



## KİL BİR ZEMİNİN TAŞ KOLON YÖNTEMİYLE İYİLEŞTİRİLMESİNDE OPTİMUM ALAN YERLEŞİM ORANININ BELİRLENMESİ

Baki BAĞRIACIK\*

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Drenajsız Davranış, Serbest Basınç Deneyi, Taş Kolon, Yumuşak Zemin, Zemin İyileştirmesi.</i>	Zemin iyileştirme yöntemlerinden olan ve son yıllarda git gide önem kazanan taş kolon uygulamaları yumuşak kil, silt ve gevşek kumların iyileştirilmesinde kullanılmaktadır. Bu iyileştirme yöntemi, taşıma gücünün artırılması, oturmaların azaltılması, sıvılaşma potansiyelinin azaltılması ve şevlerin stabiliteilerinin artırılması amacı ile kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, taş kolonların tasarımı yapılırken önem arz eden taş kolonlarda alan yerleşim oranlarının ( $A_c/A$ ) ve kolonlar arası mesafenin ( $s/d_c$ ) değişimi ile serbest basınç mukavemetlerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar model deneylerinin yapılması hedeflenmiştir. Farklı çaplarda oluşturulmuş kil numunesinin merkezine açılan sabit çaptaki dairesel boşluklara kum zemin yerleştirilerek taş kolonlar oluşturulmuş ve serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre göre, $A_c/A$ oranı 0.08 ve $s/d_c$ oranı 3.10 olması durumunda, en yüksek serbest basınç mukavemetine ulaşıldığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak $A_c/A$ ve $s/d_c$ oranlarının optimum değerlerinin yaklaşık olarak sırasıyla 0.08 ve 3.10 civarında olduğu bulunmuştur.

### DETERMINATION OF OPTIMUM AREA REPLACEMENT RATIO FOR IMPROVEMENT A CLAY SOIL WITH STONE COLUMN METHOD

Keywords	Abstract
<i>Soil Improvement, Soft Soil, Stone Column, Unconfined Compression Test, Undrained Behavior.</i>	It is an improvement method that has gained importance in recent years for the improvement of soft clay, silt and loose sand with stone columns. This healing method is used with the aim of increasing the bearing capacity, reducing seats, reducing liquefaction potential and increasing slopes stability. In this study, it was aimed to perform laboratory model experiments in order to determine important stone column area replacement ratios ( $A_c/A$ ) and column spacing ( $s/d_c$ ). Stone columns were formed by placing a sand bed on the fixed circular cavities which opened to the center of the clay sample formed at different diameters and unconfined compression test was carried out. According to the results, when the $A_c/A$ ratio is 0.08 and the $s/d_c$ ratio is 3.10, it is determined that the highest bearing capacity has reached. Accordingly, optimum values of $A_c/A$ and $s/d_c$ ratios were found to be around 0.08 and 3.10 respectively.

#### Alıntı / Cite

Bağriacık, B., (2020). Kil Bir Zeminin Taş Kolon Yöntemiyle İyileştirilmesinde Optimum Alan Yerleşim Oranının Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(1), 221-228.

#### Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

B. Bağriacık, 0000-0002-1860-2881

#### Makale Süreci / Article Process

<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	15.11.2018
<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	03.09.2019
<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	04.10.2019
<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	20.03.2020

### 1. Giriş (Introduction)

Geoteknik mühendisliği ve ulaştırma mühendisliğinde, taşıma gücü ve oturma bakımından yetersiz zeminler üzerine inşa edilecek yapılarda, temel alanının projenin uygulanabilmesini etkileyecek boyutlara ulaşması

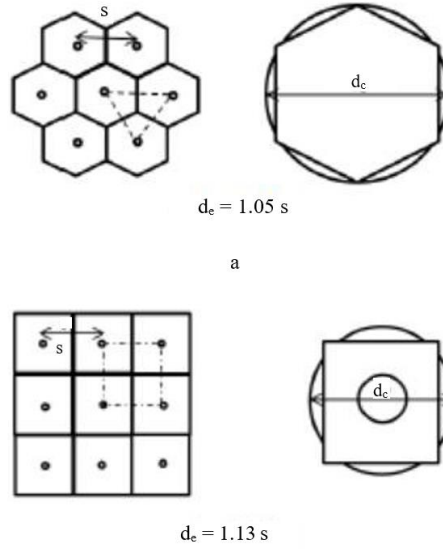
\* İlgili yazar / Corresponding author: bbagriacik@cu.edu.tr, +90-322-338-6702

durumunda arazi zemin koşullarının iyileştirilmesi gerekli olabilmektedir. Son yıllara kadar, söz konusu projelerin geoteknik mühendisliği açısından değerlendirilmesi sonucu, yüzeysel temellerle güvenilir sonuçlar elde edilemeyeceğinin anlaşılması durumunda, ya proje sahasının değiştirilmesi ya da istenilen özelliklere sahip olmayan zeminin kaldırılarak yerine uygun zeminlerin kullanılması tercih edilmekteydi. Ancak son yıllarda bu iki durumda ekonomik olmaması ve artan nüfusa bağlı olarak azalan proje sahalarının kullanılması zorunluluğu nedeniyle çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri önerilmektedir. Zemin iyileştirme yöntemlerinde amaç, zeminin boşlukların çeşitli bileşimlerindeki karışımlarla doldurularak ya da mekanik araçlarla sıkıştırılarak azaltılması ile zemini taşıma gücü ve oturma bakımından istenilen özelliklere getirilmesidir. Zemin iyileştirmesi ile, mühendislik bakımından elverişli olmayan zeminin, proje sahasında öngörülen projenin yüklerini destekleyebilecek duruma getirebilmek için, toplam oturmanın azaltılıp konsolidasyon oturmasının hızlandırılması, zeminin sıvılaşma potansiyelinin azaltılması, zayıf zeminin taşıma kapasitesinin artırılması, zeminin permeabilitesinin azaltılması, dolgu ve şevlerin stabilitesinin sağlanması amaçlanmaktadır (Burke ve Sehn, 2003). Zemin iyileştirme yöntemlerinden taş kolon ile iyileştirme yapılması, derin zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olup, 1830'lu yıllarda Fransa'da uygulanmaya başlanmıştır (Osmanoğlu, 1999). Sonraki yıllarda ise sırasıyla Avrupa, Amerika ve ülkemizde de konu ile ilgili çalışmalar yapılmaya devam edilmektedir. Taş kolonlar ile zemin iyileştirmesi için analizler yapılırken, kolon çapı, yerleşim düzeni, kolon dolgu malzemesinin kayma mukavemeti açısı, alan yerleşim oranı (kolonlar arası mesafe), kolon zemin arasındaki gerilme konsantrasyon oranı, kolonun ve zeminin gerilme-şekil değiştirme davranışı (oturma azaltım oranı) gibi parametrelerin göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir (Sayraç vd., 2014).

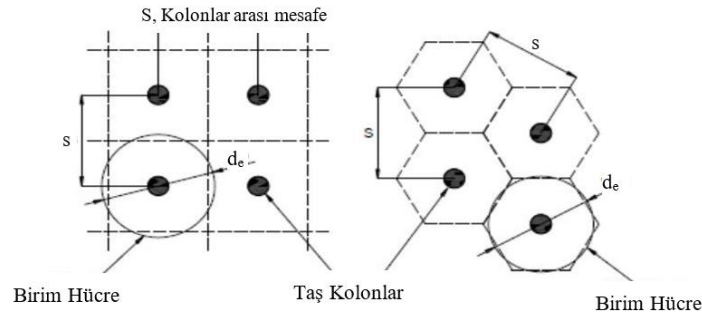
## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Zeminlerin taş kolonlar ile iyileştirilmesine yönelik geliştirilen birçok deney düzeneği ve tekniği literatürde yer almaktadır. Balaam vd. (1977), grup taş kolonların davranışı sonlu elemanlar yöntemi ile belirleyebilmek amacıyla birim hücre yaklaşımını kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, kolon uzunluğu, kolonlar arasındaki mesafenin değişiminin kolonların oturma davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, kolonlar arası mesafenin kolon çapının 5 katından az olması durumunda oturma değerlerinde kayda değer azalmaların meydana geldiği görülmüştür. Barksdale ve Bachuc, (1983), üniform yüklü grup taş kolonlar için birim hücre yaklaşımını önererek, silindirik geometriye sahip hücrenin tüm sistem davranışını temsil ettiğini kabul etmişlerdir. Birim hücreyi oluşturan kolon ve kolonu çevreleyen zemini birlikte değerlendirmişler ve birim hücredeki kolon boyutlarının kolonlar arası mesafe ve kolonların yerleşim düzenine bağlı olarak değiştiğini ifade etmişlerdir. Yöntemde, taş kolon aralıkları üçgen yerleşim düzeni olduğunda kolon etrafında altıgen bir alan oluştuğu belirtilerek, bu altıgen bölgenin aynı alana sahip eşdeğer bir daireye dönüştürüldüğü ifade edilmiştir (Şekil 1.a). Burada, dairenin çapı, eşdeğer çap olup efektif çap olarak adlandırılmıştır. Kolonların kare yerleşim düzeninde olduğunda ise kolondan etkilenen alan kare kabul edilip aynı şekilde eşdeğer alana sahip bir daireye dönüştürüldüğü belirtilmiştir (Şekil 1.b). Birim hücreyi oluşturan dairenin eşdeğer efektif çapı ( $d_e$ ) kare ve eşkenar üçgen dizilimi için sırasıyla;  $d_e=1.13s$ ,  $d_e=1.05s$  ( $s$ : taş kolonlar arası mesafe) olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucunda, yüklerin sadece düşey yönde uygulandığı ve sınır koşulları etkisinin ihmal edilmesi durumunda bu yöntemin mantıklı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Taş kolonların modellenmesinde birim hücre yaklaşımını kullanarak literatürde bir çok araştırmacı tarafından başarılı çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Priebe, 1995; Ambily ve Gandhi, 2007; Mirsalehi ve Bilsel, 2012; Adeli, 2013). Ambily ve Ghandi, (2007), kısa süreli yükleme koşullarında birim hücre analizlerinin grup kolonların sayısal analizinde başarılı sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Ancak, yöntemin en belirgin dezavantajı uygulanan yükün sadece düşey yönde olmasıdır. Farklı yükleme prosedürleri için önerilen diğer yaklaşımlardan biri kullanılmadığıdır. Han ve Ye, (2001), taş kolonlarla yapılan zemin iyileştirmesinde grup etkisini belirleyebilmek amacıyla birim hücre yöntemini kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada, yapılan kabuller sırasıyla, birim hücrenin dairesel sınırının, rijit ancak tam pürüzsüz bir yüzeye sahip olması ve buna bağlı olarak dairesel sınır yanal yer değiştirme yapmaması ve sınırdaki kayma gerilmeleri oluşmaması; birim hücredeki kolon ve zeminin düşey oturmalarının eşit olması şeklinde açıklanmıştır. Birim hücreyi oluşturan taş kolonun kare ve eşkenar üçgen şekillerindeki dizilimleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Bağrıaçık ve Uysal, (2017), taş kolonlar arası mesafenin taşıma gücüne etkisini belirlemek amacıyla laboratuvarında model deneyler gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlara göre, kolonlar arası mesafenin  $s/d_c=3.91$  ( $s$ : kolonlar arası mesafe,  $d_c$ : taş kolon etki çapı) seçilmesi durumunda  $s/d_c=4.78$  seçilmesi durumuna göre taş kolon taşıma gücünde %9-%10 mertebelerinde artışlar meydana geldiği belirlenmiştir. Buradan, kolonlar arası mesafenin artmasının taş kolon taşıma gücünü azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, literatürde taş kolonların kısa süreli davranışlarının küçük ölçekli model numuneleri ile deneysel olarak araştırılmasına yönelik büyük ve küçük ölçekli laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Priebe, 1991; Cimentada ve Da Costa, 2009; Hughes ve Withers, 1974; Bae vd., 2002; Malarvizhi ve Ilamparuthi, 2004; Mckelvey

vd., 2004; Sivakumar vd., 2004; Andreou vd., 2008; Ali vd., 2011; Bağrıçık ve Uysal, 2017). Çalışma sonuçlarına göre, taş kolonların ortamın yük taşıma kapasitesinde kayda değer olarak artış sağladığı görülmüştür.



**Şekil 1.** Birim Hücre Yönteminde Taş Kolonların Kare ve Üçgen Dizilimleri (Adeli, 2013) (Square and Triangular Arrays of Stone Columns in Unit Cell Method, Adeli, 2013)

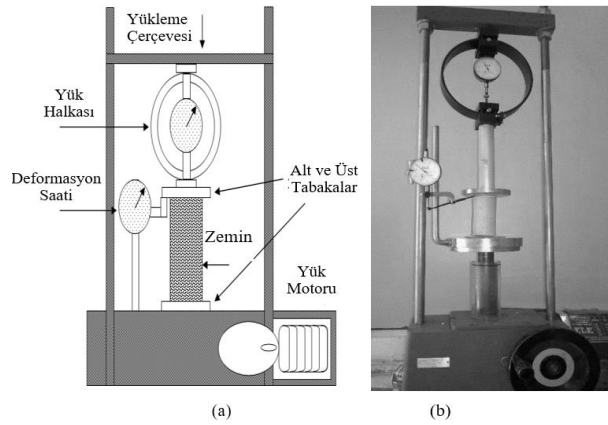


**Şekil 2.** Birim Hücre Yönteminde Taş Kolonların Kare ve Üçgen Dizilimleri (Han ve Ye, 2001) (Square and Triangular Arrays of Stone Columns in Unit Cell Method, Han ve Ye, 2001)

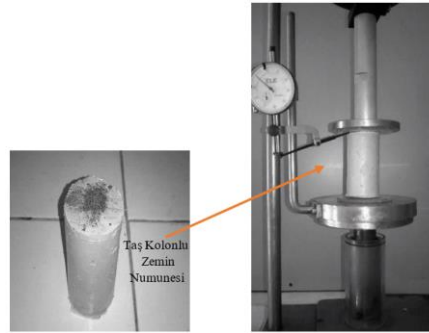
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

Model deneyler, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği ve Geoteknik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılacak olan kil zemin araziden getirildikten sonra küçük parçalara ayrılmıştır. Ayrıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, 24 saat boyunca  $105 \pm 5^\circ\text{C}$  sabit sıcaklıktaki etüvde tutularak içindeki zemin içindeki tüm su partikülleri uzaklaştırılmıştır. Kurutma işlemi tamamlandıktan sonra, bir öğütme makinesi yardımıyla öğütülerek, 10 no'lu bir elekten elenmiştir. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra, zeminin mühendislik ve endeks özelliklerini bulmak için bir seri deney gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, zeminin sınıfı, TS 1500'e göre orta plastisiteli kil (CI) olarak belirlenmiştir. Daha sonra, kil zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını bulabilmek amacıyla, sıkıştırma deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda, maksimum kuru birim hacim ağırlık  $17.40 \text{ kN/m}^3$  ve optimum su muhtevası %18.10 olarak belirlenmiştir. Kilin, likit limit değeri yaklaşık olarak % 42, plastik limit değeri yaklaşık olarak % 24 olarak belirlenmiştir. Deneylerde kullanılacak olan kil için optimum su muhtevasında karışım hazırlanarak, kıvam homojenliğinin belirlenmesi amacıyla 24 saat kür odasında bekletilmiştir. Kili iyileştirmek için, taş kolon malzemesi olarak kum zemin seçilmiştir. Taş kolon malzemesinde kullanılacak kum zemin, TS 1500'e göre, kötü derecelenmiş temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Kum zeminin dane dağılımı yaklaşık %53.6 ince taneli kum ve %46.4 orta tanelidir. Ayrıca, özgül ağırlık, minimum kuru özgül ağırlık ve maksimum kuru özgül ağırlık kumlu toprak sırasıyla sırasıyla  $26.80 \text{ kN/m}^3$ ,  $15.03 \text{ kN/m}^3$  ve  $17.06 \text{ kN/m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Laboratuvar ortamında model taş kolonlar üretilirken ilk olarak, doğal kil zemin numunesi, iki parçalı kalıp yağlanarak çelik tübe yerleştirilmiştir. Kalıbın iki ağzından taşan zemin numunesi kil testereyle kesilip atılmıştır. Daha sonra kil zemin numunesinin merkezi hassas olarak

belirlendikten sonra, çapı 1.0 cm ve ortası boş olan ince cidarlı metal çubuk yardımıyla kil numunelerine dikkatlice yerleştirilmiştir. Çapı 1.0 cm olan ince cidarlı metal çubuğun içindeki kil zemin temizlendikten sonra metal çubuk ta dikkatlice çıkarılmıştır. Daha sonra kil zemin ortasında oluşan boşluk hacmi hesaplanarak, kum zemin belirlenen sıklıkta, boşluk içerisine 3 tabaka halinde ve her tabakaya 25 vuruş denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneye tabi tutulacak, zemin numunelerinin boy/çap oranı 2 olacak şekilde oluşturulmuştur. Taş kolonlu zemin ortamı oluşturulduktan sonra, zemin ile taş kolon malzemesinin aderansının sağlanabilmesi amacıyla 3 gün süre ile desikatörde bekletildikten sonra deney numuneleri serbest basınç deneyine tabi tutularak taşıma güçleri belirlenmiştir. Deneylerde, zemin numunesinin presin alt plâtfonuna merkezlenerek oturtulmasından sonra üst başlığın numune üst yüzüne rahatça ve tam degecek şekilde indirilmesine standartta da (TS1900-2) belirtildiği gibi dikkat edilmiştir. Boy değişim ölçen komparatör saati, alt ve üst başlıklar arasına yerleştirilerek sıfırlanmıştır. Yükleme numunede dakikada % 0.5 - % 2 arası birim boy kısalması oluşturacak şekilde standartta belirtildiği (TS1900-2) gibi yapılmıştır. Deney düzeneği, deneylerde kullanılan temsili taş kolonlu-taş kolonsuz model zemin numuneleri ve araştırma parametreleri sırasıyla Şekil 3, Şekil 4 ve Tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 3. Deney Düzeneği ve Detayları (Experimental Setup and Details)



Şekil 4. Model Numune Örneği (Model Sample Example)

Tablo 1. Araştırma Parametreleri (Research Parameters)

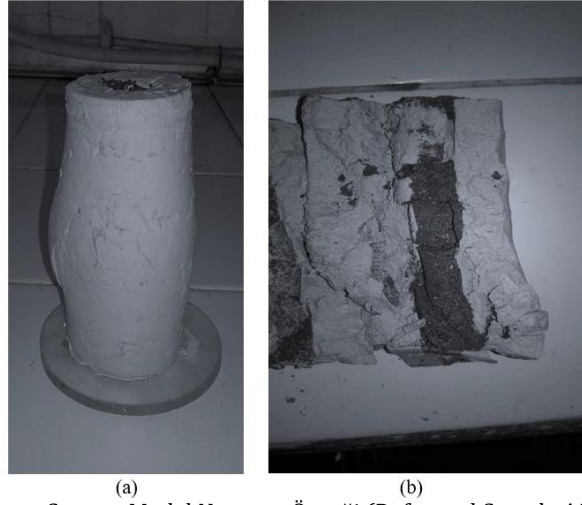
$s/d_c$	$A$ (cm <sup>2</sup> )	$A_c$ (cm <sup>2</sup> )	$A_c/A$	$d_e/d_c$
1.77	3.14	0.785	0.25	2.0
2.22	4.91	0.785	0.16	2.5
2.66	7.06	0.785	0.11	3.0
3.10	9.62	0.785	0.08	3.5
3.55	12.56	0.785	0.06	4.0
4.43	19.63	0.785	0.04	5.0

(s: taş kolonlar arası mesafe,  $d_c$ : taş kolon çapı,  $A_c$ : taş kolon alanı, A: toplam hücre alanı,  $d_e$ : taş kolon etki çapı)

#### 4. Deneysel Sonuçlar (Experimental Results)

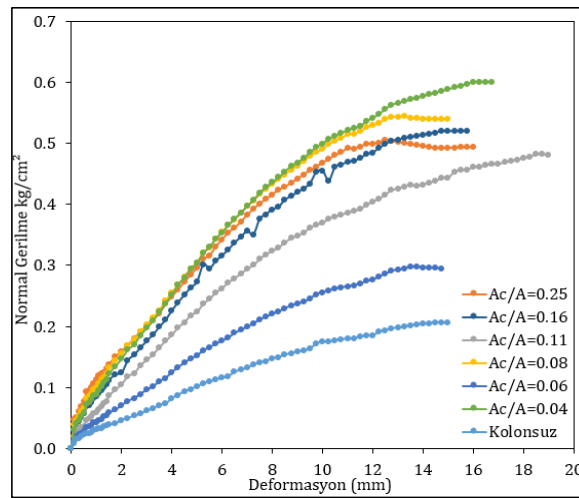
Bu çalışmada, uniform yüklü grup taş kolonlar için birim hücre yaklaşımı kullanılarak, silindirik geometriye sahip hücreler için, farklı kolonlar arası mesafeler ( $s/d_c$ : taş kolonlar arası mesafe/taş kolon çapı) ve farklı alan yerleşim oranları ( $A_c/A$ :taş kolon alanı/toplam hücre alanı) oluşturularak yapılan laboratuvar model deneyleri ile taşıma

güçlerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, taş kolon aralıkları üçgen yerleşim düzeni olarak belirlenmiş ve taş kolon etrafında altıgen bir alan olduğu belirtilerek, bu altıgen bölgenin aynı alana sahip eşdeğer bir daireye dönüştürülerek alan oranları belirlenmiştir [10]. Birim hücreyi oluşturan dairenin eşdeğer efektif çapı (taş kolon etki çapı) ( $d_e$ ) kare dizilim için sırasıyla;  $d_e=1.13s$  olacak şekilde belirlenmiştir ( $s$ : taş kolonlar arası mesafe). Çalışma sonucunda yerleşim alan oranları ve kolonlar arası mesafe açısından optimum değerlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda, deney numunelerinin yükleme sonrasındaki görüntüleri Şekil 5'te, elde edilen sonuçlar ise Şekil 6, Şekil 7, Şekil 8 ve Tablo 2'de sunulmuştur.

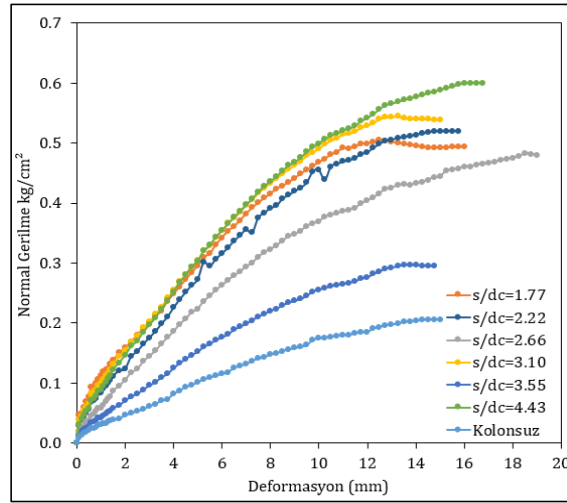


Şekil 5. Yükleme Sonrası Model Numune Örneği (Deformed Sample After Experiment)

Şekil 6 ve Şekil 7'den sırasıyla, serbest basınç deneylerinden elde edilen alan yerleşim oranları-normal gerilme eğrileri ve farklı kolon aralıkları-normal gerilme eğrileri görülmektedir. Bu eğrilerden serbest basınç mukavemetleri belirlenirken, eğrilerin yataya asimptot olduğu andaki değerler kullanılmıştır (Tablo 2). Sonuçlara göre, tüm grafiklerde, eğrilerin lineer olmayan bir davranış gösterdiği ve en küçük normal gerilme değerinin kolonsuz durumda meydana geldiği belirlenmiştir. Kolonlu durumdaki sonuçlara bakıldığında ise,  $A_c/A$  değerleri 0.25'ten 0.08'e kadar azalırken normal gerilme değerlerinin arttığı, 0.08'den 0.04'e kadar azalırken ise normal gerilme değerlerinin de azaldığı görülmüştür. Yine  $s/d_c$  değerleri 1.77'den 3.10'a kadar artarken normal gerilme değerlerinin de arttığı, 3.10'dan 4.43'e kadar arttığına ise normal gerilme değerlerinin de azaldığı görülmüştür.



Şekil 6. Alan Yerleşim Oranları için Serbest Basınç Deney Eğrileri (Unconfined Compression Results for Area Replacement Ratio)



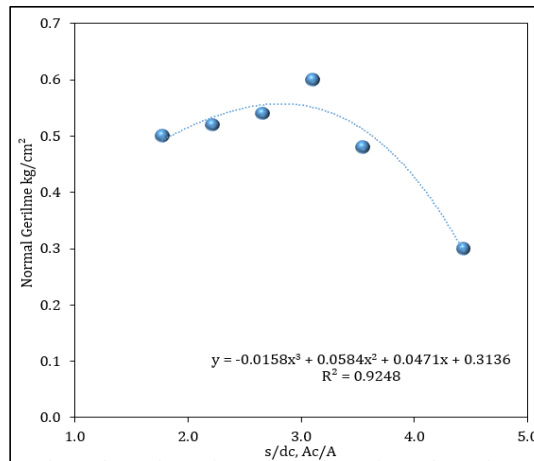
Şekil 7. Kolon Aralıkları için Serbest Basınç Deney Eğrileri (Unconfined Compression Results for Column Spacings)

Şekil 8’de farklı  $s/d_c$  oranları için serbest basınç mukavemetleri ve Tablo 2’de ise farklı  $A_c/A$  ve  $s/d_c$  oranları için serbest basınç mukavemetleri ve kohezyon değerleri görülmektedir. Serbest basınç mukavemetlerine göre,  $A_c/A$  oranı 0.08 ve  $s/d_c$  oranı 3.10 olması durumunda, en yüksek değerlere ulaşıldığı belirlenmiştir. Bunun sebebi ise, bu oranda ( $A_c/A$  oranı 0.08 ve  $s/d_c$  oranı 3.10) uygulanan düşey yüke bağlı olarak zemin ve taş kolon içerisinde oluşan gerilmelerin en fazla sönmüldüğü ve zemin-taş kolon arasında en iyi aderansın olduğu öngörülmektedir. Söz konusu oranların ( $A_c/A$  ve  $s/d_c$ ) daha yüksek ya da daha düşük olması durumlarında serbest basınç mukavemetlerinin de düştüğü görülmüş olup buna bağlı olarak  $A_c/A$  ve  $s/d_c$  oranlarının optimum değerlerinin yaklaşık olarak sırasıyla 0.08 ve 3.10 civarında olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kolonsuz durumda yumuşak zeminin kohezyon değeri  $0.64 \text{ kg/cm}^2$  iken, taş kolonlarla iyileştirme sonucunda yine taş kolonlu zeminin kohezyon değerinin  $1.93 \text{ kg/cm}^2$ ’lere kadar artacağı belirlenmiştir.

Tablo 2. Serbest Basınç Mukavemetleri (Unconfined Compression Strength)

$A_c/A$	$s/d_c$	$q_u$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	$c_u$ ( $\text{kg/cm}^2$ )
0.25	1.77	3.22	1.61
0.16	2.22	3.35	1.68
0.11	2.66	3.48	1.74
0.08	3.10	3.87	1.93
0.06	3.55	3.10	1.55
0.04	4.43	1.93	0.97
kolonsuz	kolonsuz	1.29	0.64

( $A_c$ : taş kolon alanı,  $A$ : toplam hücre alanı,  $s$ : taş kolonlar arası mesafe,  $d_c$ : taş kolon çapı,  $q_u$ : serbest basınç mukavemeti,  $c_u$ : kohezyon)



Şekil 8. Serbest Basınç Mukavemetleri (Unconfined Compression Strengths)

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışma kapsamında, taş kolonların tasarımı yapılırken, önem arz eden alan yerleşim oranlarının ve kolonlar arası mesafenin değişimi ile serbest basınç mukavemetlerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar model deneylerinin yapılması hedeflenmiştir. Yapılan deneyler sonrasında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Kolonsuz durumda yumuşak zeminin kohezyon değeri  $0.64 \text{ kg/cm}^2$  iken taş kolonlarla iyileştirme sonucunda ortamın kohezyon değerinin  $1.93 \text{ kg/cm}^2$ 'lere kadar arttığı belirlenmiştir.
2. Yerleşim alan oranları ( $A_c/A$ )  $0.25$ 'ten  $0.08$ 'e kadar azalırken normal gerilme değerlerinin arttığı ancak  $0.08$ 'den  $0.04$ 'e kadar azalırken normal gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür.
3. Kolonlar arası mesafe ( $s/d_c$ )  $1.77$ 'den  $3.10$ 'a kadar artarken normal gerilme değerlerinin de arttığı,  $3.10$ 'dan  $4.43$ 'e kadar arttığında ise normal gerilme değerlerinin azaldığı görülmüştür.
4. Serbest basınç mukavemetlerine göre,  $A_c/A$  oranı  $0.08$  ve  $s/d_c$  oranı  $3.10$  olması durumunda, en yüksek serbest basınç mukavemetine ulaşıldığı belirlenmiştir. Buna bağlı olarak  $A_c/A$  ve  $s/d_c$  oranlarının optimum değerlerinin yaklaşık olarak sırasıyla  $0.08$  ve  $3.10$  civarında olduğu düşünülmektedir. Bu oranda, uygulanan düşey yüke bağlı olarak zemin ve taş kolon içerisinde oluşan gerilmelerin en fazla sönümlendiği ve zemin-taş kolon arasında en iyi aderansın bu oranda oluştuğu öngörülmektedir.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-2017-8425 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the author.

## Kaynaklar (References)

- Burke, G., Sehn, A.L., 2003. The Influence of Ground Improvement on Geotechnical Design. ASCE/PENNDOT 20th Central PA Geotechnical Conference.
- Osmanoğlu, U., 1999. Yumuşak ve Gevşek Zeminlerin İyileştirilmesi: Yüksek Basıncılı Enjeksiyon Kolonları ve Taş Kolonlar. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Sayraç, M. A., Kemaloğlu, H.F., Bal E. K., Öner L., Çetin, K. Ö., 2014. Darbeli Kırmataş Kolon (DKK) Elemanlarının Deformasyon Temelli Tasarımı, İstanbul.
- Balaam, N. P., Poulos, H.G. and Brown, P. T., 1977. Settlement Analysis of Soft Clays Reinforced with Granular Piles. Proc. 5th Southeast Asian Conf. on Soil Engineering, Bangkok, Vol. 1, 81-91.
- Barksdale, R.D. ve Bachus, R.C., 1983. Design and Construction of Stone Columns Volume I, Federal Highway Administration Offices of Research and Development Report No. FHWA/RD-83/026-027.
- Priebe, H.J., 1995. "The Design of Vibro Replacement.", Ground Engineering, 1-13.
- Ambily, A. P., Gandhi, S. R., 2007. Behaviour of Stone Columns Based on Experimental and Fem Analysis. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.133, pp.405-415.
- Mirsalehi, S., Bilsel H., 2012. Finite Element Modeling of Stone Columns in Alluvial Soils under an Embankment. 3th International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Near East University, Nicosia, North Cyprus.
- Adeli, N., 2013. Taş Kolonların Analiz ve Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Han, J. and Ye, S.L., 2001. Simplified Method for Consolidation Rate of Stone Column Reinforced Foundation, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.127, pp.597-603.
- Bağrıçık, B. ve Uysal F., 2017, Taş Kolonlar Arası Mesafenin Taşıma Gücüne Etkisi, 2st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017). (Özet metin bildiri)
- Priebe, H. J., 1991. Vibro Replacement - Design Criteria and Quality Control, Deep Foundation Improvements: Design, Construction and Testing. ASTM STP 1089, Philadelphia, 62-72.
- Cimentada, A., Da Costa A., 2009. Laboratory Experimental Analysis of Radial Consolidation Around a Stone Column. Geotechnics of soft soils: Focus on ground improvement, London: Taylorand & Francis Group; pp 213-217.
- Hughes, J. M. O., Withers, N. J., 1974. Reinforcing of Soft Cohesive Soils with Stone Columns. Ground Engineering. Vol. 7, No. 3, pp 42-49.
- Bae, W. S., Shin, B. W., And An, B. C., 2002. Behaviours of Foundation System Improved with Stone Columns. Proceedings of the Twelfth International Offshore and Polar Engineering Conference, Kitakyushu, Japan. 675- 678.
- Malarvizhi, S. N., Ilamparuthi, K., 2004. Load Versus Settlement of Claybed Stabilized with Stone & Reinforced Stone Columns. 3rd Asian Regional Conf. on Geosynthetics. Korea, 322-329.
- Mckelvey, D., Sivakumar, V., Bell, A. L., and Graham, J., Modelling Vibrated Stone Columns in Soft Clay. Proc. Institution of Civil Engineers-Geotechnical Engineering, 2004. Vol. 157, No. 3, 137-149.
- Sivakumar, V., McKelvey, D., Graham, J., and Hughus, D., 2004. Triaxial Tests on Model Sand Columns in Clay," Can. Geotech. J. 41, 299 - 312.

- Andreou, P., Frikha, W., Canou, J., 2008. Papadopoulos, V., And Dupla, J. C., Experimental Study on Sand and Gravel Columns in Clay. Ground Improvement. Vol.161, pp.189-198.
- Ali, K., Shahu, J. T., and Sharma, K. G., 2011. An experimental Study of Stone Column in Soft Soils. An experimental study, Indian Geotechnical Conference. pp:375:378, Kochi.
- Bağrıaçık, B. ve Uysal F. 2017, Yumuşak Kildeki Tekil Kolonun Tek Eksenli Sıkışma Davranışı, International Advanced Researches and Engineering Congress. (Tam metin bildiri)
- TS 1500, İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması.
- TS 1900-2, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini.