Yumuşak kil Zeminlerde E-Gabion Uygulaması (Yeni Yaklaşım)

Ahmed MUHAMMED[1] Ahmet Şahin Zaimoğlu[2] Fatih ARTUK [3]*

[1] Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi / Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Erzurum, Türkiye.

***ORCID:** 0009-0009-9595-3923*

[2]Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi / Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Erzurum, Türkiye.

***ORCID:** 0000-0001-5245-0212*

[3]Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi / Fen Bilimler Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Erzurum, Türkiye.

***ORCID:** 0000-0003-4798-9277*

***Sorumlu Yazar:** ahmed.muhammed20@ogr.atauni.edu.tr*

ÖZET

Bu çalışma, yumuşak kil zeminlerin iyileştirilmesinde elektronik atıklardan elde edilen plastik malzemelerle doldurulmuş Gabion kolon (E-Gabion) sisteminin kullanımını ve performansını incelemektedir. Deneysel çalışmalar kapsamında, 30 cm çapında ve 30 cm yüksekliğindeki silindirik bir model tank içerisinde CH sınıfı yüksek plastisiteli kil zemin kullanılmıştır. İyileştirme elemanı olarak 2,5 cm çapında, çelik tor içerisine 1-2 mm dane boyutuna sahip e-atık plastikleri yerleştirilerek oluşturulan E-Gabion kolonlar kullanılmıştır. Çalışmada özellikle üçgen yerleşim düzeninde, S/D=2 ve S/D=2,5 oranlarının zemin taşıma kapasitesi ve oturma davranışı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, E-Gabion kolonların yumuşak kil zeminlerin taşıma kapasitesini (BCR) önemli ölçüde artırdığını ve oturma miktarlarını azalttığını göstermiştir. Bu yöntem, hem geoteknik mühendisliği için alternatif bir iyileştirme tekniği sunmakta hem de elektronik atıkların yeniden ekonomiye kazandırılmasıyla çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: E-Gabion kolon, elektronik atık plastiği (E-atık), zemin iyileştirme, taşıma kapasitesi oranı (BCR), oturma.

ABSTRACT

This study investigates the use and performance of an E-Gabion column system filled with plastic materials obtained from electronic waste (e-waste) for the improvement of soft clay soils. Within the scope of the experimental program, CH-type high-plasticity clay was used in a cylindrical model tank with a diameter of 30 cm and a height of 30 cm. As a ground improvement element, E-Gabion columns with a diameter of 2.5 cm were constructed by placing e-waste plastic particles with a grain size of 1–2 mm inside steel wire mesh cages. The study specifically examined the effects of triangular column arrangements with spacing ratios of S/D = 2 and S/D = 2.5 on the bearing capacity and settlement behavior of the soil. The results demonstrated that E-Gabion columns significantly increased the Bearing Capacity Ratio (BCR) of soft clay soils while reducing settlement. This method not only offers an alternative ground improvement technique for geotechnical engineering applications but also contributes to environmental sustainability through the recycling and reuse of electronic waste materials.

Keywords: E-Gabion column, electronic waste plastic (e-waste), ground improvement, Bearing Capacity Ratio (BCR), settlement.

GİRİŞ

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin yetersiz olduğu durumlarda, yapıların güvenli ve ekonomik bir şekilde inşa edilebilmesi için çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri uygulanmaktadır. Özellikle yüksek sıkışabilirlik, düşük taşıma gücü ve fazla oturma potansiyeline sahip yumuşak kil zeminler, geoteknik mühendisliğinde önemli problemler oluşturmaktadır. Bu tür zeminlerde taşıma gücünün artırılması ve oturmaların azaltılması amacıyla taş kolon uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Taş kolonlar, zeminin rijitliğini artırarak yüklerin daha

geniş bir alana yayılmasını sağlamakta, aynı zamanda drenaj özelliği sayesinde konsolidasyon sürecini hızlandırmaktadır.

Taş kolonların davranışına ilişkin çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Han ve Ye (2002), taş kolon sistemlerinin konsolidasyon davranışını analitik yöntemlerle inceleyerek tasarım süreçlerinde kullanılabilecek teorik bir model geliştirmiştir. Ambily ve Gandhi (2007) ise laboratuvar deneyleri ve sonlu elemanlar analizleri ile taş kolon davranışını araştırmış ve sayısal sonuçların deneysel verilerle uyumlu olduğunu göstermiştir. Şahinkaya (2016), yüzen taş kolonların yumuşak zeminlerde taşıma gücünü önemli ölçüde artırdığını ve kolon çapı ile uzunluğunun performans üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymuştur. Daha yakın tarihli çalışmalarda Nazariafshar vd. (2017), geogrid donatılı granüler şilteler ve geotekstil sargılı taş kolonların taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırdığını belirtirken; Çadır (2023) ve Tüter (2023), geosentetik sargılı taş kolonların geleneksel taş kolonlara göre daha yüksek taşıma kapasitesi ve daha düşük oturma değerleri sağladığını göstermiştir.

Gabion sistemler de geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan alternatif yapı elemanları arasında yer almaktadır. Çelik tel kafeslerin taş veya benzeri dolgu malzemeleriyle doldurulmasıyla oluşturulan gabion yapılar; esnek, geçirgen ve ekonomik olmaları nedeniyle çeşitli mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir. Dursun (2008), gabion sistemlerin beton yapılara göre daha ekonomik çözümler sunduğunu belirtirken, Kanter (2014) gabion yapıların çevresel ve estetik avantajlarını ortaya koymuştur. Uray (2014) gabion duvarların tasarım esaslarını incelemiş, Yılmaz vd. (2020) ise Hasankeyf Yamaç Külliyesi'nin korunmasına yönelik uygulamalarda gabion duvarların başarılı bir şekilde kullanıldığını göstermiştir.

Diğer taraftan, teknolojik gelişmeler ve elektronik cihaz kullanımındaki hızlı artış, elektronik atık (e-atık) miktarının da önemli ölçüde yükselmesine neden olmuştur. Günümüzde e-atıklar, dünyanın en hızlı büyüyen katı atık gruplarından biri olarak kabul edilmektedir. Kumar ve Baskar (2015), küresel e-atık üretim hızının belediye atıklarının artış hızının yaklaşık üç katına ulaştığını belirtmiştir. Bu durum, e-atıkların geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması konusunu çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli hale getirmiştir.

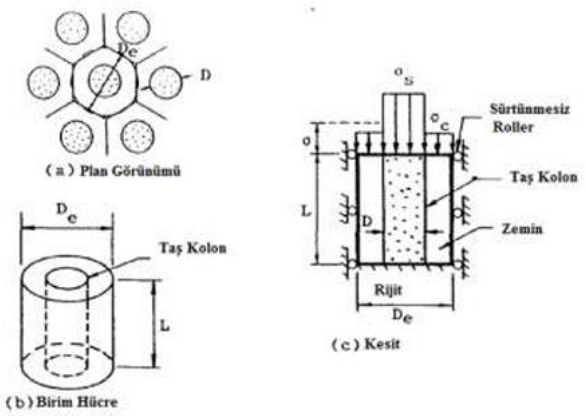
Son yıllarda e-atıkların inşaat ve geoteknik mühendisliği uygulamalarında değerlendirilmesine yönelik çalışmalar artış göstermiştir. Bágeľ ve Matiašovský (2010), elektronik atıkları hafif beton agregası olarak kullanmış; Lakshmi ve Nagan (2010), Suchithra vd. (2015) ve Gavhane vd. (2016) ise e-atık plastiklerinin beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Geoteknik alanda gerçekleştirilen çalışmalarda Chaugule vd. (2017), e-atık katkısının zeminlerin serbest basınç dayanımı ve içsel sürtünme açısını artırdığını belirlemiştir. Zaimoğlu vd. (2018), CH sınıfı killerde e-atık katkısının kıvam limitlerini olumlu yönde etkilediğini ortaya koyarken, Kumar ve Kumar (2019) e-atık ilavesinin kayma mukavemeti ve stabilite üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermiştir.

Literatürde taş kolonlar, gabion sistemler ve e-atıkların ayrı ayrı incelendiği çok sayıda çalışma bulunmasına rağmen, elektronik atık plastiklerinin gabion sistemler içerisinde dolgu malzemesi olarak kullanıldığı ve bu sistemlerin yumuşak kil zeminlerin iyileştirilmesindeki performansının araştırıldığı çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışmada elektronik atıklardan elde edilen plastik malzemelerle doldurulmuş ve "E-Gabion" olarak adlandırılan yeni bir kolon sistemi geliştirilmiştir.

Bu çalışmanın temeli, e-atıkların plastik kısımlarının geoteknik mühendisliği uygulamalarında dolgu malzemesi olarak değerlendirilmesidir. "E-Gabion" olarak adlandırılan bu yeni yaklaşım, geleneksel taş kolonların ve gabion yapıların avantajlarını birleştirerek, atık malzemelerin zemin iyileştirmede kullanımını araştırmaktadır. Çalışma kapsamında, yumuşak kil zeminlerde E-Gabion kolonların Taşıma Kapasitesi Oranı (BCR) ve oturma performansı üzerindeki etkileri deneysel olarak ortaya koyulmuştur.

Taş Kolonlar ve Gabion Sistemler

Taş kolonlar, zeminin rijitliğini artırarak taşıma gücünü yükseltmekte ve düşey drenaj sağlayarak konsolidasyon sürecini hızlandırmaktadır. Gabion yapılar ise çelik tel kafeslerin dolgu malzemesi ile doldurulmasıyla oluşturulan, esnek ve geçirgen yapılardır. Gabion sistemlerin boşluklu yapısı doğal drenaja izin vermekte ve ekonomik çözümler sunmaktadır. Taş kolonların tasarımında sıklıkla kullanılan "birim hücre" modeli Şekil 1'de gösterilmiştir. (Bachus, 1989),



Şekil 1. Birim hücre modeli. (Bachus, 1989)

Kolonun etki alanını ve alan değişim oranını (a_s) belirlemede temel teşkil eder. Üçgen yerleşim düzeni için eşdeğer etki çapı (D_e) şu formülle hesaplanır:

$D_e = 1.05*S$ (1)

MATERYAL VE METOT

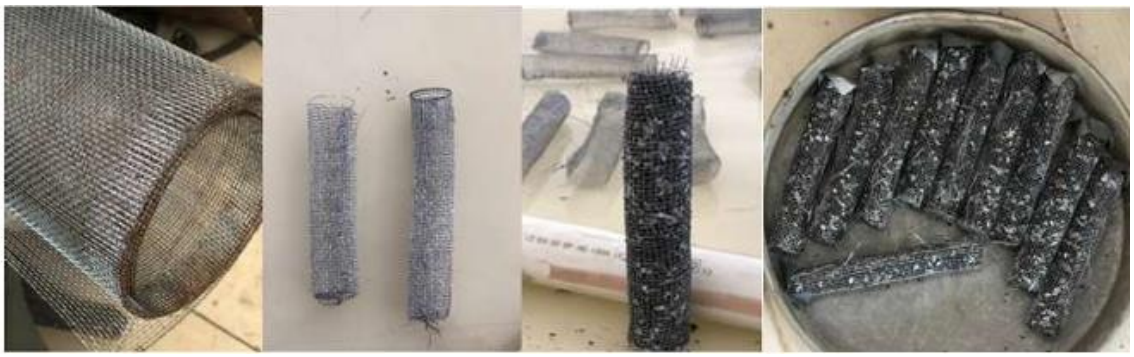
Materyal

Kil Zemin

Deneylerde kullanılan kil zemin, Erzurum ili Aşkale ilçesinden temin edilmiştir. Kil zemin, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Laboratuvarı'nda kurutulmuş, uygun eleklerden geçirilmiş ve ardından zemine ait temel fiziksel özelliklerin belirlenmesine yönelik deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan doğal kil zemin Şekil 5'te gösterilmiş olup, özellikler Tablo 4'te verilmiştir. Çalışma kapsamında zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilen kıvam limitleri deneyleri TS 1900-1 ve ASTM D4318, standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Zemin sınıfı Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma (USCS) Sistemine göre CH olarak belirlenmiştir.

E-Gabion Kolon

2,5 cm çapında silindirik formda, 1 mm göz açıklığına sahip paslanmaz çelik tor kullanılarak üretilmiştir. Kolonlar, 1-2 mm boyutundaki e-atık plastikleri ile sıkıştırılarak doldurulmuştur. (Şekil 2)



Şekil 2. Çelik tor ve Gabion kolon

Model Deney Sistemi

30 cm çapında pleksiglas tank, 20 cm çapında rijit model plaka, 5 ton kapasiteli S tipi yük hücresi ve hassas LVDT deplasman ölçerlerden oluşmaktadır. (Şekil 3)

Şekil 3. Deplasman ölçer (LVDT) ve Yük hücresi (S tipi).

Metot

Deneylerde kolon çapı (D) 2,5 cm olarak sabit tutulmuş; kolon boyu (L) 12,5 cm (L/D=5) ve 15 cm (L/D=6) olarak iki farklı değerde seçilmiştir. Cidar etkisini minimize etmek amacıyla kolonlar tank kenarlarından en az 2,5D mesafede yerleştirilmiştir. Çalışma direktifi doğrultusunda sadece üçgen yerleşim düzenine sahip, S/D=2 ve S/D=2,5 oranlarındaki konfigürasyonlar analiz edilmiştir.

S/D Oranı	S (cm)	D_e (cm)	Üçgen Yerleşim Kolon Sayısı (N)
2	5	5,25	10
2,5	6,25	6,56	7

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, farklı model tasarımları ve deney parametrelerinin zemin davranışı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla her bir tasarım için deneylerde elde edilen veriler kullanılarak ortalama taban basıncı–oturma ilişkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çizilen grafikler aracılığıyla oluşturulan sistemin taşıma kapasitesi oranı ve oturma performansı değerlendirilmiştir. Çalışmada, kil zemin üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarının değerlendirilmesinde taşıma kapasitesi oranı (Bearing Capacity Ratio, BCR) ve oturma (s) parametreleri

kullanılmıştır. Söz konusu parametreler aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır (Zaimoğlu ve Yetimoğlu, 2012).

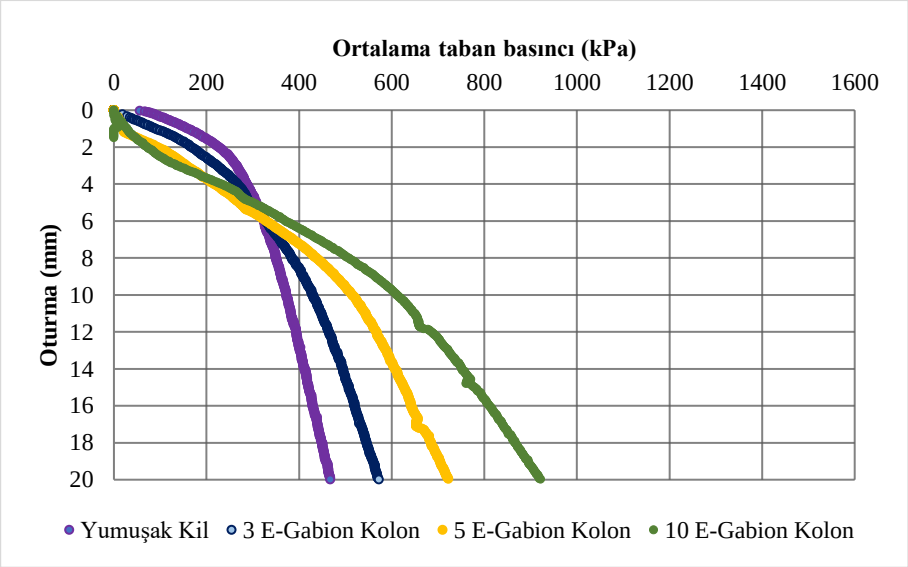
$$BCR = \frac{q_r}{q} \quad (2)$$

Eşitliklerde;

q_r; Kolonlu zeminde belirli bir oturma değerine karşılık gelen ortalama taban basıncı.

q; Yumuşak kil zeminde aynı oturma değerine karşılık gelen ortalama taban basıncı.

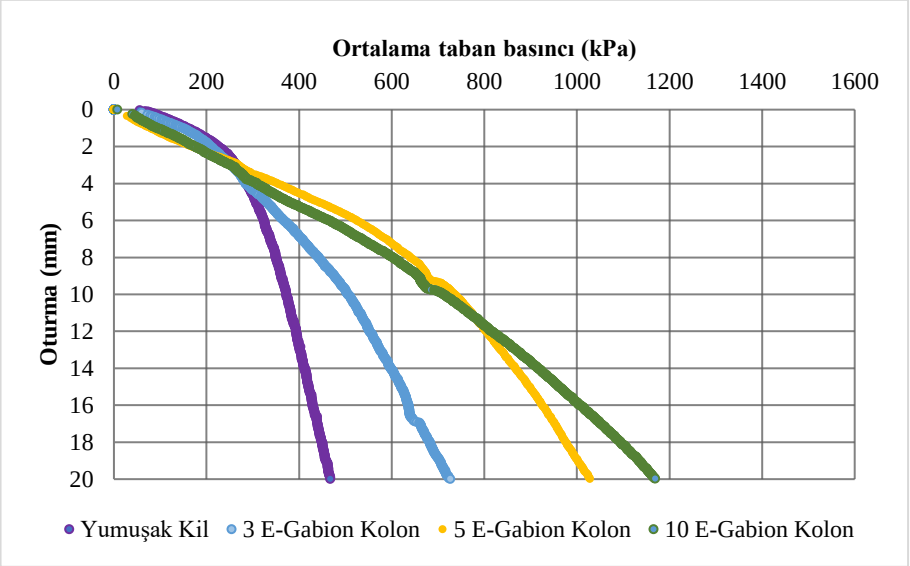
S/D = 2, L = 12,5 cm ve N= 3, 5, 10 olacak şekilde yüzen E-Gabion kolonlarla oluşturulan üçgen yerleşim düzenine ait deney sonuçları kullanılarak çizilen ortalama taban basıncı–oturma ilişkisi Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Ortalama taban basıncı–oturma ilişkisi (S/D = 2, L = 12,5 cm; üçgen yerleşim, N = 3, 5, 10 ve yumuşak kil)

Şekil 4 incelendiğinde, S/D = 2, L = 12,5 cm ve üçgen yerleşim düzeni koşullarında beklendiği üzere yüzen E-gabion kolon sayısının artmasıyla oturma miktarının azaldığı görülmektedir. Şekilde yüzen E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının daha rijit davranış sergilediği dolaysıyla taşıma gücünün arttığı görülmektedir, Benzer sonuca Şahinkaya 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada ulaşmıştır. Şahinkaya çalışmasında yüzen taş kolon uygulanan modellerde uygulanmayanlara göre taşıma gücünde artışın olduğunu ifade etmiştir. Üçgen yerleşim düzeninde (S/D = 2, L = 12,5 cm, N = 3, 5 ve 10 adet E-gabion kolon için 20 mm oturma değerinde elde edilen taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri sırasıyla 1,23; 1,55 ve 1,97 olduğu belirlenmiştir. BCR sonuçlarından E-gabion kolon sayısındaki artışın zeminin taşıma kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, E-gabion uygulamasının yumuşak kil zeminlerin iyileştirilmesinde etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

S/D = 2, L = 15 cm ve N= 3, 5, 10 olacak şekilde yüzen E-Gabion kolonlarla oluşturulan üçgen yerleşim düzenine ait deney sonuçları kullanılarak çizilen ortalama taban basıncı–oturma ilişkisi Şekil 5'de gösterilmiştir.



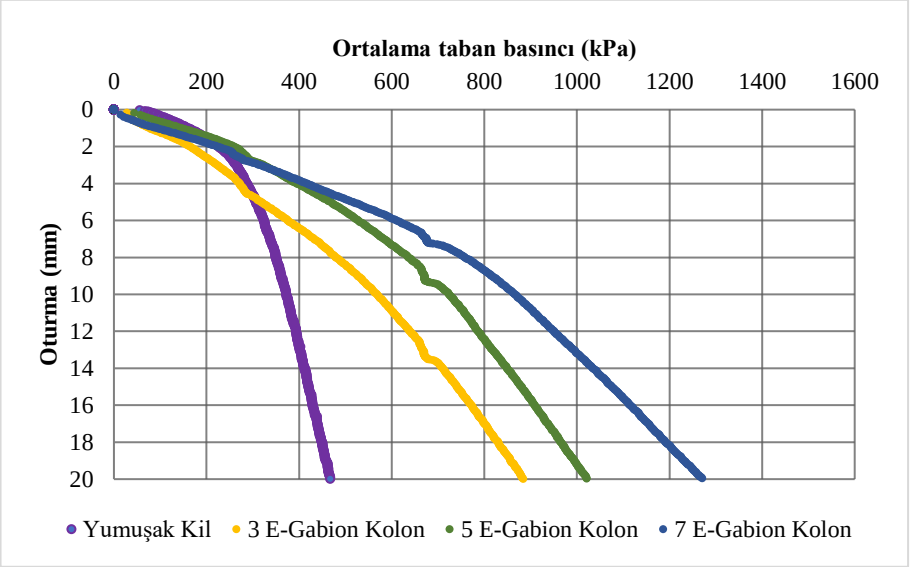
Şekil 5. Ortalama taban basıncı–oturma ilişkisi (S/D = 2, L = 15 cm; üçgen yerleşim, N = 3, 5, 10 ve yumuşak kil)

S/D = 2, L = 15 cm ve üçgen yerleşim düzeni koşullarında yüzen E-gabion kolon sayısının artmasıyla oturma miktarının azaldığı Şekil 5'de anlaşılmaktadır. Şekilde yüzen E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının daha rijit davranış sergilediği dolaysıyla taşıma gücünün arttığı görülmektedir. Şahinkaya 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada yüzen taş kolon uygulanan modellerde uygulanmayanlara göre taşıma gücünde artışın olduğunu ifade etmiştir.

Üçgen yerleşim düzeninde (S/D = 2, L = 15 cm, N = 3, 5 ve 10 adet E-gabion kolon için 20 mm oturma değerinde BCR değerleri sırasıyla 1,55; 2,20 ve 2,50 olduğu belirlenmiştir. BCR sonuçlarından E-gabion kolon sayısındaki artışın zeminin taşıma kapasitesini önemli ölçüde iyileştirdiği anlaşılmaktadır.

L=12,5 cm boyundaki E-gabion kolonlar için L/D=5 ve L=15 cm kolonlar için L/D=6 dır. Üçgen yerleşimde L/D değerinin artması ile BCR değerinin arttığı anlaşılmaktadır.

S/D = 2,5, L = 12,5 cm ve N=3, 5, 7 olacak şekilde yüzen E-Gabion kolonlarla oluşturulan üçgen yerleşim düzenine ait deney sonuçları kullanılarak çizilen ortalama taban basıncı–oturma ilişkileri Şekil 6'da gösterilmiştir.

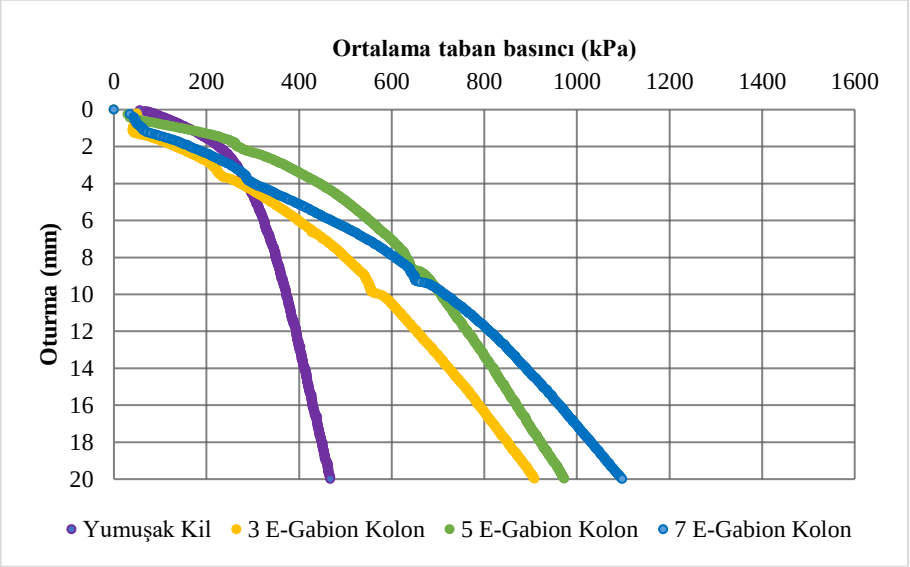


Şekil 6. Ortalama taban basıncı–oturma ilişkisi (S/D = 2,5, L = 12,5 cm; üçgen yerleşim, N = 3, 5, 7 ve yumuşak kil)

Şekil 6'dan anlaşacağı üzere, S/D = 2,5, L = 12,5 cm ve üçgen yerleşim düzeni koşullarında yüzen E-gabion kolon sayısının artmasıyla oturma miktarının azaldığı yüzen E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının daha rijit davranış sergilediği dolaysıyla taşıma gücünün arttığı görülmektedir. Yüzen E-gabion sayısının artması ile kolonların daha erken mobilize olarak zemin ortamının taşıma gücüne daha fazla katkıda bulunduğu Şekil 6'dan izlenmektedir. Şahinkaya 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada yüzen taş kolon uygulanan modellerde uygulanmayanlara göre taşıma gücünde artışın olduğunu ifade etmiştir.

Üçgen yerleşim düzeninde (S/D = 2,5, L = 12,5 cm, N = 3, 5 ve 7 adet) E-gabion kolon için 20 mm oturma değerinde belirlenen taşıma kapasitesi oranı (BCR) değerleri sırasıyla 1,90; 2,19 ve 2,72 olarak bulunmuştur. BCR sonuçlarından E-gabion kolon sayısındaki artışın zeminin taşıma kapasitesini iyileştirdiği anlaşılmaktadır.

S/D = 2,5, L = 15 cm ve N= 3, 5, 7 olacak şekilde yüzen E-Gabion kolonlarla oluşturulan üçgen yerleşim düzenine ait deney sonuçları kullanılarak çizilen ortalama taban basıncı–oturma ilişkisi Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Ortalama taban basıncı–oturma ilişkisi (S/D = 2,5, L = 15 cm; üçgen yerleşim, N = 3, 5, 7 ve yumuşak kil)

S/D = 2,5, L = 15 cm ve üçgen yerleşim düzeni koşullarında yüzen E-gabion kolon sayısının artmasıyla oturma miktarının azaldığı görülmektedir. Şekilde yüzen E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının E-gabion kolonların mobilize olması ile daha rijit davranış sergilediği dolaysıyla taşıma gücünün arttığı görülmektedir. Üçgen yerleşim düzeninde E-gabion kolon için 20 mm oturma değerinde N = 3, 5 ve 7 adet kolon için elde edilen BCR değerleri sırasıyla; 1,95, 2,08 ve 2,35 olduğu belirlenmiştir. BCR sonuçlarından E-gabion kolon sayısındaki artışın zeminin taşıma kapasitesini iyileştirdiği anlaşılmaktadır.

L=12,5 cm boyundaki E-gabion kolonlar için L/D=5 ve L=15 cm kolonlar için L/D=6 dır. Üçgen yerleşimde L/D değerinin artması ile 3 E-gabion kolon tasarımında BCR değerinin arttığı ancak 5 ve 7 E-gabion kolon tasarımlarında BCR değerinin kısmen azaldığı anlaşılmaktadır. Bu sonuca S/D oranının etki ettiği düşünülmektedir. Şahinkaya 2016 yılında yapmış olduğu çalışmasında yüzen taş kolon en yüksek taşıma gücü değerlerinin L/D oranının en düşük olduğu modellerinde olduğunu ifade etmiştir.

SONUÇ

Yapılan çalışma kapsamında, E-atık plastik dolgu malzemesi kullanılarak oluşturulan yüzen E-Gabion kolonların yumuşak kil zeminlerde taşıma gücü ve oturma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında farklı kolon sayıları ve kolon uzunlukları dikkate alınarak zemin iyileştirme performansına etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

- S/D = 2, L = 15 cm ve üçgen yerleşim düzeni koşullarında yüzen E-gabion kolon sayısının artmasıyla oturma miktarının azalmıştır.
- E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının daha rijit davranış sergilediği gözlenmiştir.
- E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının taşıma gücü artmıştır.
- Üçgen yerleşim düzeninde (S/D = 2, L = 15 cm, N = 3, 5 ve 10 adet E-gabion kolon için 20 mm oturma değerinde BCR değerleri sırasıyla 1,55; 2,20 ve 2,50 olduğu belirlenmiştir.
- Üçgen yerleşimde L/D değerinin artması ile BCR değerinin arttığı anlaşılmaktadır.

- E-gabion kolonların mobilize olması ile zemin ortamı daha rijit davranış sergilemiştir.
- Yüzen E-gabion kolon sayısının artması ile taşıma gücü artmıştır.
- S/D = 2,5, L = 15 cm ve üçgen yerleşim düzeni koşullarında yüzen E-gabion kolon sayısının artmasıyla oturma miktarı azalmıştır.
- Yüzen E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının E-gabion kolonların mobilize olması ile daha rijit davranış sergilemiştir.
- Yüzen E-gabion kolon sayısının artması ile kil zemin ortamının taşıma gücü artmıştır.
- Üçgen yerleşim düzeninde E-gabion kolon için 20 mm oturma değerinde N = 3, 5 ve 7 adet kolon için elde edilen BCR değerleri sırasıyla; 1,95, 2,08 ve 2,35 olduğu belirlenmiştir.
- Üçgen yerleşimde L/D değerinin artması ile 3 E-gabion kolon tasarımında BCR değerinin arttığı ancak 5 ve 7 E-gabion kolon tasarımlarında BCR değerinin kısmen azaldığı anlaşılmaktadır.

KAYNAKLAR

Alias, A., et al., (2014). Ground improvement using stone columns: A review. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 19, 12923–12934.

Ambily, A. P., Gandhi, S. R. (2007). Behavior of stone columns based on experimental and FEM analysis. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 133(4), 405–415

Bachus, R.C. and Barksdale, R.D., (1989), Design Methodology for Foundations on Stone Columns, American Society of Civil Engineers Geotechnical Special Publication (No.40), Texas, 244-257p.

Bágeľ, Ľ., Matiašovský, P. (2010). Surface pretreatment ± a way to effective utilization of waste plastics as concrete aggregate. CESB10: Central Europe Towards Sustainable Building from Theory to Practice, Prague.

Chaugule, M., Deore, S., Gawade, K., Tijare, A., Banne, S. (2017). Improvement of black cotton soil properties using e-waste. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 14(3), 76–81.

Çadır, C. C. (2023). Geleneksel ve Geosentetik Sargılı Taş Kolonlar İle Güçlendirilen Organik Zeminlerin Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.

Dursun, Y. (2008). Akarsularda sediment taşınımı ve Fırat Nehri için sediment modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.

Gavhane, A., Sutar, D., Soni, S., Patil, P. (2016). Utilisation of e-plastic waste in concrete. International Journal of Engineering Research & Technology, 5(2).

Han, J., Ye, S. L. (2002). A theoretical solution for the rate of consolidation of a stone column reinforced foundation accounting for smear and well resistance. International Journal of Geomechanics, 2(2), 135–151.

Kanter, İ. (2014). Kentsel tasarımda dikey bahçeler. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara. Kumar, K. S., Baskar, K. (2015). Recycling of e-plastic waste as a construction material in developing countries. Journal of Material Cycles and Waste Management, 17(4), 718 724.

Kumar, J. K., Kumar, V. P. (2019). Experimental analysis of soil stabilization using e-waste. Materials Today: Proceedings, 22, 456–459.

Lakshmi, R., Nagan, S. (2010). Studies on concrete containing e-plastic waste. International Journal of Environmental Sciences, 1(3), 270.

Nazariafshar, J., Mehrannia, N., Kalantary, F., & Ganjian, N. (2017). Bearing Capacity of Group of Stone Columns with Granular Blankets. International Journal of Civil Engineering.

Suchithra, S., Kumar, M., Indu, V. S. (2015). Study on replacement of coarse aggregate by e waste in concrete. International Journal of Technical Research and Applications, 3(4), 266–270.

Şahinkaya, F. (2016). Yüzen Taş Kolonlar ile İyileştirilmiş Zeminlerin Sismik Yükler Altında Davranışının Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.

Tüter, F. (2023). Geogrid ile Güçlendirilmiş Taş Kolon Gruplarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

Uray, E. (2014). Gabion tipi dayanma duvarlarında tasarım kriterlerinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.

Yılmaz, M., Sevgi, S., Eskici, B., Şener, Y.S. ve Eliüşük, M., (2020). Kısmen Baraj Gölü Suları Altında Kalacak Olan Hasankeyf Yamaç Külliyesinin Sağlamlaştırılması, Korunması ve Sergilenmesine Yönelik Uygulamalar.

Zaimoğlu, A.Ş. ve Yetimoğlu, T., (2012). Ayrık Sentetik Liflerle Rastgele Donatılandırılmış Kum Zemine Oturan Dairesel Temellerin Yük-Oturma Davranışı. 5. Ulusal Geosentetikler Konferansı Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Zaimoğlu, A. Ş., Gündüz, S., Artuk, F. (2018). Elektronik atıkların (e-atık) geoteknik mühendisliğinde kullanılabilirliği. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Konferansı, İstanbul, 1077–1084.