



Makale / Research Paper

Zemin Stabilizasyonunda Midyat Taşı Atıklarının Kullanılabilirliği

Fatih YILMAZ^{*1}, Vedat DUMAN²

¹Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 69000 Bayburt/TÜRKİYE

²Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 69000 Bayburt/TÜRKİYE

fyilmaz@bayburt.edu.tr

Received/Geliş: 18.03.2020

Accepted/Kabul: 02.05.2020

Öz: Zayıf zeminlerin geoteknik özelliklerinin ıslah edilmesi zemin stabilizasyonu olarak nitelendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında zemin stabilizasyonunu gerçekleştirmek için Midyat taşının endüstriyel katı atıkları kullanılmıştır. Düşük plastisiteli killi bir zeminin ıslahında değerlendirilen Midyat taşı atıkları %5, %10, %15 ve %20 katkı yüzdelerinde doğal zemin ile karıştırılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, farklı bir bağlayıcının varlığına ihtiyaç duyulmuş ve kireç birincil bağlayıcı olarak seçilmiştir. Kireçli ve kireçsiz %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Midyat taşı atığı içeren karışımlarda indeks, dayanım ve durabilite testleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçları incelendiğinde, Midyat taşı atığının tek başına katkı maddesi olarak kullanılmasının dayanım ve durabilite değerleri üzerinde etkisiz olduğu belirlenmiştir. Kireçle beraber kullanımda ise sadece kireçle stabilize edilmiş numuneye göre %49 oranında dayanım artışı tespit edilmiştir. Midyat taşı katı atıklarının donma-çözülme üzerinde etkisinin çok kısıtlı olduğu, ıslanma-kuruma üzerinde daha etkili olduğu belirlenen çalışma neticesinde, bu atıkların kireçle beraber düşük plastisiteli zeminlerin stabilizasyonunda kullanılabilir oldukları sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Zemin stabilizasyonu, kireç, kil, Midyat taşı, dayanım, durabilite

Usability of Midyat Stone Wastes in Soil Stabilization

Abstract: Improving the geotechnical properties of weak soils is described as soil stabilization. In this study, industrial wastes of Midyat stone were used to carry out soil stabilization. Midyat stone wastes, which are evaluated in the improvement of a low plasticity clay soil, were mixed with natural soil at 5%, 10%, 15% and 20% additive percentages. In the light of the data obtained, the presence of a different binder was needed and lime was chosen as the primary binder. Index, strength and durability tests were carried out in mixtures containing 5%, 10%, 15% and 20% Midyat stone waste with and without lime. When the results of the experiments were examined, it was determined that the use of Midyat stone waste as an additive alone was ineffective on strength and durability values. In use with lime, 49% increase in strength has been determined compared to only lime sample. As a result of the study determined that the effect of Midyat stone wastes on freezing-thawing is very limited and more effective on wetting-drying, it was concluded that these wastes can be used for stabilization of low plasticity soils with lime.

Keywords: Soil stabilization, lime, clay, Midyat stone, strength, durability

1. Giriş

Dünyadaki hızlı nüfus artışına bağlı olarak tüketim artışı meydana gelmektedir. Artan tüketimle beraber dünyada ve ülkemizde doğal kaynaklar hızla azalmaktadır. Bunun neticesinde, hızlı iktisadi büyüme, şehirleşme ve sanayinin giderek büyüyüp gelişmesi atık üretiminde artışa yol açmaktadır. Hızlı bir şekilde artıp farklılaşan tüketim neticesinde ortaya çıkan katı atıklar, hem insan sağlığını hem de çevreyi olumsuz etkilemesiyle önemli bir sorun haline gelmiştir [1]. Özellikle endüstri ve sanayileşme yoğunluklu yerlerde çevresel sorunlar zamanla büyüyen bir problem haline gelmiştir.

Bu makaleye atf yapmak için

Yılmaz, F., Duman, V. "Zemin Stabilizasyonunda Midyat Taşı Atıklarının Kullanılabilirliği" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(2); 848-857.

How to cite this article

Yılmaz, F., Duman, V. "Usability of Midyat Stone Wastes in Soil Stabilization" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(2); 848-857.

Katı atıklar evsel, endüstriyel ve ticari şeklinde sınıflara ayrılmakla beraber, bu atıkların yeniden kullanımı için birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında kullanılan Midyat taşlarının kimyasal yapılarında %40 oranlarında bulunan MgO içeriği ele alınan taşların dolomit ile dolomittik kireçtaşları sınıfında olduğunu göstermektedir [2]. Bu taşlar Mardin'in Midyat ilçesindeki taş ocaklarından elde edilen ve katori taşı olarak ta bilinen kireçtaşı olup, birçok antik yapıda kullanılmıştır. Midyat taşı ile yapılmış yapılardan örnekler Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Midyat taşı ile yapılmış yapılardan örnekler [2]

Zemin iyileştirmesinde kireç, çimento ve bitümlü malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kireç ile iyileştirme neticesinde zemin malzemesinde kısa sürede optimum su muhtevası ve CBR (Kaliforniya taşıma oranı) değerlerinde artışlar meydana gelmekte, proktor yoğunluklarında düşüşler yaşanmakta, plastisite indislerinde azalmalar meydana gelmektedir [3]. Kireç ve yeterli su miktarıyla reaksiyona giren Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve özellikle SiO_2 mineralleri büyük puzolanik aktivite oluşturmaktadır. Bundan dolayı killi zeminlerin iyileştirilmesinde kireç ile beraber puzolanik malzeme kullanılması oldukça yaygın bir yöntemdir. Aynı zamanda kireç katkısı olmadan yapılmış birçok iyileştirme çalışması literatürde mevcuttur. Termik santral atık ürünlerinin iyileştirme çalışmalarında kullanılması endüstri atıklarından iktisadi yarar sağlanabileceğini gözler önüne sermektedir [4].

Eades ve Grim çalışmalarında, çeşitli ölçülerde kireç kullanarak, serbest basınç testinde kullanılacak karışımlar hazırlamış ve analizler gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları neticesinde arttırılan kireç katkısının dayanımı %200-%1000 oranlarında arttırdığı saptanmıştır [5]. Al-Mukhtar vd. tarafından yapılan çalışmada, killi bir zeminin kireç ile stabilizasyonunun neticesinde $50^{\circ}C$ 'de küre tabii tutulmasının puzolanik özelliklerde ve zemin özelliklerinde artışa neden olduğu belirlenmiştir [6]. Tonoş vd., Ankara killilerine %0, %2, %4, %6, %8 ve %10 oranında kireç katkısı ekleyerek stabilizasyon çalışması yapmışlardır. Çalışma neticesinde %4 kireç katkısı ve 28 gün kür süresinin dayanımı %85 oranında arttırdığı tespit edilmiştir [7]. Kassim ve Chern tarafından, Malezya'da bulunan kohezyonlu bir zemine %3-%6 oranında kireç katkısı eklenerek stabilizasyon çalışması yapılmıştır. 14 günlük kür sürecinin ardından çalışmadan elde edilen veriler ışığında, katkılı numunelerin katkısız numunelere göre dayanımı 11 kat fazla çıkmıştır [8]. Faluyi ve Amu, kırmızı killi bir zemine %10 oranında kireç ilavesi yaparak karışımın pH değerindeki değişimlerini incelemişlerdir. Asidik değerlerden alkali değerlere doğru bir geçiş olduğu saptanmıştır. Çalışma neticesinde kireç katkısında kimyasal değişimlerin gerçekleştiği gözlemlenmiştir [9]. Zukri, gerçekleştirdiği çalışmada yumuşak Pekan killilerinin optimum kireç yüzdesini Eades-Grim pH testiyle irdelemiştir. Stabilizasyon çalışmasında optimum kireç oranı %4, optimum nem oranı %13 olarak ayarlandığında killi zeminin pH seviyesinin 12'ye çıktığını tespit etmiştir. Çalışma neticesinde Pekan killilerinin ulaştırma altyapısının yapımında kullanılabileceği sonucuna varmıştır [10].

Yılmaz ve Demir tarafından gerçekleştirilen çalışmada, doğal zemine belirlenen oranlarda silis dumanı ve kireç ekleyerek numunelerin dayanım ve durabilite davranışları incelenmiştir. Çalışma sonucunda silis dumanı ile kireç içeren karışımların sadece kireç içeren SL karışımlarından daha yüksek dayanım değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir ve silis dumanının durabilite üzerinde olumlu

etkilere sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [11]. Sezer vd. tarafından, İzmir'den getirilen kil yoğunluklu bir zemine %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç ve %15, %20 oranlarında uçucu kül katkısının kompaksiyon ve serbest basınç dayanımları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde edilen veriler ışığında optimum kür süresini 28 gün, optimum kül oranını %15 şeklinde bulunmuştur [12]. Huat vd. tarafından, tropikal bir bataklık zemin %5, %10, %15 oranlarında çimento ve %10, %20, %25 oranlarında kireç ile stabilizasyona tabi tutulmuş ve kıvam, kompaksiyon ve dayanım deneyleri yapılmıştır. Çalışmaları sonucunda tropikal bataklık zeminde çimento ile zemin stabilizasyonunun, kireç ile stabilizasyona göre daha etkin dayanım değeri verdiği saptanmıştır [13]. Yılmaz ve Fidan tarafından ıslanma-kuruma döngüsünün volumetrik kararlılığa etkisini araştırılmıştır. Killi bir zemin % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 ve % 30 oranlarında farklı inceliklerde perlit katkısı ilave ederek 28 günlük küre tabi tutulmuş ve durabilite testleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma neticesinde ıslanma-kuruma döngüsüne, zemin, kireç ve %10 perlit katkılı örneklerin dayanıklılık sağladığı belirtilmiştir [14].

Atom ve Al-Sharif tarafından yapılan çalışmada, endüstriyel zeytinyağı atığının 550° C sıcaklıkta yakılması sonucunda ortaya çıkan atık malzeme iyileştirme çalışmalarında kullanılmıştır. Çalışma sonucunda atık malzeme külünün plastik olmayan yapısının ve yapısındaki CaO içeriğinin zeminde iyileşmelere sebep olduğu görülmüştür [15]. Yılmaz, çalışmasında kil oranı yüksek bir zemine %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında uçucu kül ilavesiyle oluşturulan karışımların dayanım değerlerini irdelemiştir. Çalışma neticesinde, en iyi dayanım değerlerinin %25 uçucu kül kullanıldığı karışımdan elde edildiği belirlenmiştir [16]. Miller ve Azad, çimento üretim fabrikalarının bacalarından elde edilen kül ile yapılan zemin iyileştirme çalışmasındaki deneysel verilere zemin cinsinin etkisini irdelemişlerdir. Üç zemin cinsiyle gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde, numunelerin pH verileri, plastisite indisi değerleri ve basınç dayanımlarında meydana gelen değişimler arasında ilişkiler tespit edilmiştir [17]. Kumar ve Sharma tarafından, uçucu kül katkısının şişen zemin üzerindeki etkisi şişme yüzdesi ve basıncı, kompaksiyon, dayanım ve geçirimsizlik yönünden irdelenmiştir. Çalışma sonucunda artan uçucu kül katkı miktarının serbest basınç dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir [18]. Lin vd. tarafından yapılan çalışmada değişik yüzdelerde atık çamur külü ile uçucu külün, A-4 zemin sınıfında bulunan doğal malzemede meydana getirdiği değişimler mukayese edilmiştir. Çalışma neticesinde atık çamur külünün uçucu kül kadar iyi bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiş ve optimum atık çamur külü miktarı %8 olarak bulunmuştur [19]. Brooks, zemin stabilizasyonunda uçucu kül ile pirinç kabuğu külünün kullanılabilirliği üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda, %25 uçucu kül ile %12 pirinç kabuğu külünün zeminde maksimum dayanıma yol açtığı görülmüştür [20]. Taş vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada, killi bir zemine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Bayburt taşı endüstriyel atıkları ve uçucu kül eklenerek stabilizasyonun indeks ve dayanım üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler ışığında, Bayburt taşı ve uçucu külün beraber kullanılmasının dayanımı arttırdığı sonucuna varılmıştır [21]. Yılmaz vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada yüksek plastisiteli kil sınıfında bulunan zemine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Beyaz Bayburt Taşı atıkları ilave edilmiş ve zemin mekaniği deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre, Beyaz Bayburt Taşı atıklarının zeminde %45 oranında dayanım artışı sağladığı belirlenmiştir [22]. Yılmaz ve Yurdakul tarafından yapılan çalışmada atık mermer tozunun zemin ıslahında kullanımını irdelenmiş ve bu kapsamda hazırlanan karışımlara kompaksiyon, Atterberg limitleri, serbest basınç ve durabilite deneyleri uygulanmıştır. Çalışma neticesinde mermer tozu atığının, zemin stabilizasyonu açısından etkili bir uygulama olduğu tespit edilmiştir [23]. Çimen vd., tarafından yapılan çalışmada yüksek plastisiteli bir kile %2, %5, %10, %15, %20, %25, %30 ve %35 oranlarında 40 nolu elekten geçirilmiş inşaat yıkıntı atıkları ilave edilmiş ve şişme potansiyeli, kompaksiyon ve serbest basınç deneyleri uygulanmıştır. Çalışma neticesinde en yüksek serbest basınç değerine %10 ile %20 atık katkı oranlarında ulaşılmıştır [24]. Yarbaşı, çalışmasında killi bir zemine %0.5, %1 ve %2 oranlarında atık lastik katkısı ekleyerek 12 donma-çözülme çevrimi sonucunda dayanımda meydana gelen değişimleri irdelemiştir. Hazırladığı numuneleri 0, 1, 7 ve 28 günlük küre tabi tutup ardından donma-çözülme deneyini gerçekleştirmiştir. Çalışma sonucunda en

iyi kür süresini 28 gün olarak belirlemiş, %13,7 kütle kaybının ve %32,9 dayanım kaybının yaşandığını tespit etmiştir [25].

Bu çalışmanın esas gayesi Midyat taşının işlenmesi esnasında meydana gelen katı atıkların düşük plastisiteli bir zeminin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Çalışma kapsamında, Midyat taş ocaklarından temin edilen Midyat taşı endüstriyel atıklarının kireçli ve kireçsiz olarak zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği irdelenmiştir. Kireçli ve kireçsiz %5, %10, %15, %20 oranlarında Midyat taşı atığı içeren karışımlarda indeks, dayanım ve durabilite testleri gerçekleştirilmiş ve zeminin mühendislik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

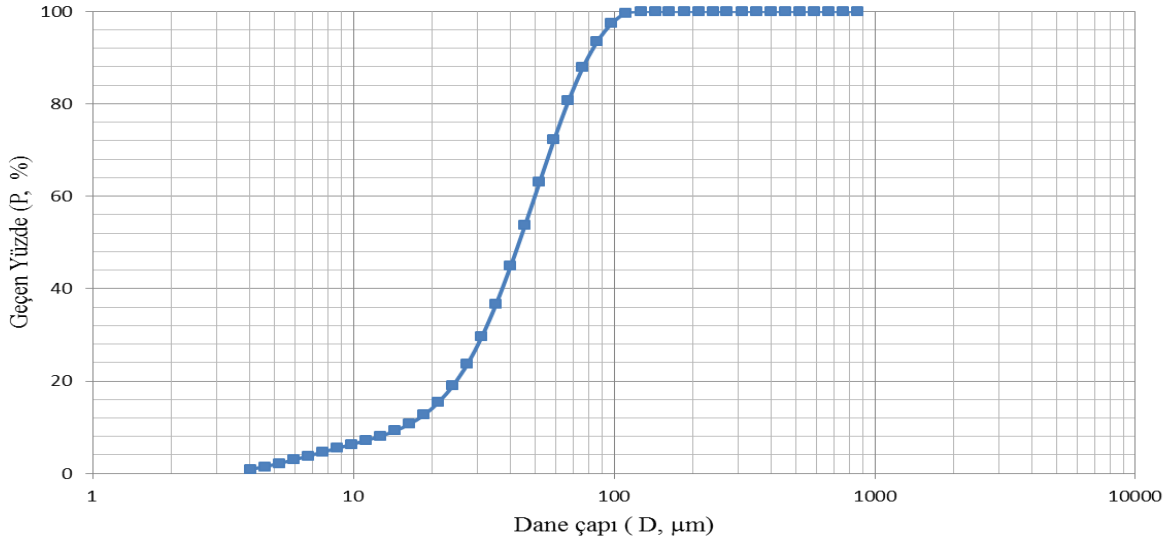
Bu çalışma kapsamında uygulanan deneylerde kullanılan malzemeler; doğal zemin, sönmüş kireç ve Midyat taşlarıdır. Doğal zemin, Bayburt ili merkez ilçesinden temin edilmiştir. Çalışma öncelikle silt boyutuna kadar öğütülen Midyat taşı atıklarının zemine doğrudan ilave edilmesiyle başlamıştır. Elde edilen veriler bir birincil bağlayıcının varlığını gerektirmiş ve birincil bağlayıcı olarak kireç seçilmiştir. Literatür çalışmaları [26-29] irdelenerek kireç katkısının %6 oranında karışıma ilave edilmesi uygun görülmüştür. Doğal zemine, %6 oranında kireç ilaveli ve kireç ilavesiz şekilde %5, %10, %15 ve %20 oranlarında Midyat taşı katı atığı katılarak çalışmada kullanılacak numuneler meydana getirilmiştir. Deney karışımlarıyla ilgili isimlendirmeler Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Deney numunelerinin adlandırması.

Deney numuneleri	Simge
Doğal zemin	S
Doğal zemin ve Midyat taşı atıkları	SM
Doğal zemin ve kireç	SL
Doğal zemin, kireç ve Midyat taşı atıkları	SLM
Zemin ve %5 Midyat taşı atıkları	SM/5
Zemin ve %10 Midyat taşı atıkları	SM/10
Zemin ve %15 Midyat taşı atıkları	SM/15
Zemin ve %20 Midyat taşı atıkları	SM/20
Zemin, kireç ve %5 Midyat taşı atıkları	SLM/5
Zemin, kireç ve %10 Midyat taşı atıkları	SLM/10
Zemin, kireç ve %15 Midyat taşı atıkları	SLM/15
Zemin, kireç ve %20 Midyat taşı atıkları	SLM/20

3. Bulgular ve Tartışma

Doğal zemin sınıfı; ASTM D 2487 [30] standartlarına göre düşük plastisiteli kil sınıfı (CL) olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfının belirlenmesi için yıkamalı elek analizi ile lazer kırınım metodu uygulanmıştır. Özer ve Orhan tarafından gerçekleştirilen çalışmada, hidrometre metodu ile lazer kırınım metodu karşılaştırılmıştır ve lazer kırınım metodunun hidrometre metoduna göre üstünlükleri gösterilmiştir [31]. Bu nedenle deneysel çalışmada zeminin ince daneli kısımlarında hidrometre metodu tercih edilmeyip lazer kırınım metodu uygulanmıştır. Doğal zemine ait dane boyutu dağılımı Şekil 2’de gösterilmiştir. Doğal zeminin mühendislik özelliklerinin saptanması amacıyla gerçekleştirilen zemin deneylerinin sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur

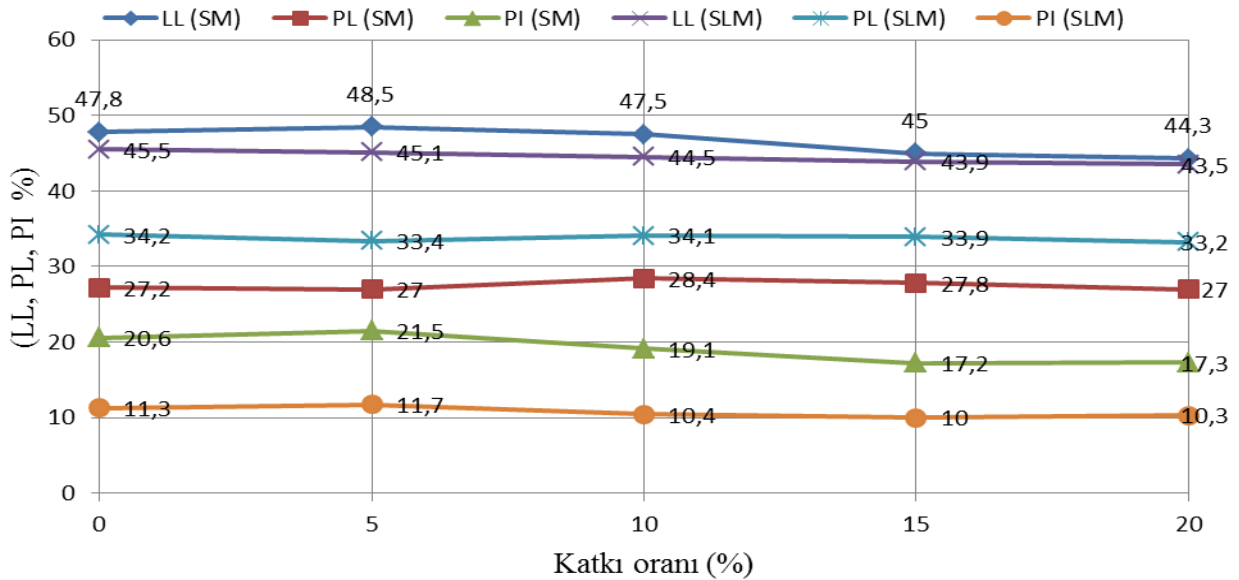


Şekil 2. Doğal zeminin dane boyutu dağılım eğrisi.

Tablo 2. Doğal zeminin özellikleri.

USCS sınıflandırma	CL
Özgül ağırlık, G_s	2,6
Maksimum kuru yoğunluk, ρ_{kmax} (Mg/m^3)	1,64
Optimum su içeriği, w_{opt} (%)	22,8
Likit limit, LL (%)	47,8
Plastik limit, PL (%)	27,2
Plastisite indisi, PI (%)	20,6
Renk	Beyazımsı

Çalışma kapsamında hazırlanan numunelerin ASTM D 4318 [32] standartlarına uygun bir biçimde kıvam deneyleri yapılmıştır. Bu deneylere ait değerler Şekil 3'te gösterilmiştir. Kompaksiyon deneyleri ASTM D 698 [33] standardına göre gerçekleştirilmiş olup sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. Kıvam deneyi sonuçları.

Kıvam limitleri verilerine göre; doğal zeminin likit limit ve plastisite indisi değerlerinin hazırlanan tüm karışımlardan fazla, plastik limit değerinin ise düşük çıktığı tespit edilmiştir. SL numunesinin doğal zemine göre likit limit ve plastisite indisi değerlerinde düşüşler meydana gelmiş, plastik limit değeri artmıştır. SM karışımlarının likit limit değeri %5 katkı değerine kadar yükselirken, daha yüksek katkı oranlarında düşüşe geçtiği gözlenmiştir. Artan katkı oranlarında SLM karışımlarında SL karışımlarına göre plastisite indisi ve likit limit değerlerinde genel olarak düşüşler yaşanmış, plastik limit değerlerinde ise düzensiz bir davranış tespit edilmiştir.

Tablo 3. Kompaksiyon parametreleri.

Numune	Maksimum kuru yoğunluk (Mg/m ³)	Optimum su içeriği (%)
S	1,64	22,8
SM/5	1,67	20,8
SM/10	1,67	20,2
SM/15	1,69	18,7
SM/20	1,67	18,9
SL	1,61	24,7
SLM/5	1,62	26
SLM/10	1,62	26,2
SLM/15	1,64	25,6
SLM/20	1,67	25,5

Tablo 3'te sunulan kompaksiyon sonuçlarına göre; SL karışımlarının optimum su içeriği değerinin doğal malzemeye göre arttığı, maksimum kuru yoğunluk değerinin ise azaldığı görülmüştür. SM karışımlarının genel olarak doğal malzemeye göre maksimum kuru yoğunlukları artarken, optimum su içeriklerinde ise az da olsa düşüşler olduğu tespit edilmiştir. SLM karışımlarının doğal malzemeye nazaran maksimum kuru yoğunlukları azalırken, optimum su içerikleri %15 katkı oranına kadar artış sergilemiştir. SLM numunelerinin, SL numunesine kıyasla maksimum kuru yoğunlukları ve optimum su içeriklerinde artışlar olduğu belirlenmiştir.

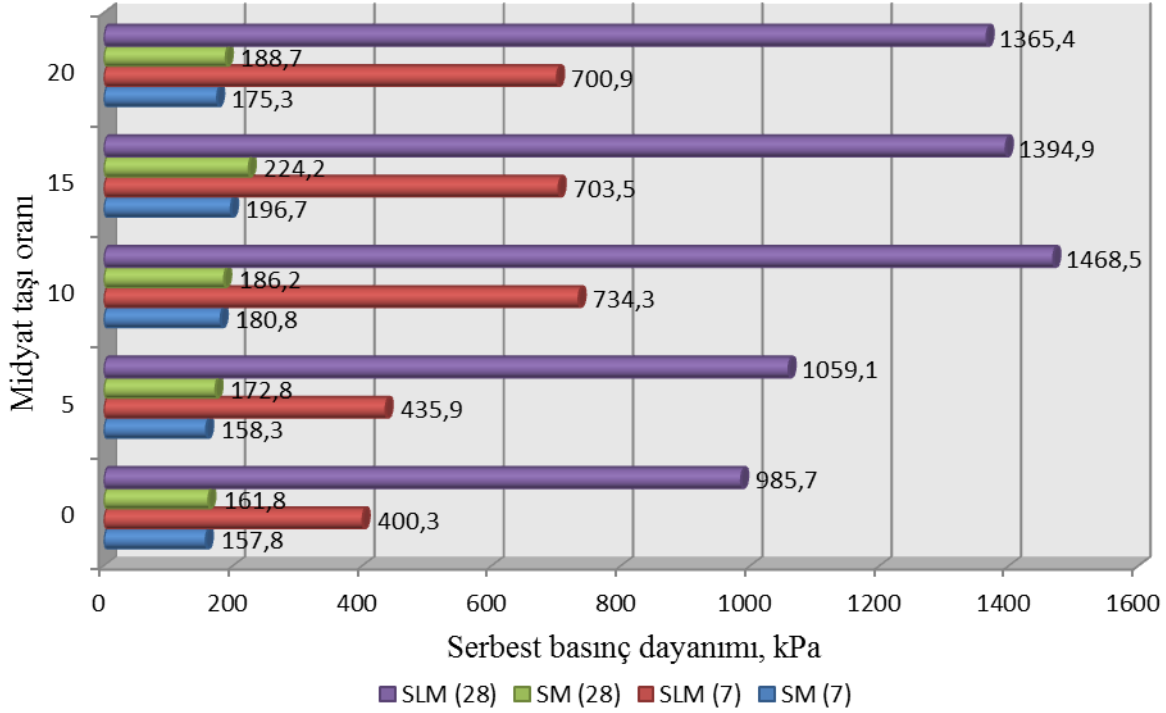
Serbest basınç deneyi numuneleri 100 mm yüksekliğinde ve 50 mm çapında silindirik numuneler olarak hazırlanmıştır ve deneyler ASTM D 2166 [34] standardına uygun bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Kür süreleri 7 ve 28 gündür. Tablo 4'te numunelerin 7 ve 28 günlük kür süreleri neticesindeki serbest basınç dayanım değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4. Serbest basınç dayanımı sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kPa)	
	7.gün	28.gün
S	157,8	161,8
SM/5	158,3	172,8
SM/10	180,8	186,2
SM/15	196,7	224,2
SM/20	175,3	188,7
SL	400,3	985,7
SLM/5	435,9	1059,1
SLM/10	734,3	1468,5
SLM/15	703,5	1394,9
SLM/20	700,9	1365,4

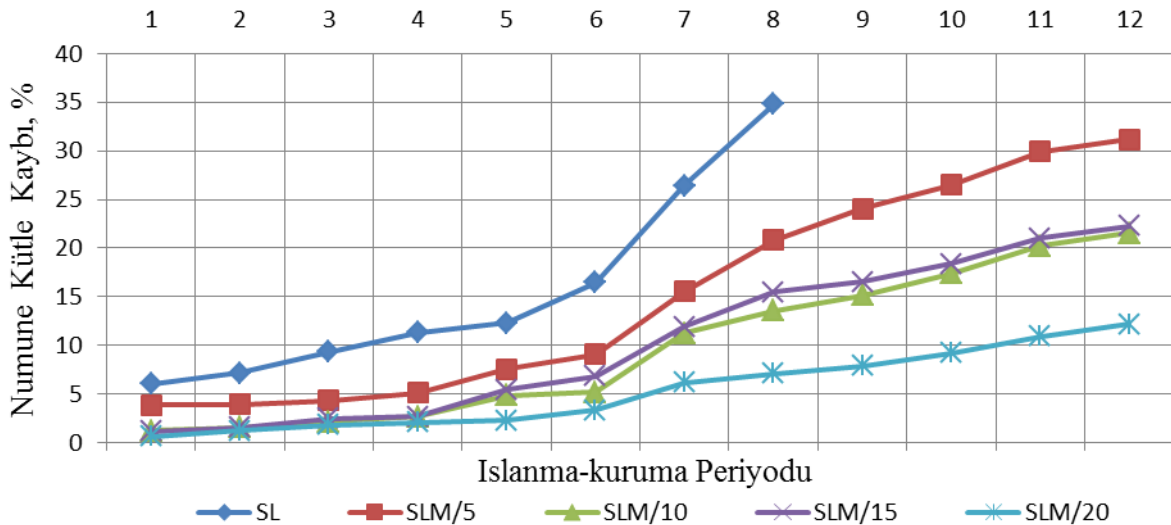
Serbest basınç dayanımı sonuçlarına göre, doğal zeminin basınç dayanımlarında, 7 ve 28 günlük kür süreleriyle beraber anlamlı bir değişiklik meydana gelmemiştir. SM numunelerinin 7 ve 28 günlük

kür süresi neticesinde elde edilen dayanım değerlerinde herhangi etkin bir değişiklik tespit edilememiştir. SLM numunelerinde ise 7 günlük kür süresi sonucunda elde edilen en yüksek dayanım değeri SLM/10 katkı oranıyla elde edilmiş ve kireç katkılı doğal zemine göre %83,5 gibi önemli bir oranla dayanım artışı meydana getirmiştir. SLM karışımlarının 7 günlük kür süreci sonundaki serbest basınç dayanım sonuçları SM numunesine kıyasla daha yüksek belirlenmiştir. Artan Midyat taşı atığı yüzdelerinde SLM numuneleri %10 oranına kadar dayanım artışı sağlamış, daha yüksek oranlarda dayanımda düşümlere sebep olmuştur.



Şekil 4. SM ile SLM karışımlarının serbest basınç dayanımı verileri.

28 günlük kür süreleri incelendiğinde SM numunelerinde en yüksek dayanım değeri SM/15 katkı oranıyla elde edilmiş ve doğal zemine göre %40 oranında dayanım artışı sağlanmıştır. SLM numunelerinde ise en yüksek dayanım değeri SLM/10 numunesinden 1468,5 kPa olarak elde edilmiş olup, kireç ilaveli doğal zemine göre %49 gibi önemli bir oranda dayanımı artışı sağlamıştır.

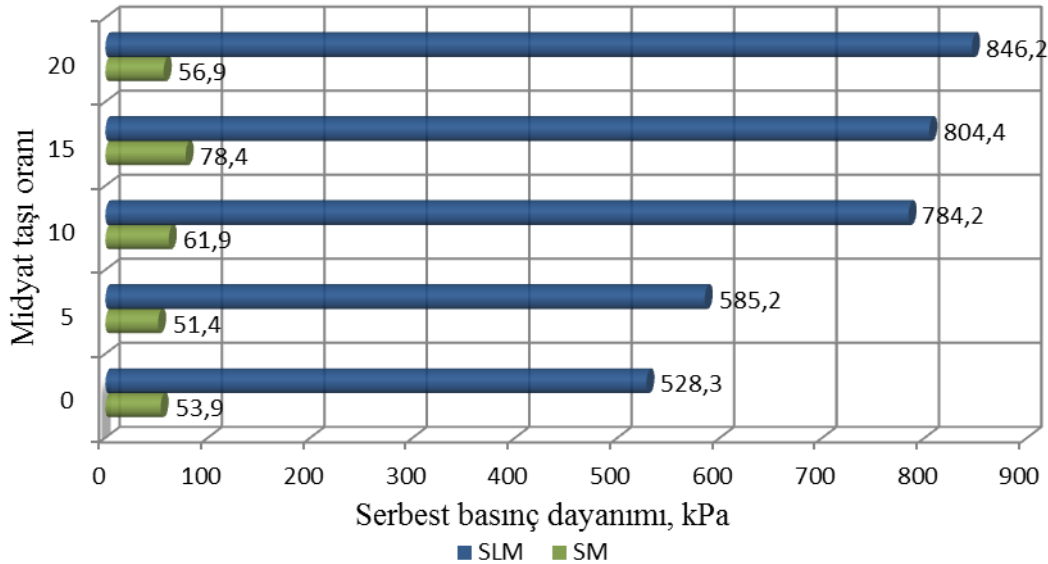


Şekil 5. SL ve SLM karışımlarının ıslanma-kuruma periyodundaki kütle kaybı eğrileri.

Numuneler 28 günlük kür süresi sonunda ASTM D 559 [35] standardı göz önünde bulundurularak 12 ıslanma-kuruma periyoduna tabi tutulmuşlardır. Gerçekleştirilen deneyden elde edilen değerler Şekil 5'te gösterilmiştir.

Islanma-kuruma deneyleri sonucunda S ve SM numuneleri hacimsel bütünlüklerini birinci günün sonunda kaybederek durabil olmayan bir davranış sergilemişlerdir. Şekil 5'ten görülebileceği üzere, SL karışımları 8 günün sonunda hacimsel bütünlüklerini tamamen kaybetmişlerdir. SLM karışımları ise 12 ıslanma-kuruma periyodu sonucunda hacimsel bütünlüklerini koruyup S, SM ve SL karışımlarına göre daha durabil davranmışlardır. SLM numunelerinin tamamı hacimsel bütünlüklerini korumalarına karşın, içlerinden sadece SLM/20 numunesi izin verilen maksimum kütle kaybı oranını geçmeyip sınır değerler arasında kalmıştır. Verilere göre, Midyat taşı atıklarının tek başına kullanımında ıslanma-kuruma çevrimine karşı etkin olmadığı ancak kireçle beraber kullanımında durabil olduğu tespit edilmiştir.

Hazırlanan numunelere, 28 günlük kür süresi sonrasında ASTM D 560 [36] standartları göz önünde tutularak donma-çözülme deneyi uygulanmıştır. Deney sonucunda elde edilen dayanım verileri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Donma-çözülme deneyi sonuçları

Donma-çözülme sonuçları incelendiğinde, SM numunelerinin dayanımlarında görülen %60-70 oranlarındaki düşüşler Midyat taşı atıklarının donma-çözülmeye karşı dirençsiz olduğunu göstermektedir. Donma çözülmeye tabi tutulan SLM karışımlarında %40-%50 oranında dayanım kayıpları yaşanmıştır. Bu dayanım kayıpları, SL numunesinde meydana gelen dayanım kaybına yakın mertebelere sahiptir. SM karışımlarının, SLM karışımlarına göre donma-çözülme yüzde değişim farkının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. SLM karışımlarının, SM karışımlarına nazaran donma-çözülmede daha etkin olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Midyat taşı atıklarının düşük plastisiteli kil bir zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışma neticesinde, Midyat taşı atıklarının yalnız başına zemin stabilizasyonunda kullanılmasının dayanım değerlerini düşük mertebelerde etkilediği ve durabilite yönünden kayda değer bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Doğal zeminin dayanımı 28 günlük kür süresi sonunda

161,8 kPa iken, sadece Midyat taşı atığı katkısı içeren numuneler içinde maksimum dayanım 224,2 kPa ile SM/15 numunesinden elde edilmiştir. Bu atıkların kireçle beraber kullanılmasının, yalnız kireç kullanılmasına göre dayanım değerlerini %49 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Bu orandaki artış, 1468,5 kPa dayanıma sahip olan SLM/10 numunesinden elde edilmiştir. Kireçle beraber kullanılan Midyat taşı atıkları yalnız kireç kullanımına göre durabilite değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Elde edilen veriler ışığında, Midyat taşı atıklarının kireçle beraber kullanılmasının düşük plastisiteli kil zeminlerin stabilizasyonu için uygun olabileceği görüşüne varılmıştır. Stabilizasyonda kullanılacak katkı maddesinin katı atık olması hem çevresel açıdan hem de iktisadi açıdan oldukça büyük önem arz etmektedir. Farklı zemin cinsleri üzerinde bu katkıların etkisinin incelenmesi ve şişme, geçirimsizlik gibi farklı deneylerin irdelenmesi ileride incelenebilecek çalışma konuları olarak düşünülmektedir.

Kaynaklar

- [1]. Palabıyık H., Altunbaş D., “Kentsel Katı Atıklar ve Yönetimi, Çevre Sorunlarına Çağdaş Yaklaşımlar: Ekolojik, Ekonomik, Politik ve Yönetimsel Perspektifler”, (Ed.) Beta, İstanbul; 2004, p. 103-124.
- [2]. Kaya A.C., “Midyat Taşının Kaplama ve Yapıda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana. (2008).
- [3]. Kavak A., “The Behavior of Lime Stabilized Clays Under Cyclic Loading”, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul. (1996).
- [4]. Bhattacharjee U., Kandpal T.C., “Potential Fly Ash Utilisation in India”, Energy 2002; 27(2): 151-166.
- [5]. Eades J. L., Grim R. E., “A Quick Test to Determine Lime Requirements for Soil Stabilization”, Bulletin No. 139, Highway Research Board, (1966): 61-72.
- [6]. Al-Mukhtar., M Lasledj., A,Alcover JF., “Behaviour and Mineralogy Changes in Lime-Treated Expansive Soil at 50 °C”, Applied Clay Science, 2010, 50(2): 199-203.
- [7]. Tonoz M.C., Ulusay R., Gökçeoğlu C., “Effect of Lime Stabilization on Engineering Properties of Expansive Ankara Clay”, Earth and Environmental Science, 2004(104): 466-474.
- [8]. Kassim K.U., Chern K.K., “Lime Stabilized Malaysian Cohesive Soils”, Jurnal Kejuruteraan Awam, 2004, 16(1): 13-23.
- [9]. Faluyi S.O., Amu O.O., “Effects of Lime Stabilization on the pH Values of Lateritic Soils in Ado-Ekiti”, Nigeria, Journal of Applied Sciences, 2005, 5(1): 192-194.
- [10]. Zukri A., “Pekan Soft Clay Treated with Hydrated Lime as a Method of Soil Stabilizer”, Procedia Engineering, 2013(53): 37-41.
- [11]. Yılmaz F., Demir E., “Freezing-Thawing and Wetting-Drying Behavior of Clayey Soil Stabilized with Lime and Silica Fume”, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2019, 12(3): 1724-1732.
- [12]. Sezer A., İnan G., Yılmaz, H. R., Ramyar K., “Utilization of a Very High LimeFly Ash for Improvement of Izmir Clay”, Building and Environment, 2006 (41): 150-155.
- [13]. Huat B.K., Maail S., Mohamed T.A., “Effect of Chemical Admixtures on the Engineering Properties of Tropical Peat Soils”, American Journal of Applied Sciences, 2005, 2(7): 1113-1120.
- [14]. Yılmaz F., Fidan D., “Effect of Wetting-Drying Cycles on Volumetric Stability of Clayey Soil Stabilized with Lime and Perlite”, European Journal of Technique, 2017, 2(7): 207-218.
- [15]. Attom MF., Al-Sharif MM., “Soil Stabilization with Burned Oil Waste”, Applied Clay Science, 1998 (113): 219-230.
- [16]. Yılmaz F., “Zemin Stabilizasyonunda Uçucu Kül Kullanımı”, ISEM2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality, 4-6 November 2016, Alanya – Turkey.

- [17]. Miller G., Azad S., “Influence of Soil Type on Stabilization with Cement Kiln Dust”, *Journal of Construction Building Materials*, 2000, 14(2): 89-97.
- [18]. Kumar BP., Sharma RS., “Effect of Fly Ash on Engineering Properties of Expansive Soils”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2004, 130(7): 764-767.
- [19]. Lin D.F., Lin K.L., Luo H.L., “A Comparison between Sludge Ash and Fly Ash on the Improvement in Soft Soil”, *Journal of the Air-Waste Management Association*, 2007, 57(1) : 59-64.
- [20]. Brooks R.M., “Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash. Int”, *Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 2009, 1(3): 209-217.
- [21]. Taş M., Yılmaz F., Fidan D., “Uçucu Kül ve Bayburt Taşı ile Zemin Stabilizasyonu”, *Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2018, 12(17): 9-14.
- [22]. Yılmaz F., Kamiloğlu, A.H., Şadoğlu, E., “Katı Atık Yönetimi Kapsamında Beyaz Bayburt Taşının Zemin Stabilizasyonunda Kullanılması” *Uluslararası Çevre ve Ahlak Sempozyumu*, Adıyaman, 2014.
- [23]. Yılmaz F., Yurdakul M., “Evaluation of Marble Dust for Soil Stabilization”, *Acta Physica Polonica A*, 2017: 710-711.
- [24]. Çimen Ö., “Pomzanın Mühendislik Karakteristikleri ve Yüksek Plastisiteli Bir Kilin Stabilizasyonunda Kullanılması”, *Türkiye Pomza Sempozyumu*, Isparta, *Bildiriler Kitabı*: 251-257. 2005.
- [25]. Yarbaşı N., Kalkan E., Akbulut S., “Modification of the Geotechnical Properties, as Influenced by Freeze-Thaw, of Granular Soils with Waste Additives”, *Cold Regions Science and Technology*, 2007, 48: 44-54.
- [26]. Al-Rawas A.A., Taha R., Nelson J.D., Al-Shab T.B., Al-Siyabi H., “A Comparative Evaluation of Various Additives Used in the Stabilization of Expansive Soils”, *Geotechnical Testing Journal*, 2002., 25(2): 199-209.
- [27]. Yıldırım S., “Zeminlerin İncelenmesi ve Temel Tasarımı”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 2002. 438-453.
- [28]. Yılmaz F., “Zemin Stabilizasyonunda Puzolanik Katkı İnceliğinin Dayanıma Etkisi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2017, (17): 1048-1054.
- [29]. Yılmaz F., “Tüfit taşların zemin stabilizasyonunda kireçle birlikte kullanılabilirliğinin standart deneyler ve tomografi tekniği ile araştırılması”, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [30]. ASTM D 2487, 2011. *Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)*, ASTM, Pennsylvania.
- [31]. Özer M., Orhan M., “Zeminlerin Tane Büyüklüğü Dağılımının Lazer Kırınım Yöntemiyle Belirlenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 2007, 10, (3): 331-337.
- [32]. ASTM D 4318, 2010. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*, ASTM, Pennsylvania.
- [33]. ASTM D 698, 2007. *Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*, ASTM, Pennsylvania.
- [34]. ASTM D 2166, (2006). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*, ASTM, Pennsylvania.
- [35]. ASTM D 559, (2003). *Standard Test Methods for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures*, ASTM, Pennsylvania.
- [36]. ASTM D 560, (1996). *Standard Test Methods for Freezing and Thawing Compacted Soil-Cement Mixtures*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, ASTM, Pennsylvania.