

## Mermer Tozu ve Atık Lastik ile İyileştirilen Düşük Plastisiteli Killi Zeminlerin Dayanım Özellikleri

Necmi Yarbaşı<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Atatürk Üniversitesi, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 25400, Oltu, Erzurum.

### Özet

*İklimsel değişiklikler, mühendislik yapılarının (özellikle temel ve alt temel malzemesi olarak) geoteknik ve teknolojik özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir. Bu olumsuz durumun kohezyonlu zeminlerde çeşitli katkıları karıştırılarak azaltılması yönünde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, mermer tozu ve atık lastik parçalarıyla iyileştirilmiş düşük plastisiteli kırmızı killi birimin dayanımındaki değişimler incelenmiştir. Kırmızı kil birimine % 0.5, % 1, % 2 atık lastik ve %5, %10, %15, %20 mermer tozu ilave edilerek 0 (3 saat), 1, 7, 28 gün ve +21°C'deki dayanımları belirlenmiştir. Bu verilerden 28 günlük kür sonrası %0.5 (2.00 mm) atık lastik ve %5 mermer tozu katkısıyla iyileştirilen killi birimin en yüksek dayanım değeri verdiği belirlenmiştir. Bu karışıma donma-çözülme deneyi uygulanmıştır. Sonuçta, %0.5 atık lastik (2.00 mm) ve %5 mermer tozu ile iyileştirilen killi birimin dayanımında %5.1, ana malzeme olan kilde ise %28.7 oranında azalma meydana gelmiştir. Mermer tozu ve atık lastik parçaları ile iyileştirilen killi zeminin dayanımında, ana malzeme ile mukayese edildiğinde belirgin bir iyileşme sağlanmıştır.*

### Anahtar Sözcükler

Kırmızı Kil, Mermer Tozu, Atık Lastik, Donma-Çözülme, Mukavemet

## Strength Properties of Low Plasticity Clayey Soils Improved with Marble Dust and Scrap Tire

### Abstract

*Climatic changes negatively affect geotechnical and technological properties of engineering structures (especially as basic and substructure material). Various studies have been made towards decreasing this negative situation by mixing different additives in cohesive soil. In this study, the changes in strength of low plasticity red clayey soil improved with marble dust and scrap tire pieces were examined. Strength values of red clayey soil samples with the addition of 0.5%, 1%, 2% scrap tire pieces and 5%, 10%, 15%, 20% marble dust were determined on 0 (3h), 1, 7, 28 days and at +21°C. Out of these data, it was detected that the highest strength values were the red clay sample modified by adding 0.5% (2.00 mm) scrap tires and 5% marble dust after 28 days' cure. This mixture was subjected to the freeze-thaw test. As a result, it was found that the strength of the improved clay unit and the main material reinforced with the addition of 0.5% (2.00 mm) waste tire and 5% marble dust were decreased by 5.1% and 28.7%, respectively. The resistance of the clayey soil reinforced with marble dust and waste tire pieces was significantly improved when compared to the main material.*

### Keywords

Red Clay, Marble Dust, Scrap Tires, Freeze-Thaw, Strength

### 1. Giriş

İklimsel değişikliklerin sıkça yaşandığı alanlarda zeminlerin mühendislik özellikleri olumsuz yönde etkilenmektedir. Bu duruma sebebiyet veren suyun zeminin boşluklarında donması ve çözülmesi sonucu hacimsel farklılıklar meydana gelmektedir. Bu hacimsel değişiklik uniform olmamakta ve zeminin geoteknik ve teknolojik özelliklerini azaltmaktadır. Doğal bir sonuç olarak bu durum birçok mühendislik yapısında hasarlara ve yapı ömrünün azalmasına neden olabilmektedir.

Akbulut vd. (2007), çalışmalarında sentetik fiber ve atık lastik ile güçlendirilen ince taneli zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirildiğini belirtmektedirler. Kalkan (2009), yaptığı çalışmada silis dumanı katılan ince taneli zeminlerin donma-çözülme mukavemetlerini artırdığını belirtmiştir. Ghazavi ve Roustaei (2010), yaptıkları çalışmada fiber ile güçlendirilen ince taneli zeminlerin serbest basınç mukavemetinin donma-çözülme sonucu düştüğünü belirtmişlerdir. Demir vd. (2008) ve Zorluer ve Demirbaş (2013) ise yaptıkları çalışmalarda mermer tozunun zeminlerin serbest basınç dayanımlarını artırıcı yönde sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Mühendislik yapılarının (bina, karayolu, boru hattı vb.) temel zemininde çeşitli problemler sıkça gözlenmektedir. Bu problemlerin çözümü için çeşitli katkı malzemeleri (mermer tozu, kireç, çok çeşitli sentetik veya doğal fiberler vb.) farklı oranlarda kullanarak zeminlerin geoteknik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Akbulut vd. (2007), Chauhan (2008), Consoli (2009), Demir vd. (2008), Ghazavi ve Roustaei (2010), Gullu ve Hazirbaba (2010), Hejazi vd. (2012), Jafari (2012), Okagbue (1999), Osula (1991), Park (2009), Singh vd. (2016), Yarbaşı vd. (2007), Yarbaşı (2016), Kalkan (2009), Kalkan (2013), Zaimoğlu (2010), Zorluer ve Demirbaş (2013), yaptıkları çalışmalarda bu tür katkı malzemelerinin hem ince taneli hem de iri taneli zeminlerin geoteknik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılabileceğini, ekonomiye sağlayacağı katkı yanında olumlu çevresel etkiler de sağlayacağını belirtmişlerdir.

Bu çalışmada, düşük plastisiteye sahip killi (lateritik) zeminlerin mermer tozu ve atık lastik ile iyileştirilebileceği belirlenmiştir. Ayrıca donma-çözülme öncesi ve sonrası serbest basınç dayanımlarındaki değişimler ortaya çıkarılarak ana malzeme ile mukayesesi yapılmıştır. Zira serbest basınç dayanımdaki değişimler sıcaklık değişimlerinin sıkça yaşandığı bölgelerde çok daha fazla önem kazanmaktadır.

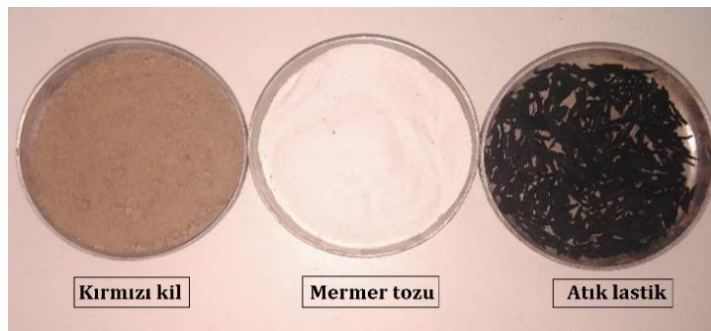
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Kırmızı Kil

Bu çalışmada kullanılan birinci bileşen olan kırmızı kil örneği Oltu (Erzurum) ilçesinin 5 km. kuzeybatısında bulunan tortul birimden, 0.75 m. derinlikten kazılarak alınmıştır (Şekil 1). Kırmızı kil örneği, 24 saat  $105 \pm 5$  °C’ de kurutulduktan sonra iri taneler Los Angeles cihazında 3000 devirde öğütülmüştür. Deneysel çalışmalarda kullanılan kırmızı kil, mermer tozu ve atık lastik malzemeleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 1: Kırmızı kil yüzeylemesi (Oltu 5 km. kuzeybatı)



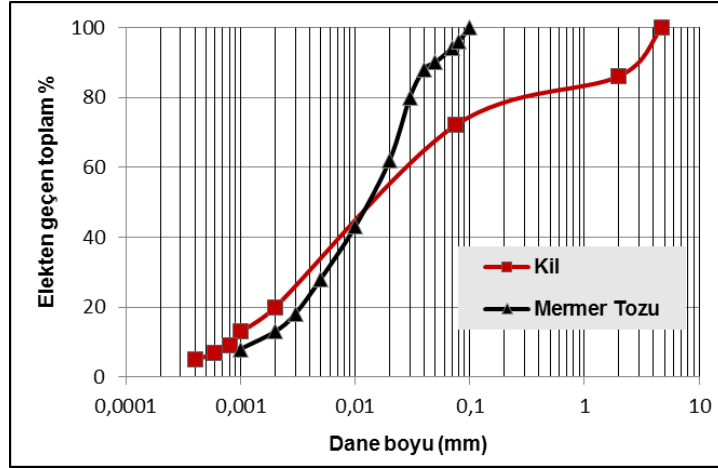
Şekil 2: Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler

Laboratuvar çalışmaları ASTM D 698-78<sup>1</sup>, ASTM D 2166<sup>2</sup>, BS 1377<sup>3</sup> standartlarına uygun yürütülmüştür. Kırmızı kil örneğinin, Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına (USCS) göre düşük plastisiteli kil (CL) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Kırmızı kil ve mermer tozunun granülometrik analizi Şekil 3’de, kırmızı kilin fiziksel özellikleri Tablo 1’de, enerji ayrımlı X-ışınları flüoresans spektroskopisi (ED-XRF) yöntemiyle yapılan element analiz ise Tablo 2’de gösterilmiştir.

<sup>1</sup> ASTM D 698-78, *Fundamental Principles of Soil Compaction*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA.

<sup>2</sup> ASTM D 2166, *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. American Society for testing and materials, PA, USA.

<sup>3</sup> BS 1377 (Part 2), *Methods of test for soils for civil engineering purposes, Classification tests*, British Standards Institution.



Şekil 3: Mermer tozu ve kil örneklerinin granülometri eğrileri

Tablo 1: Kırmızı kil zeminin fiziksel özellikleri

| Özellik                                                                           | Değer |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Özgül Ağırlık, $G_s$                                                              | 2.62  |
| Kum (%)                                                                           | 14.0  |
| Silt (%)                                                                          | 52.0  |
| Kil (%)                                                                           | 34.0  |
| Likit Limit ( $W_L$ , %)                                                          | 43.5  |
| Plastik Limit ( $W_P$ , %)                                                        | 22.0  |
| Plastisite İndisi ( $PI$ , %)                                                     | 21.5  |
| Opt. Su İçeriği <sup>1</sup> , $w_{opt}$ (%)                                      | 22.0  |
| Max. Kuru Birim Hacim Ağırlık <sup>1</sup> , $\gamma_{kmax}$ (kN/m <sup>3</sup> ) | 15.9  |
| Zemin Sınıfı <sup>2</sup>                                                         | CL    |

<sup>1</sup> Kompaksiyon deneyi sonucu belirlenmiştir.<sup>2</sup> USCS sınıflandırma sistemine göre tanımlanmıştır.

Tablo 2: Kırmızı kilin element analizi

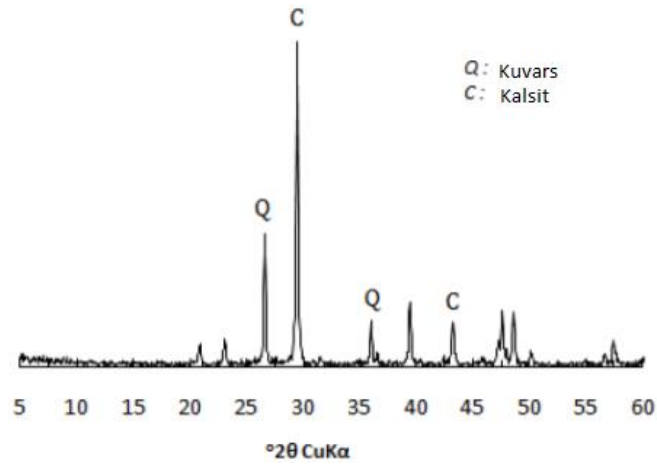
| Elementler | Değer (%) |
|------------|-----------|
| O          | 50.3      |
| Na         | 1.9       |
| Mg         | 1.9       |
| Al         | 8.5       |
| Si         | 25.4      |
| Nb         | 3.6       |
| K          | 1.5       |
| Ca         | 2.1       |
| Fe         | 4.7       |

## 2.2 Mermer Tozu (MT)

Bu çalışmanın ikinci bileşenini oluşturan mermer tozu ise Afyon bölgesi mermerlerinden parlatma, kazıma ve oyma işlemleri sonucunda kuru olarak elde edilmiştir. Kuru haldeki mermer tozunun içerisindeki iri tanelerin uzaklaştırılması için 0.125 mm'lik elek kullanılmıştır. Atık mermer tozunun kimyasal özellikleri enerji ayırlı X-ışınları flüoresans spektroskopisi (ED-XRF) yöntemiyle belirlenmiş olup Tablo 3'de gösterilmiştir. Ana elementler olarak kalsit ve kuvarsın belirlendiği XRD analizine ait paterni ise Şekil 4'de verilmiştir.

Tablo 3: Mermer Tozunun kimyasal özellikleri

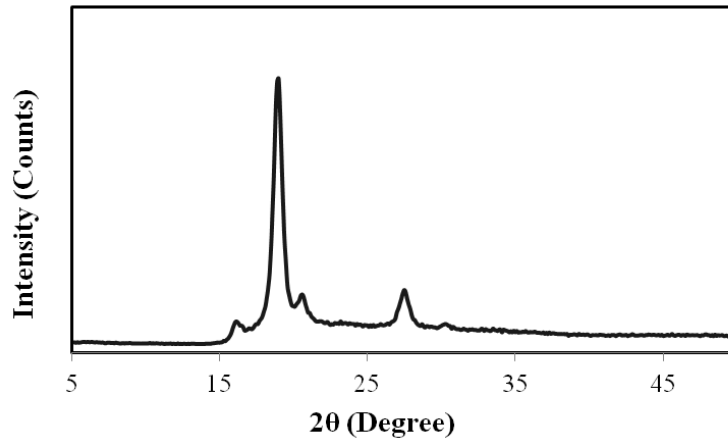
| Bileşenler                     | Değer (%) |
|--------------------------------|-----------|
| SiO <sub>2</sub>               | 0.36      |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.28      |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.04      |
| CaO                            | 54.98     |
| MgO                            | 0.62      |
| Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.03      |
| K <sub>2</sub> O               | 0.07      |
| SO <sub>3</sub>                | 0.06      |
| CaO <sub>2</sub>               | 43.56     |



Şekil 4: Mermer Tozunun XRD analizi

### 2.3 Atık Lastik (AL)

Bu çalışmanın üçüncü bileşenini oluşturan atık lastik ise, Erzurum-Merkez sanayi bölgesinden temin edilmiştir. Atık lastik parçaları, laboratuvar ortamında 1.18 mm, 2.00 mm ve 3.15 mm olarak sınıflandırılmıştır. Her bir boyut için kırmızı kil, kırmızı kil+%0.5 AL, kırmızı kil+%1 AL, kırmızı kil+%2 AL olarak hazırlanan karışımların serbest basınç dayanımı (UCS, uniaxial compressive stress) değerleri bulunmuştur. Deneyisel çalışmalarda kullanılan AL; tek lif tipinde, yoğunluğu (mg/m<sup>3</sup>) 1,153-1,198, % 31 karbon, %1.9 çinko oksit, %1.2 stearik asit, %1.1 sülfür içeren bir malzemedir (Kalkan 2013). Atık lastiğin XRD analizinde görülen piki ise, kauçuk (rubber) olarak tanımlanmış, paterni ise Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5: Atık Lastiğin XRD analizi

Laboratuvarda hazırlanmış kırmızı kil numunelerine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında mermer tozu ve %0.5, %1 ve %2 oranlarında atık lastik (AL) ilave edilerek, 0 (3 saat), 1, 7 ve 28 gün ve +21°C’ de kür (kurutularak sertleştirme) edilmiştir. Daha sonra UCS değerleri ve en yüksek UCS değerlerinin elde edildiği karışım oranı ve kür süresi belirlenmiştir. Kırmızı kil zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için ASTM D 698-78 standardına uygun olarak kompaksiyon deneyi yapılmıştır. Belirlenen her karışım için 3.8 cm çapında ve 7.6 cm yüksekliğinde silindirik numuneler hazırlanmıştır. Numuneler sıkıştırmanın yapıldığı kompaksiyon kabından alınmıştır. Deneyisel çalışmalarda her karışım için üç (3) örnek hazırlanmıştır. Deneyisel çalışmalarda kullanılan malzemelerin karışım oranları Tablo 4’de gösterilmiştir. Serbest basınç dayanımının belirlendiği dijital cihazın (Şekil 6) kırma hızı, 0.5 mm/dk olarak seçilmiştir. Donma-çözülme deneyi için programlanabilen donma-çözülme kabini kullanılmıştır. Ayarlar, -21°C, +21°C, 24h ve 12 çevrim olarak belirlenmiştir (Yarbaşı vd. 2007).

Tablo 4: Malzemeleri karışım oranları

| Örnekler | Malzeme (%) |    |     |        |
|----------|-------------|----|-----|--------|
|          | K. Kil      | MT | AL  | Toplam |
| KK       | 100         | -- | --  | 100    |
| KKMT1    | 95          | 5  | --  | 100    |
| KKMT2    | 90          | 10 | --  | 100    |
| KKMT3    | 85          | 15 | --  | 100    |
| KKMT4    | 80          | 20 | --  | 100    |
| KKAL1    | 99.5        | -- | 0.5 | 100    |
| KKAL2    | 99          | -- | 1   | 100    |
| KKAL3    | 98.5        | -- | 1.5 | 100    |
| KKMTAL1  | 94.5        | 5  | 0.5 | 100    |
| KKMTAL2  | 94          | 5  | 1   | 100    |
| KKMTAL3  | 93.5        | 5  | 1.5 | 100    |
| KKMTAL4  | 89.5        | 10 | 0.5 | 100    |
| KKMTAL5  | 89          | 10 | 1   | 100    |
| KKMTAL6  | 88.5        | 10 | 1.5 | 100    |
| KKMTAL7  | 84.5        | 15 | 0.5 | 100    |
| KKMTAL8  | 84          | 15 | 1   | 100    |
| KKMTAL9  | 83.5        | 15 | 1.5 | 100    |
| KKMTAL10 | 79.5        | 20 | 0.5 | 100    |
| KKMTAL11 | 79          | 20 | 1   | 100    |
| KKMTAL12 | 78.5        | 20 | 1.5 | 100    |

**KK:** Kırmızı kil, **KKMT:** Kırmızı kil+ Mermer tozu, **KKAL:** Kırmızı kil+ Atık lastik, **KKMTAL:** Kırmızı kil+ Mermer tozu+ Atık lastik.



Şekil 6: Tek eksenli basınç dayanım cihazı ve numuneler

### 3. Bulgular ve Tartışma

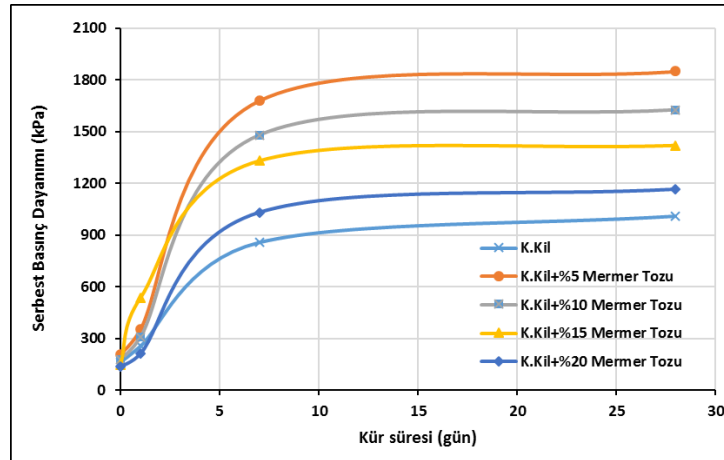
Kırmızı kil ile dört (4) farklı oranda mermer tozu karışımında en yüksek dayanım değerleri 28 günlük kür sonucunda elde edilmiştir. Kırmızı kil ana malzemesi ile kırmızı kil+%5 MT ilaveli karışımlar mukayese edildiğinde, UCS'nin %83.2, kırmızı kil+%10 MT ilavesinde %60.9, kırmızı kil+%15 MT ilavesinde %40.6 ve kırmızı kil+%20 MT ilavesinde ise %15.3 artış görülmüştür. Dolayısıyla kırmızı kil+%5 MT ilavesiyle elde edilen karışımın 28 günlük kür sonunda %83.3 oranında artışla en yüksek UCS değerine ulaştığı belirlenmiştir. İnce taneli zeminlerin iyileştirilmesinde kireç malzemesinin alternatifi olan atık mermer tozunun kimyasal bileşimindeki yüksek orandaki CaO nedeniyle büyük benzerlik göstermektedir. Bu mermer tozu malzemesinin iyileştirmede kullanılabilirliğinin belirlenmesi önem arz etmektedir. Zira mermer tozu miktarının artırılması kimyasal etkileşimi ve dolayısıyla dayanımı düşürmektedir. Elde edilen deneysel veriler Tablo 5'de, grafiksel olarak ise Şekil 7'de gösterilmiştir.

Okagbue ve Onyeobi (1999), yaptıkları benzer çalışmada mermer tozunun kırmızı renkli lateritik zeminlerde stabilize edici bir malzeme olduğunu ve bu tür zeminlerin geoteknik özelliklerinde (özgül ağırlık, kıvam limitleri, sıkışma durumu ve mukavemet) gözle görülür bir iyileşme olduğunu belirlemişlerdir.

Osula (1991) ise ince taneli zemin ile mermer tozu karışımında, mermer tozunun bir mukavemet kazandırdığını, katyon değişim etkisinin, kil ve kireç taneleri arasında çok etkili olduğunu ve ardından zaman bağımlı bir puzzolanik reaksiyonun söz konusu olduğunu belirtmiştir. Bu etkinin kür süresi (28 günlük) ile artmakta olduğunu ve bu etkinin kür sonundaki mukavemet değerlerinde de çok net görüldüğünü belirtmiştir.

Tablo 5: Kırmızı kil ile Mermer Tozu karışımının serbest basınç dayanım değerleri

| Kür Süresi (gün) | Kırmızı Kil (kPa) | Kırmızı Kil + %5 Mermer Tozu (kPa) | Kırmızı Kil + %10 Mermer Tozu (kPa) | Kırmızı Kil + %15 Mermer Tozu (kPa) | Kırmızı Kil + %20 Mermer Tozu (kPa) |
|------------------|-------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 0 (3 saat)       | 165               | 210                                | 180                                 | 152                                 | 140                                 |
| 1                | 257               | 353                                | 310                                 | 536                                 | 214                                 |
| 7                | 858               | 1680                               | 1479                                | 1331                                | 1031                                |
| 28               | 1010              | 1850                               | 1625                                | 1420                                | 1165                                |



Şekil 7: Kırmızı kil ile Mermer Tozu karışımlarının serbest basınç dayanımları

Kırmızı kil ile üç farklı boyut ve üç farklı orandaki atık lastik karışımında, en yüksek UCS değerleri 28 günlük kür sonunda elde edilmiştir. Buna göre;

1.18 mm boyutunda; AL+ kırmızı kil karışımı, kırmızı kil ana malzemesi ile karşılaştırıldığında UCS'de; kırmızı kil+%0.5 AL karışımında %22.6, kırmızı kil+%1 AL karışımında %29.7 ve kırmızı kil+%2 AL karışımında ise %48.5 oranında artış görülmüştür.

2.00 mm boyutunda; AL+ kırmızı kil karışımı, kırmızı kil ana malzemesi ile karşılaştırıldığında UCS'de; kırmızı kil+%0.5 AL karışımında %61.9, kırmızı kil+%1 AL karışımında %39.6 ve kırmızı kil+%2 AL karışımında ise %23.8 oranında artış belirlenmiştir.

3.18 mm boyutunda; AL+ kırmızı kil karışımı, kırmızı kil ana malzemesi ile karşılaştırıldığında UCS'de; kırmızı kil+%0.5 AL karışımında %13.9, kırmızı kil+%1 AL karışımında %23.8 ve kırmızı kil+%2 AL karışımında ise %36.1 oranında artış görülmüştür.

Sonuç olarak kırmızı kil+% 0.5 (2.00 mm.) AL ilavesiyle elde edilen karışım %61.9 oranında artışla en yüksek UCS değeri verdiği belirlenmiştir. Atık lastik boyutları kil ile oluşturulan karışımda önem arz etmektedir. Zira boyutun çok küçük veya çok büyük oluşu kil taneleri ile güçlü bir bağ oluşturamamakta ve zemin içerisinde zayıf zonlar oluşturmaktadır. Bu durum ise dayanım düşmesine sebep olmaktadır. Bu amaçla en uygun fiber boyutunun belirlenmesi iyileştirilecek killi zeminlerin dayanımı açısından önemlidir.

Jafari ve Esna-Ashari (2012) ile Singh (2016) yaptıkları çalışmalarda, fiber takviyesinin zeminlerin serbest basınç mukavemetini, sertliği ve sünekliliği artırdığını bildirmişlerdir. Ayrıca zemin içerisinde rastgele dağılmış fiberler kırılabilirliği azaltmak için olumlu bir fikir olarak kullanılmışlardır. Ayrıca, Akbulut vd. (2007)'de yaptıkları çalışmada, zayıf mühendislik özelliklerine sahip zeminleri iyileştirmek için atık/artık veya yan ürün malzemelerini kullanarak ekonomik ve çevre dostu bir çözüm olan fiber takviyesinin avantajlarından faydalanmışlardır. Elde edilen deneysel veriler Tablo 6'da, grafikleri ise Şekil 8'de gösterilmiştir.

Tablo 6: Kırmızı kil ile atık lastik karışımlarının UCS değerleri

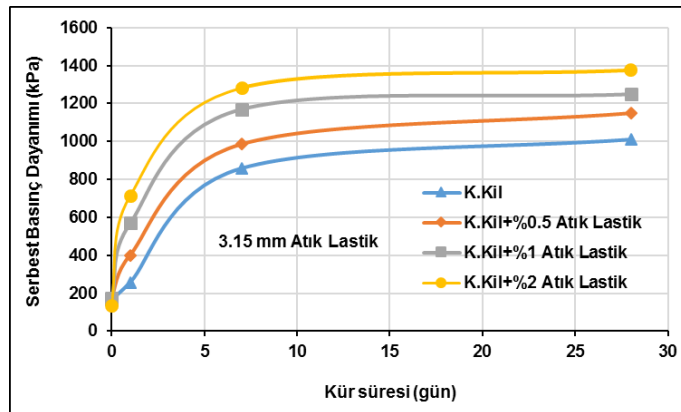
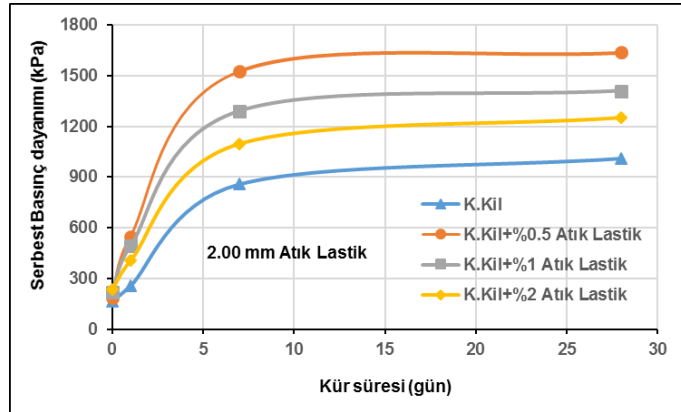
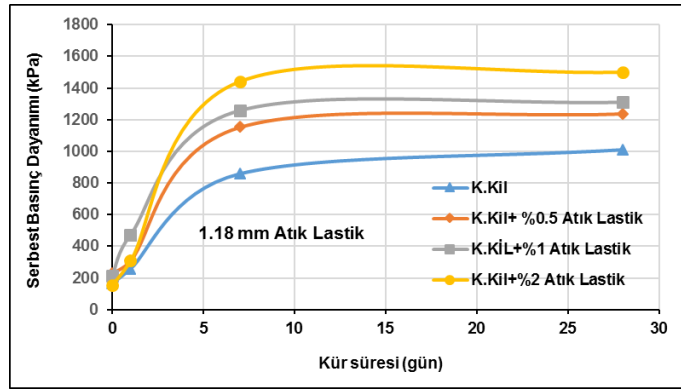
| Kür süresi (gün) | K.Kil (kPa) | K.Kil + %0.5 Atık Lastik (1.18 mm) (kPa) | K.Kil + %1 Atık Lastik (1.18 mm) (kPa) | K.Kil + %2 Atık Lastik (1.18 mm) (kPa) |
|------------------|-------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0 (3 saat)       | 165         | 231                                      | 216                                    | 157                                    |
| 1                | 257         | 308                                      | 474                                    | 308                                    |
| 7                | 858         | 1153                                     | 1258                                   | 1441                                   |
| 28               | 1010        | 1238                                     | 1310                                   | 1500                                   |

| Kür süresi (gün) | K.Kil (kPa) | K.Kil + %0.5 Atık Lastik (2.00 mm) (kPa) | K.Kil + %1 Atık Lastik (2.00 mm) (kPa) | K.Kil + %2 Atık Lastik (2.00 mm) (kPa) |
|------------------|-------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0 (3 saat)       | 165         | 184                                      | 219                                    | 236                                    |
| 1                | 257         | 547                                      | 494                                    | 406                                    |
| 7                | 858         | 1527                                     | 1291                                   | 1096                                   |
| 28               | 1010        | 1635                                     | 1410                                   | 1250                                   |

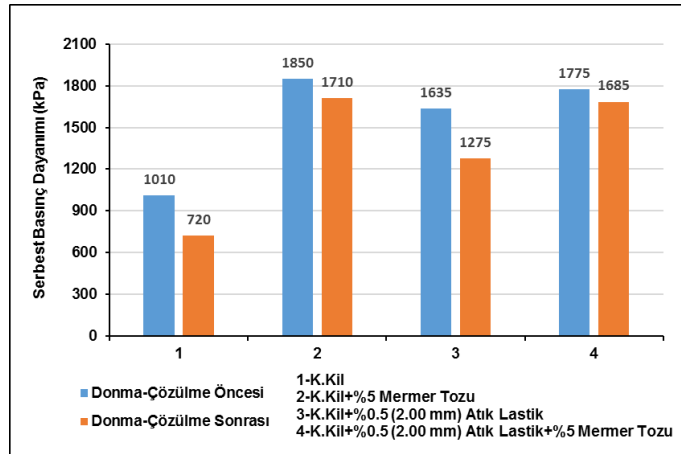
| Kür süresi (gün) | K.Kil (kPa) | K.Kil + %0.5 Atık Lastik (3.15 mm) (kPa) | K.Kil + %1 Atık Lastik (3.15 mm) (kPa) | K.Kil + %2 Atık Lastik (3.15 mm) (kPa) |
|------------------|-------------|------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| 0 (3 saat)       | 165         | 173                                      | 176                                    | 135                                    |
| 1                | 257         | 400                                      | 571                                    | 712                                    |
| 7                | 858         | 986                                      | 1171                                   | 1282                                   |
| 28               | 1010        | 1150                                     | 1250                                   | 1375                                   |

Bu çalışmanın son aşamasında ise serbest basınç dayanım (UCS)'nin en yüksek değere ulaştığı karışımlar belirlenerek donma-çözülme öncesi ve sonrası UCS değerleri belirlenmiştir. Bu karışımlar; Kil ana malzemesi, Kırmızı kil+%5 Mermer tozu, Kırmızı kil+%0.5 (2.00 mm) Atık lastik ve Kırmızı kil+%5 Mermer tozu+%0.5 (2.00 mm) Atık lastik. Bu karışımlara donma-çözülme deneyi -21°C, +21°C, 24h ve 12 çevrim olarak uygulanarak serbest basınç dayanımlarındaki değişim belirlenmiştir. Bu değişimler, Kırmızı kil ana malzemesinde %28.7, Kırmızı kil+%5 Mermer tozu karışımında %7.6, Kırmızı kil+%0.5 (2.00 mm) Atık lastik karışımında %22.0 ve Kırmızı kil+%5 Mermer Tozu +%0.5 (2.00 mm) Atık lastik karışımında ise %5.1 dayanım kaybı görülmüştür. Sonuçlar mukayese edildiğinde Kırmızı kil+%5 Mermer tozu+%0.5 (2.00 mm) Atık lastik karışımın donma-çözülme sonucu dayanım kaybının diğer karışımlara oranla daha düşük olduğu ve uygulanabilir bir karışım olduğu sonucuna varılmıştır. Donma-çözülme öncesi ve sonrası UCS değişimleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

Chauhan (2008), Park (2009) ve Consoli (2009) tarafından yapılan çalışmalarda, kireç ile kararlı hale getirilmiş numuneler, kırılma bir bozulma paterni göstermiştir. Ancak fiberin stabilize edilmiş malzeme içerisine dahil edilmesi, zeminlerde mukavemet artışının yanı sıra süneklilik artışı ve stabilize malzemenin kırılabilirliğinde azalmalarda meydana getirmiştir. Zaimoğlu (2010), yaptığı çalışmada fiber ile güçlendirilmiş ince taneli zeminin donma-çözülme davranışını serbest basınç testleri ile incelemiş ve ince taneli zeminlerde mukavemet ve dayanıklılığın artırılmasında lif takviyesinin etkinliğini ortaya koymuştur. Ayrıca, Ghazavi ve Roustae (2010), Okagbue ve Onyeobi (1999), Gullu ve Hazirbaba (2010), Yarbaşı (2016) ve Yarbaşı vd. (2007), yaptıkları çalışmalarda zeminlerdeki donma-çözülme bozulmalarına karşı fiber takviyesinin etkinliğini doğrulamışlardır. Ancak ağır trafik yükü altındaki zeminlerde esnek döşeme malzemesi olarak kullanılması yeterli görülmeyeceği, ancak hafif trafik yükünün olduğu yollarda temel altı malzemesi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 8: Kırmızı kil ile farklı oranlardaki AL karışımlarının UCS gösterimi



Şekil 9: Donma-çözülme öncesi ve sonrası UCS değişimleri

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Mermer tozu ve atık lastik parçalarıyla iyileştirilen düşük plastisiteli kırmızı killi zeminin serbest basınç dayanımlarındaki değişim ile donma-çözülme öncesi ve sonrası dayanımlarındaki değişimler incelenmiş olup sonuçlar aşağıya çıkarılmıştır.

- Bu çalışmanın ana malzemesini oluşturan düşük plastisiteli kırmızı kil zeminin donma-çözülme sonucu serbest basınç dayanımında (UCS) %28.7 oranında bir azalma tespit edilmiştir.
- Kırmızı kil malzemesi ile mermer tozu karışımının, 28 günlük kür sonucu kırmızı kil+%5 MT ilavesiyle elde edilen karışımın %83.2 oranında artışla en yüksek UCS değeri verdiği tespit edilmiştir. Aynı numunenin donma-çözülme deneyi sonucunda ise UCS değerinde %7.6 oranında azalma gözlenmiştir.
- Kırmızı kil zemin ile atık lastik karışımının, 28 günlük kür sonucu kırmızı kil+%0.5 (2.00 mm AL) ilavesiyle elde edilen karışımın %61.9 oranında artışla en yüksek UCS değeri verdiği, aynı numunenin donma-çözülme deneyi sonucunda ise UCS değerinde %22.0 oranında azalma tespit edilmiştir.
- Serbest basınç dayanımının en yüksek değere ulaştığı bu iki karışımın birlikteliğinde ise (kırmızı kil+%5 MT+%0.5 (2.00 mm AL) UCS değerinde donma-çözülme deneyi sonucunda %5.1 oranında azalma tespit edilmiştir.
- Sonuçlar mukayese edildiğinde Kırmızı kil+%5 Mermer tozu+%0.5(2.00 mm) Atık lastik karışımın donma-çözülme sonucu dayanım kaybının diğer karışımlara oranla daha düşük olduğu ve uygulanabilir bir karışım olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen verilerden kırmızı kil ile mermer tozu karışımının, kırmızı kil zemine oranla mukavemet artışı sağladığı, bu karışıma yapılan atık lastik ilavesinin de zemine elastikiyet kazandırdığı dayanım değerlerinde gözlenmiştir. Ancak donma-çözülme sonucunda mukavemet kaybının oluşması, bu malzemenin iklimsel değişimlerin sıkça yaşandığı bölgelerde daha dikkatli kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

#### Teşekkür

Yazar, makaleye yaptıkları katkılardan dolayı hakemlere teşekkür eder.

#### Kaynaklar

- Akbulut S., Arasan S., Kalkan E., (2007), *Modification of Clayey Soils Using Scrap Tire Rubber and Synthetic Fibers*, Applied Clay Science, 38, 23–32.
- Chauhan M.S., Mittal S., Mohanty B., (2008), *Performance Evaluation of Silty Sand Subgrade Reinforced with Fly Ash and Fibre*, Journal of Geotextiles and Geomembranes, 26(5), 429–435.
- Consoli N.C., Vendruscolo M.A., Fonini A., Rosa F.D., (2009), *Fiber Reinforcement Effects on Sand Considering a Wide Cementation Range*, Journal of Geotextiles and Geomembranes, 27(3), 196–203.
- Demir İ., Başpınar M.S., Görhan G., Kahraman E., (2008), *Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması*, 6. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 26-27 Haziran, Afyonkarahisar.
- Ghazavi M., Roustaei M., (2010), *The Influence of Freeze-thaw Cycles on the Unconfined Compressive Strength of Fiber-reinforced Clay*, Cold Regions Science and Technology, 61, 125-131.
- Gullu H., Hazirbaba K., (2010), *Unconfined Compressive Strength and Post-Freeze-Thaw Behavior of Fine-Grained Soils Treated with Geofiber and Synthetic Fluid*, Cold Regions Science and Technology, 62, 142-150.
- Hejazi S.M., Sheikhzadeh M., Abtahi S.M., Zadhoush A., (2012), *A Simple Review of Soil Reinforcement by Using Natural and Synthetic Fibers*, Construction and Building Materials, 30, 100-116.
- Jafari M., Esna-Ashari M., (2012), *Effect of Waste Tire Cord Reinforcement on Unconfined Compressive Strength of Lime Stabilized Clayey Soil Under Freeze–Thaw Condition*, Cold Regions Science and Technology, 82, 21–29.
- Kalkan E., (2009), *Effects of Silica Fume on The Geotechnical Properties of Fine-Grained Soils Exposed to Freeze And Thaw*, Cold Regions Science and Technology, 58(3), 130-135.
- Kalkan E., (2013), *Preparation of Scrap Tires Rubber Fiber-Silica Fume Mixtures for Modification of Clayey Soils*, Applied Clay Science, 80-81, 117-125.
- Okagbue C.O., Onyeobi T.U.S., (1999), *Potential of Marble Dust to Stabilise Red Tropical Soils for Road Construction*, Engineering Geology, 53, 371-380.
- Osula D.O.A., (1991), *Lime Modification of Problem Laterites*, Engineering Geology, 30, 141–153.
- Park S.S., (2009), *Effect of Fiber Reinforcement and Distribution on Unconfined Compressive Strength of Fiber-reinforced Cemented Sand*, Journal of Geotextiles and Geomembranes, 27(2), 162–166.
- Singh P., Bawa S., Priyadarshini A., Kumar G., (2016), *Influence of Tire Chips on The Behaviour of Soil*, Journal of Civil Engineering and Environmental Technology, 3(1), 23-27.
- Yarbaşı N., Kalkan E., Akbulut S., (2007), *Modification of the Geotechnical Properties, as Influenced by Freeze-Thaw, of Granular Soils with Waste Additives*, Cold Regions Science and Technology, 48, 44-54.
- Yarbaşı N., (2016), *Atık Lastik Parçalarıyla Güçlendirilmiş Killi Zeminlerin Donma-Çözülme Davranışı*, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 559-562.
- Zaimoglu A.S., (2010), *Freezing-thawing Behavior of Fine-grained Soils Reinforced with Polypropylene Fibers*, Cold Regions Science and Technology, 60, 63-65.
- Zorluer I., Demirbas A., (2013), *Use of Marble Dust and Fly Ash in Stabilization of Base Material*, Science and Engineering of Composite Materials, 20(1), 47-55.