

Araştırma Makalesi

KUM KARIŞIMLARIN KAYMA DAYANIMININ İNCELENMESİ

¹Mehmet Fatih ALTAN ve ^{2*}Aysun TURAN

¹İstanbul Arel Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

^{2*}İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

***Sorumlu yazar:** aysunturan@stu.aydin.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.06.2024

Kabul Tarihi: 09.09.2024

ÖZET

Kum karışımlarının farklı özelliklerdeki maddelerle karışım yapılması sonucunda, kayma mukavemeti, içsel sürtünme açıları, permabilitesi, kohezyonu vb. birçok parametrelerinin değişimlerinin incelenmesi ile ilgili çalışmalar geoteknik mühendisliği alanında geniş çaplı olarak yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında kum karışımlarına geosentetikler, kopolimerler, uçucu küller, geotekstiller, çeşitli kil türleri, atık lastikler, organik zeminler, biyopolimerler katılarak yapılan deneysel çalışmalar incelenmiştir. Bu inceleme neticesinde, yazarlar tarafından elde edilen deneysel veriler ışığında; yol inşaatlarında, baraj gövde dolgularında, atık depo sahalarında, zemin güçlendirmelerinde vb. yerlerde iyileştirici yönde kullanıma uygun olan karışımlar gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların genel anlamda laboratuvar çalışmalarında olduğu düşünüldüğünde, karışımlarda kullanılan maddelerin biçim ve boyutlardaki değişimleri de göz önüne alınarak deneylerin çoğaltılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Kum karışımları, Kesme kutusu deneyi, İçsel sürtünme açısı, Kayma mukavemeti

INVESTIGATION OF SLIP STRENGTH OF SAND MIXTURE

ABSTRACT

As a result of mixing sand mixtures with materials with different properties, shear strength, internal friction angles, permeability, cohesion etc. Studies on the examination of the changes of many parameters are widely carried out in the field of geotechnical engineering. In this study, experimental studies were investigated by adding geosynthetics, copolymers, fly ash, geotextiles, various types of clay, waste tires, organic soils,

biopolymers to sand mixtures. As a result of this review, in the light of the experimental data obtained by the authors; road constructions, dam body fillings, landfills, ground reinforcements, etc. Mixtures suitable for curative use have been observed in places. Considering that the experimental studies are generally laboratory studies, it is considered that it would be appropriate to replicate the experiments by taking into account the changes in the form and dimensions of the substances used in the mixtures.

KEYWORDS: Sand mixes, Shear box test, Internal friction angle, Shear strength.

1.GİRİŞ

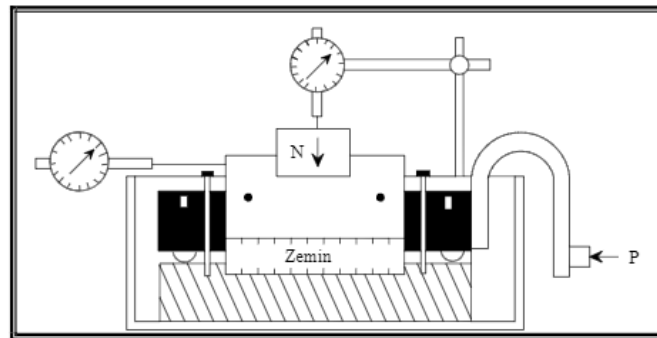
Zemin mekaniğini kısaca tanımlamak gerekirse, dış ve iç kuvvetler etkisi altında zeminin statik/dinamik dengelerini inceleyen bir bilim dalıdır. Tarih öncesi karşılaşılan zemin problemlerinin yollar, madenler, su kanalları ve köprülerde belirdiği anlaşılmaktadır. [11] Bu problemlerin çözümünü araştırmak ve çözmek adına Geoteknik uygulamalarının arazi ve laboratuvar deneylerinin standardizasyonu açısından birtakım standartlar geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Bunların başlıcaları arasında ASTM, BS, DIN, Eurocode bulunmaktadır. Ülkemiz genelinde yapılan standart çalışmaları TSE tarafından yürütülmektedir.

Yol yapımı, yapı temeli, köprüler, kanallar, vb. birçok inşai faaliyetlere başlamadan önce arazide herhangi bir yüklemeye maruz kalacak zemin tabakalarının gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve kayma mukavemetlerinin belirlenmesi amacıyla, bir takım deneysel yöntemler geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılan deneyler arasında; kesme kutusu deneyi, serbest basınç deneyi, basınç deneyi, laboratuvar veyn ve düşen koni deneyleri bulunmaktadır [13].

2.YÖNTEM

Bu çalışmamız kapsamında, kum karışımlarında danelerin kayma direnci ve mukavemetlerinin kesme kutusu deneyleri sonucunda elde edilmesi ve hangi tür zeminlerde hangi karışımların kullanılmasının uygun olacağına dair araştırma yapılacaktır.

Kesme kutusu deneyi: inceleme yapmak istenen numune Şekil.1’ de gösterilen deney aleti içerisindeki rijit kutu içerisine yerleştirilerek, uygulanacak kesme kuvveti etkisi altında, deney esnasında tespit edilen en büyük kayma gerilmesi veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirmelere yol açan kayma gerilmesi zeminin belirli bir normal gerilme altında kayma mukavemetini vermektedir. Uygulama da genel olarak kumların kayma mukavemetini tespit etmek amacıyla “Kesme Kutusu Deneyi” yapılmaktadır [13].



Şekil 1. Kesme Kutusu Deney Aleti

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR-DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışma kapsamında, farklı kumlu zemin karışımlarında elde edilen kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açıları karşılaştırılarak hangi tür zeminlerde hangi karışımların kullanılmasının uygun olacağı konularında bir takım deneysel veriler ışığında tespitler yapılacaktır.

Çeşitli geotekstiller (izo100, izo250, Typar44, PP 25/25, PP80/80) ile güçlendirilen kum zeminlerin kayma mukavemeti değerlerindeki değişim ve kum/geotekstil arayüzeyi dayanımına etkisi kesme kutusu deneyiyle yazarlar tarafından incelenmiş olup [1];

- Düşük normal gerilmeler altında, yüksek ara yüzey sürtünme açlarına ulaşıldığı,
- Örgüsüz geotekstillerin bükülebilir malzeme olmalarından dolayı kumdaki deformasyonlara uyumluluğundan ötürü örgülü geotekstillere göre daha yüksek performans gösterdiği,
- Kumun relatif sıklığı ve dane çapı dağılımından bağımsız olarak, kum / geotekstil ara yüzeylerinde, düşük normal gerilme aralığında elde edilen ara yüzey sürtünme açıları yüksek normal gerilme aralığında elde edilen ara yüzey sürtünme açılarından yüksek bulunduğu,
- Geotekstil tipinden bağımsız olarak, iyi derecelenmiş kumların (SW), kötü derecelenmiş (SP) olanlara göre daha yüksek ara yüzey sürtünme açıları vermesi beklenirken, bu deneyde kum/geotekstilin yeteri kadar etkileşime giremediğinin bir sonucu olduğu ifade edilmiştir [1].

İstanbul İli Silivri ilçesinde yer alan kum numunesi ile kopolimer (KP) karışımı üzerinde 12 farklı yapılan kesme kutusu deneyi sonucunda yazarın yapmış olduğu incelemelerde [2];

- Rölatif sıklık ile doğru orantılı olarak zemin kayma mukavemetinde artış gözlemlendiği,
- Yalın numunelerde katkı malzemesinin katılması halinde zemin kayma mukavemetinin arttığı,
- 12 farklı deneyde uygulanan kopolimer fiber malzemenin yüzde oranındaki artışın zemin kayma mukavemetine açısını arttırdığı,
- Yazarın deney için kullandığı kesme kutusu deney cihazının küçük olması sebebiyle, katkı malzemesi oranındaki büyük artışlarda zemin kayma mukavemetine etkisine

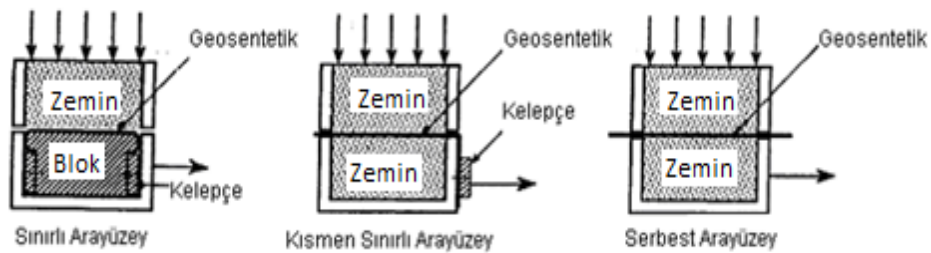
nasıl bir etkisi olabileceğinin başka bir araştırma konusu olacağı,

- Günümüz koşullarında ekonomikliğin büyük bir etken olmasının yanında, kütle oranına göre fazla hacim kaplamaları da göz önünde tutularak kumlu zemin stabilizasyonu çalışmalarında alternatif olarak kullanılabileceği yazar tarafından ifade edilmektedir [2].

Ülkemize son yıllarda endüstriyel atık malzemelerin zemin iyileştirme amacıyla ön plana çıkmaya başlamıştır. Ancak, kullanılan bu malzemeler kimyasal özelliklerinden dolayı doğayı kirletme etkisinin de düşünülmesi gerekmektedir. Zemin iyileştirme yöntemlerinde doğal bir malzeme kullanmak adına yazar tarafından kumlu zeminlere belli oranlarda uçucu kül olarak mermer tozu ilave edilmiş ve kesme kutusu deneyine tabi tutulmuştur. Yazar tarafından, kumlu zemine mermer tozu katılarak (%0, %5, %10 ve %20 oranlarında) yapılan deneysel çalışmalar neticesinde [3];

- %5 mermer tozu katılması halinde en yüksek içsel sürtünme açısına (52,4) ve en düşük kohezyon (0,2431) değerlerine ulaştığı,
- Kumlu zemine eklenen mermer tozu sonucunda, zeminin özelliklerinde fazla bir değişimin gözlemlenmediği,
- Mermer tozu içerisinde bulunan bağlayıcı maddenin zaman içerisinde bağlayıcılık özelliğini arttırması sebebiyle, zaman içerisinde (takribi 1-3 ay) kesme kutusu deneyine tabi tutulması gerektiği ifade edilmektedir[3].

Geotekstil donatılı nehir kumunun gerilme/deformasyon ve kabarma özelliklerinin saptanması amacıyla yazar tarafından Ege Üniversitesi laboratuvarlarında R=5 cm çapında, H=10 cm yüksekliğindeki numuneler üç eksenli basınç deneyinde; 60x60^{mm} boyutlarındaki numuneler ise kesme kutusu deneyinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır[4].



Şekil.1 Farklı Tip Kesme Kutusu Deneyleri [4]

Geosentetik malzemelerinin sabitleme yöntemindeki farklılıklardan dolayı yazar tarafından 3 tip kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deney esnasında uygulanan kaymak gerilmeleri yatay yönde kaymaması ve alttaki kutuya doğru deforme olmaması koşuluyla bu yöntemin doğru olduğu düşünülmektedir. Yazar tarafından yapılan deneysel çalışmalar

neticesinde;

- Kum ve kum-geotekstil donatılı zeminlerin içsel sürtünme açısı değerlerinin
 - Kum için 34^0 ,
 - Kum + PP_25 için 36^0 ,
 - Kum + PP_80 için 44^0 olduğu,
- Kum zeminlere kıyasla donatılı zeminlerdeki mukavemet artışlarının içsel sürtünme açılarından da anlaşıldığı,
- Donatılı kohenyonsuz zeminlerin davranışlarındaki değişimlerde birçok etki unsurunun olduğu (çevre faktörü, mekanik özellikler, çekme mukavemetleri, vs.) ifade edilmektedir [4].

Üst yapı yüklerini, taşıma kapasitesi düşük olan zeminlere taşımak amacıyla kazıklı temeller kullanılmaktadır. Bu yükü zemine aktaran kazıklı temel çeşitleri arasında, ahşap, betonarme ve çelik yapı elemanları bulunmaktadır. Yazar bu çalışmada kum zemin içerisine artan oranlarda kil katarak (%20, %30, %40) ortaya çıkan bu karışım zeminlerle, ahşap elemanların yüzeyi arasında bulunan sürtünme açısını kesme kutusu deneyi yardımıyla tespit etmiştir. Deney çalışmaları kapsamında yazar Elazığ ilinden temin ettiği dere kumu ve kili kullanmıştır. Kumlu zemin 8 ve 16 no' lu elek arasında kalanlardan; ince daneli zemin olarak ise 200 no' lu elek altında kalanlar arasından seçilmiştir. İnce daneli malzemenin ASTM' ye göre sınıfı "CL" (düşük plastisiteli kil) olarak belirlenmiştir. [5] Laboratuvar ortamında yapılan deneyse çalışmalar neticesinde;

- Kuru ve sulu ortamda kil oranının artışıyla birlikte sürtünme açısı değerlerinin azaldığı,
- Kil oranının az olması durumunda zemindeki boşlukların artması sebebiyle ahşap yüzeyi ve bu boşluklu zemin arasındaki sürtünme açısında artışlar gözlemlendiği,
- Kil oranının artması durumunda kum içerisindeki boşluklarında dolması sebebiyle pürüzlülüğün ve yüzey sürtünme açısının azaldığı,
- Ortamdaki su oranının artması ya da ortamın kuru/sulu olması durumlarında sürünme açısı değerlerinin farklı olduğu, sulu ortamda sürtünme açısı değerlerinin çok daha düşük olduğunun gözlemlendiği ifade edilmektedir [5].

Atık lastik parçalarının kumun kayma mukavemetine etkisini incelemek amacıyla yazarlar tarafından kesme kutusu deneyi yardımıyla bir takım deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmanın hazırlık aşamasında farklı hacimlerde bulunan lastik parçaları ayarlanarak, kumla karıştırılmış ve farklı normal gerilmeler altında kesme kutusu deneyine tabi tutulmuştur.

Bunun yanı sıra atık lastiklerin kullanım alanları arasında: Deniz kıyılarında dalga kırıcı, çocuk oyun parkları, otoyol çarpışma bariyerlerinde; inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan atık lastikler ise stabiliteyi sağlamak ve oturmaları asgari seviyeye indirmek, zemindeki donma derinliğinin azalması, yanıl basınçları azaltmak, vb. birçok yerde kullanılmaktadır [6].

Deney için kullanılacak kum numunesi üzerinde yapılan elek analizi ve USCS' ye göre zemin sınıflandırması neticesinde kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) ile Adana Org. San. Bölgesinden temin edilen boyları 10-25 mm, genişlikleri yaklaşık 2-4 mm arasında olan atık lastik parçaları belirli bir sıklık oranında deneye hazır hale getirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde;

- Kum numunelerinin belirli oranlardaki atık lastik parçacıkları ile karıştırılması durumunda kayma mukavemeti oranlarının %10 mertebelerinde iyileştirilebildiği,
- Atık lastik parçalarının zemin ile arasındaki sürtünme dirençlerinden dolayı sanki bir donatı malzemesi gibi davranarak kayma mukavemetinde artış gösterdiği,
- Kesme kutusu deneyinde, kum-atık lastik karışımındaki lastik oranının %10-15 arasında olduğu durumda kayma mukavemeti açısının, karışimsız kum durumuna göre %10 arttığı,
- Atık lastiklerin öğütmeye tabi tutulması halinde kayma mukavemeti açısının arttığı ve toplam karışım ağırlığında azaldığı,
- Kumun mekanik özelliklerinde bir iyileştirme yapmak amacıyla hafif bir dolgu olması sebebiyle kullanımının uygun olacağı ifade edilmektedir [6].

Kaya, çakıl, kum ve kil ile ilgili, literatürde zemin etüd çalışmaları için parametrelerin elde edilmesi amacıyla kabul gören birtakım deney çalışmaları geliştirilmiştir. Yazar tarafından, belirli miktardaki kil' e %5-15-30-50 ve 70 oranlarında kum karıştırılarak kesme kutusu deneyi yardımıyla kayma mukavemeti ve içsel sürtünme açısında ne gibi değişimler olduğu deneysel olarak incelenmiştir. Gaziantep Üniversitesi kampüsü içerisinde alınan kil numunesi USCS ' ye (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması) göre düşük plastisiteli kırmızı renkli kil (CL) olarak belirlenmiş ve uniformluk katsayısı sayısı $C_u=1,1$; $C_c=0,92$; gevşek haldeki içsel sürtünme açısı ise 34^0 olarak tespit edilmiştir. Standart Proktor deneyi yardımıyla deney numunelerinin su muhtevası, kilin plastik limit (PL) değeri olarak kabul edilmiş ve sıkıştırılmış olan zeminden alınan deney numuneleri çalışmaları neticesinde [7];

- Su muhtevasının sabit tutulması şartıyla kum oranının %15 olması halinde içsel sürtünme açısının en küçük değere sahip olduğu,

- Karışımda bulunan kum oranının %15' i geçtiği durumda içsel sürtünme açısının giderek arttığı ve kumun içsel sürtünme açısına yakın değerlere ulaştığı,
- Bu gibi çalışmaların değişik kil-kum karışım tiplerinde tekrarlanması ve daha detaylı bilgi için araştırmaların çoğaltılmasının literatürde katkı sağlanmasının uygun olacağı ifade edilmektedir[7].

Organik zeminler sıkıntılı bir zemin türüdür. Bu tür zeminlerin içerisinde bulunan bitki kalıntı hücrelerinin yapısından dolayı suyu içerisinde tutması muhtemeldir. Böyle bir durumun oluşmasından dolayı su muhtevası %700 oranlarına varmaktadır. Bahse konu su muhtevası oranı kil, silt ve kumda %3 ile %70 arasında değişkenlik gösterirken yer altı su seviyesinin altında bulunan yumuşak killerde %100 oranının üzerine de çıkmaktadır. Ağırlıkça %75 in üstünde organik madde içeren zeminlerde ise bu oran %700 değerlerine ulaşabilmektedir. Geoteknik özelliklerinin farklılığından dolayı organik zeminler birçok araştırmacının ilgi alanına girmektedir. Turba olarak adlandırılan bu zeminlerde yapılan araştırmalardan bazıları arasında; zemin taşıma gücü iyileştirilmesi amacıyla portland çimento eklenmesi, otoyol inşaatı sırasında bazı teknikler kullanılarak iyileştirme çalışmaları, tropikal organik zeminlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, vb. araştırmalar yer almaktadır. Yazar tarafından yapılan deneysel çalışmalar neticesinde [8];

- Zemin kayma mukavemeti değerlerinin değişimine birçok faktörün etkili olduğu,
- Organik zeminlerin su muhtevasının fazla olması,
- Su muhtevastaki artıştan dolayı organik zeminin kohezyon ve içsel sürtünme açılarında azalmaların olduğu,
- Organik zeminde bulunan kum miktarının kayma dayanımına etkisinin olduğu,
- Karışımda bulunan kum miktarının artmasıyla birlikte organik zemin karşımının davranışının kumun davranışına doğru yöneldiği,
- Yoğunluk arttıkça kohezyon ve içsel sürtünme açısının arttığı ifade edilmektedir[8].

Zeminlerin permabilite, kayma dayanımı, vb. birçok geoteknik özelliklerini geliştirmek amacıyla araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu iyileştirme yöntemleriyle ilgili yapılan bir örnek de biyopolimer katkıların kum karışımlarına etkisidir. Zeminlerin taşıma gücünün, sıvılaşmaya karşı direncin, zemin erozyununun ve YASS' nin kontrolü noktasında biyopolimer katkıların kullanıldığı yazar tarafından araştırılmıştır [9].

Üç farklı tipte biyopolimerler (kitin, zantan gam, kitosan) ile kil (kaolin, bentonit) ve kum

karışımlarının neticesinde birtakım veriler elde edilmiştir. Permabilite deneyinde %30 kaolin - %70 kum karışımları; kesme deneyinde %40 kum - %40 kaolin - %20 bentonit ile %40 kum - %30 kaolin - %30 bentonit karışımı elde edilmiş olup, USCS' ye göre zemin sınıfları sırasıyla, içerisinde bentonit bulunan numunelerde "SC" (kötü derecelendirilmiş kum), içerisinde bentonit bulunmayan karışımlarda (kum-silt) ise "SM" kötü derecelendirilmiş kum silt karışımlarının olduğu tespit edilmiştir [9]. Yazar tarafından yapılan kesme kutusu deneyi çalışmaları neticesinde;

- %30 kaolin-%70 kum' lık karışım ile %1' lik biyopolimer (zantam gam) konsantrasyonunun permabilite değerlerinde 25 kat azalma meydana geldiği,
- Zamanla biyopolimerlerin bozulmaya uğraması sebebiyle, zantam gamın permabiliteye etkisinin azaldığı,
- Yapısı itibariyle biyopolimerin (kitosan) negatif, kaolinin ise pozitif yüklü olması sebebiyle birbirlerinin soğurmaktadır. (birbirlerinin yüzeyine bağlanmaktadır.) Bu sebepten dolayı, tek bir hücre meydana geldiğinden biyopolimer cinsi olan kitosanın karışımın permabilite değerini düşürdüğü,
- Karışıma ilave edilen biyopolimer katkılarının %0,25 'ten %0,5-1,0 doğru arttığı durumlarda permabilite değerlerinde yüzdesel azalma meydana geldiği,
- %1' lik biyopolimer (kitosan ve zantan gam) konsantrasyonunun %10 - % 15 arasında içsel sürtünme artışlarına sebebiyet verdiği,
- Genel değerlendirme sonuçlarına göre, bu araştırmada kullanılan kum-kil (kaolin-bentonit) ile biyopolimer katkıların permabiliteyi azalttığı, içsel sürtünme açılarında ise artışa sebebiyet verdiği ve bu sebepten dolayı kullanım alanları olarak geçirimsiz bir kil bariyerine ihtiyaç olan baraj gövdeleri, atık depolama sahalarında kullanılabileceği gözlemlenmiştir [9].

4. SONUÇ

Ülkemizin gelişmekte şehirlerinden olan Gaziantep’ te inşaat faaliyetlerinin de aynı paralelde gelişmesi, akabinde Gaziantep ili çevrelerinin zeminlerinde kırmataş olarak kullanılan kum ocaklarının bulunması sebebiyle kırmataş malzemenin farklı karışımlarla (atık lastik parçaları) etkileşimi incelenmiş ve bu incelemeleri (ödometre, direk kesme, geçirimsizlik, kompaksiyon ve CBR taşıma oranları) tespit etmek amacıyla yazar tarafından birtakım deneysel çalışmalar yapılmıştır [10].

Ağırlıkça oranları %0, %5, %10 ve %15 oranlara sahip atık lastikler farklı oranlardaki (%0, %20, %40, %60) kırmataş, kil zeminlere karıştırılıp belirli işlemlere (su eklenmesi, doymun duruma gelmesi vb.) tabi tutulduktan sonra kesme kutusuna yerleştirilmiştir. Genel olarak, çoğunluğu kum içeren zeminlere farklı oranlarda killer karıştırılarak zeminlerin davranışları incelenmiştir. Ancak, yazar tarafından yapılan bu deneysel çalışmalarda kil içeren bir zemine kumun ilave edilmesiyle farklı oranlarda atık lastik olması kaydıyla birtakım bulgulara ulaşılmıştır [10]:

- Atık lastiğin geri dönüşümü düşünüldüğünde ekonomik ve çevresel faktörlere etkisinin büyük olduğu,
- Kil zeminde bulunan kırmataşın artmasıyla birlikte içsel sürtünme açısının arttığı, kohezyonun azaldığı,
- Atık lastik-kırmataş karışım örneklerindeki atık lastik miktarı ile içsel sürtünme açısı değerlerinde ters orantılı, kohezyonun doğru orantılı değiştiği,
- Kırmataş’ a ilavede bulunan atık lastiklerin, karışımda geçirimsizliği azalttığı,
- Atık lastik boyutlarındaki değişim sonucunda nasıl bir sonuçlara ulaşacağı konusunda detaylı bir incelemenin yapılmasının uygun olacağı yazar tarafından değerlendirilmektedir [10].

KAYNAKÇA

1. D. Erdoğan, S. Altun (2008), “Kum / Geotekstil Arayüzey Kayma Dayanımının Kesme Kutusu Deneyleri İle Belirlenmesi”
2. N. Uysal (2013), “Polimerler ile Stabilize Edilmiş Kumların Kesme Kutusu Deneyleri ile Kayma Mukavemetinin Belirlenmesi”
3. H. Suha Aksoy, Ö. Cana, M. Gör (2012), “Kumlu Zeminlerin Mermer Tozu Kullanılarak Stabilizasyonu”
4. Ş. Tuna, E. Karakan, S. Altun (2015), “Geotekstil Donatılı Kum Zeminlerin Mekanik Davranışlarının İrdelenmesi”
5. H. Suha Aksoy, M. Gör, M. Yıldırım (2013), “Killi Kum Bir Zemin İle Ahşap Elemanlar Arasındaki Yüzey Sürtünmesi Üzerine Bir Araştırma”
6. S. Keskin, M. Laman (2012), “Atık Lastik- Kum Karışımlarının Kayma Mukavemetinin Laboratuvar Deneyleriyle İncelenmesi”
7. H. Çanakçı, H. Güllü, “Kil- Kum Karışımı Zeminlerde Karışım Oranının İçsel Sürtünme Açısı Üzerine Etkisinin İncelenmesi”
8. F. Çelik, H. Çanakçı, H. Güllü (2010), “Organik Zeminlerin Kayma Mukavemeti Üzerine Bir İnceleme”
9. H. Fırat Pulat, B. Taytak, Y. Yükselen Aksoy (2016), “Biyopolimer Katkıların Killi ve Kumlu Zeminlerin Permeabilite ve Kayma Dayanımına Etkisinin Araştırılması”
10. A. Fırat Çabalar, N. Akbulut, A. Aydın (2013) “Gaziantep’ Teki Kil Zeminlerin Kırmataş ile İyileştirilmesi ve Atık Lastik-Kırmataş Karışımları Üzerine Bir Çalışma”
11. Al-Khafajı, A.N. (1993) “ Estimation Of Soil Compaction Parameters By Means Of Atterberg Limits” Quarterly Journal Of Eng. Geology, 26: 4:359”
12. A. Önalp, E. Arel, “Geoteknik Bilgisi I (5. Baskı)”
13. Doç. Dr. İlknur Bozbey, “Zemin Mekaniği Laboratuvar Dersi Ders Notları”