Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
17. Ulusal Konferansı

26-28 Eylül 2018
İstanbul Üniversitesi, İstanbul

SONSUZ DÜZENDEKİ YÜZER TAŞ KOLONLARDA KOMPOZİT MALZEME YAKLAŞIMI İLE OTURMA DAVRANIŞI

SETTLEMENT BEHAVIOUR OF GROUPS OF FLOATING STONE COLUMNS UNDER INFINITE LOADING PATTERN WITH COMPOSITE MATERIAL APPROACH

Zeynep ÇEKİNMEZ BAYRAM[1], Orhan EROL[2]

ÖZET

Bu çalışmada yüzer taş kolonların oturma davranışı laboratuvar model deneyleri ile araştırılmıştır. Deney programı iyileştirilmemiş kil ve uç tipi ile yüzer tip kolonlardan oluşturulmuş sonsuz düzendeki taş kolon grubu üzerinde yapılan yükleme deneylerini kapsamaktadır. Deneylerde, sıkışabilir kil kalınlığının %40 ve %70 'ine karşıt gelen 120 mm ve 210 mm boyunda teşkil edilen yüzer taş kolon gruplarının üzerine uygulanan yükler altında yüzeyde ve kolon uçları seviyelerindeki konsolidasyon oturmaları ölçülmüştür. Yapılan değerlendirmeler sonucunda kompozit malzeme yaklaşımı ile hesaplanan deformasyon modülü değerlerinin uç tipi grup kolonlar ile yapılan grup deneyinden doğrudan bulunan değerler ile benzer olduğu gözlemlenmiştir. Yüzer tip taş kolonların, bu kolonların altındaki iyileştirilmemiş bölgede herhangi bir oturma azaltıcı etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Deney sonuçları yüzer taş kolonlar ile iyileştirilmiş üst bölgede kompozit zemin deformasyon modülü kavramı ile yüzer taş kolon grubunun iyileştirilmemiş alt bölgede zeminin deformasyon modülü değerleri kullanılarak oturmaların gerçekçi bir şekilde tahmin olunabileceğini göstermiştir. Yüzer taş kolonlarda ölçülen oturmaların kompozit modül ile hesaplanan oturmalardan yaklaşık %15 kadar fazla olduğu belirlenmiş olup, bu durum yüzer taş kolonların bir miktar iyileştirilmemiş zemin bölümüne zımbalandığı şeklinde yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taş Kolonlar, Grup Etkileri, Yüzer Tip Kolonlar, Oturma, Kompozit Deformasyon Modülü.

[1] Dr. İnşaat Yüksek Mühendisi, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., zcekinmez@yukselproje.com.tr (Sorumlu yazar)
[2] Prof.Dr, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, orer@metu.edu.tr

ABSTRACT

In this study small scale model tests were performed in order to observe the settlement behavior of floating stone columns under infinite group loading. Test program is composed of loading untreated soil and soil treated by end bearing and floating stone columns. Total consolidation settlement and subsurface settlements at column tip, 120 mm and 210 mm depth, corresponding to 40% and 70% of the compressible soil layer were measured. It is found that, deformation modulus of composite material measured through the end bearing group loading test at each stress level is consistent with the one calculated from the composite material approach by using the measured values for soil and stone column. Test results show that floating stone columns has no improvement effect on the lower untreated zone. Therefore the total consolidation settlement can be estimated by using the composite and untreated soil deformation modulus values for upper (treated) and lower (untreated) zones, respectively. In floating stone columns settlement measured for the treated zone is about 15% larger than the one calculated by using the composite modulus is probably due to the result of punching of stone columns into the underlying untreated zone.

Keywords: Stone Columns, Group Effects, Floating Columns, Settlement, Composite Deformation Modulus.

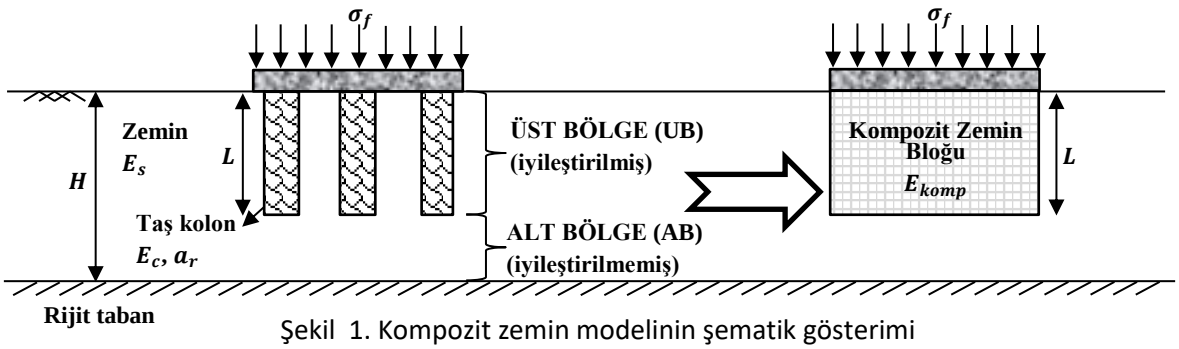
1. GİRİŞ

Ülkemizde taş kolon ile zemin iyileştirme oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Taş kolonlarla iyileştirilen kohezyonlu zeminde oluşturulan boşluklu yapı ile konsolidasyon oturması hızlandırılmakta, konsolidasyon oturması miktarı azalmakta ve artan kayma dayanımı ile taşıma gücü kapasitesi arttırılabilmektedir. Taş kolon tasarımında taş kolon boyu ve taş kolon ile iyileştirme alan oranı, hedeflenen iyileştirme miktarına göre belirlenmektedir.

Taş kolonlarla iyileştirilmiş killerde oturmaların tahmini için uluslararası düzeyde kabul görmüş analitik ve nümerik yöntemler (Greenwood, 1970; Van Impe ve De Beer, 1983; Barksdale ve Bachus, 1983; Barksdale ve Takefumi, 1990; Priebe, 1995) mevcuttur. Ancak sıkışabilir kil tabakası içerisinde yüzer konumda bırakılan taş kolonların davranışı ve oturmaları azaltmadaki katkıları konusunda araştırmalar sınırlıdır. Özkeskin (2004), Kuruoğlu vd. (2013) ve Çekinmez (2014) tarafından gerçekleştirilen saha yükleme deney sonuçları, sonlu elemanlar analizi ve laboratuvar model deneyleri çalışmaları sonucunda "kompozit zemin modeli"ni geliştirilmiştir. Kompozit zemin modelinde yükleme bölgesinin altındaki taş kolonlu alan kompozit bir zemin bloğu olarak modellenmektedir (Şekil 1). Bu yöntemde kompozit zemin bloğu için saha deneylerinde izlendiği şekliyle doğrusal elastik malzeme modeli kullanılmakta ve kompozit bloğun elastisite modülü (E_{komp}), taş kolonlar ile taş kolonlar çevresindeki zeminin elastisite modüllerinin (E_c ve E_s) ağırlıklı ortalaması alınarak Denklem (1)' de verildiği gibi hesaplanmaktadır (Erol vd., 2016).

$$E_{komp} = E_s(1 - a_r) + E_c a_r \quad (1)$$

Bu çalışmada yüzer taş kolonların oturma davranışı laboratuvar model deneyleri ile araştırılmıştır. Kompozit malzeme yaklaşımı ile hesaplanan deformasyon modülü değerleri ile iyileştirilmemiş, yüzer tip ve uç tipi grup taş kolonlardan oluşan model deneylerinden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Deneylerde, sıkışabilir kil kalınlığının %40 ve %70 ’ine karşıt gelen 120 mm ve 210 mm boyunda teşkil edilen yüzer taş kolon gruplarının üzerine uygulanan yükler altında yüzeyde ve kolon uçları seviyelerindeki konsolidasyon oturmaları dijital potansiyometrik cetveller ile ölçülmüştür. Ölçülen oturma değerlerinden farklı gerilmeler altındaki deformasyon modülü değerleri hesaplanmış, bu değerler Denklem (1)’den elde edilen kompozit değerler ile kıyaslanmıştır.



Şekil 1. Kompozit zemin modelinin şematik gösterimi

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

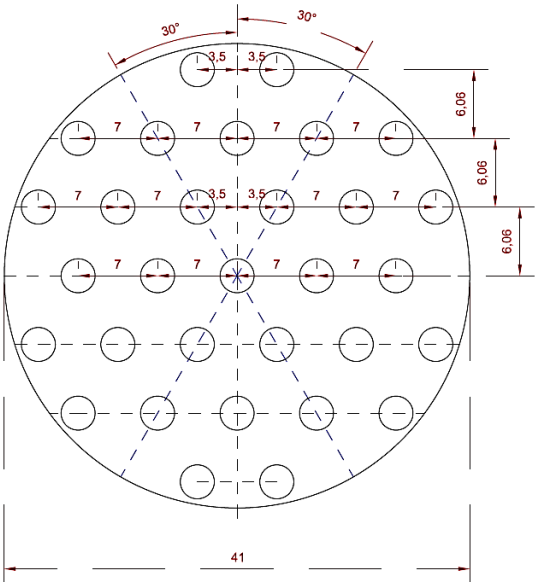
Bu çalışmada (Çekinmez, 2014), 41 cm çapında ve 38 cm yüksekliğindeki çelik tanklarda konsolide olmuş homojen kaolin tipi orta plastisiteli yumuşak killi silt birimi içerisinde %16.6’lık iyileştirme alan oranını sağlayacak şekilde eşkenar üçgen düzeninde herbiri 3 cm çapında merkezden merkeze 7 cm mesafeli 31 adet taş kolon yer değiştirme yöntemi ile %80 relatif sıkılık oranında imal edilmiştir (Şekil 2). Deney, konsolidasyon yükünü takip eden tank alanının tamamında uygulanan 25 kN/m^2 katlarındaki yükler (50, 75, 100, 125 ve 150 kN/m^2) altında konsolidasyon tamamlanana kadar sürdürülmüş, konsolidasyon tamamlandıktan sonra bir sonraki yük kademesine geçilmiştir. Deney süresince, merkez ve merkez dışındaki iki farklı taş kolonun üzerinde oluşan gerilmeler 3 cm çapında ve 1 MN/m^2 kapasitesinde minyatür basınç hücreleri ve farklı noktalardan oturma değerleri potansiyometrik cetveller ile dijital olarak 1 dk’lık aralıklarla ölçülmüştür. Yüzey yükleri hava basınçlı krikolarla verilmiş ve basınç regülatörler aracılığı ile yük kademesi boyunca sabit tutulmuştur. Alınan bütün ölçümler, 8 kanallı data toplama sistemi aracılığı ile kaydedilmiştir.

Deneylerde kullanılan taş kolon malzemesi olan bazalt kırma taşı ile kaolin tipi killi siltin malzeme özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Deneyler üç aşamada gerçekleştirilmiştir:
(1) *Kaolin Bulamacının Hazırlanması:* Kuru haldeki kaolin büyük öğütücülerde öğütülerek, likit limit kıvamına %45 su içeriği sağlanacak miktarda su ile büyük mikserlerde karıştırılmıştır.

(2) *İyileştirilmemiş Zeminin Konsolidasyonu:* Kaolin bulamacı, kademeli olarak aralarda hava boşluğu kalmayacak şekilde sıkıştırılarak tankın içerisine doldurulmuştur. Yüzeyden

120 mm ve 210 mm derinliklere yüzey altı konsolidasyon oturmalarıın ölçülmesi için oturma çubukları yerleştirilmiştir. Tankın üzerine yerleştirilen hava basınçlı krikolarla kademeli olarak yük arttırılmış ve konsolidasyon basıncı (σ_{kons}) altında, oturma ölçerler ile gözlemlenerek minimum %95 konsolidasyon tamamlanana kadar bekletilmiştir. Konsolidasyon sonunda tankın farklı yerlerinden alınan numunelerden yapılan üç eksenli basınç deneyleri ile yerinde yapılan veyn deneyleri sonucunda drenajsız kayma dayanımı 20 kPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Grup Taş Kolon Düzeni (Bütün birimler cm'dir)

Tablo 1. Malzemelerin Fiziksel, Sıkıştırılabilirlik ve Dayanım Parametreleri

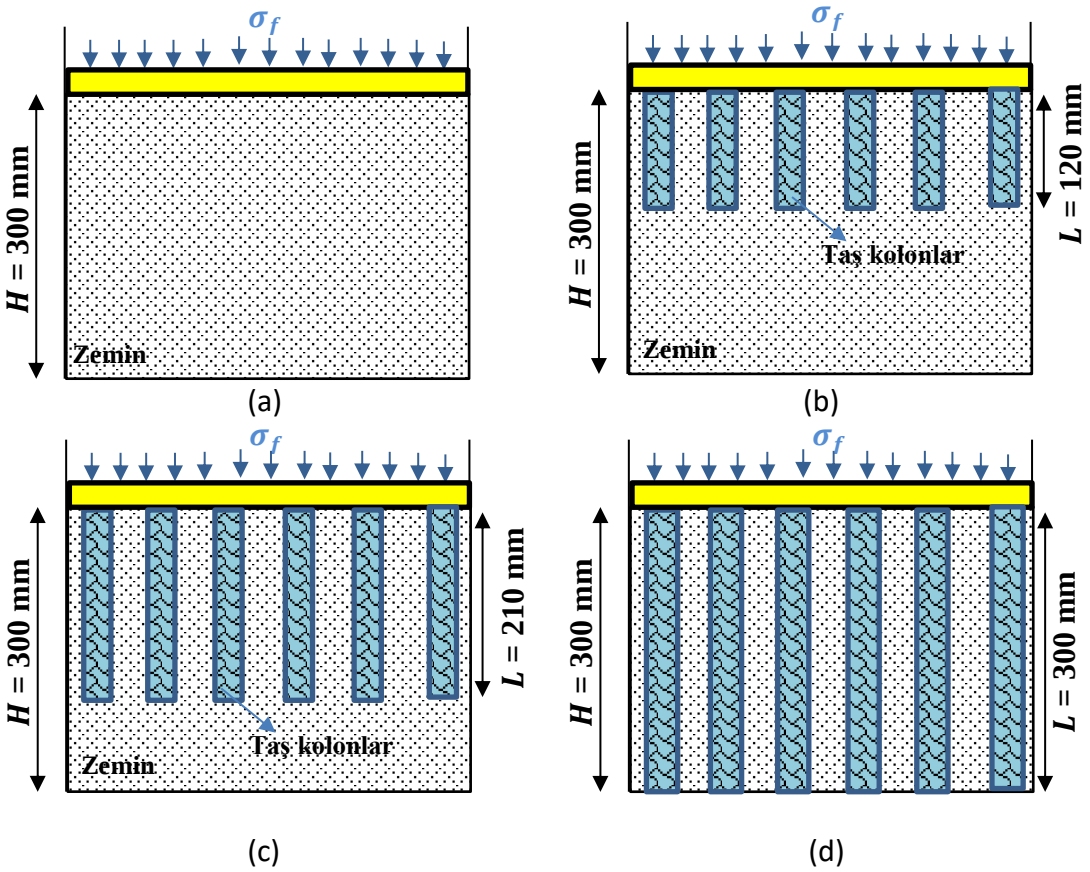
Parametre	Bazalt Kırma Taşı	Parametre	Kaolin Tipi Killi Silt
Dane Büyüklüğü Aralığı (mm)	1.00 – 3.36	%Silt Oranı	70
Minimum boşluk oranı, e_{min}	0.751	%Kil Oranı	30
Maksimum boşluk oranı, e_{maks}	1.177	Likit Limit, LL	46
Minimum kuru yoğunluk, ρ_{dmin} (gr/cm^3)	1.20	Plastik Limit, PL	34
Maksimum kuru yoğunluk, ρ_{dmaks} (gr/cm^3)	1.49	Özgül ağırlık, G_s	2.611
Özgül ağırlık, G_s	2.616	Sıkışma indisi, C_c	0.156
Efektif Kohezyon, c' (kN/m^2)	0	Yeniden Sıkışma indisi, C_r	0.034
Efektif İçsel Sürtünme Açısı, ϕ' (°)	48.7	Efektif Kohezyon, c' (kN/m^2)	5.5
Konsolidasyonlu Drenajlı Üç Eksenli Basınç Deneyi Deformasyon Modülü (kPa)	22736	Efektif İçsel Sürtünme Açısı, ϕ' (°)	26.5

(3) *İyileştirilmiş Zeminin Yüklenmesi:* Tankın içerisindeki konsolide olmuş zemin 30 cm kalınlığı (H = 30 cm) sağlayana kadar düzleştirilmiştir. Taş kolonlar için, Şekil 2'deki düzeni

sağlayacak şekilde özel olarak yaptırılmış şablon aracılığı ile 3 cm çapında burgu tipi el matkabı ile delikler açılmıştır. Açılan deliklere, 3 cm kademelerde %80 relatif sıkılığı sağlayacak miktardaki bazalt kırma taş boşaltılarak sıkıştırılmıştır. 31 adet taş kolon aynı şekilde imal edildikten sonra ayaklı rijit yükleme plakası yerleştirilmiştir. Pistonlar tankın çevresindeki 4 adet çelik tijli demirin üzerine asılarak, ayaklı yükleme plakasının üzerindeki yuvaya piston ucu oturtulmuştur. Oturma ölçerler yüzey oturmaları için yükleme plakasının üzerine ve yüzey altı oturmaların ölçülmesi için oturma çubuklarının üstüne yerleştirilmiştir. Son olarak tankın yüzeyinin tamamına etkiyen konsolidasyon basıncına eşit temel basıncı (σ_f) uygulanmış ve kayıt başlatılmıştır (Şekil 3). Yük daha sonrasında kademeli olarak 25 kN/m^2 katlarında (σ_f = 50, 75, 100, 125 ve 150 kN/m^2) konsolidasyon tamamlanana kadar tutulmuş, konsolidasyon tamamlandıktan sonra bir sonraki yük kademesine geçilmiştir.

Şekil 3. Deney Düzeneği (Çekinmez, 2014)

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler taş kolon boyunun (L) zemin tabakasının toplam kalınlığına (H) olan oranı (L/H) 0.4, 0.7 ve 1.0 (uç tipi) ile iyileştirmesiz koşul için Şekil 4'te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4. Sonsuz Düzen Yüklemesi Altındaki Model Deneyler (a) İyileştirilmemiş Zemin, (b) L/H= 0.4 Yüzer Tip, (c) L/H= 0.7 Yüzer Tip ve (d) L/H= 1.0 Uç Tipi Grup Taş Kolonlar

3. DENEY SONUÇLARI

Deneylerin sonunda, her yük kademesi altındaki konsolidasyon tamamlandıktan sonra zemin kalınlığına (H) göre normalize edilmiş derinliğe (z) bağlı elde edilen oturma grafikleri Şekil 5'te ve Şekil 1'de tariflenen üst bölge ile alt bölgelerdeki oturma değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Burada; S_{UB}: yüzer tip taş kolon gruplarında üst bölgenin oturması, S_{AB}: yüzer tip taş kolon gruplarında alt bölgenin oturması, S_T: temel seviyesindeki toplam oturma, $S_{0.4}$: iyileştirilmemiş durumda 0.4H derinliğindeki oturma ve $S_{0.7}$: iyileştirilmemiş durumda 0.7H derinliğindeki oturmadır.

Tablo 2. Deneylerden Elde Edilen Oturma Değerleri (Çekinmez, 2014)

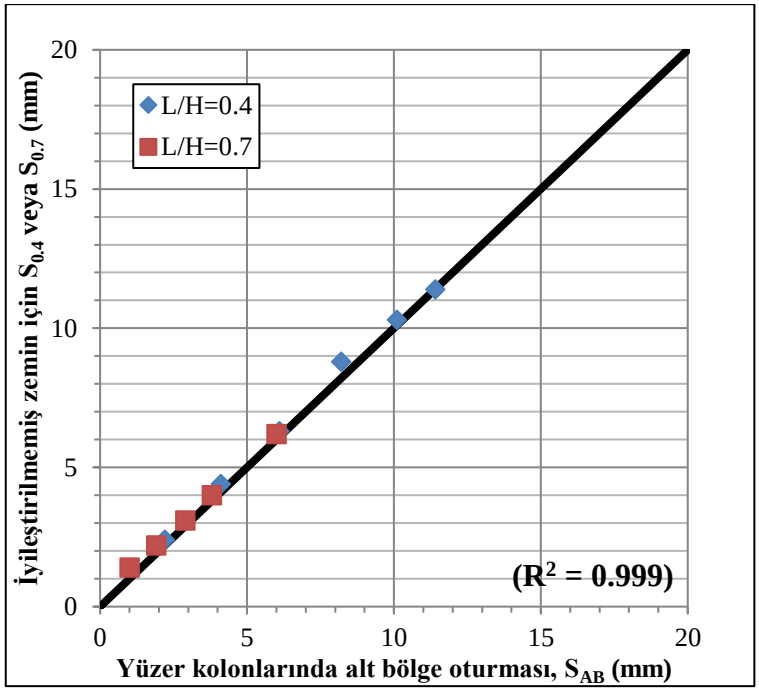
σ_f (kPa)	İyileştirilmemiş (L/H = 0)			L/H = 0.4			L/H = 0.7			L/H = 1
	$S_{0.4}$ (mm)	$S_{0.7}$ (mm)	S_T (mm)	S_{UB} (mm)	S_{AB} (mm)	S_T (mm)	S_{UB} (mm)	S_{AB} (mm)	S_T (mm)	S_T (mm)
35	2.4	1.4	5.0	0.9	2.2	3.1	1.3	1.0	2.3	1.1
50	4.4	2.2	8.3	1.4	4.1	5.5	2.5	1.9	4.4	2.7
75	6.3	3.1	12.8	2.2	6.1	8.3	3.6	2.9	6.5	4.3
100	8.8	4.0	16.1	2.9	8.2	11.1	4.6	3.8	8.4	5.7
125	10.3	5.5	18.5	2.7	10.1	12.8	-	-	-	-
150	11.4	6.2	20.7	3.6	11.4	15.0	5.7	6.0	11.7	7.4

4. DENEY SONUÇLARININ YORUMLANMASI

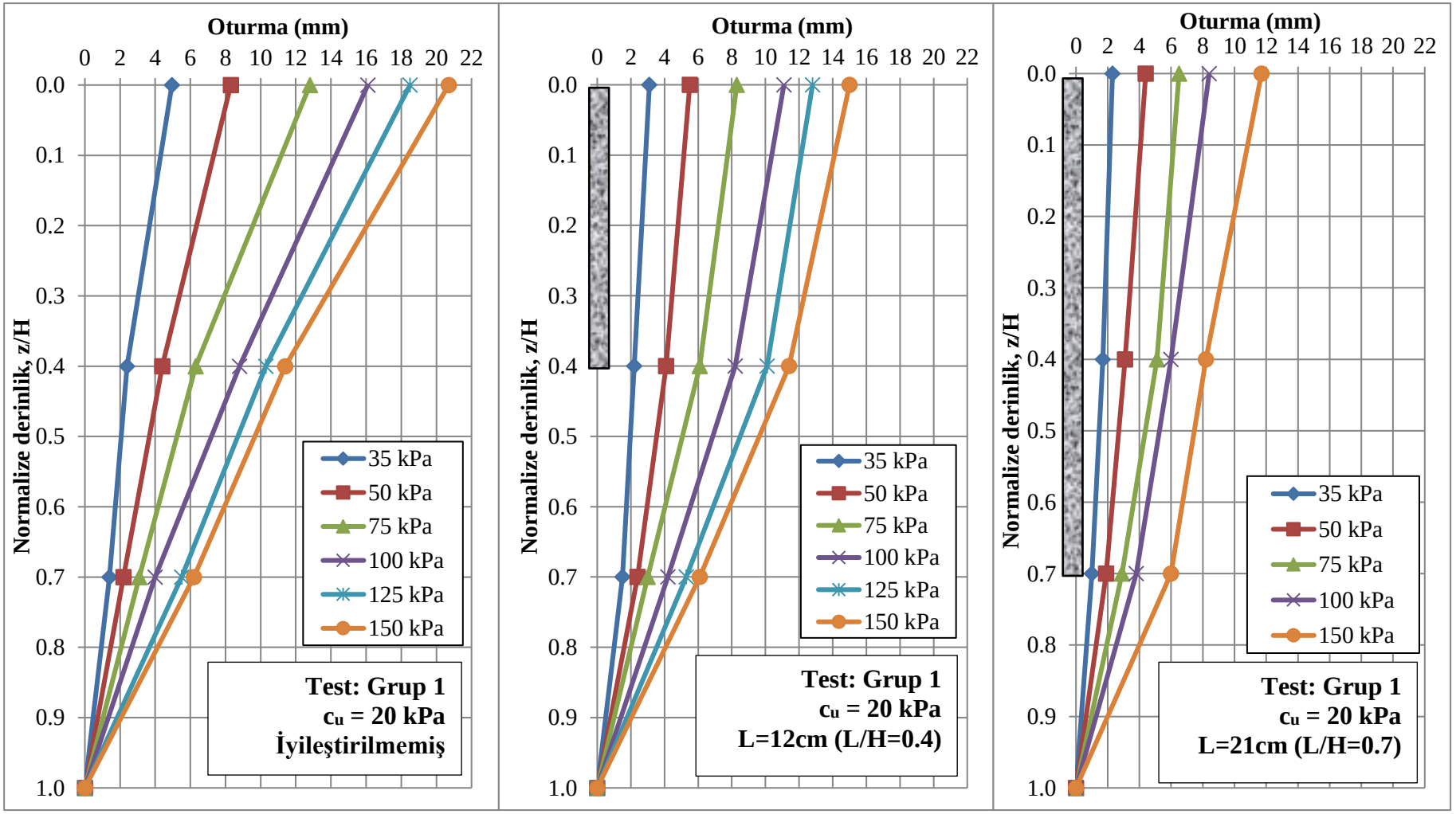
Bu çalışmada, yüzer tip kolonlardan oluşan sonsuz düzendeki taş kolon gruplarının oluşturduğu iyileştirilmiş üst bölge ve kolonların altındaki iyileştirilmemiş alt bölgede farklı yükler altındaki konsolidasyon oturmaları ölçülmüştür. Tablo 2'de yüzer tip taş kolonların alt bölgesinde hesaplanan oturma değerleri (S_{AB}) ile aynı derinlikte iyileştirilmemiş zemin koşulunda hesaplanan oturma değerleri Şekil 6'da karşılaştırılmıştır. Buna göre, yüzer tip taş kolonların altında kalan alt bölgedeki oturmalar iyileştirilmemiş zeminde aynı derinlikte ölçülen oturmalar ile aynıdır. Diğer bir deyişle, sonsuz düzen yükleme koşulu altında yüzer tip taş kolonlar, bu kolonların altındaki bölgenin oturmalarının iyileşmesinde herhangi bir katkısının olmadığı gözlemlenmiştir.

İyileştirilmemiş durumda ölçülen konsolidasyon oturmaları ve ilgili temel gerilmeleri kullanılarak zeminin deformasyon modülü Elastik Teori) uygun olarak Denklem (2) ile hesaplanmış olup sonuçlar Şekil 7'de sunulmuştur. Bu değerler ile Tablo 1'de verilen üç eksenli deneyleri sonucunda elde edilen taş kolona ait deformasyon modülü değeri kullanılarak Denklem (1) ile %16.6'lık alan yerdeğiştirme oranı (a_r) için kompozit zemin bloğuna ait deformasyon modülleri hesaplanmıştır (Şekil 7).

$$E_s = \sigma_f/(S_T/H) \tag{2}$$

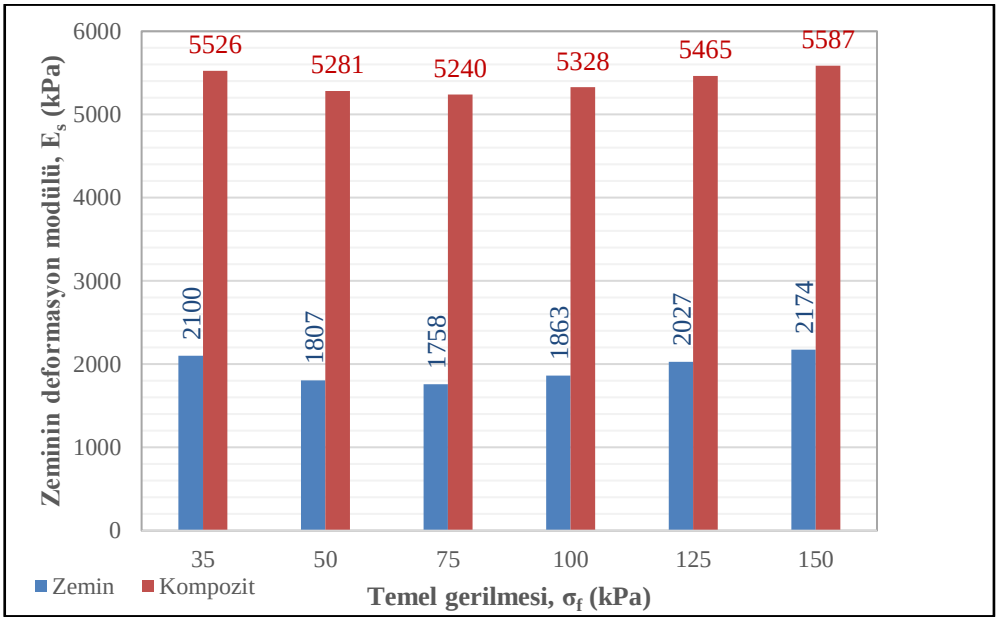


Şekil 6. Yüzer Tip Taş Kolon Gruplarında Alt Bölgedeki ve İyileştirmesiz Durumdaki Oturmaların Karşılaştırması



(a) (b) (c)

Şekil 5. Deneylerden Elde Edilen Oturma – Normalize Derinlik İlişkisi (a) İyileştirilmemiş Zemin Koşulları, L/H= 0.4 Yüzer Tip Taş Kolon Grubu ve (c) L/H= 0.7 Yüzer Tip Taş Kolon Grubu (Çekinmez, 2014)



Şekil 7. Farklı Gerilmeler Altındaki Zeminin Deformasyon Modülü

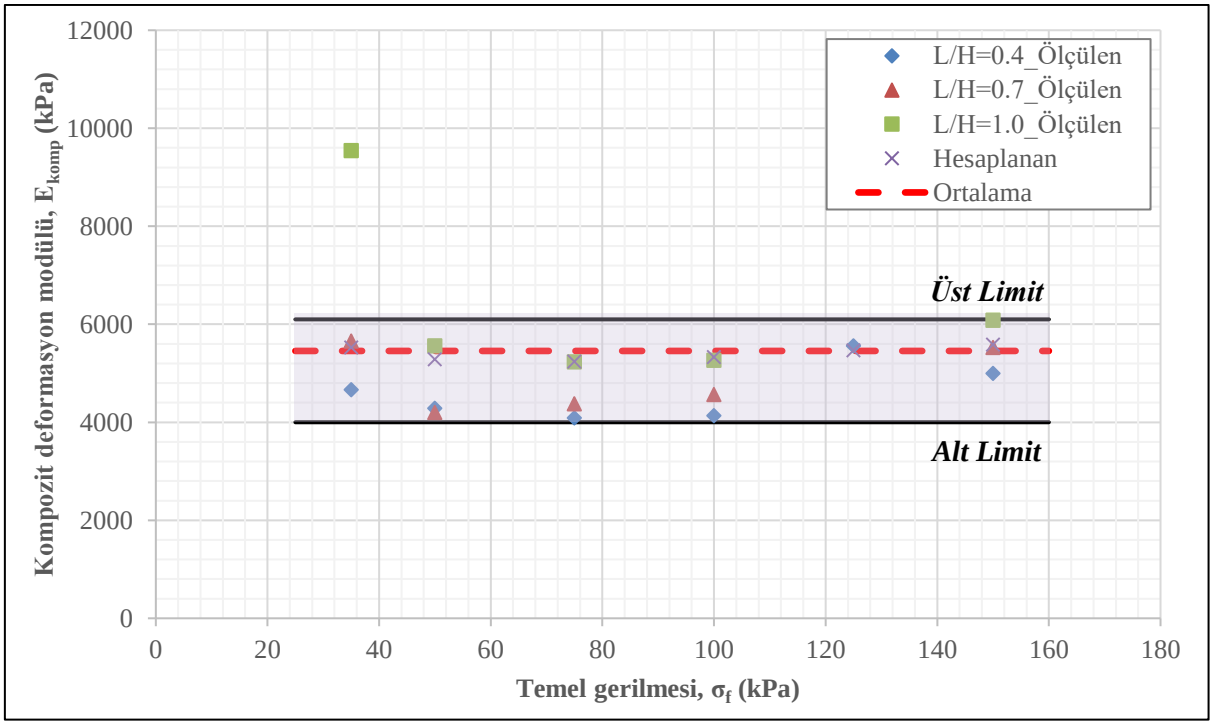
Odometrik yükleme koşullarının geçerli olması sebebiyle yüzer tip taş kolon deneylerinden elde edilen oturma değerleri kullanılarak, her yük kademesinde üst ve alt bölgeler için sırasıyla kompozit ve zemin deformasyon modülleri Denklem (3) ve (4) ile hesaplanmıştır. Burada; H_{UB}: üst bölgenin kalınlığı ve H_{AB}: alt bölgenin kalınlığı olup $H_{UB} + H_{AB} = H$ eşitliği geçerlidir. Benzer şekilde, uç tipi (L/H = 1) grup taş kolon deneylerinden elde edilen toplam oturmaları kullanılarak da farklı yükler altındaki kompozit deformasyon modülü değerleri hesaplanmıştır.

$$E_{komp} = \sigma_f/(S_{UB}/H_{UB}) \tag{3}$$

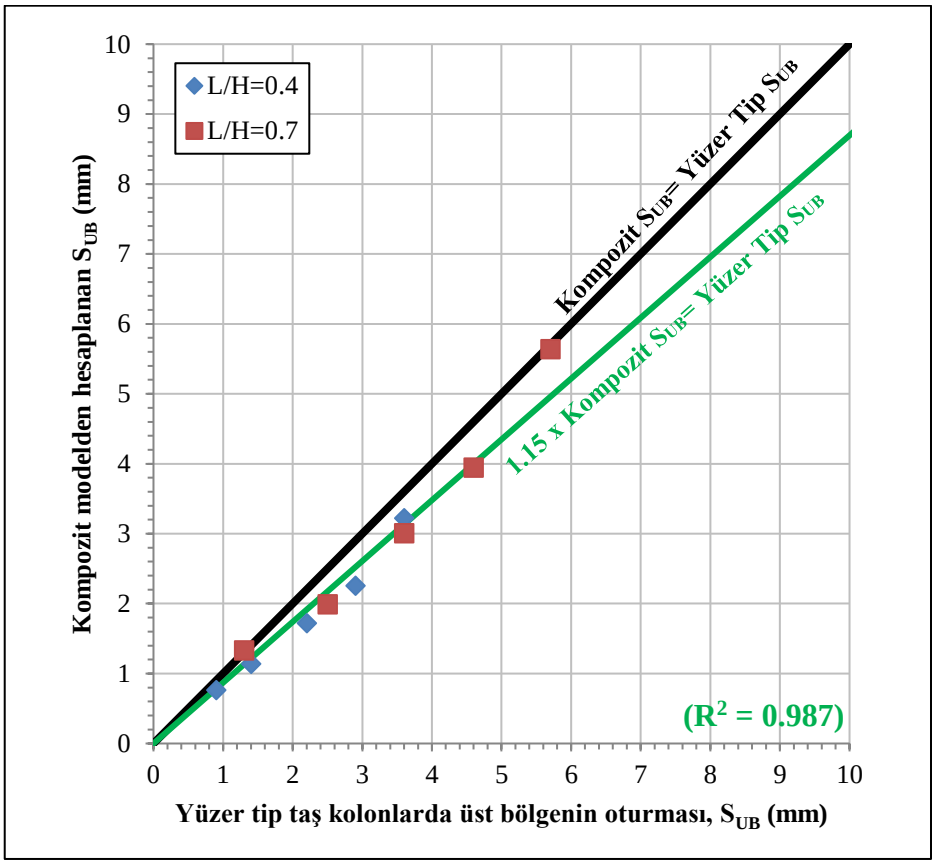
$$E_s = \sigma_f/(S_{AB}/H_{AB}) \tag{4}$$

Bu hesaplar sonucunda deney sonuçlarından türetilen kompozit deformasyon modülü değerleri Şekil 8'de sunulmuştur.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda taş kolon için üç eksenli deneyi ve zemin için iyileştirmesiz koşuldaki yükleme deneyleri sonucunda Denklem (1) kullanılarak elde edilen kompozit deformasyon modülü "hesaplanan" değerlerinin uç tipi taş kolonlardan oluşan deneyden elde edilen "L/H = 1.0_Ölçülen" kompozit deformasyon modülü değerlerine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu iki yöntemden elde edilen değerlerin ortalaması (=5456 kPa) kırmızı kesik çizgi ile Şekil 8'de gösterilmiştir. Yüzer tip taş kolonlardan elde edilen kompozit deformasyon modülleri ("L/H = 0.4_Ölçülen" ve "L/H = 0.7_Ölçülen") ise "ortalama" değerin yaklaşık olarak %15'i kadar altında kalmaktadır. Diğer bir deyişle yüzer taş kolonlarda ölçülen oturmaların kompozit modül ile hesaplanan oturmalardan ortalama %15 kadar fazla olduğu belirlenmiştir (Şekil 9). Yüzer tip taş kolonların alt bölgede herhangi bir iyileştirme etkisi olmadığından, bu durum yüzer taş kolonların bir miktar iyileştirilmemiş zemin bölümüne zımbalandığı şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 8. Hesaplanan ve Geri Hesaplar ile Ölçülen Oturmalardan Elde Edilen Kompozit Deformasyon Modülü Değerlerinin Temel Gerilmesine Bağlı Dağılımı



Şekil 9. Uç Tip ve Yüzer Tip Taş Kolon Gruplarında Ölçülen Üst Bölge Oturmalarının Karşılaştırması

5. SONUÇLAR

Ülkemizde taş kolon ile zemin iyileştirme oldukça sık kullanılan bir yöntemdir. Taş kolonlarla iyileştirilen kohezyonlu zeminde oluşturulan boşluklu yapı ile konsolidasyon oturması hızlandırılmakta, konsolidasyon oturması miktarı azalmakta ve artan kayma dayanımı ile taşıma gücü kapasitesi arttırılabilmektedir. Taş kolon tasarımında taş kolon boyu ve taş kolon ile iyileştirme alan oranı, hedeflenen iyileştirme miktarına göre belirlenmektedir. Taş kolonlarla iyileştirilmiş killerde oturmaların tahmini için uluslararası düzeyde kabul görmüş analitik ve nümerik yöntemler olsa da sıkışabilir kil tabakası içerisinde yüzer konumda bırakılan taş kolonların davranışı ve oturmaları azaltmaktaki katkıları konusunda araştırmalar sınırlıdır.

Bu çalışmada yüzer taş kolonların oturma davranışı laboratuvar model deneyleri ile araştırılmıştır. Kompozit malzeme yaklaşımı ile hesaplanan deformasyon modülü değerleri ile iyileştirilmemiş, yüzer tip ve uç tipi grup taş kolonlardan oluşan model deneylerinden elde edilen değerler ile karşılaştırılmıştır. Çalışmaların sonucunda, yüzer tip taş kolonların altında kalan alt bölgedeki oturmaların iyileştirilmemiş zeminde aynı derinlikteki ölçülen oturmalar ile aynı olduğu belirlenmiş olup sonsuz düzen yükleme koşulu altında yüzer tip taş kolonların alt bölgenin iyileştirilmesinde herhangi bir katkısının olmadığı gözlemlenmiştir. Uç tipi kolonlar ile kompozit malzeme tanımından hesaplanan deformasyon modülü değerlerinin aynı olması sebebiyle kompozit malzeme hesabının analitik hesaplarda realistik bir yaklaşım olduğu belirlenmiştir. Yüzer taş kolonlarda ise ölçülen oturmaların kompozit modül ile hesaplanan oturmalardan ortalama %15 kadar fazla olduğu belirlenmiştir. Yüzer tip taş kolonların alt bölgede herhangi bir iyileştirme etkisi olmadığından, bu durum yüzer taş kolonların bir miktar iyileştirilmemiş zemin bölümüne zımbalandığı şeklinde yorumlanmıştır.

KAYNAKLAR

Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C. (1983), “Design and Construction of Stone Columns”, Report No. FHWA/RD-83/026, National Technical Information Service, Virginia, USA.

Barksdale, R. D. ve Takefumi, T. (1990),. “Design, Construction and Testing of Sand Compaction Piles” *Symposium on Deep Foundation Improvements: Design, Construction and Testing*, ASTM Publications, STP 1089, Las Vegas.

Çekinmez, Z. (2014), “Experimental Study on Stress Concentration Factors in Single and Groups of End Bearing and Floating Stone Columns”, *Thesis presented to the Middle East Technical University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy,* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 222 sayfa.

Erol, A.O., Çekinmez Bayram, Z. ve Kuruoğlu, Ö. (2016), “Vibro-Zemin İyileştirme Yöntemleri: Vibro Sıkıştırma ve Taş Kolonlar” *Yüksel Proje,* Ankara.

Greenwood, D.A., (1970), “Mechanical Improvement of Soils below Ground Surface”, *Proceedings of the Conf. on Ground Engineering*, London, ICE.

Kuruoğlu, Ö., Horoz, A. ve Erol, O. (2013), “Settlements under Footings on Rammed Aggregate Piers” *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, syf.: 3455 – 3458.

Özkeskin, A. (2004), "Settlement Reduction and Stress Concentration Factors in Rammed Aggregate Piers Determined from Full Scale Load Tests", *Thesis presented to the Middle East Technical University in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy,* Middle East Technical University, Ankara/TURKEY, 211 pages.

Priebe, H. (1995), "The design of Vibro Replacement" *Journal of Ground Engineering*, Vol.28, No.10.

Van Impe, W. F. ve De Beer, E. (1983), "Improvement of Settlement Behavior of Soft Layers by Means of Stone Columns" *Proceedings of 8th ECSMFE*, Helsinki.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
$\boldsymbol{a_r}$	Alan yerdeğiştirme oranı	$\boldsymbol{S_{0.4}}$	iyileştirilmemiş durumda 0.4$\boldsymbol{H}$ derinliğindeki oturma
$\boldsymbol{c'}$	Efektif kohezyon	$\boldsymbol{S_{0.7}}$	iyileştirilmemiş durumda 0.7$\boldsymbol{H}$ derinliğindeki oturma
$\boldsymbol{E_c}$	Taş kolon deformasyon modülü	$\boldsymbol{S_{AB}}$	Alt bölge oturması
$\boldsymbol{E_{komp}}$	Kompozit malzemenin deformasyon modülü	$\boldsymbol{S_T}$	Yüzeydeki toplam oturma
$\boldsymbol{E_s}$	Zeminin deformasyon modülü	$\boldsymbol{S_{UB}}$	Üst bölge oturması
$\boldsymbol{e_{maks}}$	Maksimum boşluk oranı	$\boldsymbol{\rho_{dmaks}}$	Maksimum kuru yoğlunluk
$\boldsymbol{e_{min}}$	Minimum boşluk oranı	$\boldsymbol{\rho_{dmin}}$	Minimum kuru yoğunluk
$\boldsymbol{G_s}$	Özgül ağırlık	σ_f	Temel gerilmesi
H	Sıkışabilir zeminin kalınlığı	ϕ'	Efektif içsel sürtünme açısı
L	Taş kolon boyu		