

KİLLİ ZEMİNLERİN ÖZELLİKLERİNİN UÇUCU KÜL KULLANARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Kaveh DEGHANIAN¹ 

¹İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

*kavehdeghanian@aydin.edu.tr

Özet

Dispersif ve şişen zeminler sorunlu zeminler olarak tanımlanır ve birçok mühendislik yapısında ciddi sorunlara neden olurlar. Son yıllarda, bu zeminlerin özelliklerini geliştirmek için atık maddeler kimyasal katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ekonomik sebeplerden dolayı ve kimyasal katkı maddelerinin hızlı uygulanması sayesinde geoteknik mühendisliğinde geniş uygulama alanı kazanmıştır. Uçucu kül, kömürün yanmasıyla oluşan en yaygın atık maddelerden biridir. Bu atık malzemenin kullanılması çevre kirliliğinin önlenmesinde de büyük rol oynamaktadır. Düşük birim ağırlığı, yüksek kayma mukavemeti ve düşük çökme hızı gibi özellikleri, bu malzemeyi zemin iyileştirme tekniklerinden biri olarak iyi bir seçenek haline getirir. Ayrıca uçucu kül; setler, barajlar ve yollar gibi geoteknik projelerde kullanılabilir. Bu çalışmada killi zeminlerin mekanik özelliklerini iyileştirmek için uçucu külün etkisi araştırılmıştır. Elek analizi, su içeriğinin belirlenmesi, Atterberg limitleri, Standart Proktor ve üç eksenli kesme testleri İllit kil örneklerinin %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 uçucu kül ile karıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin bir sonucu olarak, numunenin plastisite indeksi ve kohezyonu, uçucu kül içeriğinin artmasıyla azalmıştır. Ek olarak, sadece %5 kül içeriği eklenerek sürtünme açısı artırılmıştır. Karışımdaki uçucu kül oranı daha fazla artarsa, numunenin sürtünme açısı azalır. Sonuç olarak, optimum yüzde olarak %5 uçucu kül ve kil karışımı önerilebilir. Elde edilen sonuçlar, killi toprağın uçucu kül kullanılarak etkili bir şekilde stabilize edilebildiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Zemin iyileştirme, Üç eksenli kesme deneyi, Sürtünme açısı, Kohezyon.

IMPROVEMENT OF THE PROPERTIES OF CLAYED SOILS BY USING FLY ASH

Abstract

Dispersive and swelling soils are defined as problematic soils and they cause serious problems in many engineering structures. In recent years, waste materials have been used as chemical additives to improve the properties of these soils. Due to economic issues and fast application of chemical additives, it has gained wide application in geotechnical engineering. Fly ash is one of the most common waste materials generated by the combustion of coal. Utilization of this waste material plays a big role in preventing environmental pollution too. The properties of fly ash such as low unit weight, considerable shear strength

and low settlement rate makes this material a good option as one of soil improvement techniques. Moreover, flyash can be used in geotechnical projects such as embankments, dams and roads. In this study, the effect of fly ash was investigated to improve the mechanical properties of clayey soils. Sieve analysis, determination of water content, Atterberg limits, Standard Proctor, and triaxial shear tests were performed by mixing Illite clay samples with 0, 5%, 10%, 15%, 20%, and 25% fly ash. As a result of these experiments, the plasticity index and cohesion of the sample decreased with increasing fly ash content. In addition, the friction angle was increased by adding only 5% ash content. If the proportion of fly ash in the mixture increases more, the friction angle of the sample decreases. Consequently, a mixture of 5% fly ash and clay can be recommended as an optimum percentage. The results show that clay soil can be stabilized effectively using fly ash.

Keywords: Fly ash, Soil improvement, Triaxial shear test, Friction angle, Cohesion.

1. GİRİŞ

Termik santrallerde kömürün yanmasından elde edilen uçucu kül, dünyada büyük miktarda üretilmektedir. Düşük birim hacim ağırlığı, yüksek kayma dayanımı, düşük sıkıştırılabilirlik, neme karşı duyarsız olma gibi özellikler uçucu külün olumlu özelliklerinden bir kaçısı olup zemin özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ayrıca, dolgu barajı ve yol inşaatı gibi geoteknik mühendisliğinde yapılan uygulamalarda uçucu külün büyük miktarda kullanımı mümkündür. Çeşitli araştırmacılar, Atterberg limitleri ve indeks özelliklerine dayalı olarak killi zeminlerin şişme özelliklerini tahmin etmek için deneysel ilişkiler üzerinde çalıştılar. Bununla birlikte, genleşme-büzülme özellikleri ile katkı maddelerinin plastisite indeksi ile stabilize edilmiş şişen zeminler arasındaki ilişki araştırılmamıştır. Zhao Vd (2008) göre kürlenmeden uçucu kül içeriğindeki artışla birlikte, serbest basınç dayanımında ihmal edilebilir değişiklikler vardır. Ancak kireç ilavesiyle kesme dayanımı önemli ölçüde artmıştır. 7 günlük kürlenme süresine sahip işlenmiş zeminler için optimum uçucu kül içeriği % 9-12 olarak bulunmuştur. Uçucu kül içeriğinin artması ile stabilize zeminin plastisite indeksinin azaldığı görülmüştür. Sahu vd. tarafından yapılan çalışmada, siltli kum, killi zemin ve siltli zemin gibi farklı tipteki zeminlerin uçucu kül ile stabilizasyonunun zeminlerin CBR değerlerini artırdığı bildirilmiştir. CBR değerlerindeki artış, siltli kum için maksimum, killi zemin için minimum olarak bulunmuştur. Bu, stabilize zeminin plastisite davranışının, zeminlerin CBR değerlerini büyük ölçüde etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, şişen zemine uçucu kül ilavesi, sıkıştırma davranışını, kesme dayanımı parametrelerini, şişme özelliklerini ve ardından alt zeminin oturma davranışını etkileyebilir. J Prabakar ve diğerleri (2004), % 9 ile % 46 arasında değişen farklı yüzdelerde uçucu kül kullanarak geniş zeminlerin stabilizasyonunu araştırdı. Benzer şekilde, uçucu kül stabilizasyonu üzerine rasgele yönlendirilmiş elyaf ilavesi ile karıştırılmış uçucu kül, Ghosh ve diğerleri (2007), F sınıfı uçucu külün tek başına veya alçı ile kombinasyon halinde kullanımı, uçucu ile organik zeminlerin stabilizasyonu gibi çeşitli çalışmalar yürütülmektedir yumuşak ince taneli zeminleri uçucu kül ile stabilize eden kül. Serbest basınç ve zemin mukavemeti ile ilgili az sayıda araştırmacı tarafından uçucu kül ve zemin stabilizasyonu ile ilgili araştırmalar yapılmıştır (Sivapullaiah et.al. 1995; Ghosh and Subbarao 2006; Gaciarz 2012). Yapılan bu çalışmalarda ve benzer çalışmalarda bazen çelişkili sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin serbest kesme mukavemeti üzerinde uçucu külün artışının etkisinin az olarak bildirilmiştir (Gaciarz 2012). Diğer araştırmalarda, kül oranı arttıkça serbest kesme mukavemetinin artışı rapor edilmiştir (Ansari vd. 2006). Ayrıca, uçucu külün tipi ve killi zeminin türü-de bulunan sonuçlarda etkili olabilir. Bu sebepler nedeni ile uçucu külün davranışının daha çok araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada, külün farklı yüzdeleri kullanılarak, kilin fiziksel ve mekaniksel davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2.MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, uçucu külün ilit kilin üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Killi numune İstanbul Şile'den ve Uçucukül Erdemik termik santral'dan temin edilmiştir. Yapılan tüm deneylerinde farklı katkıda uçucu külün (%0, %5, %10, %15, %20, %25) kullanılmıştır. Yapılan araştırmada Elek analizi, Su içeriğinin belirlenmesi, Atterberg limitin belirlenmesi, Proktor Deneyi, ve üç eksenli kesme deneyi yapılmıştır. Bu

çalışmada C tipi uçucu kül kullanılmıştır. C tipi uçucu kül %15'ten %35'e kadar CaO içerir ve bitümlü olmayan kömürün ve diğer linyitin yanmasıyla elde edilir. Bu tip uçucu küller yüksek kalsiyum içeriğine sahip olduğundan puzolanik özelliğinin yanında bağlayıcılık özelliğine de sahiptir (Bulut ve Tançan 2009). Uçucu kül tipi genellikle ASTM C618'e göre belirlenmektedir. Tüm deneyler TS 1500, TS1900-1 ve TS1900-2 standartlarına uygun yapılmıştır. Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar

Deney numunelerinin karışım oranları Simge

kil	k
kil ve %5 uçucu kül	kFA/5
kil ve %10 uçucu kül	kFA/10
kil ve %15 uçucu kül	kFA/15
kil ve %20 uçucu kül	kFA/20
kil ve %25 uçucu kül	kFA/25

3.SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3. 1. ÖZGÜL AĞIRLIKLARIN BELİRLENMESİ:

Zeminlerin dane özgül ağırlığı (Gs), hacim ve ağırlık ilişkisinin tespit edilmesi için gereklidir. Deneyde TS 1900-1 standardı uygulanmıştır. Her deney 3 set tekrarlanıp ortalama değer kaydedilmiştir.

Çizelge 2. Numunelerin özgül ağırlığı

Uçucu kül(%)	Malzeme	Ortalama G _s
0	Uçucu kül	2.02
0	İllit kil	2.83
%5	Uçucu kül + kil	2.91
%10	Uçucu kül + kil	2.44
%15	Uçucu kül + kil	2.39
%20	Uçucu kül + kil	2.40
%25	Uçucu kül + kil	2.42

3. 2. ELEK ANALİZİ:

Zeminler; zemin malzemelerinin dane boyu dağılımı, iyi derecelenmiş ve iyi derecelenmemiş olarak tanımlanır. Tüm deneyler TS 1900-2'e göre yapılmıştır. Elek analizi için, etüvde ortalama 105 C⁰'de 24 saat kurutulan zemin malzemesi gerekir. Numune 0.075 mm (200 no'lu) elek üzerinde elek altından çıkan su berraklaşana kadar yıkanmıştır. Elek üzerinde kalan numune etüvde 24 saat kurumaya bırakılmıştır.

Kalan numune tartılarak yıkama esnasındaki kayıp miktarı belirlenir. Bu numune büyükten küçüğe doğru sıralanmış eleklerden (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", #4, #10, #16, #40, #100 ve #200) elenerek elek üzerinde kalan ve başlangıçta kullanılan zemin miktarına göre elekten geçen yüzdeler belirlenerek granülometri eğrisi çizilir. Yapılan deneylerin sonucu çizelge 3 'de gösterilmiştir.

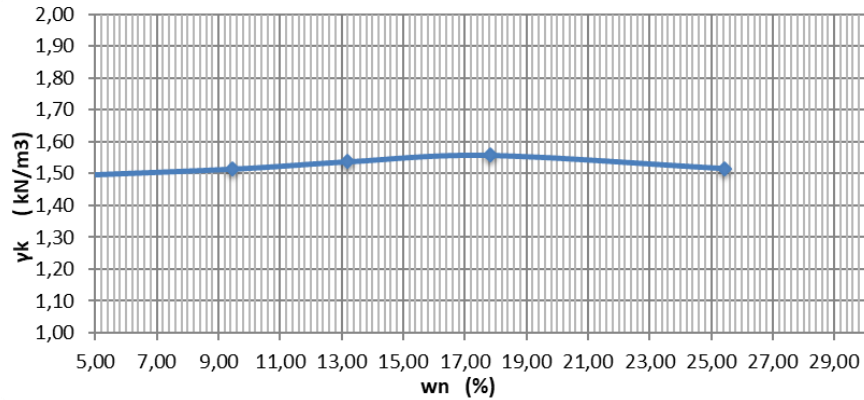
Çizelge 3. Elek analizinin sonucu

Yaş Numune Ağırlığı	463.97	
Kuru Numune Ağırlığı	455.32	
Kuru Numune Ağırlığı	455.32	Çakıl + Kum + Silt + Kil
Yıkamadan Sonraki Kuru Numune Ağırlığı	23.14	Çakıl + Kum

elek no	elekte kalan (gr)	toplam kalan (gr)	toplam geçen (gr)	toplam geçen (%)	elek açıklığı (mm)
3"	0.00	0.00	455.3	100	75
	0.00	0.00	455.3	100	63
1,5"	0.00	0.00	455.3	100	40
	0.00	0.00	455.3	100	20
	0.00	0.00	455.3	100	9.5
4	0.00	0.00	455.32	100.00	4.75
10	0.18	0.18	455.14	99.96	2
	0.00	0.18	22.96	99.22	1.4
	0.19	0.37	454.95	99.92	1.19
	0.55	0.92	454.40	99.80	0.600
	0.00	0.92	22.22	96.02	0.500
40	0.64	1.56	453.76	99.66	0.425
	0.78	2.34	452.98	99.49	0.300
	0.00	2.34	20.80	89.89	0.250
	9.45	11.79	443.53	97.41	0.150
	10.85	22.64	0.50	2.16	0.125
#200	0.50	23.14	432.18	94.92	0.063
PAN	0.50				

3.3. STANDART PROKTOR DENEYİ VE OPTİMUM SU MUHTEVASININ BELİRLENMESİ

Bu deneyin amacı, numunenin optimum su muhtevasının tespitidir. Deney TS 1900-1 standartına uygun hazırlanmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlar, Şekil 1'de verilmiştir. Deneyin sonucunda bulunan maksimum kuru birim hacim ağırlığı 1.56 gr/cm^3 ve su muhtevası %17.87 olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ilişkisi

3.4. ATTERBERG LİMİTLERİ

Zeminlerin su muhtevasına bağlı olarak değişik davranışlar göstermesi Atterberg tarafından deneysel olarak tarif edilmiştir. Atterberg tarafından tanımlanan, sınır su içerikleri Atterberg sınırları veya kıvam sınırları olarak adlandırılırlar. Likit limitte zemin kendi ağırlığı altında yavaşça akabilir. Plastik durumda zemine istenilen şekil kolayca verilebilir. Yarı katı durumda zemine istenilen şekil zorlukla verilir, zeminde çatlama oluşur. Katı durumda ise zemine şekil verilemez (Amer ve Awad, 1974). İllit kil malzemesinin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan zemin mekaniği deneylerinin sonuçları Çizelge 4’de sunulmuştur. Bu çizelgede zeminin sınıflandırılması, birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına (USCS) ASTM D2487 – 17 uygun bir şekilde yapılmıştır. USCS sınıflandırılmasına göre numune, düşük plastisiteli kil (CL) ve TS 1500 göre orta plastisiteli kil (CI) olarak belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında numune karışımları üzerinde yapılan likit limit ve plastik limit deney sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre uçucu kül oranının artışı ile Plastisite İndisi (PI) düşüş göstermektedir.

Çizelge 4. Doğal zeminin özellikleri

USCS sınıflandırma	CL
TS 1900-1 sınıflandırması	CI
Likit limit, LL (%)	38,22
Plastik limit, PL (%)	20,04
Plastisite indisi, PI (%)	18,18
Özgül ağırlık, G_s	2,02
Optimum su muhtevası, w_{opt} (%)	17,87
Maksimum kuru yoğunluk, γ_{kmax} (Mg/m ³)	1,56

Çizelge 5. Numunelerin kıvam limitleri

Deney Numuneleri	Likit Limit(%)	Plastik Limit(%)	Plastisite İndisi(%)
K	38.22	20.04	18.18
KFA/5	45,0	34,0	11,0
KFA/10	44,5	33,7	10,8
KFA/15	44,5	33,7	10,8
KFA/20	43,4	33,2	10,2
KFA25	40.62	31,09	9,53

3.5. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DAYANIMI DENEYİ

Hazırlanan numuneler optimum su muhtevalarda karıştırılıp sıkıştırıldıktan sonra, 3 set üç eksenli deney yapılmıştır. Her set deneyde, çevre basıncı (σ_3) 50,100 ve 150 kPa olarak belirlenmiştir. Arazide zemin üç eksenli gerilme etkisi altında bulunduğu için gerçeğe en yakın kayma dayanımı parametresi arazi deneylerinden elde edilir. Bu nedenle kayma dayanımını belirlemek için en yaygın deney yöntemi üç eksenli basınç dayanımı deneyidir. (Yılmaz vd. 2014). Üç eksenli deneyleri, farklı katkı kil ve uçucu kül oranları ile yapılmıştır. Kül oranları %0, %5, %10, %15, %20 ve %25 olarak değişmektedir. Uçucu kül ile hazırlanan karışımlara ait üç eksenli basınç deneyi numuneleri ve numunelerin deneyden sonraki hali Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Üç eksenli basınç deney düzeneği

Genellikle üç eksenli basınç deneyi üç şekilde yapılmaktadır: Konsolidasyonlu – drenajlı deney (CD), konsolidasyonlu – drenajsız deney (CU deneyi) ve konsolidasyonsuz – drenajsız deney (UU deneyi). Zemin mekaniğinde çok hızlı yapılan yüklemenin getirdiği kritik gerilme durumu önem taşımaktadır. Laboratuvar ortamında bu durumu en iyi temsil eden deney UU deneyidir. Deneylerin sonunda hesaplanan kohezyon (C) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) çizelge 6`da gösterilmiştir.

Çizelge 6. Farklı karışımlarına ait Üç eksenli basınç dayanımı sonuçları

Uçucu kül oranı (%)	0%	5%	10%	15%	20%	25%
ϕ	20,75	29,9	19,8	19,1	17,5	13,9
C (kPa)	77,15	60,5	55,6	50,55	35,5	32,9

Çizelge 6`dan görüldüğü gibi uçucu kül oranındaki artışla beraber, kohezyon azalmaktadır. Bu bulgu özellikle şişen zeminlerin iyileştirilmesi için çok önem taşımaktadır. Ayrıca, %5 kül oranında, içsel sürtünme açısı maksimum değere sahiptir. %5`ten sonra kül oranının artışı ile beraber sürtünme açısı düşüş göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada uçucu külün killi zeminler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Farklı özelliklerin araştırılması için, Elek Analizi, Su muhtevasının belirlenmesi, Kıvam limitleri, Standart Proktor deneyi ve konsolidasyonsuz– drenajsız üç eksenli deneyler yapılmıştır. Uçucu küllu numunelerde, katkı oranının artmasıyla beraber plastisite indisi belirgin bir şekilde, %18.18`den %9,53`e azalma göstermiştir. Deneylerimizde kullanılan illit kili, orta plastik kil olarak sınıflandırılmıştır. Dolayısıyla bu zemin numunesinin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi önem kazanmaktadır. Farklı katkı yüzdeleriyle yapılan üç eksenli UU deneyleriyle, kohezyon 77,15 kPa dan 32,9 kPa azalmıştır. İçsel sürtünme açısı için en iyi katkı oranı %5 olarak belirlenmiştir. Bu oranda, katkısız Zemin numuneye göre %44 içsel sürtünme artışı görünmüştür. Katkı oranının %5`i geçmesiyle beraber içsel sürtünme açısı düşüş göstermektedir. Sonuç olarak %5 uçucu kül oranının üzerine çıkılması sürtünme açısıyla beraber kohezyonun düşmesine neden olmaktadır.

REFERANSLAR

Amer, A.M., and Awad, A.A. (1974). Permeability of Cohesionless soil, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 100: GT12: 1309-1316.

Ansary, M.A., Noor, M.A., Islam, M. (2006). Effect of fly ash stabilization on geotechnical properties of chittagong coastal soil. In: Proceedings of the Geotechnical Symposium on Soil Stress– Strain Behavior, Rome, Italy, March 16–17: 443–454.

ASTM C618-19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2019.

ASTM D2487-17, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.

Bulut Ü, Tanaçan L. (2008). Perlitin puzolanik aktivitesi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği anabilim dalı, İstanbul.

Gaciarz, R. (2012). Stabilization of Silty Soil using Fly Ash, M.Sc. Thesis, Department of Engineering, Central Connecticut State University, New Britain, CT.

Ghosh A., Subbarao C., (2006). Tensile strength, bearing ratio and slake durability class F flyash stabilized with lime and gypsum, Journal of Materials in Civil Engineering (ASCE), 18:18-27.

Ghosh A, Subbarao C. (2007). Strength Characteristics of Class F Fly Ash Modified with Lime and Gypsum. J Geotech Geoenvironmental Eng. 133(7):757–66.

Prabakar J, Dendorkar N, Morchhale RK. (2004). Influence of fly ash on strength behavior of typical soils. 18:263–7.

Sahu BK. Improvement in California Bearing Ratio of Various Soils in Botswana by Fly Ash. (2001). Int Ash Util Symp.22–4.

Sivapullaiah P. V., Prashanth J.P., Sridharan Asuri, (1995). Optimization of lime content for flyash, ASTM Journal of testing and evaluation, 23: 3, 222-227.

TS 1500. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.

TS 1900-1. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Lâboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.

TS 1900-2. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Lâboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2006.

Yılmaz I, Yıldırım M, Keskin I. (2014). Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler, 2.baskı Ankara, Türkiye, Seçkin.

Zha, F., Liu, S., Du, Y., Cui, K. (2008). Behavior of expansive soils stabilized with fly ash, Natural Hazards, 47 (3), pp. 509-523.