



Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 18.04.2022
Kabul Tarihi : 28.09.2022

Received Date : 18.04.2022
Accepted Date : 28.09.2022

MİKROGRİD DONATILI ZEMİNDE RİNG TEMEL TAŞIMA KAPASİTESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE RING FOOTING BEARING CAPACITY RESTED ON MICROGRID REINFORCED SOIL

Mehmet Şerif KAHRAMAN¹ (ORCID: 0000-0003-3382-6266)

Ömer YEŞİLTEPE^{2*} (ORCID: 0000-0002-9337-9157)

Yakup TÜREDİ¹ (ORCID: 0000-0001-9197-5214)

Murat ÖRNEK¹ (ORCID: 0000-0002-0809-2531)

¹ İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay, Türkiye

² Kilis 7 Aralık Üniversitesi, İnşaat Teknolojisi Programı, Kilis, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Ömer YEŞİLTEPE, omeryesiltepe@kilis.edu.tr

ÖZET

Gevşek zemin koşullarında inşa edilecek yapılarda temellerin tasarımı inşaat mühendisleri için önemli bir problem oluşturmaktadır. Bu problemi çözmek için ya derin temel uygulaması tercih edilmeli ya da zeminde iyileştirme yöntemleri uygulanmalıdır. Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan donatılı zemin uygulamasında zemine geosentetik donatılar yerleştirilip taşıma gücü ve oturma problemlerine karşı çözüm üretilebilmektedir.

Bu çalışmada kare ve daire kesitli mikrogrid donatı ile güçlendirilmiş gevşek kuru kum zemine oturan ring temellerin aksel basınç yükü altındaki davranışı 30 adet laboratuvar deneyi ile analiz edilmiştir. İlk donatı derinliği, donatı çapı/genişliği, donatı geometrileri değiştirilerek taşıma gücü için optimum donatı parametreleri laboratuvar deneyleri ile araştırılmıştır. Model deneyler mikrogrid donatıların ring temel taşıma gücünü arttırdığını göstermiştir. Çalışmanın sonunda zemine yerleştirilen mikrogrid donatılara ait optimum tasarım parametreleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikrogrid donatı, ring temel, taşıma gücü, zemin iyileştirme, laboratuvar deneyi

ABSTRACT

The design and construction of footings in buildings to be built in areas where loose soil conditions result an important problem for civil engineers. To eliminate this problem, either deep foundation systems or soil improvement methods should be applied on the foundation soil. In soil reinforcement applications, geosynthetic reinforcements can be placed in the soil against bearing capacity and settlement problems.

In this study, the behavior of ring footings on loose dry sand soil reinforced with square and circular microgrid reinforced under axial compression load was analyzed with 30 laboratory tests. The optimum reinforcement parameters were investigated with laboratory tests by changing the first reinforcement depth, the diameter/width of the reinforcement, the reinforcement geometry. Model tests have shown that microgrid reinforcements increase the bearing capacity of the ring footings. At the end of the study, the optimum design parameters of the microgrid reinforcement placed on the soil were determined.

Keywords: Microgrid reinforcement, ring footing, bearing capacity, soil improvement, laboratory test

ToCite: KAHRAMAN, M., Ş., & YEŞİLTEPE, Ö., & TÜREDİ, Y., & ÖRNEK, M., (2022). MİKROGRİD DONATILI ZEMİNDE RİNG TEMEL TAŞIMA KAPASİTESİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(4), 516-527.

GİRİŞ

Temeller, yapıdan aktarılan yükleri zemine ileten yapı elemanlarıdır. Zeminden beklenen ise temelin aktardığı yükü izin verilebilir oturma değerlerini aşmayacak şekilde taşıyabilmesidir. Doğal ortamda her zemin türünün aynı geoteknik özelliklere sahip olmadığı bilinmektedir. Dolayısıyla her zemin türünün yük taşıma kapasitesi ve oturma karakteristikleri birbirinden farklıdır. Zayıf zemin durumunun hâkim olduğu arazide yapı inşa etmek, ya o zemin ortamının kaldırılıp yerine nitelikli bir malzemenin getirilmesi ya temelin sağlam zemine kadar indirilmesi ya da mevcut zeminin mühendislik yöntemleri ile güçlendirilip nitelikli hale getirilmesi ile mümkündür.

Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan donatılı zemin uygulamalarında zemin içerisine özelliklere sahip donatılar yerleştirilip taşıma gücü ve oturma problemlerine karşı çözüm üretilebilmektedir. Geosentetik donatılar çekme dayanımı yüksek malzemelerden üretilmektedir. Zeminlerin çok düşük olan çekme dayanımından dolayı yetersiz olan taşıma gücü değeri, geosentetik donatılar ile artırılabilir. Literatürde farklı temel çeşitlerinde geosentetik donatılar ile güçlendirilmiş zeminler ile ilgili yer alan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Binquet & Lee (1975) tarafından donatılı zeminler üzerine yapılan laboratuvar çalışmaları, donatılı zeminler ile ilgili ilk detaylı bilimsel çalışma olarak literatürde yerini almıştır. Bu çalışmada donatı ile güçlendirilen kum zemine oturan şerit temellerin taşıma kapasitesi laboratuvar ortamında yapılan model deneyler ile incelenmiştir. Deneylerde alüminyum şeritlerin yerleştirildiği üç farklı zemin modeli üzerinde aşağıda bahsedilen üç seride model deneyler yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların karşılaştırılması için boyutsuz bir sayı olan Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) tanımlanmıştır. Bu değer, geogrid donatı tabakası ilavesinin taşıma gücü üzerinde meydana getirdiği iyileşmelerin derecelerini belirlemek amacıyla tanımlanmıştır.

$$BCR = \frac{Q_{u(r)}}{Q_{u(o)}} \quad (1)$$

$Q_{u(r)}$: Geogrid donatı tabakası ile güçlendirilmiş kum zeminde elde edilen nihai taşıma gücü değeri, $Q_{u(o)}$: Donatısız kum zeminde elde edilen nihai taşıma gücü değeridir. Çalışmadaki bütün deneylerde, donatı kullanıldığı durumlar için zeminin donatısız duruma göre taşıma kapasitesinin arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca BCR değerinin, donatı sayısının minimum 4 olduğu durumda optimum değere ulaştığı belirtilmiştir.

Boushehrian & Hataf (2003) tarafından yapılan çalışmada, güçlendirilmiş kum üzerinde dairesel ve ring temellerin taşıma gücü kapasiteleri sayısal ve model laboratuvar deneyleri ile analiz edilmiştir. Deneysel ve sayısal çalışmalara göre tek bir donatı tabakası yerleştirildiğinde optimum donatı derinliğinde maksimum taşıma kapasitesine ulaşılmıştır. Ayrıca sayısal analizlerde ring temeller için maksimum taşıma kapasitesi oranı (BCR), $n = 0,40$ durumunda elde edilmiştir. Burada n , ring temelin iç çapının dış çapına oranı olarak kabul edilmiştir.

Laman & Babacan (2004) tarafından yapılan çalışmada, deneylerde biri tam dolu daire kesit olmak üzere, diğer dördü farklı iç çaplarda ring temeller kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan tüm temellerin kalınlığı 20mm olup, dış çapları 85 mm'dir. İç çapları ise, 15 mm, 25 mm, 35 mm ve 45 mm olarak tasarlanmıştır. Farklı iç çaplardaki model temellerle yapılan deney sonuçlarından faydalanarak her bir temele ait taban basıncı-oturma grafikleri çizilmiş ve bu grafiklerden faydalanarak göçme yükleri tespit edilmiştir. Bu deneyler Plaxis sonlu elemanlar programında da analiz edilmiş ve deney ile analiz sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonunda zemin içerisine yerleştirilen donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri, $BCR=3,02$ olarak elde edilmiştir. Analizler sonucunda donatıdan dolayı zeminin taşıma gücünde meydana gelen artış değeri ise $BCR=3,20$ olmuştur.

Demiröz (2008) tarafından yapılan çalışmada, geogrid donatı ile güçlendirilmiş kum zemine yerleştirilmiş olan sürekli temellerde taşıma gücüne etki eden tasarım parametreleri deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde temel genişliği ve temel derinliği arttıkça taşıma gücünün arttığı belirlenmiştir. Ayrıca taşıma gücü üzerindeki en etkili parametrenin %39 oranda temel genişliği olduğu tespit edilirken, %27 oranla temel derinliği bir diğer önemli parametre olarak belirlenmiştir.

Moayed, Rashidian & Izadi (2012) tarafından yapılan deneylerde ring temellerin iki katmanlı zemin üzerindeki taşıma kapasitesini araştırmak için bazı sayısal analizler yapılmıştır. Kil tabakası kalınlığının ve halkanın iç yarıçapı ile halkanın dış yarıçapı (r_i/r_o) oranının etkileri incelenmiştir. Sayısal analiz sonuçlarından (r_i/r_o) değerinin artmasıyla taşıma kapasitesinin azaldığı tespit edilmiştir.

Davarcı (2014) tarafından donatılı gevşek kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin taşıma gücü davranışı laboratuvar ortamında yapılan model deneylerle araştırılmıştır. Çalışmada temel geometrisi (H, +, T ve kare kesitli), zemin türü (gevşek kum), geogrid donatı yerleşimi (ilk donatı derinliği, donatılar arası mesafe, donatı sayısı) gibi parametrelerin çok kenarlı yüzeysel temellere ait taşıma gücü karakteristikleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve göçme mekanizmaları tespit edilmiştir. Deney sonuçlarından; geogrid donatı ilavesinin gevşek kumun taşıma gücünü artırdığı, ilk donatı derinliği (u) arttıkça +, H, T ve kare kesitli temeller için zeminin taşıma gücünün azaldığı tespit edilmiştir.

Rowshanzamir & Karimian (2016) tarafından yapılan laboratuvar çalışmasında geogrid donatı konfigürasyonlarının temellerin taşıma kapasitesine ilişkin olası etkilerini irdelenmiştir. Belirli genişliklere sahip geogrid donatıların konfigürasyonları ile güçlendirilmiş kum zemine oturan temel modellerinin taşıma kapasiteleri belirlenmiş ve karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarından en büyük taşıma kapasitelerinin donatı çapının, derinlik arttıkça azaldığı yamuk düzenlemeler durumunda elde edildiği gösterilmiştir.

Anıl, Akbaş, Babagiray, Gel & Durucan (2017) tarafından yapılan çalışmada, düzensiz şekilli altı adet temelin kum zemindeki taşıma gücü kapasiteleri ve yük-oturma ilişkileri sayısal ve deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler Plaxis 3D programı ile modellenmiştir. Deney sonuçları ile sayısal analiz sonuçları arasında uyum olduğu tespit edilmiştir. Temellerin geometrik özelliklerinin, taşıma kapasiteleri ve oturma değerlerini önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir.

Sargazi & Hosseininia (2017) tarafından yapılan çalışmada, kohezyonsuz zemin üzerine yerleştirilmiş eksantrik yüklü pürüzlü ring temellerin taşıma kapasitesi ele alınmıştır. Bu amaçla, sonlu farklar yöntemi kullanılarak bir dizi üç boyutlu sayısal modelleme gerçekleştirilmiştir. Yük dışmerkezliliğinin etkisini dikkate almak için indirgeme faktörü yöntemi uygulanmıştır. Çalışma sonuçları, sayısal modelleme analitik çözümleri ve deneysel veriler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermiştir.

Geogrid donatılarla güçlendirilen zeminlere oturan farklı geometrilere sahip temellerin davranışının konu edildiği çalışmalar literatürde güncelliğini korumaktadır (El Sawwaf & Nazir, 2012; Kadhum & Albusoda, 2021; Abdolhosseinzadeh vd., 2022; Shende vd., 2022; Kirtimayee & Samadhiya, 2022).

Literatürdeki çalışmalarda genel olarak, laboratuvar ortamında model boyutlarda temellerin kullanıldığı ancak geogrid donatılar için model boyutların kullanılmadığı belirlenmiştir. Buradan yola çıkarak yapılan deneysel çalışmalarda ölçek sınırlaması geogrid donatılar üzerinde de uygulanmıştır. Başka bir ifadeyle laboratuvar ortamında yapılan deneylerde temelin yanı sıra geogrid donatı açıklığında da belli bir ölçekte küçülmeye gidilmiş, sonuçlar bu doğrultuda yorumlanmaya çalışılmıştır. Bu husus çalışmanın özgün bir yanı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca yapılan deneyler esnasında sınır etkisinin oluşmaması için ring temel deney kasasının cidarından temel çapının en az 3 katı uzaklıkta olacak mesafede konumlandırılmıştır (El Sawwaf & Nazir, 2012).

Bu çalışmada laboratuvar ortamında yapılan model deneyler ile mikrogrid donatı kullanılarak iyileştirilen gevşek kum zeminin donatı parametrelerinin taşıma gücüne etkisi araştırılmıştır. Deneylerde 4 mm elek açıklığına sahip mikrogrid donatı kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kullanılan model ring temelin iç çapının dış çapına oranı (r/R), literatür çalışmaları esas alınarak 0,4 şeklinde seçilmiştir (Boushehrian & Hataf, 2003). Yüzeysel model temel olarak 20 cm dış çapa 8 cm iç çapa sahip ring kesitli rijit plakalar kullanılmıştır. Model deneylerde mikrogrid donatıların ilk donatı derinliği, donatı çapı/genişliği, donatı geometrisi gibi parametreler değiştirilerek donatıların, zeminin taşıma gücüne katkısı incelenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Deneylerde gevşek kum zemin kullanılmıştır. Kullanılan zeminin endeks özelliklerini belirlemek amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır. Kum zeminin dane çapı dağılım eğrisinden zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelenmiş ince ve temiz kum (SP) olarak belirlenmiştir. Kullanılan zemine ait parametreler Tablo 1'de verilmiştir. Model deneyler, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

Tablo 1. Deneyleerde Kullanılan Kum Zemine Ait Parametreler

Özellik	Değer
Kaba dane miktarı (%)	0,00
Orta büyüklükteki dane miktarı (%)	65,00
İnce dane miktarı (%)	35,00
D ₁₀ (mm)	0,16
D ₃₀ (mm)	0,28
D ₆₀ (mm)	0,58
Üniformluk katsayısı, C _u	3,63
Derecelenme katsayısı, C _c	0,84
Özgül ağırlık	2,75
Maksimum kuru birim ağırlık (kN/m ³)	17,11
Minimum kuru birim ağırlığı (kN/m ³)	15,44
Denyde kullanılan birim hacim ağırlık (kN/m ³)	15,84
Maksimum boşluk oranı e _{max}	1,108
Minimum boşluk oranı e _{min}	0,902
Rölatif sıkılık Dr (%)	25,7
Kohezyon, c (kPa)	0,00
Kayma mukavemeti açısı, φ (derece)	36,00
Zemin sınıfı (USCS)	SP

Kuru kum zemin deney kasasına daha önceden belirlenmiş olan 5cm'lik yatay çizgilere göre gerekli miktarlarda (kuru birim hacim ağırlık 15,84 kN/m³ olacak şekilde) tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Bu amaçla (1,25mx1,0mx0,05m) hacme sahip dilimlere denk gelecek şekilde sabit bir yoğunluk için gerekli kum miktarı 100 kg olarak tartılmış, ardından serim işlemine geçilmiştir. Kum serim işleminin ardından zemin yüzeyinin mastarlama işlemi yapılmış, yatay çizgiler hizasında düz bir zemin elde edilmiştir. Deneyleerde 3mm/dak hızla yükleme yapılmıştır. Zemin ile geogrid arasındaki sürtünmenin, deneyleerde kullanılan kum zeminin (D_{max}:2mm) yükleme esnasında mikrogridin (gözenek açıklığı:4mm) gözeneklerine gireceğinden oluşacak olan kenetlenmeden meydana geldiği öngörülmektedir.

Model Ring Temel

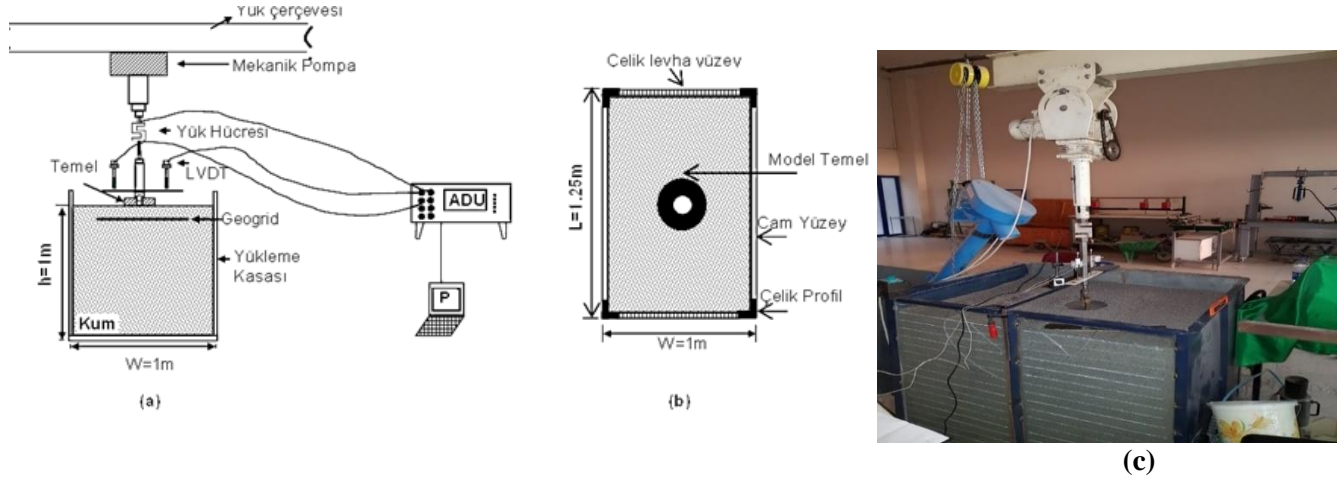
Ring temeller halka temeller olarak da adlandırılmaktadırlar. Laman ve Babacan (2004) tarafından ring temellerin üzerine yapılan deneysel çalışmada temel iç çapının dış çapına oranının optimum (r/R) değeri 0,29 olarak, teorik çalışma sonucunda ise 0,41 olarak bulunmuştur. Bu kaynak esas alınarak çalışmada ring temel için ölçüsünün dış ölçüsüne oranı 0,4 olarak seçilmiştir. Bu doğrultuda model boyutlarda temel dış çapı 20 cm, iç çapı ise 8 cm olan rijit bir metal plaka üretilmiştir (Şekil 1).

**Şekil 1.** Model Ring Temel

Deney Düzenegi

Deney düzenegi, yük çerçevesi, mekanik pompa, yük hücresi, deplasman ölçer ve deney kasasından oluşan bir yükleme düzenegidir. Kum zemin deney kasasına kademeler halinde eklenerek deney kasası doldurulmuştur. Kum

zemin üzerine terazi yardımıyla yüzeysel temel yatay olarak yerleştirilmiş ve yük çerçevesine bağlı bulunan mekanik pompaya bağlı basınç kolu vasıtasıyla temele yük uygulanmıştır. Uygulanan yük değeri yük hücresi tarafından, temeldeki oturmalar da deplasman ölçerler tarafından kaydedilerek veri işleme ünitesine aktarılmıştır. Bu şekilde yükleme yapılarak yük-oturma eğrileri elde edilmiştir. Deney düzeneğine ait kesit görünümü ve yükleme düzeneği Şekil 2’de yer almaktadır.



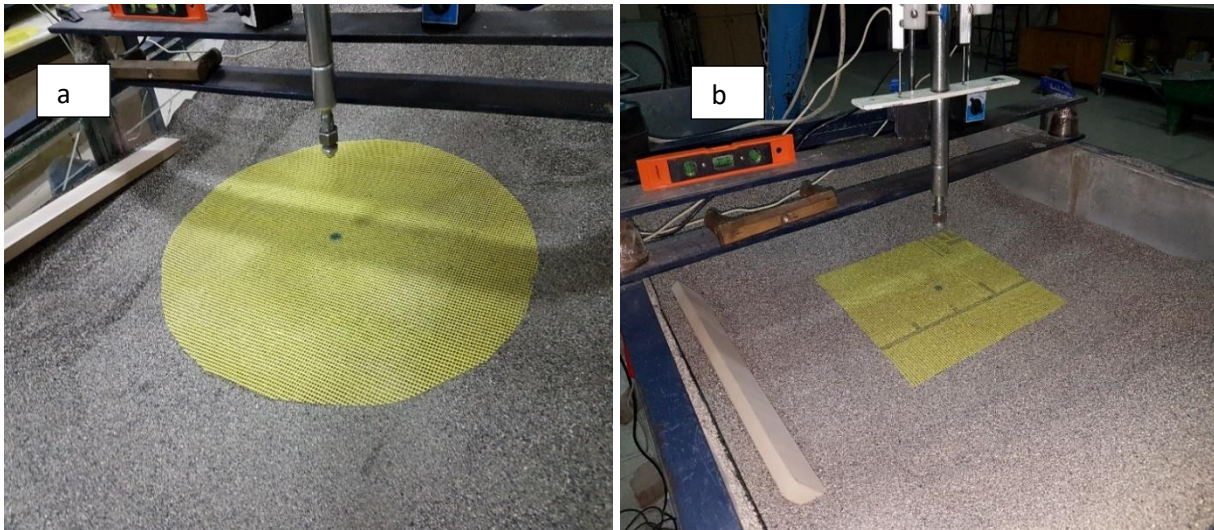
Şekil 2. (a) Deney Düzeneği Kesit Görünüş (b) Üstten Görünüş (c) Yükleme Düzeneği

Mikrogrid Donatı

Bu çalışmada mikrogrid olarak nitelendirilen elek açıklığı 4 mm olan çift eksenli çalışan geogrid donatı kullanılmıştır (Tablo 2). Mikrogrid donatılar, kare ve daire şeklinde kesilerek farklı çap ve genişliklerde kullanılmıştır (Şekil 3).

Tablo 2. Mikrogrid Donatının Özellikleri

Parametre	Değer
Cinsi	Polimer kaplamalı cam yünü
Elastisite modülü (kN/m)	40
Ağırlık (gr/m ²)	160
Elek açıklığı (mm)	4
Çalışma eksenleri	Çift



Şekil 3.a. Daire Kesitli Mikrogrid b. Kare Kesitli Mikrogrid

Deney Programı

Zemine yerleştirilen donatıların ilk donatı derinliği (u) ve çap (d) parametreleri değiştirilerek kare ve daire mikrogridler kullanılmış ve yük-oturma ilişkileri belirlenmiştir. Burada değişken parametreler olarak kabul edilen d ve u değerleri deneylerde kullanılan ring temel dış çapına (R=20 cm) bağlı olarak tanımlanmıştır. Deneyler seri setleri şeklinde yapıp yük ve oturma değerleri grafikler halinde çizilerek analiz edilmiştir. Model temel ve mikrogrid donatıların deney parametreleri aşağıda sunulmuştur (Tablo 3). Zeminlerde donatı etkisinin taşıma gücüne olan katkısını görmek ve hangi mertebelerde iyileştirme sağladığını belirleyebilmek amacıyla donatısız durumlar için de deneyler yapılmıştır.

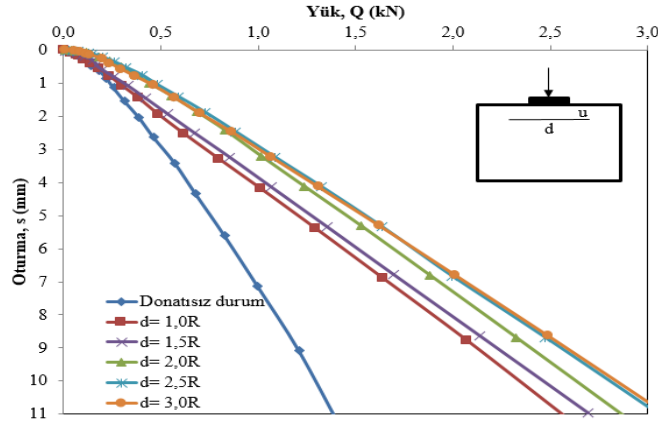
Tablo 3. Deney Programı

Seriler	Deney adı	Temel tipi	Donatı geometrisi	Donatı sayısı (N)	Donatı genişliği (d)	İlk donatı derinliği (u)
Seri 1	D1	Ring	Donatısız	-	-	-
	D2	Ring	Kare	1	1,0 R	0,2 R
	D3	Ring	Kare	1	1,5 R	0,2 R
	D4	Ring	Kare	1	2,0 R	0,2 R
	D5	Ring	Kare	1	2,5 R	0,2 R
	D6	Ring	Kare	1	3,0 R	0,2 R
	D7	Ring	Kare	1	1,0 R	0,4 R
	D8	Ring	Kare	1	1,5 R	0,4 R
	D9	Ring	Kare	1	2,0 R	0,4 R
	D10	Ring	Kare	1	2,5 R	0,4 R
	D11	Ring	Kare	1	3,0 R	0,4 R
	D12	Ring	Kare	1	1,0 R	0,6 R
	D13	Ring	Kare	1	1,5 R	0,6 R
	D14	Ring	Kare	1	2,0 R	0,6 R
	D15	Ring	Kare	1	2,5 R	0,6 R
	D16	Ring	Kare	1	3,0 R	0,6 R
Seri 2	D17	Ring	Daire	1	1,0 R	0,2 R
	D18	Ring	Daire	1	1,5 R	0,2 R
	D19	Ring	Daire	1	2,0 R	0,2 R
	D20	Ring	Daire	1	2,5 R	0,2 R
	D21	Ring	Daire	1	3,0 R	0,2 R
	D22	Ring	Daire	1	1,0 R	0,4 R
	D23	Ring	Daire	1	1,5 R	0,4 R
	D24	Ring	Daire	1	2,0 R	0,4 R
	D25	Ring	Daire	1	2,5 R	0,4 R
	D26	Ring	Daire	1	3,0 R	0,4 R
	D27	Ring	Daire	1	1,0 R	0,6 R
	D28	Ring	Daire	1	1,5 R	0,6 R
	D29	Ring	Daire	1	2,0 R	0,6 R
	D30	Ring	Daire	1	2,5 R	0,6 R
	D31	Ring	Daire	1	3,0 R	0,6 R

BULGULAR**Kare Kesitli Donatıların İlk Donatı Derinliği ve Donatı Çapı Analizi**

Gevşek kum zemine yerleştirilen kare kesitli mikrogrid donatının ilk donatı derinliği (u) ve donatı genişliği (d) değiştirilerek ayrı ayrı yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada ring kesitli model temeller kullanılmıştır.

Bu serideki (Seri 1) deneylerin ilk bölümünde zemine $0,2R$ kadar derinliğe yerleştirilen kare donatının genişliği (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı (kare donatıda donatı genişliği de denilebilir) araştırılmıştır (Şekil 4).

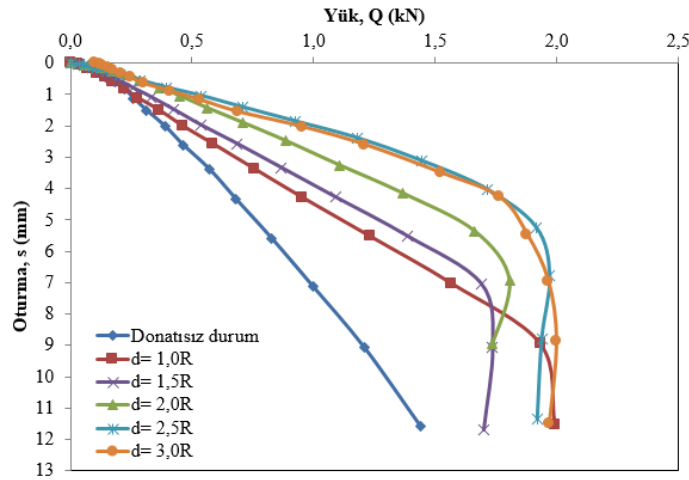


Şekil 4. Kare Donatı $u = 0,2R$ için Yük-Oturma Grafiği

Şekil 4'den donatı genişliği arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. Fakat donatı genişliği artışının $d > 2,5R$ olması durumunda taşıma gücüne katkısı azalmıştır. Dolayısıyla optimum donatı genişliği, kare kesitli mikrogridin $u=0,2R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Her bir deneyde göçme yükü (sınır taşıma gücü) temel dış çapının (20cm) $\%2,5$ 'ine eşdeğer deplasman ($5,0\text{mm}$) değerine karşılık gelen yük değeri olarak kabul edilmiştir (Briaud & Jeanjean, 1994; Örnek, 2009). Bu veriler ışığında göçme yükünün stabil hale geldiği yük değerini veren donatı konfigürasyonu optimum olarak kabul edilmiştir.

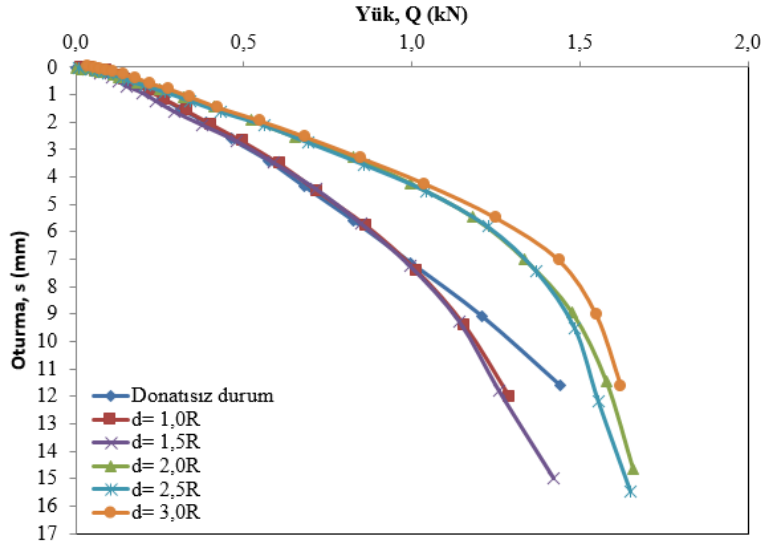
Bu serideki deneylerin ikinci bölümünde ilk donatı derinliğinin $u=0,4R$ olduğu durumda kare donatının genişliği (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı genişliği araştırılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Kare Donatı $u = 0,4R$ için Yük-Oturma Grafiği

Şekil 5'den donatı genişliği arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. Fakat $d=2,5R$ ve $d=3,0R$ durumlarında yaklaşık olarak aynı taşıma gücü değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Dolayısıyla optimum donatı genişliği, kare mikrogridin $u=0,4R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu serideki deneylerin üçüncü bölümünde ilk donatı derinliğinin $u=0,6R$ olduğu durumda kare donatının genişliği (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı genişliği araştırılmıştır (Şekil 6).

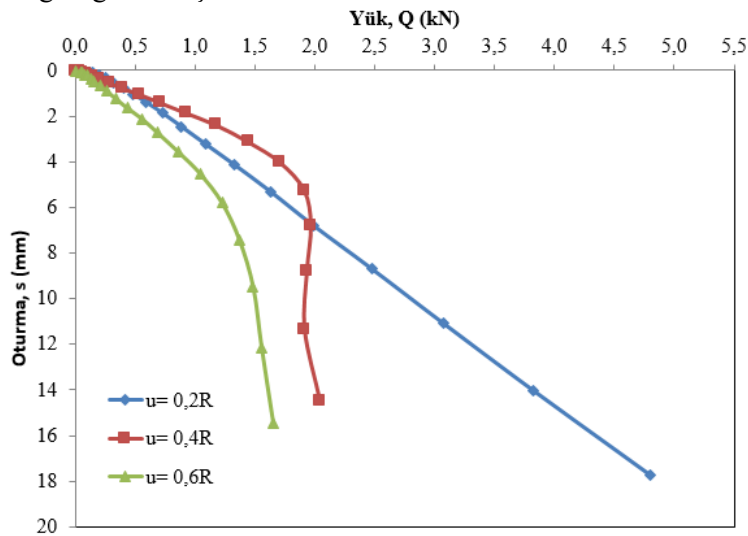


Şekil 6. Kare Donatı $u = 0,6R$ için Yük-Oturma Grafiği

Şekil 6'dan anlaşıldığı üzere, $d=1,0R$ ve $d=1,5R$ durumlarında ring temel taşıma kapasitesi, yaklaşık olarak donatısız durumdaki taşıma gücü değeri ile aynıdır. Donatı genişliği $d=2,0R$, $d=2,5R$ ve $d=3,0R$ durumlarında donatıların taşıma gücünü arttırdığı görülmüştür. Fakat yaklaşık olarak aynı taşıma gücü değerlerine ulaşıldığı görülmüştür. Dolayısıyla optimum donatı genişliği, kare mikrogrid $u=0,6R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,0R$ olacağı kanaatine varılmıştır.

Bu değerlendirmeler ($u=0,2R$; $u=0,4R$ ve $u=0,6R$) ışığında optimum donatı genişliği $d_{opt}=2,5R$ olarak kabul edilip sonraki deney etapları kurgulanmıştır.

Kare kesitli mikrogrid donatının donatı genişliği $2,5R$ olarak sabit tutularak ilk donatı derinliği $0,2R$; $0,4R$ ve $0,6R$ olacak şekilde yapılan deneylerden elde edilen eğriler grafiksel olarak karşılaştırılmıştır (Şekil 7). Sonuçlar, donatı genişliği $2,5R$ olarak sabit tutulduğunda kare kesitli mikrogridin optimum ilk donatı derinliği optimum değerinin $0,4R$ olarak kabul edilebileceğini göstermiştir.



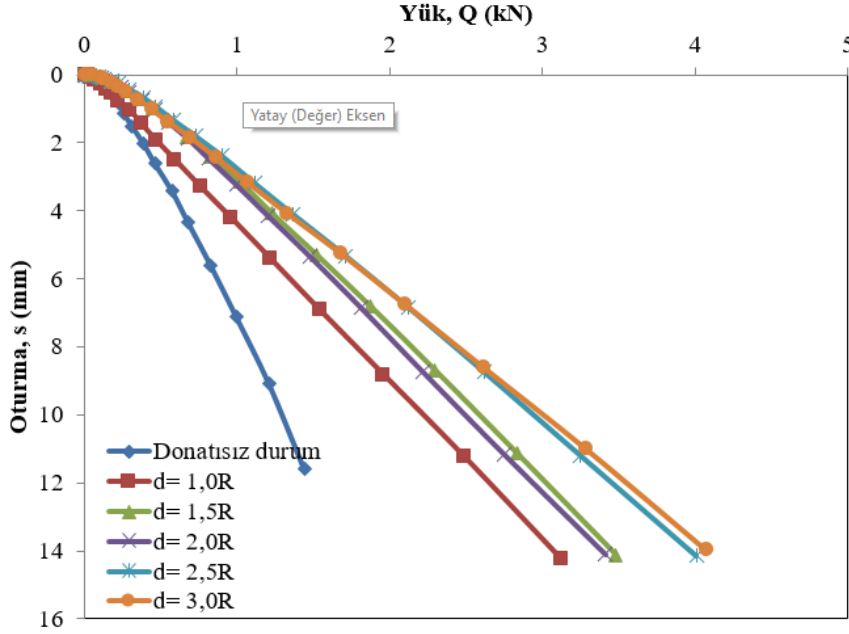
Şekil 7. Kare Donatı $d=2,5R$ için İlk Donatı Derinliğine Bağlı Yük-Oturma Grafiği

Özetle; model boyutlarda kare kesitli donatı ve ring temel kullanıldığı laboratuvar deneylerinde (Seri 1) optimum değerler $u_{opt}=0,4R$ ve $d_{opt}=2,5R$ olarak önerilmiştir.

Daire Kesitli Donatıların İlk Donatı Derinliği ve Donatı Çapı Analizi

Gevşek kum zemine yerleştirilen daire kesitli mikrogrid donatının ilk donatı derinliği (u) ve donatı çapı (d) değiştirilerek ayrı ayrı yükleme deneyleri yapılmıştır. Bu aşamada ring kesitli model temeller kullanılmıştır.

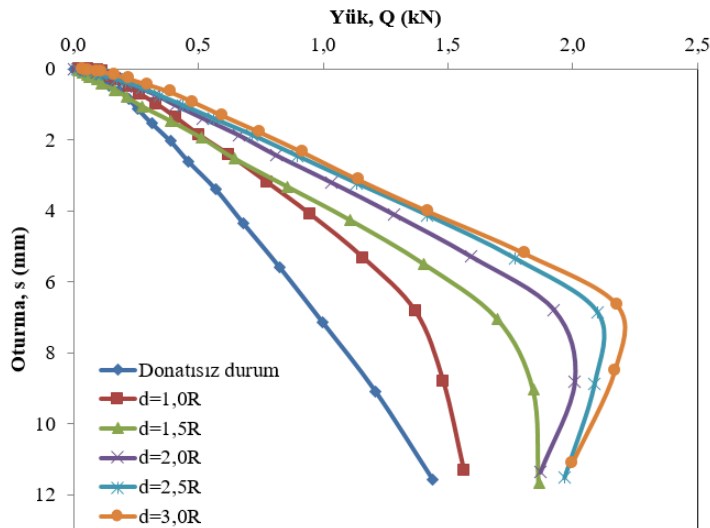
Bu serideki deneylerin ilk etabında ilk donatı derinliği $0,2R$ olan daire donatının çapı (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı (d_{opt}) araştırılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Daire Donatı $u=0,2R$ İlk Donatı Derinliği İçin Yük-Oturma Grafığı

Deney sonuçlarından, daire donatının çapı arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı belirlenmiştir. Optimum donatı çapı, daire mikrogridin $u=0,2R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu serinin ikinci etap deneylerinde ilk donatı derinliğinin $u=0,4R$ olduğu durumda daire kesitli donatının çapı (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı araştırılmıştır (Şekil 9).

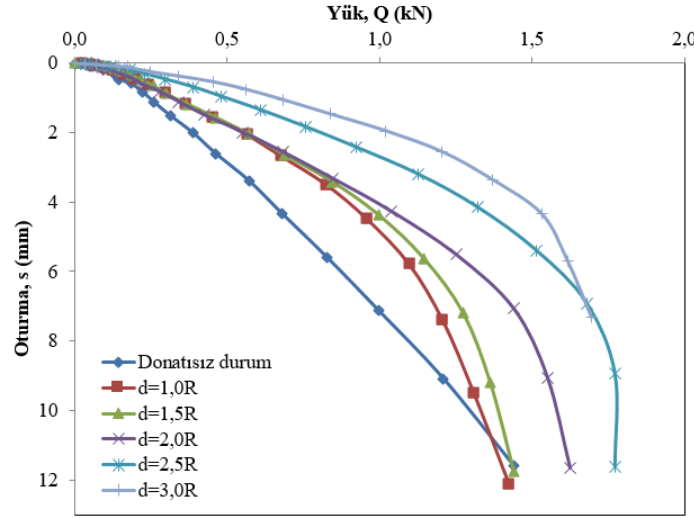


Şekil 9. Daire Donatı $u=0,4R$ İlk Donatı Derinliği İçin Yük-Oturma Grafığı

Deney sonuçlarından, daire donatının çapı arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir (Şekil 9). Ancak $d=2,5R$ ve $d=3,0R$ durumlarında yaklaşık olarak aynı taşıma gücü değerlerine ulaşıldığı

görülmüştür. Dolayısıyla optimum donatı çapı, daire mikrogridin $u=0,4R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu seri deneylerin üçüncü etabında ilk donatı derinliğinin $u=0,6R$ olduğu durumda daire donatının çapı (d), $1,0R$; $1,5R$; $2,0R$; $2,5R$ ve $3,0R$ olarak değiştirilerek beş farklı yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden elde edilen yük-oturma eğrileri grafik üzerinde karşılaştırılarak optimum donatı çapı (d_{opt}) araştırılmıştır (Şekil 10).

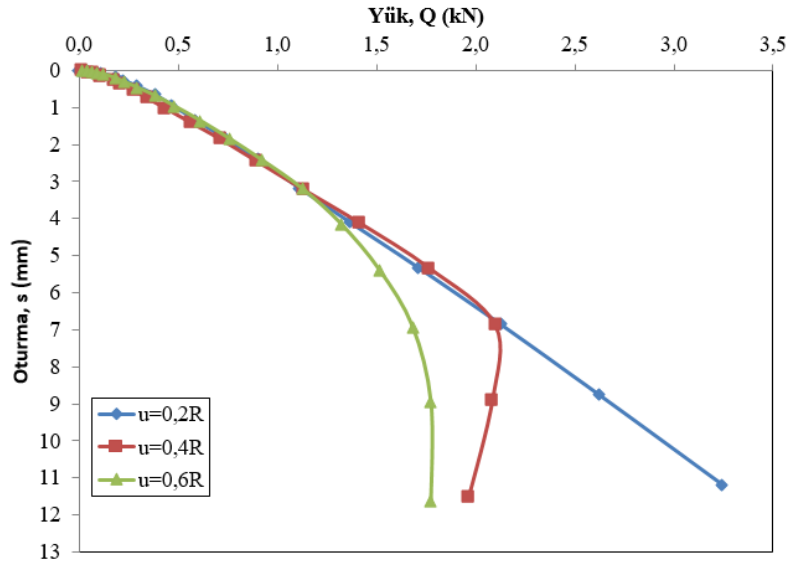


Şekil 10. Daire Donatı $u=0,6R$ İlk Donatı Derinliği İçin Yük-Oturma Grafiği

Şekil 10'dan, donatı çapı arttıkça ring temelin yük taşıma kapasitesinin de arttığı tespit edilmiştir. Optimum donatı çapı, daire mikrogridin $u=0,6R$ derinliğe yerleştirilmesi durumunda $d_{opt}=2,5R$ olarak belirlenmiştir.

Bu değerlendirmeler ($u=0,2R$; $u=0,4R$ ve $u=0,6R$) esas alınarak optimum donatı genişliği $d_{opt}=2,5R$ şeklinde kabul edilip sonraki deney süreci planlanmıştır.

Daire kesitli mikrogrid donatının çapı $2,5R$ olarak sabit tutularak ilk donatı derinliği $0,2R$, $0,4R$ ve $0,6R$ olacak şekilde yapılan deneylerden elde edilen eğriler grafik olarak sunulmuştur (Şekil 11).



Şekil 11. Daire Donatı $d=2,5R$ İçin İlk Donatı Derinliğine Bağlı Yük-Oturma Grafiği

Donatı çapı $d=2,5R$ olarak sabit tutulduğunda genel olarak ilk donatı derinliği arttıkça taşıma gücünde azalma olduğu görülmüştür. İlk donatı derinliği $u=0,4R$ olduğu durumlarda diğer durumlara göre biraz daha fazla taşıma gücü değerleri elde edilmiştir. Ancak bu ihmal edilecek kadar az olduğundan dolayı optimum ilk donatı derinliği $u_{opt}=0,2R$ olarak kabul edilmiştir.

Özetle; model boyutlarda daire kesitli donatı ve ring temelin kullanıldığı laboratuvar deneylerinde (Seri 2) optimum değerler $u_{opt}=0,2R$ ve $d_{opt}=2,5R$ olarak önerilmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada kare ve daire kesitli mikrogrid donatı ile güçlendirilmiş gevşek kum zemine oturan ring temellerin aksel basınç yükü altındaki davranışı 30 adet laboratuvar deneyi ile analiz edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgulardan çıkarılan sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Seri 1'deki deney sonuçları incelendiğinde donatı genişliği arttıkça taşıma gücünde de artış gerçekleşmiştir ancak tüm donatı derinliklerinde $d=2,5R$ değerinden sonra artış gerçekleşmediğinden dolayı optimum değer $d_{opt}=2,5R$ olarak tespit edilmiştir. Üç farklı derinliğe yerleştirilen donatılar için optimum donatı derinliğinin $u_{opt}=0,4R$ olduğu görülmüştür.

Seri 2'deki deney sonuçları incelendiğinde de donatı çapı arttıkça taşıma gücünde de artış gerçekleşmiştir ancak tüm donatı derinliklerinde $d=2,5R$ değerinden sonra artış gerçekleşmediğinden dolayı optimum değer $d_{opt}=2,5R$ olarak tespit edilmiştir. Üç farklı derinliğe yerleştirilen donatılar için optimum donatı derinliğinin $u_{opt}=0,2R$ olduğu görülmüştür.

Her iki donatı geometrisi için de optimum donatı çapı/genişliği değeri $2,5R$ olarak tespit edilmesine rağmen daire donatı yerleşiminde ki ilk donatı derinliğinin kare donatı değerinden farklı olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere yerleştirilecek donatının geometrisinin ilk donatı derinliği seçiminde önemli bir parametre olduğu açıktır.

Çalışma özelinde geogridlerin kötü derecelenmiş kuru kum zeminlerde taşıma gücünün artırılması için kullanılabilmesi ve önemli artışlar sağlayabileceği laboratuvar ölçeğinde yapılan model deneyler sonucunda ortaya konmuştur. Deneysel sonuçların büyük ölçekli arazi deney sonuçları ile karşılaştırılıp temel-donatı ölçeğinde bir korelasyon elde edilmek suretiyle gerçek uygulamalarda geogrid donatılarının taşıma gücü performansı hakkında bir fikir sahibi olunmasında faydalı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdolhosseinzadeh, A., Samui, P., Samaei, M., & Garousi, A. (2022). Numerical analysis of bearing capacity of circular footing reinforced with geogrid layers. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(8), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10030-8>
- Anıl, O., Akbaş, S. O., Babagiray, S., Gel, A. C., & Durucan, C. (2017). Experimental and finite element analyses of footings of varying shapes on sand, *Geomech. Eng.*, 12(2), 223-238. <https://doi.org/10.12989/gae.2017.12.2.223>
- Binquet, J., & Lee, K. L. (1975). Bearing Capacity Tests on Reinforced Earth Slabs, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101(12), 1242-1255, 1975. <https://trid.trb.org/view/36761>
- Boushehrian, J.H. & Hataf, N. (2003). Experimental and numerical investigation of the bearing capacity of model circular and ring footings on reinforced sand, *Geotext. Geomembranes*, 21(4), 241-256. [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(03\)00029-3](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(03)00029-3)
- Briaud, J.L., & Jeanjean, P. (1994). Load settlement curve method for spread footings on sand. Vertical and Horizontal Deformations of Foundations and Embankments, *ASCE*, Vol. 2:1774-1804. <https://trid.trb.org/view/450797>
- Davarcı, B. (2014). Geogrid donatılı gevşek kum zemine oturan çok kenarlı yüzeysel temellerin deneysel analizi. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Hatay.
- Demiröz, A. (2008). Geogrid donatılı kum zemine oturan sürekli temellerde taşıma gücünü etkileyen tasarım faktörlerinin deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Konya. 2008
- El Sawwaf, M., & Nazir, A. (2012). Behavior of eccentrically loaded small-scale ring footings resting on reinforced layered soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(2), 376-384. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000593](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000593)

Kadhun, M. Q., & Albusoda, B. S. (2021). A review on the performance of ring foundations resting on reinforced and unreinforced soil. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 1105, No. 1, p. 012086). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1105/1/012086>

Kirtimayee, B., & Samadhiya, N. K. (2022). Performance of loosely skirted shallow foundation resting on reinforced sand under vertical loading. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 8(1), 1-17. <https://doi.org/10.1007/s40891-022-00359-1>

Laman, M., & Babacan, Ş. D. (2004). Donatılı kum zemin üzerine oturan ring (halka) temellerin analizi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 19(2), 282-287. <https://doi.org/10.21605/cukurovaummfd.242816>

Moayed, R.Z., Rashidian, V., & Izadi, E. (2012), Evaluation on bearing capacity of ring foundations on two-layered soil, *World Acad. Sci. Eng. Technol.*, 61, 954-958. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1329410>

Rowshanzamir, M. A., & Karimian, M. (2016). Bearing capacity of square footings on sand reinforced with dissimilar geogrid layers. *Scientia Iranica A*. 23(1), 36-44. <https://doi.org/10.24200/SCI.2016.2095>

Örnek, M. (2009). Yumuşak kil zeminlerin geogrid donatı ile güçlendirilmesi. Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı. Adana.

Sargazi, O., & Hosseininia, E.S. (2017). Bearing capacity of ring footings on cohesionless soil under eccentric load. *Comput. Geotech.*, 92, 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.08.003>.

Shende, R. P., Swarnkar, D. C., & Singh, A. K. (2022). Numerical analysis of ring foundation fixed with geogrid. In *Dynamics of Soil and Modelling of Geotechnical Problems* (pp. 111-121). Springer, Singapore.