

## Taş Kolonların Performans Analizi

Kaltoum ABDILLAHI AHMED<sup>1</sup>, Kaveh DEHGHANIAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

<sup>2</sup> İstanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye.

\* kavehdehghanian@aydin.edu.tr

### Özet

Taş kolonlar yapıların temel taşıma gücünün geliştirilmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok taş kolon tasarımı birim hücre kavramına dayanmaktadır. Bu araştırmada, birim hücre kavramındaki yenilme mekanizmasının (deformasyon), yer değiştirmelerinin ve taşların deformasyon davranışlarının önemli özellikleri sunulmaktadır. 100 kPa ve 1000 kPa yük altında yumuşak zemindeki ve taş kolonların davranışlarını incelemesi için sayısal hesaplamaları yapıp, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak en uygun model araştırılmıştır. Ayrıca, ilgili parametre seçimi için ek bir veri analizi yapılmıştır. Bu çalışmada birim hücrede deformasyon ve oturma tahmini önemli noktalardır. Analizler için sonlu elemanlar yazılımı PLAXIS kullanılmıştır. Zeminin yavaş aşırı boşluk basınç artışı ile inşa edildiği varsayılan bu çalışmada drenajlı yükleme koşulu analiz edilmiştir. PLAXIS 2D'deki Pekleşen zemin ve Mohr- Coulomb Modeli, hem granüler kolon malzemesinin hem de işlenmiş yumuşak zeminin davranışını modellemek için kullanılmıştır. Genel olarak, birim hücrede bulunan taş kolon, kolon derinliği boyunca çevredeki zeminlerden yaklaşık 4-5 kat daha fazla yük paylaşmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Taş kolon, birim hücre, deformasyon davranışı, oturma tahmini, sayısal analiz

## The Performance Analysis of Stone Columns

### Abstract

Stone columns have been used extensively to improve the foundation bearing capacity of many structures. Basically countless designs of stone columns have been based on the concept of unit cell. This paper presents the important properties of deformational behavior of stone columns, soft soil and settlement in the concept of unit cell. A numerical analysis have been performed to evaluate the behavior of stone columns in soft clay under 100 kPa and 1000 kPa load. The deformation and the settlement prediction of stone column together in the unit cell are the main focus of this paper. Finite element software, PLAXIS, was used to examine these properties. Drained-loading condition was analyzed in this process as the soil is assumed to be built slowly with no excessive pore pressure build-up. The Hardening Soil and Mohr-Coulomb models in PLAXIS 2-D have been used to model the behavior of both the granular-column material and the treated-soft soil. Generally, the load capacity of stone columns in the unit cell was 4–5 times of the the surrounding soils, throughout the column's depth.

**Keywords:** Stone column, unit cell, settlement prediction, deformational behavior, numerical analysis

## 1. GİRİŞ

Taş kolon, zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Taşıma kapasitesini artırma, oturmayı azaltma ve konsolidasyon sürecini hızlandırma yeteneğine sahip olan taş kolonlar, yumuşak ve zayıf zemin problemleri için alternatif çözüm önerdiği için, jeoteknik uzmanlar arasında en üst düzey tercihler haline getirmiştir. Bu yöntemde, zayıf zeminlerin, tipik olarak %10-40'luk daha sert granüllü materyallerle değiştirilmesi gerekir. Taş kolonun uygulanması karayolları dolguları, bina temelleri, köprü dayanağı, kimyasal veya petrol depolama tankları ve rezervuarını içermektedir.

Taş kolon tasarımların en çok birim hücre konseptini benimsemiştir [1- 6]. Birim hücre modeli, tek bir taş kolonu ve eşdeğer dairesel etki bölgesini oluşturmaktadır. Sonsuz büyük bir taş kolon grubunun iç kısmında bulunan bir kolonu temsil etmek için kullanılır. İdealleştirme, eşit aralıklı taş kolon grubu ile gevşek, yumuşak zeminler üzerinde desteklenen bir dolgu durumunda olduğu gibi sert ya da büyük tekdüze yüklü alanın simüle edilmesi için yapılır.

Taş kolonların üçgen, kare ve altıgen düzenlemesi için eşdeğer çap 1.05 s, 1.13 s ve 1.29 s'dir, burada s kolonun aralığıdır [7]. Yük ve geometri birim hücrede simetrik olduğundan, dış duvardaki sınır koşulları: sıfır kesme gerilimi, sıfır radyal yer değiştirme ve su akışı olmadan alınır [8]. Bu varsayımların ardından, birim hücre üstünde uygulanan toplam gerilme, hücre ile kolon arasındaki gerilim dağılımı derinlikle değiştirilebilmesine rağmen, birim hücre içinde kalmalıdır [9]. Birim hücre üzerinden uygulanan tekdüze yükleme, bir boyutlu (1D) konsolidasyon deneyine benzerdir [10]. Taş kolonun doğal zemine göre daha sert olması nedeniyle, taş kolonda bir gerilme oluşumu ve bunun yanında çevredeki zeminde gerilme azalması gerçekleşir [11]. Birçok uygulamada, kolon başlıkları uygulanan yük ile doğrudan temas halinde değildir, ancak normal olarak bir yük aktarma tabakası aracılığıyla örnek olarak granüler mat ile yapılır.

Sayısal yaklaşımlar (örneğin sonlu eleman), karmaşık temellerin doğru yer değiştirme profillerini elde etmek için en iyi çözüm olarak bilinir. Zeminlerin ve kayaların mekanik davranışı çeşitli doğruluk derecelerinde modellenmektedir. Zeminlerin davranışlarını daha gerçekçi bir şekilde simüle etme girişiminde ileri modellerin kullanılması enteresandır, böylece Plaxis hesaplamasından daha doğru sonuçlar elde edilir. Bu yazıda, yeraltı mühendislik çalışmalarında kullanılan en yaygın model tartışılmaktadır: Pekleşen zemin modeli ve Mohr-Coulomb modeli. Pekleşen zemin modeli birçok parametreyi entegre etme özelliğine sahiptir, Mohr-Coulomb modeli, genel kapsamda mükemmel bir elastoplastik modeldir, bu nedenle sabit bir yüzeye sahiptir.

Bu çalışma, 100 KN/m<sup>2</sup> ve 1000 KN/m<sup>2</sup> yük altında yumuşak zemindeki taş kolonların oturmalarını ve davranışlarını incelemek için PLAXIS 2D kullanılarak dikkatli bir şekilde yapılan sayısal çalışmanın sonuçlarını sunmaktadır.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1 SAYISAL MODEL

PLAXIS 2D kullanılarak, eksenel simetrik sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır. Birim hücrenin, 100 kPa ve 1000 kPa'lık ani dikey yüklemeyle eksenel simetrik olarak modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Şekil 1 de gösterildiği gibi, 10.0 m'lik tamamen geçirgen bir taş kolonun üzerine rijit bir plaka ile modellenmiştir. Bu modelde, derinlik oranı  $\beta = L/d=1$  olarak alınmıştır. Bu oranda, L kolon uzunluğu, d yumuşak zeminin

kalınlığıdır. Plaka elemanı diferansiyel oturmaları önlemek için sert bir yükleme platformunu temsil etmeyi amaçlamaktadır. Birim hücre modelinde 1m'lik kolon çapı ve 4m'lik etki yarıçapı olan  $\alpha = 0.25$ 'lik bir alan değiştirme oranı kullanılmıştır.

Modeldeki standart sınır koşulları olarak, dikey sınırlarını serbest ve yatay sınırlarını sınırlandırılmış ( $\mu_x = 0$ ;  $\mu_y = \text{serbest}$ ) şekilde alınmıştır. Ayrıca, alt yatay sınırı tamamen sabit olacak şekilde kabul edilmiştir ( $\mu_x$  ve  $\mu_y = 0$ ). Bu PLAXIS'teki standart sabitlemeler seçeneğini seçerek kolayca yapılabilir. Yer altı su seviyesi üst yüzeye yerleştirilmiştir. Şekil 2, analizde kullanılan 2D modellerini göstermektedir. Sonlu eleman ağı, Şekil 2 'de gösterildiği gibi 15 düğümlü elemanlarla otomatik olarak oluşturulmuştur.

## 2.2 ZEMİN DAVRANIŞ MODELİ

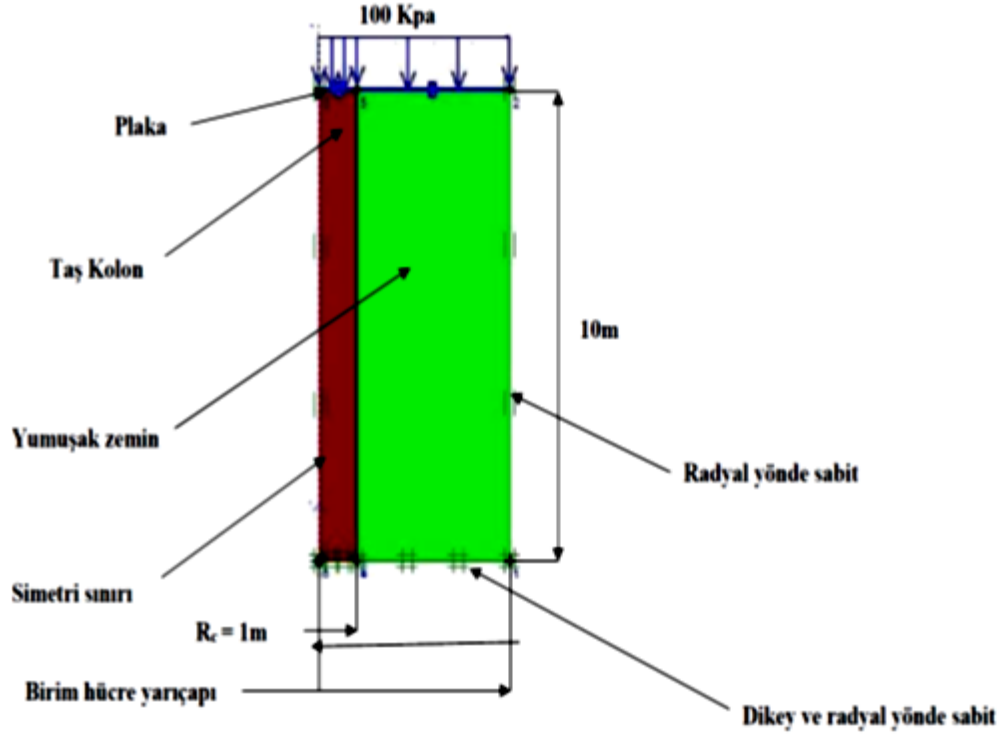
Konsolidasyon oturmanın analizinde (birincil konsolidasyon) hem gevşek zemin hem de taş kolonu modellemek için Pekleşen zemin ve Mohr-Coulomb modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Taş kolon tamamen drenajlı malzeme olarak ve yumuşak zemin drenajsız malzeme olarak modellenmiştir. Pekleşen zemin modeli, hem sıkıştırma hem de kesme sertleştirme özelliklerini yakalayabilen gelişmiş bir elasto-plastik hiperbolik modelidir [12]. Pekleşen zemin modeli Mohr- Coulomb yenilme kriterini benimser ve akma yüzeyi plastik gerilimlerden dolayı genişleyebilir. Birim hücre modelinin malzeme özellikleri tablo 1'de gösterilmiştir.

Taş kolonun sürtünme açısı,  $\phi=45^0$ , yumuşak zeminin  $\phi=34^0$  ve dilatasyon açısı  $\psi = 0.15$  olarak alındı. Sayısal dengesizliği önlemek için  $0.1 \text{ kN/m}^2$ 'lik kohezyon değeri kullanıldı. Bu çalışmada,  $E_{50}$  tipik yumuşak zemin sertliği olarak kabul edilmiştir. (referans basınç  $100 \text{ kN/m}^2$  olarak alınmıştır) Kolon sertliği parametreleri, aralığın içinde olan çevredeki zemine göre 10 kat daha fazladır. Literatürde taş kolonların, elastik modül oranı,  $E_c / E_s$ 'inin 10 ila 20 arasında değiştiğini,  $E_c$ 'in kolonun Young Modülü olduğu ve  $E_s$ 'in yumuşak zeminin Young modülü olduğu belirtilmiştir [9].

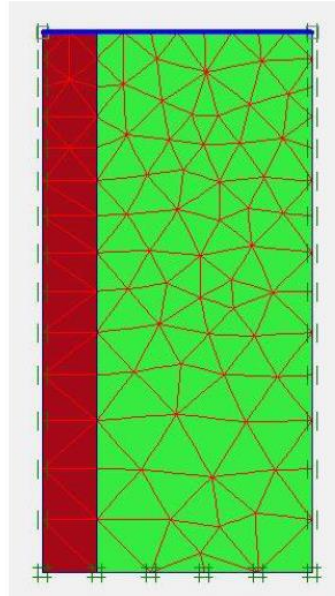
Tablo1: Birim-hücre modelleri için Pekleşen zemin modelinin malzeme özellikleri.

Model	Tip	$\gamma$ ( $\text{kN/m}^3$ )	$k_x$ ( $\text{m/g}$ )	$k_y$ ( $\text{m/g}$ )	$\Phi$ ( $^\circ$ )	$\psi$ ( $^\circ$ )	$C'$ ( $\text{N/m}^2$ )	$\nu$	$E_{oed}$ ( $\text{kPa}$ )	$E_{50}$	$E_{ur}$ ( $\text{kPa}$ )	$m$	
Yumuşak zemin	Pekleşen zemin modeli	Drenajlı	17	0.000 1	0.069	34	0	1	0.2	2840	3550	17900	1
Taş kolon	Pekleşen zemin Modeli	Drenajlı	20	1.7	1.7	45	15	1	0.2	56800	56800	17040 0	0.3

Pekleşen zemin modeli, zemin sertliğinin gerilim bağımlılığını yakalama yeteneğine sahiptir ve  $m$  parametresi tarafından kontrol edilir.  $m = 1$  değeri yumuşak zemine uygun olmakla birlikte, taş kolon için  $m$  değeri, muhtemelen 0.3 ile 0.5 arasında olduğu için varsayılan bir değerdir [13].



Şekil 1: Eksenel Simetrik Birim Hücre Modeli (100, 1000 kPa Yük)



Şekil 2: Sonlu eleman model ağı

Bu çalışmada plastik analiz yapılmıştır. Hem taş kolon hem de yumuşak zemin Mohr-Coulomb modeli olarak modellenmiştir. Malzeme özellikleri tablo 2' de gösterilmektedir. Yumuşak zemin ve taş kolon malzemesi (sürtünme açısı  $\phi$  ve kohezyon,  $c'$ ) için mukavemet parametreleri tipik olarak tasarım değerleri olarak kabul edilir. Kolonun geçirgenliği, çevredeki yumuşak zeminin geçirgenliğine 10000 kat bir değer

verildi. İki malzemedeki farktan dolayı aşırı gözenek basıncından kaçınmak için, etkili gerilmeler, başlangıçtaki gerilme ayarı oluşturma sırasında her iki malzeme için de aynı doymuş birim ağırlık  $\gamma_{sat}$  değeri kullanılmıştır [13].

Tablo 2: Birim hücre modelleri için Mohr- Coulomb modelinin malzeme özellikleri.

Materyal	Model	Tip	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$k_x$ (m/g)	$k_y$ (m/g)	$\Phi(^{\circ})$	E (kN/m <sup>2</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
Taş kolon	Mohr- Colomb	Drenajlı	15	3	1	40	30000	1	0.3
Yumuşak zemin	Mohr_ Colomb	Drenajsız	15	0.0003	0.0001	22	3000	0.1	0.3

### 2.3 SAYISAL ANALİZLER

Taş kolonun ve zeminin yükleme altındaki temellerin taşıma kapasitesinin geliştirilmesinde yanal yer değiştirmesini değerlendirmek amacıyla tek (kenar, orta) ve taş kolon grubunun sayısal analizleri yapılmıştır.

Her sayısal model için tipik bir deforme ağı şekil olarak sunulmuştur. Bu şekilde, zeminin ve taş kolonun yanal yer değiştirmeleri gerçek bir ölçekte temsil edilmektedir. Şekil 3a ve 3b 'de gözlemlenen zemin davranışları karşılaştırılabilir niteliktedir. Pekleşen zemin modeli ile her zaman deformasyon daha belirgindir. Böylece, Mohr-Coulomb modelinde, yüzey deformasyonun değeri Pekleşen zemin modelinden daha azdır. İki tür model arasında görülen fark niteliksel olarak mantıklıdır.

Taş kolonun ve zeminin yükleme altındaki temellerin taşıma kapasitesinin geliştirilmesinde yanal yer değiştirmesini değerlendirmek amacıyla tek (kenar, orta) ve taş kolon grubunun sayısal analizleri yapılmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her sayısal model için tipik bir deforme ağı şekil olarak sunulmuştur. Bu şekilde, zeminin ve taş kolonun yanal yer değiştirmeleri gerçek bir ölçekte temsil edilmektedir. Şekil 3a ve 3b 'de gözlemlenen zemin davranışları karşılaştırılabilir niteliktedir. Pekleşen zemin modeli ile her zaman deformasyon daha belirgindir. Böylece, Mohr-Coulomb modelinde, yüzey deformasyonun değeri Pekleşen zemin modelinden daha azdır. İki tür model arasında görülen fark niteliksel olarak mantıklıdır.

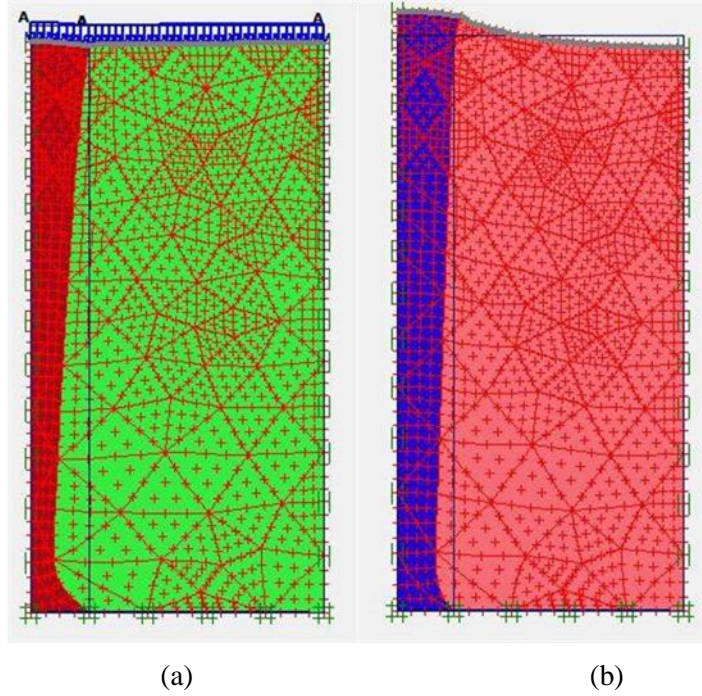
Pekleşen zemin modelinde, zemin sertliği, üç farklı sertlik kullanılarak çok daha kesin bir şekilde hesaplanır,  $E_{50}^{ref}$  : Standart drenajlı üç eksenli sekant sertliği ,  $E_{ur}^{ref}$  : Boşaltma / yeniden yükleme sertliği ,  $E_{oed}^{ref}$  : Primer oedometre yüklemesi için teğetsel sertliği ve bir  $p^{ref}=100$  gerilme birimi olarak kullanılır. Mohr-Columb modeli, gerinim bağlı sertlik davranışını veya küçük gerinim seviyelerinde yüksek sertlik katsayısını içeren küçük gerinim özelliklerini dikkate almaz. MC modeli sadece bir Young modülünü kullanır, ayrıca yükleme ve boşaltma sertlikleri arasında ayırım yapmaz ve yapı yerinde gerinim durumunda Young'ın zemin modülünü temsil eder. MC modeli, zemin kütleindeki yer değiştirmeleri tahmin etmek için uygun olmayan bir modelidir.

Sayısal örneklerin geçici deformasyonları, üst yüzey üzerinde bir 100KN kuvvetinin uygulanmasıyla çalışılmaktadır. Şekil 3, yükleme nedeniyle oluşan deforme olmuş ağı ve yanal deformasyonu

göstermektedir. Yumuşak zeminler, taşları yanal olarak itmektedir ve taşlar çok sert ve rijit granül malzemeler olduğundan kolon yüzeyinin uygulanan yüklerinin gerçekçi olmayan bir şekilde kaldırılmasına ve maksimum oturma yerlerinin tahmin edilememesine neden olan baskı altındadır. Mohr columb modelinin deforme ağı şekli durumunda (Şekil 3b) yumuşak zeminler taş kolonlardan çok daha büyük yanal yer değiştirmeye maruz kalır ve son olarak en önemli deformasyon ilk yükleme adımı sırasında oluşur. Bu durum, taş kolonun sertliğinin, direncinin ve taşıma kapasitesinin yüksek olduğunu açıklar.

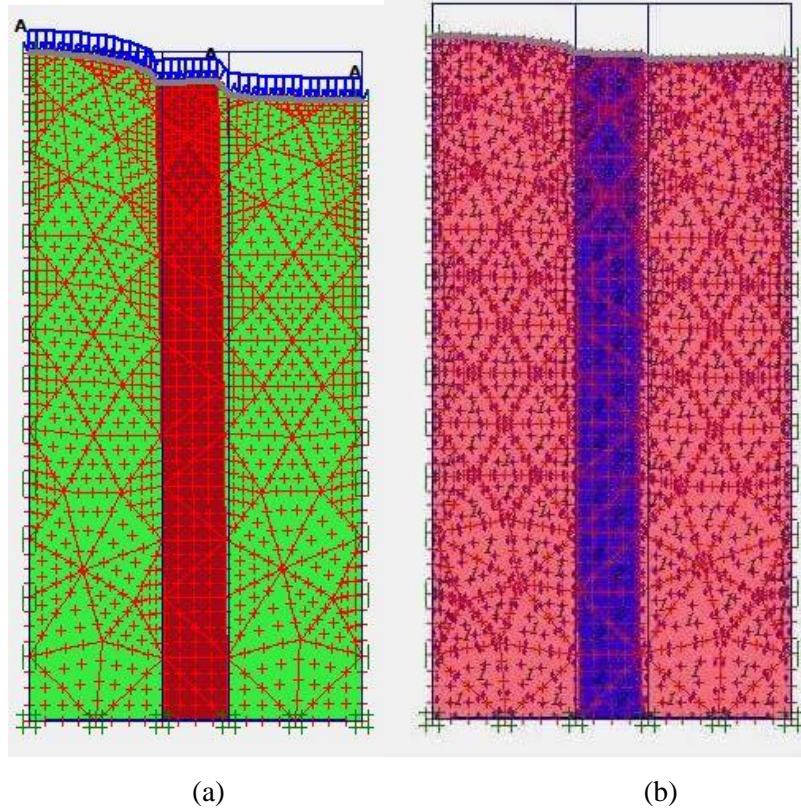
Şekil 3b de, gevşek zeminde oluşturulan basıncın önemli ölçüde daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, dış yüzeyindeki kolonun aşırı deformasyonuna katkıda bulunmuştur. Şekil 3b 'ye göre, Mohr Coulomb ile modellenen kompozit model üzerindeki yanal hareketin, sığ derinliklerde bile gerçekleştiği görülmektedir. Diğer taraftan, pekleşen zemin modelini kullanarak şekil 3a 'ya göre, yanal hareket sürekli olarak artmış ve şekil daha daralmış ve derinleşmiştir.

Şekil 4 'te, kolonda ve zeminlerde meydana gelen deforme olmuş ağı göstermektedir. Taştaki yanal hareket yumuşak zemindekilerden daha büyüktür. Yumuşak zemindeki yanal harekete artar ve özellikle üst kısımda yükleme ile taş kolon içine yanal olarak yer değiştirip hareket eder. Yumuşak zeminin yanal yer değiştirmesi yüzeyde sıfır ile başlar ve 50 kat derinlikte maksimum değere ulaşmaya kadar derinlikle artar.



Şekil 3: Kenardaki taş kolon sayısal modelin deforme ağıları (a) Pekleşen Zemin modeli ve (b) Mohr-Coloumb modeli

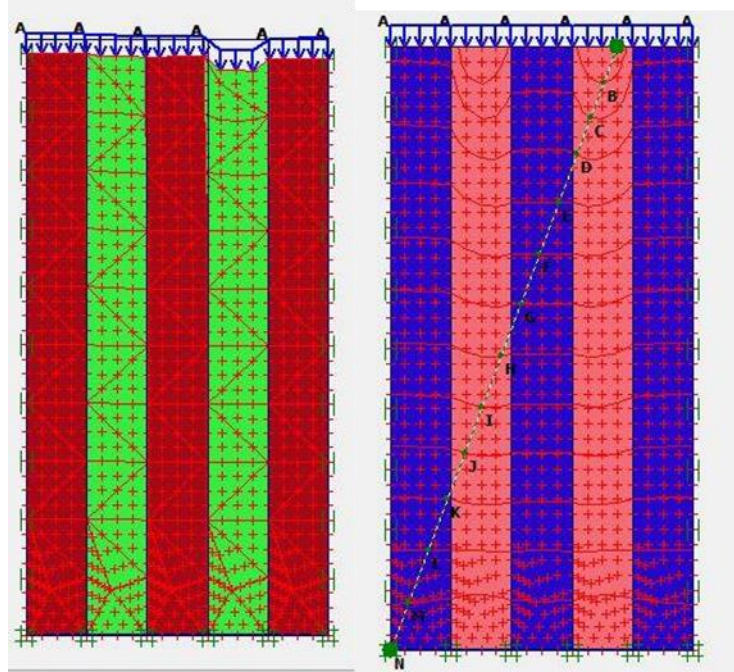




Şekil 4: Orta bir taş kolonun deforme ağı, (a) Pekleşen zemin modeli ve (b) Mohr coulomb modeli

Şekil 5, normalleştirilmiş derinliğe karşı taş kolonun grup analizinin yanıl yer değıştirmesini karşılaştıır. Taş kolon grubunun davranışını diğır durumlardan önemli ölçüde farklıdır. Grup kolonları için yanıl yer değıştirmelerin daha sonra sabit olduğu görülebılır. Köşe kolonlarda yanıl yer değıştirme azalır, köşeye yerleştıırilen kolonların yumuşak zemini ve taş kolonun yandan hareket etmesini önlediğini açıklayabilir. Yanıl deformasyonların ortadan kalkmasıyla niteleyen her iki modelde nispeten benzer bir davranış gözlemlenmiştir. Modelin ekstremitelerinde iki kolon kullanıldığında deformasyon etkili bir şekilde kontrol edilebilir.

Yumuşak zeminlerde temellerin tasarımı, genellikle yüksek sıkıştıırılabilirliklerinden dolayı taşıma kapasitesi kriterlerinden ziyade oturma ile yönetilmektedir [14]. Bu nedenle, taş kolonların çalışma yük seviyelerindeki oturma performansı en önemlilerinden biridir. Oturma parametrelerinin iyi tahmini her zaman zemin parametrelerinin doğru kullanımıyla bağlantılıdır [15, 16]. Komposit modelin oturması, her iki modelden (pekleşen zemin model, Mohr- Columb) 1000 kPa yük altında incelenmiştir. Oturma kolon ve zemin altında artan yük ile artar. 100 kN'nin eşit olarak dağıtılması, bu model üzerinde oturma hesabında çok az etkiye sahiptir. Ancak ortaya çıkan hareketler, önemli oturmalarla sonuçlanmayabilir ve oturmanın hafif değıerlendirilmesini göstermektedir. Daha sonra zeminlerin ve taş kolonların sıkıştıırılabilirlik olgusunu değıerlendirmek için 1000KN yükü arttırılmıştır. Taş kolonun ve zeminin bir yükleme altındaki temellerin taşıma kapasitesinin geliştirilmesinde dikey oturmasını değıerlendirmek amacıyla tekli (kenar, orta) ve bir grup takviyeli taş kolonun sayısal analizleri yapılmıştır.



Şekil 5: Taş kolon grup analizi için deforme ağı, (a) Pekleşen Zemin, (b) Mohr- Columb modeli

Oturma, zeminde ve taşta seçilmiş bir noktada hesaplanmıştır [A-A]. İlk inşaat aşaması oturmada bir artış göstermektedir. Şekiller 'den, Mohr-Coulomb ve pekleşen zemin modeli ile yapılan simülasyonlarda, derinlikteki azalma ile birlikte oturmadaki artışın meydana gelmediği gözlemlenebilir.

Şekil 6 derinliğe karşı çizilen dikey yer değiştirmeyi göstermektedir. Yumuşak zemin yüzey oturmasının kolonunkinden çok daha önemli olduğunu göstermektedir. Taş kolonların yüksek elastik modülünden dolayı yumuşak zemine kıyasla, yumuşak zemin başlangıçta taş kolonuna göre yerleşimin büyük bir kısmını taşır. Herhangi bir zemin iyileştirme yöntemi kullanılmadan bu tür zeminlerde inşaat yapılması imkansızdır. Taş kolon kullanıldığında, oturma azalır ve yumuşak zemindeki taş kolonların varlığı, çeşitli yapı aşamalarında oturmasını azaltarak yumuşak zeminin taşıma kapasitesini artırır. Öncelikle, Mohr-Coulomb modeli ile hesaplanan oturmaların azaltılması ele alınmalıdır Mohr-Coulomb sayısal hesaplaması yeterli oturması öngörülmemektedir.

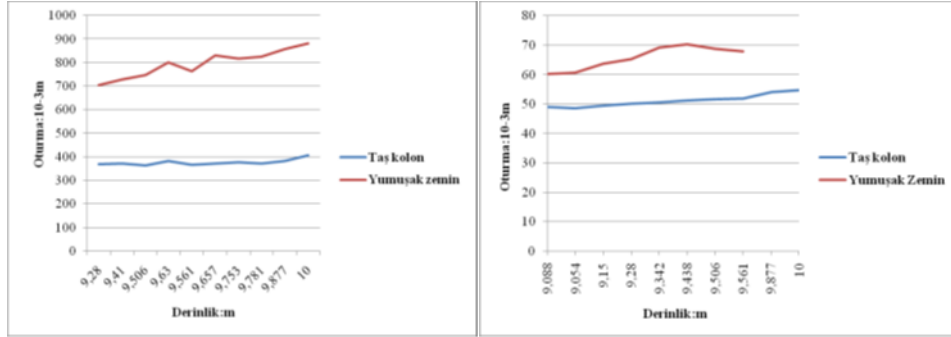
Zemin sertliği,  $E_s$  oturma hesaplamasında anahtar geoteknik parametredir. Elastik teoriyi benimseyen tasarım yaklaşımlarının çoğu, zemin sertlikleri nadiren sabittir ancak birçok faktöre bağlıdır (örneğin, zemin tipleri, başlangıç gerilme durumu, gerilme seviyesi). Young'un zemin modülü  $E_s$  bu nedenle sabittir ve drenajlı üç eksenli testten kolayca elde edilebilir (%50 nihai yüke karşılık gelen secant modülü kullanılmasını önerir). Taş kolon 10 m kalınlığında, sertliği  $10000 \text{ kN} / \text{m}^2$  iken, yumuşak zemin sertliği,  $E_s$   $3000 \text{ kN} / \text{m}^2$  ve taş kolon sertliği her zaman zemin sertliğinden on kat daha fazladır. Diğer bir deyişle, zemin sertliği, oturma hesaplamasında daha önemli bir faktördür.

Taş kolon davranışı doğrudan çevreleyen zeminin yanal desteğine bağlı olduğu için sezgisel olarak doğrudur. Ayrıca, modeldeki düşey yer değiştirmeler sadece belirli bir yüksekliğe kadar meydana gelir.

Zeminlerin dane dağılımı özelliklerine bağlı olarak, taş kolonların uygulamasında iki yöntem kullanılmaktadır. Üstten Beslemeli Islak taş kolon yöntemi, su altında ve drenajsız kayma dayanımının,  $C_u$ ,  $10 - 30 \text{ kN/m}^2$  aralığında olan killer için uygun bir yöntemdir. Bu yöntemde, vibratör istenen derinliğe kadar su jeti yardımı ile indirilir ve bu esnada vibratör çevresinde bir boşluk yaratır. Oluşan bu boşluğa zemin yüzeyinden uygun gradasyondaki taş beslenerek, vibratörün yukarı yönde vibrasyon ile çekilmesi esnasında boşluktaki taş yanal yönde çevresindeki zemini deplase ederek sıkıştırmasını sağlar ve bu şekilde sıkıştırılmış bir taş kolon elde edilir. Özellikle yeraltı su seviyesinin tablasının yüksek olduğu yumuşak



zeminlerde kuyu stabilitesi kritik olmakta ve bu yöntem tercih edilmektedir. Üstten Beslemeli Kuru yönteminde drenajsız kayma dayanımının  $C_u = 30 - 50 \text{ kN/m}^2$  aralığında değiştiği daha yüksek dayanımlı ve stabil killerde uygulanmaktadır. Bu sistemin ıslak üstten beslemeli sistemden tek farkı delgi işlemi esnasında su jeti kullanılmamasıdır [17, 18].



a) Mohr- Coloumb modeli

b) Pekleşen zemin modeli

Şekil 6: Köşe taş kolonu için yerleşim profile

#### 4. SONUÇ

Taş kolonları ile zeminin iyileştirilmesi, zeminlerin ya çok az deforme olabileceği ya da projelerde öngörülen yükleri taşıyacak kadar güçlü olmayan alanlardaki dolguların, yapıların ve binaların inşası için en çok kullanılan işlemlerden biri haline gelmiştir. Zayıf yumuşak zeminlerin kuvvetlendirici elemanları olarak, tek ve grup taş kolonların etkileri sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirilmiştir. Modellemenin ve varsayımların doğruluğunu teyit etmek için farklı pozisyona sahip tek bir kolon, taş kolon grubu ve yumuşak zeminler, simüle edilmiştir. Sayısal sonuçlar, takviye olarak taş kolonların kullanımının, taşıma kapasitesini artırdığını doğrulamaktadır. Ayrıca, 100 kN yüklemde tek ve taş kolon grubu, önemli deformasyonun tüm kolon pozisyonu için yanıl deformasyon olduğunu göstermektedir.

Taş kolonun normalleştirilmiş derinliğe göre yanıl yer değiştirmesinin ve oturmaların varyasyonunun karşılaştırılması, taş kolon kullanarak yanıl hareket ve oturmanın azaldığını gösterir ve aynı anda taş kolon yük kapasitesini artırır. Pekleşen zemin modelinin formülasyonu, oturmaların incelenmesi için çeşitli sonuçlara sahiptir. Mohr-Columb modeli, deformasyonların küçümsenmesini sağlar ve pekleşen zemin model deformasyonların aşırı tahmin edilmesine neden olur.

#### REFERANSLAR

- [1] Baumann V, Bauer GE (1974). "The Performance of Foundations on Various Soils Stabilized by the Vibro Compaction Method." Canadian Geotechnical Journal, 11(4), 509–530.
- [2] Van Impe WF, De Beer E. Improvement of Settlement Behavior of Soft Layers by Means of Stone Columns. 8th international conference on soil mechanics and foundation engineering, Helsinki, 1983; 309–312.
- [3] Madhav MR, Van Impe WF (1994). "Load Transfer through a Gravel Bed on Stone Column Reinforced Soil." Journal of Geotechnical Engineering ASCE, 24 (2), 47–62.

- [4] Indraratna B, Basack S, Rujikiatkamjorn C (2012). “Numerical Solution of Stone Column Improved Soft Soil Considering Arching, Clogging, and Smear Effects.” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 139 (3), 377–394.
- [5] Han J, Ye SL (2001). “Simplified Method for Consolidation Rate of Stone Column Reinforced Foundations.” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 127 (7), 597–603.
- [6] Ng KS, Tan SA (2014). “Floating Stone Column Design and Analyses.” *Soils and Foundations* 54 (3), 478–487.
- [7] Balaam NP, Booker JR (1981). “Analysis of Rigid Rafts Supported by Granular Piles.” *International Journal of Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 5 (4), 379–403.
- [8] Castro J, Sagaseta C (2009). “Consolidation around Stone Columns. Influence of Column Deformation.” *International Journal of Numerical Analytical Methods in Geomechanics*, 33 (7), 851–877.
- [9] Barksdale RD, Bachus RC (1983). *Design and Construction of Stone Columns*. Federal Highway Administration Office of Engineering and Highway Operations, FHWA/RD- 83/026, Virginia, USA.
- [10] Bergado DT, Anderson LR, Miura N, & Balasubramaniam AS (1996). *Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments*, ASCE Press, New York.
- [11] Aboshi H, Ichimoto E, Enoki M, Harada K. The “Compozer” A Method to Improve Characteristics of Soft Clays by Inclusion of Large Diameter Sand Columns. In: *Proceeding, international conference on soil reinforcement*, 1979, 211–216.
- [12] Schanz T, Vermeer PA, Bonnier PG (1999). *The Hardening Soil Model: Formulation and Verification. Beyond 2000 in Computational Geotechnics, 10 years of PLAXIS*, Balkema, Rotterdam, 281–296.
- [13] Brinkgreve RBJ, Swolfs WM, Engin E, Waterman D, Chesaru A, Bonnier PG, Galavi V (2010). *PLAXIS 2D, User manual*, Netherlands.
- [14] Priebe, H.J (1995). “The Design of Vibro Replacement.” *Ground Engineering*, 28 (12), 31–37.
- [15] Poulos, H.G (1994a). “An Approximate Numerical Analysis of Pile-Raft Interaction.” *International Journal of Numerical Analytical Methods in Geomechanics*, 18 (7), 73-92.
- [16] Poulos, H.G, (1994b). “Settlement Prediction for Driven Piles and Pile Groups.” *Special Technical Publication 40*, ASCE, 2, 1629-1649.
- [17] Erol A.O, Bayram Z.Ç, Kuruoğlu Ö (2016). *Vibro – Zemin İyileştirme Yöntemleri Vibro Sikiştirme ve Taş Kolonlar*, Yüksel Proje Uluslararası A.Ş, Ankara.
- [18] Mokhtari M, Kalantari B (2012). “Soft Soil Stabilization using Stone Columns—A Review.” *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 17 (J), 1459-1466.

*Geliş/Received: 26 Ara 2018/26 Dec 2018*

*Kabul Ediliş/Accepted: 18 Mar 2019/18 Mar 2019*