

TAŞ KOLONLARIN OTURMALARIN AZALTIKMASI ETKİSİNİN ANALİTİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Firdevs UYSAL (ORCID: 0000-0003-0944-0638)^{1*}
Abdulazim YILDIZ (ORCID: 0000-0002-6755-1902)²

¹*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye*

²*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye*

Geliş / Received: 21.03.2017

Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 17.05.2017

Kabul / Accepted: 17.05.2017

ÖZ

Taş kolonlar zeminlerin toplam ve fark oturmalarının azaltılması, konsolidasyon sürecinin kısaltılması, taşıma kapasitesinin artırılması, sıvılaşma potansiyelinin azaltılması için kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Taş kolon ile iyileştirilen zeminde meydana gelecek oturmaların önceden tahmin edilmesi pratik geoteknik uygulamaları için önem arz eden tasarım parametrelerindedir. Oturmaların tahmin edilmesi konusunda literatürde birçok analitik, sayısal ve deneysel çalışma yer almaktadır. Bu çalışmada taş kolonların oturmaların azaltılması üzerindeki etkisi üç farklı analitik yaklaşım yardımı ile araştırılmıştır. Bu analitik yaklaşımlarda, taş kolonların zamana bağlı davranışının araştırılmasına yönelik yapılmış deneysel çalışmalar ve deneysel çalışmalara ait sayısal analizler yardımı ile elde edilen parametreler kullanılmıştır. Çalışmada öncelikle, parametrik araştırmalar yapılarak parametrelerin analitik yaklaşımlar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Sonrasında, taş kolonların ön tasarımı için iyileştirme faktörü (η) ve oturma azaltma faktörü (β) değerleri analitik yaklaşımlar yardımı ile belirlenmiştir. Çalışma neticesinde analitik yöntemler detaylı olarak değerlendirilmiş ve taş kolonların ön tasarımı için öneriler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taş kolon, iyileştirme faktörü, oturma azaltma faktörü, analitik yöntem, model deney

ANALYTICAL EVALUATION OF THE EFFECT OF STONE COLUMNS TO REDUCE SETTLEMENT

ABSTRACT

Stone column is an improvement technique to reduce total and differential settlements; accelerate consolidation; increase bearing capacity; reduce of liquefaction potential; enhance slope stability. Prediction of settlements of stone column reinforced soil is one of the most important design parameters for practical geotechnical engineers. There are many analytical, numerical and experimental studies to predict settlements in the literature. In the present study, the potential of stone columns to reduce settlement is discussed with three different analytical methods. The parameters used for these analytical methods are obtained from experimental and numerical studies that were conducted to study long term ground settlements of the stone column reinforced soil. Firstly, parametric studies were performed to investigate the effect of input parameters on the analytical methods. Later, improvement factor (η) and settlement reduction factor (β) was determined based on analytical methods for design of stone column. Based on the results, analytical methods were assessed in detailed and some offers were proposed for design of stone columns.

Keywords: Stone column, improvement factor, settlement reduction factor, analytical methods, model test

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 2484; e-mail / e-posta: firdevsuysal@ohu.edu.tr

1. GİRİŞ

Taş kolonlar sorunlu zemin olarak adlandırılan yumuşak veya gevşek zeminler üzerine inşa edilecek yapıların temel zeminini iyileştirmek için kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Yöntemin en efektif kullanımı 7-50 kPa drenajsız mukamet değerlerine sahip zeminlerde görülmektedir [1]. Taş kolonlar, özellikle demir ve kara yolu dolgusu, çok katlı olmayan binalar gibi hafif yapıların altındaki zayıf zeminlerin iyileştirilmesinde kullanılmaktadır [2]. Yöntemin karmaşık olmayan uygulaması ve düşük maliyeti uygulama alanını genişletmektedir. Günümüzde taş kolon uygulama sayısı gün geçtikçe artmaktadır ve konu bilimsel açıdan birçok araştırmacı tarafından incelenmektedir.

Taş kolonlar, zeminlerin toplam ve fark oturmalarının azaltılması, konsolidasyon oturmalarının hızlandırılması, zeminin taşıma gücünün artırılması, sıvılaşma potansiyelinin azaltılması ve şev stabilitesinin artırılması gibi durumlarda kullanılan alternatif bir zemin iyileştirme yöntemidir. Konsolidasyon oturmasının hızlandırılması ve toplam oturmaların azaltılması özellikleri taş kolonların en yaygın kullanım amaçlarıdır. Taş kolonların yüksek permeabiliteye sahip granüler malzemeden oluşması düşey drenajda olduğu gibi çevre zemindeki suyun tahliyesine yardım etmektedir. Bu durumda zeminin konsolidasyonu hızlanmaktadır ve imalat sonrasındaki oturmalar azaltılmaktadır. Taş kolonların oturmadaki iyileştirilmesinin ölçüsü olarak iyileştirme faktörü (η) adı verilen bir parametre tanımlanmaktadır. İyileştirme faktörü, iyileştirilmemiş doğal zemindeki oturma, kolonlu zeminde meydana gelen oturmaya oranı olarak tanımlanır. Bu faktör ön tasarım aşamasında oturmaların tahmin edilmesinde en sık kullanılan parametredir ve tahmini için birçok farklı yaklaşım yöntemi önerilmiştir. Bu faktör yardımı ile doğal zeminde elde edilen oturmaya bağlı olarak iyileştirilmiş zeminde meydana gelen oturmalar tahmin edilebilmektedir. İyileştirme faktöründen farklı olarak bazı yaklaşım yöntemleri iyileştirme faktörünün tersi olan ($1/\eta$) oturma azaltma faktörünü (β) kullanmaktadır. Ayrıca literatürde sonlu elemanlar yönteminin kullanılarak oturmaların tahmin edilmesi yönteminin en güvenilir yöntem olduğunu belirtmiştir [3].

Bu çalışmada öncelikle literatürde yer alan ve oturmaların tahmini için sıkça kullanılan üç farklı analitik yaklaşım (Balaam ve Booker, [4]; Priebe, [5]; Castro ve Segasetta, [6]) detaylı olarak değerlendirilmiştir. İlk olarak bu yaklaşımların esas aldığı bazı parametrelerin etkisini değerlendirmek için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Sonraki aşamada analitik olarak elde edilen iyileştirme ve oturma azaltma faktörleri karşılaştırılmıştır. Çalışma ile analitik yaklaşım yöntemleri detaylı olarak irdelenmiştir ve bu yöntemlerin ön tasarım aşamasında kullanımı ile ilgili önerilerde bulunulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Analitik Yaklaşım Yöntemleri

2.1.1. Baalam ve Booker (1981)

Yöntem, iyileştirilmiş yumuşak zemin üzerindeki rijit temel oturmasının tahmini için önerilmiştir. Sağlam zemine oturan taş kolonlar için geliştirilen yöntem lineer elastik teoriyi kullanmaktadır. Yöntemde birim hücre yaklaşımı esastır. Kolon ve zeminin elastik bir malzeme gibi davrandığı düşünülmekte ve zemindeki akma ihmal edilmektedir. Kolon-zemin ara yüzünde kolon ve zemindeki radyal gerilme ve deplasmanlar eşit kabul edilir. Elastik çözüm yöntemi ile iyileştirme faktörü Eşitlik [1]'de tanımlanmıştır. Bu eşitliğe göre iyileştirme faktörü birimsiz dört parametreden (v_s , v_c , A_r , $E_{m,c}/E_{m,s}$) oluşmaktadır.

$$\eta = 1 + A_r \left(\frac{E_{m,c}}{E_{m,s}} - 1 \right) - \frac{2A_r(1-A_r) \left[\frac{v_c}{1-v_c} \frac{E_{m,c}}{E_{m,s}} - \frac{v_s}{1-v_s} \right]^2}{\frac{1}{(1-v_c)} \frac{E_{m,c}}{E_{m,s}} (1-A_r) + \frac{1}{(1-v_s)} (A_r + 1 - 2v_s)} \quad (1)$$

- v_s : Zeminin poisson oranı
- v_c : Taş kolonun poisson oranı
- A_r : Alan oranı (taş kolon alanının etki bölgesi alanına oranı)
- $E_{m,c}$: Kolonun odometrik elastisite modülü
- $E_{m,s}$: Zeminin odometrik elastisite modülü

TAŞ KOLONLARIN OTURMALARIN AZALTIKMASI ETKİSİNİN ANALİTİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

2.1.2. Priebe (1995)

Yarı ampirik olan yöntem, taş kolon performansını etkileyen tüm parametreleri içermemesine rağmen, kullanımının basit olmasından dolayı en çok tercih edilen yöntemlerdendir [7]. Taş kolonların iyileştirme etkisi, başlangıç koşulları ile karşılaştırma yapılarak belirlenir. Basit iyileştirme faktörü (η_0), taş kolonların imalat öncesi ve sonrasındaki oturma oranlarını ifade eder ve zeminin başlangıç durumuna göre iyileşme performansı ile ilgili bilgi verir. İyileştirme faktörüne göre kolon zemin etkileşimi ile kompozit malzemenin deformasyon modülü artar ve sistemde meydana gelen oturmalar azalır.

$$\eta_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \left[\frac{1/2 + f(\mu_s, A_c/A)}{K_{ac} f(\mu_s, A_c/A)} - 1 \right] \tag{2}$$

$$f(\mu_s, A_c/A) = \frac{(1 - \mu_s)(1 - A_c/A)}{1 - 2\mu_s + A_c/A} \tag{3}$$

$$\eta_0 = 1 + \frac{A_c}{A} \left[\frac{5 - A_c/A}{4 \cdot K_{ac} \cdot (1 - A_c/A)} - 1 \right] \tag{4}$$

$$K_{ac} = \tan^2(45^\circ - \phi_c/2) \tag{5}$$

- A : Birim hücre alanı kesit alanı
- A_c : Tek bir taş kolonun kesit alanı
- ϕ_c : Kolon malzemesinin içsel sürtünme açısı
- K_{ac} : Taş kolonun aktif toprak basıncı katsayısı
- μ_s : Zeminin poisson oranı

Priebe [5], kolon malzemesinin sıkışabilir olduğunu belirterek kolonda meydana gelen sıkışmayı da dikkate almıştır. Bu sıkışma özelliği basit iyileştirme faktöründe yer almamaktadır. Fakat bunun için η_0 değerine bağlı olarak azaltılmış iyileşme oranı tanımlanmıştır (η_1). Kolonların sıkışabilirliği, alan oranının (A/A_c) artması ile oluşan ilave bir alan oranı ($\Delta A/A_c$) ile hesaplanır. Bu durumda kolon sıkışabilirliğinin hesaba katılması ile daha yüksek oturma değerleri elde edilecektir.

$$\eta_1 = 1 + \frac{\bar{A}_c}{A} \left[\frac{1/2 + f(\mu_s, \bar{A}_c/A)}{K_{ac} \cdot f(\mu_s, A_c/A)} - 1 \right] \tag{6}$$

$$\frac{\bar{A}_c}{A} = \frac{1}{A/A_c + \Delta(A/A_c)} \tag{7}$$

$$\Delta(A/A_c) = \frac{1}{(A_c/A)_1} - 1 \tag{8}$$

$$\left(\frac{A_c}{A}\right)_1 = -\frac{4K_{ac}(\eta_0 - 2) + 5}{2(4K_{ac} - 1)} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left[\frac{4K_{ac}(\eta_0 - 2) + 5}{4K_{ac} - 1}\right]^2 + \frac{16K_{ac}(\eta_0 - 1)}{4K_{ac} - 1}} \tag{9}$$

2.1.3. Castro ve Segeseta (2008)

İyileştirme faktörünün tahmini için geliştirilen, basit elastik teoriyi temel alan kapalı form analitik bir çözüm yöntemidir. İyileştirme faktörü (η), birimsiz iki parametre (A_r , $E_{m,c}/E_{m,s}$) ve malzeme parametrelerinden sadece odometrik elastisite modülünden etkilenmektedir (Eşitlik 10).

F. UYSAL, A. YILDIZ

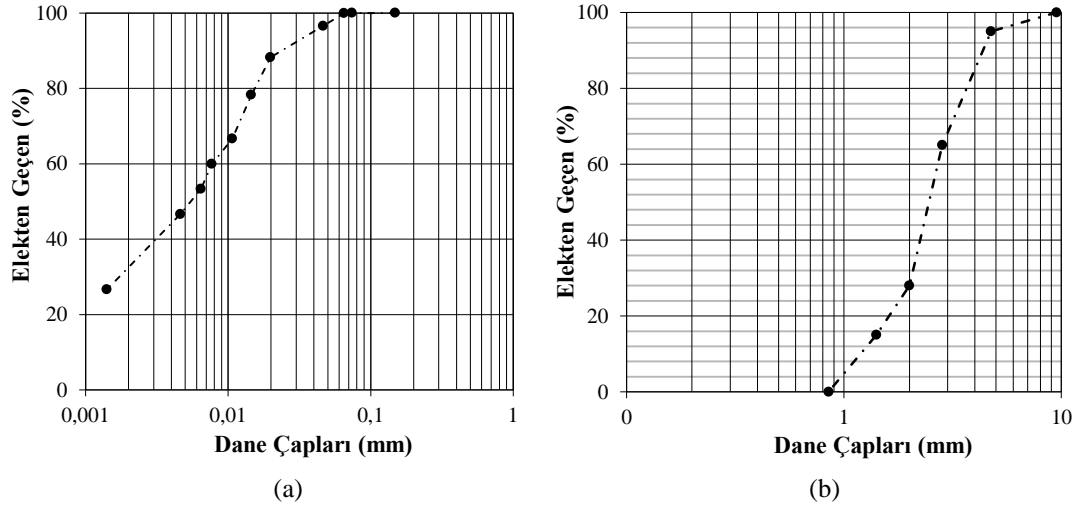
$$\eta = 1 + A_r \left(\frac{E_{m,c}}{E_{m,s}} - 1 \right) \quad (10)$$

A_r : Alan oranıE_{m,c} : Kolonun odometrik elastisite modülüE_{m,s} : Zeminin odometrik elastisite modülü

2.2. Analitik Yaklaşımlarda Kullanılan Parametreler

Analitik yöntemlerin değerlendirilmesi çalışmaları, ön tasarım aşamasında gerçekleştiği için kullanılan malzeme parametreleri laboratuvar model deneyi öncesinde gerçekleştirilen ön deneyler ve sayısal analizler yardımı ile tespit edilmiştir. Laboratuvar model deneyleri *taş kolonların zamana bağlı davranışının araştırılması* amacı ile kolonlu ve kolonsuz olarak gerçekleştirilecektir.

Deneysel çalışmalar silindirik bir hücrede (hücre çapı: 200 mm, hücre yüksekliği: 150 mm) gerçekleştirilecek olup, deneylerde yumuşak kili temsil etmesi için kaolin, taş kolonu temsil etmesi içinde granüler malzeme kullanılacaktır. Bu malzemelerin dane dağılım eğrileri Şekil 1'de verilmektedir. Toz halindeki kaoline likit limitin (%38) 1.50 katı olan %57 oranında su miktarı ile karıştırılarak kil yapısının bozulması sağlanacaktır. Bu prosedür birçok çalışmada uygulanmıştır [8-11]. Akışkan ve yapısı bozulmuş kil zemine yeniden yapı kazandırmak için zemin üzerine kademeli yük artışları ile ön konsolidasyon basıncı (30 kPa) uygulanacak ve deneye hazır hale getirilecektir. Bu şekilde hazırlanan yumuşak zeminin serbest basınç mukavemeti değeri 12 kPa olarak tespit edilmiştir. Taş kolon olarak donmuş taş kolonlar üretilecektir. Donmuş kolonlar, tüm kolonda sabit yoğunluğun sağlanabilmesi için literatürde sıkça kullanılan yöntemlerdendir [9, 12-14]. Çapı 60 mm ve yüksekliği 150 mm olan donmuş kolonlar, granüler malzemenin kuru yoğunluğu 16.42 kN/m³ olacak şekilde plastik boru içine sıkıştırılarak oluşturulacaktır. Kuru olarak sıkıştırılan granüler malzeme üzerine su ilave edilerek -15°C sıcaklıkta dondurulacak ve kolonlar tamamlanacaktır. Donmuş haldeki kolonlar deney hücresinde oluşturulan boşluk içine yerleştirilerek kolonun erimesi sağlanacaktır. Ön deneylerde elde edilen deney görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Deney hücresi yüklem çerçevesine yerleştirilerek kolonların zamana bağlı davranışını incelenmiştir. Deneysel çalışmalar ile ilgili detaylı bilgiler [15]'te yer almaktadır.



Şekil 1. Kaolin (a) ve granüler malzemenin (b) dane büyüklüğü dağılım eğrisi

Bu çalışmada değerlendirilen analitik yaklaşımların kullandığı teoriler göz önüne alındığında ortak parametrelerin olduğu görülmektedir. Tablo 1'de analitik yaklaşımlarda kullanılan parametreler verilmiştir. Bu parametreler deneysel çalışmalar (D_c , D_e , A_r , ϕ' , E_{zemin}) ve sayısal analizler (E_{kolon}) yardımı ile belirlenmiştir. Zemin ve kolonun poisson oranı (ν_s , ν_c) değerleri ise literatürden alınmıştır. Sayısal analizlerden elde edilen parametreler geri analizler yardımı ile tespit edilmiştir.

TAŞ KOLONLARIN OTURMALARIN AZALTIMASI ETKİSİNİN ANALİTİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 2. Taş kolonların oluşturulması

Tablo 1. İyileştirme ve oturma azaltma faktörleri hesabında kullanılan parametreler

Parametreler	Balaam ve Booker (1981)	Priebe (1995)	Castro ve Segaseta (2008)
Kolon Çapı (D_c), mm	60	60	60
Etki Alanının Çapı (D_e), mm	200	200	200
Kolon Elastisite Modülü (E), kN/m^2	40000	40000	40000
Kolon Odometrik Elastisite Modülü ($E_{m,c}$), kN/m^2	64198	64198	64198
Zeminin Elastisite Modülü (E), kN/m^2	4700	4700	4700
Zeminin Odometrik Elastisite Modülü ($E_{m,s}$), kN/m^2	7543	7543	7543
Kolon Poisson Oranı (ν_c)	0,35	0,35	0,35
Zeminin Poisson Oranı (ν_s)	0,35	0,35	0,35
Alan Oranı (A_r) (%)	9	9	9
Kolonun İçsel Sürtünme Açısı (ϕ')	-	43	-

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

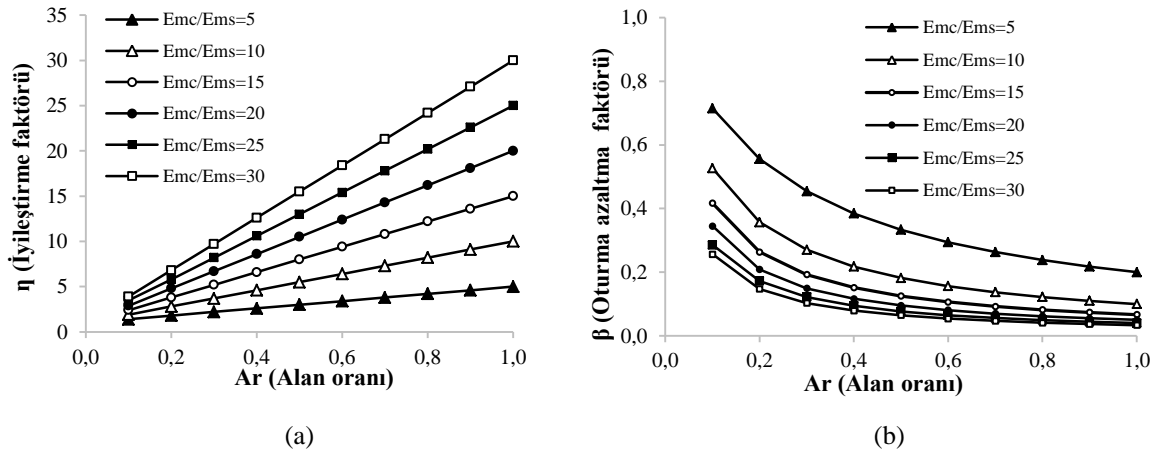
Analitik çalışmalar kapsamında iki farklı araştırma yapılmıştır. İlk olarak Tablo 1'de yer alan parametreler esas alınarak, analitik yöntemler için önem arz eden bazı parametrelerin değişen değerleri kullanılarak parametrik araştırmalar gerçekleştirilmiştir. İkinci kısımda, ön tasarım çalışmaları kapsamında Tablo 1'de yer alan deneysel ve sayısal yöntemler ile tespit edilen malzeme parametreleri kullanılarak, bu deney koşulları için iyileştirme ve oturma azaltma faktörü değerleri analitik yöntemler ile belirlenerek karşılaştırılmıştır.

3.1. Parametrik Çalışmalar

3.1.1. Castro ve Segaseta (2008)

Yöntemde iyileştirme faktörü malzeme parametrelerinden sadece odometrik elastisite modülünden etkilenmektedir. Odometrik elastisite modülü oranının ($E_{m,c}/E_{m,s}$) iyileştirme faktörü (η) ve oturma azalma faktörüne (β) etkisi farklı alan oranları (A_r) için analitik olarak araştırılmıştır. Yöntemin esas aldığı analitik eşitlikte laboratuvar model deneylerine ait parametreler kullanılmıştır. İyileştirme faktörü (η) ile alan oranının doğrusal bir şekilde değiştiği görülmektedir. Oturma azaltma faktörünün alan oranına etkisi incelendiği zaman, en büyük oturmadaki azalmanın alan oranının %30-40 değerlerine ulaşana kadar meydana geldiği görülmektedir (Şekil 3).

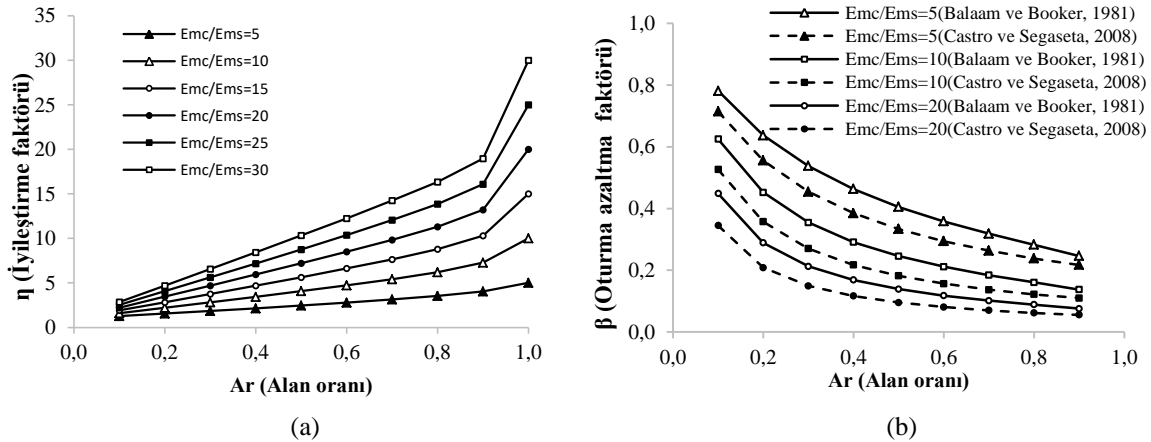
F. UYSAL, A. YILDIZ



Şekil 3. Odometrik elastisite modülü oranının iyileştirme faktörü (a) ve oturma azaltma faktörüne (b) etkisi

3.1.2. Balaam ve Booker (1981)

Balaam ve Booker [4], iyileştirme faktörü hesabına taş kolon ve zeminin poisson oranlarını (ν_c , ν_s) da ilave etmiştir. Bu analitik yaklaşım ile yapılan parametrik çalışmalarda odometrik elastisite modülü değeri, iyileştirme faktörü ve oturma azaltma faktörü ile lineer olmayan bir değişim göstermektedir (Şekil 4). Odometrik elastisite modülü oranının oturma azaltma faktörüne etkisi Castro ve Segaseta [6] yöntemine benzer sonuçlar vermektedir ancak değerler daha düşük elde edildiği için daha güvenli tarafta kalmaktadır. İki yöntem de kolon ve zeminin deformasyonu için elastisite teorisini esas almış olsa da, Balaam ve Booker [4]'in yanal deformasyonların yatay bileşenini hesaba katması daha muhafakazar sonuçlar vermektedir.



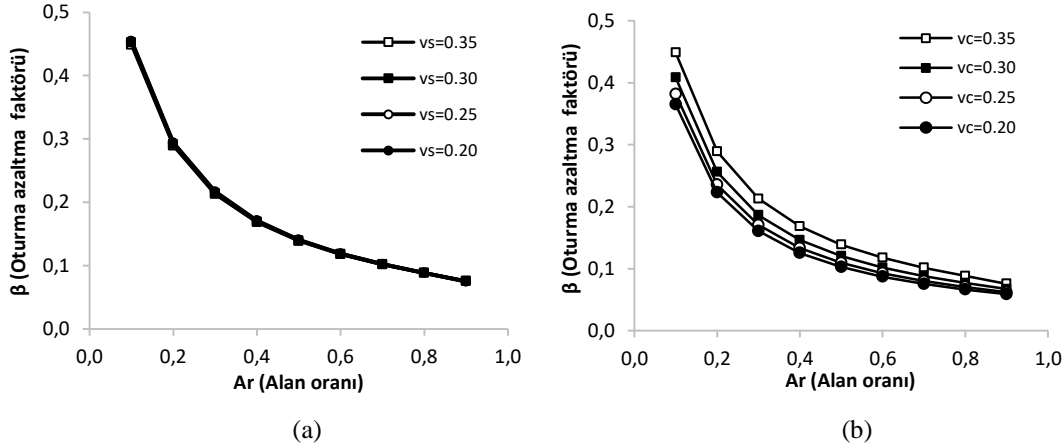
Şekil 4. Odometrik elastisite modülü oranının iyileştirme faktörü (a) ve oturma azaltma faktörüne (b) etkisi

Balaam ve Booker [4], analitik yaklaşımında kolon ve zeminin poisson oranlarının oturma azaltma faktörüne etkisi araştırılmıştır (Şekil 5). Buna göre zeminin poisson oranı değişiminin oturma azaltma faktörüne önemli derecede bir etkiye sahip olmadığı, kolonun poisson oranının ise bu faktörü etkilediği görülmüştür. Bu durum yöntemin eşitliğinde kolon poisson oranının odometrik elastisite modülü oranı ile çarpan durumunda olmasından kaynaklanmaktadır.

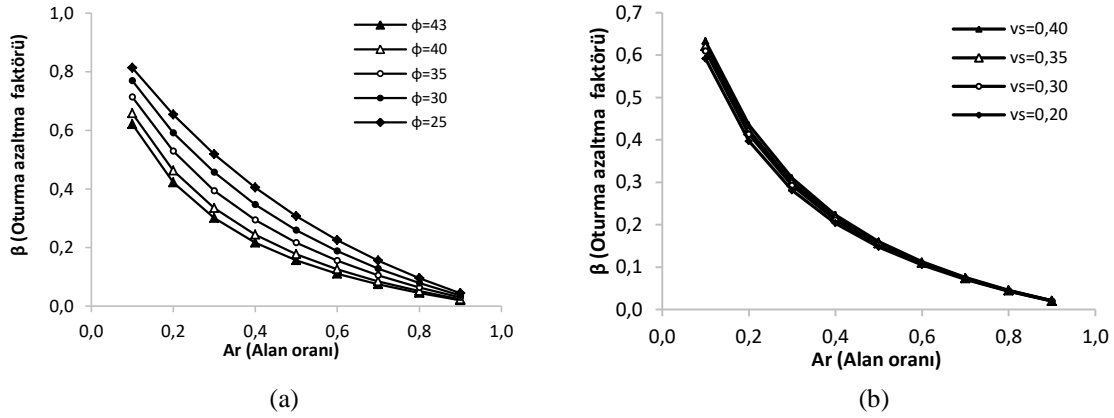
3.1.3. Priebe (1995)

Yöntemde, iyileştirme faktörü alan oranı, zeminin poisson oranı ve taş kolon malzemesinin içsel sürtünme açısına bağlıdır. Parametrik çalışmalarda bu parametrelerin oturma azaltma faktörüne etkisi araştırılmıştır (Şekil 6). İçsel sürtünme açısının artması oturma azaltma faktörünün azalmasına başka bir ifade ile iyileştirme faktörünün artmasına sebep olmaktadır. Poisson oranının oturma azaltma faktörüne etkisinin içsel sürtünme açısına göre daha az olduğu görülmektedir.

TAŞ KOLONLARIN OTURMALARIN AZALTIMASI ETKİSİNİN ANALİTİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ



Şekil 5. (a) Zeminin poisson oranının oturma azaltma faktörüne etkisi ($v_c=0,35$, $E_{mc}/E_{ms}=20$), (b) Taş kolon poisson oranının oturma azaltma faktörüne etkisi ($v_s=0,35$, $E_{mc}/E_{ms}=20$)



Şekil 6. (a) İçsel sürtünme açısının oturma azaltma faktörüne etkisi ($v_s=0,35$), (b) Zeminin poisson oranının oturma azaltma faktörüne etkisi ($\phi=43$)

3.2. Ön Tasarım Çalışması

Deneysel çalışmalar, sayısal analizler ve literatür yardımı ile tespit edilen malzeme parametreleri (Tablo 1) kullanılarak üç farklı analitik yöntem için iyileştirme ve oturma azaltma faktörleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Bu analitik yöntemler ile elde edilen oturma azaltma ve iyileştirme faktörü değerleri parametrik çalışmalar bölümünde verilen eğrilerden de tespit edilebilmektedir. Hesaplamalarda Priebe [5] yöntemine ilave olarak, kolon rijitliğini de hesaba katan düzeltilmiş iyileştirme faktörü (η_1) değeri de hesaplanmıştır. Analitik yöntemlerin esas aldıkları teorik alt yapının ve kullandıkları parametrelerin farklı olmasından dolayı elde edilen değerlerde farklılıklar oluşacaktır. Ancak analitik hesaplamalar ile elde edilen değerlerin uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 2. Oturma azaltma faktörü ve iyileştirme faktörü değerlerinin karşılaştırması

Yöntem	η	β
Balaam ve Booker (1981)	1,20	0,83
Priebe (1995)	1,54	0,65
Priebe (1995)-Düzeltilmiş (η_1)	1,51	0,66
Castro ve Segaseta (2008)	1,68	0,59

F. UYSAL, A. YILDIZ

4. SONUÇLAR

Çalışmada literatürde yer alan ve oturmaların tahmini için sıkça kullanılan üç farklı analitik yaklaşım detaylı olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşımların esas aldığı parametrelerin etkisini değerlendirmek için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca bu yaklaşımların ön tasarım aşamasında kullanımı ile ilgili önerilerde bulunulmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

- Castro ve Segaseta [6] yönteminde, odometrik elastisite modülü oranının (E_{mc}/E_{ms}) fazla olması durumunda çok yüksek iyileştirme faktörü değerleri elde edilecektir. Bu değerler uygulamada elde edilenlerden oldukça fazladır. Literatürde bu tutarsızlık, Castro ve Segaseta [6] analitik yönteminde yanal deformasyonların ve kolonda meydana gelen akmanın hesaba katılmaması olarak açıklanmıştır. Tutarsızlığın giderilebilmesi için E_{mc}/E_{ms} oranının 5 civarında tutulması gerekmektedir.
- Balaam ve Booker [4] yaklaşımının taş kolonların akma durumunu hesaba katmaması, yüksek odometrik elastisite modülü oranlarına sahip vakalarda çok gerçekçi sonuçlar vermeyebilir. Ancak düşük odometrik elastisite modülüne sahip vakalarda tasarımcılar için uygun bir çözüm yöntemidir.
- Balaam ve Booker [4] yönteminde E_{mc}/E_{ms} ve poisson oranlarının çözüm sonuçlarına etkisi karşılaştırılırsa, poisson oranı etkisinin oldukça az olduğu görülmektedir. Poisson oranının laboratuvar deneyleri ile elde edilmesinin zorluğu da düşünülürse bu oranlar için literatürde verilen oranların kullanılması ve sabit olarak değerlendirilmesi sonuçları önemli derecede etkilemeyecektir.
- Kullanılan üç analitik yaklaşım da, yük faktörünü hesaba katmamaktadır. Düşük yükleme kademelerinde taş kolonda elastik davranış görülecektir. Yük kademesinin artması ile kolonda akma davranışı oluşacak ve kolonda plastik davranış meydana gelecektir. Ön tasarım aşamasında mevcut problem için tahmin edilen yük faktörü analitik yöntemin seçiminde yardımcı olacaktır. Priebe [5], iki analitik yöntemden farklı olarak kolonda plastik akmanın olduğu kabulünü yapmaktadır.
- Priebe [5], taş kolonun performansını etkileyen tüm parametreleri içermemesine rağmen kullanımının kolay olması sebebiyle uygulamacılar tarafından en çok kullanılan yöntemdir. Fakat bu yöntem ile hesaplanan tüm oturma değerleri arazi ölçümleri ile birebir uyum gösteremebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Çukurova Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Birimi (Proje No: FDK-2014-2515) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] BARKSDALE, R.D., BACHUS, R.C., "Design and Construction of Stone Columns", Vol. I, FHWA/RD-83/026, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1983.
- [2] CIMENTADA, A., DA COSTA A., "Laboratory Experimental Analysis of Radial Consolidation Around a Stone Column", Geotechnics of Soft Soils: Focus on Ground Improvement, London, Taylorand & Francis Group, 213-217, 2009.
- [3] FATAHI, B., BASACK, S., PREMANANDA, S., KHABBAZ, H., "Settlement Prediction and Back Analysis of Young's Modulus and Dilation Angle of Stone Columns", Australian Journal of Civil Engineering, 10(1), 67-79, 2012.
- [4] BALAAM, N.P., BOOKER, J.R., "Analysis of Rigid Rafts Supported by Granular Piles", International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, John Wiley and Sons, 5, 379-403, 1981.
- [5] PRIEBE, H.J., "The Design of Vibro-Replacement", Ground Engineering, 28(10), 31-37, 1995.
- [6] CASTRO, J., SAGASETA, C., "Consolidation Around Stone Columns", International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 33(7), 851-877, 2008.
- [7] MCCABE, B.A., NIMMONS, G.J., EGAN, D., "A Review of Field Performance of Stone Columns in Soft Soils", Geotechnical Engineering, 162, 323-334, 2009.
- [8] MUIR WOOD, D., HU, W., NASH, D.F.T., "Group Effects in Stone Column Foundations", Model Tests. Geotechnique, 50(6), 689-698, 2000.
- [9] CIMENTADA, A., DA COSTA A., CAÑIZAL J., SAGASETA C., "Laboratory Study on Radial Consolidation and Deformation in Clay Reinforced with Stone Columns", Canadian Geotechnical Journal, 48(1), 36-52, 2011.

TAŞ KOLONLARIN OTURMALARIN AZALTIMASI ETKİSİNİN ANALİTİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

- [10] BIN HASAN, M., BINTI MARTO, A., HYODO, M., BIN MAKHTAR, A.M., “The Strength of Soft Clay Reinforced with Singular and Group Bottom Ash Columns”, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, ISSN 1089-3032, 16 N, 1215-1227, 2011.
- [11] FRIKHA, W., BOUASSIDA, M., CANOU, J., “Parametric Study of a Clayey Specimen Reinforced by a Granular Column”, *International Journal of Geomechanics*, 15(5), 04014078, 2014.
- [12] KITAZUME, M., SHIMODA, Y., MIYAJIMA, S., “Behaviour of Sand Compaction Piles Constructed From Copper Slag Sand”, In *Proceedings of the International Conference on Centrifuge*. Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 831-836, 1998.
- [13] JUNG, J.B., MORIWAKI, T., SUMIOKA, N., KUSAKABE, O., “Consolidation Behavior of Composite Ground Improved by Soil Compaciton”, In *Proceedings of the International Conference Centrifuge*, 98, 825-830, 1998.
- [14] CHOI, J.W., LEE, D.Y., YOO, C.S., “Undrained Characteristics of Geogrid-Encased Stone Column Under Cyclic Load Using Reduced-Scale Model Tests”, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 29(1), 109-120, 2013.
- [15] UYSAL F., “Taş Kolonların Analiz ve Tasarımı”, *Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye, 2016.*