



Erciyes University Journal of the Institute of Science and Technology

Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

ISSN 1012-2354

Cilt (Volume): 28, Sayı (Issue): 2, Mart/March-2012

<http://fbe.erciyes.edu.tr/>



Taş kolonla iyileştirilmiş şevlerin stabilite analizi

Mustafa VEKLİ¹ Mustafa AYTEKİN² Sabriye Banu İKİZLER³ Ümit ÇALIK⁴

¹ Bozok Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, YOZGAT

² Bahreyn Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, BAHREYN.

³ Karadeniz Teknik Üniv, İnşaat Mühendisliği Bölümü, TRABZON

⁴ Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü, TRABZON

Anahtar kelimeler:

Taş kolon,
stabilizasyon,
şev stabilitesi,
taşıma gücü,
sonlu elemanlar
modeli

ÖZET

Bu çalışmada, taş kolonla iyileştirilmiş şevlerin stabilitesi deneysel olarak ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Deneyler, dikdörtgen kesitli küçük ölçekli bir kutu içerisine yerleştirilen şevli yumuşak kil ile yapılmıştır. Şevli yumuşak kilin üstüne konulan bir temelin sınır taşıma gücü ve şevin kaymaya karşı güvenlik sayıları bulunmuştur. Sayısal çalışmada kil ve çakıl iki boyutlu düzlem deformasyon koşullarında Mohr-Coulomb malzeme modeliyle temsil edilmiştir. Yapılan deneysel ve sayısal çalışmalardan elde edilen sonuçların uyum içinde olduğu görülmüştür. Bu uyumdan yola çıkarak, taş kolonların şev stabilitesine etkisinin araştırılması amacı ile bir ve iki tabakalı zemin kesitlerinin dikkate alındığı parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Parametrik çalışmada analizler, farklı şev açıları, farklı $c/(\gamma H)$ oranları ve farklı s/D (Taş kolonların merkezleri arası mesafe/ Taş kolon çapı) oranları için yapılmıştır. Analizler sonucunda taş kolonların şevlerin stabilitesini 1.25~1.51 kat artırdığı gözlenmiştir.

Stability analysis of slopes treated by stone columns

ABSTRACT

In this study, stability of slopes that treated by stone columns has been investigated by experimentally using small scale laboratory model as well as numerically using the finite element method. In the laboratory experiments, soft clay is placed in a small testing box that has a rectangular cross section. The soft clay has been given a sloped shape in the box. Ultimate bearing capacity of a footing that has been rested on upper side of the slope, and safety factor of the sloped soft clay against shear failure has been observed. Mohr-Coulomb material model has been employed for plane strain condition in the numerical modeling of the soft clay. The results of experimental study and numerical model are compatible. Since the results are compatible, one-layer and two-layer clay stratum are considered to investigate the effect of stone columns on the stability of slopes in hypothetical cases. In the hypothetical cases, analyses have been performed for different angles of slopes, various ratios of $c/(\gamma H)$ and s/D (distance between center of stone columns/diameter of stone columns). As a result of the study, it is concluded that the factor of safety is increased 1.25~1.51 times by stone columns.

Keywords:

Stone Column,
soil
improvement,
slope stability,
bearing
capacity, finite
element
methods

1. Giriş

Taş kolonlar 1830'lu yıllarda Fransa'da doğal zeminlerin iyileştirilmesi için kullanılmış fakat fazla gelişme imkânı bulamamıştır. Yöntem Avrupa'da 1950'den sonra, Amerika'da ise 1972'den sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda taş kolon yönteminin kullanıldığı çok sayıda başarılı arazi çalışması bulunmaktadır (Heitz v.d, 2005; Kirsch ve Sodermann, 2003; Watts v.d, 2000). Arazide ve laboratuarda gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan taş kolonların konsolidasyonu hızlandığı belirlenmiştir (Munfakh, 1984). Han ve Ye (2002) konsolidasyon sürecinde taş kolon üzerine etkiyen gerilme değerinin zamanla arttığını, zemin üzerine gelen gerilme değerinin ise azaldığını tespit etmişlerdir. Ayrıca konsolidasyon sonunda gerilme konsantrasyon faktörün de sabitlendiğini belirtmişlerdir. Taş kolon ile iyileştirilmiş zeminlerin taşıma güçlerinin ve oturmalarının tahmini için birçok araştırmacı teorik çözümler geliştirmiştir (Greenwood, 1970; Hughes v.d, 1975; Mathav ve Vitkar, 1978; Aboshi v.d, 1979; Greenwood ve Kirsh, 1984). Yapılan deneysel çalışmalar ile taş kolonların zeminlerin sınır taşıma gücünü ne kadar arttırdığı ve oturmaların ne kadar olduğu belirlenmiştir (Ambily ve Gandhi, 2007; Guetif v.d, 2007; Black v.d, 2007).

Birçok araştırmacı sivilaşmanın, son yıllardaki depremlerde meydana gelen hasarların önemli bir kısmının sebebi olduğunu belirtmişler ve sivilaşma riskinin azaltılmasında taş kolonlar ile zemin iyileştirmenin etkisi üzerinde durmuşlardır (Adalier v.d, 2003; Satizabal, 1995; Goughnour ve Bayuk, 1979; Munfakh, 1984). Ülkemizde 1999 depremi sonrasında Sakarya bölgesinde sivilaşma riskinin azaltılmasını amaçlayan birkaç uygulama gerçekleştirilmiştir.

Taş kolon tekniği son yıllarda saha çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve teorik çalışmalarda oldukça sık kullanılmasına karşın doğal ve insan yapımı şevlerin stabilitesinin incelenmesinde fazla ilgi görmemiştir. Bu konuda yapılan çalışmalar daha çok dolgu şevlerin altındaki doğal zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ve bunun sonucu şev stabilitesinin artırılması amacıyla yöneliktir. Literatürde doğal şevler içine yerleştirilen taş kolon imalatı uygulamaları ve bunu destekleyen teorik ve deneysel çalışmalara pek rastlanmamaktadır.

Bu çalışmada şev içerisine yerleştirilen taş kolonların şev stabilitesine etkisini incelemek amacı ile küçük ölçekli deneysel bir düzenek hazırlanmıştır. Taş

kolonsuz halde şevin üst kısmına konulan bir temelin sınır taşıma gücü değeri bulunmuştur. Daha sonra şev içerisine farklı s/D oranlarında yerleştirilen taş kolonların şev stabilitesine olan etkisi araştırılmıştır. Bu incelemelerden sonra yapılan parametrik çalışma ile de bir ve iki tabakalı zemin olması hallerinde şev stabilitesi incelenmiştir. Parametrik çalışma kısmında değişken olarak $c/(\sigma H)$ oranları ve farklı s/D oranları ile farklı şev açılıarı dikkate alınmıştır.

2. Deneysel çalışma

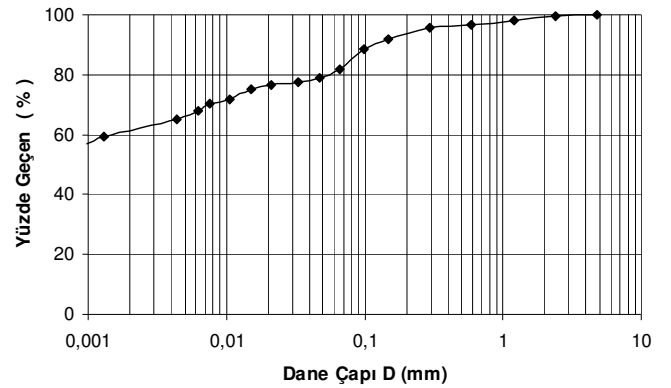
2.1 Kullanılan malzeme özellikleri

Yapılan deneysel çalışmada, yumuşak killerdeki şev stabilitesine taş kolonların etkisini incelemek amacı ile Trabzon-Akçaabat-Söğütü beldesindeki KTÜ Fatih kampusundan temin edilen zemin kullanılmıştır. Araziden alınan örselenmiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenen zemine ait fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Yumuşak kilin fiziksel özellikleri

Özgül Yoğunluk	2.78
Likit Limit (%)	94
Plastik Limit (%)	38
Plastisite İndisi (%)	56
Optimum Su Muhtevası (%)	27
Max. Kuru Yoğunluk (kN/m ³)	1.47
Permeabilite Katsayısı (m/gün)	1×10^{-8}

Zeminin dane dağılım eğrisini belirlemek amacı ile iri daneli kısımlar için yıkamalı elek analizi, ince daneleri kısımlar için ise hidrometre analizi (ıslak analiz) yapılmıştır. Bu analizlerden elde edilen sonuçlara göre zeminlerin granülometri eğrisi Şekil 1'deki gibi elde edilmiştir. TS 1500 zemin sınıflandırma sistemine göre örselenmiş zemin numunesi yüksek plastisiteli kil (CH) gurubuna girmektedir.



Şekil 1. Kilin granülometri eğrisi

Kilin kayma direnci parametrelerini belirlemek amacı ile direkt kesme deneyleri yapılmış, model deneylerde kullanılmak üzere hazırlanmış kilin kayma direnci parametreleri olan kohezyon 5 kPa ve içsel sürtünme açısı 4° olarak elde edilmiştir.

2.2 Deney Düzenegi

Çalışmada problemin daha iyi anlaşılması ve uygun çözümlerin bulunabilmesi için laboratuvar ortamında kontrol edilebilen ve arazi şartlarını en iyi şekilde yansıtan deneysel model kurulmuştur. Şekil 2’de verilen deney kutusunun yükleme düzlemine dik plandaki iç ölçüleri planda 100 x 20 cm ve yüksekliği 80 cm.dir. Deney kutusunun alt, arka ve yan yüzleri 25mm fiberglas malzemeden olup ön yüzü ise 20 mm pleksiglas malzemeden oluşmaktadır. Önyüzdeki pleksiglas malzeme sayesinde deney sırasında şevde meydana gelecek yatay ve düşey yöndeki deformasyonların kolayca görülmesi amaçlanmıştır. Deney kutusu ayrıca iki adet çelik kuşak ile desteklenerek rijitliği artırılmıştır.



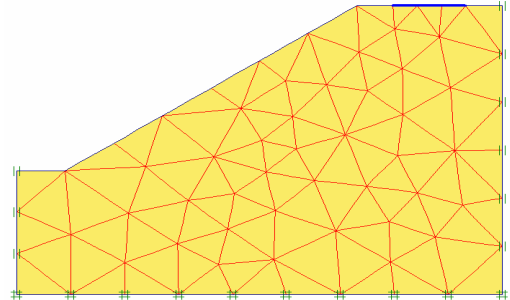
Şekil 2. Deney düzenegi

Hava kuru su kile su muhtevası %80 olacak şekilde su ilave edilmiş ve elektrikli mikser ile homojen hale gelinceye kadar karıştırılmıştır. Karışım bir gün süre ile bekletildikten sonra su muhtevasının ortalama %80 olduğu görülerek şeve istenilen form verilmiştir. Deney kutusu içerisinde yumuşak kil ile şev oluşturulurken yatayda 3 birim düşeyde 2 birim (3:2) olacak şekilde düzenlenmiştir. Deney kutusundaki şev formu 50 mm’lik tabakalar halinde oluşturulmuş ve her bir tabakanın üniform sıklıkta ve üniform yoğunlukta olmasına özen gösterilmiştir. Bunun için deney kutusundan her bir tabaka için 50x50x20 mm boyutlarında numuneler alınarak sıklık ve yoğunluk kontrolü yapılmıştır. İstenilen şev açısının elde edilmesi

için 2 mm kalınlığında ve 20 mm kalınlığında plaka şeklinde kalıplar kullanılmıştır. Şev yüksekliği 700 mm’ye ulaşana kadar deney kutusu doldurulmuştur. Yükleme sistemi; hidrolik kriko ve kalibrasyonu yapılmış yükleme halkasından oluşmaktadır. Yükleme halkası çelikten olup çapı yaklaşık olarak 200 mm’dir. Yük halkasına uygulanan yük, yer değiştirme oranı 0.5 mm/dak olacak şekilde model temelin orta noktasından uygulanmıştır. Yük eşit deplasmanlarda ve göçme oluşana kadar ölçülmüştür.

3. Sayısal model

Çalışmada, taş kolonlar ile iyileştirilmiş şev üzerinde yapılmış temele etkiyen maksimum taban basıncı (sınır taşıma gücü) ve şevin kaymaya karşı güvenlik sayıları sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 8.5 programı ile analiz edilerek belirlenmiş daha sonra elde edilen bu değerler deneysel modelle belirlenen değerlerle karşılaştırılmıştır. Laboratuvarında kullanılan deneysel model, Şekil 3’te görülen on beş noktalı üçgen ağlardan oluşan iki boyutlu düzlem deformasyon problemi olarak Plaxis ile modellenmiştir. Düzlem deformasyon analizlerinde yumuşak kil ve taş kolon malzemesi olarak kullanılan çakıl için Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılmıştır. Sayısal modellemede kullanılan giriş bilgileri Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 3. Deneysel modelin sonlu elemanlar ağı ve sınır koşulları

Tablo 2. Sayısal model giriş parametreleri

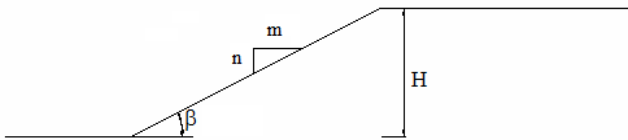
Malzeme	Kil	Çakıl
Drenaj Durumu	Drenajsız	Drenajlı
Kuru Yoğunluk, γ_k (kN/m ³)	17.75	<u>19.00</u>
Doygun Yoğunluk, γ_d (kN/m ³)	20.45	22.00
Permabilite, k_x, k_y (m/gün)	1×10^{-8}	100
Elastisite Modülü, E (kN/m ²)	3000	75000
Poisson Oranı, ν	0.33	<u>0.30</u>
Efektif Kohezyon, c (kN/m ²)	5	0.5
Efektif İçsel Sürtünme Açısı, ϕ ($^{\circ}$)	4	41
Sükûnetteki Toprak Basıncı	<u>0.930</u>	0.344

4. Parametrik çalışma

Şev stabilite analizlerinde en önemli faktörler şevin geometrisi, zeminin özellikleri ve şev üzerine etki eden kuvvetlerdir (Hammouri v.d, 2008). Yapılan parametrik çalışma ile bu faktörler göz önüne alınarak yumuşak kil şevlerin taş kolon ile iyileştirilmesi sonucunda kaymaya karşı güvenlik sayılarının değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. Homojen şevde çözümler şev yüksekliği H , şev açısı β , zeminin kayma direnci parametreleri c ve ϕ , zeminin yoğunluğu γ ve güvenlik sayısını içermektedir. Çalışmada, taş kolon ile iyileştirilmiş; tek ve iki tabakalı drenajlı kil şevin, kaymaya karşı güvenliği incelenmiştir. Ayrıca çalışmada, taş kolonla iyileştirilmiş zeminin kaymaya karşı güvenlik sayısının, iyileştirilmemiş zeminin kaymaya karşı güvenlik sayısına oranı olarak tanımlanan Güvenlik sayısı İyileştirme Faktörü (GİF) tespit edilmiştir.

4.1. Bir tabakalı zemin durumu

Bir tabakalı zemin durumunda önce, geometrisi Şekil 4'te verilen homojen, drenajlı killi şevlerin kaymaya karşı güvenlik sayıları, $c/(\gamma H)$ oranları 0.1, 0.05, 0.025, 0.01 için, şev açıları da (β) 18.4° (3:1), 26.6° (2:1) ve 33.7° (2:3) için Plaxis ile bulunmuştur. Daha sonra şev içerisine yerleştirilen taş kolonlar ile $s/D=2, 3, 4$ oranları için iyileştirme yapılmış ve şevin kaymaya karşı güvenlik sayıları bulunmuştur. Bir tabakalı zemin durumu için analizlerde kilin içsel sürtünme açısı (ϕ_c) 10° , taş kolonlarda kullanılan çakılın içsel sürtünme açısı ϕ_s değeri 40° ve taş kolon çapı 100 cm. olarak alınmıştır.



Şekil 4. Bir tabakalı zemin şev geometrisi

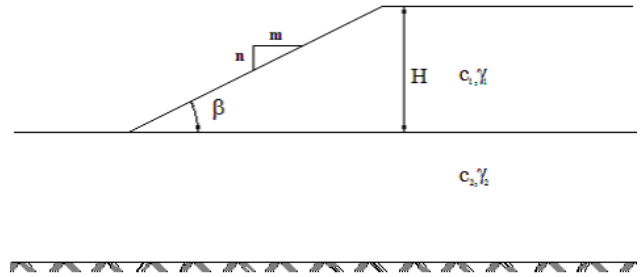
4.2. İki tabakalı zemin durumu

Şekil 5'te verilen iki tabakalı zemin durumu için şev açıları 18.4° (3:1), 26.7° (2:1) ve 33.7° (3:2) olarak düşünülmüştür. Bir tabakalı zemin durumundaki $c_1/(\gamma H)$ oranları için şevlerin kaymaya karşı güvenlik sayıları taş kolonsuz halde bulunmuş daha sonra taş kolonlar ile iyileştirme yapılarak şevlerin kaymaya karşı güvenlik sayılarındaki iyileştirme oranı olan GİF değerleri

belirlenmiştir. Tüm analizlerde $\phi_c=10^\circ$ ve $\phi_s=40^\circ$ alınmış, taş kolon çapı ise 100 cm olarak seçilmiştir. Çalışmada ayrıca taş kolonların ucunun kendinden daha sağlam ve daha zayıf zemine söketlenmelerinin kaymaya karşı güvenlik sayısını nasıl değiştirdiğini incelemek amacı ile c_2/c_1 oranları 0.5, 1 ve 2 için analizler yapılmıştır.

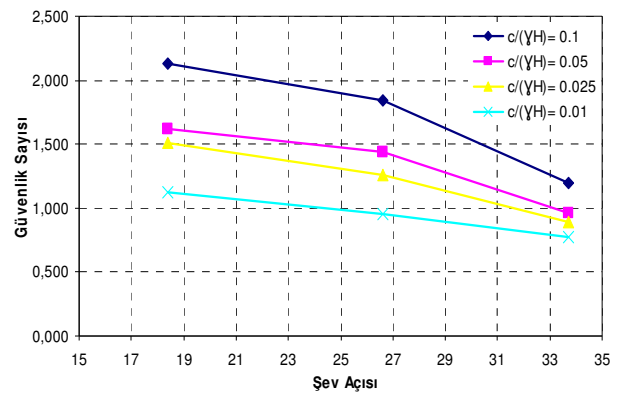
5. Bulgular

Deneysel çalışmada, taş kolonsuz şevli zemin üzerine yapılan temelin sınır taşıma gücü 18.96 kPa olarak ölçülmüştür. Plaxis analizi sonucunda ise aynı durumdaki temelin sınır taşıma gücü 20.48 kPa olarak bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmayla Plaxis sonlu elemanlar modellemesi sonucu arasındaki bu uyumdan yola çıkarak, sayısal modellemenin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Parametrik çalışmada da aynı sayısal model kullanılmıştır.

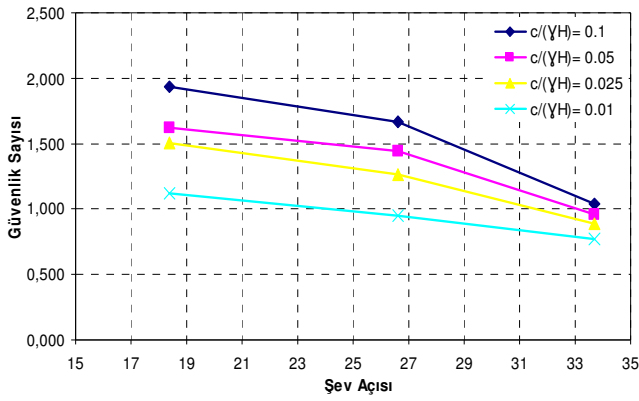


Şekil 5. İki tabakalı zemin şev geometrisi

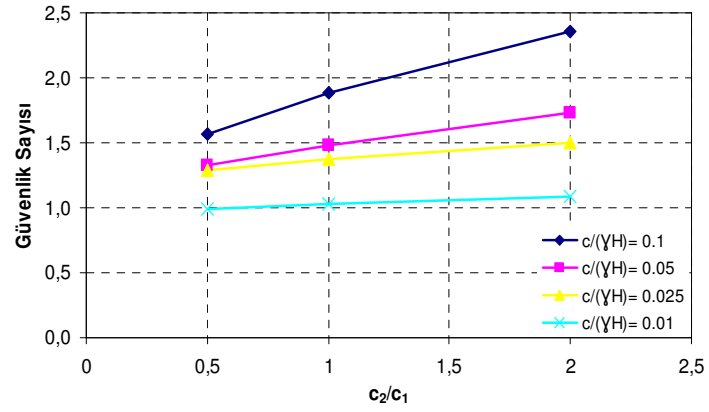
Bir tabakalı zemin durumunda yapılan Plaxis analizleri sonucunda farklı $c/(\gamma H)$ oranlarında bulunan güvenlik sayıları ile şev açıları ilişkisi, değişen s/D oranları için sırasıyla Şekil 6, 7 ve 8'de verilmektedir. Yapılan sayısal analizler sonucunda hesaplanan GİF değerleri ise Tablo 3'te verilmektedir.



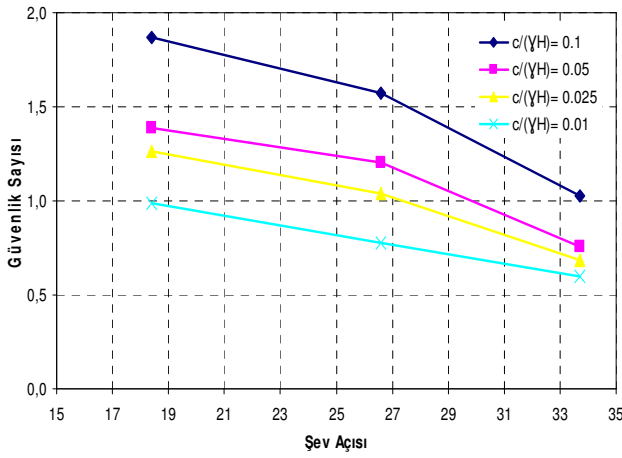
Şekil 6. $s/D = 2$ için şev açısı- güvenlik sayısı ilişkisi



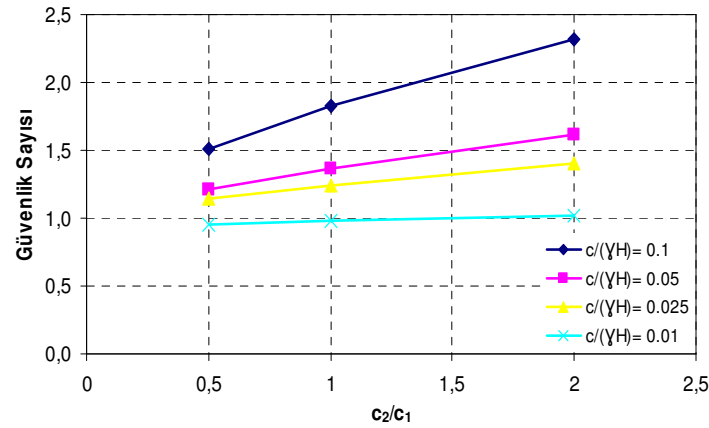
Şekil 7. s/D = 3 için şev açısı -güvenlik sayısı ilişkisi



Şekil 10. s/D=3 için c2/c1 güvenlik sayısı ilişkisi (3:1)

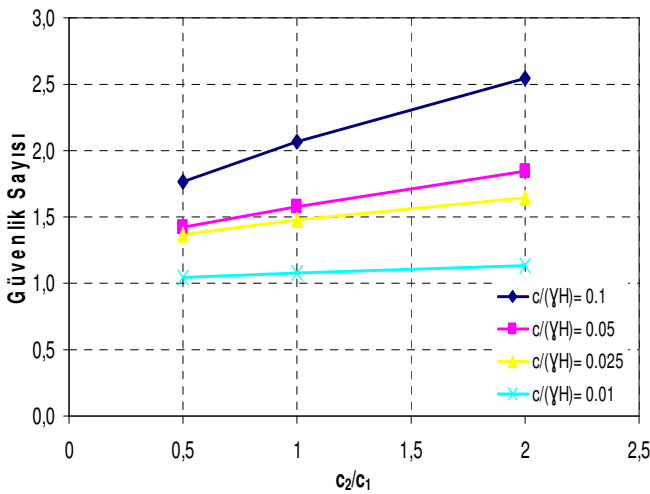


Şekil 8. s/D = 4 için şev açısı -güvenlik sayısı ilişkisi

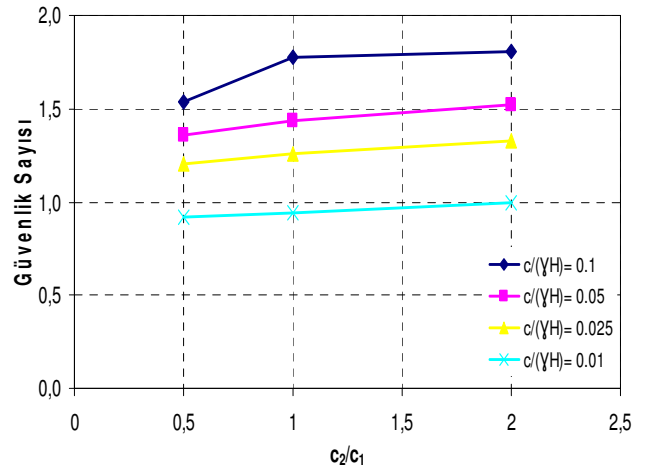


Şekil 11. s/D=4 için c2/c1 güvenlik sayısı ilişkisi (3:1)

İki tabakalı zemin durumunda yapılan Plaxis analizleri sonucunda, bulunan güvenlik sayıları ile şev açıları ilişkisi değişen c_2/c_1 ve s/D oranları için sırasıyla Şekil 9-17'de verilmektedir.



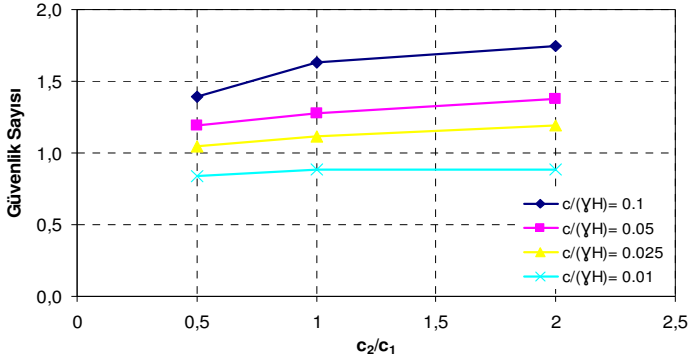
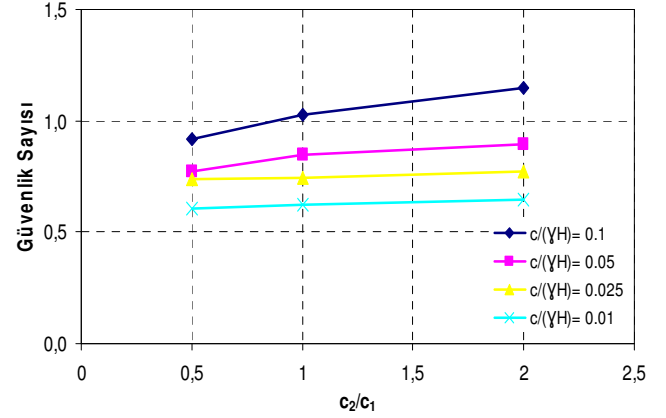
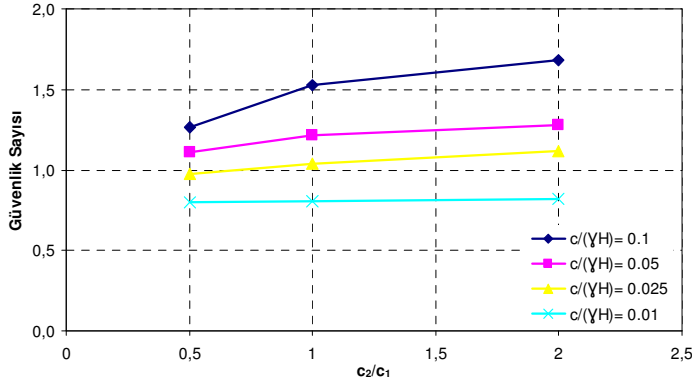
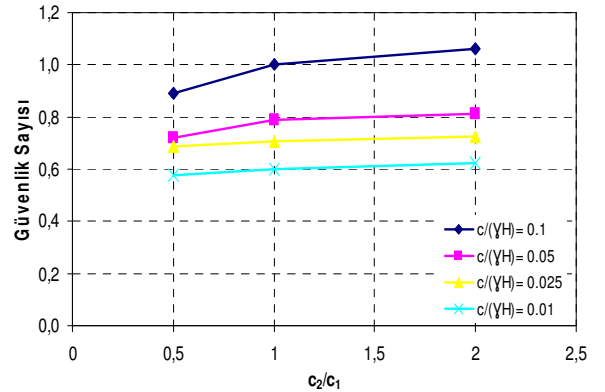
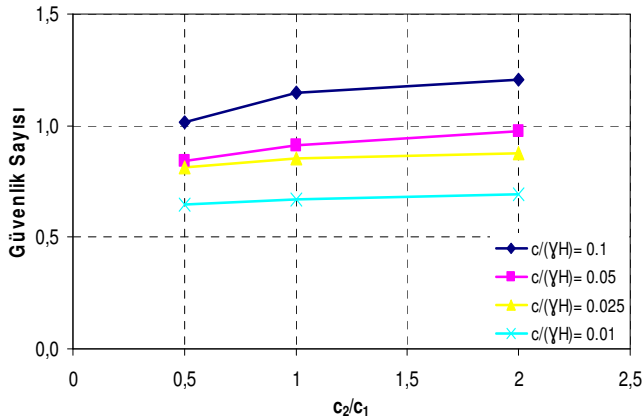
Şekil 9. s/D=2 için c2/c1 güvenlik sayısı ilişkisi (3:1)



Şekil 12. s/D=2 için c2/c1 - güvenlik sayısı ilişkisi (2:1)

Tablo 3. Bir tabakalı zemin durumunda, farklı şev açıları ve s/D oranları için GİF değerleri

Şev Açısı	GİF											
	s/D=2				s/D=3				s/D=4			
	c/(γH)				c/(γH)				c/(γH)			
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.1	0.05	0.025	0.01	0.1	0.05	0.025	0.01
18.4	1.32	1.39	1.51	1.53	1.20	1.30	1.38	1.45	1.16	1.19	1.26	1.34
26.6	1.34	1.50	1.54	1.68	1.21	1.33	1.49	1.53	1.14	1.26	1.27	1.37
33.7	1.40	1.50	1.58	1.82	1.21	1.33	1.39	1.66	1.20	1.18	1.22	1.41

Şekil 13. s/D=3 için c_2/c_1 - güvenlik sayısı ilişkisi (2:1)Şekil 16. s/D=3 için c_2/c_1 - güvenlik sayısı ilişkisi (3:2)Şekil 14. s/D=4 için c_2/c_1 - güvenlik sayısı ilişkisi (2:1)Şekil 17. s/D=4 için c_2/c_1 - güvenlik sayısı ilişkisi (3:2)Şekil 15. s/D=2 için c_2/c_1 - güvenlik sayısı ilişkisi (3:2)

Ayrıca iki tabakalı zemin durumu için yapılan sayısal analizler sonucunda hesaplanan GİF değerleri ise Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. İki tabakalı zemin durumunda farklı şev açıları, c_2/c_1 ve s/D oranları için GİF değerleri

s/D=2												
c_2/c_1	$\beta =18.4(3:1)$				$\beta =26.6(2:1)$				$\beta =33.7(3:2)$			
	GİF				GİF				GİF			
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.1	0.05	0.025	0.01	0.1	0.05	0.025	0.01
0.5	1.37	1.41	1.52	1.51	1.40	1.60	1.63	1.66	1.36	1.44	1.55	1.59
1	1.30	1.37	1.48	1.49	1.33	1.49	1.55	1.65	1.37	1.45	1.55	1.62
2	1.33	1.43	1.52	1.54	1.20	1.47	1.56	1.72	1.36	1.50	1.54	1.66
s/D=3												
0.5	1.21	1.32	1.44	1.44	1.27	1.41	1.42	1.52	1.23	1.32	1.41	1.49
1	1.18	1.28	1.38	1.43	1.22	1.32	1.37	1.55	1.23	1.34	1.35	1.51
2	1.23	1.34	1.39	1.47	1.17	1.32	1.40	1.53	1.30	1.37	1.36	1.55
s/D=4												
0.5	1.17	1.20	1.28	1.38	1.15	1.31	1.32	1.44	1.19	1.23	1.31	1.42
1	1.15	1.18	1.24	1.36	1.14	1.26	1.28	1.42	1.20	1.25	1.29	1.46
2	1.21	1.26	1.29	1.38	1.12	1.24	1.31	1.41	1.20	1.24	1.28	1.50

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, taş kolon yönteminin şev stabilitesine etkisi deneysel olarak ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Deneysel çalışmada taş kolonsuz, şevli zemin üzerine yapılan temelin sınır taşıma gücü 18.96 kPa, Plaxis analizi sonucunda ise 20.48 kPa olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre deneysel çalışmalarla Plaxis sonlu elemanlar modellemesi arasında uyum olduğu belirlenmiştir.
2. Bir tabakalı zemin durumunda yapılan Plaxis analizleri sonucunda, tüm s/D oranlarında şev açısı arttıkça kaymaya karşı güvenlik sayısının azaldığı görülmektedir. Bu azalma $c/(\gamma H)$ oranının 0.025 ve 0.01 değerleri için doğrusaldır. 0.1 ve 0.05 oranlarında ise şevin 26.6° 'den (2:1) daha dik olması durumunda güvenlik sayısındaki düşüş doğrusal fakat eğim daha diktir.
3. Bir tabakalı zemin durumunda ortalama GİF değerleri incelendiğinde, $s/D=2$ için 1.51, $s/D=3$ için 1.38 ve $s/D=4$ için 1.25 olarak bulunmuştur.

Tüm taş kolon aralıkları için şev açısının artması ve $c/(\gamma H)$ oranının azalması ile ortalama GİF değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

4. İki tabakalı zemin durumunda yapılan Plaxis analizleri sonucunda, tüm s/D aralıkları ve $c_1/(\gamma H)$ oranları için c_2/c_1 oranı arttıkça kaymaya karşı güvenlik sayıları artmaktadır.
5. İki tabakalı zemin durumunda ortalama GİF değerleri incelendiğinde, $c_2/c_1=0.5$ durumunda $s/D=2$ için 1.51, $s/D=3$ için 1.37 ve $s/D=4$ için 1.28 olarak bulunmuştur. $c_2/c_1=1$ durumunda $s/D=2$ için ortalama GİF 1.47, $s/D=3$ için 1.35 ve $s/D=4$ için 1.27 bulunmuştur. $c_2/c_1=2$ durumunda ise $s/D=2$ için ortalama GİF 1.49, $s/D=3$ için 1.37 ve $s/D=4$ için 1.29 bulunmuştur. Tüm şev açıları için $c_1/\gamma H$ oranları azaldıkça ortalama GİF değerleri artmıştır.
6. Farklı c_2/c_1 oranları incelendiğinde taş kolonların kendinden sağlam ya da zayıf zemine söketlenmeleri durumunda farklı s/D oranları için GİF değerlerinin fazla değişmediği görülmüştür. Taş kolon uygulamalarında taş kolonun boyunun kritik kayma yüzeyinin altına inmesi durumunun yeterli olduğu, sağlam ya da zayıf zemine

girmelerinin etkili olmadığı durumu ortaya çıkmıştır.

7. Yapılan parametrik çalışma sonucunda, taş kolonla iyileştirilmiş şevlerin güvenlik sayıları ve güvenlik sayıları iyileştirme faktörleri grafikler ve tablolar halinde verilmiştir. Verilen bu tablo ve grafiklerin, kısa süre içerisinde başlanıp bitirilmesi gereken uygulamalarda ve ön projelendirme aşamasında mühendisler için oldukça yararlı olacağı düşünülmektedir.

Semboller

c	:Etkif Kohezyon, (kN/m ²)
c ₁	:Birinci Tabakanın Etkif Kohezyon, (kN/m ²)
c ₂	:İkinci Tabakanın Etkif Kohezyon, (kN/m ²)
CH	:Yüksek Plastisiteli Kil
D	:Taş Kolon Çapı, (cm)
E	:Elastisite Modülü, (kN/m ²)
GİF	:Güvenlik Sayısı İyileştirme Faktörü
H	:Şev Yüksekliği, (cm)
K ₀	:Sükûnetteki Toprak Basıncı Katsayısı,
k _x	:Düşey Permabilite, (m/gün)
k _y	:Yatay Permabilite, (m/gün)
m, n	:Eğim katsayıları
s	:Taş Kolonların Merkezleri Arası Mesafe, (cm)
φ	:Etkif İçsel Sürtünme Açısı, (Derece)
v	:Poisson Oranı
β	:Şev Açısı, (Derece)
φ _c	:Yumuşak Kilin İçsel Sürtünme Açısı, (Derece)
φ _s	:Taş Kolon Malzemesinin İçsel Sürtünme Açısı, (Derece)
γ	:Zeminin Doğal Yoğunluğu (kN/m ³)
γ ₁	:Birinci Tabaka Zemininin Doğal Yoğunluğu, (kN/m ³)
γ _d	:Suya Doygun Birim Yoğunluk, (kN/m ³)
γ _k	:Kuru Birim Yoğunluk, (kN/m ³)
γ ₂	:İkinci Tabaka Zemininin Doğal Yoğunluğu, (kN/m ³)

Teşekkür

Bu çalışma, Bilimsel Araştırma Projeleri, BAP, kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi tarafından desteklenen 2006.112.001.2 kod numaralı "Taş Kolon ile Şev Stabilizasyonu" adlı proje çalışmalarının ürünlerinden biri olarak ortaya çıkarılmıştır.

Kaynaklar

1. Aboshi, H., Ichimoto, E., Harada, K. ve Emoki, M., The Composer - A Method to Improve the Characteristics of Soft Clays by Inclusion of Large

- Diameter Sand Columns, Proc., Int. Conf. on Soil Reinforcement., E.N.P.C., 1, Paris 211–216, 1979.
2. Adalier K., Elgamal A., Meneses J. ve Baez J.I., Stone Columns as Liquefaction Countermeasure in Non-Plastic Silty Soils, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 23, 571–584, 2003.
3. Ambily, A. P. ve Gandhi, S. R., Behavior of Stone Columns Based on Experimental and FEM Analysis, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133, 4, 405-415, 2007.
4. Black, J. A., Sivakumar, V., Madhav, M. R. ve Hamill, G. A., Reinforced Stone Columns in Weak Deposits: Laboratory Model Study, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133, 9, 1154-1161, 2007.
5. Goughnour, R.R. ve Bayuk, A.A., A Field Study on Long Term Settlements of Load Supported by Stone Columns in Soft Ground, Insitu Soil and Rock Reinforcement Conference, Paris, 279-285, 1979.
6. Greenwood, D. A., Mechanical Improvement of Soils Below Ground Surfaces Proc., Ground Engineering Conf., Institution of Civil Engineers, London, 11–22, 1970.
7. Greenwood, D.A. ve Kirsch K., Specialist Ground Treatment by Vibratory and Dynamic Methods, Satae of the Art Report, Pilling and Ground Treatment, Thomas Telford, London, 17-45, 1984.
8. Guetif Z., Bouassida, M. ve Debats, J.M., Improved Soft Clay Characteristics Due to Stone Column Installation, Computers and Geotechnics, 34, 104–111, 2007.
9. Hammouri, N. A., Malkawi A.I.H. ve Yamin M. M. A., Stability Analysis of Slopes Using the Finite Element Method and Limiting Equilibrium Approach, Bull Eng Geol Environ, 8,156, 2008.
- 10.Han J., ve Ye S.L., A Theoretical Solution For Consolidation Rates of Stone Column-Reinforced Foundation Accounting for Smear and Well Resistance Effects, International Journal of Geomechanics, 2, 2, 135-151, 2002.
- 11.Heitz C., Kempfert H.G. ve Alexiew D., Embankment Project on Soft Subsoil with Grouted Stone Columns and Geogrids, 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, 1359-1363, 2005.
- 12.Hughes, J.M.O., Withers, N.J. ve Greenwood, D.A., A Field Trial of Reinforcing Effect of a Stone Column in Soil, Geotechnique, 25, 1, 31-34, 1975.
- 13.Kirsch F., ve Sondermann W., Field Measurements and Numerical Analysis of the Stress Distribution below Stone Column Supported Embankments and their Stability, Int. Workshop on Geotechnics of Soft Soil Theory and Practice, Essen, 595-600, 2003.

14. Mathav M.R. ve Vitkar P.P., Strip Footing on Weak Clay Stabilized with a Granular Trench or Pile, Canadian Geotechnical Journal, 15, 4, 605-609, 1978.
15. Munfakh, G.A., Soil Reinforcement by Stone Columns-Variied Case Applications, Int. Conf. On Insitu Soil and Rock Reinforcement, Paris, 157-162, 1984.
16. Munfakh, G.A., Soil Reinforcement by Stone Columns-Variied Case Applications, Int. Conf. On Insitu Soil and Rock Reinforcement, Paris, 157-162, 1984.
17. Plaxis 8.5, Finite Element Code For Soil Rock Analyses, User Manual, Delf, 2006.
18. Satizabal, B., I., J., A Design Model for Reduction of Soil Liquefaction by Vibro-Stone Columns, Ph. Thesis, University of Southern California, 1995.
19. TS 1500, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, ICS 93.020, Ankara, 2000.
20. Watts, K. S., Johnston, D., Wood, L. A. ve Saadi, A., An Instrumented Trail of Vibro Ground Treatment Supporting Strip Foundations in a Variable Fill, Geotechnique, 50,6, 699-708, 2000.