

MERMER TOZU VE BAZALT FİBER KATKISININ ZEMİNLERİN KAYMA MUKAVEMETİNE ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

COMPARISON OF THE EFFECTS OF MARBLE POWDER AND BASALT FIBER ADDITIVE ON SLIPPING STRENGTH OF SOILS

M. Hayrullah AKYILDIZ¹, Seda YÖN²

ÖZET

Dünya nüfusunun son zamanlarda hızla artması endüstriyel anlamda gelişmeyi ve dolayısıyla endüstriyel atık maddelerinin artışı beraberinde getirmiştir. Çok eski yıllara dayanan inşaat mühendisliği uygulamalarından biri olan zemin iyileştirme bu atıkların yeniden kullanılabilirdiği alanlardan biridir. Gelişen dünyada artan nüfusun da etkisiyle elverişsiz zeminlerde yapı yapmak neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Bu tür zeminlerin kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Genel olarak benzer özellikler gösteren mermer ve bazaltın zemin üzerindeki etkileri ile ilgili ayrı çalışmalar olmasına karşın bir karşılaştırma araştırmasına rastlanmamıştır. Buradan yola çıkarak bu çalışmada bazalt fiber ve atık mermer tozu katkı malzemelerinin zeminin kayma mukavemeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Zemin numunesi Diyarbakır kent merkezinden alınmıştır. Zemin sınıfının ve özelliklerinin belirlenmesi amacıyla elek analizi, kıvam limiti, proktor deneyleri yapılmıştır. Sınıflandırması yapılan bu zeminler kayma dayanımını belirlemek amacıyla serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Zemin numunesi her grupta 6 numune olacak şekilde 2 gruba ayrılmıştır. Gruplardan birine atık mermer tozu, diğerine bazalt fiber katkısı her bir numune çiftinde aynı olmak suretiyle toplamda 6 farklı oranda eklenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda kayma mukavemetinin en yüksek olduğu mermer tozu oranı ve bazalt fiber oranı tespit edilmiştir. Bu oranlar arasında karşılaştırma yapılarak hangi malzemenin daha yüksek kayma mukavemeti değeri gösterdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: bazalt fiber, Diyarbakır, kayma mukavemeti, mermer tozu, serbest basınç deneyi, zemin iyileştirme

¹ Dr. Öğr. Üyesi, Dicle Üniversitesi, akyildiz.hayrullah@dicle.edu.tr

² Öğrenci, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, sedasedayon@gmail.com

ABSTRACT

The rapid increase in the world population in recent times has brought along the industrial development and therefore the increase in industrial waste materials. Soil improvement, one of the oldest civil engineering practices, is one of the areas where these wastes can be reused. With the effect of the increasing population in the developing world, it has become almost mandatory to build on unsuitable grounds. Improvement methods have been developed in order to make such soils usable. Although there are separate studies on the effects of marble and basalt, which generally have similar properties, no comparison research has been found. Based on this, the effects of basalt fiber and waste marble powder additives on the shear strength of the soil were investigated in this study. The soil sample was taken from Diyarbakır city center. Sieve analysis, consistency limit and proctor tests were carried out to determine the soil class and properties. These classified soils were subjected to unconfined compression test to determine shear strength. The soil sample was divided into 2 groups with 6 samples in each group. Waste marble powder was added to one of the groups and basalt fiber was added to the other in 6 different ratios in total, with the same in each sample pair. As a result of the experiments, the ratio of marble dust and basalt fiber with the highest shear strength were determined. By comparing these ratios, it was determined which material showed the higher shear strength value.

Keywords: basalt fiber, Diyarbakır, shear strength, marble dust, unconfined pressure test, soil improvement

1. GİRİŞ

Özellikle son yıllarda hızlı bir gelişim içerisinde olan zemin iyileştirme yöntemleri oldukça eskiye dayanan inşaat mühendisliği uygulamalarından biridir. Geoteknik mühendisliğinin kapsamında bulunması sebebiyle de konferans ve sempozyumlarda oldukça ilgi çekmektedir. Bu kapsamda çok sayıda yayın yapılmıştır. Bunların yanı sıra zemin iyileştirmeye ilgili çok sayıda teknik yayın mevcuttur ve gün geçtikçe yeni çalışmalar eklenmektedir (Selçukhan vd., 2020).

Ülkemiz sanayileşme yönünden hızlı bir gelişim içindedir. Bu gelişim, ekonomik olarak büyüme, gelişme, dışa bağımlılığın azalması gibi pozitif yönlü katkıların yanında endüstriyel atıkların çoğalması gibi negatif etkileri de beraberinde getirmiştir. Atık malzemelerin çoğalması çevre kirliliğine sebep olmakta, insan sağlığını tehlikeye atmaktadır. Bu malzemelerin yeniden kullanılabilirliği ve geri kazanımı hem çevresel hem ekonomik açıdan büyük ölçüde önemlidir.

Mermer, dünyanın yüzey tabakasına yakın olan bölgelerinde bulunan bir madendir. Ocaklarda farklı birçok yolla, yaklaşık 15 tonluk bir bütün halinde bulunan mermer parçalara ayrılır ve ayırma işlemi sonrasında işlenmek üzere atölyelere ve fabrikalara taşınır. Ayırma işlemi, mermerlerin asimetrik olmayıp çizgi şeklinde düz bir geometrik şekil alabilmesi için gereklidir. Mermerin ocaktan blok olarak çıkarılması sebebiyle fabrikalarda üretim aşamasında, çeşitli büyüklükte parça ve toz atık oluşumu meydana gelmektedir (Muratoğlu, 2010). Gerek ülkemiz gerekse dünya genelinde mermer üretim tesislerinin çoğalması, mermere olan talebin artmasının bir sonucudur. Bu tesislerde işlenen mermerin atıkları bazen atık sahalarına bazen de akarsulara dökülmektedir. Bu uygulamalar çevre kirliliğine sebep olmakta ve doğal güzelliği bozmaktadır (Gücek, 2011). Bu sebeple atık malzemelerin katkı maddesi olarak yeniden kullanılabilirliği fikri ortaya çıkmıştır. Bu durum sonucunda hem zeminlere iyileştirme sağlanmaktadır hem de atık malzemeler değerlendirilmektedir. Bu atık malzemelerden biri de mermer tozudur. Kimyasal birleşim ve tanecik boyutu yönünden kireç

ve mermer tozunun benzer olması zeminlerin iyileştirilmesinde kireç yerine mermer tozunun kullanılması fikrini oluşturmuştur (Zorluer vd.,2003). Mermer tozunun zemin iyileştirmede kullanılmasıyla ilgili daha önce çok sayıda çalışma yapılmıştır. Değişik mermer tozu oranlarında hazırlanan numunelerde işlenebilme ve dayanım özellikleri incelenmiş ve mermer tozu katkısının kılcal su emilimini azalttığı görülmüştür (Gamerio vd., 2014). Mermer tozunun likit limiti yüksek olan kilde oluşturduğu değişiklikler incelenmiş artan mermer tozu oranı ile zemindeki dayanımın arttığı tespit edilmiştir (Görgün vd., 2015). Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalara farklı oranlarda eklenmesi suretiyle donma çözölmeye etkisi araştırılmış ve mermer tozu ilavesinin mukavemeti artırdığı görülmüştür (Taşpolat vd., 2006).

Katkı malzemeleri zemin iyileştirmede tek başına kullanılabildiği gibi destekleyici başka malzemelerle de kullanılabilir. Bu malzemelere bir örnek de bazalt fiberlerdir. Bazalt fiber katkı maddesi, bazalt kayaçların eritilmesi sonucu çekilerek elde edilir (King vd.,2014). Maliyetinin düşük olması, yüksek dayanımlı olması ve kolay temin edilebilmesi zemin güçlendirmesi alanında, bazalt fiberin kullanılmasını avantajlı hale getirmektedir. Çevre dostu sayılabilecek bazalt fiber yüksek çekme dayanımı, yüksek erime sıcaklığı ve yüksek stabilite gibi özellikleri olan doğal bir malzemedir (Kale vd., 2020). Bazalt fiberlerin zeminlerde kullanımıyla ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Düşük plastisiteli silt zeminlere bazalt fiber eklenmiş ve kayma direnci parametrelerinin iyileştiği görülmüştür (Kenan vd., 2018). Bir başka çalışmada bazalt lifi katkılı kil zeminlerin serbest basınç dayanımındaki değişimler incelenmiştir (Gao vd., 2015). Siltli zemin numunelerine belirli oranlarda bazalt lifi eklenerek üç eksenli basınç deneyi uygulanmış maksimum dayanımdaki fiber oranı belirlenmiştir (Ndepete vd., 2017). Bazalt fiber ve kireç ile güçlendirilmiş şişen zeminlerin mukavemet karakteristikleri araştırılmış ve bazalt fiberin sünekliği, kireç katkısının ise serbest basınç dayanımını artırdığı sonucuna ulaşılmıştır (Zhuang vd., 2015).

Zeminlerin herhangi bir yükleme durumu karşısında davranışlarını tahmin etmek ve bu tahminlerle birlikte uygun tasarım yapabilmek için arazi deneylerinin yanı sıra laboratuvar deneyleri de yapılmaktadır. Gerilme-şekil değiştirme davranışı ve kayma mukavemetini belirleyebilmek için kesme kutusu, serbest basınç ve üç eksenli basınç deneyleri başta olmak üzere birçok yöntem kullanılmaktadır (Palalı, 2006). Serbest basınç deneyi, desteğe ihtiyaç duymadan ayakta durabilecek özelliklere sahip olan kohezyonlu zeminlerde uygulanabilmektedir. Bu deneyle zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti değeri tespit edilir. Bunun sebebiyse deneyde yüklemenin hızlı yapılması ve numunenin drenaj şartlarının kontrol edilmemesidir (Coduto, 2006). Deney için silindirik zemin numunesi hazırlanır ve sadece eksenel yükleme yapılır. Eksenel yükleme arttıkça numune boyunun kılma miktarı ölçülür ve gerilme deformasyon eğrisi çizilir. Eğrideki en büyük eksenel gerilme değeri zeminin serbest basınç dayanımı değerini verir. Numunede oluşan kayma düzlemiyle, alttaki ve üstteki yükleme başlıklarının kesişmemesi için, boy uzunluğu-çap oranının iki veya daha büyük olacak şekilde seçilmesi önerilmiştir (Tumluer, 2006).

2. MATERYAL VE METOT

Diyarbakır, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin orta kısmında, El Cezire'nin (Mezopotamya) kuzeyinde yer almaktadır. Doğuda Batman ve Muş, batıda Şanlıurfa, Adıyaman, Malatya, kuzeyde Elâzığ ve Bingöl, güneyde ise Mardin illeri bulunmaktadır. Dicle Üniversitesi ise şehir merkezinin doğusunda, Sur ilçe sınırında bulunmaktadır. Kampüs alanı yaklaşık 20 km² olup, Dicle Nehri ile Silvan Karayolu arasında yer almaktadır. Bu çalışmada kullanılacak zemin numunesi Diyarbakır kent merkezinden temin edilmiştir. Deneyler ise Dicle Üniversitesi geoteknik laboratuvarında uygulanmıştır.

2.1.Elek Analizi

Elek analizi, zemin içerisinde bulunan bileşenlerin ağırlıkça yüzdelerinin belirlenmesi ve zemin sınıflandırması amacıyla iri taneli zeminlerde uygulanır. Kohezyon kuvveti ile bağlı olmadığı için ayırık halde bulunan, genelde kum, çakıl gibi tanelerin büyüklük grubu, göz genişliği farklı olan eleklerden geçirilerek belirlenir (Bozbey, 2016). Bu elekler belirli bir göz büyüklüğü olacak şekilde delinen metal levhalar veya tel dokumalardan yapılır. Bu eleklerin göz genişlikleri standart numara ile belirtilir. Zemindeki tanelerin büyüklüklerine göre gruplandırılmasında kullanılan ve Amerika Standartlar Bürosu tarafından geliştirilmiş olan eleklerin numaraları ile göz açıklığı Çizelge 1’de gösterilmiştir.

ASTM		DIN	
Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Elek No	Elek Açıklığı (mm)
4	4,75	4	5,00
10	2,00	10	2,00
20	0,85	20	0,800
40	0,425	40	0,400
60	0,250	60	0,250
100	0,150	100	0,200
140	0,106	140	0,100
200	0,075	200	0,071

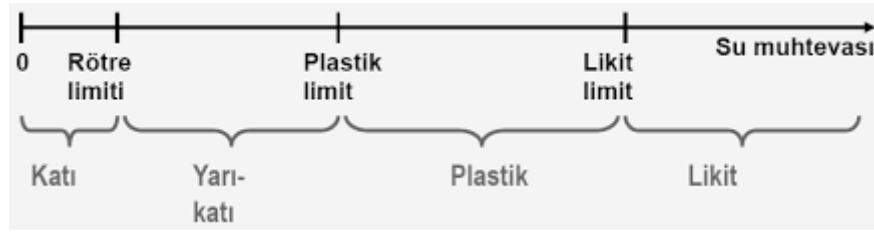
Çizelge 1: Elek analizinde kullanılan elek takımı açıklıkları

Diyarbakır kent merkezinden alınan numuneler öncelikle kuru ağırlığı belirlenmek üzere etüvde kurutulmuştur. Daha sonra elekler temizlenerek küçük boyuttan büyük boyuta doğru üst üste dizilip numune en üstteki eleğe boşaltılmıştır. Üzeri kapatılan elek seti elek sallayıcıya koyulup 10 dakika boyunca sallanmıştır. Eleme işlemi bittikten sonra eleklerin her birinin üzerinde kalan numunelerin ağırlıkları ölçülüp geçen yüzdeler hesaplanmıştır.

2.2. Kıvam Limitleri

Zeminlerin taneleri arasında meydana gelen çekim kuvveti, belli bir boyuttan küçük olan taneleri birbirlerine bağlar. Buna kohezyon kuvveti denir. Söz konusu kuvvet ile birbirine bağlanan taneler kohezyonlu olarak belirtilir. Ancak kohezyonlu tanelerin çevresinde su tutuldukça sözü edilen çekim kuvveti giderek azalır ve sonunda ortadan kalkar. Kohezyonlu zemin tanelerinin su ile gösterdikleri yapısal farklılığa kıvam değişikliği denir. Kohezyon kuvveti ile birbirine bağlanan taneler su miktarına göre çok farklı kıvam durumları gösterir.

İlk kez 1911’de Dr. Atterberg zeminler için 5 farklı kıvam limiti tanımı yapmıştır. Bunlar; kohezyon, yapışma, büzülme, likit ve plastik limitlerdir (Bowles, 1992). Bu limitlerden üç tanesi (likit, plastik ve büzülme limiti) geoteknik mühendisliği alanında yer edinebilmiştir (Al-Khafaji vd., 1992).



Şekil 1 : Kıvam Limitleri

Likit limit için Casagrande yöntemi kullanılmıştır. Kurutulmuş zemin numunesinden bir miktar alınarak bir kaba koyulmuş ve bir miktar su ilave edilerek karıştırılmıştır. Kür için bir süre bekletildikten sonra numune pirinç tase yerleştirilip üzeri spatula yardımıyla düzeltilmiştir. Numunenin ortasında yarık açıldıktan sonra alet kolu çevrilip tas 1 cm yüksekten saniyede 2 kez olacak şekilde düşürülmüştür. Yarık kapanana kadar vuruşlar sayılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır.

Plastik limit değerini belirlemek amacıyla önceden hazırlanmış karışımlardan alınan numuneler ele yapışmayacak kıvama gelinceye kadar bekletilip pürüzsüz bir yüzeyde yuvarlanmıştır. Numune çapı 3 mm'ye düştüğünde çatlama veya kopma görülen kısımlar kaba alınarak tartılıp etüvde kurutulmuştur. 24 saat sonra etüvden alınan numuneler tartılmış ve gerekli hesaplar yapılarak plastik limit değeri belirlenmiştir.

2.3. Proktor Deneyi

Proktor deneyi diğer bir adıyla kompaksiyon deneyi mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yapay dolguların su içeriklerine göre yeterli sıkışmanın sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek için uygulanır. Deneyin amacı zeminin optimum su içeriğinin ve bu değere karşılık gelen maksimum kuru birim hacim ağırlığının hesaplanmasıdır (Atabey, <https://volkanatabey.com.tr/standart-proktor-deneyi/>). Daha önceden 4 numaralı elekten elenmiş ve kurutulmuş malzemeden alınarak bir miktar su eklenip homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Deney kabına konulan bir miktar malzeme proktor tokmağıyla sıkıştırılmış ve sırayla önce ikinci tabaka sonra üçüncü tabaka serilerek her seferinde sıkıştırma işlemi tekrar edilmiştir. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra zeminden numune alınarak kurutulmak üzere ayrılmıştır. Daha sonra deney farklı su oranlarıyla 3 kez daha tekrarlanmıştır. Alınan numuneler tartılıp etüvde kurutulduktan sonra tekrar tartılarak su içerikleri hesaplanmıştır. Grafiğe dökülen değerlerden kompaksiyon eğrisi çizilmiştir ve tepe noktasına denk gelen optimum su içeriği belirlenmiştir.

2.4. Serbest Basınç Deneyi

Deney için kendini ayakta tutabilen zemin numunesi alınır. Numunenin yaş ağırlığı tartılarak kaydedilir. Serbest basınç deneyi cihazında iki başlık arasına numune yerleştirilir ve numunenin altına ve üstüne plastik diskler yerleştirilir. 3 ayrı kademedede olacak şekilde yükleme yapılır. Serbest basınç deneyleri ASTM D 2166-00 'ye uygun olacak şekilde yapılmıştır (ASTM, D., 2006). Daha önceden elenmiş ve kurutulmuş malzemeye belirlenen oranlarda katkı malzemeleri eklenerek iyice karıştırılmış ve su eklenip yeterli ölçüde sıkıştırılarak şekil verilmiştir. Çapı 5 cm, yüksekliği 10 cm olacak şekilde silindirik olarak hazırlanan bu numuneler serbest basınç deneyine tabi tutularak serbest basınç dayanımı değerleri ve bu değer yarısına tekabül eden drenajsız kayma mukavemeti değerleri belirlenmiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Deneyde kullanılan bazalt fiberin üretici firmadan alınan fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2’de, mermer tozunun kimyasal özellikleri Çizelge 3’te verilmiştir.

Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2,8
Elastisite Modülü (Gpa)	89
Çekme Dayanımı (Mpa)	4840
Maksimum Uzama Oranı(%)	3,15
Lif Çapı (µm)	15
Lif Uzunluğu (mm)	24

Çizelge 2 : Bazalt fiberin özellikleri

Bileşenler	Değer
SiO ₂	0,36
Al ₂ O ₃	0,28
Fe ₂ O ₃	0,04
CaO	54,98
MgO	0,62
Na ₂ O ₃	0,03
K ₂ O	0,07
SO ₃	0,06
CaO ₂	43,56

Çizelge 3: Mermer tozunun özellikleri

Yapılan elek analizi, kıvam limitleri ve proktor deneyleri sonucunda zeminin mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Zeminin kendi kayma dayanımı değeri için katkı malzemesiz numune hazırlanmış ve serbest basınç deneyi yapılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 4’te verilmiştir.

Tane Dağılımı	
<4,76 mm (%)	99,33
<0,075 mm (%)	42,46
Kıvam Limitleri	
Likit limit (%)	40
Plastik Limit (%)	20,83
Plastisite indisi(%)	19,17
Optimum Su Muhtevası (%)	16
Zemin Sınıfı	SC
Kayma Dayanımı (kPa)	65

Çizelge 4: Zemin Özellikleri

Mermer tozu ve bazalt fiber malzemeleri zemin numunelerine %0,5, %1, %1,5, %2, %2,5, %3 oranlarında eklenmiştir. Malzemeler, homojen bir birleşim elde edebilmek amacıyla zemin

kuruyken eklenerek karıştırılmış ve sonrasında optimum su muhtevası oranında su eklenerek şekil verilmiştir. Deney sonucunda elde edilen serbest basınç dayanımı ve drenajsız kayma mukavemeti değerleri Çizelge 5 ve Çizelge 6’da verilmiştir.

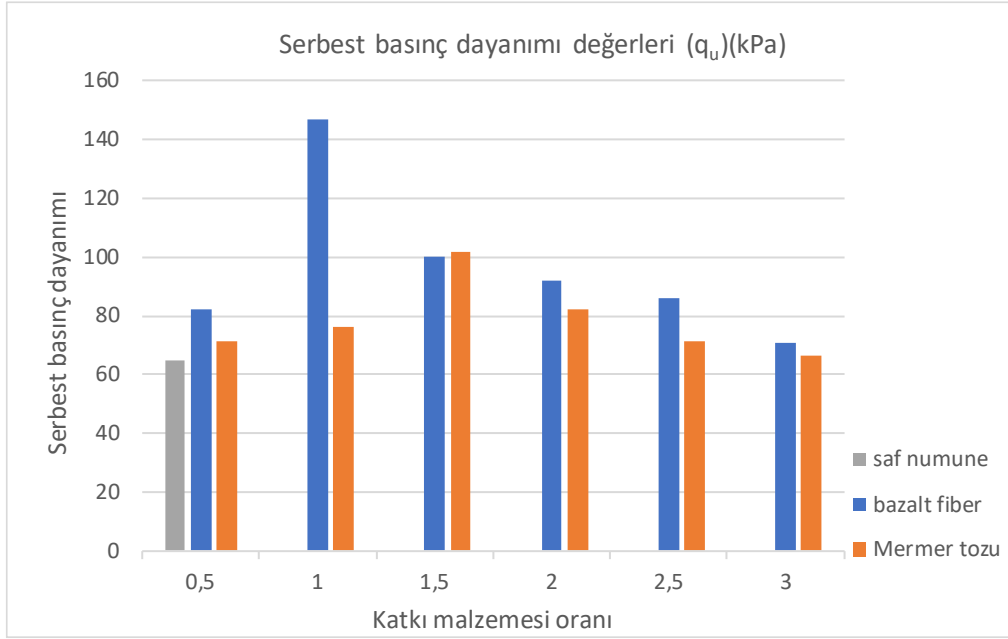
Zeminin katkı malzemesiz kayma dayanımının 65 kPa olduğu Çizelge 4’te verilmiştir. Buradan yola çıkarak eklenen katkı malzemelerinin kayma dayanımını belli oranlarda arttırdığı Şekil 2 ve Şekil 3’ten anlaşılmaktadır. Serbest basınç dayanımı değerinin en yüksek olduğu değerin (147 kPa) %1 bazalt fiber oranında olduğu ve bu değerden sonra dayanımın düşüşe geçtiği görülmektedir (Şekil 2). Mermer tozu içinse en yüksek dayanım değerinin (101,8 kPa) %1,5 oranında görüldüğü ve bu değerden sonra düşüşe geçtiği görülmektedir (Şekil 2). Karşılaştırma yapıldığında genel olarak bazalt fiberin daha yüksek dayanım değeri verdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak bazalt fiberin yüksek çekme dayanımı, zeminle etkileşiminin mermer tozuna oranla daha iyi olması, karışım oluşturulurken bazalt fiberlerin ayrışarak elyaf haline gelmesi ve zeminle bütünleşmesi gösterilebilir. Mermer tozu ise kristal yapısından kaynaklı olarak su emilimini dengeli olarak sağlayamadığından zeminle tam olarak bütünleşememiş ve bazalt fibere göre daha düşük değerler vermiştir. Drenajsız kayma mukavemeti değerleri de her iki malzeme için benzer doğrultuda artmış ve maksimum değeri gördükten sonra düşüşe geçmiştir. (Şekil 3).

Bazalt fiber oranları	q_u (kPa)	c_u (kPa)
0,5	82	41
1	147	73,5
1,5	100	50
2	92	46
2,5	86	43
3	71	35,5

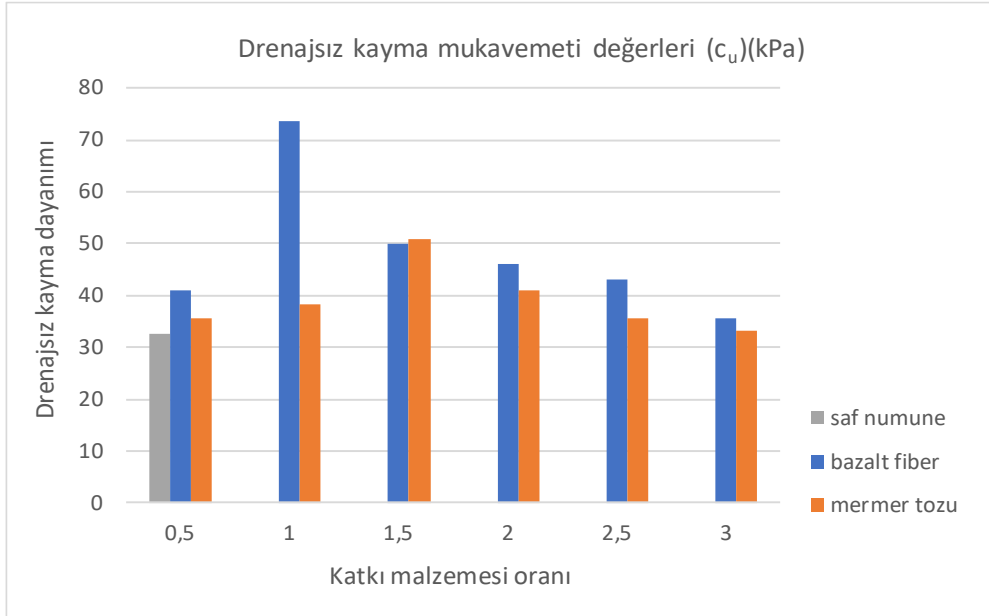
Çizelge 5 :Bazalt fiber değerleri

Mermer tozu oranları	q_u (kPa)	c_u (kPa)
0,5	71,3	35,6
1	76,4	38,2
1,5	101,8	50,9
2	82	41
2,5	71,3	35,6
3	66,2	33,1

Çizelge 6: Mermer tozu değerleri



Şekil 2: Serbest basınç dayanımı değerleri



Şekil 3: Drenajsız kayma mukavemeti değerleri

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada zemin iyileştirme amacıyla kullanılan ve benzer özellikler gösteren mermer tozu ve bazalt fiber katkı malzemelerinin zeminlerin kayma mukavemetine etkileri karşılaştırılmıştır. İlk olarak zemin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla elek analizi, kıvam limiti, proktor deneyleri yapılmıştır. Yapılan elek analizi sonucu USCS Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM D2487-11)'ne göre zemin sınıfı SC (killi kum) olarak tayin edilmiştir. Kıvam limiti deneyleri sonucunda düşük plastisiteli olduğu tespit edilen SC zeminin proktor deneyi sonucunda optimum su muhtevası %16 olarak belirlenmiştir. Daha sonra zemin iki gruba ayrılmıştır. İlk gruba mermer tozu ikinci gruba bazalt fiber eklenmiştir. Kayma mukavemeti değerini belirlemek için seçilen serbest basınç deneyi, bu iki malzemenin zemin

numunelerine aynı oranlarda eklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Bu oranlar sırasıyla %0,5, %1, %1,5, %2, %2,5, %3 olarak seçilmiştir. Numuneler ikili gruplar şeklinde sırayla deneye tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarından anlaşıldığı üzere katkı malzemelerinin oranları belirli bir değere kadar arttıkça serbest basınç mukavemeti ve dolayısıyla drenajsız kayma mukavemeti de artmaktadır. Ancak bu maksimum değerden sonra dayanım değerlerinde belirli bir azalma görülmüştür. İki malzemenin de miktarı arttıkça zemin içerisindeki homojen dağılımının zorlaşması ve malzemelerin zeminle yeterince reaksiyona girememesi bu azalmaya sebep gösterilebilir. Ayrıca zemine katkı malzemesi olarak eklenen bazalt fiberin genel olarak mermer tozundan daha yüksek dayanım değeri verdiği yapılan deneylerden açıkça anlaşılmaktadır. Bazalt fiberde en yüksek dayanım değeri (147 kPa) %1 oranda görülürken en düşük dayanım değeri (71 kPa) %3 oranda görülmüştür. Mermer tozunda ise en yüksek değer (101,8 kPa) %1,5 oranda görülürken en düşük değer (66,2 kPa) %3 oranda görülmüştür. Saf numunenin dayanım değeri (65 kPa) göz önüne alındığında tüm katkı malzemesi oranlarında dayanım değerinde bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Deney sonuçlarından anlaşıldığı üzere atık mermer tozunun ve bazalt fiberin zeminin serbest basınç dayanımını arttırdığı ve dolayısıyla zemin iyileştirmede kullanılabileceği, ayrıca karşılaştırma yapıldığında bazalt fiberin mermer tozuna göre daha yüksek serbest basınç dayanımı ve drenajsız kayma mukavemeti değeri verdiği tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Selçukhan, O., & Ekinci, A. (2020). Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 481-496.
- Muratoğlu, İ., 2010, Atık Mermer Tozu Katkılı Killi Zeminlerin Konsolidasyon ve Permeabilite Özelliklerinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi
- Gücek, S. (2011). Mermer Tozu ve Uçucu Külün Kil Zeminlerin İyileştirilmesinde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Zorluer, İ., & Usta, M. (2003). Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2003) Bildiriler Kitabı Aralık 2003, Afyonkarahisar Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Bölümü, Afyonkarahisar.
- Gamerio, F., Brito, J. and Silva, D. (2014). Durability performance of structural concrete containing fine aggregates from waste generate by marble quarrying industry, *Engineering Structures*, **59**:654-662
- Görgün, B. ve Ural, N. (2015). Mermer atığının geoteknik mühendisliğinde kullanılması, 2nd International Builddings Symposium (ISBS), Ankara
- Taşpolat, LT., Zorluer, İ., & Koyuncu, H. (2006). Atık mermer tozunun geçirimsiz kil tabakalarda donma- çözülmeye etkisi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2006(2) 11-16.
- King, M. F. L., Srinivasan, V., and Purushothaman, T. 2014. Basalt fiber: an ancient material for innovative and modern application. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 22 (2): 308-312, ISSN: 1990-9233.
- Kale, R. Y., Neha, D., Sakshi, M., Gaurav, A., Pranit, J., Vaishnavi, R., & Chetan, R. (2020). Soil stabilization by using basalt fibers. *International Journal of Scientific Research & Engineering Trends*, 6(3), 1931-1935

- A. Kenan ve A. Özocak, "Bazalt fiber katkısının siltli zeminlerin kayma direncine etkisi," in *2nd International Symposium on Natural Hazards and Disaster Management*, Sakarya, Türkiye, 2018, ss. 918-924
- L. Gao, G. Hu, N. Xu, J. Fu, C. Xiang and C. Yang, "Experimental study on unconfined compressive strength of basalt fiber reinforced clay soil," *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2015, pp. 1-8, 2015.
- C. P. Ndepete ve S. Sert, "Silt zeminin drenajsız kayma direncinin bazalt fiber katkısı ile artırılması," *7. Geoteknik Sempozyumu*, İstanbul, Türkiye, 2017, ss. 437-448.
- X. Zhuang and X. Yu, "Experimental study on strength characteristics of lime-basalt fiber reinforced expansive soil," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 744, pp. 495-498, 2015
- Palalı, A. (2006), "Handere Kilinde Su İçeriği Değişimi ve Kompaksiyon Enerjisinin Mukavemete olan Etkisi", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans Tezi, Adana
- Coduto, P. (2006), (Çev. Mollamahmutoğlu, M.) "Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar", 39-80, 600-680
- Tumluer, G. (2006), "Çimento Katkılı Kumlu Zeminlerin Mukavemeti", Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 2006
- Bozbey, İ. (2016), "Zemin Sınıflandırması ve Zemin Özellikleri-Laboratuvar Deneyleri", İstanbul Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul. ss 18-19
- Bowles, J. E., *Engineering Properties of Soils and Their Measurement*, Fourth Edition, Irwin/McGraw- Hill, U.S.A., 21 pp., 1992.
- Al-Khafaji, A. W. and Andersland, O. B., *Geo-technical Engineering & Soil Testing*, Sounders College Publishing, U.S.A., 88 pp., 1992.
- <https://volkanatabey.com.tr/standart-proktor-deneyi/>
- Astm, D. (2006). 2166. Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. *Annual Book of ASTM standards*, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.