



Değişik Tipte Katkılar ile Güçlendirilmiş Kum-Bentonit Karışımlarının Dayanım Özellikleri

Alper Sezer*, Nazar Tanrıman, Numan Aytekin

Ege Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 35100, Bornova, 0(232)3886026, 0(232)3425629, *alper.sezer@ege.edu.tr; ntranrman@gmail.com; nmanaytkn@gmail.com

*İletişimden sorumlu yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 27 Şubat (February) 2017

Kabul/Accepted: 15 Mayıs (May) 2017

DOI: 10.18466/cbayarfbe.339534

Özet

Kil-kum karışımları, özellikle dolgu alanları, ulaştırma yapıları ve atık deponi alanları gibi uygulamaları olan, genellikle yapay olarak oluşturulan zeminlerdir. Bu tip zeminlerin dayanım ve taşıma gücünü istenilen düzeye getirebilmek için kimyasal katkıları ile stabilizasyon pratikte yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmada, puzolanik çimento, kireç ve C sınıfı uçucu kül katkıları ile stabilize edilmiş farklı miktarlarda bentonit içeren kum zeminin dayanımına kil içeriği, katkı içeriği ve kür süresinin etkisi incelenmiştir. % 4, 8, 12 ve 16 oranlarında bentonit içeren karışımlar, kütlece % 3, 6 ve 9 oranlarında puzolanik çimento, kireç ve kütlece % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında C sınıfı uçucu kül katkılarıyla optimum su içeriklerinde hazırlanmıştır. Örnekler, 1, 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneyler sonucunda zemin karışımında bentonit miktarının artışı ile kireç katkılı örneklerin dayanımı artarken, diğer örneklerin dayanımında değişkenlik gözlenmiştir. Farklı zemin karışımlarında puzolanik çimento ile elde edilen dayanım değerlerinin, uçucu kül katkılı örneklerden elde edilen dayanım değerlerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Uçucu kül kullanımının daha ekonomik ve çevre dostu bir çözüm olacağı açıktır.

Anahtar Kelimeler— Kum-bentonit karışımı, çimento, kireç, uçucu kül, serbest basınç dayanımı.

Strength Properties of Sand-Bentonite Mixtures Improved By Use of Different Types of Admixtures

Abstract

Clay-sand mixtures are artificial blends particularly used in construction of landfills, transportation structures and embankments. When strength and bearing capacity of soils are inadequate, stabilization with chemical admixtures is a commonly preferred method, which ensures satisfactory engineering properties. In this study, pozzolanic cement, lime and class C fly ash were used as admixtures for stabilization. Effects of clay content, admixture inclusion level, additive content and curing period were investigated on strength of sandy soil with different bentonite contents. Mixtures including 4, 8, 12 and 16 % bentonite by weight were stabilized with 3, 6, 9 % pozzolanic cement, lime and also 5, 10, 15, 20 % class C fly ash by weight at their optimum water contents. Specimens were then subjected to unconfined compressive strength testing after 1, 7 and 28 days of curing period. Experimental results revealed that, maximum and minimum strength was obtained by testing specimens including pozzolanic cement and fly ash, respectively. It is evident that, economic and environmental concerns makes use of fly ash more feasible.

Keywords— Sand-bentonite mixture, cement, lime, fly ash, unconfined compressive strength.

1 Giriş

Kum-kil karışımları özellikle dolgu alanları, ulaştırma yapıları ve atık deponi alanları gibi sahalarda yapay olarak

oluşturularak kullanılmaktadır. Bu tür zemin karışımlarının mekanik özelliklerini istenilen düzeye getirebilmek için kimyasal katkıları ile stabilizasyon yaygın olarak kullanılan

bir yöntemdir. Zemin stabilizasyonunda sıklıkla kullanılan çimento ve kireç gibi katkıların yanı sıra, atık malzemelerin kullanılarak değerlendirilmesi mühendislik uygulamalarına ekonomik çözümler sağlayabilmektedir. Literatürdeki çalışmalar, yaygın olarak kullanılan katkıları gibi uçucu kül katkısının da zeminlerin mühendislik özelliklerini önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermektedir.

Çimento zeminin su tutma kapasitesini azaltırken, dayanımı, rijitliği ve taşıma gücü kapasitesini artırır. Çimento stabilizasyonu genellikle temel altı ve yol inşaatı alt temel zeminlerinin iyileştirilmesinde tercih edilmektedir [1, 2]. Kireç katkısı ise, çimentoya benzer reaksiyonlar sonucu zeminlerin stabilite, durabilite ve dayanım özelliklerinde iyileşme gözlemlenmiştir [3,4]. Kireçle stabilizasyon daha yaygın olarak killi zeminlerden yapılan dolgularda, özellikle yol inşaatlarında kullanılmaktadır[5]. Uçucu kül katkısı kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalarda, kil zeminlerde uçucu kül içeriğinin artışı ile zeminin dayanımında artış gözlemlendiği bildirilmiştir [6, 7, 8, 9]. Özbağolu [10], kum-bentonit karışımlar üzerinde uçucu kül ve çimento katkısının dayanım değişimini incelediği çalışmasında çimentonun dayanım üzerinde daha etkin olduğunu bildirmiştir. Keshawarve Dutta [11], kil zeminler üzerinde F tipi uçucu kül, çimento ve kireç katkısının dayanıma etkisini değerlendirdikleri çalışmalarında uçucukül katkısının çimento ve kireç kadar dayanımı arttırmadığını gözlemlemişlerdir. Ancak maliyeti düşük olduğundan kil zeminlerin stabilizasyonunda alternatif olabileceğini belirtmişlerdir. Prasad ve Sharma [12] % 70 kil, % 30 kum karışımına % 10 oranında uçucu kül eklendiğinde kompaksiyon ve dayanım özellikleri açısından en iyi karışımın elde olduğunu, köy yolları stabilizasyonunda bu karışımın tercih edilebileceğini belirtmiştir. Stavridakis [13] yüksek çimento içeriğinin, kürlenme süresinin ve kompaksiyon enerjisinin zemin karışımlarının rijitliği ve durabilitesini pozitif yönde etkilediğini, çimento ile bağlayıcılığın %8 çimento içeriğinde maksimize olduğu sonucuna varmıştır. Çalışmada örneklerin nihai su içeriğinin dayanım üzerinde son derece etkili bir parametre olduğu vurgulanmıştır.

Yukarıdaki bilgilerin ışığında, bu çalışmada, çimento, uçucu kül ve kireç katkılarının kum-kil karışımlarının dayanımına etkisi kil içeriği, katkı türü, ve katkı içeriği ve kür süresi parametreleri dikkate alınarak incelenmiş ve sonuçlar ayrıntılı olarak sunulmuştur.

2 Malzeme ve Metod

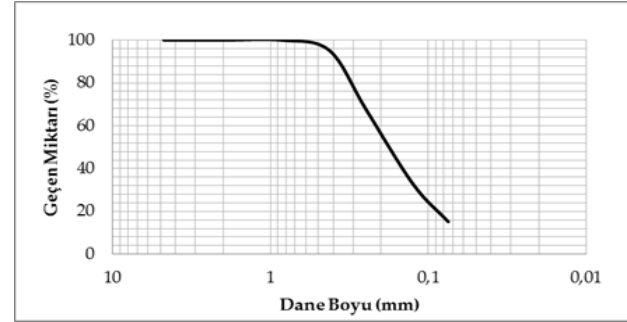
2.1 Malzeme

DeneySEL çalışmada örnekler kum-bentonit zemin karışımları ile hazırlanmıştır. Bentonitin kıvam limitleri ASTM D4318 standardına göre belirlenmiştir. Likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri sırasıyla %191, %76 ve %141 olarak elde edilmiştir. Bentonitin kimyasal özellikleri

leri üretici firmadan temin edilmiştir ve Çizelge 1'deki gibidir. Çalışmada kullanılan kumun dane boyu dağılım eğrisi Şekil 1'deki gibidir.

Çizelge 1. Bentonitin kimyasal özellikleri

Bileşen	İçerik (%)
SiO ₂	73.00
Al ₂ O ₃	13.00
Fe ₂ O ₃	0.70
CaO	1.10
MgO	3.00
TiO ₂	0.05
Na ₂ O	0.25
K ₂ O	1.10
Kızdırma kaybı	6.50



Şekil 1. Kumun dane boyu dağılım eğrisi

Çalışmada kullanılan puzolanik çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri sırasıyla Çizelge 3 ve 4'de verilmiştir.

Çizelge 2 Çimentonun kimyasal özellikleri

Bileşen	İçerik
SiO ₂ (%)	25.02
Al ₂ O ₃ (%)	7.57
Fe ₂ O ₃ (%)	3.69
CaO (%)	53.27
MgO (%)	1.33
SO ₃ (%)	3.37
Na ₂ O (%)	0.72
K ₂ O (%)	0.96
Kızdırma kaybı (%)	3.56
S.CaO (%)	2.07
Özgül yüzey (cm ² /g)	3700

Çizelge 3. Uçucu külün kimyasal özellikleri

Bileşen	İçerik (%)
---------	------------

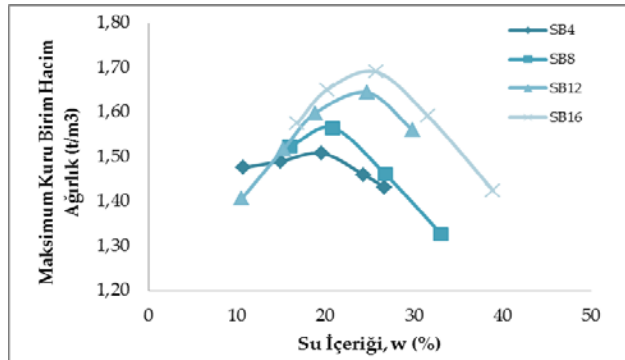
SiO ₂	39.62
Fe ₂ O ₃	4.06
Al ₂ O ₃	18.95
CaO	27.67
MgO	1.95
Na ₂ O	0.66
K ₂ O	1.33
SO ₃	3.83
Kızdırma kaybı	0.97

Çizelge 4.Uçucu külün fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Özgül ağırlık	2.53
Özgül yüzey (cm ² /g)	2460
0.090 mm elek üstü (%)	18.9
0.045 mm elek üstü (%)	41.6

2.2 Metot

Kum zemine ağırlıkça %4, 8, 12 ve 16 içeriklerinde bentonit karıştırılarak zemin karışımları hazırlanmıştır. Bu karışımların optimum su içeriği ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları Standart Proktor deneyi ile belirlenmiştir. Kompaksiyon eğrileri Şekil 2'deki gibidir.



Şekil 2. Kum-bentonit karışımlarının kompaksiyon eğrileri

Kum bentonit karışımlar ağırlıkça %3,6 ve 9 oranlarında puzolanik çimento ve kireç ile ağırlıkça %5, 10, 15, 20 içeriklerinde C sınıfı uçucu kül kullanılarak stabilize edilmiştir. Örnekler 50 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde kalıplarda optimum su içeriğinde sıkıştırılarak hazırlanmıştır. 1, 7 ve 28 gün kür süresinin ardından ASTM D2166 standardına göre serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur [14].

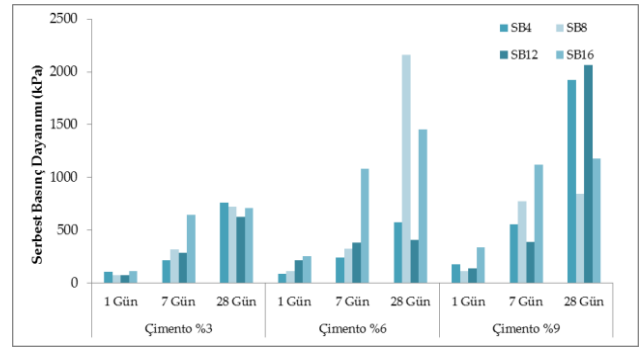
3 Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada serbest basınç deneyleri ile kum-bentonit karışımların dayanımına kil içeriğinin değişimi ile katkı etkinliğinin, katkı içeriğinin, katkı türünün ve kür süresinin etkisi incelenmiştir. Kil içeriğinin artışı ile kum-bentonit karışımların plastisitesi artmaktadır. Bu nedenle, zemin karışımlarının basınç dayanımları üzerinde katkı etkinliğinin

değişeceği beklenmektedir.

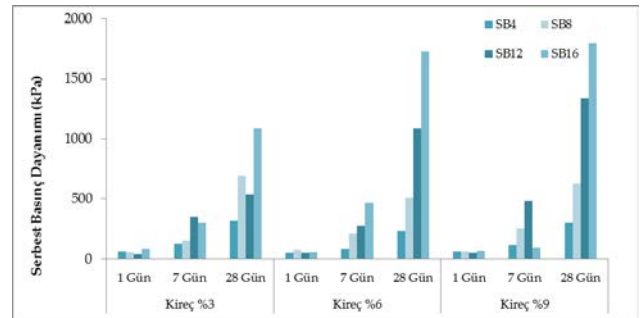
3.1 Kil İçeriği ve Kür Süresinin Etkisi

Puzolanik çimento etkinliğinin daha ön plana çıkacağı 28 günlük dayanım sonuçları değerlendirildiğinde, en yüksek bentonit içeriğine sahip zemin karışımları her çimento içeriğinde etkinliğin en az olduğu karışım olarak gözlemlenmiştir (Şekil 3). Bu durumun, zemin dayanımının gelişiminde rol oynayan faktörlerden biri olan çimento hidratasyonu mekanizmasının puzolanik reaksiyonların plastisitenin ve ince malzemenin artışı ile bir miktar engellendiği düşünülmektedir.

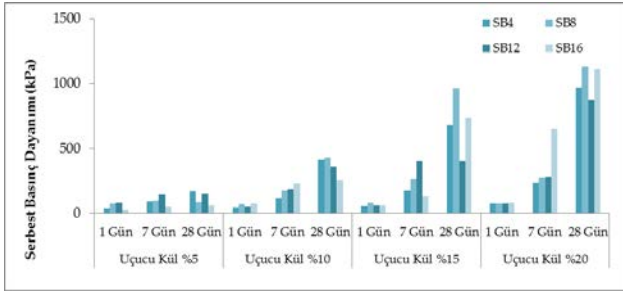


Şekil 3. Çimento katkılı örneklerin serbest basınç dayanımları

Kireç katkısında gelişen hidratasyon reaksiyonları puzolanik çimentonun aksine etkinliğini korumuştur (Şekil 4). Uçucu kül katkılı örneklerin dayanımının bentonit içeriği ile değişimi Şekil 5'teki gibidir. Zemin karışımlarında gözlenen en yüksek dayanımlar, artan uçucu kül miktarıyla düşük bentonit içeriğinde elde edilmektedir. Yüksek bentonit içeriğinde zemin karışımlarının dayanımına ve katkı etkinliğine bentonit etkisinin azaldığı görülmektedir.



Şekil 4. Kireç katkılı örneklerin serbest basınç dayanımları.



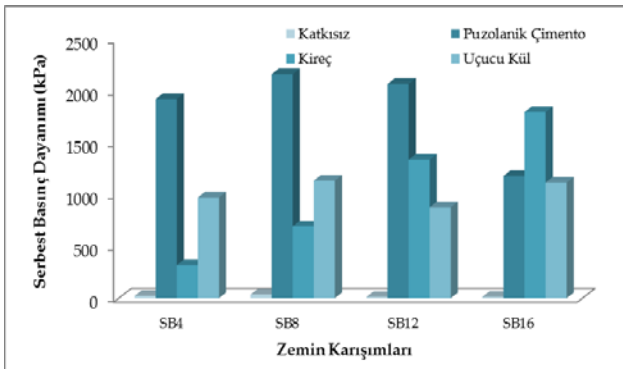
Şekil 5. Uçucu kül katkılı örneklerin serbest basınç dayanımları

Tüm zemin karışımları için puzolanik çimento katkılı örneklerin her katkı içeriğindeki deney sonuçları incelendiğinde kür süresi artışı boyunca dayanım artışı gözlemlenmiştir (Şekil 3). Örneklerin 7 günlük kür süresinin ardından elde edilen sonuçları dikkate alındığında 1 günlük kür süresine kıyasla %40 ile %85 aralığında dayanım artışı görülmüştür. 28 günlük dayanım değerlerinde ise, 1 günlük dayanımlara kıyasla %70 ile %95 aralığında dayanım kazanmıştır. Meydana gelen dayanım artışlarının nedeni hidrasyon ve puzolanik reaksiyonlar sonucunda oluşan ürünlerin kapiler boşlukları doldurması olarak açıklanabilir.

Şekil 4 ve Şekil 5'te kireç ve uçucu kül katkılı örneklerin her katkı içeriğinde serbest basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, puzolanik çimento katkısının davranışına benzer şekilde kür süresinin artışı ile dayanım kazandığı görülmüştür.

3.2 Katkı Türünün Etkisi

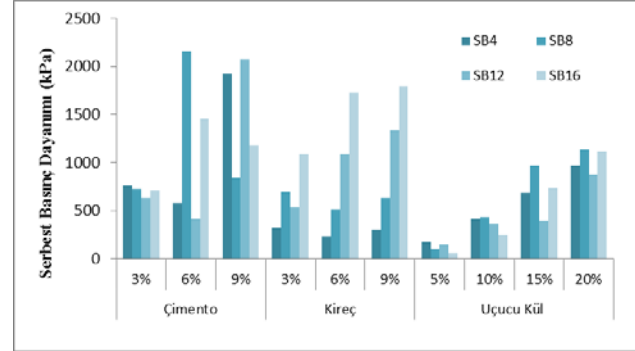
Tüm zemin karışımları değerlendirildiğinde çimento katkısı ile en yüksek dayanım değeri, beklendiği üzere çimento ile stabilize edilen örnekte elde edilmiştir (Şekil 6). Uçucu kül katkısının dayanım üzerindeki etkisinin, çimento ve kireç katkısına kıyasla daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Bentonit içeriğine göre örneklerin 28 günlük maksimum dayanımları

3.3 Katkı İçeriğinin Etkisi

Şekil 7'de görüldüğü üzere, SB4 ve SB12 zemin karışımı için puzolanik çimento içeriğinin artışı ile dayanım değerlerinin arttığı ve en yüksek dayanımın %9 çimento içeriğinden sağlandığı gözlemlenmiştir. SB8 ve SB16 zemin karışımlarında ise %6 çimento içeriğinde en yüksek dayanım sonuçları elde edilmiştir. %3 çimento içeriğinden elde edilen dayanım değerleri ile karşılaştırıldığında, %6 ve %9 çimento içeriğinde hazırlanan örnekler yaklaşık 2 kat fazla dayanım kazanmıştır. Kum-bentonit karışımı ile puzolanik çimento davranışının birlikte yorumlanabileceği karakteristik bir davranış gözlemlenmemiştir. Kireç katkısı ile stabilize edilmiş zemin karışımlarının serbest basınç dayanımı değerleri incelendiğinde ise, puzolanik çimentoya kıyasla nispeten daha düzenli bir davranış elde edilmiştir. Tüm zemin karışımları için serbest basınç dayanımı değerleri uçucu kül içeriğinin artışı ile artış göstermiştir.



Şekil 7. Katkı içeriklerine göre örneklerin 28 günlük dayanımları

4 Sonuç

Bu çalışmanın deneysel verilerinin analizi ve değerlendirilmesi ile ulaşılan sonuçlar listelenmiştir.

- Kum-bentonit karışımında bentonit içeriğinin artması ile birlikte, puzolanik çimento ve uçucu kül etkinliği azalırken, kireç etkinliği artmıştır.
- Farklı zemin karışımlarında en yüksek dayanım puzolanik çimento katkısından elde edilebiliyor iken, en düşük dayanımı uçucu kül katkılı örnekler göstermiştir.
- Puzolanik çimento, kireç ve uçucu kül katkılarının her biri istenilen dayanımı sağladığında, maliyet açısından değerlendirildiğinde uçucu kül katkısının kullanımının en uygun seçenek olacağı düşünülmektedir.

Referanslar

1. Çetin, A.Y., "Yüksek Plastisiteli Kil Zeminlerin Alternatif Malzemeler ile Yüzeysel Zemin Stabilizasyonu", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2011.
2. Gahabee, S., "Kireç İle Stabilize Edilmiş Bentonitin Kür Süresinin Mukavemet Üzerindeki Etkisi", İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2015.



3. Khemissa, M.; Mahamedi, A., "Cement and lime mixture stabilization of an expansive overconsolidated clay", *Applied Clay Science*, 2014, 95, 104-110.
4. Jaubertie, R.; Rendell, F.; Rangeard, D.; Molez, L., "Stabilisation of estuarine silt with lime and/or cement", *Applied Clay Science*, 2010, 50, 395-400.
5. Özaydın, K., "Zemin Mekanik ve Temel Mühendisliği", Ondördüncü Ulusal Kongresi, İstanbul, 2012.
6. Misra, A.; Biswas, D.; Upadhyaya, S., "Physico-mechanical behavior of self-cementing class C fly ash-clay mixtures", *Fuel*, 2004, 84, 1410-1422.
7. Binal, A., "Improvement of the Strength of Ankara Clay with Self-cementing High Alkaline Fly Ash", Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Ankara, 2016.
8. Yılmaz, Y., "Compaction And Strength Characteristics Of Fly Ash And Fiber Amended Clayey Soil", *Engineering Geology*, 2014, 188, 168-177.
9. Ünver, E., "Problemlı Kıl Zeminlerin Uçucu Kül İle İyileştirilmesi" Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı , Yüksek Lisans Tezi ,Eskişehir, 2015, 100-118.
10. Özbayođlu, F., "UçucuKüllerin, Bentonit, Kireç ve Çimento Katkısıyla Kumlu Zeminlerin Stabilizasyonunda Kullanımı", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, *Bildiriler Kitabı*, Ankara, 1993, 103-118.
11. Keshawarz, M.S.; Dutta, U., "Stabilization of South Texas Soils With Fly Ash: Fly Ash For Soil Improvement", *Geotechnical Special Publication*, New York 1993, 36, 30-43.
12. Prasad, C.R.V.; Sharma, R.K., "Influence of sand and fly ash on clayey soil stabilization", *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2014, Special Issue (ICAET-2014), 4, 36-40.
13. Stavridakis, E. "Evaluation of engineering and cement-stabilization parameters of clayey-sand mixtures under soaked conditions", *Geotechnical and Geological Engineering*, 23, 635-655.
14. ASTM D2166 / D2166M-16, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.