

## Zemin Stabilizasyonunda Uçucu Kül Kullanımı

<sup>1</sup>Fatih YILMAZ

\*<sup>1</sup>Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Bayburt University, Turkey

### Özet

Katı atık yönetimi kapsamında, endüstriyel bir atık olan uçucu külün mühendislik özellikleri düşük bir zeminin iyileştirilmesinde kullanılması çalışmanın ana amacıdır. Çalışma kapsamında killi bir zemine %0, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında uçucu kül ilave edilerek dayanım değerlerindeki değişimler araştırılmıştır. Tek eksenli dayanım değerlerine göre uçucu külün %25 oranında katkı maddesi olarak eklendiği SFA/25 karışımları en yüksek dayanım değerini vermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Katı atık yönetimi, zemin stabilizasyonu, uçucu kül

### Abstract

The aim of this study is to use fly ash for stabilization of soil, which has weak engineering properties, in the scope of solid waste management. Variation of strength results was investigated in this study by mixing 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25% and 30% of fly ash with clayey soil. As a result of unconfined compressive strength test values, SFA/25 mixtures which involves 25% of fly ash gives the maximum strength value.

**Key words:** Solid waste management, soil stabilization, fly ash

### 1. Giriş

Uçucu kül, termik enerji santralleri içinde öğütülmüş kömürün yanmasıyla ortaya çıkan bir üründür. Uçucu küllerin ASTM C 618'e göre C ve F sınıfı olarak iki farklı tipi bulunmaktadır. F tipi uçucu kül genellikle %10'dan daha az CaO içerir. Antrasit ve bitümlü kömürün yanmasıyla üretilen F tipi uçucu kül, düşük kireçli uçucu kül olarak sınıflandırılır. C tipi uçucu kül %15'ten %35'e kadar CaO içerir. Bitümlü olmayan kömürün ve diğer linyitin yanmasıyla elde edilen uçucu kül C tipidir. C tipi uçucu küllerin yüksek kalsiyum içeriğine sahip olduğundan puzolanik özelliğinin yanında bağlayıcılık özelliği de bulunur.

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri bulunmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, fakat ince taneli haldeyken sulu ortamda kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)<sub>2</sub>) bütünleşince hidrolik bağlayıcılık özelliğini kazanan silikalı ve alüminalı malzemelerdir. Puzolan olarak kullanılan malzemedeki kimyasal içerik puzolanik aktivite üzerinde etkilidir. Puzolanik malzemede yüksek oranda silis tanecikleri bulunur. Bu silis taneciklerinin amorf kristal yapısı puzolanik aktiviteye etki eden faktörlerden biridir [1]. Urhan'a göre, kristalin yapısındaki atom örgüleri sık ve düzenli

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Bayburt University, 69000, Bayburt, TURKEY. E-mail address: fyilmaz@bayburt.edu.tr, Phone: +904582111157 Fax: +904582111128

olduğu için çözünmeleri güçtür. Buna rağmen, camsı yapıdaki atom örgüleri hem daha dağınık hem de daha aralıktır. Bundan dolayı camsı bir kayaç olan perlitin yüksek oranda amorf silikaya sahip olması puzolanik aktivite açısından önemli bir özelliktir [2].

Puzolanlar kimyasal bileşenleri bakımından silikat ve alüminat ( $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 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 [3].

Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki grupta değerlendirilir [4]. Doğal puzolanlar; volkanik orijinli ve ısı oluşumlu olmak üzere iki şekildedir [5]. 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 hidratasyona uğramasıyla kuvvetli bağlar oluşturarak zemin danelerini bir arada tutar [6].

## 2. Materyal ve Yöntem

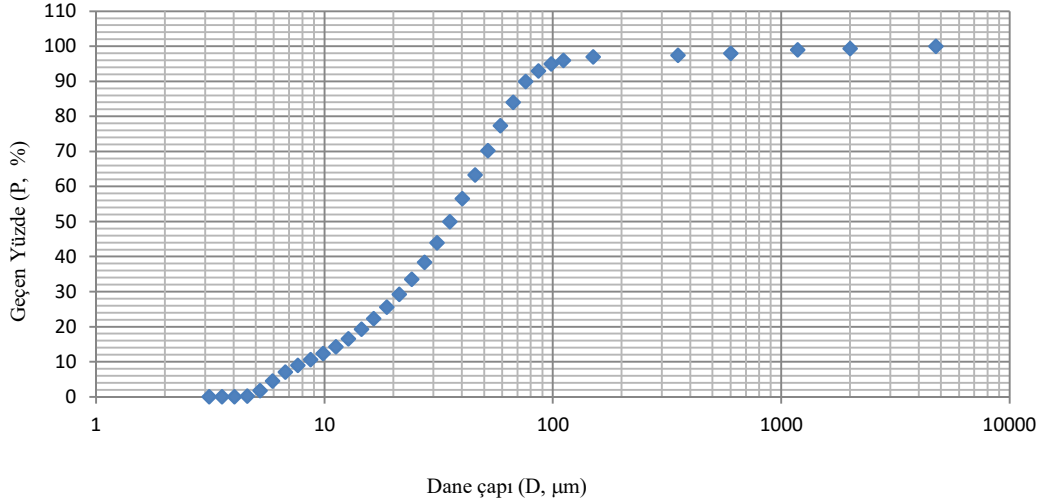
Bu çalışmada yapılan deneylerde kullanılan malzemeler doğal malzeme ve uçucu küldür. Doğal malzeme Bayburt ili Demirözü ilçesinden temin edilmiştir. Deney numuneleri doğal malzeme ve belirlenen oranlardaki uçucu külün katılmasıyla hazırlanmıştır. Doğal malzemeye uçucu kül %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında katılarak çalışmaya esas olan karışımlar hazırlanmıştır. Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Deney numuneleriyle ilgili notasyonlar

Deney numunelerinin karışım oranları	Notasyon
Doğal zemin	S
Zemin ve %5 uçucu kül	SFA/5
Zemin ve %10 uçucu kül	SFA/10
Zemin ve %15 uçucu kül	SFA/15
Zemin ve %20 uçucu kül	SFA/20
Zemin ve %25 uçucu kül	SFA/25
Zemin ve %30 uçucu kül	SFA/30

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.

Özer ve Orhan tarafından yapılan çalışmada lazer kırınım yöntemiyle tane büyüklüğü dağılımı belirlenmiş ve hidrometre yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlarına göre lazer kırınım yöntemiyle belirlenen kil yüzdesinin daha güvenilir olduğu belirlenmiştir [7]. Bu yüzden deney çalışmasında hidrometre yöntemi yerine lazer kırınım yöntemi kullanılmıştır. Doğal zeminin dane boyutu dağılım eğrisi Şekil 1’de verilmektedir.



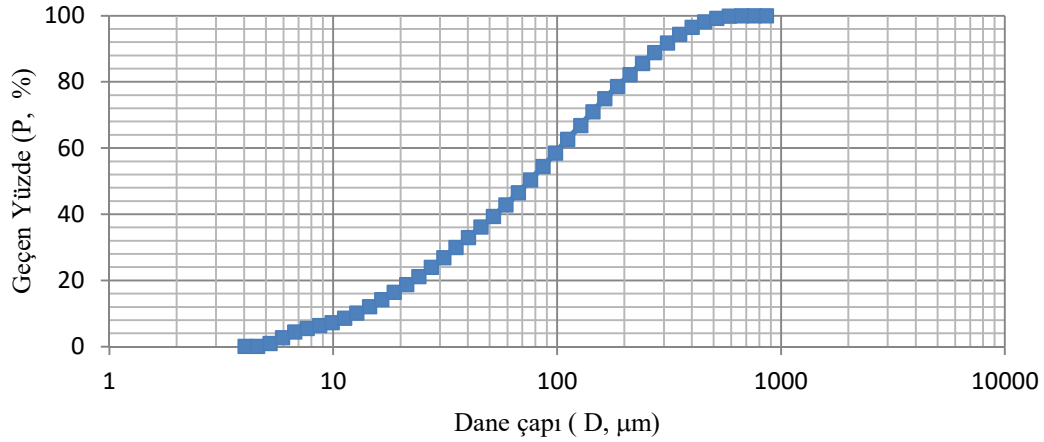
Şekil 1. Doğal malzemenin dane boyutu dağılım eğrisi

Doğal malzemenin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan zemin mekaniği deneyleri sonuçları Çizelge 2’de sunulmuştur.

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, $\rho_{kmax}$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1,63
Renk	Sarımttrak

Doğal malzemeye ASTM D 2974 (2007) standardına uygun olarak organik madde tayini analizi yapılmıştır. Elde edilen veriler sonucunda doğal malzemenin içindeki organik madde oranı %4,8 seviyelerinde bulunmuştur. Literatür çalışmalarında organik madde içeriği %5’ten daha fazla olan zeminlere kireçle stabilizasyon uygulanması durumunda, zemin içindeki organik maddelerin kimyasal reaksiyonları azaltıcı etkisi olduğu ve ıslanma kuruma periyotlarında zemini ufalayıp dağıttığı tespit edilmiştir [8-9]. Lazer kırınım sonrası uçucu küle ait dane boyutu grafiği Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Uçucu küle ait dane boyutu dağılım eğrisi

### 3. Sonuçlar ve Değerlendirme

Çalışma kapsamında hazırlanan karışımların ASTM D 4318 (2010) standardına uygun olarak yapılan likit limit ve plastik limit deney sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Optimum su içeriği ve maksimum kuru yoğunluk değerleri ise Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 3. Deneydeki numunelere ait kıvam limitleri

Deney Numuneleri	Likit Limit(%)	Plastik Limit(%)	Plastisite İndisi(%)
S	48,8	26,5	22,3
SFA/5	45,0	34,0	11,0
SFA/10	44,8	33,8	11,0
SFA/15	44,3	33,5	10,8
SFA/20	43,4	33,2	10,2
SFA/25	42,7	33,0	9,7
SFA/30	42,0	32,0	10,0

Çizelge 4. SFA karışımlarının kompaksiyon parametreleri

Numune	Maksimum Kuru Yoğunluk, Mg/m <sup>3</sup>	Optimum Su İçeriği, %
S	1,63	23,0
SFA/5	1,58	22,0
SFA/10	1,59	24,0
SFA/15	1,60	24,0
SFA/20	1,58	23,0
SFA/25	1,57	22,0
SFA/30	1,56	22,0

Çalışma kapsamında hazırlanan karışımların optimum su içerikleri belirlendikten sonra serbest basınç deneyine geçilmiştir. Deney numuneleri 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde silindirik numuneler olarak hazırlanmıştır. Deneyde serbest basınç için toplamda 42 adet numune hazırlanmıştır. Deney numuneleri için belirlenen kür süreleri 7 ve 28 gündür. Belirtilen kür süreleri sonunda uçucu külün belirlenen oranlarda zemine katılmasının zemin mukavemet değerlerine etkisi incelenmiştir. Çizelge 5’te uçucu kül karışımlarına ait 7 ve 28 günlük kür sonrasındaki tek eksenli serbest basınç dayanımı değerleri sunulmuştur.

**Çizelge 5.** SFA karışımlarına ait tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

Numune	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (kPa)	
	Kür Süresi	
	7. gün	28. gün
S	144,6	148,3
SFA/5	170,9	301,0
SFA/10	326,5	556,1
SFA/15	1153,0	1540,8
SFA/20	1575,0	1994,9
SFA/25	2107,1	2739,8
SFA/30	1795,9	2465,9

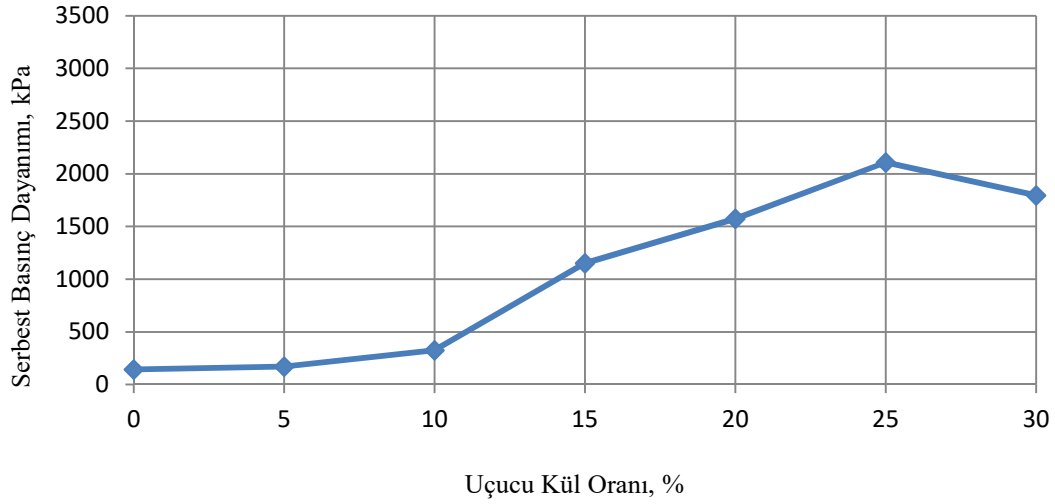
Tek eksenli basınç dayanımı deneylerine öncelikle zemin numunesi ile başlanmıştır. Tüm deneyler boyunca doğal zemine uçucu külün %0, %5, %10, %15, %20, %25, %30 oranında katılmasıyla numuneler hazırlanmıştır.

Düşük plastisiteli kil olan doğal zeminin 28 günlük kür sonundaki tek eksenli serbest basınç dayanım verileri doğal zemine uçucu kül katılmasıyla artışa geçmiştir. Bu sonuca bakılarak ince daneli zeminlerde uçucu kül ile stabilizasyonun yararlı sonuçlar verdiği görülmektedir. SFA karışımları ile hazırlanan numunelerdeki tek eksenli basınç dayanımı deneylerindeki kırılma davranışlarına bakıldığında kırılma şekilleri gevrek bir şekilde olmuştur.

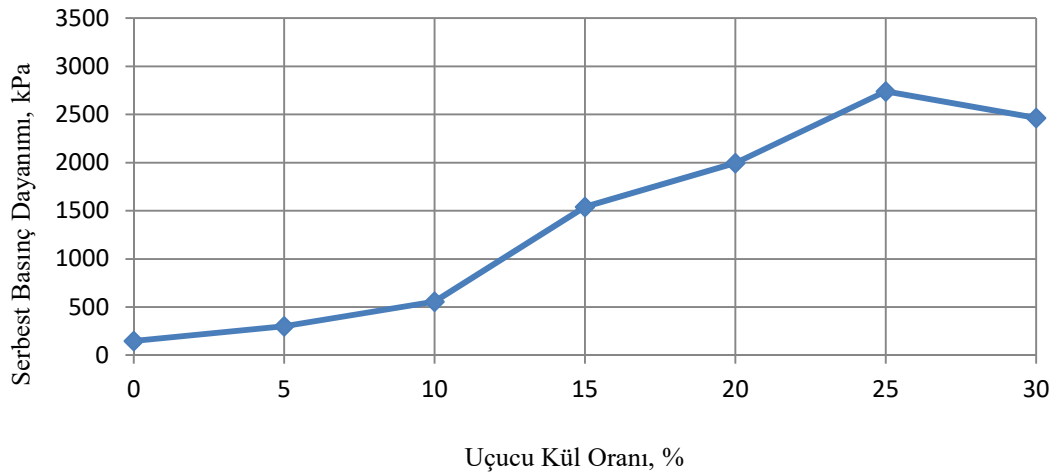
28 günlük kür sonrasındaki tek eksenli serbest basınç dayanımı testi uygulanan ve kırılan numuneler el ile yoğrulabilir kıvamda değillerdir. Kırılan bu numunelerin sert oldukları görülmüştür.

SFA karışımlarının 28 günlük kürden sonraki tek eksenli dayanım sonuçlarına bakıldığında en yüksek dayanım sonucunun 2739,8 kPa olan SFA/25 karışımlarından elde edildiği görülmüştür.

Uçucu kül ile hazırlanan karışımlara ait tek eksenli serbest basınç dayanımı 7. gün ve 28. gün kür sonrasındaki grafikleri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 3. SFA karışımlarının 7 günlük kürden sonraki serbest basınç dayanımları



Şekil 4. SFA karışımlarının 28 günlük kürden sonraki serbest basınç dayanımları

Çalışma neticesinde düşük plastisiteli kil olan doğal zemine belirlenen oranlarda uçucu kül katılmasıyla yapılan tek eksenli serbest basınç dayanımı değerlerinde belirgin bir artışlar görülmüştür. SFA karışımlarındaki 7 günlük tek eksenli serbest basınç dayanımındaki değerler, doğal zemin numunelerindeki dayanım değerlerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Kür süresi 28 gün olan karışımların dayanım değerlerinde en başarılı sonuç %25 uçucu kül kullanılarak hazırlanan SFA/25 karışımlarındaki numunelerde meydana gelmiştir. Yapay puzolan olan uçucu külle hazırlanan numunelerde zeminde belirgin iyileştirmeler gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Bulut Ü, Tanaçan L. Perlitin puzolanik aktivitesi. İtü Dergisi A 2009; 8,1: 81-89.
- [2] Urhan S. Silisin Alkali Ortamda Çözünmesine Etki Eden Faktörler. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento Bülteni 1991; 28: 15-21.
- [3] Yılmaz F. Tüfit Taşların Zemin Stabilizasyonunda Kireçle Birlikte Kullanılabilirliğinin Standart Deneyler ve Bilgisayarlı Tomografi Tekniği ile Araştırılması. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon 2015.
- [4] Ün H. Civil Engineering Department of Building Materials Course Notes 2007.
- [5] Erdoğan TY. Admixtures for Concrete. The Middle East Technical University Press 1997; 77-78.
- [6] Çokça E, İpek T. Kireç, Çimento, C ve F Sınıfı Uçucu Kül Katkısının Şişen Bir Zeminin Şişme Basıncına Etkisi. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, 1998; 10.
- [7] Özer M, Orhan M. Zeminlerin Tane Büyüklüğü Dağılımının Lazer Kırınım Yöntemiyle Belirlenmesi. Politeknik Dergisi 2007; 10,3 : 331-337.
- [8] Arman A. Moonfish GA. Lime Stabilization of Organic Soils. Highway Research Record 1972; 381: 37-45.
- [9] Nelson JD, Debora JM. Expansive Soils-Problems and Practice in Foundation and Pavement Engineering. John Willey&Sons Inc., London; 1992, p. 259-261.