



Uçucu Kül ve Bayburt Taşı ile Zemin Stabilizasyonu

Mesut TAŞ¹, Duygu FİDAN², Fatih YILMAZ^{3*}

¹Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

²Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

³Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt Üniversitesi, Bayburt, Türkiye

Anahtar kelimeler:

Zemin
stabilizasyonu
Uçucu kül
Bayburt taşı
Serbest basınç
dayanımı

Özet

Bu çalışmada zemin stabilizasyonu için uçucu kül ve Bayburt taşı endüstriyel atıkları kullanılmıştır. Çalışma kapsamında düşük plastisiteli killi bir zeminin stabilizasyonunda kullanılan %25 uçucu küle, %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında Bayburt taşı ilave edilmiştir. Hazırlanan karışımların indeks ve dayanım gibi geoteknik özellikleri araştırılmıştır. Tek eksenli serbest basınç dayanımı değerlerine göre Bayburt taşının %10 oranında katıldığı %25 uçucu kül içeren SFABS/10 karışımları en yüksek dayanım değerini vermiştir.

Soil Stabilization with Fly Ash and Bayburt Stone

Keywords:

Soil stabilization
Fly ash
Bayburt stone
Unconfined
compressive
strength

Abstract

In this study, fly ash and Bayburt stone industrial wastes were used for soil stabilization. Within the scope of the study, 25% fly ash and 0%, 5%, 10%, 15%, 20% Bayburt stone was added for the stabilization of a low plasticity clayey soil. The properties of the prepared mixtures were investigated by their geotechnical properties such as index and strength. According to unconfined compressive strength values, SFABS/10 blends containing 25% fly ash and 10% of Bayburt stone wastes gave the highest strength value.

1. GİRİŞ

Puzolanlar kimyasal bileşenleri bakımından silikat ve alüminat (SiO_2 ve Al_2O_3) esaslı iken kireç ve çimento CaO esaslıdır. Bu yüzden puzolanların birçoğu kendi başlarına bağlayıcı özellikte değildir. Bu özellikten dolayı puzolanlara ikincil bağlayıcı maddeler denilebilir. Puzolanlar, normal sıcaklık değerlerinde, sulu ortamda ve bilhassa kireçle birleşerek bağlayıcılık özelliğine sahip olabilen malzemelerdir [1].

Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki grupta değerlendirilir [2]. Doğal puzolanlar; volkanik orjinli ve ısı oluşumlu olmak üzere iki şekildedir [3]. Yapay puzolanlar tabiatta doğal bulunmazlar ve endüstriyel yan ürünlerdir.

Uçucu küller içerdiği silis, alümin mineralleri ve ince olmaları yönünden puzolanik aktiviteye sahiptirler. Puzolanik aktivite, silika ve alüminat miktarına, yapısında su ve serbest kirecin varlığına, uçucu külün inceliğine bağlıdır. Uçucu kül zemine katıldığında bünyesindeki kalsiyum oksit, silikat ve alüminatın hidrasyona uğramasıyla kuvvetli bağlar oluşturarak zemin danelerini bir arada tutmaktadırlar [4].

Puzolanik etki uçucu küldenki külün bileşimi ile inceliğine bağlı olarak değişmektedir. Puzolanik özelliği etkileyen faktörler şu şekildedir; uçucu kül içerisindeki SiO_2 ve Al_2O_3 miktarının artması ve bu bileşiklerin amorf yapıda olması puzolanik etkiyi artırmaktadır. Kül içindeki CaO , SO_3 ve alkali oksitlerin, puzolanik özelliği ne şekilde etkilediği tam olarak bilinmemektedir. Külde yanmamış karbon miktarının artması puzolanik özelliğin azalmasına neden olmaktadır. Uçucu küldenki karbon boşluklu bir yapıdadır. Dayanımı düşüktür ve karışım su ihtiyacını artırmaktadır. Uçucu küllerin puzolanik özelliği ve mekanik dayanım incelleme birlikte artmaktadır [5].

Uçucu küller, kimyasal kompozisyonlarına göre çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır. Uçucu küller, içerdiği analitik CaO miktarı bakımından;

CaO miktarı % 10'dan az olanlara düşük kireçli/kalsiyumlu uçucu küller ve CaO miktarı % 10'dan fazla olanlara yüksek kireçli/kalsiyumlu uçucu küller olarak ikiye ayrılmaktadır [6].

Kumar ve Sharma tarafından yapılan çalışmada uçucu külün %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında hazırladığı karışımların şişen zeminin serbest şişme yüzdesi ve basıncı, plastisite, kompaksiyon, dayanım ve geçirimsizlik karakterleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Kompaksiyon deneyleri sonuçlarına göre, uçucu kül katkısının miktarı arttıkça maksimum kuru yoğunluk ve plastik limit değerlerinde artış, likit limit ve optimum su içeriği değerlerinde azalış meydana geldiği tespit edilmiştir. Uçucu kül miktarının artmasıyla hazırlanan karışımlarda serbest basınç dayanımı değerlerinde artış görülmektedir [7].

Kumar vd. yaptığı çalışmada Hindistan uçucu külü ve zemin karışımlarının kireç ve polyester fiber malzeme ile stabilizasyonunda geoteknik özellikler araştırılmıştır. Deney sonuçlarında göre polyester fiber, kireç ve uçucu külün birlikte kullanımının şişen zeminlerin stabilizasyonunda uygun olduğu tespit edilmiştir [8].

Silitonga vd. tarafından yapılan çalışmada deniz, göl gibi yerlerde çökelen zeminlerin uçucu kül, çimento ve kireç ile stabilizasyon sonunda oluşan tane mekanik davranışı araştırılmıştır. Bu çalışma sonucu çökelti malzemesi için uçucu kül-kireç-çimento birleşiminin en iyi katkıda tercih olabileceği tespit edilmiştir [9].

Brooks tarafından yapılan çalışmada şişen zeminin dayanım özellikleri açısından uçucu kül ile pirinç kabuğu külünün kullanılması araştırılmıştır. %12 pirinç kabuğu külü ve %25 uçucu kül oranlarında şişen zeminde en iyi dayanım elde edilmiştir [10].

Mollamahmutoğlu vd. tarafından yapılan çalışmada smektit grubunda yer alan yüksek şişme potansiyeline sahip kil içeren zeminin fiziksel, kimyasal gibi özelliklerinin %5, %10, %15, %20, %25, %30, %35, %40 oranında C tipi uçucu kül ile stabilizasyonun nasıl olduğu incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre optimum uçucu kül oranı %35 olarak tespit edilmiştir [11].

Yılmaz tarafından yapılan çalışmada killi bir zemine %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30 oranlarındaki uçucu kül ilave edilerek hazırlanan karışımlarda dayanım değerleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda tek eksenli dayanım değerlerinde en iyi dayanım değerlerinin %25 uçucu kül kullanıldığı karışımdan elde edildiği tespit edilmiştir [12].

Ansary vd. tarafından yaptığı çalışmada Bangladeş'in Chittagong sahil bölgesinde yer alan Anwora ve Banshkali sitelerinden sağlanan iki çeşit zemine uçucu kül ile stabilizasyon yapılmıştır. Deney sonucunda sahil zeminlerinin %12-%18 uçucu kül ve %3 kireçle beraber hafif trafikli yolların temel ve alt temelleri için gerekli olan dayanım ve plastisite şartları sağladığı tespit edilmiştir [13].

Lin vd., %5, %2, %4, %8, %16 gibi oranlarda atık çamur külü (atık su arıtma tesisinden elde edilen çamurun 800°C yakılmasıyla oluşan kül) ve uçucu külün %70 silt ve kilden oluşan, AASHTO sınıflandırmasına göre A-4 sınıfında yer alan doğal zeminde meydana getirdiği değişimleri karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, atık çamur külünün uçucu kül yerine kullanılacak kadar iyi bir malzeme olduğu tespit edilmiştir [14].

Bayburt taşı orijin olarak tuf/tüfit taşlar grubunda yer almaktadır. İçeriğinde kimyasal olarak yüksek oranda silis bulunur. Bu silisli yapı zeolit minerallerinden oluşmaktadır [1].

Beyaz renkli Bayburt taşı riyo-dasitik bileşimli vitrik tuf ile kayaç içerisinde volkanik malzemelerden oluşmuş bir matriks ve matriks içerisinde kuvars, plajyoklaz, biyotit ve kaya parçaları bulunmaktadır [15].

2. MATERYAL ve METOD

Bu çalışmada yapılan deneylerde kullanılan malzemeler; doğal malzeme, uçucu kül ve Bayburt taşı'dır. Doğal malzeme, Bayburt ili Demirözü ilçesinden temin edilmiştir. Deney için, literatür çalışmaları [11,12] incelenerek optimum uçucu kül oranının %25 oranında ilave edilmesi uygun görülmüştür. Doğal malzemeye %25 oranında uçucu kül ve %5, %10, %15, %20 oranlarında Bayburt taşı katılarak çalışmaya esas olan karışımlar hazırlanmıştır. Deney numuneleriyle ilgili adlandırılmalar Çizelge 2.1'de verilmiştir.

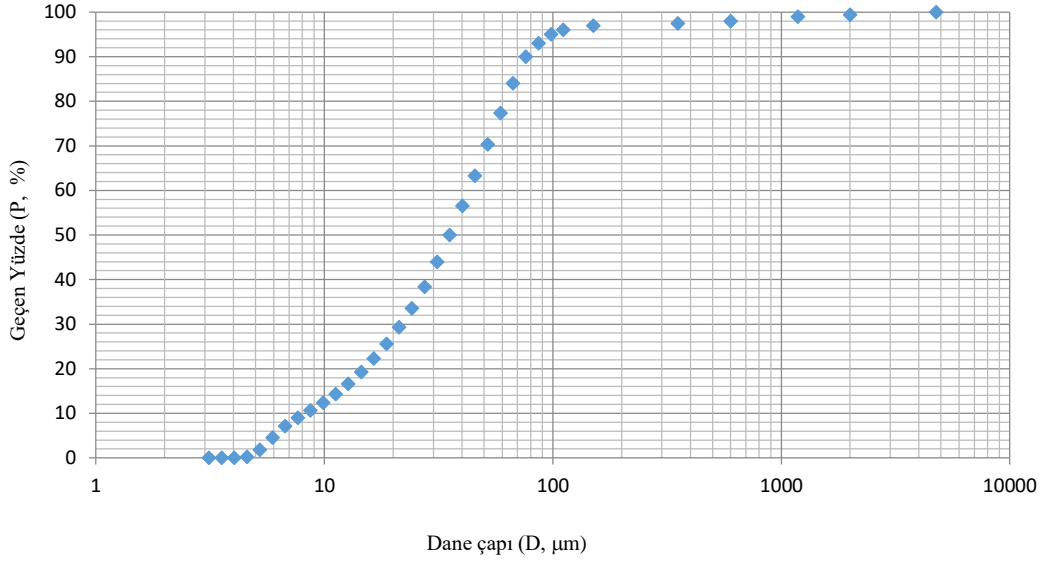
Çizelge 1. Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar

Deney numunelerinin karışım oranları	Notasyon
Doğal zemin	S
Zemin ve uçucu kül	SFA
Zemin, uçucu kül ve Bayburt taşı	SFABS
Zemin, uçucu kül ve %5 Bayburt taşı	SFABS/5
Zemin, uçucu kül ve %10 Bayburt taşı	SFABS/10
Zemin, uçucu kül ve %15 Bayburt taşı	SFABS/15
Zemin, uçucu kül ve %20 Bayburt taşı	SFABS/20

ASTM D 2487 (2011) standardına göre çalışma sırasında kullanılan zemin sınıfı CL olarak belirlenmiştir. Zemin sınıfı düşük plastisiteli kil olarak belirlenen doğal malzeme için yıkamalı elek analizi ve lazer kırınım yöntemi yapılmıştır.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Özer ve Orhan tarafından yapılan çalışma neticesinde lazer kırınım yöntemiyle tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi ve hidrometre yöntemiyle karşılaştırılması sonucunda lazer kırınım yöntemiyle belirlenen kil yüzdesinin daha güvenilir olması ve hidrometre yöntemiyle kil yüzdesinin olduğundan daha yüksek hesaplanmasıdır. Lazer kırınım yönteminin çok kısa sürede sonuç vermesi, çok az bir örnek gerektirmesi, tanelerin özgül ağırlığından etkilenmemesi ve bilgisayar ile kontrol edilen elektronik bir cihaz olmasından dolayı sonuçların bilgisayar ortamında saklanabilirliğinin bulunması gibi özelliklere sahip olması hidrometre yöntemine göre üstünlüğünü sağlamaktadır [16]. Bu yüzden deney çalışmasında hidrometre yöntemi yerine lazer kırınım yöntemi kullanılmıştır. Doğal zeminin dane boyutu dağılım eğrisi Şekil 3.1'de verilmektedir. Doğal malzemenin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan zemin mekaniği deneyleri sonuçları Çizelge 3.1'de verilmektedir.



Şekil 1. Doğal malzemenin dane boyutu dağılım eğrisi

Çizelge 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, ρ_{kmax} (Mg/m ³)	1,63
Renk	Sarımtırak

Çalışma kapsamında oluşturulan ve daha önce notasyonları ifade edilmiş karışımların ASTM D 4318 (2010) standardına uygun olarak yapılan likit limit ve plastik limit deneyleri yapılmıştır. Bu deneye ait sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3. Deneydeki numunelere ait kıvam limitleri

Deney Numuneleri	Likit Limit(%)	Plastik Limit(%)	Plastisite İndisi(%)
S	48,8	26,5	22,3
SFA	42,7	33,0	9,7
SFABS/5	43,9	32,0	11,9
SFABS/10	43,0	31,0	12,0
SFABS/15	42,4	30,0	12,4
SFABS/20	42,0	30,0	12,0

Kompaksiyon deneylerine öncelikle doğal zemin karışımı ile başlanmıştır. SFABS karışımları için %5, %10, %15, %20 oranlarına ait optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunluk değerleri Çizelge 3.3'te sunulmaktadır.

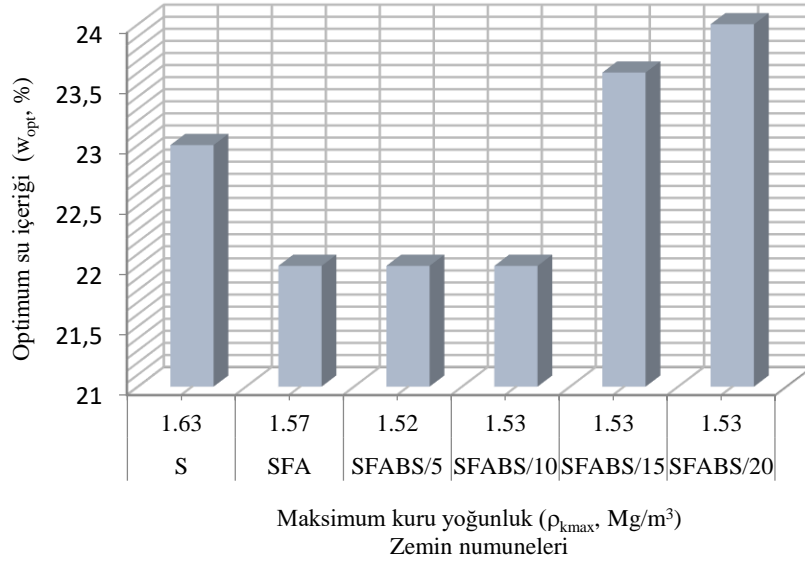
Çizelge 4. Karışımlara ait kompaksiyon parametreleri

Numune	Maksimum Kuru Yoğunluk, Mg/m ³	Optimum Su İçeriği, %
S	1,63	23,0
SFA	1,57	22,0
SFABS/5	1,52	22,0
SFABS/10	1,53	22,0
SFABS/15	1,53	23,6
SFABS/20	1,53	24,0

Bu çalışma kapsamında hazırlanan karışımların optimum su içerikleri belirlendikten sonra, serbest basınç deneyine geçilmiştir. Deney numuneleri 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindirik olarak hazırlanmıştır. Deney numuneleri için belirlenen kür süreleri 7 ve 28 gündür. Belirtilen kür sürelerinde, zemine %25 uçucu kül ve belirlenen oranlarda Bayburt taşı katılmasının zemin stabilizasyonunda mukavemet değerlerine etkisine bakılmıştır. Çizelge 3.4'te karışımlarına ait 7 ve 28 günlük kür sonrasındaki tek eksenli serbest basınç dayanımı değerlerinin çizelgesi verilmiştir. Kompaksiyon deneyleri incelendiğinde su muhtevası değerlerinde artan Bayburt taşı oranında artışlar Şekil 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 5. S, SFA ve SFABS karışımlarına ait tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

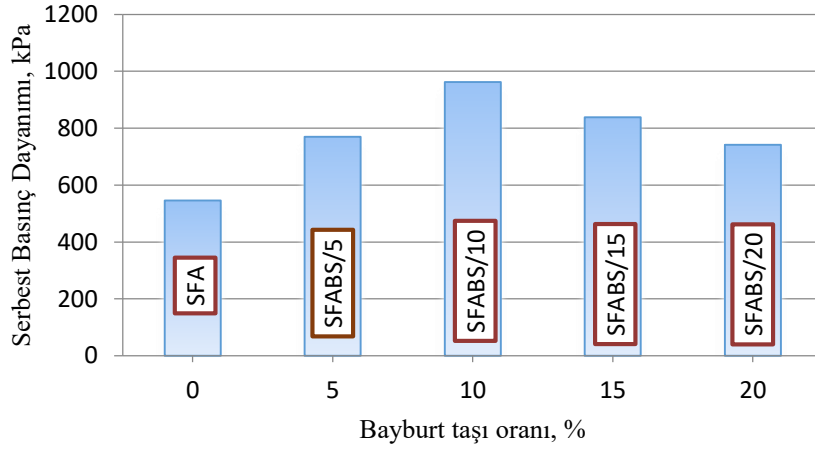
Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kPa)	
	Kür Süresi	
	7. gün	28. gün
S	159,42	170,71
SFA	545,46	847,55
SFABS/5	769,85	1100,00
SFABS/10	961,76	1280,98
SFABS/15	838,56	1147,35
SFABS/20	741,37	1062,50



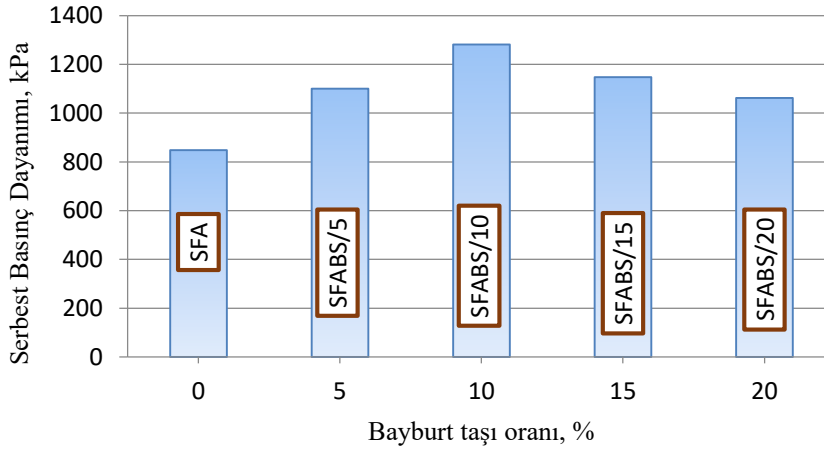
Şekil 2. S, SFA ve SFABS karışımlarının optimum su muhtevası-maksimum kuru yoğunluk grafiği

Tek eksenli basınç dayanımı deneylerine öncelikle zemin numunesi ile başlanmıştır. Tüm deneyler boyunca doğal zemine uçucu külün %25 oranına Bayburt taşı'nın %0, %5, %10, %15, %20 oranı ilavesiyle numuneler hazırlanmıştır. Düşük plastisiteli kil olan doğal zeminin 28 günlük kür sonundaki tek eksenli serbest basınç dayanım verileri, doğal zemine optimum uçucu kül oranının katılmasıyla artışa geçmiştir. Bu sonuca bakılarak ince daneli zeminlerde uçucu kül ile stabilizasyonun yararlı sonuçlar verebildiği görülmektedir. Tek eksenli basınç dayanımı deneylerindeki kırılma davranışlarına bakıldığında SFABS karışımları ile hazırlanan numunelerdeki kırılma şekilleri gevrek bir şekilde olmuştur.

SFABS karışımlarıyla hazırlanan deney numunelerinde 28. günlük tek eksenli basınç dayanım sonuçları doğal zemin olan S karışımına göre iyi sonuçlar vermiştir. 28. gündeki tek eksenli serbest basınç dayanımı deneylerinde SFABS karışımlarıyla hazırlanan tüm numunelerin %10 oranındaki Bayburt taşı numunelerine kadar dayanım değerleri artarken Bayburt taşı oranının artırılmasıyla dayanım değerlerinde düşüşler görülmüştür. 28 günlük kür sonrasındaki tek eksenli serbest basınç dayanımı testi uygulanan ve kırılan numuneler el ile yoğrulabilir kıvamda değillerdir. Kırılan bu numunelerin sert oldukları görülmüştür. Karışımlara ait tek eksenli serbest basınç dayanımı 7. gün ve 28. gün kür sonrasındaki grafikleri sırasıyla Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3. SFA ve SFABS karışımlarının 7 günlük küreden sonraki serbest basınç dayanımları



Şekil 4. SFA ve SFABS karışımlarının 28 günlük küreden sonraki serbest basınç dayanımları

Stabilizasyon çalışması kapsamında zemine optimum oranda (%25) ilave edilen uçucu külün, LL ve PI değerlerinde düşüşler ortaya çıkarırken, PL değerinde artış meydana getirmiştir. SFA karışımına artan Bayburt taşı ilavesi sonrasında hazırlanan numunelerin kompaksiyon parametreleri incelendiğinde optimum su içeriği değerlerinde artış görülmüştür. Düşük plastisiteli kil olan doğal zeminin 28 günlük kür sonrasında optimum uçucu kül oranı ve belirlenen oranlarda katılan Bayburt taşı ile yapılan numunelerin tek eksenli serbest basınç dayanımı değerlerinde belirgin bir artış görülmektedir. SFA karışımına %10 oranında ilave edilen karışımda artış görülürken, artan Bayburt taşı ilave edilen oranlarda azalma görülmüştür. Doğal zemine optimum oranda uçucu kül ve belirlenen oranlardaki Bayburt taşı ilave edilmesi ile hazırlanan numunelerde iyileştirmeler olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışma kapsamında uçucu kül ve Bayburt taşının zemin stabilizasyonunda kullanılabilirliği incelenmiştir. Uygulanan zemin mekaniği deneylerinden elde edilen veriler ışığında, Bayburt taşı ve uçucu kül içeren karışımların yalnızca uçucu kül içeren karışımlara göre daha yüksek dayanım sonuçları meydana getirdiği tespit edilmiştir. Kullanılan iki katkı maddesinin de endüstriyel atıklardan oluşması çevre mühendisliği açısından oldukça önemlidir. Islanma-kuruma ve donma-çözülme gibi durabilite tectikleri, geçirimsizlik deneyleri ve farklı zemin türleri üzerinde bu katkıların etkisinin değerlendirilmesi ileri düzey çalışmalar olarak ele alınabilir.

Kaynaklar

- [1] Yılmaz, F. Tüfit Taşların Zemin Stabilizasyonunda Kireçle Birlikte Kullanılabilirliğinin Standart Deneyle ve Bilgisayarlı Tomografi Tekniği ile Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015.
- [2] Ün, H. Civil Engineering Department of Building Materials Course Notes, Pamukkale University, 2007.
- [3] Erdoğan, T. Y. Admixtures for Concrete, *The Middle East Technical University Press*, Ankara, Turkey, 77, 78, 1997.
- [4] Çokça, E., İpek, T., 1998, Kireç, Çimento, C ve F-sınıfı Uçucu Kül Katkısının Şişen Bir Zeminin Şişme Basıncına Etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, (10):2.
- [5] ASTM C 618, Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete, ASTM, 1991.
- [6] Erdinç, M. 1995, “Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 s., İstanbul.
- [7] Kumar, B., R., P. ve Sharma, R., S., 2004. Effect of Fly Ash on Engineering Properties of Expansive Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130, 7, 764-767.
- [8] Kumar, A., Walia, B. S. ve Bajaj, A., 2007. Influence of Fly Ash, Lime and Polyester Fibers on Compaction and Strength Properties of Expansive Soils, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19, 3, 242-248.
- [9] Silitonga, E., Levacher, D. ve Mezazigh, S., 2009. Effects of the Use of Fly Ash as a Binder on the Mechanical Behaviour of Treated Dredged Sediments, *Environmental Technology*, 30, 8, 799-807.
- [10] Brooks, R., M., 2009. Soil Stabilization with Fly Ash and Rice Husk Ash, *Int. Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 1, 3, 209-217.
- [11] Mollamahmutoglu, M., Yılmaz, Y. ve Güngör, A., G., 2009. Effect of a Class C Fly Ash on the Geotechnical Properties of an Expansive Soil, *Int. Journal of Eng. Research-Development*, 1, 1, 1-6.
- [12] Yılmaz, F., 2016. Zemin Stabilizasyonunda Uçucu Kül Kullanımı, ISEM2016, 3rd International Symposium on Environment and Morality, 4-6 November 2016, Alanya – Turkey.
- [13] Ansary, M., A., Noor, M., A. ve Islam, M., 2006. Effect of Fly Ash Stabilization on Geotechnical Properties of Chittagong Coastal Soil, *Geotechnical Symposium*, March, Roma, 443-454.
- [14] Lin, D., F., Lin, K., L. ve Luo, H. L., 2007. A Comparison between Sludge Ash and Fly Ash on the Improvement in Soft Soil, *Journal of the Air-Waste Management Association*, 57, 59-64.
- [15] Kudaka, 2014. T. C. Kuzeydoğu Anadolu Kalkınma Ajansı TRA1 Düzey 2 Bölgesi Doğaltaş ve Maden Potansiyeli Raporu, Ankara.
- [16] Özer, M. ve Orhan, M. Zeminlerin Tane Büyüklüğü Dağılımının Lazer Kırınım Yöntemiyle Belirlenmesi, *Politeknik Dergisi*, 10, (3), 2007: 331-337.