

Granüler Dolgu Tabakasına Oturan Yumuşak Kil Zeminlerin Taşıma Gücü Hesabında Analitik Yaklaşımlar

Murat ÖRNEK^{1*}, Abdulazim YILDIZ²

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 31200, İskenderun, Hatay

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana

YAYIN BİLGİSİ

Tarihçe:

Alınış: Aralık 2019
Kabul: Aralık 2019
Online Yayınlanma: Aralık 2019

Anahtar Kelimeler:

Yumuşak kil zemin
Zemin iyileştirme
Granüler dolgu
Analitik yaklaşımlar

ÖZET

Bu çalışmada, i) granüler stabilize dolgu tabakası kullanılarak güçlendirilen yumuşak kil zeminlere oturan dairesel temeller üzerinde yapılan arazi deneyi sonuçları ve ii) sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki ve üç boyutlu sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan analitik formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, uyumlulukları araştırılmıştır. Bu amaçla, zeminlerde taşıma gücünün hesaplanmasına yönelik geliştirilen ve literatürde önerilen formülasyonlar kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, arazi ortamında elde edilen deneysel verilerin, sayısal analiz çözümleriyle genel anlamda uyum içerisinde olduğunu, literatürde yer alan formülasyonlara göre de genel itibarıyla daha düşük değerlerin elde edildiğini göstermiştir.

Analytical Approaches in Bearing Capacity of Clay Soils Rested on Granular Fill Layer

ARTICLE INFO

History:

Received: December 2019
Accept: December 2019
Available online: December 2019

Keywords:

Soft soils
Soil improvement
Granular fill
Analytical approaches

ABSTRACT

In this study, i) the results of the field test on circular footings resting on soft clay soils reinforced with granular fill and ii) the results obtained from two and three dimensional numerical analyzes based on the finite element method are compared with the results obtained from the analytical formulations included in the literature and compatibility was investigated. For this purpose, the well-known formulations developed for the calculation of the bearing capacity on the soils were used. The results of the study showed that the test data obtained in the field is generally in harmony with the numerical analysis results and generally lower values are obtained when compared to the formulations in the literature.

1. Giriş

Geoteknik mühendisliğinde yumuşak kil zeminler gerek yüksek sıkışabilirlik özelliği gerekse de düşük yük taşıma kapasitesi açısından problemlili zeminler olarak ele alınmaktadır. Bu tür zeminlerin taşıma kapasitelerinin ve oturma davranışlarının iyileştirilmesi için birçok yöntem uygulanmaktadır. Genellikle, pratik ve ekonomik olması nedeniyle yüzeysel temellerin altına belirli bir kalınlıkta stabilize dolgu malzemesi serilmesi temel mühendisliğinde yaygın bir uygulamadır. Bu yöntemde temel altındaki yumuşak zemin tabakasının tamamı ya da bir kısmı kaldırılır ve yerine istenen özelliklere sahip stabilize dolgu

malzemesi tabakalar halinde serilip sıkıştırılarak temel altında rijit ve sağlam bir alt temel tabakası oluşturulur. Dolgu malzemesinin mekanik özellikleri ve kalınlığı, temel zemininde elde edilecek iyileşmeyi etkileyen başlıca faktörlerdendir.

Yumuşak kil zeminlerde dolgu tabakası serilerek yapılan iyileştirmeler konusunda literatürde yayınlanmış çeşitli araştırmalar bulunmaktadır [1-4]. Madhav ve Vitkar [1] tarafından yumuşak kil zeminler üzerine oturan sürekli temellerin altına granüler bir dolgu tabakası serilmesi durumunda temelin taşıma kapasitesindeki değişimler teorik olarak araştırılmıştır. Hamed ve ark. [2] tarafından

yapılan araştırmada ise, yumuşak kil zeminler üzerine oturan şerit temelin altındaki stabilize dolgu tabakasının temelin nihai taşıma kapasitesine etkisi deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Model deneylerde temel genişliği ile dolgu genişliği birbirine eşit alınarak taşıma kapasitesi değişimi araştırılmıştır. Deneysel sonuçlardan, temelin taşıma kapasitesinin temel genişliği/dolgu genişliği oranı ile doğru orantılı olarak arttığı ve bu oran belli bir değere ulaştığında ise, taşıma kapasitesinin sabit kaldığı görülmüştür. Ayrıca, Madhav ve Vitkar [1] tarafından önerilen bağıntı kullanılarak hesaplanan taşıma kapasiteleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve Madhav ve Vitkar [1] tarafından önerilen yöntem ile hesaplanan taşıma kapasitesi değerlerinin deneysel değerlerden daha büyük çıktığı görülmüştür. Örnek ve ark. [3] tarafından granüler dolgu üzerine oturan yüzeysel temellerin taşıma gücü bağıntıları regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Bu kapsamda arazi ortamında yedi farklı model dairesel temel kullanılmıştır. Çalışma sonuçları, granüler dolgu tabakasının yumuşak kil zeminlerin taşıma gücü mertebelerini önemli oranlarda artırdığını ve yapay sinir ağları yaklaşımının bu bağıntıları başarılı bir şekilde modelleyebildiğini göstermiştir. Laman ve ark. [4] tarafından yumuşak kil zeminler üzerine inşa edilen yüzeysel temeller altına yerleştirilen farklı kalınlıktaki stabilize dolgu tabakasının taşıma kapasitesine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, sonlu elemanlar yöntemine dayanan PLAXIS 2D [5] bilgisayar yazılımı ile sayısal analizler yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada Hamed ve ark. [2] tarafından gerçekleştirilen deneysel ve teorik sonuçlar ile sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça iyi bir uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Literatürde yumuşak kil zeminlerin iyileştirilmesi ile ilgili olarak deneysel, sayısal ve analitik çalışmalar yer almaktadır [6-14].

Bu çalışmada, farklı kalınlıklarda granüler stabilize dolgu tabakası ile güçlendirilen yumuşak kil zeminlere oturan dairesel temeller üzerinde yapılan arazi deneyi sonuçları, iki ve üç boyutlu sayısal analiz sonuçları ve literatürde mevcut analitik yaklaşım sonuçları karşılaştırılarak uyumlulukları irdelenmiştir. Zeminlerde taşıma gücünün hesaplanmasına yönelik geliştirilen ve literatürde yer alan Terzaghi [15], Meyerhof [16], Hu [17], Krizek [18] ve Meyerhof ve Hanna [19] tarafından önerilen formülasyonlar kullanılmıştır.

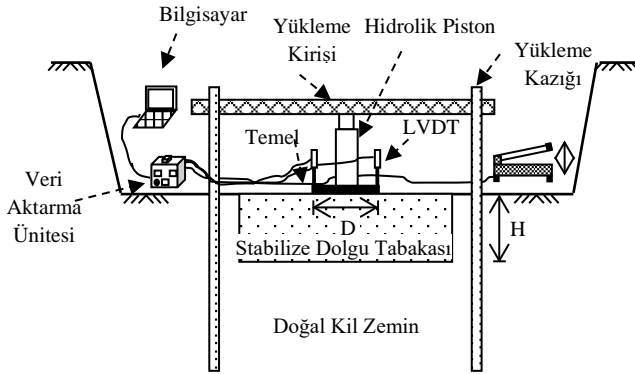
2. Deneysel Çalışmalar

Arazi ortamında yapılan deneysel çalışmalar iki seri olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci seride doğal kil durumu (Seri I), ikinci seride temel altına farklı kalınlıklarda stabilize dolgu tabakası serilmesi durumu (Seri II) ele alınmıştır. Seri I'de 4, Seri II'de 12 olmak üzere toplam 16 adet deney yapılmıştır. Model temel olarak 30cm, 45cm, 60cm ve 90cm çaplara sahip dairesel çelik plakalar kullanılmıştır. Deneyler, ilk olarak doğal kil durumunda, daha sonra kasa içerisine farklı kalınlıklarda stabilize dolgu tabakaları yerleştirilerek yapılmıştır. Sonuçta, stabilize dolgu tabakasının taşıma kapasitesi ve oturma davranışı üzerindeki etkileri irdelenmiştir.

Arazi deneylerine geçmeden önce, deney sırasında yük alabilmek için yükleme kazıkları imal edilmiştir. Deneylerde uzunlukları 2.20×2.20m, yüksekliği 0.20m olan ahşap kasa kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan dolgu malzemesinin özelliklerinin belirlenmesine yönelik laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine göre granüler malzeme iyi derecelenmiş çakıl-siltli çakıl (GW-GM) olarak belirlenmiştir. Zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı yaklaşık 2.15gr/cm³, optimum su içeriği ise %7 olarak belirlenmiştir. İçsel sürtünme açısı 43°, kohezyon değeri ise 0.15kg/cm² olarak bulunmuştur. Zeminin dane birim hacim ağırlığı 2.64gr/cm³ olarak elde edilmiştir. Arazide yapılan deneylerde, yükleme pistonu üzerine basınçölçer yerleştirilmiş, dairesel model temele uygulanan yük veri kaydetme ünitesi (ADU) aracılığı ile bilgisayara aktarılmıştır. Arazide, stabilize dolgu tabakası malzemesini sıkıştırmak amacıyla kompaktör kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, 5cm kapasiteli 2 adet düşey deplasman ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Her yük kademesinde temel plakası tabanında oluşan oturmalar 2 farklı noktada ölçülmüş ve oturma değeri olarak iki okumanın ortalaması alınmıştır. Stabilize dolgu ile güçlendirilmiş doğal kil zeminde yapılan deneylerin şematik gösterimi Şekil 1'de yer almaktadır. Arazi çalışmalarına ilişkin diğer ayrıntılar, Örnek [20]'de yer almaktadır.

Arazi deneylerinin ardından, stabilize dolgu tabakasından dolayı farklı çaplardaki temellerin taşıma gücü kapasitelerinde meydana gelen iyileşmelerin dereceleri belirlenmiştir. Doğal kil zeminde stabilize dolgu tabakası ve donatılı stabilize dolgu tabakası ilavesinin taşıma gücü üzerinde meydana getirdiği iyileşmelerin derecelerini belirlemek amacıyla Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) [21] tanımlanmıştır. Bu

kapsamda taşıma gücü karakteristikleri yorumlanırken aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır:



Şekil 1. Arazi ortamında yapılan deneylerin şematik gösterimi

$$BCR = \frac{q_r}{q_0} \quad (1)$$

Burada q_r , stabilize dolgu tabakası veya donatılı stabilize dolgu tabakası ile güçlendirilmiş doğal kil zeminde, q_0 ise doğal kil zeminde elde edilen taşıma gücü değeridir.

3. Sayısal Analizler

Arazi ortamında yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen yük-oturma davranışları, deney düzeneği, yüklemeye koşulları ve malzeme özellikleri sonlu elemanlar yöntemine dayanan PLAXIS 2D [5] bilgisayar programı ile iki boyutlu ve PLAXIS 3D Foundation [22] bilgisayar programı ile üç boyutlu olarak modellenerek sayısal çözümler yapılmıştır. Bu bölümde, çapları 30cm, 45cm, 60cm ve 90cm olan dairesel çelik rijit plakalar kullanılarak toplam 16 adet iki boyutlu ve 16 adet üç boyutlu olmak üzere toplam 32 adet sayısal analiz yapılmıştır. Sayısal analizler; arazi deney programına benzer şekilde, iki seri olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci seride (Seri I) doğal kil durumu, ikinci seride temel altına farklı kalınlıklarda stabilize dolgu tabakası serilmesi (Seri II) durumu sayısal olarak analiz edilmiştir. II. seriden elde edilen sonuçlar I. serideki sonuçlar ile karşılaştırılarak temelin taşıma kapasitesi ve oturma davranışındaki değişimler irdelenmiştir. Arazi deneylerine paralel olarak tüm çaplarda stabilize dolgu tabakası kalınlıkları $H=0.33D$, $0.67D$ ve $1.00D$ olarak alınmıştır.

İki boyutlu sayısal analizlerde model temel plakası rijit kabul edilmiştir. Model temellerin dairesel kesitli olmasından dolayı analizler, aksel simetrik koşullarda gerçekleştirilmiştir. Doğal kil zemin ve stabilize dolgu tabakası için analizlerde kullanılan zemin parametreleri, sırasıyla Tablo 1 ve

Tablo 2’de sunulmaktadır. Sayısal analiz parametreleri arazi deneyleri sırasında alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenmiştir [4].

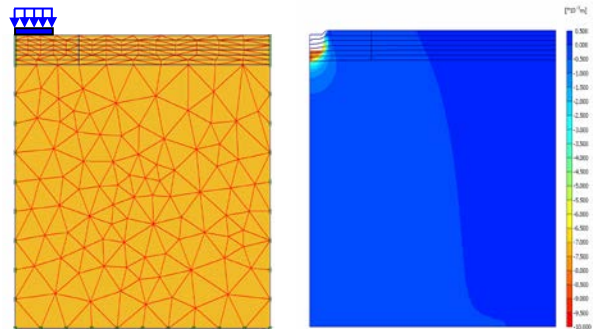
Tablo 1. Kil zemin model parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m ³	18
Üç eksenli yüklemeye rijitliği	E_{ref}	kN/m ²	8500
Poisson oranı	ν	-	0.35
Kohezyon	c	kN/m ²	75
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(°)	0
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	0
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	0.50

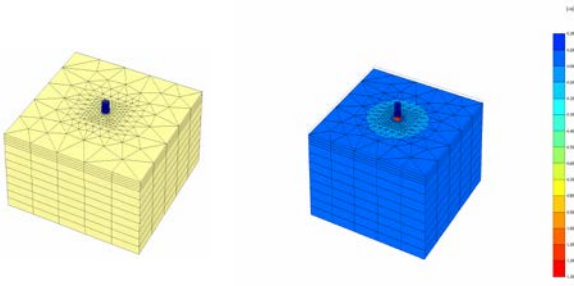
Tablo 2. Stabilize dolgu malzemesi model parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Birim hacim ağırlığı	γ	kN/m ³	20
Üç eksenli yüklemeye rijitliği	E_{ref}	kN/m ²	42500
Poisson oranı	ν	-	0.20
Kohezyon	c	kN/m ²	1
Kayma mukavemet açısı	ϕ	(°)	43
Dilatasyon açısı	ψ	(°)	0
Toprak basıncı katsayısı	K_0	-	1.00

İki ve üç boyutlu sayısal analizlerde elde edilen tipik sonlu elemanlar ağı ve zeminde oluşan düşey deformasyon dağılımları Şekil 2 ve 3’te yer almaktadır. Sayısal analiz çalışmalarına ilişkin diğer ayrıntılar, Örnek [20]’de yer almaktadır.



Şekil 2. Sonlu elemanlar ağı ve düşey deformasyon dağılımı (2D)



Şekil 3. Sonlu elemanlar ağı ve düşey deformasyon dağılımı (3D)

4. Analitik Yaklaşımlar

Bu bölümde, arazi deneyleri ile sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki ve üç boyutlu sayısal analizlerden elde edilen sonuçlar, literatürde yer alan analitik formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, uyumlulukları araştırılmıştır. Bu amaçla, zeminlerde taşıma gücünün hesaplanmasına yönelik geliştirilen ve literatürde yer alan Terzaghi [15], Meyerhof [16], Hu [17], Krizek [18] ve Meyerhof ve Hanna [19] tarafından önerilen formülasyonlar kullanılmıştır. Aynı zamanda, arazi deney sonuçlarının regresyon analizi sonucu önerilen formülasyon kullanılarak taşıma gücü değerleri elde edilmiştir (Eşitlik 2). Bu eşitlik, temel çapları oranları ve göçme yükleri arasındaki oran belirlendikten sonra ölçek etkisinin derecesini belirlemek için yapılan regresyon analizi sonrasında tanımlanmıştır [20].

$$q_i = 166 - 1.06D_i + 0.384D_0 + 0.632q_0 + 0.683H_i \quad (2)$$

burada, q_i (kPa) ve D_i (cm), göçme yükü bulunması istenen temelin göçme yükü ve çapını, q_0 (kPa) ve D_0 (cm), göçme yükü ve çapı belli olan temele ait göçme yükü ve temel çapını, H_i (cm) ise göçme yükü bulunması istenen sistemde stabilize dolgu tabakası kalınlığını ifade etmektedir. Bu sayede, yalnızca küçük temellerle deney yapmak suretiyle daha büyük çaplarda temeller kullanarak deneyler yapmaya ihtiyaç duymadan istenilen çaptaki temellere ait göçme yükleri hesaplanabilmektedir.

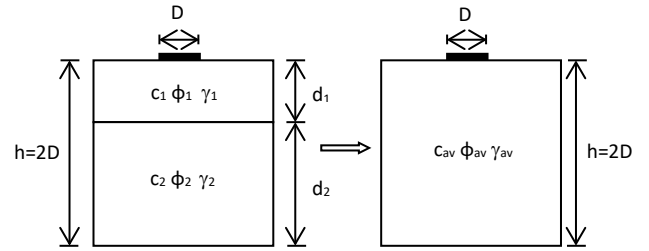
Farklı özelliklere sahip doğal kil zemin tabakası ve stabilize dolgu tabakasına ait mukavemet ve yoğunluk değerleri, ağırlık faktörü yöntemi ile homojenleştirilmiş ve iki tabaka için tek bir c , φ ve γ değerleri kullanılmıştır [23]. Hesaplamalarda iki tabakanın toplam derinliği, herhangi bir sınır etkisi olmaması için temel çapının iki katı ($h=2D$) olarak alınmıştır (Şekil 4).

$$c_{av} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} c_1 + \frac{d_2}{d_1 + d_2} c_2 \quad (3)$$

$$\varphi_{av} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \varphi_1 + \frac{d_2}{d_1 + d_2} \varphi_2 \quad (4)$$

$$\gamma_{av} = \frac{d_1}{d_1 + d_2} \gamma_1 + \frac{d_2}{d_1 + d_2} \gamma_2 \quad (5)$$

Burada; c_{av} ağırlıklı kohezyon değerini (kPa), φ_{av} , ağırlıklı içsel sürtünme açısı değerini ($^\circ$), γ_{av} , ağırlıklı birim hacim ağırlık değerini (kN/m^3), d_1 , stabilize dolgu tabakasının kalınlığını (m) ve d_2 ise doğal kil zemin tabakasının kalınlığını (m) ifade etmektedir. Tabakalı zemin sisteminde ağırlık faktörü yöntemine göre hesaplanan parametreler Tablo 3'te yer almaktadır.



Şekil 4. Tabakalı zeminlerde ağırlık faktörü yöntemi

Tablo 3. Ağırlık faktörüyle yöntemiyle hesaplanan parametreler

Parametre	Stabilize Dolgu Tabakası	Doğal Kil Zemin	Ağırlık Faktörü Yöntemi
c (kPa)	1	75	62.79
φ ($^\circ$)	43	0.3	7.35
γ (kN/m^3)	18	20	19.67

Terzaghi [15] yöntemine göre dairesel temeller için nihai taşıma kapasitesi aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$q_u = 1.3 c N_c + q N_q + 0.3 \gamma D N_\gamma \quad (6)$$

Burada; q_u , nihai taşıma kapasitesini (kPa), c , kohezyonu (kPa), q , sürşarj yükünü (kPa), D , temel çapını (m), N_c , N_q ve N_γ ise taşıma gücü katsayılarını ifade etmektedir.

Nihai taşıma kapasitesi, Meyerhof [16] tarafından aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$q_u = c N_c s_c d_c + q N_q s_q d_q + 0.5 \gamma D N_\gamma s_\gamma d_\gamma \quad (7)$$

Hu [17] tarafından geliştirilen bir abak yardımı [24] ile taşıma gücü katsayıları (N_c , N_q , N_γ) elde edilmektedir. Taşıma gücü katsayıları içsel

sürtünme açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu katsayılar daha sonra taşıma gücü eşitliklerinde yerine konmaktadır. Bu aşamada Terzaghi [15] tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

Krizek [18] tarafından sunulan taşıma gücü ifadesi, Eşitlik 6'da Terzaghi [15] tarafından önerilen ifadeyle aynıdır, ancak taşıma gücü faktörleri, içsel sürtünme açısına (ϕ) bağlı olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$N_c = \frac{228 + 4.3\phi}{40 - \phi} \quad N_q = \frac{40 + 5\phi}{40 - \phi} \quad N_\gamma = \frac{6\phi}{40 - \phi} \quad (8)$$

Meyerhof ve Hanna [19] tarafından önerilen taşıma gücü ifadesi aşağıdaki gibidir. Burada zemin iki farklı tabaka olarak ele alınmaktadır. İlk olarak, doğal kil zemin durumunda elde edilen nihai taşıma kapasitesi, stabilize dolgu tabakası durumunda elde edilen nihai taşıma kapasitesine oranlanarak q_2/q_1 değeri bulunmaktadır. Daha sonra bu oran ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak geliştirilen abak yardımıyla zımbalama kayma göçmesi katsayısı (K_s) bulunmaktadır. Bu katsayı daha sonra aşağıdaki taşıma gücü eşitliğinde yerine konmaktadır [24]. Bu aşamada Terzaghi [15] tarafından önerilen eşitlik kullanılmıştır.

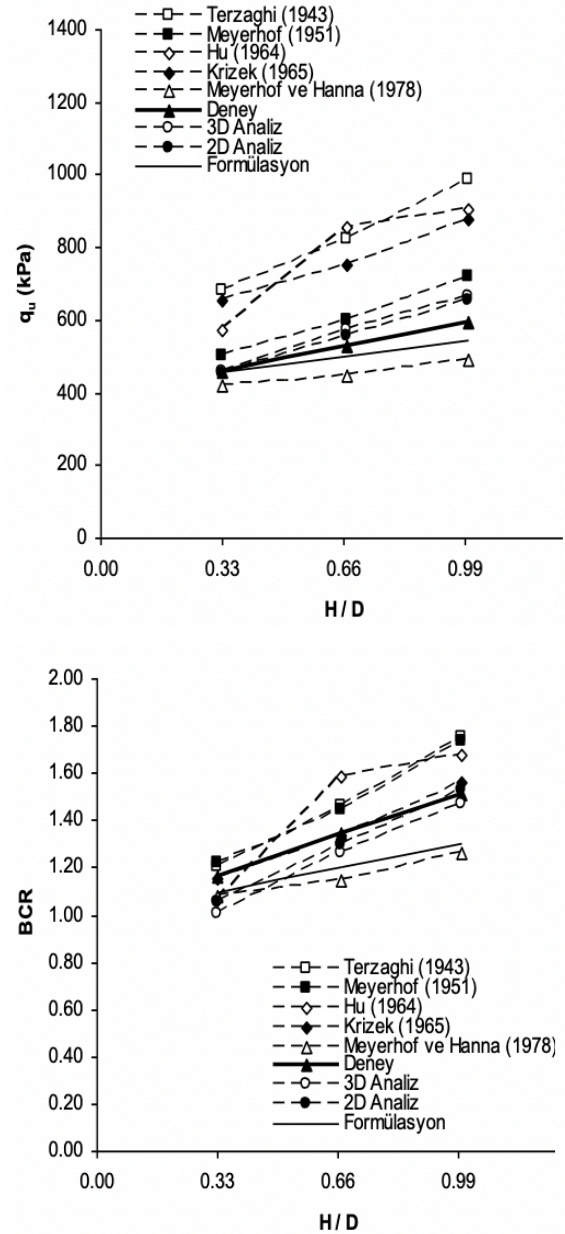
$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{5.14 c_2}{0.5 \gamma_1 D N_{\gamma_1}} \quad (9)$$

$$q_u = 5.14 c_2 (1 + 0.2D) + (1 + D) \gamma_1 d_1^2 \frac{K_s \tan \phi_1}{D} \lambda_s \quad (10)$$

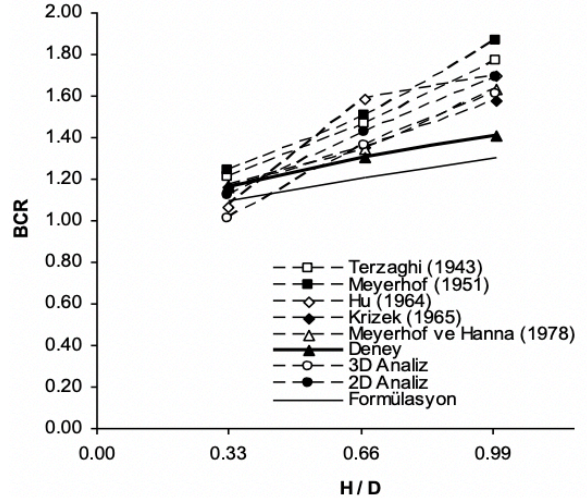
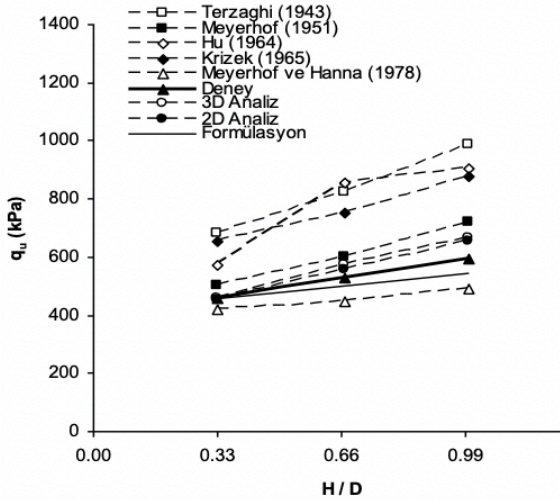
Burada; c_2 , doğal kil zemin tabakasının kohezyon değeri (kPa), ϕ_1 , doğal kil zemin tabakasının içsel sürtünme açısı değeri ($^\circ$), γ_1 , stabilize dolgu tabakasının birim hacim ağırlık değeri (kN/m³), d_1 , stabilize dolgu tabakasının kalınlığı (m), D , temel çapı (m), K_s , zımbalama kayma göçmesi katsayısı ve λ_s , şekil faktörüdür (dairesel temellerde 1 alınır).

5. Verilerin Karşılaştırılması

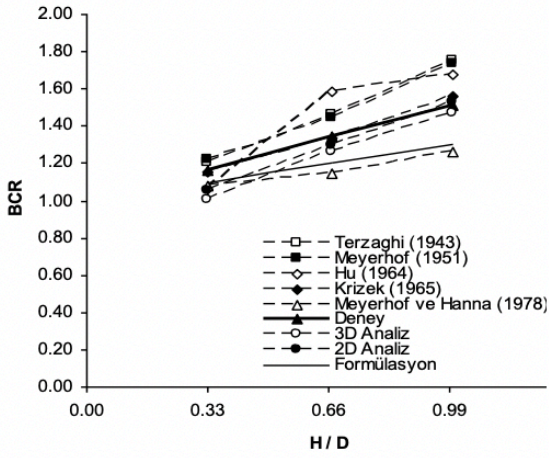
Doğal kil zeminin stabilize dolgu tabakası ile güçlendirildiği deneylerde ve sayısal analizlerde elde edilen sonuçlarla literatürde yer alan formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlar, her bir çap için Şekil 5-8 arasında sunulmuştur. Her bir çap için (30cm, 45cm, 60cm ve 90cm) hem nihai taşıma gücü değerleri hem de taşıma gücü oranları bir arada sunulmuştur. Grafikler incelendiğinde deney sonuçlarının literatürde yer alan formülasyonlara göre genel itibariyle daha düşük değerler verdiği, ancak genel eğilimin benzer olduğu görülmektedir.



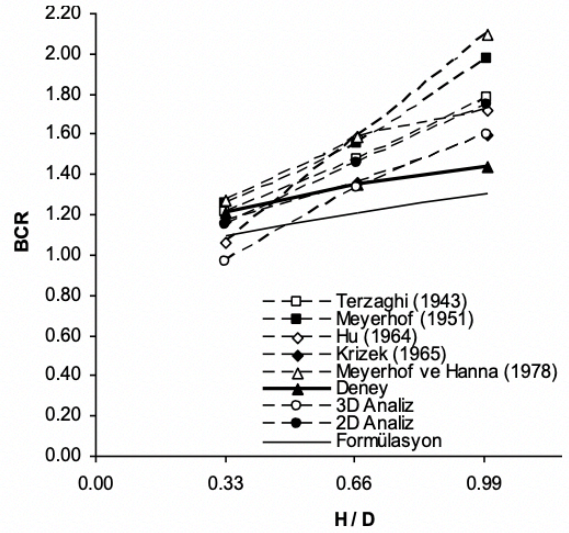
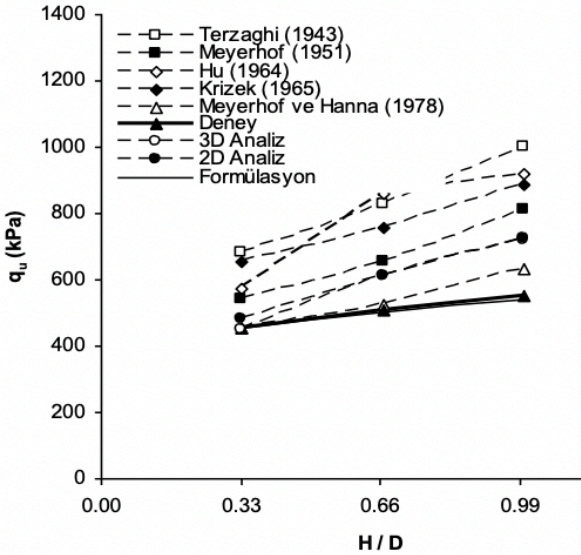
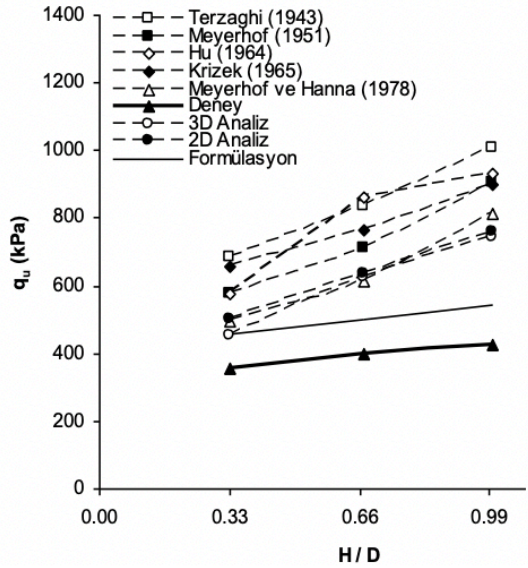
Şekil 5. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi ($D=30\text{cm}$)



Şekil 7. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi ($D=60\text{cm}$)



Şekil 6. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi ($D=45\text{cm}$)



Şekil 8. Stabilize dolgu kalınlığı etkisi ($D=90\text{cm}$)

6. Sonuçlar

Bu çalışmada, arazi ortamında iki seri olarak yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, sonlu elemanlar yöntemine dayanan iki ve üç boyutlu sayısal analizlerden elde edilen sonuçlarla ve literatürde yer alan analitik formülasyonlar kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış, elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

1) Arazi ortamında yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, sayısal analiz çözümleriyle genel anlamda uyum içerisindedir. Stabilize dolgu kalınlığı (H) etkisinin araştırıldığı iki ve üç boyutlu sayısal analizlerde, deney sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir.

2) İki ve üç boyutlu sayısal analizlerde genellikle birbirine yakın sonuçlar bulunmuştur. Bu durum, bu tür problemlerde uygulamada pratiklik ve zaman tasarrufu açısından iki boyutlu olarak modellenmenin iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

3) Deney sonuçları ve sayısal analiz sonuçları, literatürde yer alan analitik çözümlere göre genel itibariyle daha düşük değerler vermiştir. Bu veriler arasındaki farkın, stabilize tabakası kalınlığına ve temel çapına bağlı olarak yaklaşık %60'lara kadar çıkabildiği görülmüştür.

4) Doğal kil zemin ve stabilize dolgu tabakası, kompozit bir sistem meydana getirmektedir. Dolayısıyla önce temele, temelden de kompozit zemin sistemine aktarılan yük, doğal kil zemin ve stabilize dolgu tabakası tarafından ortaklaşa taşınmaktadır. Stabilize dolgu tabakasının rijitliği doğal kil zemine göre çok daha fazla olduğundan, yükün çoğunluğu stabilize dolgu tabakası tarafından karşılanmaktadır.

Not: Bu çalışma, 13-15 Haziran 2019 tarihleri arasında İskenderun/Türkiye'de düzenlenen Uluslararası İnşaat Mühendisliği'nde İnovasyon, Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Eğitim Konferansında (iSTE-CE'2019) sunulmuştur.

Kaynakça

[1] Madhav M.R., Vitkar P.P. Strip footing on weak clay stabilized with a granular trench or pile, *Canadian Geotechnical Journal* 1978; 15(4): 605-609.

[2] Hamed J.T., Das B.M., Echelberger W.F. Bearing capacity of a strip foundation on a granular trench in soft clay. *Civil Engineering*

for Practicing and Design Engineers, Pergamon Press: 1986.

- [3] Örnek M., Laman M., Demir A., Yıldız, A. Prediction of bearing capacity of circular footings on soft clay stabilized with granular soil. *Soils and Foundations* 2012; 52(1): 69-80.
- [4] Laman M., Yıldız A., Örnek M., Demir A. Stabilize granüler dolgu ile iyileştirilen yumuşak kil zeminlere oturan yüzeysel temellerin analizi. TÜBİTAK 106M496 nolu Araştırma Projesi 2009.
- [5] Brinkgreve R.B.J., Broere W. Plaxis finite element code for soil and rock analysis. 2D – Version 8.6. 2006.
- [6] Ibrahim K.M.H. Bearing capacity of circular footing resting on granular soil overlying soft clay. *HBRC Journal* 2016; 12(1): 71-77.
- [7] Adams M.T., Collin J.G. Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 1997; 123(1): 66-72.
- [8] Saha R., Deb K. Bearing capacity of rectangular footings on multilayer geosynthetic-reinforced granular fill over soft soil. *International Journal of Geomechanics* 2017; 17(9): 04017069.
- [9] Ghosh B., Fatahi B., Khabbaz H. Mechanical model to analyse multilayer geosynthetic reinforced granular layer in column supported embankments. *Procedia Engineering* 2016; 143: 387-394.
- [10] Alawaji H.A. Settlement and bearing capacity of geogrid-reinforced sand over collapsible soil. *Geotextiles and Geomembranes* 2001; 19(2): 75-88.
- [11] Hosseinpour I., Almeida M.S.S., Riccio M. Full-scale load test and finite-element analysis of soft ground improved by geotextile-encased granular columns. *Geosynthetics International* 2015; 22(6): 428-438.
- [12] Mosallanezhad M., Hataf N., Sadat Taghavi S.H. Experimental and large-scale field tests of grid-anchor system performance in increasing the ultimate bearing capacity of granular soils. *Canadian Geotechnical Journal* 2016; 53(7): 1047-1058.
- [13] Chen Q. An experimental study on characteristics and behavior of reinforced soil foundation. PhD dissertation, Louisiana State University, Baton Rouge, USA, 2007.
- [14] Deb K., Sivakugan N., Chandra,S., Basudhar P.K. Numerical analysis of multi layer geosynthetic-reinforced granular bed over soft fill. *Geotechnical and Geological engineering* 2007; 25(6): 639-646.

- [15] Terzaghi K. Theoretical soil mechanics, Wiley, New York; 1943.
- [16] Meyerhof G.G. The ultimate bearing capacity of foundations. *Geotechnique* 1951; 2(4): 301-332.
- [17] Hu G.C. Variable-factors theory of bearing capacity. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, 90 (Proc. Paper 3969), 1964.
- [18] Krizek R.J. Approximation for Terzaghi's bearing capacity factors. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div*, 91(Proc. Paper 4247), 1965.
- [19] Meyerhof G.G., Hanna A.M. Ultimate bearing capacity of foundations on layered soils under inclined load. *Canadian Geotechnical Journal* 1978; 15(4): 565-572.
- [20] Örnek M. Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatıyla güçlendirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2009.
- [21] Binquet J., Lee K.L. Bearing capacity tests on reinforced earth slabs. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 1975; 101 (ASCE# 11792 Proceeding).
- [22] Brinkgreve R.B.J. Broere W. Plaxis finite element code for soil and rock analysis. 3D Foundation–Version 2.1., 2006.
- [23] Bowles J.E. *Foundation analysis and design*, McGraw-Hill International Editions; 1988.
- [24] Das B.M. *Shallow foundations: bearing capacity and settlement*. CRC Press; 2017.