



Uçucu kül katkısının killi zeminlerin mekanik özelliklerine etkisi

Ermedin TOTİÇ

Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın

ermedintotic@bartin.edu.tr ORCID: 0000-0002-4073-0265, Tel: (378) 501 16 28

Fatih GÖKTEPE*

Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bartın

fgoktepe@bartin.edu.tr ORCID: 0000-0002-1484-623X, Tel:(378) 501 10 00

Merve YAŞAR

Bartın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın

mrv.yasar.91@gmail.com ORCID: 0000-0002-5837-7463, Tel: (266 241 37 77)

Geliş: 24.10.2018, Kabul Tarihi: 13.02.2019

Öz

Mühendislik yapılarının arazide inşa edilmesi sırasında taşıma gücü düşük olan zeminlerin çoğunlukla stabilize edilmesi ekonomik olarak tercih edilen bir yöntemdir. Taşıma gücü zayıf ve oturma potansiyeli yüksek olan killi zeminlerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi özellikle geoteknik mühendisliğinin güncel araştırma konularından birisidir. Problemlili olan bu zeminlere farklı katkı malzemeleri katılarak geoteknik parametrelerinin iyileştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar son yıllarda artarak devam etmektedir. Burada önemli bir konu, zemin stabilizasyonunda kullanılacak bu katkı malzemelerinin hangi oranlarda kullanılmasının daha uygun olacağı gerçeğidir. Bu çalışmada, Bartın Üniversitesi Kutlubey-Yazıcılar yerleşkesinde bulunan ve mekanik özelliklerinden dolayı zayıf zeminler olarak değerlendirilen killi zemin örneklerinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak optimum uçucu kül miktarı araştırılmıştır. Killi zeminlerin iyileştirilmesinde Çatalağzı Termik Santrallerinden atık malzeme olarak elde edilen uçucu köller kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda ilk olarak, killi zeminlere %5 ila %25 arasında değişen oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımların kıvam limitlerindeki değişimler gözlemlenmiştir. Sonrasında, artan kül oranına bağlı olarak elde edilen karışımların Standart Proktor deneyi ile optimum su muhtevası ve maksimum kuru biçim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numuneler 1, 8, 16 ve 32 gün kür edildikten sonra CBR ve serbest basınç dayanımının hangi oranlarda iyileştiği deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlardan, uçucu kül katılan kil numunelerinin mekanik özelliklerinin kayda değer oranlarda iyileşme sergilediği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Killi zeminler; zemin stabilizasyonu; CBR; serbest basınç dayanımı; deneysel araştırma;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI: 10.24012/dumf.474528

Giriş

İnşaat mühendisliği uygulamalarında özellikle killi zeminlerde taşıma gücü zayıflığı, oturma potansiyeli fazlalığı gibi problemlerle sıklıkla karşılaşmaktadır. Bu gibi durumlarda uygulama projesinin yerinin değiştirilmesi yerine killi zeminlerin farklı katkı malzemeleri ile stabilizasyonu, ekonomik ve uygulanabilirlik açısından bir çözüm olarak düşünülebilir. Kireç, mermer tozu, lastik kırpıntısı, sentetik lif ve uçucu kül gibi atık malzemelerinin killi zeminlere karıştırılmasıyla kimyasal iyileştirilme hedeflenmektedir. Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılabilecek muhtemel olan zımbalama türü göçmelerde killi zeminlerin iyileştirilmesinin önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte, bu katkı malzemelerinin stabilizasyonda kullanımını çevresel problemlere de çözüm sağlayacaktır.

Fiziksel ve kimyasal özelliklerinin verdiği olanaklar sebebiyle uçucu küller ile killi zeminlerin geoteknik parametrelerinin iyileştirilmesi ile ilgili ulusal (Tokyay ve Erdoğan 1998; Alkaya, 2009; Aytekin, 2009; Ünver, 2015; Yılmaz, 2016) ve uluslararası düzeyde (Usman vd., 1987; Chu ve Kao 1993; Verma vd., 1998; Edil vd., 2006; Phanikumar, 2009; Cetin vd., 2010; Scott ve Ferguson, 2005; Sharma vd., 2012; Dissanayake vd., 2017) birçok araştırma yapılmıştır. Wasti (1990) tarafından yapılan çalışmada, killi zeminlerin plastisite ve oturma özellikleri seçilen puzolan uçucu küle stabilize edilmiştir. Indraratna ve diğerleri (1995), Bangkok bölgesi killilerine % 18 uçucu kül ve % 5 kireç katarak elde ettikleri karışımların iki haftalık kür süresi sonunda serbest basınç dayanımının ortalama 2-3 kat arttığını belirlemişlerdir. Taşıma gücü zayıf killi zeminlere %0-30 arasında farklı oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımların CBR ve serbest basınç dayanım performansının araştırıldığı diğer bir çalışma sonucunda, %18 atık malzemenin mekanik özellikleri 4 kat artırdığı hesaplanmış ancak uçucu kül oranının belli bir miktardan sonraki kullanımını beklenen

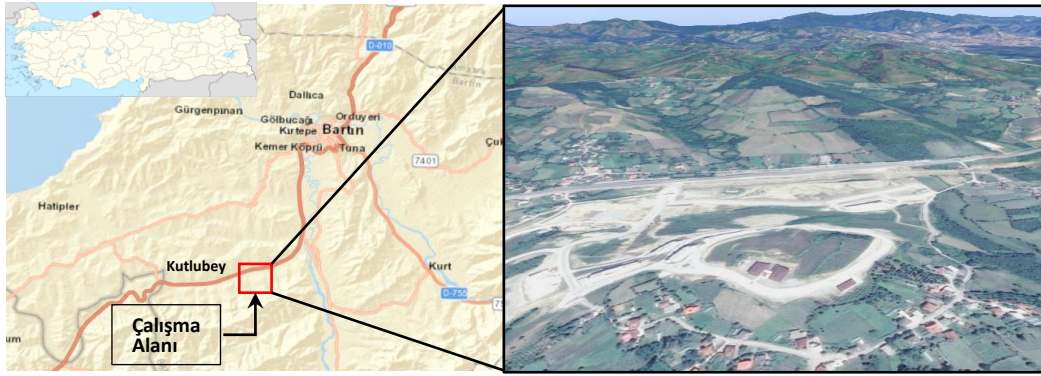
aksine kilin dayanımı düşürmüştür (Acosta vd., 2003). Özellikle demiryolu ve karayolu uygulamalarında yapılan dolgularda katkı malzemesi olarak kullanılan uçucu küllerin geofiberle iyileştirilmesi sonucu büzülme etkisinden kaynaklanan taşıma gücü kayıplarının azaltıldığı yapılan bazı çalışmalarda ortaya konmuştur (Das vd., 2009). Bazı araştırmacılar (Türker ve Çokca, 2006) uçucu kül stabilizasyonunun vertisol tipi killer üzerindeki etkisini granülometri dağılımı, boşluk oranı, şişme-büzülme etkisi gibi fiziksel parametreler üzerinden değerlendirmiştir. Şişme potansiyeli yüksek olan killer üzerinde yapılan deneysel çalışmada kullanılan uçucu külün tipinin önemli olduğu ve C tipi uçucu külün, F tipi uçucu küle göre daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmıştır (Öz, 2015).

Literatürde yapılan ve yukarıda özetlenen birçok çalışmada, farklı zemin türlerine katılan uçucu kül malzemesi ile zeminlerin mekanik özelliklerinin iyileştiği anlaşılmıştır. Ancak, özellikle killi zeminlerin stabilizasyonunda kullanılacak olan uçucu külün belli bir oranı aştığında zeminin farklı mekanik özelliklerinde problemlere sebep olabileceği değerlendirilmiştir. Yapılan bu çalışma ile, killi zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak optimum uçucu kül miktarı araştırılmıştır. Bartın killilerine ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 gibi değişik oranlarda Çatalağzı B Termik Santrali'ne ait atık uçucu kül katılarak elde edilen karışımların Standart Proktor deneyi ile sıkışabilme özellikleri araştırılmış olup maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevaları belirlenmiştir. Daha sonra hazırlanan bu karışımlar optimum su muhtevalarında sıkıştırılıp 1, 8, 16 ve 32 gün kürde bekletildikten sonra CBR ve serbest basınç dayanımları laboratuvar ortamında belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, değişen uçucu kül oranları ile kür süresine bağlı olarak Bartın bölgesine ait killi zeminlerin mekanik özelliklerinin hangi oranlarda iyileştiği belirlenmeye çalışılmıştır.

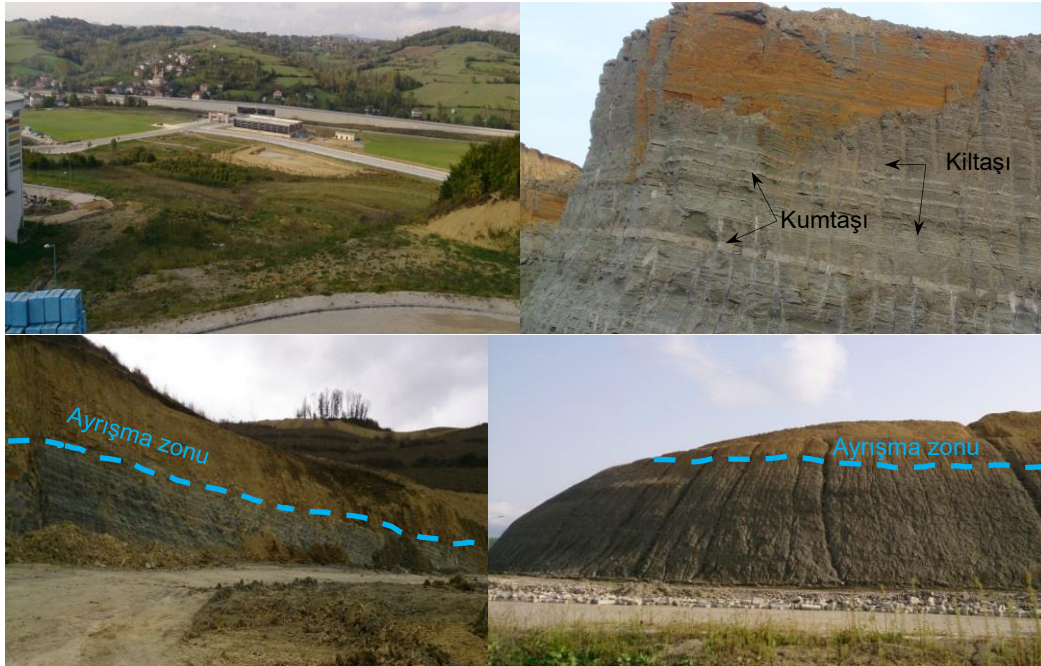
Materyal ve Yöntem

Deneyisel çalışmalar için kullanılan kil örnekleri Bartın Üniversitesi Kutlubey-Yazıcılar yerleşkesinden elde edilmiştir (Şekil 1a). Çalışma alanında alttan üste doğru Alt-Orta Eosen yaşlı Çaycuma Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı Alüvyon olmak üzere iki farklı jeolojik birim ayırt edilmiştir. Çaycuma formasyonu, volkanit ara katkılı kumtaşı, konglomera, kireç taşı, marn, kiltası gibi kayaç türlerinden oluşurken (Tokay, 1955), çalışma alanında yeşilimsi gri renkli ince kumtaşı katmanları içeren kiltası egemen olarak görülmektedir (Ateş vd. 2015).

Bu birimin üst seviyeleri ileri derecede altere olmuş, belli belirsiz kumtaşı ara katmanları içeren, metrelerce kalınlıktaki sarımsı açık kahverengi, sarımsı killerden oluşmaktadır. Alüvyon ise, Çaycuma formasyonunun ayrışma ve taşınması sonucu oluşan killi malzemeden meydana gelmektedir (Şekil 1b). Çaycuma formasyonunun yayılım gösterdiği alanlarda, özellikle karayollarında çökmeler ve şev duraylılığı problemleri görüldüğünden dolayı yapılan bu deneysel çalışma için mühendislik özellikleri bakımından zayıf zemin olarak değerlendirilen killer kullanılmıştır.



(a)



(b)

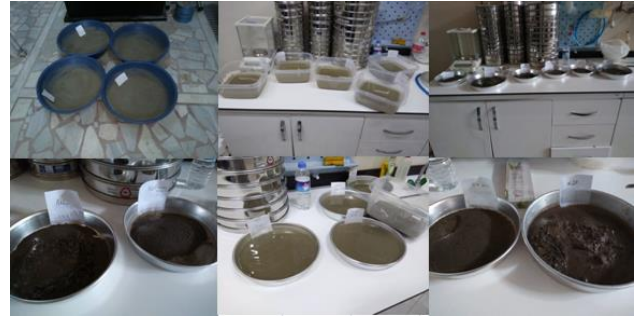
Şekil 1. a. Çalışma alanı yer bulduru haritası b. Çalışma alanında yer alan kiltası birimlerinden görünüm

Uçucu kül, alüminyum, silisyum, çeşitli oksitler ve alkaliler içeren puzolanik bir malzeme olup kendi kendine bağlayıcı özelliği ya hiç olmayan ya da çok az olan bir malzemedir. Mekanik özellikleri itibariyle uçucu külün tek başına bir yapı malzemesi, dolgu malzemesi veya temel zemini olarak kullanılması uygun değildir. Buradan hareketle zemin stabilizasyonu açısından kullanılması gereken optimum uçucu kül miktarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada ÇATES (Çatalağzı Termik Santrali) uçucu külleri kullanılmıştır. ÇATES'da halen sulandırılarak denize basılan bu küller TS 639 da öngörülen uçucu kül koşullarını sağlamakta olup ASTM C 686'ya göre düşük kireçli F uçucu kül sınıfına girmektedir (Kızgut vd., 2001).

Çalışmanın ilk aşamasında Batı Karadeniz Bölgesinde bulunan Çatalağzı Termik Santralinden atık malzeme olarak elde edilen uçucu kül ağırlıkça %5-25 oranlarında Bartın killeriyle karıştırılmış ve karışımlara ait tane boyu dağılımı, kıvam limitleri, optimum su muhtevası ve maksimum kuru bicim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Optimum su muhtevalarında sıkıştırılan karışımlar 1, 8, 16 ve 32 gün kürde bekletildikten sonra CBR ve serbest basınç deneyleri yapılarak killi zeminlerin farklı uçucu kül oranlarına bağlı mekanik özelliklerinin değişimi araştırılmıştır.

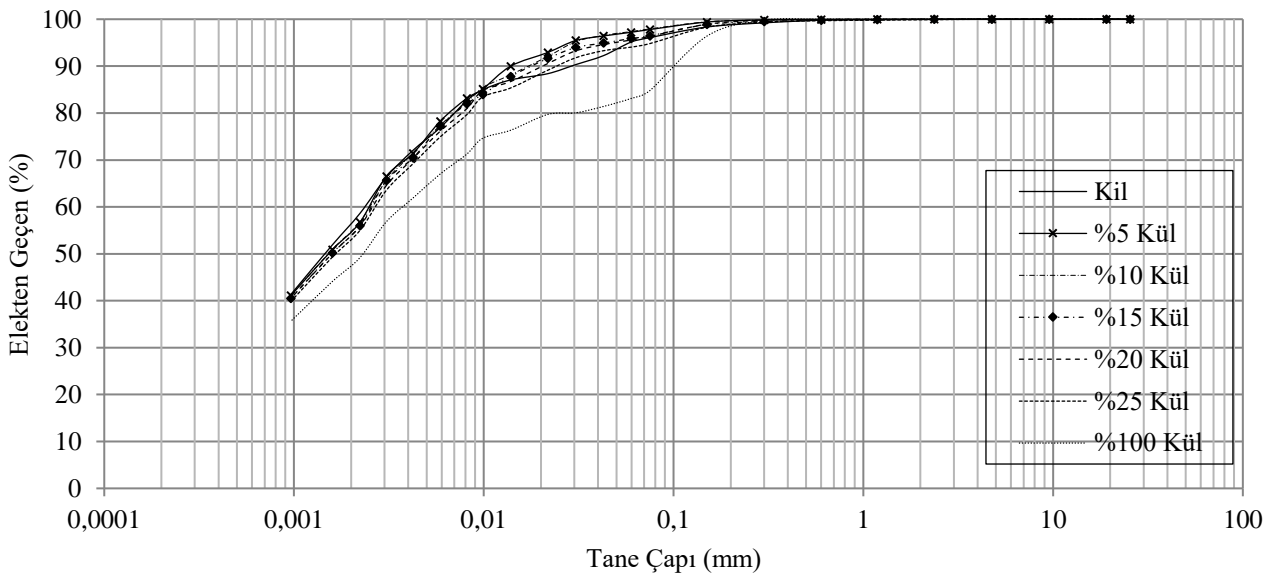
Deney Bulguları ve Tartışma

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında Bartın ili Kutlubey bölgesine ait killere ağırlıkça %5, %10, %15, %20, %25 oranlarda Çatalağzı Termik Santrallerinden atık F sınıfı uçucu kül katılarak deney örnekleri hazırlanmıştır. Elde edilen uçucu kül-kil karışım numunelerinin dane boyu dağılımını belirlemek amacıyla ıslak elek analizi yapılmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Deneysel çalışmalar için hazırlanan uçucu kül-kil karışımları ile ıslak elek analizi

Elde edilen dane dağılım eğrisinden kil, uçucu kül ve uçucu kül-kil karışımları için maksimum dane çapının 0,3 mm olduğu anlaşılmıştır. Bununla birlikte 200 nolu (0,075 mm) elekten geçen malzeme yüzdesi kil numunelerinde %95 civarında iken bu oran uçucu kül numunelerinde ise %85'dir (Şekil 3).



Şekil 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin dane boyu dağılımı

DeneySEL çalışmanın sonraki aşamasında, elde edilen uçucu kül-kil karışımları için kıvam limitleri deneyleri yapılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Uçucu kül-kil karışımı örnekleri kıvam limit deneyi

Uçucu kül oranına bağlı Atterberg limitlerindeki değişimi incelemek amacı elde edilen likit limit (LL) ve plastisite indisi (IP) değerleri Tablo 1 ve Şekil 4’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Çalışmada kullanılan kil numunelerinin Birleşik Zemin Sınıflandırma Sistemi’ne (USCS) göre yüksek plastisiteli kil (CH) olduğu belirlenmiştir. Uçucu kül katkısı içermeyen kil numunelerinin likit limit değeri %66 iken, % 25 uçucu kül katkısı ile elde edilen karışımların likit limiti % 41 olarak belirlenmiştir. Benzer durum için Plastisite indisi değerleri %35’den %13’e azalmıştır (Tablo 1).

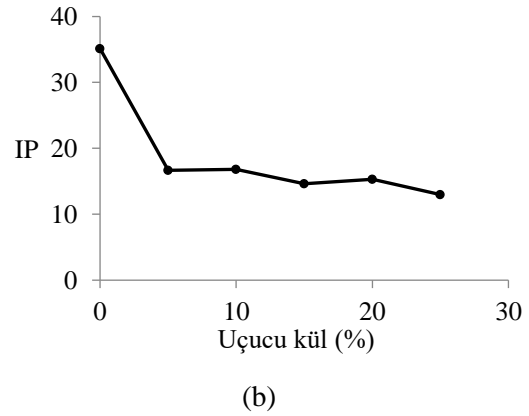
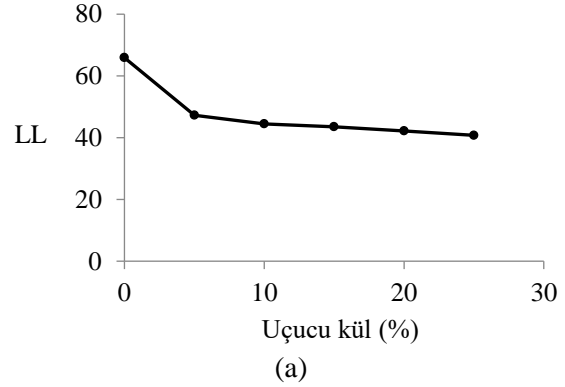
Tablo 1. Uçucu kül-kil karışımı örneklerinin a) Likit limit (LL) b) Plastisite indisi (IP) değerleri

Kül oranı (%)	LL	PL	PI
0	66	31	35
5	47	31	17
10	45	28	17
15	44	29	15
20	42	27	15
25	41	28	13

Elde edilen sonuçlardan, yüksek plastisiteli killere katılan uçucu kül miktarının artmasıyla zemin örneğinin likit limit ve plastisite indisi değerlerinin düştüğü anlaşılmıştır (Şekil 5).

DeneySEL çalışmanın ilerleyen aşamalarında, Kutlubey bölgesi killere ağırlıkça %5, %10, %15, %20 ve % 25 gibi değişik oranlarda

Çatalağzı B Termik Santrali’ne ait atık uçucu kül katılarak elde edilen karışımların Standart Proktor deneyi ile sıkışabilme özellikleri araştırılmıştır (Şekil 6).



Şekil 5. Farklı kül oranlarına bağlı elde edilen uçucu kül-kil karışımı örneklerinin a) Likit limit (LL) b) Plastisite indisi (IP) değişimi

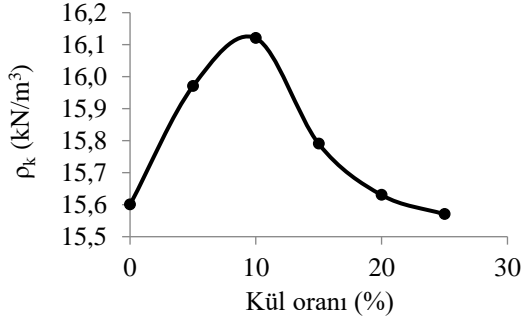


Şekil 6. Uçucu kül-kil karışımları üzerinde yapılan Standart Proktor deneyi (a-b)

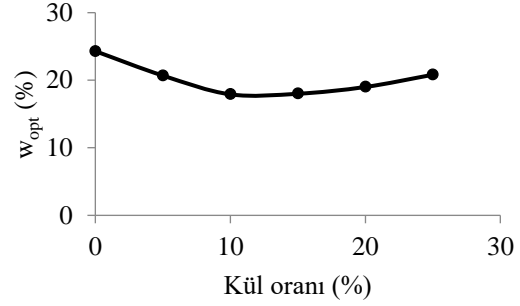
Yapılan Standart Proktor deneyi sonucunda kil zemin örneğine ait maksimum kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevası sırasıyla 15.6 kN/m³ ve %24.3 olarak bulunmuştur. Burada killi zeminlere katılan tüm uçucu kül miktarları için optimum su muhtevası katkısız kil numunelerine göre düşmüştür. Bununla birlikte, %10’dan fazla miktarlardaki uçucu kül katkısına

bağlı olarak elde edilen maksimum kuru bicim ağırlıklar sürekli azaldığı ve daha yüksek uçucu kül oranlarında karışımın mekanik özelliklerinde bir iyileşme olmayacağı değerlendirilmiştir. Bu

nedenle deneysel çalışmanın ilerleyen safhalarında ağırlıkça %25 uçucu kül karışımı dikkate alınmamıştır (Şekil 7).



(a)



(b)

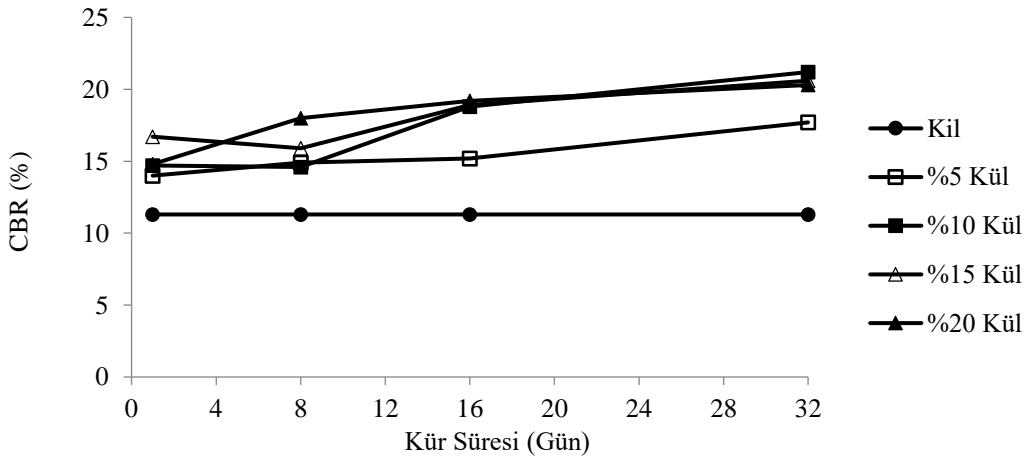
Şekil 7. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin uçucu kül oranına bağlı a) maksimum kuru birim hacim ağırlık, b) optimum su muhtevası değişimi

Kutlubey bölgesi killere ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 gibi değişik oranlarda uçucu kül katılarak elde edilen karışımlar, optimum su muhtevalarında CBR deneyi yapmak üzere

kalıplarda sıkıştırılmış ve rutubetli ortamda kür edilmiştir. CBR deneyleri 1, 8, 16 ve 32 gün kür edilen numuneler üzerinde ASTM D1883'e göre yapılmıştır. (Şekil 8a)



(a)



(b)

Şekil 8. a) CBR deneyi aşamaları b) CBR deneyi sonuçları

Elde edilen deney sonuçlarından, her karışımın CBR değeri katkısız kil numunelerine oranla daha yüksek değer verdiği belirlenmiş olup elde edilen bu değerler kür süresinin artmasıyla yükselme eğilimi göstermiştir. Genel olarak, katkısız kil numunelerine kıyasla 32 gün kür edilmiş % 10-20 arası uçucu kül ilavesi ile elde edilen karışımların CBR değerlerinde ortalama %25'lik bir artış söz konusudur. Deneysel olarak elde edilen CBR değerlerindeki en iyi performans %10 uçucu kül katkısı ile 32 günlük kür edilmiş karışım için elde edilmiştir (Şekil 8b).

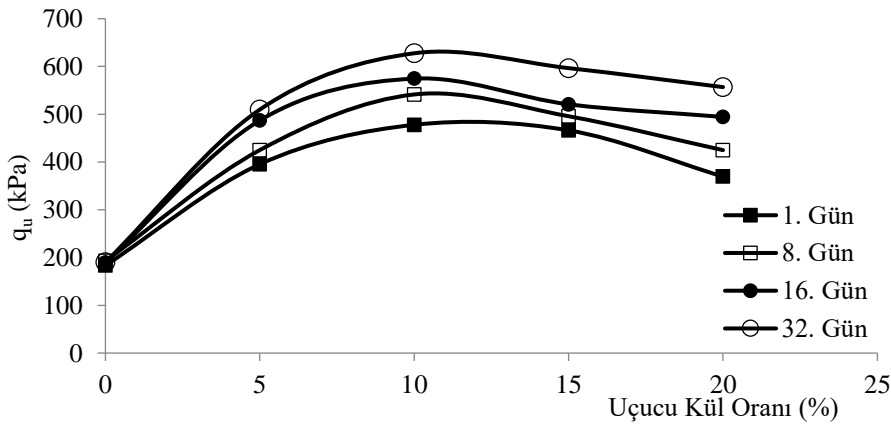
Yukarıda belirtilen farklı uçucu kül atık malzemesi oranlarında hazırlanan karışımlar optimum su muhtevasında CBR kalıbında sıkıştırıldıktan sonra keskin uçlu ince cidarlı numune çıkarıcı silindir kalıplar yardımıyla serbest basma deneyi için numuneler çıkarılmıştır. Çıkarılan bu numuneler $21^{\circ}\text{C} \pm 3$ sıcaklığında rutubetli bir ortamda muhafaza edilerek kürde bekletilmiştir.

Kürde bekletilen her karışım oranındaki numuneler sırasıyla 1, 8, 16 ve 32 gün sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Tüm deneyler için toplamda 48 deney numunesi kullanılmıştır. Yapılan serbest basınç deneyi esnasında genel olarak rijit yenilmeler gözlemlenmiştir (Şekil 9a). Deney sonuçlarına göre, artan kür süresi ile numunelerin tek eksenli basınç dayanımının giderek arttığı ve katkısız kil numunelerine kıyasla karışımların daha yüksek tek eksenli basınç dayanımı gösterdiği belirlenmiştir. Farklı oranlardaki uçucu kül miktarında hesaplanan tek eksenli basınç dayanımı tüm kür süreleri için % 0'dan % 10'a kadar artmakta olup % 10'dan sonraki katkılarda bu değer düşüş göstermektedir (Şekil 9b).

Karışımlara ait CBR ve serbest basınç dayanım deney sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde en iyi performans %10 uçucu kül katkısı ve 32 gün kür edilmiş numuneler için elde edilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 9. a) Optimum su muhtevalarında serbest basınç deneyi için numune hazırlanması, kür edilmesi ve gözlemlenen rijit yenilmeler b) Serbest basınç deney sonuçları

Sonuçlar

Oturma potansiyeli yüksek ve taşıma gücü düşük olan zayıf zeminlerin farklı katkı malzemeleri ile mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi geoteknik mühendisliğinin önemli araştırma konularından birisidir. Termik santrallerden elektrik üretimi esnasında atık malzeme olarak çıkan uçucu küller, düşük maliyetli ve ulaşılabilir bir yapı malzemesi olması sebebiyle literatürde yapılan birçok çalışmada killi zeminlerin stabilizasyonunda kullanılmıştır. Burada önemli bir konu, literatürdeki birçok deneysel çalışmalara ilaveten yapılan bu çalışmada da gözlemlendiği üzere farklı oranlardaki uçucu kül miktarları ile elde edilen karışımların tümünün katkısız kil numunelerine göre yüksek dayanım gösterdiği gerçeğidir.

Yapılan bu çalışmada, Bartın Üniversitesi Kutlubey-Yazıcılar yerleşkesinde bulunan ve mekanik özelliklerinden dolayı zayıf zeminler olarak değerlendirilen killi zeminlerin iyileştirilmesi amacıyla kullanılacak optimum uçucu kül miktarı araştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlardan, killi zemine eklenen %5-%20 arasındaki uçucu kül katkısının tüm oranları için katkısız kil numunelerine göre daha yüksek CBR ve serbest basınç dayanımı verdiği belirlenmiş olup, kür süresi arttıkça bütün karışımların CBR ve tek eksenli basınç dayanımı artmaktadır. Ancak, uçucu küllerin iyileştirme malzemesi olarak %10'a kadar kullanımı tek eksenli basınç dayanımını artırmakta olup bu orandan sonraki kullanımı zeminlerin mekanik özelliklerindeki iyileşme performansını düşürmektedir. Buna ek olarak, killere katılan uçucu kül miktarının artması zemin örneğinin likit limit ve plastisite indisi değerlerini de düşürmüştür. Genel olarak tüm deneysel veriler değerlendirildiğinde, Çaycuma formasyonunun ayrışma zonundaki killerin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılacak optimum uçucu kül katkısı %10 olarak bulunmuştur.

Kaynaklar

- Acosta, H.A., Edil, T.B. ve Benson, C.H. (2003). Soil stabilization and drying using fly ash, Geo Engineering Report No. 03-03, Geo Engineering Program, University of Wisconsin-Madison, USA.
- Alkaya, D., (2009). Uçucu küllerin zemin iyileştirmesinde kullanılmasının incelenmesi, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **5**, 1, 61-72.
- ASTM D1883, (2007). Standard test method for CBR of laboratory-compacted soil, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- ASTM C 686, (1990), Standard Test Method for Parting Strength of Mineral Fiber Batt- and Blanket-Type Insulation, American Society for Testing Materials. USA.
- Ateş, A., Totiç, E. ve Yeşil, B. (2015). Kutlubeyyazıcılar Kampüs alanının (Bartın Üniversitesi) yerleşime uygunluk açıdan değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **3**, 2015, 373-397.
- Aytekin, S., (2009). Uçucu küllerinin killi zeminlerin ıslahında kullanımı, Çukurova Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Cetin, B., Aydılek, A.H. ve Güney Y., (2010). Stabilization of recycled base materials with high carbon fly ash, *Resources, Conservation and Recycling*, **54**, 11, 878-892.
- Chu, S.C. ve Kao, H.S., (1993). A study of engineering properties of a clay modified by fly ash and slag, *Fly Ash for Soil Improvement-Geotechnical Special Publication*, **36**, 89-99.
- Das, A., Jayashree, Ch. ve Viswanadham, B. V. S., (2009). Effect of randomly distributed geofibers on the piping behaviour of embankments constructed with fly ash as a fill material, *Geotextiles and Geomembranes*, **27**, 5, 341-349.
- Dissanayake, T.B.C.H., Senanayake, S.M.C.U. ve Nasvi M.C.M., (2017). Comparison of the stabilization Behavior of fly ash and bottom ash treated expansive soil, *Engineer: Journal of the Institution of Engineers*, **50**, 1, 11-19.
- Edil, T.B, Acosta, H.A. ve Benson, C.H., (2006). Stabilizing soft fine-grained soils with fly ash, *Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE*, **18**, 2, 283-294.
- Fatih, YILMAZ., (2016). Zemin stabilizasyonunda uçucu kül kullanımı, 3rd International Symposium on Environment and Morality, 1175- 1181, Alanya ,Turkey.

- Indraratna, A. S., Balasubramanian, A. K. ve M. J. Khan., (1995). Effect of fly ash with lime and cement on the behavior of a soft clay, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, **28**, 2, 131-142.
- Kızılgut, S., Çuhadaroğlu, D. ve Çolak, K., (2001). Çatalağzı Termik Santral Uçucu Küllerinden Tuğla Üretim Olanaklarının Araştırılması, Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı. Ankara.
- Öz, M.Y., (2015). Sıvılaşmaya karşı jet grouting yöntemi ile örnek bir iyileştirme uygulamasının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Phanikumar, B., (2009). Effect of lime and FA on Swell, consolidation and shear strength characteristics of expansive clays: a comparative study, *Geomechanics and Geoengineering An International Journal*, **4**, 2, 175-181.
- Scott, M.M. ve Ferguson F., (2005). Stabilization of soil with self-cementing coal ashes, *Proceedings, 2005 World of Coal Ash (WOCA)*, 1-7, Lexington, Kentucky, USA.
- Sharma, N.K., Swain, S.K. ve Sahoo U.C., (2012). Stabilization of a clayey soil with fly ash and lime a micro level investigation, *Geotechnical Geological Engineering*, **30**, 5, 1197-1205.
- Tokay, M., (1954/55) Filyos çayı ağzı-Amasra-Bartın-Kozcağz-Çaycuma bölgesinin jeolojisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, **46/47**, 58-73.
- Tokay, M. ve Erdoğan, K., (1998). Türkiye termik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin karakterizasyonu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMA), Ankara.
- TS 639, (1975). Uçucu küller, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turker, D. ve Cokca, E. (2006). Effects of addition of fly ash on swell potential of an expansive soil, in *Expansive Soils-Recent Advances In Characterization And Treatment*, Edited by Al Rawas, A. A. and Goosen, M. F. A., 453-463, Taylor and Francis Group, Balkema, London.
- Usmen, M., Bowders, I. ve Gidley I., (1987). Stabilized fly ash use as low-permeability barriers, *Proceedings, Geotechnical Practice for Waste Disposal '87*, ASCE, 32N-333, New York, USA.
- Ünver, E., (2015). Problemlili kil zeminlerin uçucu kül ile iyileştirilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.
- Verma, C.L., Handa, S.K., Jain S.K. ve Yadav, R.K. (1998). Techno-commercial perspective study for sintered fly ash light-weight aggregates in India, *Construction and Building Materials*, **12**, 6-7, 341-346.
- Wasti, Y., (1990). Uçucu Küllerin Geoteknik Özellikleri ve Kullanım Olanakları, *İMO Teknik Dergi*, **1**, 4, 177-188.

Effect of fly ash on the mechanical properties of clayey soils

Extended Abstract

In civil engineering applications, the soil profile on which the foundation is located may not be suitable because of mechanical insufficiencies. In such cases, instead of relocating the application project, the stabilization of soils with different waste material can be considered as a solution.

The studies to improve mechanical strength of soil medium by using waste material is called soil stabilization. In here, note that, the use of different material such as marble powder, rubber chip and fly ash are being used for improvement of clayey soils is an important research topic in geotechnical engineering.

The safety of soils in terms of strength behaviour is especially important for geotechnical project. Soft clayey soils with high plasticity have generally high settlement potential and its bearing capacity is very poor. During construction of engineering structures, to stabilize of this type soils is a preferable method economically. In particular, soil improvement methods aim to reduce consolidation settlement and improve the bearing capacity of clayey soils. In recent years, the studies to enhance the geotechnical parameters by adding waste material to the problematic clayey soils have been increasingly going on.

To solve the increasing energy needs and to obtain cheap electricity production, some thermal power plants using hydroelectric power plants or pulverized coal as fuel were established in our country. In these power plants, low calorie lignite coal is burned and the fly ash is obtained from the chimneys as the burner residues. The fly ash, which is a waste material from thermal power plants and stored in open areas, causes environmental problems such as environmental pollution, dusting, damage to agricultural products, and radiation. Using of these waste material in soil stabilization will also provide important solutions to environmental problems. Moreover, it will eliminate the additional transportation costs and time loss during the storage of these waste materials.

Herein, what rate is more acceptable for the use of these waste for improving soil stabilization is an

important issue. In this study, the optimum rate of waste material has been investigated to improve of clayey soils considered as weak due to their mechanical properties and located at Bartın University Kutlubey Campus. The fly ashes have been used as waste material in the improvement of clay samples obtained from Çatalağzı Thermal Power Plants.

In the first phase of this experimental work, to determine the grain size distribution of the fly ash-clay mixtures, wet sieve analysis tests were performed. From the obtained curve, the grain diameter for all samples was found to be 0.3 mm. Moreover, the changes in the Atterberg limits of clayey soils were observed in terms of the increased fly ash content. The clay samples used in this study were determined to have high plasticity clay (CH) according to Unified Soil Classification System (USCS). From the obtained results, the liquid limit and the plasticity index of the clayey soils decreased with the increase in the amount of fly ash.

Afterwards, the optimum water content and maximum dry density of the mixtures obtained by adding fly ash at varying ratio between 5% and 20% to the clayey soils were determined with the Standard Proctor Test. These mixtures were then compressed at optimum water content. In which proportion the improvement of California bearing ratio (CBR) and unconfined compressive strength of fly ash- clay mixtures cured 1, 8, 16, 32 days by compressing at optimum water content were investigated experimentally in the last stage of study.

When the CBR and unconfined compressive strength test results were evaluated, the best performance was obtained by adding 10% fly ash to clayey soils for 32 days cure. In addition to this, as the curing time increases the CBR and unconfined compressive strength increase. On the other hand, increase in the amount of fly ash added to the clayey soils decreased the value of liquid limit and plasticity of the soil samples. Consequently, the obtained experimental results show that the mechanical properties of fly ash-clay mixtures were significantly improved.

Keywords: *Clayey soils, soil stabilization, CBR, unconfined compressive strength, experimental investigation*