

## Gaziantep'teki Kil Zeminlerin Kırmataş ile İyileştirilmesi ve Atık Lastik-Kırmataş Karışımları Üzerine Bir Çalışma

Ali Fırat ÇABALAR<sup>\*1</sup>, Nurullah AKBULUT<sup>2</sup>, Ahmet AYDIN<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gaziantep Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

<sup>2</sup>Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep

### Özet

Son yıllarda, ülkemizdeki en hızlı gelişen şehirlerden biri olan Gaziantep'teki inşaat faaliyetleri bu gelişmeye bağlı olarak artmaktadır. Gaziantep ve civarındaki zemin yapılarında en çok kullanılan malzemelerden biri kırmataş olarak bilinen ve bölgedeki ocaklarda üretilen kum örnekleridir. Bu nedenle, bu çalışmada kırmataş ve kırmataşın farklı malzemelerle etkileşiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, kırmataş- kil karışımlarının davranışları ve bölgede çevresel kaygılara neden olan atık lastik parçalarıyla karıştırılmış kırmataş karışımlarının davranışları araştırılmıştır. Çalışmada ödometre, direk kesme, geçirimsizlik, kompaksiyon, ve CBR taşıma oranı testleri yapılmıştır. Ödometre deneyleri sonucunda, kil oranı ve atık lastik miktarı arttığında karışıma ait sıkışabilirlik değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Direk kesme kutusu deneyleri ile hazırlanan karışımlardaki artan kil ve atık lastik miktarlarıyla, karışıma ait (i) içsel sürtünme açısı değerlerinde azalma, (ii) kohezyon değerlerinde ise artış görülmüştür. Kırmataş-kil karışımlarında elde edilen geçirimsizlik katsayısı değerleri  $9,5 \times 10^{-8}$  ile  $8 \times 10^{-8}$  cm/s arasında değişirken, kırmataş-atık lastik karışımında ulaşılan geçirimsizlik katsayısı değerleri 2,2 cm/s ile 0,9 cm/s arasında bulunmuştur. Kırmataş-kil karışımlarında uygulanan kompaksiyon deneyleri, kil oranı arttıkça (i) maksimum kuru birim hacim ağırlığında ( $\gamma_{kuru maks}$ ) azalma, (ii) optimum su muhtevası ( $w_{opt}$ ) değerlerinde ise artış olduğunu göstermiştir. CBR deneyleri, artan atık lastik miktarıyla azalan değerler vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kırmataş, Kil, Lastik kırıntısı, Ödometre, Direk kesme, Geçirimsizlik, Kompaksiyon, CBR

### A Study on the Improvement of Clays in Gaziantep with Crushed Sands, and Waste Tires-Crushed Sands Mixtures

#### Abstract

Civil engineering works in Gaziantep City in Turkey and its vicinity have been significantly increasing over the last decade, as Gaziantep is a city growing very fast. The crushed sands quarried from its vicinity have been widely used for geotechnical engineering works in/around the city. For this reason,

\* Yazışmaların yapılacağı yazar: Ali Fırat ÇABALAR, Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gaziantep, cabalar@gantep.edu.tr

investigations of the behaviour of the crushed sands with various materials have received attention in this study. This paper presents a set of laboratory data for the crushed sand with clay at various mix ratios. In this paper, a laboratory study of the crushed sand and tire buffings mixtures with various mix ratios is also presented, because an increase in the number of waste tires results in an environmental problem in Gaziantep City. The tests conducted over this investigation are oedometer, direct shear, and permeability, compaction, and CBR tests. Oedometer tests performed on reconstituted clay- crushed sand mixtures indicate that the compressibility increases as the percentage of clay increases, and that the tire buffings additions to the sand enhance the compressibility of the mixture. In the direct shear tests, it is observed that (i) internal angle of friction decreases, (ii) cohesion increases as the clay content and the amount of tire buffings increases. The sands with clay at various mix ratios have hydraulic conductivity valued ranging from  $9,5 \times 10^{-8}$  to  $8 \times 10^{-8}$  cm/s, and from 2,5 cm/s to 0,9 cm/s at the sand with tire buffings. Compaction tests on the sand- clay mixtures indicate that (i) maximum dry unit weight ( $\gamma_{dry \max}$ ) decreases, (ii) optimum water content ( $w_{opt}$ ) increases as the clay content increases. The crushed sands with tire buffings were also tested for California Bearing Ratio (CBR) showed degradation in its value.

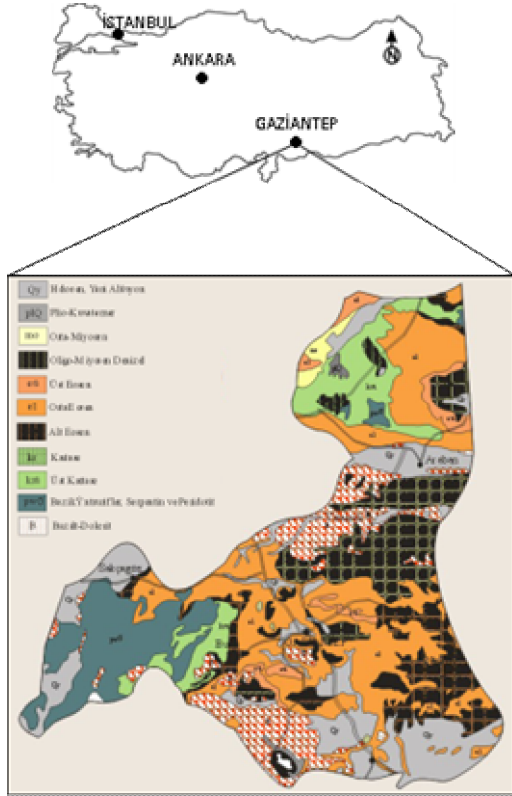
**Keywords:** Crushed sand, Clay, Tire buffings, Oedometer, Direct shear, Permeability, Compaction, CBR

## 1. GİRİŞ

Gaziantep, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin en büyük, Türkiye'nin ise 6. büyük şehri olup nüfusu, ekonomik yapısı, turizm potansiyeli ile bölgenin cazibe şehirlerinden biridir. Coğrafi yönden Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP)'nin giriş kapısı olan Gaziantep, ticari hacmi ve sanayisi ile GAP'ın merkezi konumundadır [1]. Bu yönüyle, ekonomik yönden çevresindeki birçok ili etkisi altında tutmaktadır. Gaziantep ülkemizdeki en çok göç alan şehirlerin başında gelmektedir. Hızlı nüfus artışı, çok yoğun şehirleşme ve sanayileşme gibi nedenler bölgedeki inşaat (alt ve üst yapı) uygulamalarının artmasına neden olmaktadır. Bu bölgedeki inşaat uygulamalarında yoğun olarak kullanılan agregalar kırma ve doğal olmak üzere iki gruba ayrılan organik olmayan malzemelerdir [2]. Bölgedeki hızlı ilerleme, alt ve üst yapı uygulamalarında kullanılan doğal agrega kaynaklarının zamanla azalmasına neden olacaktır. Diğer taraftan, bu durum kırma- eleme işlemleriyle kırılmış agrega üretimi ve kullanımını giderek artıracaktır [3]. Ayrıca, agrega şekil ve büyüklüğünün zeminlerin dayanımında önemli bir rol oynadığı düşünülerek [4-6], uygun kırıcı ekipmanlarla köşeli şekle sahip tanelerin üretilebilmesi, zemin çalışmalarında da kırılmış agrega kullanımını artırabilir. Kırmataş olarak da tanımlanan kırılmış agregaları oluşturan kayaçlar (i) sedimentar, (ii) metamorfik ve (iii) magmatik

olmak üzere üçe ayrılırlar. Çizelge 1, bunlara ait sınıflandırmayı detaylı olarak göstermektedir.

Gaziantep jeolojik olarak, Güneydoğu Anadolu'da Arap otoktonu ile kenar kıvrımlarını kapsayan kuşak boyunca yer almaktadır [8-11]. Bölgede rastlanan formasyon, genellikle yumuşak topografya gösteren tebeşirli kireçtaşı ve killi kireçtaşı şeklinde görülmekle birlikte, problemlili kil zeminler de yer alabilmektedir (Şekil 1). Gaziantep ve çevresindeki toprak yapılarında kullanılan kil zeminler düşük taşıma kapasitesi, şişme potansiyeli ve dispersif özellikleri nedeni ile önemli problemlere yol açmaktadırlar. Mühendislik yapılarında oluşabilecek hasarlar nedeniyle, kil zeminlerin farklı ilaveler (geomembran, kimyasal maddeler, uçucu kül, kırmataş...) kullanılarak iyileştirilmesine yönelik çalışmalar uzun zamandır yapılmaktadır [12-15]. Kil zeminlerin iyileştirilmesindeki amaç, bu tür zeminleri yeterli koşullara ulaştırarak, ağır yüklemelere (deprem, toprak kayması...) dayanabilecek duruma getirmektir. Problemlili kil zeminlere farklı oranlarda kum veya çakıl karıştırılarak elde edilen karışımlar üzerinde yapılan bazı çalışmalarda, örneğin, serbest basınç mukavemetinin artan kum oranı ile birlikte arttığı, optimum su muhtevası azalırken, maksimum kuru birim hacim ağırlığında artma olduğu görülmüştür [16-17]. Gaziantep gibi hızla gelişen yerleşim alanlarında, artan çevre kaygıları sonucu önemli



Şekil 1. İnceleme alanının coğrafi konumu ve bölgenin jeolojisi [11]

bir problem haline gelen katı lastik atıklarının çeşitli zemin mekaniği uygulamalarında kullanılması, zeminlerin bazı mühendislik özelliklerinin değişmesine neden olabilmektedir. Atık lastiklerin geri kazanımı, ekonomik getirisi çevre ve insan sağlığı yönünden önemli bir süreçtir. Bu amaçla lastik kullanımının yaygın olduğu her ülke için lastik geri dönüşümü önem taşımaktadır. Her yıl Türkiye’de yaklaşık 180.000-200.000 ton ömrünü tamamlamış lastik oluştuğu hesaplanmakta olup bunların geri dönüşümünün sağlanması ülke ekonomisi ve çevresel faktörler açısından oldukça önemlidir. Atık lastiklerin tekrar kullanılması ekonomiye yaptığı katkının yanında atık lastik depolama alanlarındaki aşırı yığılmayı azaltması açısından da faydası vardır. Eski lastiklerin geri kazanılması toz halden bütün hale kadar, çeşitli büyüklükler için yapılmaktadır. Eskimiş lastiklerin geri kazanılması

için yapılan çalışmalar [18-22] giderek yaygınlaşmaktadır. Bazı kullanım alanları şöyle sıralanabilir; köprüler ve karayollarındaki genişleme bağlantıları, demiryolu ray bağlantıları, asfalt yol çatlakları kapama malzemesi, karayollarında lastik katkı asfalt, toprakaltı drenajı, toprak dolgular [23]. Bu çalışmanın amacı, (i) Gaziantep’teki toprak yapılarında kullanılan kil zeminlerin kırmataş ile iyileştirilebilirliği, ve (ii) çevresel kaygılar sonucu önemli bir problem haline gelen katı lastik atıklarının kırmataş malzemesinin davranışına etkisinin araştırılmasıdır. Ayrıca, burada sunulan literatür bilgileri ve elde edilen deney sonuçları ile önerilen iyileştirme metodlarının geoteknik mühendisliği açısından uygulanabilir nitelikte olması, ülke ekonomisine ve çevresel faktörlere sürdürülebilir bir katkı sağlayacak özelliğe sahip olması amaçlanmaktadır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, Gaziantep’teki toprak yapı faaliyetlerinde yoğun olarak kullanılan ÇİMKO tarafından üretilen kırmataş örneklerinin, Gaziantep’teki kil zeminlerin davranışı üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmektedir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne (USCS) göre, kötü derecelenmiş kum (SP) olarak tanımlanan kırmataşa ait bazı özellikler Çizelge 2’de verilmiştir. Birçok mühendislik davranışı üzerindeki öneminden dolayı kırmataş tanelerinin yüzey pürüzlülüğü, biçim ve tane çapı dağılımının detaylı olarak anlaşılabilmesi için Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) görüntüsü ve granülometre eğrisi sırasıyla Şekil 2a ve 3’te sunulmaktadır. Kullanılan kil örneği Gaziantep Üniversitesi yerleşkesinden elde edilmiştir. USCS’ne göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak belirlenen kil örneğinin plastik limit (PL) değeri 18, likit limit değeri (LL) ise 29 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3). Kırmataş- atık lastik karışımları üzerindeki deneylerde, Gaziantep Sanayi Sitesi’nden alınan, 1,18-2 mm arasındaki kötü derecelenmiş katı lastik kırıntıları kullanılmıştır (Şekil 2b). Bu çalışmada sunulan deneysel çalışmalarda ‘ELE direk kesme kutusu deney aleti’ (ASTM D3080), ‘ELE masa üstü

**Çizelge 1.** Kırmataş kayaçlarının jeolojik sınıflanması [7]

Grup	Genel Sınıflama	Kayaç	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Magmatik	Plütonik	Granit	2,60
		Siyenit	2,70
		Diyorit	2,80
		Gabro	2,90
		Peridotit	2,90
	Volkanik	Riyolit	2,60
		Trakit	2,60
		Andezit	2,60
		Bazalt	2,80
		Diyabaz	2,90
Sedimanter	Kimyasal (karbonatlı)	Dolomit	2,70
		Kireçtaşı	2,60
	Kırıntılı (silisli)	Konglomera, kumtaşı, kuvarsit, arkoz, kiltası, şeyl, arjilit, çört, grovak	2,60
Metamorfik	Foliasyonlu	Amfibolit,	3,00
		Şist	2,80
		Gnays	2,70
		Şeyl	
	Foliasyonsuz	Mermer	2,70
		Kuvarsit	2,80

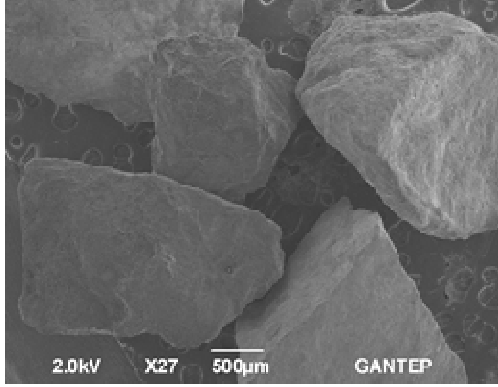
**Çizelge 2.** Deneysel çalışmalarda kullanılan kırmataşa ait bazı özellikler

Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi	SP
Özgül ağırlık, G <sub>s</sub>	2,65
Maksimum boşluk oranı (e <sub>maks</sub> )	0,850
Minimum boşluk oranı (e <sub>min</sub> )	0,660
İçsel sürtünme açısı (φ)	47°
Üniformluk katsayısı (C <sub>u</sub> )	1,24
Ortalama tane boyutu (D <sub>50</sub> )	1,56
Efektif tane boyutu (D <sub>10</sub> )	1,25

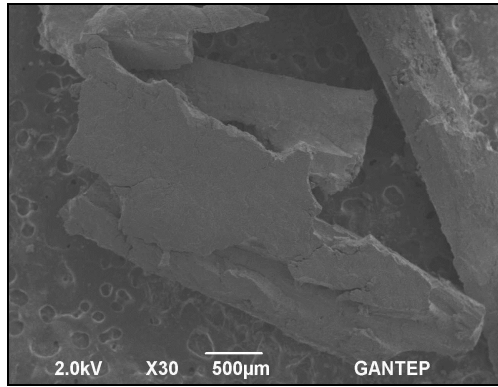
**Çizelge 3.** Deneysel çalışmalarda kullanılan kil zeminin indeks özellikleri

Likit limit (%)	29
Plastik limit (%)	18
Plastisite indisi (%)	11

ödometre deney aleti' (ASTM D2435), 'ELE sabit ve düşen seviyeli geçirimsizlik deney aletleri' (ASTM D2434), 'Standart Proktor deney aleti' (ASTM 698) ve 'ELE CBR test aleti' (ASTM D1883-99) kullanılmıştır.

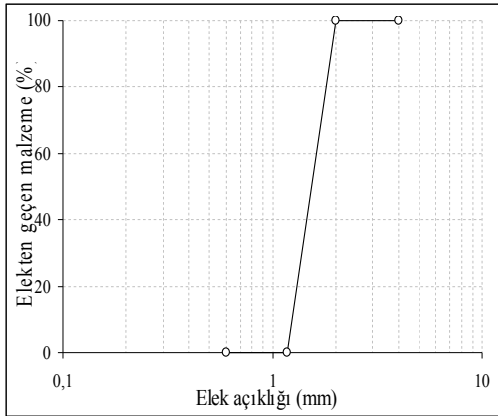


(a)



(b)

Şekil 2. Çalışmada kullanılan (a) kırmataş, (b) atık lastik kırpıntısı örneğine ait SEM resmi



Şekil 3. Deneysel çalışmada kullanılan kırmataş örneğine ait granulometre eğrisi

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Gaziantep'te yapılan toprak yapılarında yoğun olarak kullanılan kırmataş örneklerinin, kil zeminlerin iyileştirilmesi ve atık lastiklerle birlikte kullanılabilirliğini için yapılan deneylerdeki tüm numuneler gevşek halde, hiçbir vibrasyona maruz bırakılmadan hazırlanmıştır. Deney sonuçlarının doğruluğunu gerçeklemek için, her bir numune üzerindeki testler birden fazla tekrarlanmıştır. Takip edilen deneysel çalışma programı ve özet bilgiler Çizelge 4'te sunulmaktadır.

#### 3.1. Direk Kesme Kutusu Deneyleri

Direk kesme kutusu deney aletinde yapılan çalışmalarda, farklı oranlardaki (ağırlıkça %0, %20, %40 ve %60) kırmataş, kil zemine önce kuru olarak karıştırıldıktan sonra, kesme kutusuna yerleştirilmiş ve su eklenerek tamamen suya doygun duruma gelinceye kadar beklenmiştir.

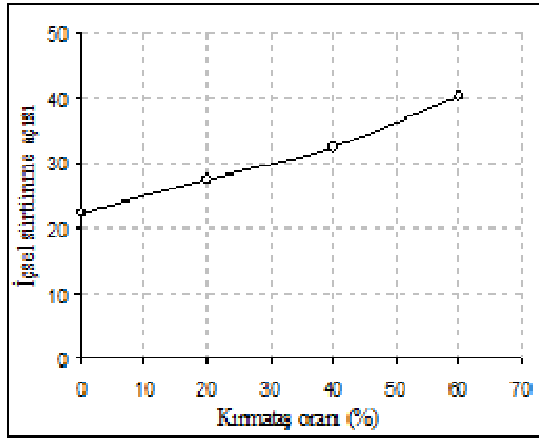
Konsolidasyon tamamlandıktan sonra, farklı düşey yükler altında (5 kg, 10kg, ve 20kg), 1 mm/s yatay yükleme hızıyla kesme kuvvetine maruz bırakılmıştır. Değişik oranlardaki (%0, %5, %10, ve %15) atık lastik miktarlarının kırmataşa eklenmesiyle elde edilen karışımlar da benzer hazırlama tekniği takip edildikten sonra direk kesme kutusunda test edilmiştir. Direk kesme kutusu deneylerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5 ve 6'da verilmektedir. Kil zemine değişik oranlarda eklenen kırmataş örnekleriyle elde edilen karışım zemine ait içsel sürtünme açısı değerleri, artan kırmataş miktarıyla artmaktadır (Şekil 5a). Aynı numunelerin kohezyon değerlerinde ise azalma görülmektedir (Şekil 5b).

Literatürde çoğunlukla, ana malzeme olarak kabul edilen kum zeminlere ilave edilen kil örnekleriyle oluşan karışım zeminlerdeki davranış değişiklikleri araştırılmaktadır [24- 27]. Halbuki, burada sunulan çalışmada bir kil zeminin ilave edilen kum (kırmataş) ile gösterdiği değişiklikler incelenmektedir. Ancak, kullanılan malzeme oranlarındaki farklılıklara rağmen, elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalardaki yaklaşımlarla uyumluluk sergilemektedir [24,26].

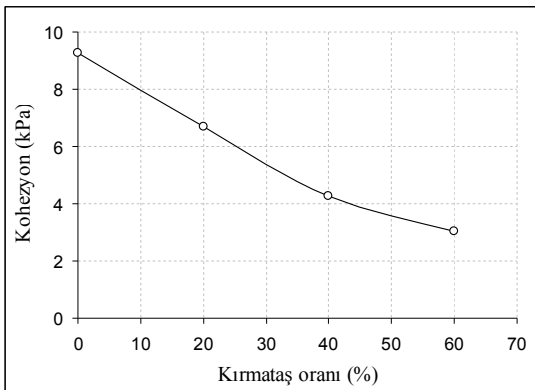
Çizelge 4. Deney programı ve sonuçlar

Kullanılan zemin örneği	Maksimum kuru birim ağırlık ( $\gamma$ ) ( $\text{kN/m}^3$ )	Optimum su muhtevası ( $w$ ) (%)	CBR Değeri (%)	İçsel sürtünme açısı ( $\phi$ )	Kohezyon ( $c$ ) (kPa)	Geçirimsizlik ( $k$ ) ( $\text{cm/sn}$ )	Boşluk oranı ( $e$ )		Kum taneleri arası boşluk oranı ( $e_s$ )	
							$e_0$	$e_f$	$e_{s0}$	$e_{sf}$
Temiz kum	-	-	14,3	47	0	2,17	0,85	0,81	0,864	0,81
%2,5 atık lastik	-	-	3,3	-	-	-	0,93	0,82	1,04	0,93
%5,0 atık lastik	-	-	3,0	42,3	6,2	-	1,08	0,94	1,36	1,17
%7,5 atık lastik	-	-	2,6	-	-	-	1,17	0,95	1,56	1,31
%10 atık lastik	-	-	1,9	37,8	8,9	1,31	1,29	0,98	2,18	1,74
%15 atık lastik	-	-	0,83	33,8	11,7	1,11	1,40	1,01	2,93	2,28
%100 kil	16,7	19,4	-	22,5	9,27	$7,077 \times 10^{-8}$	0,90	0,35	-	-
%80 kil	17,9	13,7	-	27,5	6,69	$7,745 \times 10^{-8}$	0,65	0,17	7,32	4,91
%60 kil	19,3	11,5	-	32,5	4,27	$8,440 \times 10^{-8}$	0,54	0,14	2,87	1,88
%40 kil	21,9	8,8	-	40,3	3,05	$9,570 \times 10^{-8}$	0,39	0,10	1,34	0,85

Sonuç olarak, kil miktarındaki artış (kum miktarındaki azalma) içsel sürtünme açısının azalmasına neden olurken, kohezyon değerinde artışa neden olmaktadır. Ulaşılan sonuç, literatürdeki genel bilgileri doğrulamakla birlikte, Gaziantep bölgesine ait örneklerin kullanılması açısından, bölgedeki toprak yapı faaliyetleri için önem taşıyabilecektir. Ayrıca şu unutulmalıdır ki, kırmataşın köşeli biçim özelliği dikkate alındığında, bir diğer biçim özelliğine sahip, örneğin yuvarlatılmış, kum örnekleriyle yapılacak deneysel çalışmalarda farklı sonuçlara ulaşabilecektir [28]. Şekil 6a ve 6b, kırmataş-atık lastik karışımları kullanılarak yapılan direk kesme kutusu sonuçlarını göstermektedir.

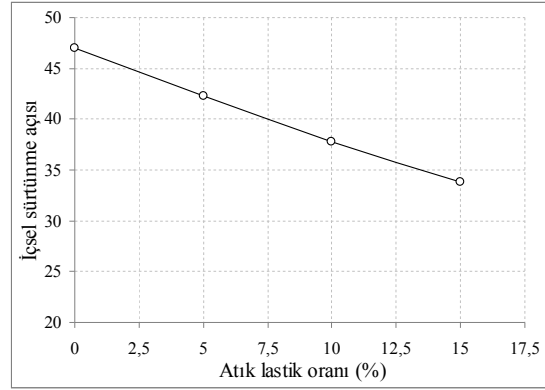


(a)

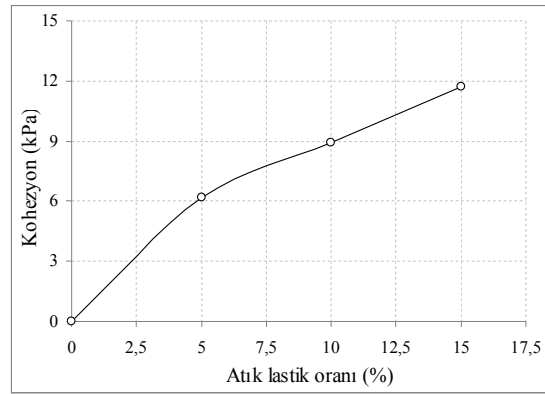


(b)

Şekil 5. (a) İçsel sürtünme açısı- kırmataş, (b) kohezyon- kırmataş oranı değişimi



(a)



(b)

Şekil 6. (a) İçsel sürtünme açısı-atık lastik, (b) kohezyon- atık lastik oranı değişimi

Karışımlara ait içsel sürtünme açısı değeri, fiberimsi yapıdaki atık lastik kırpıntısı miktarı arttıkça azalmakta, kohezyon değerleri ise artmaktadır. Deneysel çalışmalarda kullanılan kırmataşa ait ölçü ve biçimsel özellikler sonuçlar üzerinde etkili olduğu gibi, atık lastik parçacıklarına ait fiziksel özelliklerin de sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

### 3.2. Ödometre Deneyleri

Ödometre deneylerinde, kil zemin numunelerine değişik oranlarda (%0, %20, %40, ve %60) eklenen kırmataş örneklerinin, oturma miktarı ve boşluk oranı ( $e$  ve  $e_s$ ) değerlerine etkisi araştırılmıştır. Kuru olarak hazırlanan karışımlar, deney aletine yerleştirildikten sonra doygun

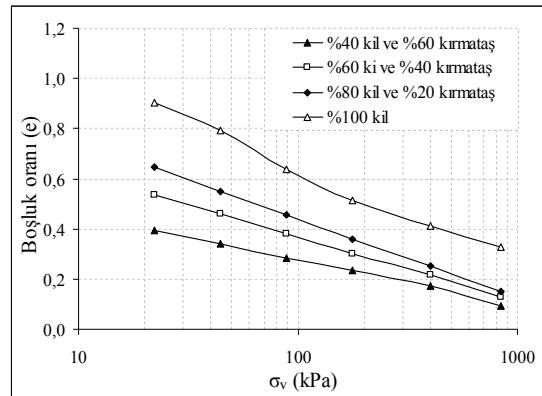
duruma getirilmiştir. Kırmataş örneklerine ilave edilen farklı miktardaki (%0, %2,5, %5, %7,5, %10 ve %15) atık lastiklerin ödometre deneylerine etkisi de benzer hazırlama tekniği takip edilerek hazırlanan numuneler üzerinde incelenmiştir.

Ödometre deney sonuçlarında elde edilen kırmataş- kil karışımı örneklerindeki boşluk oranları kırmataş miktarı arttıkça azalan bir eğilime sahiptir (Şekil 7a). Deney başlangıcında, yaklaşık 20 kPa düşey gerilme altındaki numunelerin boşluk oranları ( $e_0$ ) aralığı 0,50 (0,90- 0,40) mertebesinde iken, yaklaşık 845 kPa düşey gerilme altındaki aynı numunelerin boşluk oranları ( $e_f$ ) aralığının 0,20 (0,30-0,10) mertebesinde olduğu hesaplanmıştır. Şekil 7b'de, Thevanayagam [24], Monkul ve Ozden [26], Çabalar [29] gibi çalışmalarda kullanılan, kum taneleri arasındaki boşluk oranı ( $e_s$ ) değerleri verilmiştir. Yükleme-boşaltma eğrilerini gösteren bu grafiklerde, yük miktarı arttıkça kum taneleri arası boşluk oranının ( $e_s$ ) tüm karışımlarda azaldığı görülmektedir. Şekil 7b'de yatay kesikli çizgiyle gösterilen doğru, gevşek durumda hazırlanmış olan temiz kırmataş örneklerine ait maksimum boşluk oranı ( $e_{max}=0.85$ ) değerini vermektedir. Bu boşluk oranı değeri, karışımın davranışında belirleyici bir rol oynamaktadır. Karışımındaki kum taneleri arasındaki boşluk oranı değerlerinin ( $e_s$ ) bu değerden küçük olması halinde ( $e_{max}>e_s$ ), karışımın daha çok kırmataşın davranış özelliklerini (düşük sıkışabilirlik, yüksek kesme mukavemeti, yüksek geçirimsizlik) gösterdiği; kum taneleri arasındaki boşluk oranının bu değerden büyük olması halinde ise ( $e_{max} < e_s$ ), karışımın daha çok kil zeminlerin davranışına (yüksek sıkışabilirlik, düşük kesme mukavemeti, ve düşük geçirimsizlik) benzediği düşünülmektedir.  $e_{max}=e_s$  ise sınır durumu olarak tanımlanmakla birlikte, bu durumdaki kil yüzdesi,  $FC_t$ , geçiş durumu kil oranı olarak adlandırılabilir.  $FC_t$  değeri her düşey yükleme değeri için farklı bir değerdir (Çizelge 5). Farklı kil oranlarında oluşan kırmataş taneleri arası boşluk miktarı şematik olarak Şekil 8'de gösterilmektedir. Şekil 8'de soldan sağa doğru sıralanan gösterimlerde karışımlardaki kil miktarının arttığı, buna bağlı olarak, kırmataş

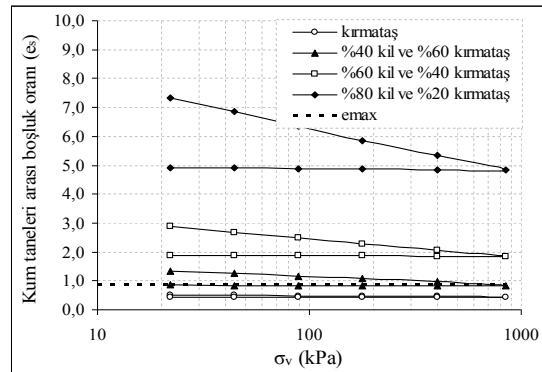
taneleri arasındaki boşluk miktarının da artış gösterdiği anlaşılmaktadır. Şekil 9'da, farklı gerilmeler altında hesaplanan kırmataş taneleri arası boşluk oranının ( $e_s$ ) kil miktarı ile değişimi gösterilmektedir. Kırmataş taneleri arasındaki boşluk oranı hesaplamaları, Monkul ve Ozden [26] tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak yapılmıştır.

$$e_s = \frac{e + \frac{G_{mix} \cdot FC}{G_f \cdot 100}}{\frac{G_{mix}}{G_s} \cdot \left(1 - \frac{FC}{100}\right)} \quad (1)$$

Eşitlik 1'de gösterilen,  $e_s$ : kırmataş (kum) taneleri arası boşluk oranı,  $e$ : karışımındaki boşluk oranı,  $G_{mix}$ : karışıma ait özgül ağırlık,  $FC$ : kil zemin yüzdesi,  $G_f$ : kil zemine ait özgül ağırlık,  $G_s$ : kırmataş tanelerine ait özgül ağırlık değerleridir.



(a)



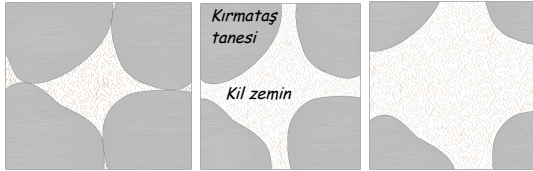
(b)

Şekil 7. Farklı oranlardaki kırmataş - kil karışımlarına ait (a)  $e-\sigma_v$ , (b)  $e_s-\sigma_v$  değişim

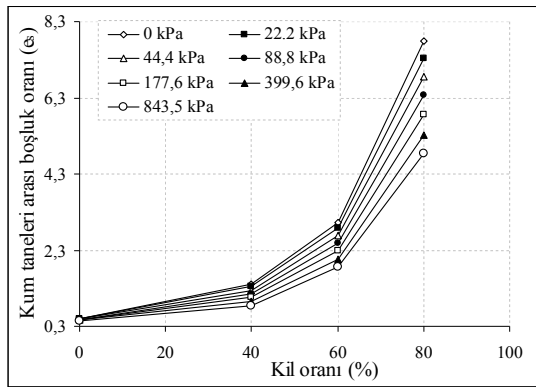


**Çizelge 5.** Farklı gerilmeler altında tespit edilen geçiş durumu kil oranı değerleri

Düşey efektif gerilme, $\sigma_v$ (kPa)	$FC_t$ (%)
0	16,1
22,2	17,2
44,4	19,5
88,8	22,5
177,6	25,9
399,6	31,9
843,5	40,5



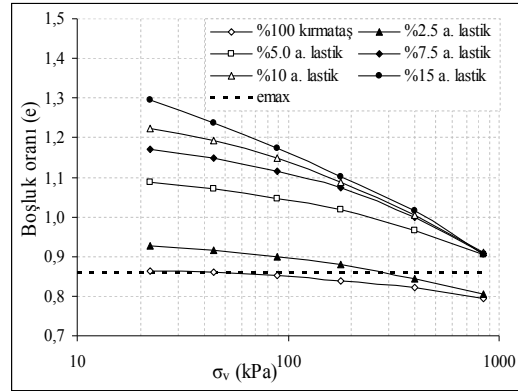
**Şekil 8.** Farklı kil oranlarında oluşan kırmataş taneleri arası boşluk miktarı şematik gösterimi



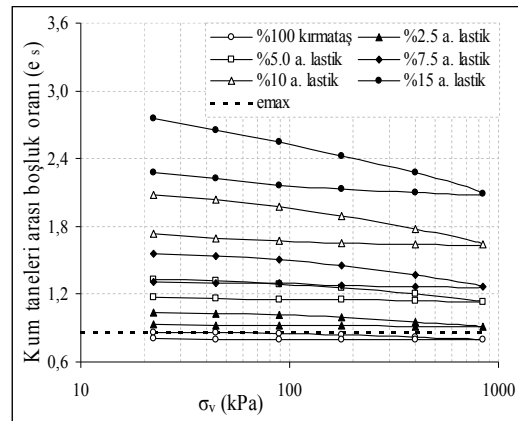
**Şekil 9.** Farklı gerilmeler altındaki  $e_s$ -kil oranı değişimi

Bu çalışmalar, kırmataş- atık lastik karışımları için de yapılmıştır. Deney başlangıcında, yaklaşık 20 kPa düşey gerilme altındaki örneklerle ait boşluk oranları ( $e_0$ ) aralığı 0,45 (1,30-0,85) mertebesinde iken, yaklaşık 845 kPa düşey gerilme altındaki aynı örneklerle ait boşluk oranları ( $e_t$ )

aralığının 0,10 (0,90-0,80) mertebesinde olduğu hesaplanmıştır (Şekil 10a). Şekil 10b'de, Monkul ve Ozden [26]'deki yaklaşıma benzer bir şekilde hesaplanan kırmataş taneleri arasındaki boşluk oranı ( $e_s$ ) değerleri verilmiştir. Yükleme- boşaltma eğrilerini gösteren bu grafiklerde, yük miktarı arttıkça kırmataş taneleri arası boşluk oranının ( $e_s$ ) tüm oranlarda azaldığı görülmektedir.  $FC_t$  değeri her düşey yükleme değeri için farklı bir değerdir (Çizelge 6). Şekil 10a ve 10b'de yatayda kesikli çizgilerle gösterilen  $e_{max}$  doğrusunun üzerine çıkabilmek için, yani karışımın gösterdiği davranışın kırmataş etkisinden uzaklaşması için, %2,5 gibi küçük bir atık lastik katkısı yeterli olmuştur.



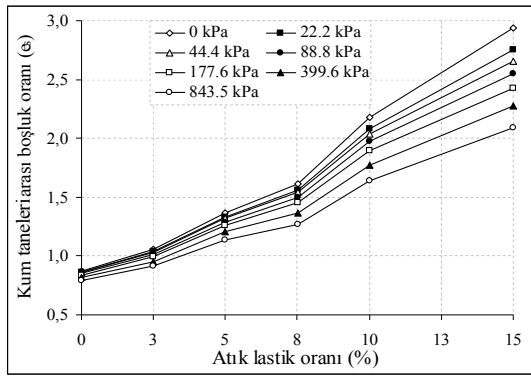
(a)



(b)

**Şekil 10.** Farklı oranlardaki kırmataş-atık lastik karışımlarına ait (a)  $e$ - $\sigma_v$ , (b)  $e_s$ - $\sigma_v$  değişimi

Halbuki, Şekil 7b'de görüldüğü gibi, kırmataş-kil karışımlarındaki davranışın kil zemin davranışına benzer duruma gelmesi için %40 gibi önemli miktarda bir kil ilavesi gerekmektedir. Bu durumun nedeni olarak, kil ve atık lastik örneklerinin tane boyutu, biçim özellikleri, ve sıkışabilirliklerinin farklı olması düşünülmektedir. Şekil 11'de farklı gerilmeler altında test edilen kırmataş-atık lastik örneklerine ait  $e_s$  değerleri değişimi verilmektedir.



Şekil 11. Farklı gerilmeler altındaki  $e_s$ -atık lastik oranı değişimi

Çizelge 6. Farklı gerilmeler altında tespit edilen geçiş durumu atık lastik oranı değerleri

Düşey efektif gerilme, $\sigma_v$ (kPa)	$FC_t$ (%)
0	0
22,2	0
44,4	0
88,8	0,12
177,6	0,34
399,6	0,72
843,5	1,39

### 3.3. Geçirimsizlik Deneyleri

Geçirimsizlik katsayısının ( $k$ ) doğru olarak tespit edilmesi, toprak dolgu, dayanma duvarı ve palplanş gibi yapılarda büyük bir önem arz

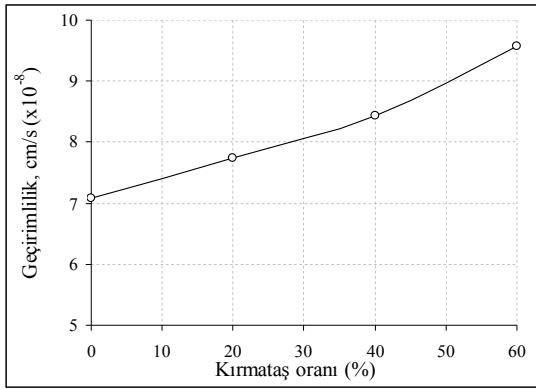
etmektedir. Örneğin, geçmişte yıkılan dolgu barajların nedenleri araştırıldığında, bunun önemli bir kısmının doğal malzemeye bağlı problemlerden kaynaklandığını göstermiştir [30-34]. Bu çalışmada kullanılan kil zeminlere eklenen kırmataş örnekleriyle hazırlanmış karışımların geçirimsizlik katsayısı değeri ( $k$ ) düşen seviyeli geçirimsizlik deneyi ile tespit edilirken, kırmataş örneklerine eklenen atık lastiklerle hazırlanmış numunelerin geçirimsizlik değerleri sabit seviyeli geçirimsizlik deneyi ile tespit edilmiştir.

Düşen seviyeli geçirimsizlik deneyi yapılan örnekler optimum su muhtevasında sıkıştırılarak elde edilen numunelerdir. Optimum su muhtevası, bir seri standart proktor deneyi yapıldıktan sonra tespit edilmiştir. Kırmataş ilave edilmeden hazırlanan örneklerdeki geçirimsizlik katsayısı değeri  $7 \times 10^{-8}$  cm/s civarında hesaplanmışken, ilave edilen kırmataş örneklerine bağlı olarak bu değer  $9,5 \times 10^{-8}$  cm/s civarına kadar yükselmiştir (Şekil 12a). Temiz kırmataş ile yapılan sabit seviyeli geçirimsizlik deneyinde yaklaşık 2 cm/s civarında bir değer elde edilirken, kırmataşa farklı oranlarda gevşek halde eklenen atık lastik malzemesinin geçirimsizliği azalttığı gözlemlenmiştir (Şekil 12b). Bu durumun nedeni olarak, kırmataştaki boşluklar kil zeminler tarafından doldurularak boşluk oranının ve geçirimsizliğin azaldığı, aynı teknikle hazırlanan kırmataş tanelerinin ise atık lastik kırıntıları tarafından itilerek, bu karışımlardaki boşluk oranının ve buna bağlı olarak geçirimsizlik katsayısının arttığı düşünülmektedir. Bu deneylerde şu unutulmamalıdır ki; kullanılan kırmataşa ait fiziksel özellikler, kil zemine ait mühendislik parametreleri, ve atık lastik biçim ve büyüklükleri değiştiğinde benzer sonuçlara ulaşmak mümkün olmayabilecektir.

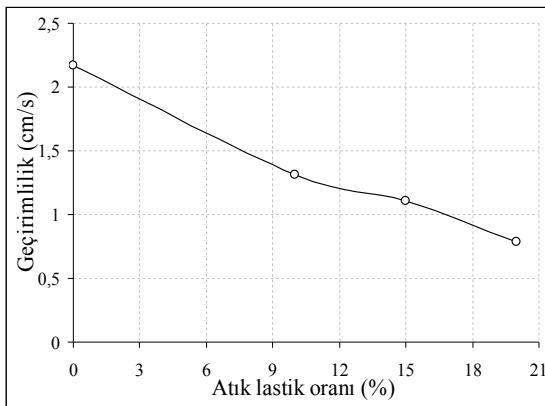
### 3.4. Kompaksiyon Deneyleri

Geoteknik mühendisliğinde çeşitli amaçlar için yapılan toprak dolgular (toprak barajlar, karayolu ve havaalanı alt dolguları, akarsu seddeleri, inşaat sahasının kotunu yükseltmek için yapılan dolgular) sıkça başvurulan bir uygulamadır. Gaziantep ve civarındaki toprak dolguların yeterli mühendislik özelliklerine sahip olması dikkat edilmesi gereken

en önemli parametrelerden biri, zeminin yeterince sıkıştırılmasıdır. Bölgedeki kil zeminler için bir örnek olması amacıyla, (i) %100 kil, (ii) %80 kil-%20 kırmataş, (iii) %60 kil-%40 kırmataş, ve (iv) %40 kil-%60 kırmataş olmak üzere hazırlanan dört farklı numune üzerinde kompaksiyon deneyleri yapılmıştır (Şekil 13).



(a)

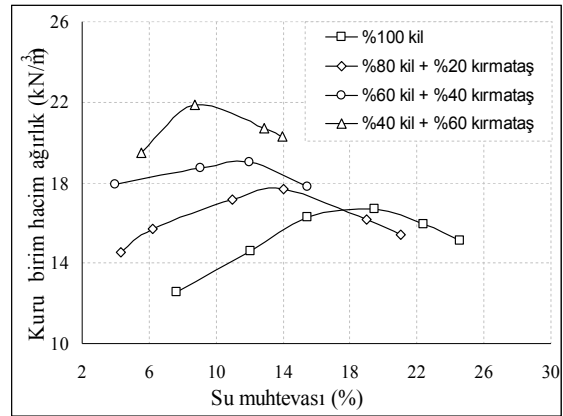


(b)

Şekil 12. (a) Farklı kırmataş-kil, (b) farklı kırmataş-atık lastik oranlarıyla hazırlanan karışımlara ait geçirimsizlik değerleri

Kil zeminler üzerinde yapılan kompaksiyon deneylerinde maksimum kuru birim hacim ağırlık ( $\gamma_{dmaks}$ ) 16,5 kN/m<sup>3</sup>, optimum su muhtevası ( $w_{opt}$ ) 19,5% olarak belirlenmiştir. Karışımdaki artan kırmataş miktarına bağlı olarak, karışımlar ait kuru birim hacim ağırlığı değerlerinde ( $\gamma_{dmaks}$  =17,5, 19,0, 21,8 kN/m<sup>3</sup>) artış ve

optimum su muhtevası değerlerinde ( $w_{opt}$  =14, 12, 8,7%) azalma görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, benzer çalışmalar yapmış olan Kumar ve ark. [17] ile uyumluluk göstermektedir. Ulaşılan sonuçların Gaziantep ve civarındaki toprak dolgu ve diğer yapılarda uygulanan kompaksiyon işlemleri için faydalı olacağına inanılmaktadır.

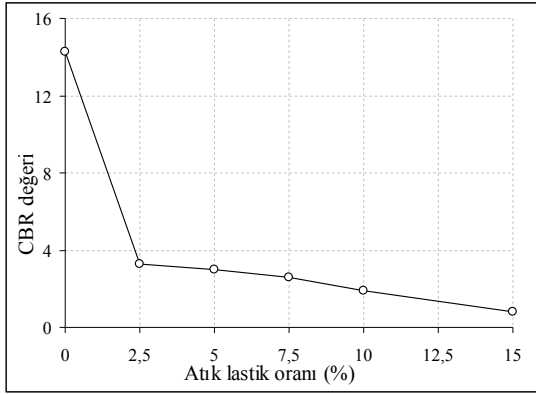


Şekil 13. Kırmataş- kil karışımlarında yapılmış kompaksiyon deneyi sonuçları

### 3.5. CBR Deneyleri

CBR (California Bearing Ratio-Kaliforniya Taşıma Oranı), özellikle zeminlerin kuru olduğu bölgelerdeki yolların ve havaalanı zeminlerinin taşıma kapasitesini belirlemek için uygulanan bir deneysel yöntemdir. Çevresel etkilerden dolayı gündeme gelen katı lastik atıklarının, kuru bir iklime sahip olan Gaziantep'teki yol altyapısında kullanılabilirliğini incelemek üzere, bu bölgedeki toprak yapı çalışmalarında yoğun olarak kullanılan kırmataş ile etkileşiminden ortaya çıkan taşıma kapasitesi tespit edilmiştir. Farklı karışım oranlarında numuneler hazırlanmıştır, bunlar; (i) %100 kırmataş, (ii) %97,5 kırmataş - %2,5 atık lastik kırıntısı, (iii) %95 kırmataş - %5 atık lastik kırıntısı, (iv) %92,5 kırmataş - %7,5 atık lastik kırıntısı, (v) %90 kırmataş - %10 atık lastik kırıntısı, ve (vi) %85 kırmataş - %15 atık lastik kırıntısı olarak belirlenmiştir. %100 kırmataşa ait CBR değeri 14 civarında tespit edilirken, bu değer,

kırmataşa %2,5 atık lastik eklenmesiyle elde edilen karışım için ani bir azalma göstererek 3 civarında hesaplanmıştır. Daha sonrasında ise lineere yakın bir azalma gözlemlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Kırmataş- atık lastik karışımlarında yapılmış CBR deneyi sonuçları

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada sunulan literatür bilgileri ve deneysel veriler ışığında, takip edilen zemin iyileştirme metodlarının mühendislik tekniği açısından kolaylıkla uygulanabilir nitelikte olduğu, ayrıca atık lastiğin geri kazanımına yönelik bu tür uygulamaların ülkemizde yaygınlaştırılması açısından hem ekonomik, hem de çevresel olarak oldukça anlamlı ve sürdürülebilir bir geçerliliğe sahip olduğu gösterilmiştir. Gaziantep ve çevresindeki toprak yapı faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılan kil zemin, kırmataş, ve çevresel kaygılarda dolayı gündemde olan atık lastik kırıntıları kullanılarak yapılan deneysel çalışmalar sonunda ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Kil zemine değişik oranlarda eklenen kırmataş örnekleriyle elde edilen karışım zemine ait içsel sürtünme açısı değerleri, artan kırmataş miktarıyla artmaktadır. Aynı numunelerin kohezyon değerlerinde ise azalma görülmektedir.
- Kırmataş-atık lastik kırıntısı örneklerine ait

içsel sürtünme açısı değeri, atık lastik miktarı arttıkça azalmakta, kohezyon değerleri ise artmaktadır.

- Ödometre deney sonuçlarında elde edilen kırmataş-kil karışımı ve kırmataş-atık lastik kırıntısı karışımı örneklerindeki boşluk oranları kırmataş miktarı arttıkça azalan bir eğilime sahiptir.
- Karışımlardaki kırmataş kumu taneleri arasındaki boşluk oranı değerlerinin ( $e_s$ ), bu kuma ait maksimum boşluk oranı değerinden ( $e_{max}$ ) küçük olması halinde ( $e_{max} > e_s$ ), karışımlarda daha çok kırmataş kumunun davranış özellikleri (düşük sıkışabilirlik, yüksek kesme mukavemeti, yüksek geçirimsizlik) görülebilir. Karışımındaki kırmataş kumu taneleri arasındaki boşluk oranının, bu kuma ait maksimum boşluk oranı değerinden ( $e_{max}$ ) büyük olması halinde ise ( $e_{max} < e_s$ ), karışımın daha çok kil zeminlerin ya da atık lastik malzemesinin davranışına (yüksek sıkışabilirlik, düşük kesme mukavemeti, ve düşük geçirimsizlik) benzediği düşünülmektedir.
- Karışım zeminler için,  $e_{max} = e_s$  sınır durumu olarak tanımlanabilmektedir. Bu durumdaki kil zemin ya da atık lastik kırıntısı yüzdesi,  $FC_t$ , geçiş durumu malzeme oranı olarak adlandırılabilir.  $FC_t$  değeri her düzey yükleme için farklı bir değerdir.
- Kil zemine ilave edilen kırmataş örnekleri, karışımın geçirimsizlik katsayısı değerlerini artırmaktadır.
- Kırmataş örneklerine ilave edilen atık lastik kırıntıları karışımın geçirimsizliğini azaltmaktadır.
- Kil- kırmataş karışımlarındaki artan kırmataş miktarına bağlı olarak, karışımlar ait kuru birim hacim ağırlığı değerlerinde artış, optimum su muhtevası değerlerinde ise azalma görülmüştür.
- İlave edilen atık lastik kırıntıları, kırmataş ile hazırlanan karışım zeminlere ait CBR değerlerinin azalmasına neden olmaktadır.
- Deneysel çalışmalarda kullanılan kırmataşa ait fiziksel özellikler, kil zemine ait mühendislik parametreleri, atık lastik biçim ve büyüklükleri değiştiğinde benzer sonuçlara ulaşmak mümkün olmayabilecektir. Bu nedenle, farklı özellikteki bileşenlerle deneyler yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

1. Gaziantep Sanayi Odası (GSO), <http://www.gso.org.tr/>
2. Alp İ., Yılmaz A.O., Kaya R., Deveci H., Çavuşoğlu İ., 2003. "Kuşkayası (Tirebolu-Giresun) Taşocağı Kırılmış Kum Hazırlama Tesisi-Problemler ve Çözüm Önerileri", 3.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, s. 249.
3. Alp, S., 2004. "Kum, Kil ve Taşocakları Sektör Raporu", İstanbul Ticaret Odası, Mayıs.
4. Gilboy G., 1928. "The Compressibility of Sand-Mica Mixtures", Proceedings of the A.S.C.E. 2:555-568,
5. Clayton CRI, Theron M, Vermeulen NJ., 2004. "The Effect of Particle Shape on the Behaviour of Gold Tailings", Advances in Geotechnical Engineering: the Skempton Conference, Thomas Telford, London, 393-404.
6. Çabalar A. F., 2004. "Applications of the Triaxial, Resonant Column and Oedometer Tests to the Study of Micaceous Sands", Engineering Geology, 112, 2010, 21- 28.
7. Lefond, E.L., 1985. "Industrial Minerals and Rocks", US Bureau of Mines.
8. Ulu, Ü., Genç, Ş., Giray, S., Metin, Y., Çörekçioğlu, E., Örcen, S., Ercan, T., Yaşar, T., Karabıykoğlu, M., 1991. "Belveren-Araban-Yavuzeli-Nizip-Birecik Dolayının Jeolojisi, Senozoyik Yaşlı ve Volkanik Kayaçların Petrolojisi ve Bölgesel Yayılımı", MTA Rap. no. 9226, Ankara (yayımlanmamış).
9. Terlemmez, H.Ç.I., Şentürk, K., Ateş, Ş., Sümengen, M., Oral, A., 1992. "Gaziantep Dolayının ve Pazarcık-Şakçagöz-Kilis-Elbeyli-Oğuzeli Arasının Jeolojisi", MTA Rap. no. 9526, Ankara (yayımlanmamış).
10. Wilson, H.H., Krummenacher, R., 1957. "Geology and Oil Prospects of Gaziantep Region, SE, Turkey", Petrol Dai. Bşk. Teknik Arşivi, Ankara (yayımlanmamış).
11. Usta, D., Beyazççek, H., 2006. Adana İli Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Doğu Akdeniz Bölge Müdürlüğü, Adana.
12. Steinberg, M., 1998. "Geomembranes and the Control of Expansive Soils in Construction", McGraw Hill, New York.
13. Çokça, E., 2001. "Use of Class C Fly Ashes for the Stabilization of an Expansive Soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 127 (7), 568- 573.
14. Murty, V.R., Praveen, G.V., 2008. "Use of Chemically Stabilized Soil as Cushion Material Below Lightweight Structures Founded on Expansive Soils", Journal of Materials in Civil Engineering, 20 (5), 392- 400.
15. Türköz, M., Savaş, H., Tosun, H., 2011. "Problemlili Kil Zeminlerin Magnezyum Klorür Solüsyonu İle İyileştirilmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26 (1), 233- 24.
16. Tunç E., 2002. "Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları", Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 192-193.
17. Kumar, A., Walia, B.S., Mohan, J., "Compressive Strength of Fiber Reinforced Highly Compressible Clay", Construction and Building Materials 20, 1063-1068, 2006.
18. Edil, T., ve Bosscher, P., "Engineering Properties of Waste Tire Chips and Soil Mixture", Geotech Test J 17: 453-464, 1994.
19. Engstrom G.M., Lamb, R., 1994. "Using Shredded Waste Tires as a Lightweight Fill Material For Road Subgrades", MN/RD-94/10, Minnesota Department of Transportation Materials Research and Engineering.
20. Masad E, Taha R, Ho C., Papagiannakis T., 1996. "Engineering Properties of Tire/Soil Mixtures as a Lightweight Fill Material", Geotech Test J 19:297-304.
21. Edincliler, A., 2008. "Utilization of waste Tires for Geotechnical Applications as Lightweight Materials", 9th International Symposium on Environmental Geotechnology and Global Sustainable Development, Hong Kong, 2-4 June.
22. Çabalar, A.F., 2011. "Direct Shear Tests on Waste Tires-Sand Mixtures", Geotech. Geol. Eng. DOI: 10.1007/s10706-010-9386-5.
23. Sugözü, İ., Mutlu, İ., 2009. "Atık Taşı Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri", Taşıit Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1 (1), 35- 46.
24. Thevanayagam, S., 1998. "Effect of Fines and Confining Stress on Undrained Shear Strength of Silty Sands", J. Geotech. Geoenviron. Engng Div, ASCE 124, No.6, 479- 491.

25. Ölmez, M.S., 2008. "Shear Strength Behaviour of Sand-Clay Mixtures, MSc Thesis", Middle East Technical University, Ankara.
26. Monkul, M.M., Özden, G., 2007. "Compressional Behavior of Clayey Sand and Transition Fines Content", Engineering Geology, Elsevier Science, 89 (3-4), 195-205.
27. Olson, R.E., Mesri, G., 1970. "Mechanisms Controlling Compressibility of Clays", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc. ASCE 96 (6): 1863-1878.
28. Cernica, J. N., 1995. "Geotechnical Engineering: Soil Mechanics", John Wiley & Sons, Inc, United States.
29. Çabalar, A.F., 2010. "Applications of the Triaxial, Resonant Column and Oedometer Tests to the Study of Micaceous Sands", Engineering Geology, 112, 2010, 21- 28
30. Darcy, H., 1856. "Les Fontaines Publiques de la Ville de Dijon", Dalmont, Paris.
31. Hazen, A., "Some Physical Properties of Sands and Gravel With Special Reference to Their Use in Filtration", 24th Annual Report, ASCE, 100 (GT9), 973- 991, 1892.
32. Muskat, M., 1973. "The Flow of Homogeneous Fluids Through Porous Media", Mc Graw-Hill Book Company, New York.
33. USBR, 1990. Earth Manual-Part 2 U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver, 1270 p,
34. Baykan, N.O., Saf, B., 2004. "Barajların Yıpranma ve Elden Çıkma Nedenleri ile Güvenlik Sınamaları", 1. Ulusal Barajlar ve HES Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığı, 395- 401, Ankara.