Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24(3), 561-565, 2018

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Atık lastik parçalarıyla güçlendirilmiş iri taneli zeminlerin donma-çözülme sonucu mukavemetlerindeki değişimin incelenmesi

Investigation on the variation of strength of coarse grained soils reinforced with waste tires pieces as a result of freezing and thawing cycles

Necmi YARBAŞI[1*], *Mine ALACALI*[2]

[1]Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
nyarbasi@atauni.edu.tr

[2]Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, Oltu Yer Bilimleri Fakültesi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye.
minealacali@atauni.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 18.01.2017, Kabul Tarihi/Accepted: 10.03.2017 doi: 10.5505/pajes.2017.75735
* Yazışılan yazar/Corresponding author
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

İklimsel farklılıkların sıkça yaşandığı bölgelerde mühendislik yapıları farklı yükler altında olumsuz etkilemektedir. Bu etkinin iri taneli zeminlerde çeşitli atık malzemeler katılımıyla azaltılması yönünde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışma da atık lastik parçalarıyla (AL) güçlendirilmiş iri taneli zeminin (TZ) donma-çözülme sonucu mukavemetlerindeki değişim incelenmiştir. Deneyler standart proktor enerjisi altında sıkıştırılması ile hazırlanan iri taneli zemin numuneleri üzerinde yürütülmüştür. Bu iri taneli zemin örneğine %0.5, %1 ve %2 atık lastik ilavesi yapılarak 1, 7 ve 28 günlük çalışma odası sıcaklığındaki (+21 °C) kür sonucu, serbest basınç mukavemetleri belirlenmiştir. En yüksek mukavemet artışı; TZ+%0.5 AL (1.18 mm) karışımda %8.62, TZ+%1 AL (2.00 mm) karışımda %16.92 ve TZ+%1 AL (3.15 mm) karışımda ise %9.54 oranında olmuştur. Bu karışımlar, donma-çözülme deneyine tabii tutulmuştur. Deney sonucunda, TZ+%0.5AL (1.18 mm) karışımın mukavemeti %28.05 ve TZ+%1 AL (3.15 mm) karışımının mukavemeti %13.33 oranında düşerken, TZ+%1 AL (2.00 mm) karışımın mukavemeti ise %5.61 oranında artmıştır.

Anahtar kelimeler: İri taneli zemin, Atık lastik, Donma-çözülme, Serbest basınç mukavemeti

Abstract

In regions where climatic differences frequently are affects especially engineering structures under different loads. This effect is being studied to reduce the participation of various waste materials in coarse grained soil. In this study, the changes in strength of coarse grained soil (CG) reinforced with scrap tire pieces (ST) was investigated under freezing- thawing conditions. Experiments were conducted on coarse grained samples prepared by compression under standard proctor energy. Unconfined compressive strength values of coarse grained soil sample with 0.5%, 1% and 2% addition of scrap tires were determined at studied temperature (+21 °C) on days 1, 7 and 28. The highest increase rate of strength was 8.62% in CG+0.5% ST (1.18 mm) mixture, %16.92 in CG+1% ST (2.00 mm) mixture and %9.54 in CG+%1 ST (3.15 mm) mixture. The freeze-thaw test was applied on this mixture. The results showed that while the strength rate of CG+0.5% ST (1.18 mm) and CG+1% ST (3.15 mm) mixtures decreased to 28.05% and 13.33%, respectively; the strength of CG+1% ST (2.00 mm) mixture increased to 5.61%.

Keywords: Coarse grained soil, Scrap tires, Freeze-thaw, Unconfined compressive strength

1 Giriş

Mühendislik yapılarına temel teşkil eden zeminler özellikle donma ve çözülmenin sıklıkça yaşandığı bölgelerde ve farklı yüklemelerden olumsuz olarak etkilenmektedirler [1]. Dolayısıyla zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri de bu meteorolojik ve çevresel etkilerden güçlü bir şekilde etkilenmektedirler. Bu yüzden zeminlerin mühendislik özelliklerini (yoğunluk, kesme mukavemeti, sıkışabilirlik, hidrolik iletkenlik gibi) iyileştirmek için zeminlerin güçlendirilmesi çalışmalarına hız verilmiştir [2].

Zeminlerin güçlendirilmesi için gerek doğal (Hindistan cevizi lifi, palmiye ağacı lifi, keten tohumu, şeker kamışı, tavuk kanadı gibi) gerekse çeşitli kimyasallar ve sentetik fiberler (Polyester, polietilen, cam, naylon, çelik tel, atık lastik gibi) kullanılmaktadır [10],[16].

Bu yönde yapılan çalışmaların birçoğunda ince ve iri taneli zeminlerin donma-çözülme sonucundaki taşıma kapasitesini artırmak, yanal deformasyon ve oturma miktarlarını azaltmak için bir takım katkılar ile atık maddeler kullanılmıştır. İnce veya iri taneli zeminler, farklı atık malzemeler ile farklı oranlarda karışımlar yapılarak donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde farklı sayılarda çevrim, sıcaklık ve zaman dilimleri kullanılmıştır[1],[8],[11]-[12],[17]-[22].

Atık veya artık malzemeler, günümüzde teknolojik gelişmelerin birer sonucu olarak çevre kirliliğine ve doğal kaynakların kirlenmesi gibi sorunlara neden olabilmektedir. Günümüzde, bu önemli problemin atık veya artık olarak ortaya çıkan malzemelerin yeniden kullanılması ve geri dönüşümünün sağlanması konusunda çok yoğun olarak çalışılmalar sürdürülmektedir. Bu tür çalışmalarla atık veya artık malzemelerin yeniden kullanımı veya geri kazanımı sağlanmakta ve çevresel problemlerin azaltılmasına katkı sağlanmaktadır.

Bu çalışma ile atık lastik ile güçlendirilen iri taneli zeminlerin (TZ) donma-çözülme sonucu serbest basınç mukavemetindeki değişimin belirlenmesi ve kesme kutusu deneyi ile kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki değişimlerin de belirlenmesi amaçlanmıştır.

Lifli malzemeler (fiber) ile güçlendirilmiş zeminlerin (ince veya iri taneli) mühendislik alanlarındaki uygulanabilirliğinde önemli arışlar gözlenmektedir. Atık lastik gibi lifli yapıdaki fiberler zeminlerde mukavemet artışı meydana

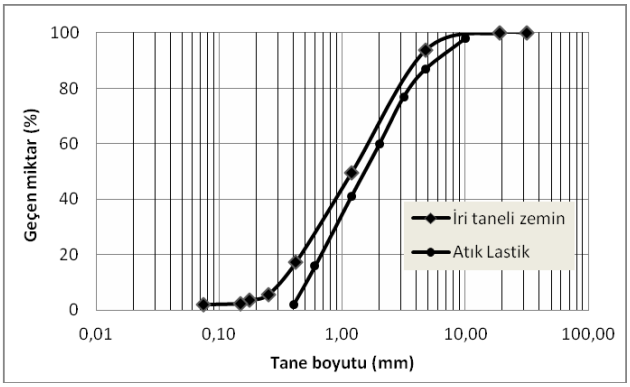
getirebilmektedirler. Doğal veya sentetik fiberlerle güçlendirilmiş zeminlerin iyileştirilmesi ve karayolu inşasında kullanılan bir metot olarak karşımıza çıkmaktadır[7],[9],[15].

2 Materyal ve yöntem

Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada laboratuvarda hazırlanmış iri taneli zemin numunelerine 1.18 mm, 2.00 mm ve 3.15 mm boyutlarında ve %0.5, %1 ve %2 oranlarında atık lastik ilave edilmiştir. Numuneler; 1, 7 ve 28 günlük çalışma odası sıcaklığında (+21 °C) kurutularak sertleştirildikten sonra serbest basınç mukavemet değerleri tespit edilmiştir.

İkinci aşamada ise en yüksek serbest basınç mukavemeti değerlerinin alındığı karışım ve kür (kurutularak sertleştirme) süresi belirlenmiştir. Üçüncü aşamada ise en yüksek mukavemet değerinin elde edildiği, 28 günlük kür ve %0.5 AL ilavesi yapılmış örneklere donma-çözülme deneyi (−21 °C, +21 °C, 24h ve 12 çevrim) ve kesme kutusu deneyi uygulanmıştır [22].

Bu çalışma için kullanılan iri taneli zemin örneği Oltu (Erzurum) ilçesinde yapı ve alt temel malzemeleri üreten NESCE firmasından temin edilmiştir. Laboratuvar ortamına getirilen iri taneli zemin örneği, 24h süre ile 105 ± 5 °C'de etüvde kurutulduktan sonra 4.76 mm elek altında kalan malzeme üzerinde deneysel çalışmalar ASTM [3],[4] ve BS [6]'e göre yapılmıştır. İri taneli zeminin ve atık lastiğin elek analizi grafikleri Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: İri taneli zemin ve atık lastiğin elek analizi.

İri taneli zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

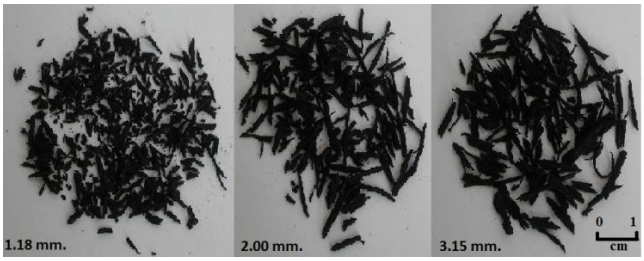
Tablo 1: İri taneli zeminin (TZ) fiziksel ve mekanik özellikleri.

Özellik	Değer
Özgül Ağırlık, Gs	2.58
Çakıl (%)	30.0
Kum (%)	61.0
Silt (%)	5.80
Kil (%)	3.20
Likit Limit (%)	26.10
Plastik Limit (%)	12.09
Plastisite İndisi (%/)	14.01
Optimum Su Muhtevası[1], wopt (%)	10.50
Mak. Kuru Birim Hacim Ağırlık[1], γ_{kmax} (kN/m^3)	19.33
Zemin Sınıfı[2]	SW

[1]: Standart Proktor Deneyinden elde edilmiştir.
[2]: USCS zemin sınıflandırma sistemine göre belirlenmiştir.

Standart kompaksiyon deneyi yapılarak optimum su muhtevası (w_{opt}) ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{kmax}) bulunmuştur. Örnekler 38 mm çapında ve 76 mm yüksekliğindeki silindirik numune kaplarına optimum su muhtevasında sıkıştırılarak hazırlanmıştır.

Çalışmanın ikinci en önemli bileşenini oluşturan atık lastik (AL) parçaları, Erzurum sanayi bölgesinden temin edilmiştir. Elde edilen parçalanmış atık lastik parçaları elek sarsma makinesinde üç farklı boyutta (1.18 mm, 2.00 mm ve 3.15 mm) elde edilmiştir (Şekil 2). Çelik tel içermeyen atık lastiğin özellikleri ve bileşenleri Tablo 2'de, elek analiz grafiği ise Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Katkı olarak kullanılan atık lastik parçaları.

Tablo 2: Çalışmada kullanılan atık lastik özellikleri [1].

Özellik	Atık Lastik
Lif tipi	Teklif
Yoğunluk, (Mg/m^3)	1.153 − 1.198
Elastik Modül (MPa)	1 − 97 − 22.96
Gerilme Direnci (MPa)	28.1
Yumuşama sıcaklığı $(°C)$	175
Bileşenler	
Karbon blok(%)	31
Genişletici yağ (%)	1.9
Çinko oksit (%)	1.9
Stearik asit (%)	1.2
Sülfür (%)	1.1
Hızlandırıcı	0.7

Her karışım türü ve kür sürelerinin belirlenmesi için 3 (üç) örnek hazırlamış ve sonuçların ortalaması alınmıştır (Şekil 3). Hazırlanan numuneler; iri taneli zemin (TZ), TZ+%0.5 AL, TZ+%1 AL ve TZ+%2 AL karışım oranlarında hazırlanmıştır.



Şekil 3: Farklı karışım oranlarında hazırlanan numuneler.

Numuneler; 1, 7 ve 28 gün çalışma odası sıcaklığında (+21 °C) kurutularak sertleştirildikten sonra serbest basınç mukavemet değerleri bulunmuştur. Ayrıca, 1, 7 ve 28 günlük kür sonucu donma-çözülmeye tabii tutulmuş örneklerinde serbest basınç

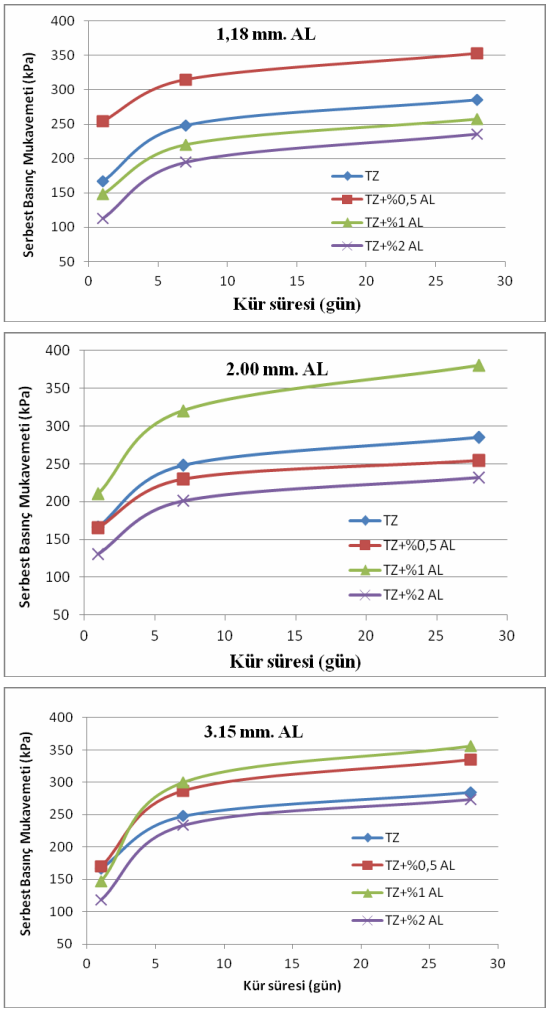
mukavemetleri bulunmuştur. Serbest basınç mukavemet değerlerinin belirlendiği dijital serbest basınç cihazının yükleme hızı ise 0.8 mm/dk olarak seçilmiştir.

Donma-çözülme deneyi için derin dondurucu buzdolabı kullanılmıştır. Dondurucu kısmı -21 °C'ye ayarlanarak donma işlemi uygulanmıştır. Çözülme işlemi ise $+21$ °C çalışma odası sıcaklığında yapılmıştır. Donma-çözülme çevrim sayısı 12 ve her bir sıcaklıkta bekleme süresi ise 24 saat olarak seçilmiştir [13]-[14].

Kesme kutusu deneyi dijital direkt kesme test cihazı ile yapılmıştır. Cihaz hızı 0.8 mm/dk olarak seçilmiştir. En yüksek mukavemet değerlerine sahip olan örnekler üzerinde kesme kutusu deneyi ASTM [5]'e göre yapılmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

Bu çalışmanın birinci aşamasını oluşturan üç farklı atık lastik boyutu ve 3 farklı karışım oranına göre yapılan örneklerin üç farlı döngü sonucundaki serbest basınç mukavemet değerleri elde edilmiş ve grafiksel gösterimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Örneklerin serbest basınç mukavemet grafikleri.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise mukavemetin en yüksek değere ulaştığı karışımlar belirlenmiştir. Bu karışımların ana malzemeye (iri taneli zemin) oranla 28 günlük kür (kurutularak sertleştirme) sonucu serbest basınç mukavemetinin, TZ+%0.5 AL (1.18 mm) karışımı %8.62, TZ+%1 AL (2.00 mm) karışımın %16.92 ve TZ+%1 AL(3.15 mm) karışım ise %9.54 oranında mukavemet artışı gösterdiği belirlenmiştir.

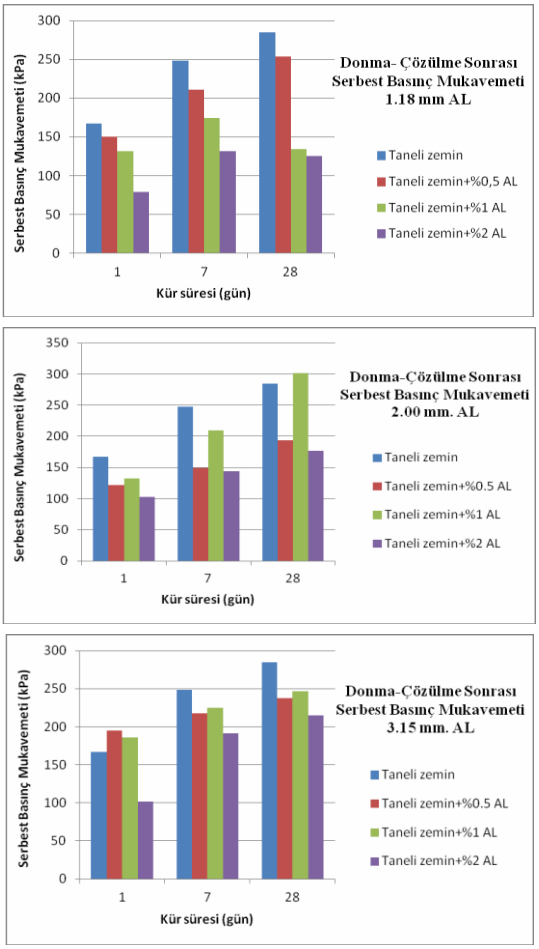
Ranjan ve diğ. (1996) yaptığı çalışmada sentetik fiberlerle güçlendirilmiş taneli zeminlerde %0.5, %1, %1.5 ve %2 oranlarında fiber kullanılmış ve %1'lik fiber ile en yüksek mukavemet değerlerini elde etmiştir. Ayrıca, fiber ile güçlendirilmiş zemini; fiber türü, ağırlığı, zeminin içsel sürtünme açısı ve yoğunluğu gibi parametrelerin etkilediğini de belirtmiştir.

Bu çalışmanın üçüncü aşamasında ise 1, 7 ve 28 günlük kür (kurutularak sertleştirme) sonucunda donma-çözülme deneyi -21 °C $+21$ °C, $24h$ ve 12 çevrim olarak uygulanarak mukavemetleri belirlenmiştir [8],[19],[21]-[22].

En yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği 28 günlük kür ve donma-çözülme deneyi sonucunda; TZ+%0.5 AL (1.18 mm) karışımın mukavemeti %28.05 ve TZ+%1 AL (3.15 mm) karışımının mukavemeti %13.33 oranında düşerken, TZ+%1 AL (2.00 mm) karışımının mukavemeti ise %5.61 oranında artmıştır.

Elde edilen verilerden donma-çözülme öncesi güçlendirme malzemesi olarak kullanılan sentetik fiber oranı ve boyutuna bağlı olarak mukavemet artışları gösterdiği ancak donma-çözülme sonucunda ise fiber oran ve boyut artışına bağlı olarak bir mukavemet azalmasının olduğu belirlenmiştir.

Donma-Çözülme sonucu 1, 7 ve 28 günlük kür sonucu serbest basınç mukavemetlerindeki değişim Şekil 5'te, istatistiksel değerlendirilmesi ise Tablo 3'te verilmiştir.



Şekil 5: Donma-Çözülme sonrası mukavemetlerdeki değişim.

Tablo 3: Donma-Çözülme öncesi ve sonrası serbest basınç mukavemetlerdeki değişimin istatistiksel değerlendirilmesi.

(AL) **1.18 *mm*.**	Kür (Gün)	Min.-Mak. (kPa)	Aritmetik Ort. (kPa)	Standart Sapma (%)	Standart Hata (%)
Donma-	1	113 – 254	171.67	34.61	11.54
Çözülme	7	195 – 315	243.33	29.85	9.95
Öncesi	28	236 – 353	282.00	29.41	9.80
Donma-	1	79 – 150	120.33	17.40	5.80
Çözülme	7	132 – 211	172.33	18.63	6.21
Sonrası	28	125 – 254	171.00	33.95	11.32

(AL) **2.00 *mm*.**	Kür (Gün)	Min.-Mak. (kPa)	Aritmetik Ort. (kPa)	Standart Sapma (%)	Standart Hata (%)
Donma-	1	131 – 210	168.67	22.30	7.43
Çözülme	7	201 – 320	250.33	29.25	9.75
Öncesi	28	232 – 380	289.00	37.54	12.51
Donma-	1	103 – 132	119.00	6.89	2.30
Çözülme	7	144 – 210	167.67	17.32	5.77
Sonrası	28	177 – 301	224.00	31.69	10.56

(AL) **3.15 *mm*** .	Kür (Gün)	Min.-Mak. (kPa)	Aritmetik Ort. (kPa)	Standart Sapma (%)	StandartHata (%)
Donma-	1	119 – 170	145.33	12.04	4.01
Çözülme	7	234 – 300	273.67	16.48	5.49
Öncesi	28	274 – 356	321.67	20.08	6.69
Donma-	1	102 – 195	161.00	24.18	8.06
Çözülme	7	191 – 225	211.33	8.46	8.46
Sonrası	28	215 – 247	233.33	7.78	7.78

Örneklerin serbest basınç mukavemet değerleri elde edilirken, yenilme anında yaklaşık %2.8 – %3.1 arasında değişen değerlerde boyca kısalmalar gözlenmiştir. Yükleme anında iri taneli malzemenin aniden kırılmasını, katkı olarak kullanılan atık lastik parçaları önlediği ve zemin örneğine bir plastiklik kazandırarak yenilme süresini uzattığı değerlendirilmektedir.

Günümüzde malzeme mühendisliğinin çok önem verdiği konulardan olan zemin iyileştirilmelerinde çeşitli atık veya artık malzemeler kullanılarak modifiye edilen iri veya ince taneli zeminlerin gevrek (kırılgan) durumdan plastik duruma doğru geçişi üzerinde çeşitli çalışmalar sürdürülmektedir.

Donma-çözülme öncesi ve sonrası yapılan deneysel çalışmalar istatistiksel olarak değerlendirilmiş ve hata payının yaklaşık %10 civarında olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).

En yüksek mukavemet değerlerinin elde edildiği; TZ+%0.5 AL (1.18 *mm*), TZ+%1 AL (3.15 *mm*) ve TZ+%1 AL (2.00 *mm*) karışımlara kesme kutusu deneyi uygulanarak kohezyon ve içsel sürtünme açıları bulunmuştur. Test sonuçları Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Karışımların kesme kutusu deney sonuçları.

Karışımlar	Kohezyon (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (Derece)
TZ	36	18
TZ+%0.5 AL (1.18 *mm*)	32	20
TZ+%1 AL (2.00 *mm*)	31	21

Elde edilen veriler ışığında atık lastik (fiber) ilavesi iri taneli malzemenin "kırılgan (gevrek) davranışını daha plastik" hale getirmiştir. Dolayısıyla içsel sürtünme açısında artışlar gözlenmiştir. Ayrıca, atık lastik parçaları taneler arası bağları etkilediği için kohezyon değerleri de bu durumdan etkilenerek azalmıştır. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir [7],[12],[22].

Zeminlerin iyileştirilmesinde, lifli malzemenin (fiber) çeşidi, karışım oranı, zemin ve fiber indeks ile mukavemet karakteristikleri önemli rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Atık lastik gibi çeşitli fiberler (doğal veya sentetik) ile güçlendirilen iri taneli zeminlerde mukavemet artışlarını sağladığı ve özelikle mühendislik yapılarının temellerinde (karayolu, boru hatları, hava alanları gibi) zeminlere bir kırılganlık (gevreklik) kazandırdığı, gevrek durumdan plastik duruma doğru bir geçişin olduğu belirtilmektedir[9],[13]-[16],[21]. Zira bu çalışmada da benzer durum net bir şekilde izlenmiştir.

4 Sonuçlar ve öneriler

Bu çalışmada atık lastik ile güçlendirilen iri taneli zeminlerin donma-çözülme öncesi ve sonrası mukavemetlerindeki kohezyon ve içsel sürtünme açılarındaki değişim belirlenmiş ve aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. İri taneli zemin ile atık lastik 1.18 *mm*, 2.00 *mm* ve 3.15 *mm* boyutlarında ve %0.5, %1 ve %2 oranlarında karıştırılarak 1, 7 ve 28 gün ve +21 °C çalışma odası sıcaklığında kür edilerek, serbest basınç mukavemet değerleri tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalar yaklaşık %10 hata ile çalışılmıştır,
2. Bu karışımlardan 28 günlük kür sonucu serbest basınç mukavemetlerinin en yüksek olduğu karışımlardan; TZ+%0.5 AL (1.18 *mm*) karışımın mukavemetinin %8.62, TZ+%1 AL (2.00 mm) karışımın %16.92 ve TZ+%1 AL (3.15 mm) karışım ise %9. 54 oranında mukavemet artışı göstermiştir,
3. En yüksek mukavemet artışının sağlandığı karışım ve oranlar donma-çözülme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda, TZ+%0.5 AL (1.18 mm) karışımın mukavemeti %28.05 ve TZ+%1 AL (3. 15 *mm*) karışımının mukavemeti %13.33 oranında düşerken, TZ+%1 AL (2.00 mm) karışımın mukavemeti ise %5.61 oranında artmıştır,
4. Atık lastik ile güçlendirilmiş iri taneli zemin örnekleri kırılma anında yaklaşık %2.8 – %3.1 arasında değişen değerlerde boyca kısalmalar göstermiştir. Bu durum iri taneli malzemenin aniden yenilmesini önlemiş ve zemin örneğine bir plastiklik kazandırarak yenilme süresini uzatmıştır,
5. Kesme kutusu deneyi sonucunda fiber malzemenin karışım oranı ve fiber boyutuna bağlı olarak karışımların önemli mekanik özelliklerinden olan kohezyon değerini azaltırken, içsel sürtünme açılarında ise artışlara neden olmuştur,
6. Elde edilen veriler ışığında atık lastik parçaları ile güçlendirilen (TZ+%1 AL 2.00 *mm*) iri taneli zeminin özellikle karayolu, hava alanı ve boru hatları gibi mühendislik yapılarının temel uygulamalarında özellikle yenilme süresinin uzatılması açısından yarar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

5 Teşekkür

Yazarlar bu makaleye eleştiri ve öneriyle katkı koyan hakemlere teşekkür ederler.

6 Kaynaklar

[1] Akbulut S, Arasan S, Kalkan E. "Modification of clayey soils using scrap tire rubber and synthetic fibers". *Applied Clay Science* 38, 23-32, 2007.

[2] Andersland OB, Ladanyi B. *Frozen Ground Engineering*. 2nd ed. USA, John Wiley & Sons, 2004.

[3] ASTM D. 698-78. "Fundamental Principles of Soil Compaction". American Society for Testing And Materials. West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2012.

[4] ASTM D. 2166. "Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil". American Society for Testing and Materials. West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2006.

[5] ASTM D. 3080/D3080M-11. "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions". ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.

[6] BS. 1377, Part 2. Methods of test for soils for civil engineering purposes, Classification tests. British Standards Institution, 1990.

[7] Chauhan MS, Mittal S, Mohanty B. "Performance evaluation of silty sand subgrade reinforced with fly ash and fibre". *Geotextiles and Geomembranes*, 26(5), 429-435, 2008.

[8] Ghazavi M, Roustaie M. "The influence of freeze-thaw cycles on the unconfined compressive strength of fiber-reinforced clay". *Cold regions science and technology*, 61, 125-131, 2010.

[9] Gray DH, Ohashi H. "Mechanics of fiber reinforcement in sand". *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 109(3), 335-353. 1983.

[10] Hejazi SM, Sheikhzadeh M, Abtahi SM, Zadhoush A. "A simple review of soil reinforcment by using natural and synthetic fibers". *Construction and Building Materials,* 30, 100-116, 2012.

[11] Jafari M, Esna-Ashari M. "Effect of waste tire cord reinforcement on unconfined compressive strength of lime stabilized clayey soil under freze-thaw condition". *Cold Regions Science and Technology,* 82, 21-29.2012.

[12] Kalkan E. "Prepartion of scrap tires ruber fiber-silica fume mixtures for modification of clayey soils". *Applied Clay Science*, 80-81, 117-125, 2013.

[13] Michalowski RL, Zhao A. "Failure of fiber-reinforced granular soils". *Journal of Geotechnical Engineering ASCE*, 122(3), 226-234. 1996.

[14] Michalowski RL, Cerma KJ. "Triaxial compression of sand reinforced with fibers". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 129(2), 125-136, 2003.

[15] Ranjan G, Vasan RM, Charan HD. "Probabilistic analysis of randomly distributed fiber-reinforced soil". *Geotechnical Engineering ASCE*, 419-426, 1996.

[16] Singh P, Bawa S, Priyadarshee A, Kumar G. "Influence of tire chips on the behaviour of soil". *Journal of Civil Engineering and Environmental Technolgy,* 3(1), 23-27, 2016.

[17] Zaimoğlu AŞ, Hattatoğlu F, Akbulut RK. "Yüke maruz ince taneli zeminlerin donma-çözülme davranışı" *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,* 19(3), 117-121, 2013.

[18] Zaimoğlu AŞ, Akbulut RK, Arasan S. "Effect of freze- thaw cycles on strength behavior of compacted chicken quill clay composite in undrained loading". *Jornal of Natural Fibers,* 13(3), 299-308, 2015.

[19] Zaimoglu AS, Calik Y, Akbulut RK, Yetimoglu T. "A study on freeze-thaw behavior of randomly distributed fiber-reinforced soil". *Periodica Polytechnica: Civil Engineering*, 60(1), 3-9, 2016.

[20] Yarbaşı N, Kalkan E, Akbulut S. "Modification of the geotechnical properties, as influenced by freze-thaw, of granular soils with waste additives". *Cold Regions Science and Technology*, 48, 44-54, 2007.

[21] Yarbaşı N. "Atık lastik parçaları ile güçlendirilmiş killi zeminlerin donma-çözülme davranışı". *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 559-562, 2016.

[22] Yetimoglu T, Salbas O. "A study on shear strength of sands reireinforced with randomly distributed discrete fibers". *Geotextiles and Geomembranes* 21, 103-110, 2003.