu boşluk oranının ve Marshall dayanımının azaldığı, genel boşluk oranının ve akma miktarının ise arttığı sonucuna ulaşmışlardır.

Sugözü ve Mutlu (2009) tarafından atık lastiklerin geri kazanımıyla ilgili teknolojilerin ve farklı boyutlardaki atık lastik özelliklerine yönelik bilgilerin incelendiği çalışmada, lastiklerin kullanım alanları ile çevresel etkilerinin saptanması amaçlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; arsenik (As), kadmiyum (Cd), krom (Cr), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) gibi metalleri içeren atık lastiklerin yangın esnasında toprak ve suyun kirlenmesine ek olarak açığa çıkan gaz bulutundaki kirletici etmenlerin doğaya büyük ve kalıcı zarar vereceği sonucuna ulaşmışlardır. Ayrıca atık lastiklerin kesilmiş şerit, iri parçalanmış, kırıntı şeklinde parçalanmış, granüler halde ve toz şeklinde küçültülerek otomotiv endüstrisinde, spor alanları yüzeylerinde, asfalt-zemin uygulamalarında ve termoplastik ürün üretiminde kullanılabilirdiğinden bahsetmişlerdir.

Yıldız (2011) atık lastiklerin deprem hasarlarını azaltıcı bir etken olarak kullanılabilirliğini araştırdığı çalışmada, zeminlerin sıvılaşma üzerindeki etkilerini ölçmek ve mühendislik özelliklerini belirleyebilmek için bir dizi laboratuvar deneyi yapmıştır. Esnek numune kutusu kullanarak değişen sıcaklık değerleri altında sarsma masası testleri uygulamıştır. İki farklı boyuttaki lastik parçacıklarını (en-boy oranı 1/5 olan ve 1/1 olan) $D_r = \%40$ rölatif sıklıkta ve %30 su içeriğinde hazırladığı numuneler üzerinde yaptığı deneylerde İzmit (1999), Sakarya (1967) ve Tabas (1970) depremlerindeki deprem hareketi modellerini baz almıştır. 0 °C'nin altında, oda sıcaklığında (20 ° ve 50 °C'de) gerçekleştirdiği deneyler sonucunda; atık lastik kullanarak uyguladığı bu methodun, hem sıvılaşma etkilerini azalttığını hem de yer değiştirmeyi azaltarak deprem hasarlarını azaltıcı etken olarak kullanılabilirdiğini gözlemlemiştir.

Çabalar ve Akbulut (2013), kil-kırmataş karışımları ve atık lastik ile karıştırılmış kırmataşları kullanarak; geçirimsizlik, direkt kesme, ödometre, kompaksiyon ve CBR taşıma oranı testleri yaptıkları çalışmalarında, kil, lastik ve kırmataş miktarlarındaki değişimlere bağlı olarak kohezyon, içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlık değerlerindeki değişimleri incelemiştir. Ödometre testlerinde kil ve atık lastik miktarlarının artmasıyla sıkışabilirliğin de arttığını saptamışlardır. Direkt kesme deneylerinde ise kil ve atık lastik

miktarları arttıkça kohezyon değerlerinde artış, içsel sürtünme açısı değerlerinde ise azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Bunun sonucunda kırmataş ve kil karışımlarına uygulanan kompaksiyon deneylerinde kum arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlıkta azalma olduğunu, optimum su içeriğinde ise artış olduğunu belirtmişlerdir.

Marto ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, normal gerilmenin etkilerinin analiz edilmesi, lastik içeriği ve kumun birim hacim ağırlığının belirlenmesi için, kumun kesme direncinin belirli miktarda atık lastik eklenmesiyle direkt kesme değişimi araştırılmış; bu amaç kapsamında numuneler üzerinde direkt kesme deneyleri yapılmıştır. Kum ve lastik parçacıkları ağırlıkça farklı oranlarda karıştırılmış, deneyler için üç farklı normal gerilme tasarlanmıştır. İçsel sürtünme açısı ve farklı parametrelerin etkisi analiz edilmiş ve tartışılmıştır. Deney sonuçları atık lastik içeriğindeki artışın içsel sürtünme açısını azalttığını; zeminin kesme direncini ise arttırdığını göstermiştir.

Pourfarid (2013) polisaj lastiği ve lastik tozu olmak üzere iki ayrı formda atık lastik çeşidi kullandığı çalışmasında, %100 kum ile %10, %20 ve %30 lastik içeren atık lastik-kum karışımları hazırlamıştır. Hazırladığı bu karışımlar üzerinde lastik parçacıklarının kum üzerindeki makaslama dayanımını araştırmak üzere kesme kutusu deneyleri uygulamıştır. Buna ek olarak atık lastiklerin iyileştirilmiş zemindeki taşıma gücüne etkisini araştırmak için de CBR deneyleri gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, %30 polisaj lastiği içeren karışımda taşıma kapasitesi değerlerinde azalma görülmüştür. Lastik tozunun ise taşıma kapasitesinde pozitif bir etki göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. %10'a kadar lastik tozu eklendiği takdirde ise kayma direnci parametrelerinin belirli bir miktar arttığı, daha fazla lastik eklendiğinde ise değerlerin düştüğü saptanmıştır. Çalışmada kullanılan iki lastik tipinin de kumlarla yaptıkları karışımlarda kohezyonu yükselttiği görülmüştür. Kumların lastiklerle oluşturdukları karışımlarda hafif ağırlıklı malzeme olmasından dolayı yanıl basıncı düşürerek istinat yapılarında uygulanabilmelerinin mümkün olduğu düşünülmektedir.

Topçu ve ark. (2014) tarafından lastik agregalı harçların basınç ve dayanımlarının araştırıldığı çalışmada, agrega yerine 3 farklı tane boyutunda atık lastik kullanarak %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında harçlar üretilmiş, bu harçlara 7 ve 28 günün sonunda fiziksel ve mekanik testler uygulanmıştır. Ayrıca elde edilen harçlar elektron mikroskobu (SEM) ile yakından incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda lastik kullanım oranına bağlı olarak basınç ve eğilme dayanımlarındaki düşüş oranları karşılaştırıldığında, eğilme dayanımlarındaki azalma oranlarının basınç dayanımlarındaki azalmaya göre düşük olduğu gözlenmiştir. Birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı

değerleri 7 ve 28. gün sonlarında en çok %50 lastik içerikli çalışmada düşüş göstermiştir. Çalışma sonucunda atık lastik içeren harçların, ses yalıtımına katkıda bulunmalarından dolayı boşluklu ve hafif bölme duvarlarında, ısı yalıtımı istenen yerlerde ve bazı dekorasyon işlerinde kullanımının uygun olabileceği öngörülmüştür.

Uysal (2014) tarafından yapılan çalışmada ağ yapılı kopolimer ve virjin homopolimer gibi polimerler ile kum karışımlarının içsel sürtünme açısı arttırılmaya çalışılmıştır. Rölatif sıklık değerleri %20, %30 ve %40 olan katkısız zemin numuneleriyle ağırlıkça %0,5, 1,0 ve %1,5 oranlarında ağ yapılı kopolimer-kum ve virjin homopolimer-kum karışımları oluşturularak içsel sürtünme açılarını hesaplamak amacıyla kesme kutusu deneyi yapılmıştır. 21 farklı deney setinden oluşan kesme kutusu deneyleri sonucunda, katkı malzemesi arttıkça rölatif sıklık ve kayma mukavemeti açısının arttığı gözlenmiştir. Yapılan deneylerde en düşük kayma mukavemeti katkı malzemesiz %100 kumun yer aldığı en düşük rölatif sıklığa sahip olan sette 21° olarak elde edilmiştir. En yüksek kayma mukavemeti açısı ise kütlece %1,5 virjin homopolimer katkılı %40 rölatif sıklığa sahip olan sette elde edilmiştir.

Umu ve ark. (2014) atık lastik-kum karışımlarının dinamik yükler altındaki deformasyon seviyelerini ve sönümlenme özelliklerini belirlemek için yaptıkları çalışmalarında, %100 kum ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında atık lastik tozları ve kum karışımlarını bir dizi burulmalı rezonans kolon deneylerine tabii tutmuşlardır. Çalışma sonuçlarına göre; kayma modülü değerleri göz önüne alındığında, %5 lastik içerikli numunede kayma modülü değerleri %100 kumda elde edilen dayanım değerlerine oranla oldukça artmıştır. Buna ek olarak lastik miktarı arttırıldığında %10 lastik içeriği üzerindeki sonuçlar ise kayma modülü değerlerinde düşük de olsa genel olarak büyük bir düşüş göstermiş, %15 lastik içeriğinde ise değerler %100 kuma göre çok büyük oranda düşerek %100 kumun dayanım değerlerinden de düşük seviyelere gelmiştir. Bu sonuçlara dayanarak maksimum kayma modülü değerleri %5-10 aralığında en yüksek değeri göstermiştir. Lastik içeriği arttığında ise dayanım değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Khoshnaw (2014), çalışmasında atık lastik kullanımının betonların mekanik geçirimsizlik ve durabilite özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu nedenle üç farklı atık lastik agreganın doğal agrega ile kısmi olarak hacimce yer değiştirilmesiyle geçirimsiz betonlar ile farklı miktar ve boyutta atık lastik içeriğine sahip 10 adet geçirimsiz beton üretmiştir. Suçimento oranı 0,27 olarak üretilen geçirimsiz betonlar üzerinde basınç, eğilme, donma-çözülme direnci, elastisite modülü, yüzey aşınması, geçirimsizlik ve kırılma enerjisi deneyleri gerçekleştirmiştir. Kontrol betonuna kıyasla lastik katkılı betonlarda yarmada

çekme, basınç dayanımı, elastisite modülü ile eğilme dayanımının azaldığını görmüştür. Buna ek olarak, atık lastik kullanımının betonların geçirimsizlik özelliklerine etkisinin olduğunu ve bu etkinin lastik miktarı ve türüne göre değişkenlik gösterdiğini gözlemlemiştir. Betonlarda atık lastik katkısının kırılma enerjisi, yüzey aşınma direnci, süneklik ve donma-çözülme direnci özelliklerini ise büyük oranda iyileştirdiğini saptamıştır.

Erenson (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, atık lastiklerin taş kolon imalatında yapı içerisinde katkı malzemesi olarak kullanımı amaçlanmıştır. Atık lastikler ve polyester malzemesi sarmal olarak kullanılmıştır. Yapılan aksenal yükleme deneyleri sonucunda elde edilen verilere bakıldığında ise, taş kolon imalatında atık lastiklerin kullanılabilmesi fakat lastiklerin zemine yerleştirilmesi sırasında açılan kuyu çapı ve lastiklerle zemin arasındaki yüzey arasında oluşacak boşluğu doldurmanın zorluğu, gevşek zeminde lastiklerin tutunmasındaki engellerden dolayı konsolidasyon sürecinde sıkıntıların gerçekleşebileceği belirtilmiştir.

Göztepe (2016) yaptığı çalışmada, düşük ve orta yüksekliğe sahip yapıların depreme dayanıklılığını atık lastik katkılı kumlar kullanarak test etmeyi amaçlamıştır. Bu nedenle geçmişte gerçekleşen büyük ölçekli depremlerin sismik verilerini kullanarak 1/10 ölçekli 3 ve 5 katlı binalarda atık lastik-kum karışımlarının hafif ağırlıklı dolgu malzemesi olarak dayanım parametrelerini sarsma tablası deneyleriyle belirlemiştir. Bu deneyler vasıtasıyla önerilen sismik izolasyon yönteminin etkilerini, izolasyon uygulanmış modellerle izolasyon uygulanmamış modeller arasında mukayese yaparak tartışmıştır. Gerçekleştirdiği çalışma sonucunda atık lastik-kum karışımlarının depremlerin etkisini azaltıcı alternatif izolasyon malzemesi olarak kullanımının oldukça olumlu etkileri olduğunu gözlemlemiştir. Kullanılan izolasyon yöntemiyle yapının deprem esnasında göstereceği tepkinin azalacağını ve yapı hasarlarının en aza ineceğini belirtmiştir.

Öztürk (2016) atık lastik katkısının kendiliğinden yerleşen betonların mühendislik özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmasında, 25, 50 ve 75 mm uzunluğunda kesilen lastikleri beton içerisinde kullanmıştır. Hacimce %5, %10 ve %15 oranlarındaki lastikleri iri agrega ile yer değiştirmiş ve hazırlanan karışım numunelerine slump yayılma, kolon segregasyon, birim ağırlık, J-ringi, ultrases geçiş hızı, kırılma enerjisi ve basınç dayanımı deneyleri yapmıştır. Çalışma sonucunda; atık lastik boy oranının artmasıyla beton numunelerde kuru birim hacim ağırlığının düştüğü, %10 lastik içerikli numunelerde basınç dayanımının en yüksek değeri verdiğini gözlemlemiş, %10 lastik içerikli 25 mm

uzunluktaki lastik parçacıklarına sahip betonların optimum değerleri verdiği sonucuna ulaşmıştır.

Ordu ve ark. (2017) çalışmalarında, değişik oranlarda atık lastik ilaveli kum-lastik karışımlarına CBR deneyleri uygulamış ve farklı su muhtevalarındaki karışımlar ile elde edilen CBR değerleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. %0, %1 ve %2 oranlarında atık lastik ilave ederek elde ettikleri karışımlar üzerinde, %8, %8,5, %8,75, %9 ve %9,5 su muhtevası değerlerinde tekrarlı olarak CBR deneyleri yapmışlardır. %1 atık lastik karıştırarak yaptıkları deneyde en yüksek CBR değerini %8, %8,5 ve %8,75 su muhtevası değerlerinde elde etmişler; %2 atık lastik karıştırarak yaptıkları deneyde en yüksek CBR değeri %8 ve %8,5 su muhtevası değerlerinde saptamışlardır. Atık lastik kullanmadıkları setteki CBR değerini ise %8 su muhtevasında elde etmişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda atık lastiklerin karışımdaki oranlarının artışı CBR değerleri üzerinde ters orantılı bir etki gösterip düşüğe sebep olmuştur. Bu sebeple sadece atık lastik katkısıyla kumlu zeminlerde arzu edilen iyileştirmelerin gerçekleşmeyeceği düşünülmeyle beraber pozitif etki görmek adına killi ve siltli zeminlerde de çalışmaların yapılması gerektiğine değinilmiştir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme alanı ile ilgili çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşama saha çalışmaları, ikinci aşama ise laboratuvarda yapılan çalışmalardır.

Saha çalışmaları kapsamında tezde kullanılan kumlar, Çanakkale ilinde bulunan Güzelyalı köyünün 35T 4432770N-443810E koordinatlarına sahip kısımdan alınmıştır. Çalışmada kullanılan atık lastik parçaları, Bursa'da faaliyette olan bir atık lastik öğütme atölyesinden 2-4 mm granüler boyutta temin edilmiştir.

Laboratuvar çalışmaları kapsamında; çalışma alanından alınan kumlu zemin örneğinin ve atık lastik-kum karışımlarının fiziksel, mekanik parametrelerini belirlemek amacıyla su muhtevası, özgül ağırlık, dane boyu dağılımı, standart proktor ve kesme kutusu deneyleri; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne ait kaya ve zemin mekaniği laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu çalışmalara ek olarak, lastiklerin çevresel etkilerini saptamak amacıyla da kolon testi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı doğrultusunda, atık lastik ve kum numuneleri, belirli oranlarda karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar üzerinde kesme kutusu deneyleri yapılmış, karışımın sabit normal gerilmeler (σ) altındaki kesme dayanımları (τ) kaydedilmiş, yapılan bu ölçümlerden yararlanarak karışımların kayma parametreleri (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) hesaplanmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda; %20 atık lastik-%80 kum içeren karışım optimum değer olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu karışım numunesi üzerinde kirlenici etmenleri araştırmak amacıyla kolon testi yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında; aşağıdaki parametreler belirlenmiştir:

- Su Muhtevası
- Özgül Ağırlık
- Dane Boyu Dağılımı (Elek Analizi)
- Standart Proktor
- Kayma Dayanımı
- Atık Lastiklerin Çevresel Etkileri

3.1. Su Muhtevası

Kumlu zemin örneğinin su içeriğini belirlemek amacıyla su muhtevası deneyi yapılmıştır. Yaş numuneler (Şekil 3.1), 105 °C'de 24 saat süreyle etüvde (Şekil 3.2) kurutulmadan önce ve kurutulduktan sonra ayrı ayrı tartılarak aradaki su miktarı farkı saptanmış, buna bağlı olarak su içeriği değerleri (ω) hesaplanarak ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.1. Kurumaya bırakılan numuneler



Şekil 3.2. Etüv cihazı

3.2. Özgül Ağırlık

Kum numunesinin dane birim hacim ağırlığını ve özgül ağırlığını belirlemek amacıyla piknometre deneyi yapılmıştır (Şekil 3.3). Deneyler iki tekrarlı olarak yapılmış ve ortalamaları alınmıştır.



Şekil 3.3. Özgül ağırlık deneyi yapılışı

3.3. Dane Boyu Dağılımı (Elek Analizi)

Güzelyalı köyünün yamaç kısmından alınan kum numunelerinin ve Bursa ilindeki lastik atölyesinden granüler boyutta temin edilen atık lastik parçacıklarının dane boyu dağılımlarını belirlemek ve kum numunesinin zemin sınıfını belirlemek amacıyla elek analizi deneyleri yapılmıştır. Bunun için, Amerikan standartlarına (ASTM) sahip elekler (Şekil 3.4) kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Elek analizi deney seti ve deneyin yapılışı

Kuru kum numuneleri ve lastik parçacıkları ayrı ayrı sırasıyla büyük elek açıklığından küçük elek açıklığına doğru dizilen elek setlerine konmuş ve elenmiştir. Kum ve atık lastik parçacıkları donatı ve zemin malzemesi olarak iki farklı sınıftadır. Bu sebeple eleme işlemi karışım olarak değil de kum ve lastik parçacıkları olarak ayrı iki sınıfta gerçekleştirilmiştir. Eleme işlemi sonrasında tartım ve hesaplamalar yapılarak sonuçlar kaydedilmiştir.

3.4. Standart Proktor

Atık lastik ve kumun, belirli bir sıkıştırma enerjisinde maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıkları ile kumun optimum su içeriğini belirlemek amacıyla yapılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Standart proktor deneyi yapılışı

Standart proktor deney aletleri kullanılarak kum numunesinin ve atık lastiklerin maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıklarını belirlenmiştir (Şekil 3.6). Ayrıca kum numunesinin minimum ve maksimum boşluk oranları da hesaplanmıştır.

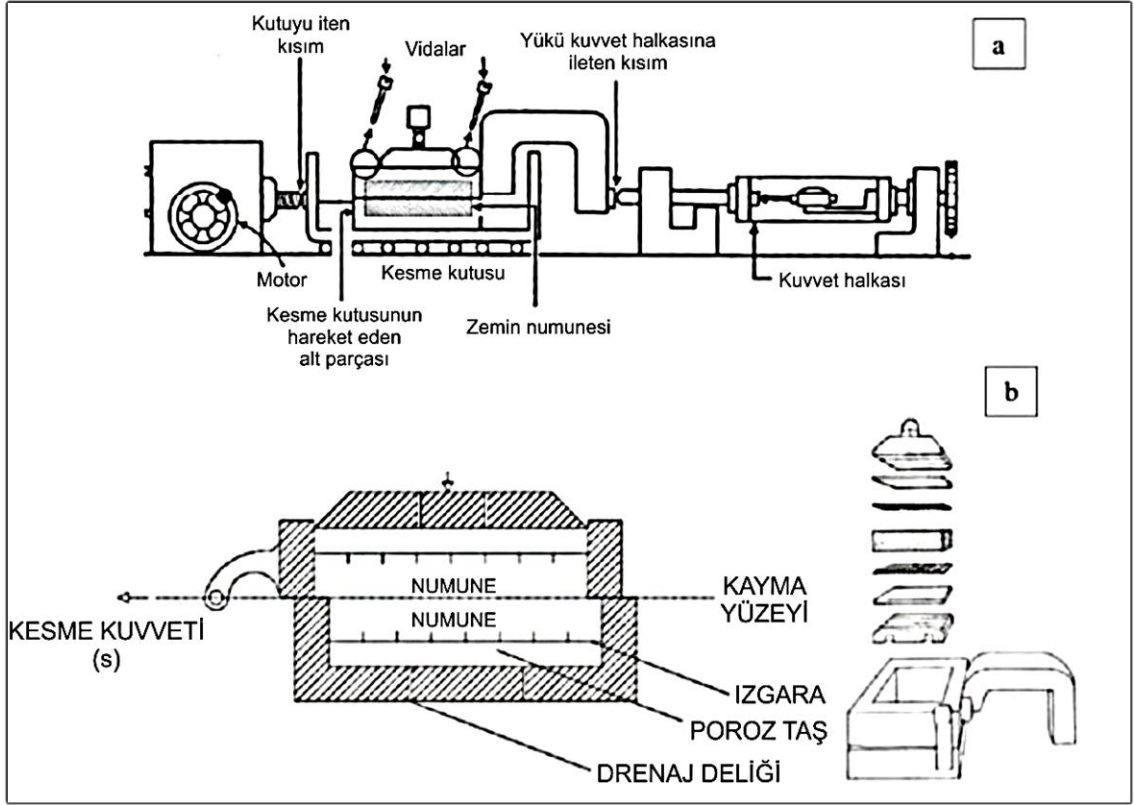


Şekil 3.6. Atık lastiklerin maksimum ve minimum kuru birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi

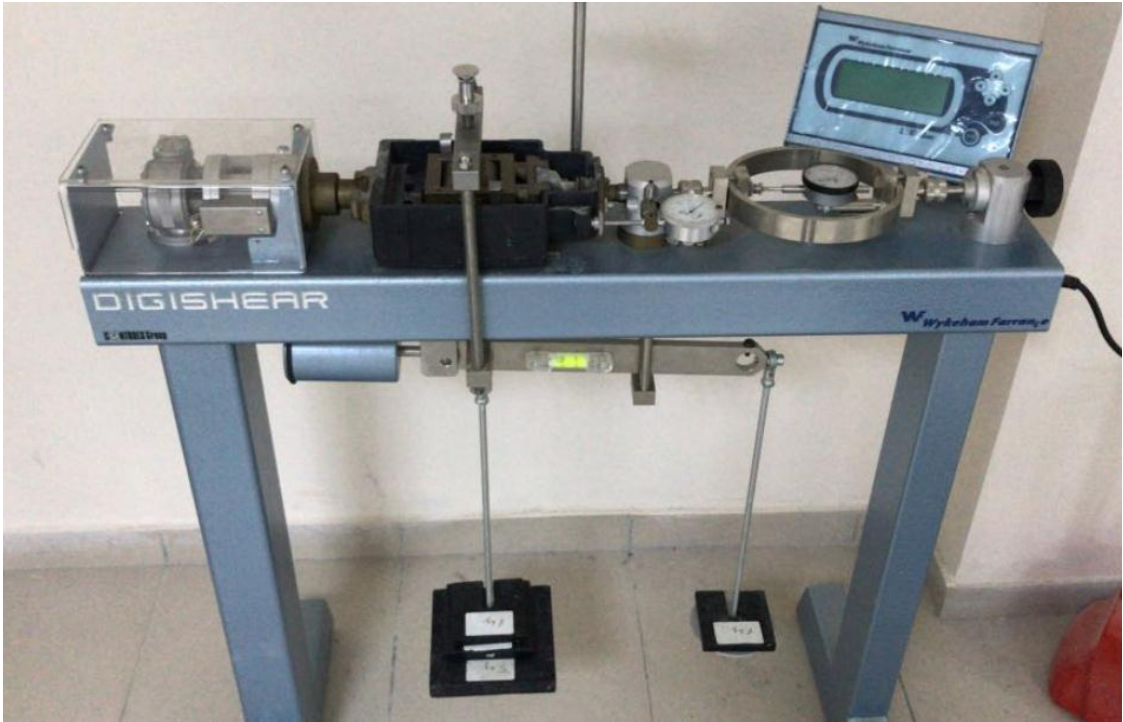
3.5. Kayma Dayanımı

Sabit normal gerilmeler (σ) altındaki kesme gerilmeleri (τ) ölçülerek çalışma kapsamında kullanılan malzemelerin kayma parametrelerinin (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) belirlenmesi amacıyla kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Deneylerde 6x6 cm boyutundaki kesme kutusu kullanılmıştır (Şekil 3.7 ve Şekil 3.8).

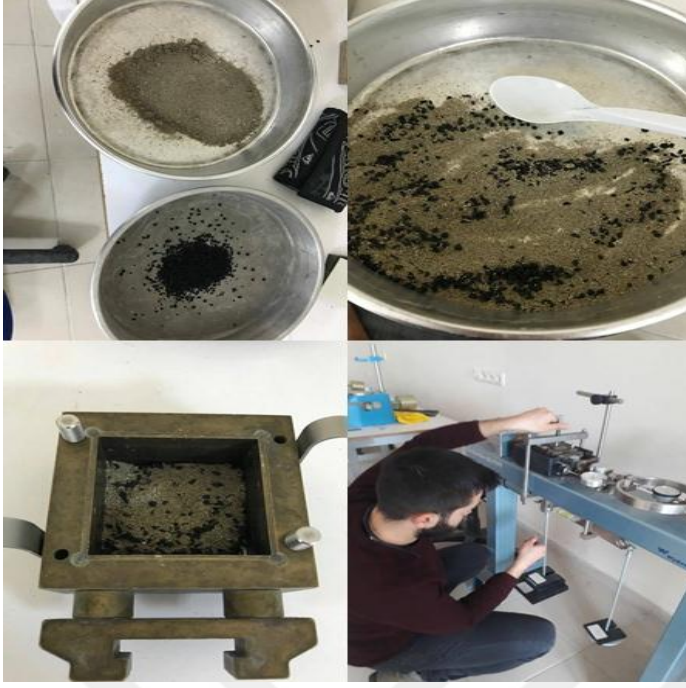
Deneyde birbirini ikiye katlayan normal gerilmeler kullanılmıştır. İlk olarak 0.5 kg/cm²'lik bir gerilme uygulanmıştır. Yük değerleri belirli deformasyonlar için okunmuştur. Okunan değerlerde azalma olduğu nokta numunenin yenildiği an olarak kabul edilip, bu anda okunan değer kaydedilmiştir. Deneyin devamında 1 kg/cm² ve 2 kg/cm²'lik normal gerilmeler uygulanmıştır. Bu işlemler, karışım oraları sırasıyla %100 kum, %90 kum+%10 granüler lastik, %80 kum+%20 granüler lastik, %75 kum+ %25 granüler lastik, %70 kum+ %30 granüler lastik, %60 kum+ %40 granüler lastik, %50 kum+%50 granüler lastik için uygulanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.7. (a) Kesme kutusu deney aletinin kesiti, (b) Kesme kutusu deney aleti parçaları (Önalp, 2007)



Şekil 3.8. Kesme kutusu deney ekipmanı



Şekil 3.9. Kesme kutusu deneyinin yapılışı

3.6. Atık Lastiklerin Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi

Kolon testleri, kirleticilerin arazi koşulları altındaki sızabilirlik durumunu araştırmak için gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10). Bu deneyde en yüksek kayma dayanımı veren kum-atık lastik karışımlarından belirli bir miktar hazırlanmış ve kolon testi ekipmanı yardımıyla bu karışımdan sızıntı suyu elde edilmiştir. Elde edilen sızıntı suyuna laboratuvar analizleri uygulanmış ve malzeme içerisinde bulunabileceği düşünülen kirleticiler araştırılmıştır.



Şekil 3.10. Kolon testi düzeneği

BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojisi literatüre dayanılarak verilmiştir. Bu tez kapsamında çalışmanın amacı doğrultusunda zemin mekaniği deneyleri yapılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

4.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Jeolojisi

Çalışma alanında iki jeolojik birim yüzlek vermektedir. Bunlar alüvyon yelpazesi ortamı ürünü olan Sarıyar Formasyonu ile denizel ortamı karakterize eden Çanakkale Formasyonu'dur. Kum numunesinin alındığı arazi alanı Çanakkale Formasyonu içerisindeki Güzelyalı Üyesi'ne aittir. Güzelyalı Üyesi, Üst Miyosen yaşlıdır ve bu bölgede kumtaşları egemen olarak gözlenmektedir.

Çanakkale Formasyonu içerisinde Güzelyalı Üyesi haricinde, marn ve kilaşı içeren İntepe Üyesi ile kireçtaşları içeren Tekkedere Üyesi de yer almaktadır (Atabey ve ark., 2004).

Çanakkale güneydoğusu ve güney kesiminde oldukça geniş bir alanda yer kaplayan ve Şentürk ve Karaköse (1987)'ye göre akarsu ortamında çökeldiği varsayılan Anafarta Üyesi'yle uyumlu olan, genel olarak çakıltaşı, kumtaşı ve kırmızı-gri çamurtaşlarından oluşan Çanakkale Formasyonu'nun bir üyesi kabul edilen Güzelyalı Üyesi, Orta Miyosen yaşlı Sarıyar formasyonunu uyumsuz olarak üzerlemektedir. Güzelyalı Üyesi; yaklaşık 60-90 m kalınlığa sahip olup, tabanında ripil mark içeren, düzlemsel çapraz ve tekne türü çapraz katmanlı kumtaşları bulunmaktadır. Bu birim, katmanlı çakıltaşı mercekli bir seviye, onun üzerinde kilaşı, sonra beyaz renkli marn ve daha sonra kırmızı-gri renkli çamurtaşı ardalanmalı bir istif içermektedir (Şekil 4.1). Güzelyalı Üyesi'ni fosilli, çamurtaşı, kumtaşı, konglomera, kalker içeren Tekkedere Üyesi üzerlemektedir (Atabey ve ark., 2004).

Çalışma bölgesinde hala devam etmekte olan bir heyelan bulunmaktadır. Kirazlı Formasyonu'na ait kumtaşı ve siltli birimlerden ve yüzeyde görülen çatlaklardan şiddetli yağışlar sonucu sızan yüzey suları, Kirazlı Formasyonu'nun alttaki Gazhanedere Formasyonu'na ait kilaşı ve özellikle beyaz renkli marn üst yüzeyine ulaşması sonucu iki Formasyon kontağının oluşturduğu düzlem boyunca eğim yönünde hareket başlamakta ve heyelanlara neden olmaktadır (Tunusluoğlu ve Karaca, 2016).

SİSTEM	SERİ	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK (m)	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
Kuvaterner				3-10		Alüvyon (çakıl, kum silt toprak) <i>Uyumsuzluk</i>
Neojen	Üst Miyosen	ÇANAĞKALE	Tekkedere	75-90		LAGÜN Fosilli, kavkı parçalı çamurtaşı, kumtaşı konglomera, lentiküler tabakalı kumtaşı, fosilli kalkarenit SET ADASI, OOID DÜZLÜĞÜ Kumtaşı, kalkarenit, mam, silttaşı, matralı, kavkı parçalı kireçtaşı, ooidli, stromatolitli kireçtaşı KIYI YÜZÜ PLÂJ Ripıllı, düzlemsel paralel, düzlemsel çapraz ve tekne türü çapraz katmanlı kumtaşı, HCS <i>Uyumsuzluk</i>
			Güzelyalı	60-90		
Paleojen	Orta Miyosen	SARIYAR		150-200		ALÜVYON YELPAZESİ Kırmızı-bordo renkli kanal tabanı gecikme ve bar çökel konglomera-kumtaşı ile taşkın düzlüğü çamurtaşı <i>Uyumsuzluk</i>
Permiyen-Kretase	Eosen	CEYLAN				EZİNE-DOYRAN VOLKANİTLERİ Andezit, tuf, blok akması Kumtaşı, şeyl kalkarenit, çakıltası, tüfit, ignimbirit <i>Uyumsuzluk</i>
						ÇAMLICA METAMORFİKLERİ Mikaşist, mermer, kuvarsit DENİZGÖREN OFİYOLİTİ Serpantin, harzburjit

Şekil 4.2. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Atabey ve ark., 2004)

Stratigrafik kesit incelendiğinde (Şekil 4.2) Güzelyalı Üyesi'nin temelini Permiyen-Kretase yaşlı harzburjit, dünit gibi ofiyolitik kayalardan oluşan Denizgören Ofiyoliti ile onu tektonik bir dokanakla üzerleyen serpantin içeren Çamlıca Metamorfikleri oluşturmaktadır. Eosen yaşlı andezit, tuf gibi volkanik kayalarla, Ezine-Doyran

Volkanitleri adıyla adlandırılan, kumtaşı, çakıltası, şeyl kalkarenit ve ignimbirit içeren Ceylan Formasyonu açısız bir diskordansla Çamlıca Metamorfileri'ni üzerlemektedir. 150-200 m kalınlıkta olan Orta Miyosen yaşlı Sarıyar Formasyonu adıyla tanımlanan konglomera, kumtaşı ile çamurtaşı içeren alüvyon yelpazesi açısız bir diskordansla Ceylan Formasyonu'nu üzerlemektedir. Üst Miyosen yaşlı 60-90 m kalınlıkta Güzelyalı Üyesi kendinden önceki tüm birimleri diskordansla örtmektedir. Güzelyalı Üyesi ripilli, düzlemsel paralel, düzlemsel çapraz ve tekne türü çapraz katmanlı kumtaşı içeren plaj ile onunla yanal geçiş gösteren kumtaşı, kalkarenit, marn, siltaşı, kavkı parçalı kireçtaşı, ooidli stromatolitik kireçtaşı set adası, ooid düzlüğünden oluşmaktadır. Üst Miyosen yaşlı 75-90 m kalınlıkta olan fosilli, kavkı parçalı çamurtaşı, kumtaşı, konglomera, lentiküler tabakalı kumtaşı ve fosilli kalkareni içeren bir lagünden oluşan Tekkedere Üyesi, Güzelyalı Üyesi'ne yanal geçiş göstermektedir. Tüm birimleri 3-10 m kalınlığa sahip Kuvaterner yaşlı bir alüvyon diskordansla örtmektedir (Atabey ve ark., 2004).

4.2. Laboratuvar Deneyleri

Su muhtevası, özgül ağırlık, dane boyu dağılımı, standart proktor, kesme kutusu ve kolon testi deneylerinden elde edilen veriler bu bölümde verilmiştir.

4.2.1. Su Muhtevası

Kum numunesi üzerinde, üç tekrarlı olarak su muhtevası deneyi yapılmış ve ortalama değer alınmıştır. Deney sonucunda %15,77, % 15,24 ve 15,38 olarak elde edilen 3 farklı su muhtevası değerinin (ω_{ort}) ortalaması alınarak zeminin doğal su içeriği değeri (ω_n) %15,46 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Kum numunesine ait su muhtevası değerleri

Numune No	1	2	3
Kap Ağırlığı (g)	20,5	27,5	28,5
Islak Numune Ağırlığı+Dara (g)	68,2	72,1	70,5
Kuru Numune Ağırlığı+Dara (g)	61,7	66,2	64,9
Su Ağırlığı (g)	6,5	5,9	5,6
Kuru Ağırlık (g)	41,2	38,7	36,4
Su Muhtevası Değerleri ω (%)	15,77	15,24	15,38
Su Muhtevası ω (%)	15,46		

4.2.2. Özgül Ağırlık

Yapılan piknometre deneyi sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak kumun dane birim hacim ağırlığı $2,62 \text{ g/cm}^3$ bulunmuştur. Dane birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranından da özgül ağırlık (G_s) $2,62$ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan çalışmalar sırasında ayrıca, atık-lastik kum karışımlarının birim hacim ağırlıkları da belirlenmiştir (Denklem 4.1).

$$\gamma_n = \frac{W_T}{V_T} \quad (4.1)$$

γ_n : Doğal birim hacim ağırlığı

W_T : Toplam ağırlık

V_T : Toplam hacim

Çizelge 4.2'e göre %100 kumun doğal birim hacim ağırlık değeri, $1,750 \text{ g/cm}^3$ olarak saptanmıştır. Atık lastik-kum karışımlarının birim hacim ağırlıkları arasındaki değişim incelendiğinde, atık lastik oranı arttıkça birim hacim ağırlık değerlerinin düştüğü gözlenmiştir. %100 kumun doğal birim hacim ağırlığının, atık lastik-kum karışımlarının birim hacim ağırlık değerinden yüksek olmasının sebebi atık lastiklerin özkütlesinin kumun özkütlesinden küçük olmasıdır.

Çizelge 4.2. Atık lastik-kum karışımlarının birim hacim ağırlığı değerleri

Karışım Oranı	Birim Hacim Ağırlığı Değerleri
%90 kum + %10 lastik	1,731 g/cm ³
%80 kum +%20 lastik	1,710 g/cm ³
%75 kum +%25 lastik	1,708 g/cm ³
%70 kum +%30 lastik	1,694 g/cm ³
%60 kum +%40 lastik	1,666 g/cm ³
%50 kum +%50 lastik	1,638 g/cm ³

4.2.3. Dane Boyu Dağılımı (Elek Analizi Deneyi)

Kum ve atık lastik parçacıklarının dane boyu dağılımlarını bulmak amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır. Eleklerde kalan kum ve atık lastik numunelerinin miktarı, toplam numunenin miktarına bölünerek elekte kalan yüzdelere bulunmuştur (Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4). Buradan elde edilen veriler kullanılarak zemine ve lastik parçacıklarına ait granülometri eğrileri çizilmiştir (Şekil 4.3). Eğriler çizildikten sonra kritik çaplar olan D_{10} , D_{30} ve D_{60} değerleri okunmuştur. Böylece C_u ve C_c değerleri saptanarak bu çalışmada kullanılan örneğin zemin sınıfı belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Kum için yapılan elek analizi deney verileri

Elek No	Elekte Kalan (g)	Elekte Kalan Yüzde (%)	Elekte Kalan Yığılım Yüzde (%)
3/8	0	0	0
4	1,18	0,22	0,23
8	2,31	0,22	0,45
16	5,33	0,58	1,04
50	266,27	50,8	51,84
100	482,16	42,03	93,88
200	509,67	5,35	99,23
Pan	513,6	0,76	100
Toplam	513,6	100	100

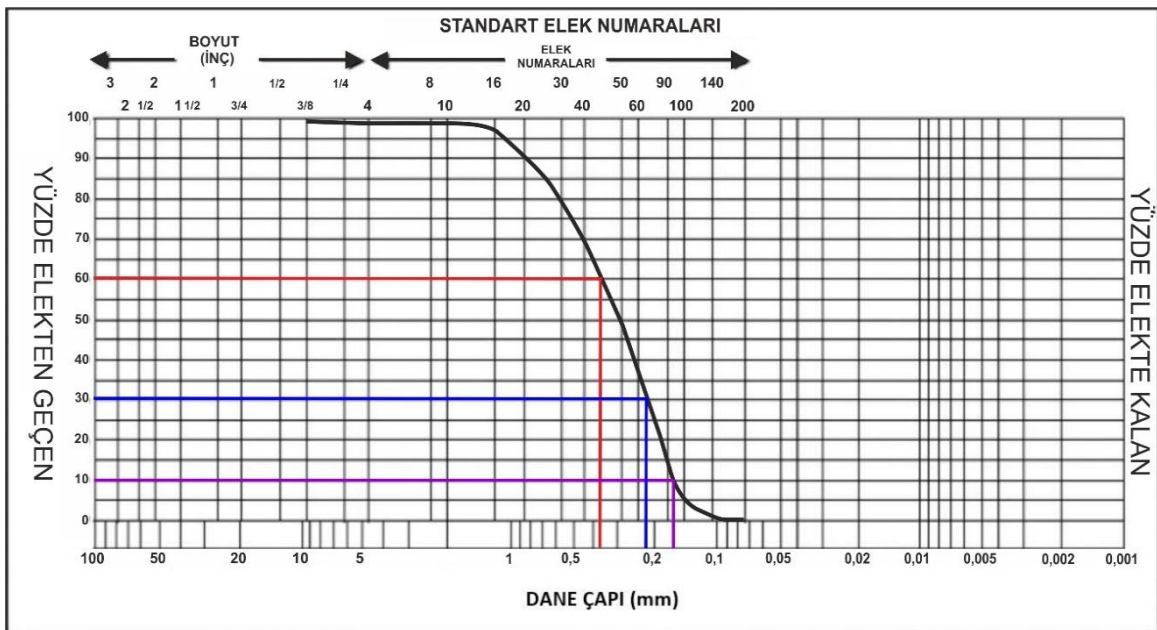
Yukarıda verilen elek analizi deney verileri neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

%99,2'lik bir kum yüzdesi mevcuttur.

%0,8'lik bir kil+silt yüzdesi mevcuttur.

Çizelge 4.4. Atık lastikler için yapılan elek analizi deneyinin verileri

Elek No	Elekte Kalan (g)	Elekte Kalan Yüzde (%)	Elekte Kalan Yığılım Yüzde (%)
4	-	0	0
8	10,45	23,86	24
16	26,24	59,92	84
50	6,30	14,39	98
Pan	0,8	1,82	100
Toplam	43,79	100	-



Şekil 4.3. Deneyde kullanılan kumun dane boyu dağılımı

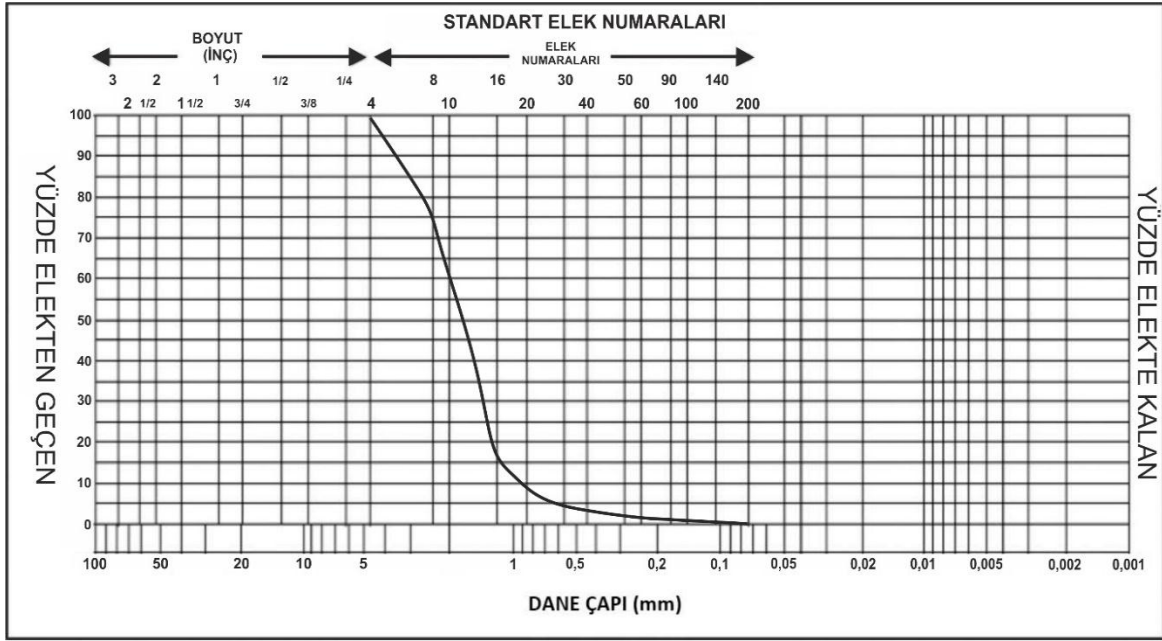
Elek analizi deneyi sonucunda Denklem 4.2 ve 4.3 kullanılarak elde edilen C_u (2,235) ve C_c (0,819) değerleri ile Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) kullanılarak kumun zemin sınıfı SP (kötü derecelenmiş kum) olarak bulunmuştur. Denklem 4.4 kullanılarak atık lastiklerin elekte kalan yüzdeleri hesaplanmış daha sonra numunelerin elekte kalan yığılım yüzdeleri bulunmuştur (Çizelge 4.4).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (4.2)$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})} \quad (4.3)$$

$$\text{Elekte kalan yüzde} = \frac{\text{Elekte Kalan Zemin Miktarı}}{\text{Toplam Numune}} \times 100 \quad (4.4)$$

Atık lastiklerin dane boyu dağılımı granülometri eğrisinde gösterilmiştir. Eğriden de anlaşılacağı üzere elek açıklığı arttıkça elekte kalan atık lastik yüzdesi artmıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Deneyde kullanılan atık lastiklerindane boyu dağılımı

4.2.4. Standart Proktor

Standart proktor deneyi sonucunda kumun; kuru birim hacim ağırlık değerleri Denklem 4.5 kullanılarak hesaplanmış, 1,78 g/cm³, 1,82 g/cm³, 1,88 g/cm³, 1,99 g/cm³, 2,02 g/cm³, 2,03 g/cm³, 1,96 g/cm³ olarak bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlık değerleri 2,03 g/cm³ değerine kadar sürekli artmış sonra azalmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Standart proktor deneyi fiziksel verileri

Kalıp+Numune Ağırlığı (g)	8470	8589	8715	8795	8953	9086	8861
Toplam Hacim (cm ³)	2127	2127	2127	2127	2127	2127	2127
Sıkıştırılmış Yaş Numune Ağırlığı (g)	4085	4230	4421	4798	4956	5160	5050
Yaş Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	1,92	1,99	2,08	2,25	2,33	2,43	2,38
Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	1,78	1,82	1,88	1,99	2,02	2,03	1,96

$$\gamma_k = \frac{W_s}{V_T} \quad (4.5)$$

γ_k : Kuru birim hacim ağırlık

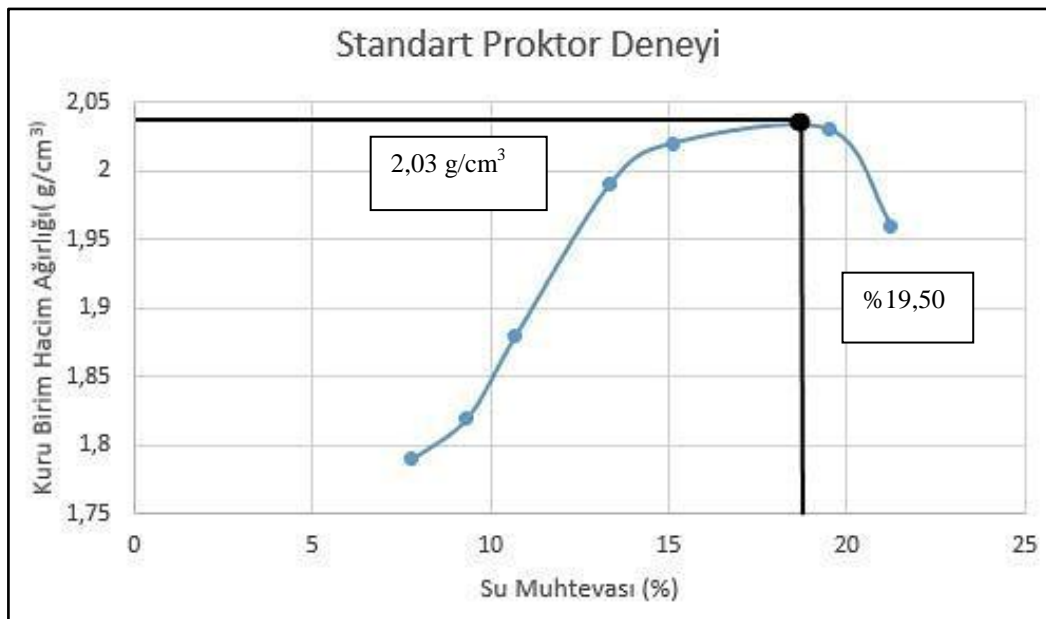
W_s : Kuru numune ağırlığı

V_T : Toplam hacim

Kum numunesinin, 2127 cm³ hacimli kapta yapılan standart proktor deneyinden elde edilen verilerle (Çizelge 4.6) kuru birim hacim ağırlık–su muhtevası grafiği çizilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında, kumun optimum su içeriği %19,50, kumun maksimum kuru birim hacim ağırlık değeri ise, 2,03 g/cm³ yani 19.90 kN/m³ olarak bulunmuştur (Şekil 4.5).

Çizelge 4.6. Standart proktor deneyinden elde edilen su muhtevası verileri

Kap No	4A	5A	1Ö	3O	4K	5K	2K	Y1Z	2Ç	1K	3K	1K	Y8	Y6
Kap Ağırlığı (g)	20,5	27,5	27,5	28,5	15,0	15,0	15,0	18,5	28,0	15,5	14,0	15,0	17,0	17,5
Kap+yaş numune (g)	68,0	77,0	79,0	76,5	51,0	51,5	52,5	62,5	91,0	66,5	84,0	60,5	78,0	68,0
Kap+kuru numune (g)	64,5	73,5	74,5	72,5	47,5	48,0	48,0	57,5	82,5	60,0	73,5	52,5	67,5	59,0
Yaş numune (g)	47,5	49,5	51,5	48,0	36,0	36,5	37,5	44,0	63,0	51,0	70,0	45,5	61,0	50,5
Kuru numune (g)	44,0	46,0	47,0	44,0	32,5	33,0	33,0	39,0	54,5	44,5	59,5	37,5	50,5	41,5
Su muhtevası (%)	7,95	7,61	9,57	9,09	10,77	10,61	13,85	12,82	15,60	14,61	17,65	21,33	20,79	21,69
Su muhtevası ort. (%)	7,78		9,33		10,69		13,33		15,10		19,49		21,24	



Şekil 4.5. Kuru birim hacim ağırlık–su muhtevası grafiği

Çizelge 4.7. Standart proktor deneyinden elde edilen sonuçlar

Deney Parametreleri	Birim	Kum	Atık Lastik
Maks. Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_{kmax})	kN/m ³	19,90	6,27
Min. Kuru Birim Hacim Ağırlığı(γ_{kmin})	kN/m ³	14,55	3,65
Optimum Su İçeriği (ω_{opt})	%	19,50	-

Kumun ve atık lastiklerin, minimum ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarını belirlemek amacıyla standart proktor deneyi yapılmıştır. Buradan aynı zamanda kumun optimum su içeriği de belirlenmiştir. Kumun maksimum kuru birim hacim ağırlığı 19,90 kN/m³, minimum kuru birim hacim ağırlığı ise 14,55 kN/m³ bulunmuştur (Çizelge 4.7). Atık lastiklerin maksimum kuru birim hacim ağırlığı 6,27 kN/m³, minimum kuru birim hacim ağırlığı 3,65 kN/m³ olarak hesaplanmıştır.

Yapılan deney sonucunda minimum boşluk oranı (e_{min}) 0,29 olarak; maksimum boşluk oranı (e_{max}) 0,77 ve boşluk oranı (e) 0,49 olarak bulunmuştur. Bulunan boşluk oranı değerleri yardımıyla Denklem 4.6'daki formül kullanılarak rölatif sıklık değeri (D_r) %58 olarak belirlenmiştir. Elde edilen rölatif sıklık değerine göre zeminin orta sıkı bir özellikte olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çizelge 4.8).

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (4.6)$$

Burada;

D_r : Rölatif sıklık

e : Zeminin boşluk oranı (doğal haldeki boşluk oranı)

e_{max} : Zeminin maksimum boşluk oranı (en gevşek haldeki boşluk oranı)

e_{min} : Zeminin minimum boşluk oranı (en sıkı haldeki boşluk oranı)

Çizelge 4.8. Rölatif sıklık değerleri (Seed ve Idriss, 1971)

Rölatif Sıklık (D_r)	Özellik
% 0 – 15	Çok Gevşek
% 15 – 35	Gevşek
% 35 – 65	Orta Sıkı
% 65 – 85	Sıkı
% 85 – 100	Çok Sıkı

4.2.5. Kesme Kutusu

Güzelyalı Köyü'nün yamaç kesimlerinden alınan kum numuneleri granüler boyuttaki atık lastik parçacıklarıyla (Şekil 4.6) farklı oranlarda karıştırılarak kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kesme kutusu deneyleri ASTM (American Standard for Testing and Materials) D-3080 standartlarına göre yapılmıştır. Lastik parçacıklarının ve kumun ağırlıkça yüzdeleri belirlenerek karışımların oranları hesaplanmıştır. Bu deneylerden; %100 kum, %90 kum+%10 lastik, %80 kum+%20 lastik, %75 kum+%25 lastik, %70 kum+%30 lastik, %60 kum+%40 lastik ve %50 kum+%50 lastik içerikleri için ayrı ayrı yapılarak 50 kN/m², 100 kN/m² ve 200 kN/m²'lik normal gerilmeler altındaki kesme gerilmeleri hesaplanmış, kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri elde edilmiştir.

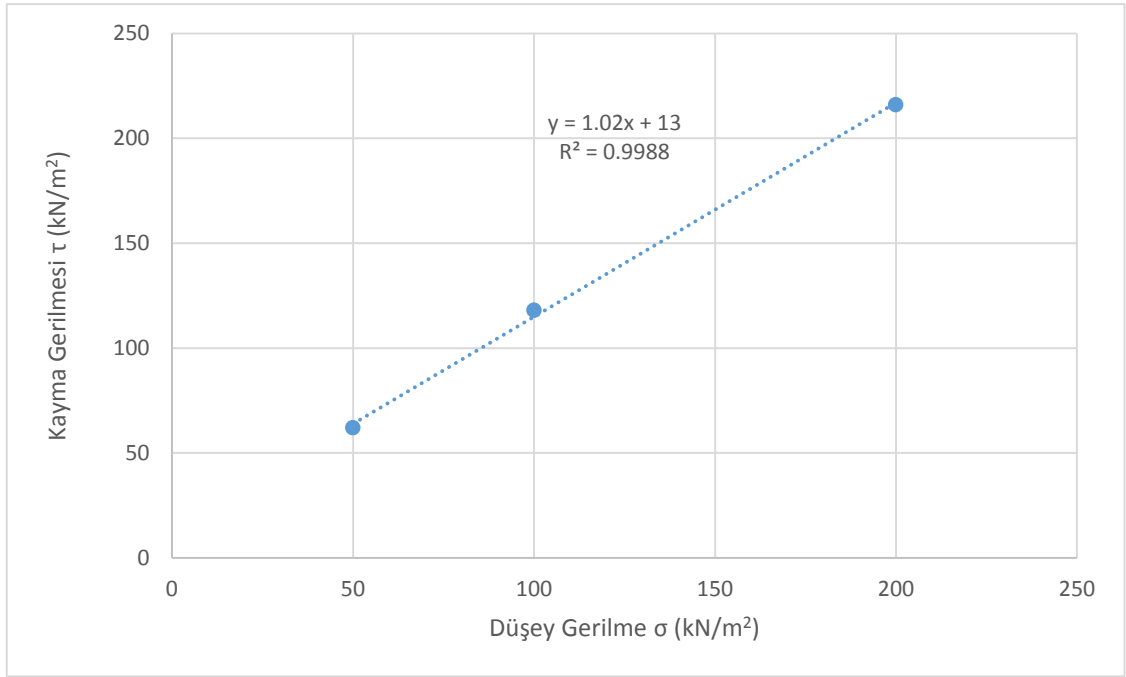


Şekil 4.6.Ögütülmüş atık lastik parçacıklarının boyutu

%100 kum ve atık lastik- kum karışımları üzerinde yapılan kesme kutusu deneylerinin sonucunda; üç farklı normal gerilme (50-100-200 kN/m²) altında kayma gerilmeleri elde edilmiştir (Şekil 4.7-4.13). Elde edilen verilere ait sonuçlar Çizelge 4.9-4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.9. %100 kum numunesi kesme kutusu deney verileri

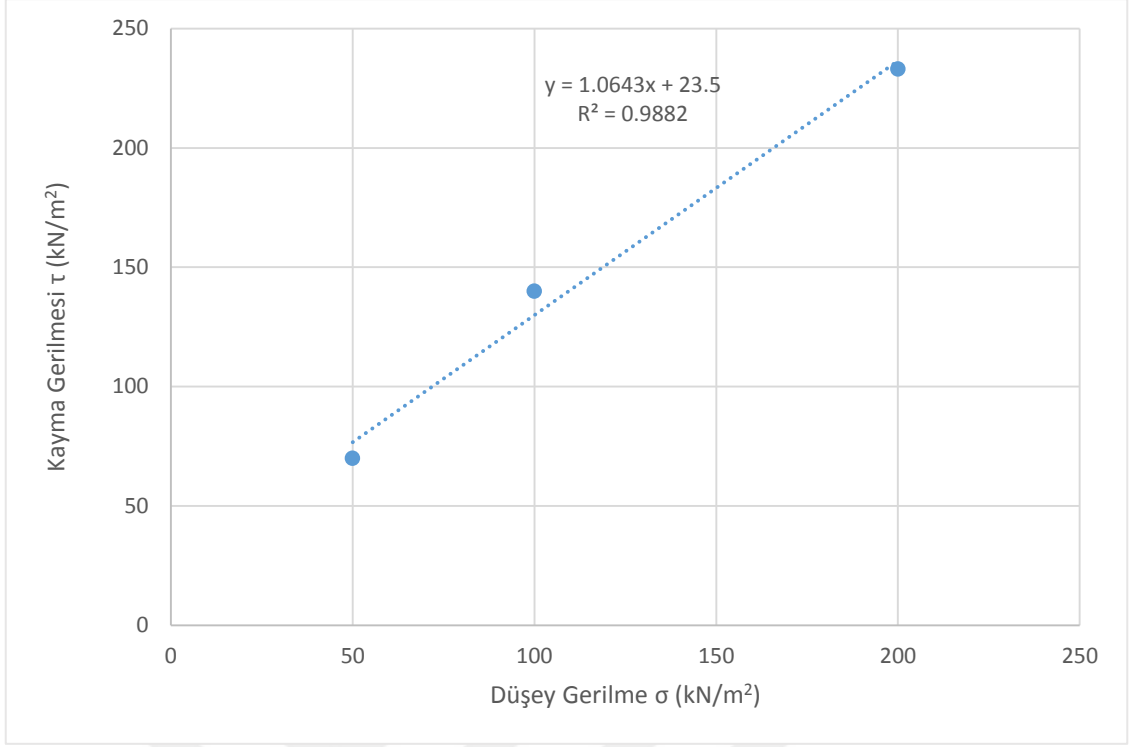
Deney No	Normal Kuvvet (kN)	Makaslama Kuvveti (kN)	Hücre Alanı (cm ²)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	Φ (°)
1	0,18	1302,521	36	50	62	13	45,57
2	0,36	2478,992	36	100	118		
3	0,72	4537,815	36	200	216		



Şekil 4.7. %100 kum kayma gerilmesi-düşey gerilme grafiği

Çizelge 4.10 %90 kum+%10 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri

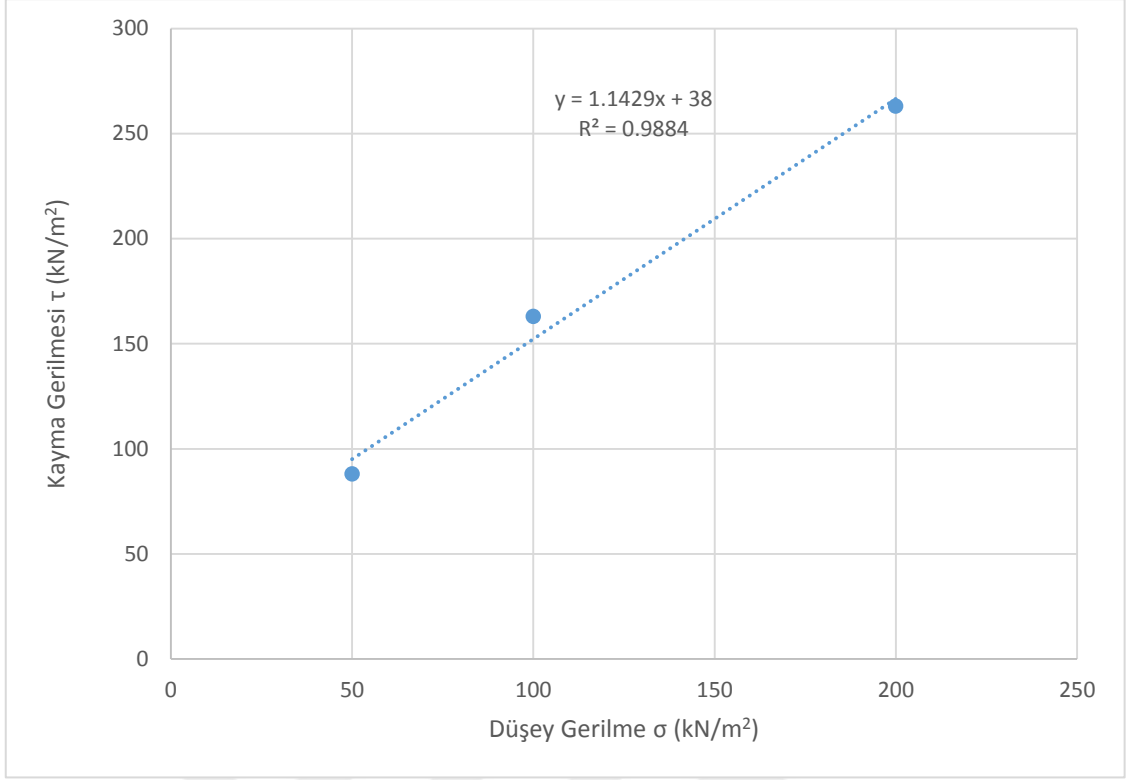
Deney No	Normal Kuvvet (kN)	Makaslama Kuvveti (kN)	Hücre Alanı (cm ²)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1	0,18	252,100	36	50	70	23,5	46,78
2	0,36	504,201	36	100	140		
3	0,72	840,336	36	200	233		



Şekil 4.8. %90 kum+%10 atık lastik kayma gerilmesi-düşey gerilme grafiği

Çizelge 4.11. %80 kum+%20 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri

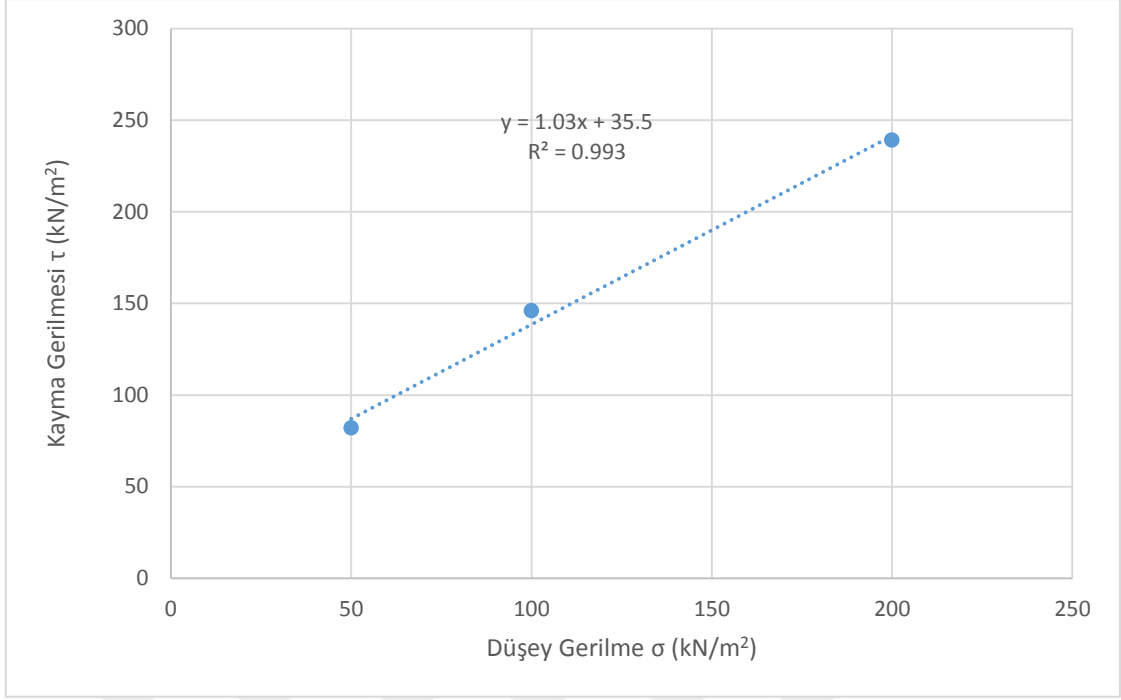
Deney No	Normal Kuvvet (kN)	Makaslama Kuvveti (kN)	Hücre Alanı (cm ²)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1	0,18	315,126	36	50	88	38	48,82
2	0,36	588,235	36	100	163		
3	0,72	945,378	36	200	263		



Şekil 4.9. %80 kum+%20 atık lastik kayma gerilmesi-düsey gerilme grafiği

Çizelge 4.12. %75 kum+%25 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri

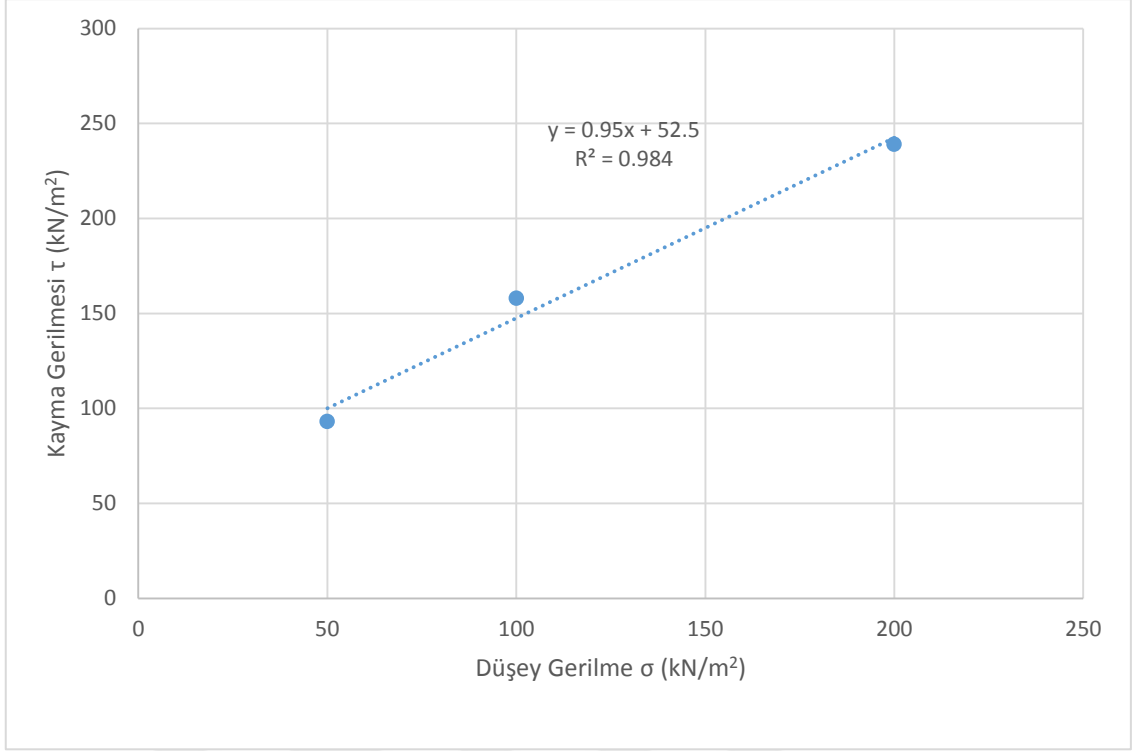
Deney No	Normal Kuvvet (kN)	Makaslama Kuvveti (kN)	Hücre Alanı (cm ²)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1	0,18	294,117	36	50	82	35,5	45,84
2	0,36	525,210	36	100	146		
3	0,72	861,344	36	200	239		



Şekil 4.10. %75 kum+%25 atık lastikkayma gerilmesi-düsey gerilme grafiği

Çizelge 4.13. %70 kum+%30 lastik numunesi kesme Kutusu deney verileri

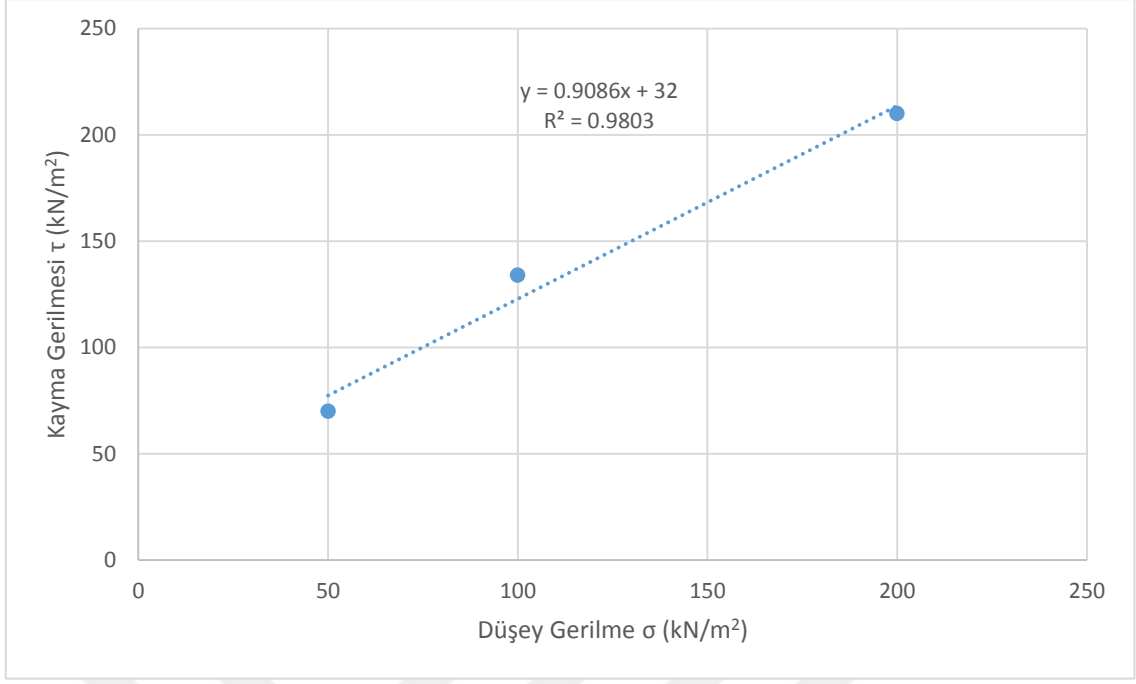
Deney No	Normal Kuvvet (kN)	Makaslama Kuvveti (kN)	Hücre Alanı (cm ²)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1	0,18	336,134	36	50	93	52,5	43,53
2	0,36	567,226	36	100	158		
3	0,72	861,344	36	200	239		



Şekil 4.11. %70 kum+%30 atık lastik kayma gerilmesi-düsey gerilme grafiği

Çizelge 4.14. %60kum+%40 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri

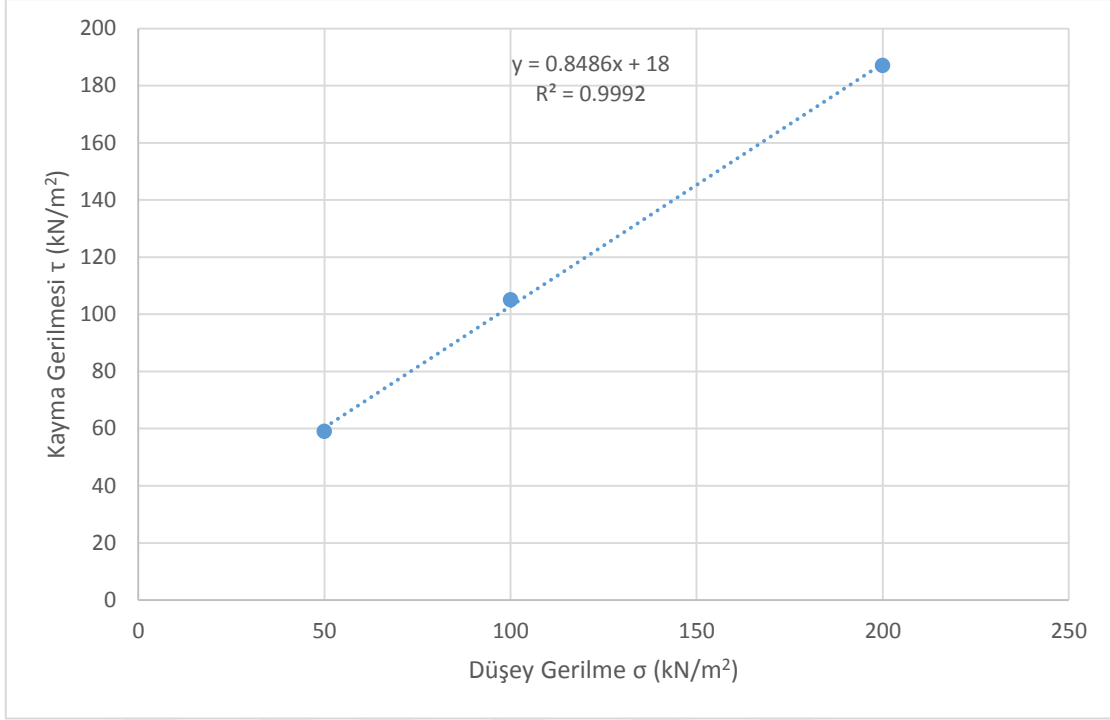
Deney No	Normal Kuvvet (kN)	Makaslama Kuvveti (kN)	Hücre Alanı (cm ²)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1	0,18	252,100	36	50	70	32	42,25
2	0,36	483,193	36	100	134		
3	0,72	756,302	36	200	210		



Şekil 4.12. %60 kum+%40 atık lastik kayma gerilmesi-düşey gerilme grafiği

Çizelge 4.15. %50 kum+%50 lastik numunesi kesme kutusu deney verileri

Deney No	Normal Kuvvet (kN)	Makaslama Kuvveti (kN)	Hücre Alanı (cm ²)	σ (kN/m ²)	τ (kN/m ²)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
1	0,18	210,084	36	50	59	18	40,32
2	0,36	378,151	36	100	105		
3	0,72	672,268	36	200	187		



Şekil 4.13. %50 kum+%50 atık lastik kayma gerilmesi-düsey gerilme grafiği

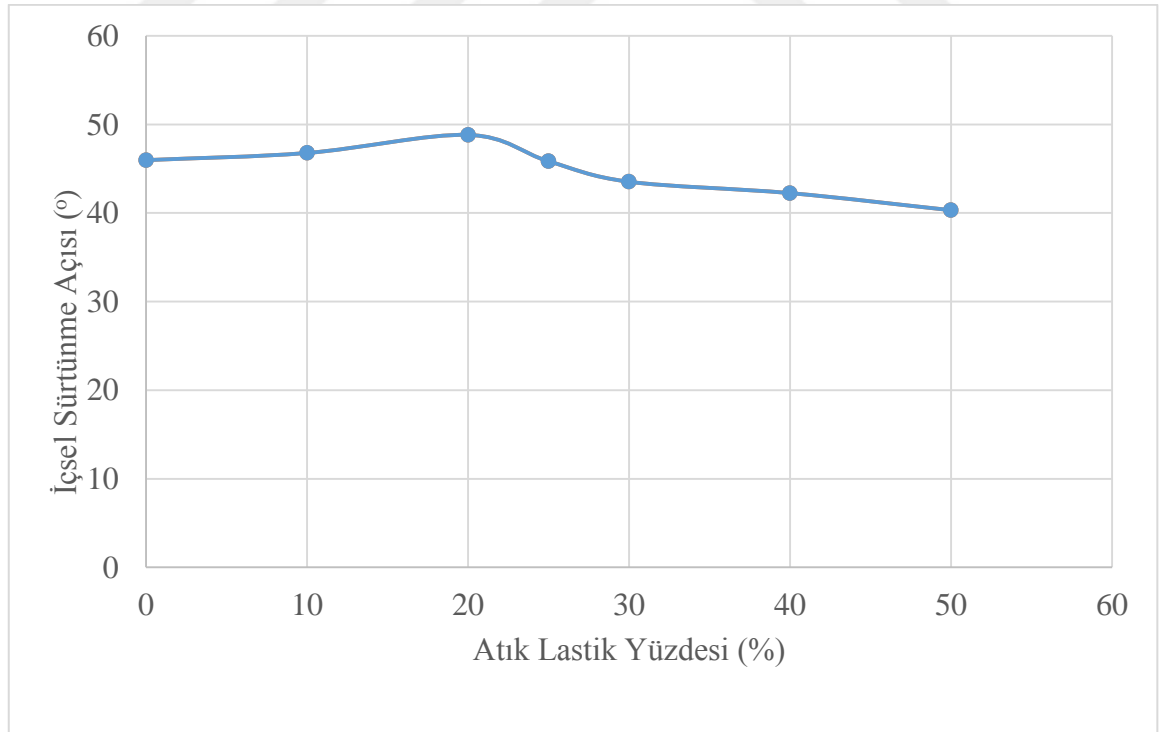
Yapılan deneylerin sonucunda elde edilen grafiklere bakıldığında, kum numunelerinin kayma mukavemetlerinin granüler boyuttaki lastik parçacıklarıyla karıştırıldığı takdirde arttırılabileceği saptanmıştır. Fakat lastik içeriklerinin %25'ten fazla olduğu karışımlarda içsel sürtünme açısının, %100 kum olması durumundakine göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. Kayma mukavemetindeki en büyük artış %10-%30 karışım oranı aralığında gözlenmiş olup, maksimum değeri %20 atık lastik-kum karışım oranında verdiği belirlenmiştir. Lastik içeriğinin %20'den fazla olması durumunda içsel sürtünme açısı değerlerinin azaldığı saptanmıştır (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Atık lastik içeriklerine göre kohezyon ve içsel sürtünme açıları

Lastik İçerikleri	Kohezyon (kN/m ²)	Kohezyon (kg/cm ²)	İçsel Sürtünme Açısı (°)
% 100 kum	13,0	0,133 ~ 0	45,57
%90 kum+% 10 lastik	23,5	0,240	46,78
% 80 kum+% 20 lastik	38,0	0,387	48,82
% 75 kum+% 25 lastik	35,5	0,357	45,84
% 70 kum+% 30 lastik	52,5	0,535	43,53
% 60 kum+% 40 lastik	32,0	0,326	42,25
%50 kum+% 50 lastik	18,0	0,184	40,32

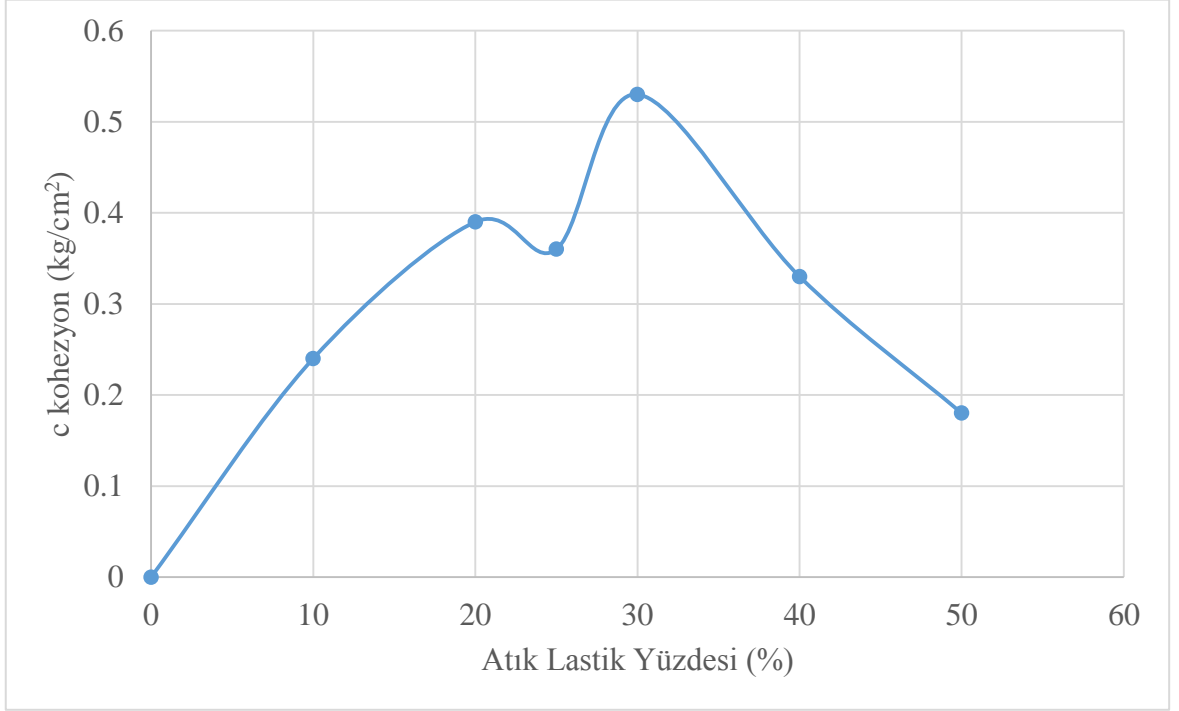
Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te kesme kutusu deneyleri sonucunda, farklı yüzdelerdeki atık lastik oranlarına bağlı olarak elde edilen içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) değerleri grafik üzerinde gösterilmektedir. Şekil 4.14'ten içsel sürtünme açısı değerlerinin, lastik içeriğinin %10 ve %20 olması durumlarında artış gösterdiği, %25 olması halinde artış miktarının düştüğü ve %25'ten daha büyük atık lastik içeriklerinde ise azaldığı görülmektedir. Şekil 4.15'ten, kohezyon değerlerinde doğrusal bir değişim gözlenmediği, fakat tüm kohezyon değerlerinin %100 kumdan yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca atık lastik-kum karışımının %30 olması durumunda, kohezyon değerinin maksimum değere ulaştığı saptanmıştır.

Atık lastik içeriğine bağlı içsel sürtünme açısı grafiğine (Şekil 4.14) bakıldığında, atık lastik yüzdesi %20 seviyesine ulaşana kadar içsel sürtünme açısı değerlerinde yükseliş gözlenmiş olup, bu içerikte optimum değere ($48,82^\circ$) ulaşmıştır. Atık lastik içeriğinin %20 den daha fazla olduğu koşullarda ise içsel sürtünme açısı değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Öyle ki %30 lastik içeriği söz konusu olduğunda içsel sürtünme açısı değeri %100 kumdaki değerden bile düşük seviyede kalmıştır. İçsel sürtünme açısı değeri %50 lastik içeriğinde en düşük değerde ($40,32^\circ$) gözlenmiştir.

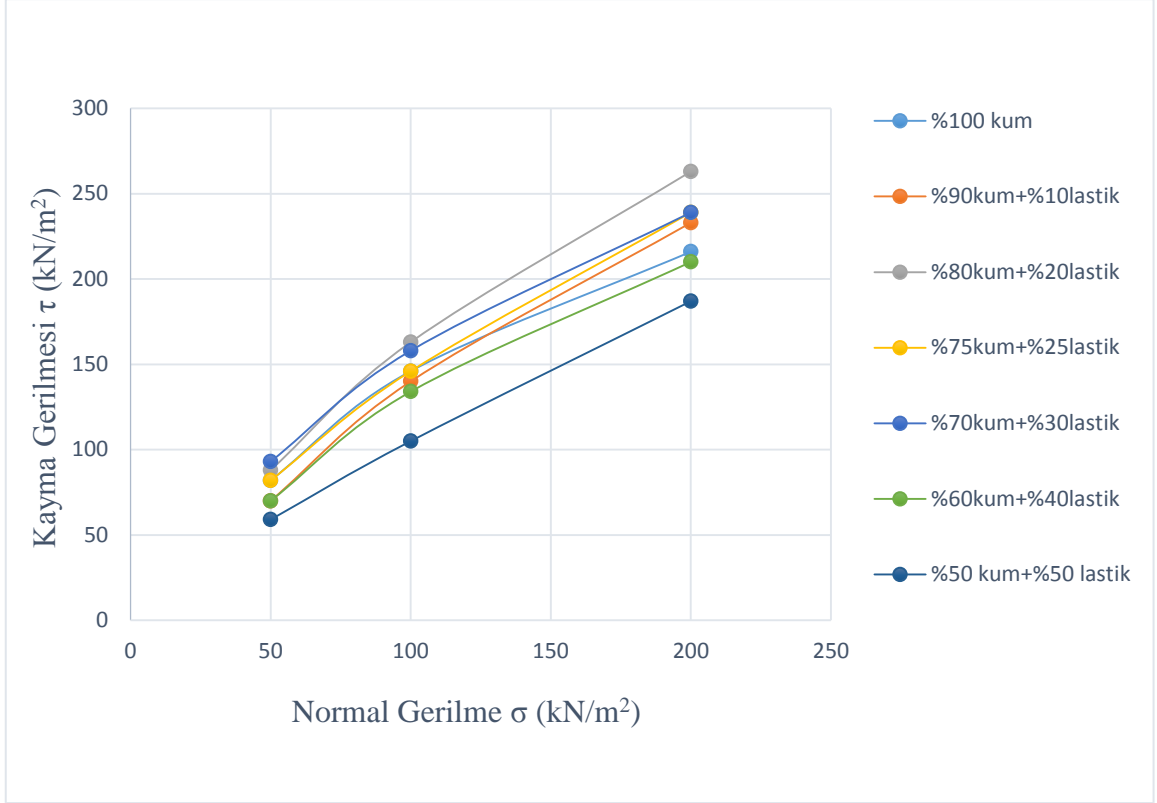


Şekil 4.14. Atık lastik yüzdesi-içsel sürtünme açısı (ϕ) grafiği

Atık lastik içeriğine bağlı kohezyon değerleri grafiği (Şekil 4.15) yorumlandığında lastik içeriği artışıyla kohezyon değerlerinde artış göstermiş olup %20 lastik içeriğinden %25 lastik içeriğine geçişte ise bir düşüş gözlemlenmiştir. Lastik içeriği %30 seviyesinde ise kohezyon değeri $0,535 \text{ kg/cm}^2$ ($52,5 \text{ kN/m}^2$) ile optimum seviyeye ulaşmıştır. %30 dan daha fazla lastik içeriğinde ise kohezyon değerleri düşüş göstermiştir. En düşük kohezyon değeri ise %100 kumda ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.15. Atık lastik-kohezyon (c) grafiği



Şekil 4.16. Çalışmada kullanılan malzemelere ait kırılma zarfları

Çizelge 4.17. Lastik içeriklerine göre makaslama gerilmesi değerleri

Malzeme İçeriği	Makaslama Gerilmesi
% 100 kum	115,00 kN/m ²
% 90 kum + % 10 lastik	129,91 kN/m ²
% 80 kum + % 20 lastik	152,30 kN/m ²
% 75 kum + % 25 lastik	138,47 kN/m ²
% 70 kum + % 30 lastik	147,49 kN/m ²
% 60 kum + % 40 lastik	122,83 kN/m ²
% 50 kum + % 50 lastik	102,80 kN/m ²

Lastik-kum karışımlarında, zemin ile arasında sürtünme dirençleri oluşan granüler boyuttaki lastik parçacıkları, donatı malzemesi davranışı göstererek kumun kayma mukavemetini arttırmaktadır. Kesme kutusu deneyleri sırasında atık lastik parçalarının kaymaya karşı gösterdikleri dirençten dolayı kayma mukavemeti artmıştır. Buna ek olarak Şekil 4.16'da atık lastik-kum karışımlarının normal gerilmeler altındaki kayma gerilmesi grafiği de göstermiştir ki; lastik içeriği %20'ye ulaşana kadar kayma mukavemeti artmış, atık lastik içeriğinin daha fazla artırılması halinde ise kayma mukavemetinde azalma gerçekleşmiştir. Kayma gerilmesi değerlerine bakıldığında maksimum kayma dayanımı

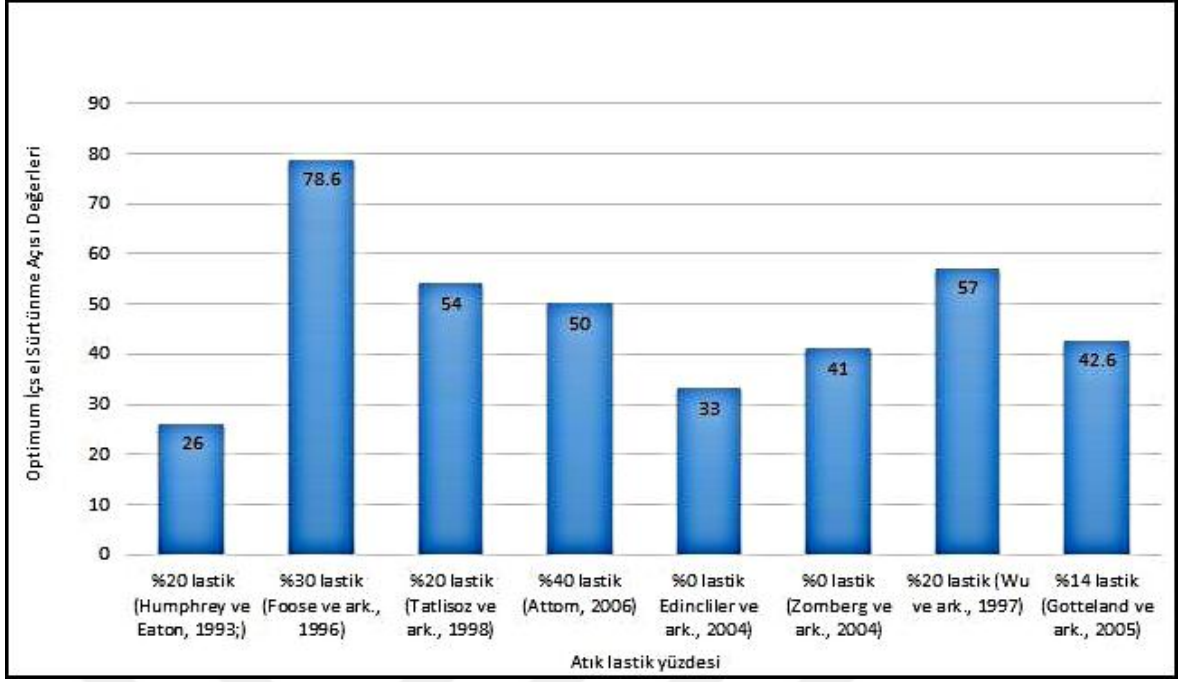
değerinin ($\tau=152,30 \text{ kN/m}^2$) %20 lastik içeriğine sahip olan karışımda elde edildiği görülmektedir (Çizelge 4.17).

Yapılan bu çalışma haricinde atık lastiklerin zeminler üzerindeki kayma dayanımına etkisini araştıran araştırmalar bulunmaktadır (Humphrey ve Eaton, 1993; Foose ve ark., 1996; Wu ve ark., 1997; Tatlısoz ve ark., 1998; Attom, 2006; Zornberg ve ark., 2004; Edinçliler ve ark., 2004; Gotteland ve ark., 2005). Lastik parçacıklarının boyutu, karışımdaki oranı ve kullanılan zemin türünün farklı olduğu bu çalışmaların bir kısmı Çizelge 4.18 ile Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18. Önceki çalışmalarda yer alan kayma dayanımına etki eden parametreler

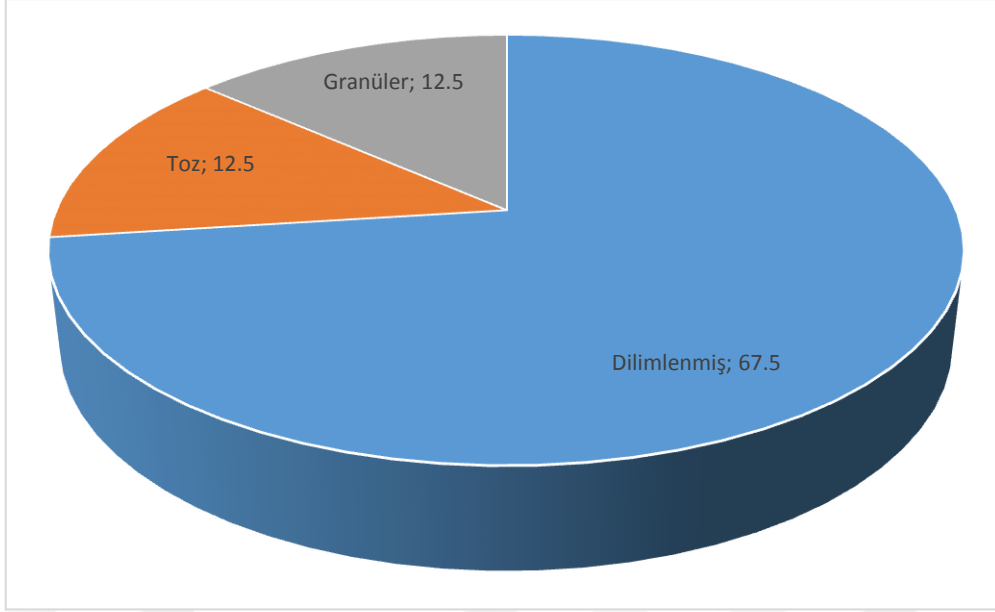
Araştırmacılar	Lastik Oranı (%)	Lastik Boyutu	Zemin Tipi	Yönlenme	Optimum İçsel Sürtünme Oranı (°)
Humphrey ve Eaton (1993)	30	Dilimlenmiş	Kum	Rastgele	26,0
Foos ve ark. (1996)	30	Dilimlenmiş	Kum	Dikey	78,6
Tatlısoz ve ark. (1998)	20	Granüler	Kumlu Silt	-	54,0
Attom (2006)	40	Dilimlenmiş	Kum	Rastgele	50,0
Edinçliler ve ark. (2004)	-	Toz	Kum	-	33,0
Zornberg ve ark. (2004)	-	Dilimlenmiş	Kum	Rastgele	41,0
Wu ve ark. (1997)	20	Dilimlenmiş	Kum	Rastgele	57,0
Gotteland ve ark. (2005)	14	Dilimlenmiş	Kum	Yatay	42,6

Çizelge 4.18’e göre araştırmacıların farklı lastik boyutlarında kumlu ve kumlu siltli zeminlerin optimum içsel sürtünme açısı değerlerine olan etkisinin sonuçları verilmiştir (Wu ve ark., 1997; Tatlısoz ve ark., 1998; Attom, 2006; Zornberg ve ark., 2004; Edinçliler ve ark., 2004; Gotteland ve ark., 2005). Çalışmacılar diğer değişkenlere göre (atık lastik içeriği, lastik boyutu, zemin tipi, yönlenme) içsel sürtünme açısı değerlerindeki değişimi araştırmışlar ve optimum değerleri belirlemişlerdir. Sonuçlara göre genel olarak atık lastik parçacıkları belirli bir boyuta kadar arttıkça kesme mukavemeti artmıştır (Humphrey ve Eaton, 1993; Foos ve ark., 1996; Wu ve ark., 1997; Tatlısoz ve ark., 1998; Attom, 2006; Zornberg ve ark., 2004; Edinçliler ve ark., 2004; Gotteland ve ark., 2005).



Şekil. 4.17. Önceki çalışmalarda kullanılan atık lastik çeşitlerinin sütun grafik ile gösterimi

Şekil 4.17’de görüldüğü üzere en yüksek içsel sürtünme açısı değeri $78,6^{\circ}$ ile Foose ve ark. (1996) çalışmasında elde edilmiş olup en düşük değer ise Humphrey ve Eaton, (1993) çalışmasında 26° ile elde edilmiştir. Lastik tozu ve pudra boyutundaki lastiklerin kullanıldığı çalışmalarda (Wu ve ark., 1993; Edinçliler ve ark., 2004) içsel sürtünme açılarındaki değişim lastik oranındaki artışla doğrusal bir değişim göstermemiştir. İçsel sürtünme açısı değerlerindeki en düzenli değişim Tatlisoz ve ark. (1998) çalışmasında, granüler boyuttaki lastiklerin kullanımıyla gerçekleşmiştir. Dilimlenmiş lastiklerin kullanıldığı çalışmalarda (Wu ve ark., 1997; Attom, 2006; Zornberg ve ark., 2004; Gotteland ve ark., 2005), atık lastik içeriğindeki artışın içsel sürtünme açısı artışında genel olarak etkili olduğu, lastik boyutunun ise düzenli içsel sürtünme açısı değişiminde etkili bir parametre olmadığı görülmektedir.



Şekil 4.18. Önceki çalışmalarda kullanılan atık lastik çeşitlerinin dairesel grafik ile gösterimi

Üzerine uygulanan gerilmelere bağlı olarak bir materyalin hacminin küçülmesi sıkıştırılabilirlik olarak adlandırılır (Moo-Young ve ark., 2003). Atık lastik parçaları yüksek gözeneklilik ve yüksek kauçuk içeriği nedeniyle yüksek oranda sıkıştırılabilir. Bazı araştırmacılar çeşitli boyutlardaki lastiklerde ve farklı oranlardaki zeminlerle karıştırılmış lastik parçalarında sıkıştırılabilirlik testleri yapmışlardır (Humprey ve Manion, 1992; Ahmed ve Lovell, 1993; Edil ve Bosscher, 1994; Zimmerman, 1997; Moo-Young ve ark., 2003; Zornberg ve ark., 2004; Gotteland ve ark., 2005). Sonuçlar, lastik parçacıklarının boyutu arttıkça sıkıştırılabilirliğin de arttığını, bunun da zeminin kayma mukavemetini arttırdığını göstermiştir. Yapılan bu çalışmada kullanılan atık lastik parçacıkları $D_r = \%58,3$ rölatif sıklığa sahiptir. Genel olarak kumlu zeminlerle %20 oranında atık lastikler karıştırıldığında en iyi dayanım sonucunun elde edildiği gözlenmiştir. Diğer taraftan literatürde genel olarak en uygun atık lastik oranının %15-%40 olduğu belirtilmiştir.

Aynı zamanda bazı çalışmalarda atık lastiklerin birim hacim ağırlık değerlerinin kayma parametrelerini etkilediği sonucuna da ulaşılmıştır (Edinçliler ve ark., 2004).

4.2.6. Kolon Testi

Atık lastikler ve kum ile yapılan karışım malzemesi içerisinde var olması muhtemel kirleticilerin arazi koşullarında sızdırılabilirliğini araştırmak amacıyla kolon testi yapılmıştır. Optimum kayma dayanımı değerlerini veren %20 atık lastik ve %80 kum

üzerinde kolon testi deneyi uygulanmış (Şekil 4.19) ve malzemedan elde edilen sızıntı suyunun analizi ALS Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti. tarafından yapılmıştır.



Şekil 4.19. Optimum atık lastik-kum karışım oranının kolon testi

Laboratuvardan elde edilen analiz sonucunda sızıntı suyu içerisinde kirletici etken olabilecek inorganik parametre değerleri incelendiğinde, petrol oluşturan hidrokarbon miktarı 50 µg'ın altında elde edilirken herhangi bir major katyona rastlanılmamıştır. Bu sebeple sızıntı suyunda herhangi bir kirletici etkiye rastlanılmadığı söylenebilmektedir.

Yapılan analiz sonuçlarına göre, teorik olarak çalışılan atık lastik-kum karışımının arazi koşullarında pratik olarak uygulanması konusunda çevresel olarak bir sakınca olmadığı düşünülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada atık lastiklerin, kumun kayma direncine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla kum, atık lastik ve bunların farklı oranlarda karışımlarının fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için zemin mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu karışımların çevresel etkileri de değerlendirilmiştir.

İlk olarak kumun doğal su içeriği (ω_n) %15,46 ve özgül ağırlığı (G_s) 2,62 olarak bulunmuştur. Kum numunesinin zemin sınıfı ise SP (kötü derecelenmiş kum)'dir.

Çalışma kapsamında kullanılan kum örneğinin minimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmin}) 1,48 g/cm³, maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}) 2,03 g/cm³, optimum su içeriği (ω_{opt}) %19,50 olarak bulunmuştur. Ayrıca maksimum boşluk oranı (e_{max}) %0,77, minimum boşluk oranı (e_{min}) %0,29 ve rölatif sıkık (D_r) %58,3 olarak elde edilmiştir. Atık lastik parçacıkları için ise minimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmin}) 0,37 g/cm³, maksimum kuru birim hacim ağırlık (γ_{kmax}) 0,63 g/cm³ olarak belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan kumun doğal birim hacim ağırlığı ile atık lastik-kum karışımlarının birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş olup, en yüksek değerin %100 kum numunesinde (1,750 g/cm³) olduğu saptanmıştır. Atık lastiklerin özkütlesinin (0,550 g/cm³) kumun özkütlesinden (1,750 g/cm³) düşük olması sebebiyle karışımlarda lastik içeriği arttıkça birim hacim ağırlık değerleri azalmaktadır.

İçsel sürtünme açısı (ϕ) 48,82° ile en yüksek değerini %20 lastik içerikli karışımda göstermiştir. İçsel sürtünme açısı değerleri %20 atık lastik içeriğine kadar artış; daha fazla lastik içeriği artışında ise düşüş göstermiştir. Kohezyon (c) değerleri, %100 kuma atık lastik ilavesiyle artarak en yüksek değerine %30 lastik içeriğinde (52,5 kN/m²) ulaşmıştır. Kumun kayma dayanımı %20 atık lastik içeriğine sahip karışımda en yüksek değerini almış olup daha yüksek lastik içerikli karışımlarda ise kayma dayanımı değerlerinde düşüş gözlenmiştir.

Atık lastik-kum karışımlarının çevresel etkilerini incelemek amacıyla en yüksek kayma dayanımı değerlerini veren %20 lastik- %80 kum karışımına kolon testi yapılmış ve test sonucunda atık lastik-kum karışımının arazi koşullarında pratik olarak kullanılabilirliği konusunda çevresel açıdan bir sakınca olmadığı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed I., 1993. Laboratory Study on Properties of Rubber-Soils. Joint Highway Research Project, Purdue University, West Lafayette, Indiana, FHWA/IN/JHRP-93/4.
- Ahmed I., Lovell C. W., 1993. Rubber Soils as Lightweight Geomaterial. Transportation Research Record, 1422: 61-70.
- ASTM (1985) ASTM D3080: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. (1985 Annual Book of ASTM Standards, Sect. 4, Vol. 04.08. Soil and Rock; Building Stones.) American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Atabey E., Ilgar A., Sakıtış A., 2004. Çanakkale Havzasının Orta-Üst Miosen Stratigrafisi, Çanakkale, KB TÜRKİYE. Maden Tetkik ve Arama Derg., 128.
- Attom M.F., 2006. The Use of Shredded Waste Tires to Improve the Geotechnical Engineering Properties of Sand. Environmental Geology, 49: 497-503.
- Ayhan V., 2007. Determination and Assesment of Shear Strength Parameters of Sand With Tire Waste Inclusions. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.
- Çetin H., Fener M., Gunaydın O., 2006. Geotechnical Properties of Tire-Cohesive Clayey Soil Mixtures as a Fill Material. Engineering Geology, 88 (1-2):110-120.
- Çabalar A.F., Akbulut N., 2013. Gaziantep'teki Kil Zeminlerin Kırmataş ile İyileştirilmesi ve Atık Lastik-Kırmataş Karışımları Üzerine Bir Çalışma. Çu. Ü. Müh. Mim. Fak. Derg., 28 (2): 1-14.
- Çağatay A., 2008. Investigation of the Effect of Tire Waste Inclusions on the Shear Strength Parameters of Sand. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.
- Çanakcı H., Çabalar A. F., 2002. Zemin İyileştirilmesinde Biyoteknolojilerin Kullanılabilirliği. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 9. Ulusal Kongresi, Eskişehir, 2: 519-524.
- Demiröz A., Karaduman M., 2009. Zemin İyileştirme Metotları. Selçuk-Teknik Derg., 8 (3):176-192.

- Edil T. B., Bosscher P. J., 1994. Engineering Properties of Tire Chips and Soil Mixtures. *Geotechnical Testing Journal*, (17): 4, 453-464.
- Edinçliler A., Baykal G., Dengili K., 2004. Determination of Static and Dynamic Behavior of Recycled Materials for Highways. *Resources Conservation and Recycling*, 42: 233-237.
- Emiroğlu M., Yıldız S., Özgan E., 2009. Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. *G. Ü. Mim. Fak. Derg.*, 24 (3): 469-476.
- Erenson C., 2015. Atık Lastiklerin Taş/Kum Kolon Uygulamalarında Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Aksaray Üniversitesi, Türkiye.
- Foose G. J., Benson C. H., Bosscher P. J., 1996. Sand Reinforced with Shredded Waste Tires. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122 (9): 760-767.
- Ghazavi M., Sakhi M. A., 2005. Influence of Optimized Tire Shreds on Shear Strength Parameters of Sand. *International Journal of Geomechanics*, 5 (1): 58-65.
- Gotteland P., Lambert S., Balachowski L., 2005. Strength Characteristics of Tyre Chips-Sand Mixtures. *Studia Geotechnica et Mechanica*, 17: 1-2.
- Gönüllü M.T., 2004. Atık Lastiklerin Yönetimi. Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
- Göztepe B., 2016. Experimental Study on Mitigation of Earthquake Hazards Using Rubber-Soil Mixture. Yüksek Lisans Tezi. Boğaziçi Üniversitesi, Türkiye.
- Humphrey D. N., Manion W. P., 1992. Properties of Tire Chips for Lightweight Fill. *Proceedings of the Conference on Grouting, Soil Improvement, and Geosynthetics*, ASCE 2: 1344-1355.
- Humphrey D. N., Eaton R. A., 1993. Tire Chips as Insulation Beneath Gravel Surfaced Roads. *Proc. Frost In Geotechnical Engineering*, Ed. Phukan, Balkema, Rotterdam.
- Karacasu M., Bilgiç Ş., 2009. Atık Lastik Katkısının Sıcak Asfalt Özelliklerine Etkisi. *E. O. Ü. Müh. Mim. Fak. Derg.*, 22: 2.
- Keskin M. S., Laman M., 2012. Atık Lastik-Kum Karışımlarının Kayma Mukavemetinin Laboratuar Deneyleriyle İncelenmesi. *Ç. Ü. Müh. Mim. Fak. Derg.*, 27 (2): 27-36.

- Khoshnaw G., 2014. Experimentally Investigating Properties of the Pervious Concrete Containing Waste Rubbers. Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi, Türkiye.
- Marto A., Latifi N., Moradi R., Oghabi M., Zolfeghari S. Y., 2013. Shear Properties of Sand-Tire Chips Mixtures. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18: 325-334.
- Moo-Young H., Sellasie H., Zeroka D., Sabnis G., 2003. Physical and Chemical Properties of Recycled Tire Shreds for Use in Construction. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, (129): 10, 921-929.
- Ordu E., Biçer P., Ordu S., Abanozoğlu E. G., 2017. An Investigation on The Soil Stabilization with Waste Tyres Materials in Granular Soils. *Journal of Science and Engineering*, 51.
- Önalp A., 1997. Geoteknik Bilgisi-I. Sakarya Üniversitesi Yayınevi, Türkiye. 408.
- Özaydın K., 2011. Zemin Mekaniği. Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye. 350 s.
- Öztürk H., 2016. Atık Lastik Katkısının Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mühendislik Özelliklerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi, Türkiye.
- Naval S., Kumar A., Bansal S. K., 2013. Triaxial Tests on Waste Tire Rubber Fiber Mixed Granular Soil. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 18: 1623-1641.
- Pourfarid H., 2013. The Potential of Using Waste Tire as a Soil Stabilizer. Doctoral Dissertation (Doktora Tezi), Doğu Akdeniz Üniversitesi, KKTC.
- Reddy K. R., Marella A., 2001. Properties of Different Size Scrap Tire Shreds: Implications on Using as Drainage Material in Landfill Cover Systems. The Seventeenth International Conference on Solid Waste Technology and Management, October, Philadelphia, USA.
- Seed H. B., Idriss I. M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div.*
- Sugözü İ., Mutlu İ., 2009. Atık Taşıtların Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri. *Taşıtların Teknolojileri Elektronik Derg.*, 1 (1): 35-46.
- Şentürk K., Karaköse C., 1987. Çanakkale Boğazı ve Dolayının Jeolojisi. MTA Rapor No:

8130.

- Tatlisoz N., Edil T. B., Benson C. H., 1998. Interaction Between Reinforcing Geosynthetics and Soil-Tire Chip Mixtures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124 (11): 1109-1119.
- Thilakasiri H. S., Gunaratne M., Mullins G., Stinette P., Kuo C., 2001. Implementation Aid for Dynamic Replacement of Organic Soils with Sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (1): 25-35.
- Topçu İ. B., Karakurt C., Işıkdağ B., 2014. Atık Lastik Agregalı Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Politeknik*, 17 (1): 3-7.
- Tunusluoğlu M. C., Karaca Ö., 2016. Çanakkale Kenti Güneybatısını (Güzelyalı) Tehdit Eden Kütle Hareketinin Jeoteknik Açından Değerlendirilmesi ve Kütle Hareketinin Çevresel Etkileri. *Çanakkale Heyelanları, Altın Kalem Yayınları, Kocaeli*, 53-74.
- Umu S. U., 2013. Kum-Atık Lastik Karışımlarının Lineer Olmayan Dinamik Davranışı. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Türkiye.
- Umu S. U., Okur D. V., Yılmaz G., Fırat S., 2014. Dinamik Yükleme Şartlarında Kum/Lastik Karışımlarının Rijitlik ve Sönüm Özelliklerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 17 (1):13-21.
- Uysal N., 2014. Polimerlerle Stabilize Edilmiş Kumların Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleriyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Wu W. Y., Benda C. C., Cauley R. F., 1997. Triaxial Determination of Shear Strength of Tire Chips. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123 (5): 479-482.
- Yakaboğlu O., 2010. Atık Lastik Yönetimi ve Atık Lastik Pirolyzi Model Tesisi İçin Yapılabilirlik Çalışması. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Yıldız Ö., 2011. Investigation on the Mitigation of Earthquake Hazards with Inclusion of Tire Wastes Into the Sand. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye.
- Young H.M., Sellasie K., Zeroka D., Sabris G., 2003. Physical and Chemical Properties of Recycled Tire Shreds for Use In Construction. *Journal of Environmental*

Engineering, ASCE, 129 (10): 921-929.

Zimmerman P. S., 1997. Compressibility, Hydraulic Conductivity, and Soil Infiltration Testing of Tire Shreds and Field Testing of a Shredded Tire Horizontal Drain. M.S. Thesis, Iowa State University, UK.

Zornberg J. G., Cabral A. R., Viratjandr C., 2004. Behaviour of Tire Shred Sand Mixtures. Canadian Geotechnical Journal, 41 (2): 227-241.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Koray AKTÜRK

Doğum Yeri : Çanakkale

Doğum Tarihi : 09/09/1986

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi : Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü / Çanakkale (2006-2012)

Yüksek Lisans Öğrenimi : Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı / Çanakkale (2012-2018)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

Katıldığı Projeler: Lastik Parçacıklarının Kumlu Zeminlerin Kayma Dayanımına Etkisi, FYL-2017-1181 no'lu BAP Projesi (Araştırmacı)

İŞ DENEYİMİ

- International Association of Social Science Research (IASSR) / Çanakkale (2012)
- Baymer Mühendislik / Çanakkale (2012-2013)
- Kayatek Mühendislik / Çanakkale (2013)
- Beşer Mühendislik / Çanakkale (2016-2018)

İLETİŞİM

E-posta Adresi: koraybahce17@gmail.com