

## Uçucu Kül ve Mermer Tozu Katkılarının Zeminin Stabilizasyonuna ve Donma-Çözülmesine Etkisinin Araştırılması

<sup>1</sup>Fatih Yılmaz

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl, fyilmaz@bayburt.edu.tr 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 27.11.2018

Kabul Tarihi: 16.09.2019

### Öz

Zemin stabilizasyonunda farklı katkı maddelerinin davranışı, uzun yıllardan beri geoteknik mühendisliğinde araştırılan bir çalışma alanıdır. Bu çalışmada uçucu kül ve mermer tozu atıkları, katı atık yönetimi kapsamında zemin stabilizasyonu için kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, düşük plastisiteli killi bir zemine %25 uçucu kül ve sırasıyla %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında mermer tozu ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımların indeks ve dayanım gibi geoteknik özellikleri irdelenmiştir. Ayrıca, katkı maddelerinin zeminin donma-çözülme çevrimi sonucundaki dayanım değerlerine etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, uçucu kül+mermer tozu karışımlarının sadece uçucu kül içeren karışımlara göre daha yüksek dayanım sağladığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin stabilizasyonu, Uçucu kül, Mermer tozu, Tek eksenli basınç deneyi, Donma-çözülme deneyi

## Investigation of the Effect of Fly Ash and Marble Powder Additives on Stabilization and Freezing-Thawing of Soil

<sup>1</sup>Fatih Yılmaz

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi, Müh. Fak., İnşaat Müh. Böl, fyilmaz@bayburt.edu.tr

### Abstract

The behavior of different additives in soil stabilization has been investigated for many years in geotechnical engineering. In this study, fly ash and marble dust waste were used for soil stabilization within the scope of solid waste management. In this study, 25% fly ash and 0%, 5%, 10%, 15%, 20% marble dust were added to a low plasticity clayey soil. The geotechnical properties of the prepared mixtures such as index and strength were investigated. In addition, the effect of the additives on the strength values of the freeze-thaw cycle of the soil was investigated. As a result of this study, it was concluded that fly ash+marble dust mixes provided higher strength than mixtures containing only fly ash.

**Keywords:** Soil stabilization, Fly ash, Marble dust, Uniaxial pressure test, Freezing-thawing test

### 1. GİRİŞ

Puzolanlar, tek başına bağlayıcılık özelliği bulunmayan veya bağlayıcılığı oldukça az olan malzemelerdir. Suyun varlığında kalsiyum hidroksitle ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ile birleşince hidrolik bağlayıcılık özelliği gösterirler [1]. Termik santrallerde yakılan pulverize edilmiş kömürden üç tip atık malzeme meydana gelir. Bunlar; taban külü, kazanın dibinde biriken cüruf malzeme ve atık malzemelerin %75-80 kadarını oluşturan uçucu küldür [2]. Uçucu kül, termik enerji santrallerin endüstriyel atığıdır.

Yapılan çalışmalara göre Avrupa ülkelerinde üretilen uçucu külün %95'inden fazla miktarı diğer alanlarda

kullanılabilmektedir [3]. Uçucu külün zemin stabilizasyonunda kullanımı her geçen gün artan bir biçimde devam etmektedir. Farklı tip zeminlerin uçucu kül ile stabilizasyonu çalışmalarında, en etkin stabilizasyonun düşük plastisiteli killerde gerçekleştiği sonucuna varılmıştır [4].

Uçucu kül taşıma gücü düşük ve içinde organik madde ihtiva eden bir zeminde kullanılmış ve taşıma gücü değerlerini arttırdığı [5], yüksek plastisiteli killerin stabilizasyonunda kullanılmış ve zeminin şişme potansiyelini azalttığı [6] tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda ayrıca uçucu kül katkısı ile birlikte zeminin geçirimsizlik değerlerinin azaldığı [7], CBR

ve elastisite modülü değerlerinin arttığı [8], lineer büzülme değerlerinin azaldığı [9], durabilitenin arttığı [10], görünür kohezyon değerlerinin artış eğilimi gösterdiği ve içsel sürtünme açısı değerlerinin azaldığı [11], serbest şişme yüzdesi değerlerinin azaldığı [12] belirlenmiştir. Uçucu külün zemin stabilizasyonu çalışmalarında katkı maddesi olarak tek başına kullanılmasının yanı sıra; fosfojips [13], kireç [14,15], çimento [16] gibi katkılarla beraber kullanıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur.

Sezer vd., İzmir'den temin edilen yüksek plastisiteli killi bir zeminin %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında kireç oranı yüksek olan uçucu kül ile stabilizasyonunu incelemişlerdir ve optimum uçucu kül oranını %15 olarak tespit etmişlerdir [17].

Bin-Shafique vd., düşük ve yüksek plastisiteli iki farklı zeminin uçucu kül ile stabilize edilmesi sonucunda ıslanma-kuruma periyodlarının uçucu kül ile stabilize edilmiş zemin numunelerinde önemli derecede zararlı etkiler meydana getirmediğini tespit etmişlerdir [18].

C ve F tipi olmak üzere iki farklı sınıfı olan uçucu külde, C sınıfı uçucu kül CaO içeriği bakımından daha zengindir ve birincil bağlayıcı olarak kullanılabilir [19].

Aldaood vd., jips ve kireçle yapılan stabilizasyon çalışmasında 7, 14, 28, 90 ve 180 günlük küreler sonunda serbest basınç değerlerinde meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Çalışma sonucunda jips, kireç ve artan kür sürelerinin dayanım değerlerini doğal zemine göre arttırdığı sonucuna varılmıştır [20].

Keskin vd., kireç tozu, pomza ve mermer tozu ile ince daneli zemin stabilizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Dayanım değerleri açısından en yüksek veriler büyükten küçüğe kireç tozu, pomza tozu ve mermer tozundan elde edilmiştir [21].

Türedi, çelikhane cürufu ile stabilizasyon çalışması gerçekleştirmiş ve CBR değerlerinde meydana gelen değişimleri irdelemiştir. Çelikhane cürufunun katkı maddesi olarak kullanılmasıyla birlikte CBR değerlerinde %35 oranında iyileşmelerin meydana geldiği tespit edilmiştir [22].

Yorulmaz, mermer tozunu farklı kür aralıklarında katkı maddesi olarak zemin stabilizasyonu çalışmalarında kullanmıştır. Hazırlanan karışımların mikro yapısal özelliklerinin irdelendiği çalışma neticesinde, kaolin ve dolomit mermer tozu atıklarının CBR değerleri üzerinde pozitif yönde etkili olduğu sonucuna varılmıştır [23].

Yılmaz tarafından yapılan zemin stabilizasyonunda uçucu külün kullanılabilirliğini inceleyen bir çalışmada optimum

uçucu kül oranı %25 olarak tespit edilmiştir [24].

Bu çalışma kapsamında %25 uçucu kül ile zemin karışımına %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında mermer tozu ilave edilerek zeminin dayanım ve indeks özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır.

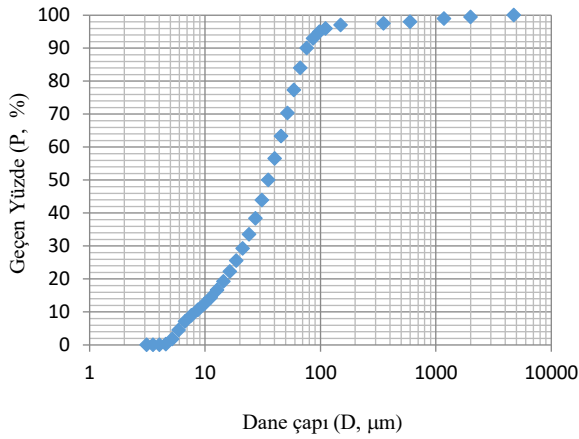
## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler; doğal malzeme, uçucu kül ve mermer tozudur. Doğal malzeme, Bayburt ili Demirözü ilçesinden temin edilmiştir. Deneyler için, literatür çalışmaları incelenerek uçucu külün %25 oranında ilave edilmesi uygun görülmüştür. Doğal malzemeye %25 oranında uçucu kül ve %5, %10, %15, %20 oranlarında mermer tozu ilave edilerek çalışmaya esas olan karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar hazırlanırken doğal malzemeye önce ağırlıkça doğal malzemenin %25'i oranında uçucu kül katılmış, ardından sırasıyla bu karışımın ağırlığının %5, %10, %15, %20'i oranlarında mermer tozu eklenmiştir. Deney numuneleriyle ilgili adlandırılmalar Tablo 1'de verilmiştir. Zemin sınıfı, ASTM D 2487 (2011) standardına göre düşük plastisiteli kil (CL) olarak tespit edilmiştir. Bu zeminin granülometri eğrisini tespit edebilmek için zemine elek analizi ve lazer kırınım testleri uygulanmıştır.

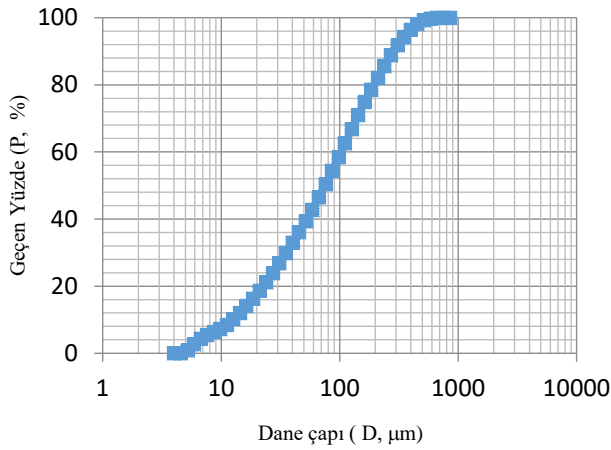
**Tablo 1.** Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar

Deney numunelerinin karışım oranları	Notasyon
Doğal zemin	S
Zemin ve uçucu kül	SFA
Zemin, uçucu kül ve mermer tozu	SFAMP
Zemin, uçucu kül ve %5 mermer tozu	SFAMP/5
Zemin, uçucu kül ve %10 mermer tozu	SFAMP/10
Zemin, uçucu kül ve %15 mermer tozu	SFAMP/15
Zemin, uçucu kül ve %20 mermer tozu	SFAMP/20

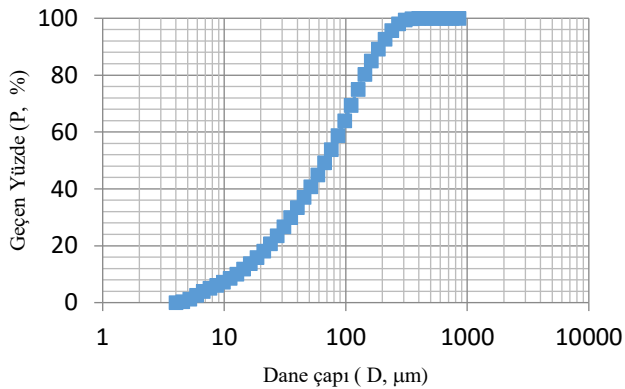
Lazer kırınım yönteminin hidrometre yöntemine göre daha etkin bir yöntem olduğu tespit edilmiştir [25]. Lazer kırınım yöntemi kısa sürede uygulanır. Deney için gerekli örnek miktarı çok azdır. Deneyde tanelerin özgül ağırlığından etkilenme gibi bir durum söz konusu değildir. Ayrıca deney verileri bilgisayarda kayıt altında tutulabilir. Bu gibi nedenler lazer kırınım testini, hidrometre deneyine nazaran daha üstün kılan unsurlardır. Bu nedenle, elek analizi çalışmalarında 200 nolu elek altı zemin malzemesinin dane boyutunun belirlenmesinde hidrometre yöntemi yerine lazer kırınım yöntemi kullanılmıştır. Doğal zemin, uçucu kül ve mermer tozuna ait dane boyutu dağılım eğrileri sırasıyla Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulmuştur. Doğal malzemenin mühendislik özellikleri Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 1. Doğal malzemenin dane boyutu dağılım eğrisi



Şekil 2. Uçucu küle ait dane boyutu dağılım eğrisi



Şekil 3. Mermer tozuna ait dane boyutu dağılım eğrisi

Tablo 2. Doğal zeminin özellikleri

USCS sınıflandırma	CL
Likit limit, LL (%)	48,8
Plastik limit, PL (%)	26,5
Plastisite indisi, PI (%)	22,3
Özgül ağırlık, $G_s$	2,60
Optimum su içeriği, $w_{opt}$ (%)	23,0
Maksimum kuru yoğunluk, $\rho_{kmax}$ ( $Mg/m^3$ )	1,63
Renk	Sarımtırak

### 3. BULGULAR

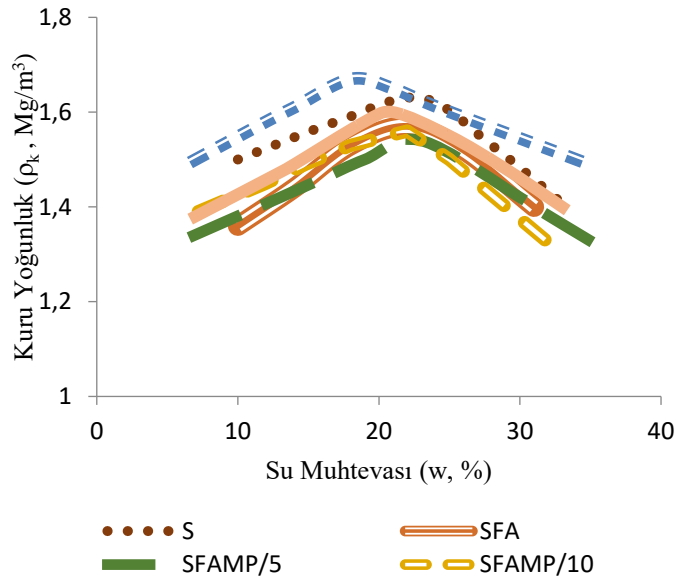
Notasyonları Tablo 1 vasıtasıyla sunulmuş karışımların ASTM D 4318 (2010) standardına uygun olarak yapılan kıvam limitlerinin sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Karışımlara ait kompaksiyon parametreleri değerleri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 3. Deneideki numunelere ait kıvam limitleri

Denei Numuneleri	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)
S	48,8	26,5	22,3
SFA	42,7	33,0	9,7
SFAMP/5	42,3	32,0	10,3
SFAMP/10	42,5	31,0	11,5
SFAMP/15	42,7	32,0	10,7
SFAMP/20	43,2	34,0	9,3

Tablo 4. Karışımlara ait kompaksiyon parametreleri

Numune	Maksimum Yoğunluk, $Mg/m^3$	Kuru Optimum Su İçeriği, %
S	1,63	23,0
SFA	1,57	22,0
SFAMP/5	1,54	23,0
SFAMP/10	1,56	22,0
SFAMP/15	1,60	21,0
SFAMP/20	1,67	18,0



**Şekil 4.** Karışımlara ait maksimum kuru yoğunluk-optimum su muhtevası grafiği

Tek eksenli basınç deneyi için, deney numuneleri 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindirik numuneler olarak hazırlanmıştır. Kür süreleri 7, 28 ve 84 gün olarak belirlenmiştir ve bu kür süreleri sonunda karışımları tek eksenli basınç dayanımları belirlenmiştir.

Tablo 5'te karışımlara ait tek eksenli basınç dayanımı değerleri sunulmuştur.

**Tablo 5.** Karışımlara ait tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

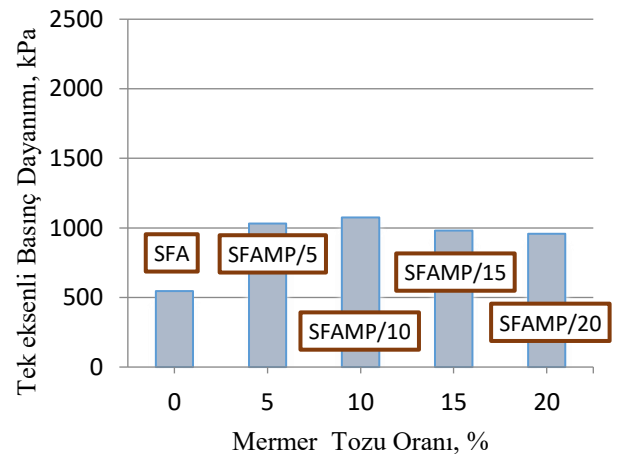
Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kPa)		
	Kür Süresi		
	7. gün	28. gün	84.gün
S	159,42	170,71	189,91
SFA	545,46	847,55	1210,89
SFAMP/5	1031,60	1564,00	1956,00
SFAMP/10	1075,51	1821,80	2170,00
SFAMP/15	980,25	1512,39	1870,35
SFAMP/20	958,77	1102,93	1353,05

Karışımlara 28 günlük kür sürelerinin ardından ASTM D 560 (1996) standardına göre 12 donma-çözülme çevrimi uygulanmıştır. Çalışma kapsamında hazırlanan tüm numuneler donma-çözülme çevrimine tabi tutulmuşlardır. Donma-çözülme çevriminin tamamlanmasının ardından bu karışımların tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır. Tablo 6'da karışımlara ait donma çözülme çevrimi sonrası tek eksenli basınç dayanımı verileri verilmiştir.

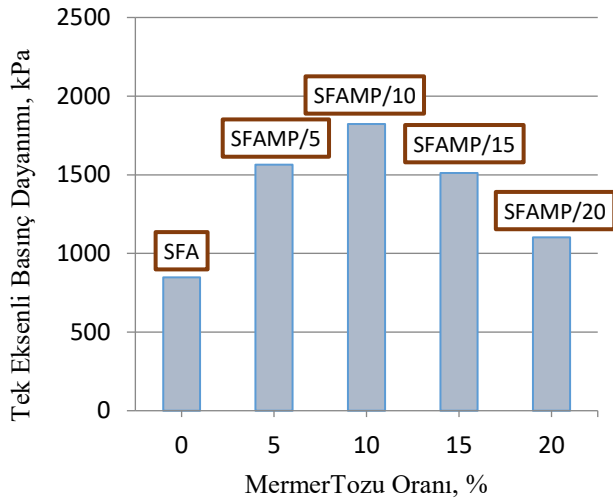
**Tablo 6.** Karışımlara ait donma-çözülme çevrimi sonrası tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

Numune	Donma-çözülme çevrimi sonrası tek eksenli basınç dayanımları (kPa)
S	78,5
SFA	794,6
SFAMP/5	1102,04
SFAMP/10	1153,06
SFAMP/15	1090,13
SFAMP/20	581,63

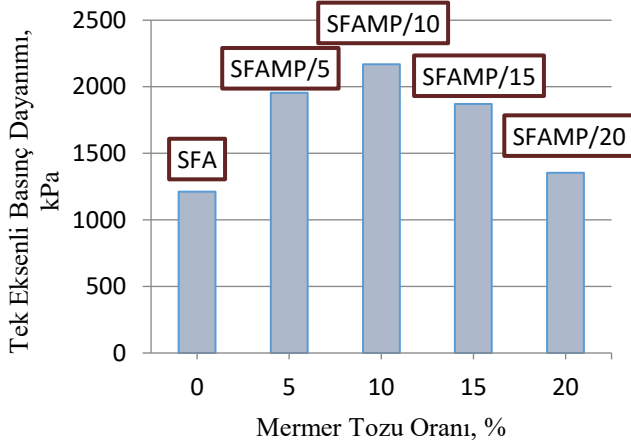
Kompaksiyon deneyleri incelendiğinde optimum su muhtevası değerlerinin artan mermer tozu oranıyla azaldığı tespit edilmiştir. Düşük plastisiteli kile uçucu kül katkısının eklenmesi tek eksenli basınç dayanımı değerlerini arttırmıştır. Tablo 5 incelendiğinde, kür sürelerindeki artışların dayanım artışlarını meydana getirdiği açıkça görülmektedir. 7 günlük kür süresinin ardından en yüksek dayanım değeri SFAMP/10 numunesinden elde edilmiştir. 28 günlük kür süresinin ardından dayanım değerlerinde benzer davranışlar tespit edilmiştir. Zemin numunelerinin kırılma davranışları incelendiğinde, kırılma şekillerinin gevrek bir şekilde olduğu tespit edilmiştir. 84 günlük kür sonuçlarına göre, SFAMP numunelerinde maksimum dayanım 2170,00 kPa ile SFAMP/10 karışımlarından elde edilmiştir. Deneydeki karışımlara ait tek eksenli basınç dayanımları 7, 28 ve 84 günlük kür sonrasındaki grafikleri sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7'de verilmiştir. Donma-çözülme çevriminin sonrasında bu numunelere yapılan tek eksenli basınç deneyi dayanımları ile 28. gün sonrasında tek eksenli basınç dayanımı karşılaştırıldığı grafik Şekil 8'de verilmektedir.



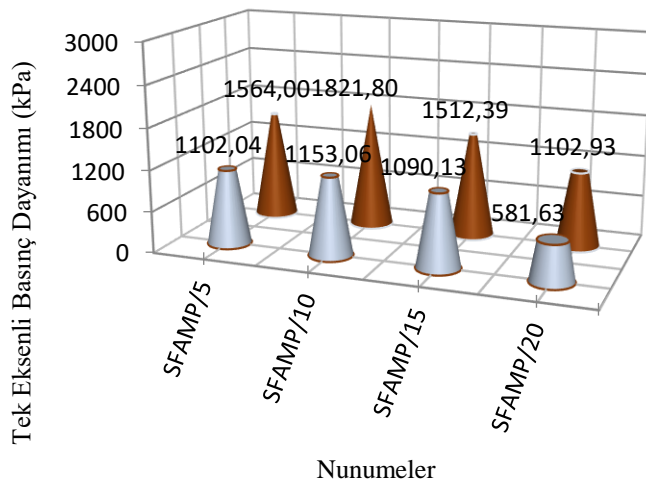
**Şekil 5.** SFA ve SFAMP karışımlarının 7 günlük kürden sonraki tek eksenli basınç dayanımları



Şekil 6. SFA ve SFAMP karışımlarının 28 günlük külden sonraki tek eksenli basınç dayanımları



Şekil 7. SFA ve SFAMP karışımlarının 84 günlük külden sonraki tek eksenli basınç dayanımları



Şekil 8. SFAMP karışımlarının donma çözülme çevrimi sonrası tek eksenli basınç dayanımı ile 28 gün sonraki tek eksenli basınç dayanımı

#### 4. SONUÇLAR

Uçucu külün zemine eklenmesi likit limit ve plastisite indisi değerlerinde az miktarda düşüşler, plastik limit değerinde ise artış meydana getirmiştir. SFA karışımına artan oranlarda mermer tozu ilavesi optimum su içeriği değerlerinde düşüşler meydana getirmiştir. 84 günlük kür süresi sonrası dayanım değerleri incelendiğinde, en başarılı sonuç %25 uçucu kül ve %10 oranındaki mermer tozu kullanılarak hazırlanan SFAMP/10 karışımlarındaki numunelerde meydana gelmiştir.

Donma-çözülme çevrimi sonrasındaki tek eksenli basınç dayanımı 28 gün sonrasındaki tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre azalmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların ve Yılmaz [24] tarafından tespit edilen değerlerin karşılaştırılmasının sonucunda, uçucu kül ve mermer tozunun zemin stabilizasyonunda beraber kullanılmasının yalnız uçucu kül kullanımına göre daha etkin olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan katkı maddelerinin atık maddeler olması, katı atık yönetimi kapsamında bu atıkların bertaraf edilmesi ve yeniden değerlendirilmesi açısından oldukça önemlidir.

#### REFERANSLAR

- [1] Ü. Bulut, and L. Tanaçan, "Perlitin puzolanik aktivitesi", İtü Dergisi A, vol. 8, no 1, pp. 81-89, 2009.
- [2] Aksoy, İ. H., "Uçucu küllerin geoteknikte kullanımı", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dördüncü Ulusal Kongresi, Ekim 1992, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 248-259, (1992).
- [3] Bhattacharjee, U. and Kandpal, T., C., Potential fly ash utilisation in India, Energy, 27, 2, 151-166, 2002.
- [4] Prakabar, J., Dendorkar, N. and Morchhale, R., K., "Influence of fly ash on strength behavior of typical soils", Construction and Building Materials, vol. 18, pp. 263-267, 2004.
- [5] Şenol, A. and Edil, T., B., "Uçucu kül ile stabilize edilen yumuşak zeminlerin CBR sonuçlarının değerlendirilmesi", Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onuncu Ulusal Kongresi, Eylül 2004, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 275-280, (2004).
- [6] Nalbantoğlu, Z., "Effectiveness of class C fly ash as an expansive soil stabilizer", Construction and Building Materials, vol. 18, pp. 377-381, 2004.
- [7] Kumar, B., R., P. and Sharma, R., S., "Effect of fly ash on engineering properties of expansive soils", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol. 130, no 7, pp. 764-767, 2004.
- [8] Edil, T., B., Acosta, H., A. and Benson, C., H., "Stabilizing soft fine grained soils with fly ash", Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 18, no 2, pp. 283-294, 2006.
- [9] Buhler, R., L. and Cerato, A., B., "Stabilization of Oklahoma expansive soils using lime and class C fly ash", GeoDenver Congress: New Peaks in Geotechnics, pp. 1-10, (2007).

- [10] Yarbaşı, N., Kalkan, E. and Akbulut, S., "Modification of the geotechnical properties, as influenced by freeze-thaw, of granular soils with waste additives", *Cold Regions Science and Technology*, vol. 48, pp. 44-54, 2007.
- [11] Lin, D., F., Lin, K., L. and Luo, H., L., "A comparison between sludge ash and fly ash on the improvement in soft soil", *Journal of the Air-Waste Management Association*, vol. 57, pp. 59-64, 2007.
- [12] Seco, A., Ramírez, F., Miqueleiz, L. and García, B., "Stabilization of expansive soils for use in construction", *Applied Clay Science*, vol. 51, pp. 348-352, 2011.
- [13] Degirmenci, N., Okucu, A. and Turabi, A., "Application of phosphogypsum in soil stabilization", *Building and Environment*, vol. 42, pp. 3393-3398, 2007.
- [14] Ghosh, A. and Subbarao, C., "Strength characteristics of class F fly ash modified with lime and gypsum", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 133, no. 7, pp. 757-766, 2007.
- [15] Zha, F., Liu, S., Du, Y. and Cui, K., "Behavior of expansive soils stabilized with fly ash", *Natural Hazards*, vol. 47, no. 3, pp. 509-523, 2008.
- [16] Silitonga, E., Levacher, D. and Mezazigh, S., "Effect of the use of fly ash as a binder on the mechanical behaviour of treated dredged sediments", *Environmental Technology*, vol. 30, no 8, pp. 799-807, 2009.
- [17] Sezer, A., İnan, G., Yılmaz, H. R. and Ramyar, K., "Utilization of a very high lime fly ash for improvement of İzmir clay", *Building and Environment*, vol. 41, pp. 150-155, 2006.
- [18] Bin-Shafique, S., Rahman, K., Yaykiran, M. and Azfar, I., "The long-term performance of two fly ash stabilized fine-grained soil subbases", *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 54, pp. 666-672, 2010.
- [19] F. Yılmaz, H. A. Kamiloğlu and E. Şadoğlu, "Soil stabilization with using waste materials against freezing thawing effect", *Acta Physica Polonica A*, vol. 182, pp. 392-394, 2015.
- [20] Aldaood, A., Bouasker, M. and Al-Mukhtar., "Effect of long term soaking and leaching on the behaviour of lime-stabilised gypseous soil", *International Journal of Pavement Engineering*, vol. 16, no 1, pp. 11-26, 2015.
- [21] Keskin S. N., Sungur A., Akan R. and Uzundurukan S., "İnce daneli zeminlerde katkı maddelerinin ve donma-çözülme çevriminin serbest basınç dayanımına etkisi", *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, vol. 5, no 3, pp. 473-478, 2017.
- [22] Türedi Y., Örnek M., Bal B. B. and Işık A. O., "Çelikhane cürufu katkısının CBR sonuçlarına etkisinin araştırılması", *7. Geoteknik Sempozyumu*, Kasım 2017, İstanbul, *Bildiriler Kitabı*, (2017).
- [23] Yorulmaz A, "Mermer tozu ile stabilize edilmiş kil zemin mukavemetinin donma-çözülme etkisi ve zamana bağlı olarak değişiminin CBR deneyleri ile değerlendirilmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 2018.
- [24] F. Yılmaz, *Zemin stabilizasyonunda uçucu kül kullanımı*, *International Symposium on Environment and Morality*, Kasım 2016, Alanya, *Bildiriler Kitabı*, 1175-1181, (2016).
- [25] M. Özer and M. Orhan, "Zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının lazer kırınım yöntemiyle belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, vol. 10, no 3, pp. 331-337, 2007.