

Atık Lastik - Kum Karışımlarının Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleriyle İncelenmesi

Salih KESKİN^{*1}, Mustafa LAMAN²

¹D.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Özet

Bu çalışmada, atık lastik parçacıklarının kumun kayma mukavemeti özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmada, kum numuneler hacimce değişik yüzdelerdeki lastik parçacıklarıyla karıştırılmış ve lastik-kum karışımları üzerinde farklı normal gerilmeler altında kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen kesme kutusu deneylerinden, kum numunelerin, lastik parçacıkları ile belli oranlarda karıştırılması durumunda kayma mukavemeti özelliklerinin önemli ölçüde iyileştirilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Atık Lastik, Kum, Kayma Mukavemeti, Laboratuvar

Laboratory Investigation of Shear Strength of Waste Tire-Sand Mixtures

Abstract

In this study, the effect of tire shreds on the shear strength properties of sand was investigated. In the study, sand samples were mixed with various percentages of tire shreds and direct shear tests were performed under different normal stresses. Based on the test results, it was seen that, the shear strength properties of sand can be improved significantly by mixing the sand samples with certain percentages of tire shreds.

Keywords: Waste tire, Sand, Shear strength, Laboratory.

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Salih KESKİN, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır. mskeskin@dicle.edu.tr

1. GİRİŞ

Günümüzde, gerek nüfus artışı gerekse endüstrinin gelişmesine paralel olarak, ihtiyaçlar neticesinde üretim sırasında ve kullanım sonrasında önemli miktarlarda cüruf, uçucu kül, plastik atıkları, cam kırıkları, atık araç lastikleri vb. atık malzemeler oluşmaktadır. Oluşan bu atık malzemelerin güvenli bir şekilde depolanması gittikçe daha zor ve pahalı bir işlem gerektirmekte ve çevre kirliliği dahil büyük sorunlara yol açmaktadır. Son yıllarda, atık malzemelerin değerlendirilip yeni ürünlerin elde edilmesi veya mevcut ürünlerde katkı malzemesi olarak kullanılabilmesi amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Atık malzeme ve yan ürünlerin değerlendirilmesi, kısıtlı olan doğal malzemelerin kullanımını azaltmakta, atık malzemelere ekonomik bir değer kazandırmakta ve bu malzemelerin depolanması durumunda çevrede oluşacak problemleri aza indirmektedir. Bu nedenle endüstriyel atıkların çeşitli kullanım alanlarında değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması gerekmektedir. Dünya üzerinde otomobil kullanımının oldukça yaygın hale gelmesinin bir sonucu olarak her yıl artan miktarda atık lastik oluşmaktadır. Bütün haldeki bu atık lastiklerin çok boşluklu olması, sıkıştırılmalarının zor olması ve ayrışmalarının uzun yıllar alması nedeniyle katı atık depo alanlarında depolanmaları tercih edilmemektedir [1]. Atık lastiklerin açık alanlarda depolandıkları durumlarda en önemli tehlike kontrolsüz yangınlara sebep olmalarıdır. Bu yangınların, ortaya çıkan yüksek ısı ve yoğun dumandan dolayı kontrol altına alınması ve söndürülmesi oldukça güçtür. Yüksek yağ içerikleri nedeniyle, lastik yangınları aylarca sürebilmekte, zehirli gazlar açığa çıkmakta, toprak, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı atık lastiklerin geri kazanım yöntemleri çeşitlenerek yaygınlaşmaktadır.

Lastik malzemesi, yağlar ve çeşitli kimyasal maddelerin birleşiminden oluşmaktadır. Atık lastikler bütün olarak, kesilmiş, parçalanmış halde lastik kırıntısı veya öğütülmüş, granül hale getirilmiş ve toz kauçuk ürünü olarak kullanılabilirler. Kesilmiş lastikler kesme makineleriyle, iki eşit parçaya veya lastiğin yere temas eden kısmının yan kenarından ayrılmasıyla

elde edilirler. Parçalanmış lastikler, çeşitli işlemlerden geçirilerek gereksinim duyulan boyutlara küçültülmektedirler. Öğütülmüş lastikler ise, atık lastiklerin istenilen boyutlarda öğütülmesiyle elde edilirler. Atık lastiklerin kullanım alanları bütün halden işlenmiş hale kadar çeşitlilik göstermektedir. Atık lastikler bütün olarak,

- Deniz kıyılarında gemi yanaşma noktaları ve dalga kırıcı olarak
- Oyun parklarında
- Birbirlerine bağlanarak erozyon kontrolünde
- Otoyollarda çarpma bariyerleri şeklinde kullanılmaktadırlar [2].

İşlenmiş (parçalanmış) atık lastikler inşaat mühendisliği uygulamalarında,

- Zemin tabakasında konsolidasyon oturmalarını azaltmak ve genel stabiliteyi arttırmak amacıyla hafif ağırlıklı dolgu malzemesi olarak [3],
- Zeminlerde donma derinliğini azaltmak amacıyla ısı yalıtımı olarak,
- Boşluklu yapılarından dolayı drenaj tabakası olarak,
- Dayanma yapılarında yanal basınçları azaltmak amacıyla kullanılmaktadırlar [4].

Atık lastik parçacıklarının dolgu ve dayanma yapılarında hafif ağırlıklı dolgu malzemesi olarak kullanılması durumunda sağlanacak avantajlar ise,

- İnşaa Aşaması: Hafif ağırlık, serbest drenaj, düşük toprak basıncı değeri, iyi ısı yalıtımı ve dayanıklılık,
- Çevresel: Atık lastiklerin depolama sorununu azaltması ve depo alanı için kullanılacak araziden tasarruf edilmesi,
- Ekonomik: Düşük maliyet, doğal kaynakların korunması, atık yönetim maliyetinin azaltılması şeklinde sıralanabilir [2].

Yumuşak zeminler üzerine inşa edilen dolgulara stabilite problemleri oluşmaktadır. Sıkışabilir zeminler üzerine inşa edilen yollarda ise stabilite ve oturma problemleri kritik olmaktadır. Yol inşaatlarında birçok noktada klasik dolgu malzemesi yerine hafif ağırlıklı lastik parçacıklarının kullanılması durumunda yol yapısının ağırlığı önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Atık lastiklerin dayanıklılık, mukavemet, esneklik ve yüksek sürtünme direnci

gibi özellikleri otoyol dolgularının tasarımında önemli parametreler olarak öne çıkmaktadır. Fakat inşaat mühendisliği uygulamalarında atık lastik parçacıkları tek başına kullanılmaktan çok zeminle belli oranlarda karıştırıldıktan sonra kullanılmaktadır. Bu durum, atık lastiklerin sahip olduğu düşük kayma mukavemeti sonucu oluşabilecek geoteknik problemlerin önüne geçmektedir [3].

Atık lastik parçacıkları-zemin karışımları, birçok dolgu ve dayanma yapısında hafif ağırlıklı dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır [4, 5, 6, 7]. Bu çalışmalar, atık lastik-zemin karışımlarının düşük sıkışabilirlik ve yüksek kayma mukavemetine sahip olduğunu ve sadece atık lastik parçacıklarının kullanıldığı duruma göre daha iyi performans verdiğini göstermiştir.

Bu çalışmada, atık lastik-kum karışımlarının kayma mukavemeti parametrelerinin belirlenmesi ve kumun mekanik özelliklerini iyileştirecek optimum değerlerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaçla, değişik yüzdelerde atık lastik parçacıklarıyla karıştırılmış lastik-kum karışımları üzerinde farklı normal gerilmeler altında kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmanın sonuçları değerlendirilerek gerekli öneriler yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde atık lastik-kum karışımlarının mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili birçok deneysel çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar genel olarak karışımın kayma mukavemet özellikleri üzerine yoğunlaşmış olmakla beraber, karışımın özgül ağırlık, hidrolik iletkenlik ve sıkışabilirlik özellikleri üzerine gerçekleştirilmiş çalışmalar da bulunmaktadır. Literatürde, atık lastik-kum karışımlarının kayma mukavemeti davranışı ile ilgili mevcut çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Humprey ve ark. [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, üç farklı tipte lastik parçacıkları üzerinde büyük ölçekli kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde uzunlukları 72 mm'den az olan lastik parçacıkları kullanılmıştır.

Çalışma sonunda lastik parçacıklarının içsel sürtünme açısı değerlerinin 19° - 25° , kohezyon değerlerinin ise, 7.7-8.6kPa arasında değiştiği görülmüştür. Ayrıca, lastik parçacıklarının, yumuşak zeminler üzerine inşa edilecek dolgulara, hafif ağırlıklı ve ortamın drenaj, ısı yalıtımı gibi özelliklerini iyileştirecek malzeme olarak uygulamalarda kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Ahmed [9], farklı oranlardaki lastik parçacıkları-kum karışımları üzerinde üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda, ağırlıkça %40 lastik+%60 kum karışım oranında maksimum kayma mukavemet parametrelerinin elde edildiği görülmüştür.

Foose ve ark. [10], lastik-kum karışımları üzerinde büyük ölçekli kesme kutusu deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmada, karışımın kayma mukavemetini etkileyen normal gerilme, birim hacim ağırlığı, lastik içeriği, lastik boyutu ve lastik yerleşimi parametreleri araştırılmıştır. Deneyler sonunda, lastik içeriği ve karışımın birim hacim ağırlığının kayma mukavemetini etkileyen en önemli parametreler olduğu görülmüştür. Çalışmada, %100 kum durumunda içsel sürtünme açısı değeri 34° iken, aynı birim hacim ağırlıkta hazırlanan lastik-kum karışımında içsel sürtünme açısı değerinin 67° 'ye kadar arttığı görülmüştür.

Wu ve ark. [11], küçük boyutlu (<40mm uzunluğunda), beş farklı gradasyon ve şekil oranına sahip lastik parçacıklarının kayma mukavemet parametrelerini belirlemek amacıyla üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonunda, lastik parçacıklarının 45° 'den 60° 'ye kadar değişen içsel sürtünme açısı değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Tatliso ve ark. [12], lastik parçacıkları, kum, kumlu silt, lastik-kum karışımı ve lastik-kumlu silt karışımları üzerinde büyük ölçekli kesme kutusu deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deneyler sonunda, lastik-kum karışımında, lastik içeriğinin %30 değerine kadar kayma mukavemetinin arttığı daha fazla lastik içeriğinde ise, azaldığı görülmüştür. Lastik-kumlu silt karışımında ise içsel sürtünme açısı değerinin lastik içeriğinden bağımsız olduğu

fakat kohezyon değerinin artmasıyla kayma mukavemetinin arttığı anlaşılmıştır.

Edinçiler ve ark. [13], lastik-kum karışımlarının kayma mukavemetini araştırmak amacıyla büyük ölçekli kesme kutusu deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Karışım kuru halde ve ağırlıkça %10 lastik+%90 kum oranlarında hazırlanmıştır. Çalışmada, üniform, orta sıklıkta ve birim hacim ağırlığı 15.3 kN/m^3 olan kum numuneler kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan lastik parçacıklarının maksimum boyutu 40 mm 'dir. Lastik parçacıklarının birim hacim ağırlığı 5.1 kN/m^3 , karışımın birim hacim ağırlığı ise, 13 kN/m^3 değerindedir. Çalışma sonunda karışımın ağırlıkça %10 lastik+%90 kum oranlarında hazırlanması durumunda içsel sürtünme açısı değerinin 22° 'den 33° 'ye arttığı görülmüştür.

Zornberg ve ark. [3] tarafından, %100 lastik, %100 kum ve belli oranlarda hazırlanan lastik-kum karışımları üzerinde optimum lastik içeriği ve şekil oranını belirlemek amacıyla büyük ölçekli üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonunda, lastik içeriğinin artmasıyla karışımın kayma mukavemetinin arttığı ve karışım oranının %35 lastik+%65 kum olması durumunda maksimum değere ulaştığı görülmüştür.

Ghazavi ve Sakhi [14] tarafından, farklı lastik boyutlarında, şekil oranlarında ve içeriklerinde hazırlanan lastik-kum karışımları üzerinde büyük ölçekli kesme kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonunda, kompaksiyon, normal gerilme, lastik içeriği ve lastik boyutlarının, karışımın kayma mukavemetini etkileyen parametreler olduğu ve %50 lastik içeriğinde içsel sürtünme açısı değerinin 67° 'ye kadar artırılabilirdiği görülmüştür.

Attom [15], üç farklı granülometriye sahip kum numuneler ile ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40 oranlarındaki lastik parçacıklarını karışım haline getirmiş ve karışım üzerinde kesme kutusu deneyleri gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda, lastik içeriğinin artmasıyla kayma mukavemet değerlerinin arttığı görülmüştür.

Çetin ve ark. [16] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kaba ve ince boyutlarda öğütülmüş

lastik parçacıkları, kohezyonlu zemin numuneleri ile karıştırılmış ve elde edilen karışımların geoteknik özellikleri laboratuar deneyleri (endeks, permeabilite, kesme kutusu ve kompaksiyon) ile incelenerek, hafif ağırlıklı dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışma sonunda, %20 kaba veya %30 ince lastik parçacıklarıyla hazırlanan karışımlarda yüksek kayma mukavemeti değerlerinin elde edildiği ve hafif ağırlıklı dolgu malzemesi olarak kullanılabilirdiği görülmüştür.

Literatür çalışması, lastik parçacıklarının, kumun mekanik özelliklerini iyileştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, kum içerisine lastik parçacıklarının yerleştirilmesinin, kum malzemeye bir donatı etkisi kazandırdığı ve lastik içeriği, şekil oranı, kompaksiyon ve normal gerilme değerlerinin, karışımın kayma mukavemetini etkileyen önemli parametreler olduğu görülmüştür.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmada, Çakıt dere yatağından getirilen kum numuneler, atık lastik parçacıklarıyla belli oranlarda karıştırılarak, lastik parçacıklarının, kumun kayma mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kum numuneler üzerinde gerçekleştirilen elek analizi sonucunda zemin sınıfı, birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan atık lastik parçacıkları, Adana Organize Sanayi Bölgesi'nde faaliyette bulunan bir lastik kaplama tesisinden temin edilmiştir. Lastik parçacıkları, atık otomobil lastiklerinin çelik liflerinden ayrılarak, belli boyutlarda öğütülmesiyle elde edilmiştir. Lastik parçacıklarının boyları yaklaşık $10-25 \text{ mm}$, genişlikleri ise yaklaşık $2-4 \text{ mm}$ arasında değişmektedir (Şekil 1).

Lastik parçacıkları-kum karışımı belli bir sıklık değerinde, $D_r = \%65$, deneye tabi tutulmuştur. Karışımın istenilen sıklık değerinde hazırlanması için, kum numunelerin ve lastik parçacıklarının minimum ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (γ_{kmin} ve γ_{kmaks}) belirlenmiştir. Deney kumunun, minimum ve maksimum kuru birim hacim ağırlıklarını belirlemek amacıyla



Şekil 1. Öğütülmüş atık lastik parçacıkları

400×600mm genişliğinde ve 70mm yüksekliğinde ($v=16800\text{cm}^3$) bir kap içerisinde rölatif sıklık deneyleri yapılmıştır. Lastik parçacıklarının γ_{kmin} ve γ_{kmaks} değerleri belirlenirken ise, lastik parçacıkları üzerinde, standart proktor deney kalıbı ve tokmağı kullanılarak bir seri deney gerçekleştirilmiştir. γ_{kmin} değeri belirlenirken, parçacıklar, kalıp içerisine herhangi bir sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan, γ_{kmaks} değeri belirlenirken ise, beş tabaka halinde ve tokmak her bir tabakaya yeterli sayıda düşürülmek suretiyle sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Deneyler, gevşek ve sıkı durumlar için beşer kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen birim hacim ağırlık değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

Deneyel çalışmada, lastik–kum karışımlarının kayma mukavemetini araştırmak amacıyla, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Laboratuvarı’nda değişik lastik yüzdelerinde (χ) hazırlanan karışımlar üzerinde, farklı normal gerilmeler altında ($\sigma=30$ kPa, 60 kPa ve 120 kPa) 6×6cm’lik kesme kutusunda kesme deneyleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 2) [17]. Deneyler sonucunda en büyük kayma mukavemetini veren optimum karışım oranı belirlenmiştir. Karışımdaki lastik içeriğini hacim cinsinden ifade etmek için χ terimi kullanılmıştır.

$$\chi = \frac{V_{ts}}{V_{ts} + V_s} \quad (1)$$

V_{ts} : Lastik parçacıklarının hacmi

V_s : Kum hacmi



Şekil 2. Karışımın kesme kutusuna yerleştirilmesi

Tablo 1. Rölatif sıklık deney sonuçları

Rölatif Sıklık Parametreleri	Birim	Lastik	Kum
Maks. Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_{kmaks})	kN/m ³	5.8	17.9
Min. Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_{kmin})	kN/m ³	2.6	15.5
$D_r = \%65$ için Kuru Birim Hacim Ağırlığı (γ_k)	kN/m ³	4.1	17.0

Tablo 2’de lastik-kum karışımı üzerinde, farklı normal gerilmeler altında gerçekleştirilen kesme kutusu deney programı görülmektedir. Deneylerde hacim cinsinden lastik yüzdesi, $\chi = \%0, \%5, \%10, \%15, \%20, \%30, \%40$ ve $\%50$ olarak değişken alınmış ve karışım sıklık derecesi $D_r = \%65$ olacak şekilde sabit tutulmuştur.

Tablo 2. Kesme kutusu deney programı

Deney No	χ (%)	σ (kPa)
*TS1-1	0	30
TS1-2	0	60
TS1-3	0	120
TS2-1	5	30
TS2-2	5	60
TS2-3	5	120
TS3-1	10	30

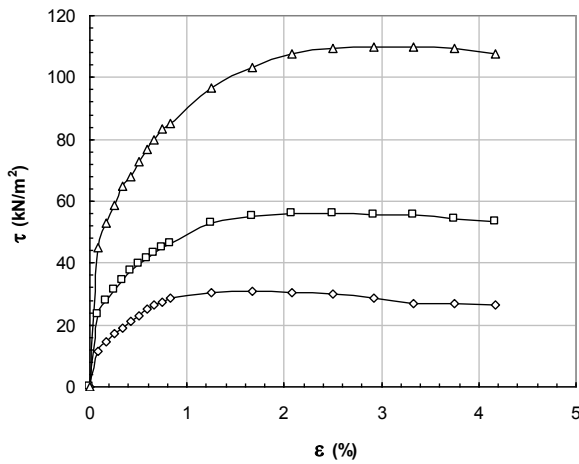
Tablo 2'nin dv.

TS3-2	10	60
TS3-3	10	120
TS4-1	15	30
TS4-2	15	60
TS4-3	15	120
TS5-1	20	30
TS5-2	20	60
TS5-3	20	120
TS6-1	30	30
TS6-2	30	60
TS6-3	30	120
TS7-1	40	30
TS7-2	40	60
TS7-3	40	120
TS8-1	50	30
TS8-2	50	60
TS8-3	50	120

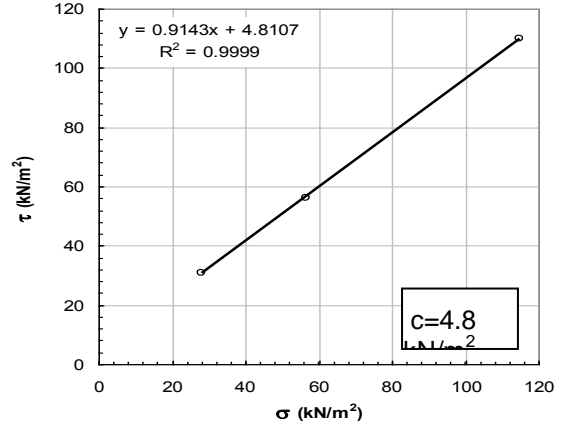
*TS :Lastik parçacıkları (Tire shreds)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Şekil 3 ve Şekil 4'de sırasıyla, kesme kutusu deneylerinden elde edilen tipik kayma gerilmesi-şekil değiştirme (τ - ε) ve kırılma zarfı (σ - τ) eğrileri görülmektedir.



Şekil 3. Tipik τ - ε eğrisi (%100 kum)



Şekil 4. Tipik σ - τ eğrisi (%100 kum)

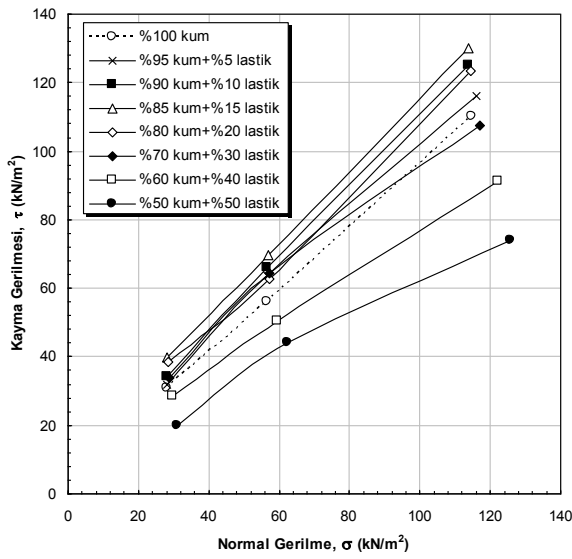
Atık lastik parçacıkları-kum karışımları üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deneylerinden elde edilen kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri Tablo 3'de, kırılma zarfları ise toplam olarak Şekil 5'de görülmektedir.

Tablo 3. Kesme kutusu deney sonuçları (D_r =%65)

Karışım	c (kN/m ²)	ϕ (°)
% 100 kum	4.8	42.4
%95 kum+%5 lastik	6.0	45.2
%90 kum+%10 lastik	5.5	46.5
%85 kum+%15 lastik	9.8	46.6
%80 kum+%20 lastik	8.3	44.9
%70 kum+%30 lastik	13.3	39.3
%60 kum+%40 lastik	9.2	33.9
%50 kum+%50 lastik	5.5	29.0

Tablo 3 ve Şekil 5'den, kum numunelerin kayma mukavemetinin, hacimce belli oranlardaki lastik parçacıklarıyla karıştırılmaları halinde artırılabilceği görülmüştür. Lastik içeriğinin %20 olması durumuna kadar karışımın kayma mukavemeti parametreleri, %100 kum durumuna göre elde edilen kayma mukavemeti

parametrelerinden yüksek değer vermekte, daha fazla lastik içeriklerinde ise azalmaktadır. Kayma mukavemetindeki en büyük artış lastik içeriğinin %10 ve %15 olması durumlarında meydana gelmekte ve optimum değere ulaşmaktadır. Lastik içeriğinin %20'den daha fazla olması durumunda ise kayma mukavemeti, %100 kum durumunda elde edilen kayma mukavemeti parametrelerinden daha düşük çıkmaktadır.



Şekil 5. Kırılma zarfları

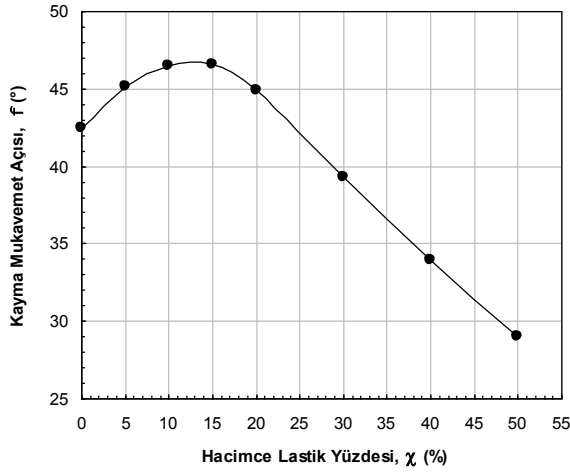
Şekil 6 ve Şekil 7'de kesme kutusu deneylerinden elde edilen kayma mukavemet açısı, ϕ ve kohezyon, c değerleri grafik olarak gösterilmektedir. Şekil 6'dan ϕ değerlerinin, lastik içeriğinin %5 ve %10 olması durumlarında artış gösterdiği, %15 olması durumunda artış miktarının azaldığı ve %20'den daha büyük lastik içeriklerinde ise, %100 kum durumunda elde edilen değerlerden oldukça küçük olduğu görülmektedir. Şekil 7'den, c değerlerinin, tüm lastik içeriklerinde, %100 kum durumunda elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Karışımın kohezyon değeri, lastik içeriğinin artmasıyla önemli miktarlarda artmakta ve lastik içeriğinin %30 olması durumunda en büyük değerine ulaşmaktadır. Fakat kohezyonda meydana gelen bu artış, kayma mukavemet

açısından farklı olarak tutarlı bir davranış sergilememekte ve %10 ile %20 lastik içeriklerinde, bir önceki karışım oranlarında elde edilen kohezyon değerlerinden daha küçük kohezyon değerleri vermektedir. Kayma mukavemetinde meydana gelen artış, kesme kutusu deneyi sırasında, karışımın, kayma bölgesindeki göçme davranışıyla açıklanabilir. Lastik parçacıkları karışımın kayma bölgesinde oluşan göçme yüzeyi üzerinde rastgele dağılmış ve yönlendirilmiş bir halde bulunmaktadır. Kayma başladığında, karışımındaki lastik parçacıkları, kum zemin ile etkileşime girmekte ve oluşan kaymaya karşı bir direnç göstermektedir. Yani lastik parçacıkları, donatıya benzer bir davranış göstermekte ve bu da kayma mukavemetinin artmasını sağlamaktadır. Daha fazla lastik içeriklerinde ise kum ile lastik parçacıkları arasındaki etkileşim efektif olarak gerçekleşmemekte ve kayma mukavemetinde azalma meydana gelmektedir.

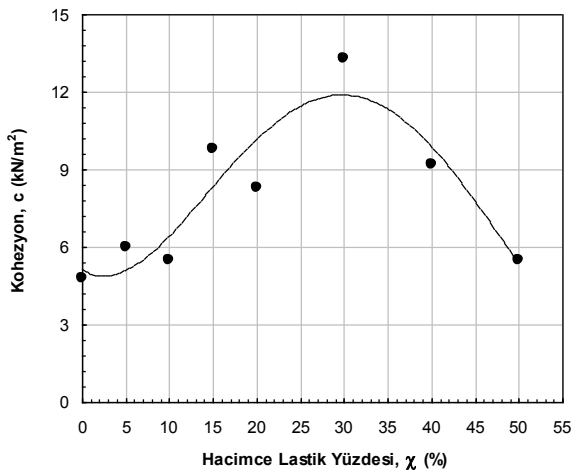
5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, kum numuneler atık lastik parçacıklarıyla değişik oranlarda karıştırılarak karışımın kayma mukavemet parametreleri belirlenmiştir. Atık lastik-kum karışımları üzerinde gerçekleştirilen kesme kutusu deneylerine göre, kum numunelerin, lastik parçacıkları ile belli oranlarda karıştırılması durumunda kayma mukavemeti özellikleri %10'lara varan oranlarda iyileştirilebilmektedir. Lastik-kum karışımlarında, lastik parçacıkları, zemin ile arasında oluşan sürtünme dirençleri nedeniyle donatı malzemesi gibi davranarak kumun kayma mukavemetini arttırmaktadır. Kesme kutusu deneylerinden, karışımındaki optimum lastik içeriği χ =%10 ile %15 arasında elde edilmektedir. Bu durumda karışımın kayma mukavemet açısı, ϕ , %100 kum durumuna göre yaklaşık %10 artmaktadır.

Atık lastiklerin öğütülüp kum numuneler ile karıştırılması durumunda hem karışımın ağırlığının azaldığı hem de kayma mukavemetinin arttığı görülmüştür. Sonuç olarak, atık lastiklerin, kumun mekanik özelliklerini iyileştirmesi nedeniyle dolgu problemlerinde hafif dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi görülmüştür.



Şekil 6. ϕ - χ İlişkisi



Şekil 7. c - χ İlişkisi

6. TEŞEKKÜR

Yazarlar, MMF2006D1 no'lu Güçlendirilmiş Kumlu Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Deneysel ve Teorik Analizi isimli projenin desteklenmesi nedeniyle Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür eder.

7. KAYNAKLAR

1. Gönüllü, M.T., "Endüstriyel Kirlenme Kontrolü", Cilt:1, Birsen Yayınevi, 466s., 2004.
2. Young, H.M., Sellasie, K., Zeroka, D., Sabris, G., "Physical and Chemical Properties of Recycled Tire Shreds for Use in Construction", Journal of Environmental Engineering, ASCE, 129 (10):921-929, 2003.
3. Zornberg, J.G., Alexandre, R.C., Viratjandr, C., "Behaviour of Tire Shred-Sand Mixtures", Canadian Geotechnical Journal, 41 (2):227-241, 2004.
4. Bosscher, P.J., Edil, T.B., Kuraoka, S., "Design of Highway Embankments Using Tire Chips", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 123 (4):295-304, 1997.
5. Humphrey, D.N., "Investigation of Exothermic Reaction in Tire Shred Fill Located on SR 100 in Ilwaco, Washington", Consulting Report to FHWA, US Department of Transportation, 1996.
6. Humphrey, D.N., Kate, L.E., "Five Year Study of the Effect of Tire TDA Placed Above the Water Table on Groundwater Quality", Transportation Research, Record 1714, Transportation Research Board, Washington, D.C., 18-24, 2000.
7. Dickson, T.H., Dwyer, D.F., Humphrey, D.N., "Prototypes Tire-Shred Embankment Construction", Transportation Research, Record 1755, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 160-167, 2001.
8. Humphrey, D.N., Sandford, T.C., "Tire Shreds as Lightweight Subgrade Fill and Retaining Wall Backfill", In: Proceedings of the Symposium on Recovery and Effective Reuse of Discarded Materials and By-Products for Construction of Highway Facilities, Federal Highway Administration, Washington, DC, pp. 5-87 to 5-99, 1993.
9. Ahmed, I., "Laboratory Study on Properties of Rubber Soils", Report No. FHWA/IN/JHRP-93/4, Purdue University, West Lafayette, Indianapolis, 1993.

10. Foose G.J, Benson C.H., Bosscher P.J., “Sand Reinforced with Shredded Waste Tires”, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 122 (9):760-767, 1996.
11. Wu, W.Y., Benda, C.C., Cauley, R.F., “Triaxial Determination of Shear Strength of Tire Chips”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 123 (5):479-482, 1997.
12. Tatlısoz, N., Edil, T.B., Benson C., “Interaction Between Reinforcing Geosynthetics and Soil-Tire Chip Mixtures”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, 124 (11):1109-1119, 1998.
13. Edincliler, A., Baykal, G., Dengili, K., “Determination of Static and Dynamic Behaviour of Waste Materials”, *Resources, Conservation and Recycling*, 42 (3):223-237, 2004.
14. Ghazavi, M., Sakhi, M.A., “Optimization of Aspect Ratio of Waste Tire Shreds in Sand–Shred Mixtures Using CBR Tests”, *Geotechnical Testing Journal*, 28 (6):1–6, 2005.
15. Attom, M.F., “The Use of Shredded Waste Tires to Improve the Geotechnical Engineering Properties of Sands”, *Environmental Geology*, 49:497-503, 2006.
16. Cetin, H., Fener, M., Gunaydın, O., “Geotechnical Properties of Tire-Cohesive Clayey Soil Mixtures as a Fill Material”, *Engineering Geology*, 88 (1–2):110–120, 2006.
17. Keskin, M.S., “Güçlendirilmiş Kumlu Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Deneysel ve Teorik Analizi”, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi*, 2009.

