

GEOCELL İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KOHEZYONSUZ ZEMİNLERDE ŞERİT TEMELLERİN ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE INTERACTION OF GEOCELL REINFORCED STRIP FOUNDATIONS ON COHESIONLESS SOILS

Ferhat KARATAŞ¹, Ayhan GÜRBÜZ², Kaan YÜNKÜL³, Sarper DEMİRDÖĞEN⁴

ÖZET

Yapılan bu çalışma kapsamında kohezyonsuz zeminlerde güçlendirilmemiş ve geocell ile güçlendirilmiş birbirine yakın iki sığ şerit temellerin etkileşimi, laboratuvar ortamında deneysel olarak incelenmiştir. İki temelin merkezleri arası uzaklığın (Δ); temellerin taşıma kapasiteleri ve yük deplasman davranışları üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile, temeller arası mesafenin temel genişliğine (B) oranı, 1 ile 5 arasında değişen altı farklı değer deneysel çalışmada tercih edilmiştir. Ayrıca, temeler arası izole durumun temsil edilmesi için tekil temeller ile de deneyler yapılmıştır. En yüksek taşıma gücünün güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş durumda $\Delta/B=1,5$ konumunda olduğu; $\Delta/B=5$ konumundaki iki şerit temelin taşıma gücünün yaklaşık olarak tekil temelin taşıma gücüne eşit olduğu gözlemlenmiştir. Birbirlerine yakın şerit temellerin geocell ile güçlendirilme sonucunda taşıma güçleri, güçlendirilmemiş tekil temel ile kıyaslandığında uzaklık oranına bağlı olarak 4,8-8,4 kat artış göstermiştir. Temellerin geocell ile güçlendirilmesi sonucunda; güçlendirilmemiş durumda görülen genel kayma yenilmesi davranışının yerel kayma yenilmesine ötelenmesi ve yenilmenin gözlemlendiği oturma oranı değerlerinin artması da elde edilen bir diğer sonuçtur.

Anahtar Kelimeler: Geocell, Temeller arası etkileşim, Geosentetik, Taşıma gücü

ABSTRACT

In this study, the interaction of two closely spaced shallow strip foundations under unreinforced and geocell-reinforced conditions on cohesionless soil was experimentally investigated in a laboratory environment. Six different distance ratios (Δ/B) ranging from 1 to 5 were used to investigate the effects of the distance between the centers of the two foundations (Δ) on their bearing capacity, load-displacement behavior. Additionally, experiments were conducted with single foundation to represent the isolated condition between the foundations. It was observed that the highest bearing capacity was at $\Delta/B=1.5$

¹ Yüksek Lisans Öğrencisi, Gazi Üniversitesi, ferhat.karatas@gazi.edu.tr (Sorumlu yazar)

² Prof. Dr, Gazi Üniversitesi, agurbuz@gazi.edu.tr

³ Dr, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Tokat, Türkiye, kaanyunkul@gmail.com

⁴ Doktora adayı, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, sarper.demirdogen@gazi.edu.tr

in both unreinforced and reinforced conditions, and the bearing capacity of two strip foundations at $\Delta/B=5$ was approximately equal to that of a single foundation. The bearing capacities of closely spaced strip foundations reinforced with geocell increased by 4.8 to 8.4 times, depending on the distance ratio, compared to an unreinforced single foundation. Reinforcing the foundations with geocell resulted in a shift from the general shear failure behavior observed in the unreinforced condition to local shear failure and an increase was noted in the settlement ratio values at which failure occurred.

Keywords: Geocell, Interference between footings, Geosynthetics, Bearing capacity

1. GİRİŞ

Hızlı kentleşme, nüfus artışı ve mevcut inşaat alanlarının kısıtlı olması nedeniyle çeşitli yapıların yakın mesafelerde inşa edilmesine neden olmaktadır. Temellerin birbirlerine yakın inşa edilmesi sonucunda oluşacak olan yenilme yüzeyleri etkileşim haline girecek ve bu durum, temellerin hem taşıma gücü hem de oturma davranışlarını etkileyecektir. Temel tasarımlarında genellikle göz ardı edilse de temeller arası etkileşimin dikkate alınmadığı durumlarda yapılan nihai taşıma kapasitesi hesaplamaları inşaat mühendisleri için ekonomik olmamaktadır.

Sığ temeller arası etkileşim ilk olarak Stuart (1962) tarafından laboratuvar çalışmaları ile incelenmiştir. Araştırmacı, temellerin merkezleri arası uzaklığın (Δ) zeminin mukavemetine ve temelin özelliklerine bağlı olarak, temel genişliğinin 3,5-6 katı olduğu durumlarda; temellerde oluşacak pasif zonların etkileşim halinde olamayacağını ve temellerin nihai taşıma kapasitelerinin tek temele eşit olduğunu gözlemlemiştir. Temellerin merkezleri arası uzaklığın azalmasına bağlı olarak; her iki temelde oluşan pasif ve radyal zonların etkileşimi artış gösterir. Temellerin yan yana konumlandırılması durumunda taşıma güçlerinin iki temelin taşıma gücüne eşit olacağını belirten Stuart (1962), temellerin merkezleri arası mesafenin yaklaşık temel genişliğinin 1,2-2 katı olması durumunda blok etkisi meydana gelir ve bu durumda temellerin taşıma gücü maksimum olur. Stuart (1962) geleneksel taşıma gücü eşitlikleri etkileşim faktörleri ile modifiye ederek birbirlerine yakın temeller etkileşimini açıklamaya çalışmıştır (Eş 1).

$$q_{ult} = cN_c\xi_c + qN_q\xi_q + 0,5B\gamma N_\gamma\xi_\gamma \quad (1)$$

Burada; q_{ult} temelin nihai taşıma gücünü, c kohezyonu, q sürşarjı, B temel genişliğini, N_c, N_q, N_γ taşıma gücü faktörlerini, ξ_c, ξ_q, ξ_γ etkileşim faktörlerini simgelemektedir.

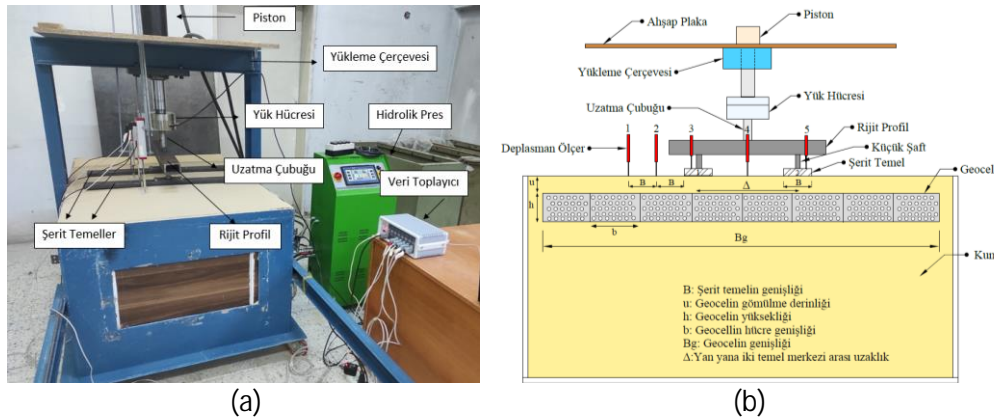
Birçok araştırmacı (Das ve Larbi-Cherif, 1983; Lavasan vd. 2017; Biswas ve Ghosh, 2018; Gupta ve Sitharam 2020) tarafından sığ temellerin etkileşimi deneysel, nümerik ve teorik çalışmalar ile incelenmektedir. Araştırmacılar temelin geometrik şeklinin, zemin türünün, zeminin mukavemet özelliklerinin, temelin pürüzlülüğünün ve temelin en boy oranının maksimum taşıma gücünün görüldüğü temeller arası uzaklık ve etkileşim faktörleri üzerinde etkili olduğunu raporlamışlardır.

Geosentetikler, temellerin taşıma gücünü artırmak, üniform ve farklı oturmaları azaltmak amacı ile tercih edilen donatı malzemesidir. Bu nedenle düzlemsel geosentetik malzemeler

ile güçlendirilmiş birbirlerine yakın sığ temellerin performansları yaklaşık otuz yıldır araştırılmaktadır (Kumar and Saran 2003; Ghazavi and Lavasan 2008; Naderi and Hataf 2014). Buna rağmen üç boyutlu arı peteği yapısı ile diğer geosentetik malzemelerden taşıma gücü artırma ve temel oturması azalma performansı yüksek olan geocell malzeme ile güçlendirilmiş birbirlerine yakın temellerin etkileşimi ile ilgili çalışmalar literatürde oldukça sınırlıdır. Bu yüzden, geocell ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş birbirlerine yakın sığ temellerin merkezleri arası uzaklıklarını; yük deplasman performansı, taşıma gücü ve etkileşim faktörü üzerinde etkisi araştırılmıştır.

2. LABORATUVAR MODEL TESTİ

Deneyel çalışma Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan 1000 mm genişliğinde, 1500 mm uzunluğunda ve 700 mm yüksekliğinde test tankında gerçekleştirilmiştir. Şerit temelleri temsil etmek amacı ile 80 mm genişliğinde ve 800 mm uzunluğunda iki adet çelik profil kullanılmıştır. Birbirlerine yakın şerit temellere yükü eşit olarak iletmek için 80 mm × 160 mm uzunluğunda dikdörtgen plakalar kullanılarak şafta bağlanmıştır. İki küçük şaft, çeşitli aralık mesafelerine (Δ) izin vermek için farklı deliklere sahip rijit bir profile bağlanmıştır. Yük uzatma çubuğundan rijit çelik profile aktarılmıştır. Deney sistemi Şekil 1'de sunulmuştur. Temellerdeki oturma miktarının ölçülmesi için deplasman ölçerler, temellerde meydana gelen gerilmelerin tayini için yük hücresi ve bu ölçüm aletlerinden gelen verilerin aktarılması için veri toplayıcı kullanılmıştır. Temellere verilen yük için ise hidrolik pres kullanılmıştır.



Şekil 1. Deney sistemi; (a): gerçek gösterim, (b): şematik gösterim

Dolgu zemini olarak %70 rölatif sıkılığa sahip kötü derecelendirilmiş (SP) kum kullanılmıştır. Kumun kesme kutusu deneyleri ile elde edilen içsel sürtünme açısı değeri 35° , özgül ağırlığı 2.63, maksimum ve minimum boşluk oranları ise sırası ile 0,835 ve 0,57 olarak belirlenmiştir. İstenilen rölatif sıkılığın elde edilmesi için 100 mm kalınlığında kum tabakasına 150 mm yükseklikten kum yağmurlaması yapılmıştır ve işleminden sonra 250 mm × 250 mm ebadındaki tokmak ile sıkıştırılmıştır.

Yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) malzemedan üretilen, ultrasonik kaynaklı, delikli 3D petek şekilli geocell malzeme, geocell ile güçlendirilmiş deneylerde kullanılmıştır. Malzemenin nihai çekme dayanımı 18 kN/m ve %2 birim şekil değiştirmedeki çekme rijitliği

ise 450 kN/m olarak belirlenmiştir. Kullanılan geocell malzemenin hücre genişliği ve uzunluğu 160 mm ve yüksekliği 100 mm'ye eşittir.

3. DENEY PROGRAMI

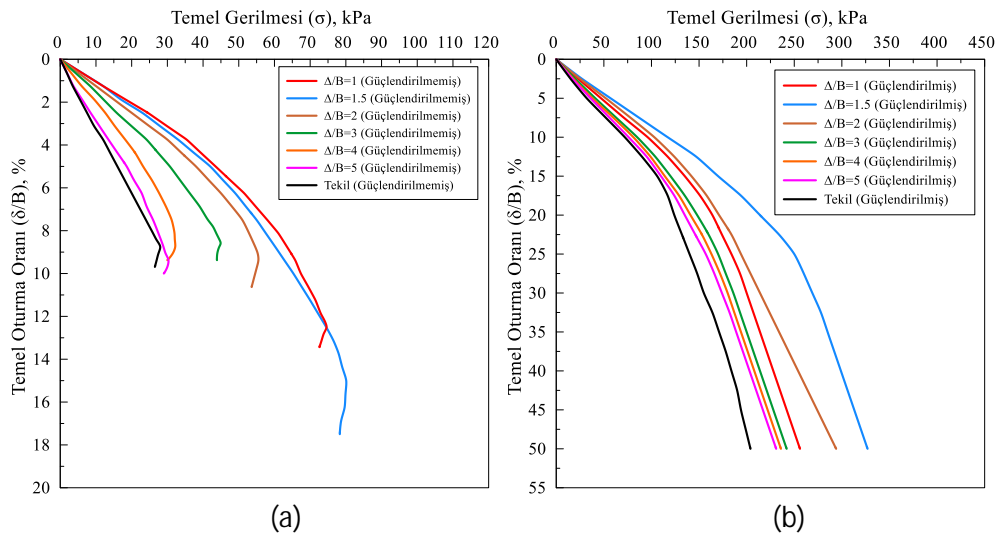
Geocell ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş birbirlerine yakın sığ temellerin etkileşiminin incelenmesi amacı ile yapılan deneysel çalışmanın programı Tablo 1'de verilmiştir. Yapılan çalışmada; geocellin gömülme oranı (u/B), genişlik oranı (Bg/B), yükseklik oranı (h/B) ve hücre oranı (b/B) sırası ile 0,1, 16, 1,25 ve 2 alınmıştır. Bu değerler geocell ile güçlendirilmiş tekil temeller için optimum tasarım parametreleridir (Dash vd., 2001; Gürbüz ve Mertol, 2012; Demirdöğen vd., 2024a, 2024b).

Tablo 1. Deneysel programı

Deneysel no	Temel türü	Test türü	Uzaklık oranı (Δ/B)
1	Tekil	Güçlendirilmemiş	-
2	Tekil	Güçlendirilmiş	-
3	iki temel	Güçlendirilmemiş	1, 1,5, 2, 3, 4, 5
4	iki temel	Güçlendirilmiş	1, 1,5, 2, 3, 4, 5

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Güçlendirilmemiş ve geocell ile güçlendirilmiş birbirine yakın sığ temellerin ve tekil temellerin temel gerilmesi-oturma oranı ($\sigma-\delta/B$) grafikleri Şekil 2'de verilmiştir. Güçlendirilmemiş koşullarda pik bir yenilme gerilmesi görülmüştür ve bu durum genel kayma yenilmesinin meydana geldiğini göstermektedir. Fakat temellerin geocell ile güçlendirilmesi sonucunda yenilme modu genel kayma yenilmesinden lokal kayma yenilmesine ötelenmiştir ve yenilmenin gerçekleştiği oturma oranı değerleri artış göstermiştir. Ayrıca güçlendirilmemiş durumda oluşan yüzey kabarmaları geocell ile güçlendirilmiş deneyleri meydana gelmemiştir. Bu durumun nedeninin geocellin üç boyutlu arı peteği yapısından dolayı zeminin hareketini sınırlandırması ve bu durum sonucunda geocell duvarlarında çevre basıncının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



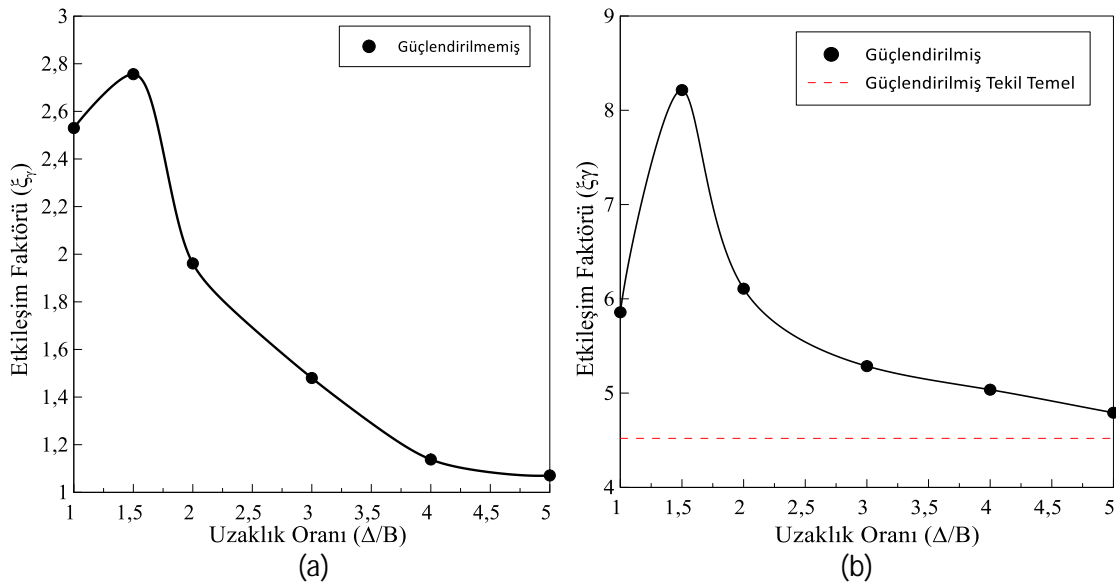
Şekil 2. Temel gerilmesi-oturma oranı grafikleri; (a): güçlendirilmemiş durum, (b): güçlendirilmiş durum

Yapılan deneysel çalışmada temelin gömülme derinliği 0 m ve zeminin kohezyonsuz olmasından kaynaklı olarak ξ_c ve ξ_r değerleri incelenmemektedir. Sadece ξ_γ değerleri hesaplanabilmektedir. Güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş durumları için ξ_γ değerleri sırası Eş. 2 ve Eş. 3 ile hesaplanmaktadır.

$$\xi_\gamma = \frac{q_{ult(int)un}}{q_{ult(s)un}} \quad (2)$$

$$\xi_\gamma = \frac{q_{ult(int)r}}{q_{ult(s)un}} \quad (3)$$

Burada $q_{ult(int)un}$ güçlendirilmemiş birbirleri ile etkileşimi olan temellerin taşıma gücünü, $q_{ult(s)un}$ güçlendirilmemiş tekil temelin taşıma gücünü ve $q_{ult(int)r}$ ise geocell ile güçlendirilmiş birbirleri ile etkileşimi olan temellerin taşıma gücünü simgelemektedir.



Temellerin birbirleri ile etkileşimi ve blok etkisinden dolayı, birbirlerine yakın sığ temellerin taşıma gücü değerlerinin tekil temellerden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Hem güçlendirilmiş hem de güçlendirilmemiş durumlarda, taşıma gücünün maksimum olduğu uzaklık oranı değeri 1,5 olarak elde edilmiştir. Uzaklık oranının 5'e eşit olması durumunda ise elde edilen taşıma gücü değerlerinin neredeyse tekil teme eşit olduğu görülmüştür (Şekil 2 ve Şekil 3). Temellerin geocell ile güçlendirilmesi durumunda ise etkileşim faktörü değerleri 4.8-8.4 arasında değişim göstermektedirler. Literatürde geleneksel düzlemsel geosentetik malzemelerin donatı olarak kullanıldığı çalışmalar ile karşılaştırıldığında (Kumar and Saran 2003; Ghazavi and Lavasan 2008; Naderi and Hataf 2014) geocellin daha üstün bir performans gösterdiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada güçlendirilmemiş ve geocell ile güçlendirilmiş birbirlerine yakın temellerin merkezleri arası uzaklığın performansları üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Laboratuvar deneylerinden elde edilen bulgular, temel gerilmesi-oturma oranı tepkileri ve etkileşim faktörü (ξ_γ) açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Temellerin geocell ile güçlendirilmesi sonucunda yenilme modları genel kayma yenilmesinden lokal kayma yenilmesine ötelenmiştir. Bu durumun nedeni geocellin üç boyutlu arı peteği yapısı ile zeminin hareketini sınırlandırmasıdır.
- Geocell ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş durumlarda taşıma gününün maksimum görüldüğü uzaklık oranı 1.5 iken; uzaklık oranı 5'e eşit olması durumunda taşıma gücü değerleri ve temel gerilmesi-oturma oranı davranışı nerede ise tekil temele benzer bir davranış sergiler.
- Güçlendirilmemiş durumda etkileşim faktörü değerleri 1.1 ile 2.8 arasında değişim gösterirken; geocell ile güçlendirilme sonucunda etkileşim faktörü değerleri 4.8 ile 8.4 arasında değişim göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Biswas, N., Ghosh, P. (2018), "Interaction of Adjacent Strip Footings on Reinforced Soil Using Upper-Bound Limit Analysis", Geosynthetics International, Vol 25, 599-611.
- Das, B.M., Larbi-Cherif, S., (1983), "Bearing Capacity of Two Closely-Spaced Shallow Foundations on Sand", Soils and Foundations, Vol 23, 1-7.
- Dash, S.K., Krishnaswamy, N.R., Rajagopal, K. (2001), "Bearing Capacity of Strip Footings Supported on Geocell-Reinforced Sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol 19, 235-256.
- Demirdöğen, S., Gürbüz, A., & Yüncül, K. (2024), "3D-printed geocells in footing systems: A comprehensive physical and numerical studies on scaling and performance under centric and eccentric loading scenarios", Transportation Geotechnics, Vol 45, 101214.
- Demirdöğen, S., Gürbüz, A., & Yüncül, K. (2024), "Performance of eccentrically loaded strip footings on geocell-reinforced soil", Geotextiles and Geomembranes, Vol 52, 421-434.
- Ghazavi, M., Lavasan, A. A. (2008), "Interference Effect of Shallow Foundations Constructed on Sand Reinforced with Geosynthetics", Geotextiles and Geomembranes, Vol 26, 404-415.
- Gupta, A., Sitharam, T.G. (2020), "Experimental and Numerical Investigations on interference of Closely Spaced Square Footings On Sand", International Journal of Geotechnical Engineering, Vol 14, 142-150.
- Gürbüz, A., Mertol, H.C. (2012), "Interaction Between Assembled 3D Honeycomb Cells Produced from High Density Polyethylene and a Cohesionless Soil", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol 31, 828-836.
- Kumar, A., Saran, S. (2003), "Closely Spaced Footings on Geogrid-Reinforced Sand", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering, Vol 129, 660-664.
- Lavasani, A. A., Ghazavi, M., Schanz, T. (2017), "Analysis of Interfering Circular Footings on Reinforced Soil by Physical and Numerical Approaches Considering Strain-Dependent Stiffness", International Journal of Geomechanics, Vol 17, 04017096.

Naderi, E., Hataf, N. 2014. "Model Testing and Numerical Investigation of Interference Effect of Closely Spaced Ring and Circular Footings on Reinforced Sand", Geotextiles and Geomembranes, Vol 42, 191-200.

Stuart, J.G. (1962), "Interference Between Foundations, with Special Reference to Surface Footings in Sand", Geotechnique, Vol 12, 15-22.

SEMBOL LİSTESİ

Sembol	Açıklama	Sembol	Açıklama
B	Temelin genişliği	$q_{ult(int),r}$	güçlendirilmiş birbirleri ile etkileşimi olan temellerin taşıma gücü
q_{ult}	Temelin taşıma gücü	Δ/B	Uzaklık oranı
$q_{ult(int),un}$	güçlendirilmemiş birbirleri ile etkileşimi olan temellerin taşıma gücü	ξ_{γ}	Etkileşim faktörü
$q_{ult(s),un}$	güçlendirilmemiş tekil temelin taşıma gücü		