

GEOGRİD TAKVİYELİ ŞEV YAKININA YERLEŞTİRİLEN ŞERİT TEMEL VE GÖMÜLÜ BORUNUN ÜÇ BOYUTLU SAYISAL ANALİZİ

THREE-DIMENSIONAL NUMERICAL ANALYSIS OF STRIP FOUNDATION AND BURIED PIPE PLACED NEAR GEOGRID REINFORCED SLOPE

Buse EMİRLER¹

ÖZET

Bu çalışmada, geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının şerit temel ve gömülü boru davranışına olan etkileri PLAXIS 3D sonlu eleman yazılımı ile parametrik olarak araştırılmıştır. Geogridin gerçek geometrisi sayısal modelde birebir oluşturulmuş ve bu yaklaşım literatürdeki deneylerle doğrulanmıştır. Parametrik çalışma sonuçları taşıma kapasitesi-deplasman, göçme mekanizması ve boru deplasmanı ile sunulmuştur. Geogrid takviyesinin, taşıma kapasitesini artırdığı ve deplasmanı önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Temelin şev tepesinden uzaklaşmasıyla taşıma kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Göçme mekanizmalarına göre donatısız durumda deplasman yoğunluğunun fazla olduğu ve şevin mekanizma üzerinde yoğunluğa sebep olduğu gözlenmiştir. Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesinden uzaklaşması ile mekanizmadaki yoğunluk azalmıştır. Gömülü borunun şev tepesinden uzağa konumlandırılmasının ve boru üzerine yerleştirilen donatının, meydana gelecek deplasmanları ve boruda oluşabilecek hasarları önlemede önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geogrid, Gömülü boru, Şerit temel, Şev, Sayısal analiz

ABSTRACT

In this study, the effects of geogrid reinforcement and the distance of the foundation from the top of the slope on the behavior of strip foundation and buried pipe were investigated parametrically by PLAXIS 3D finite element software. The actual geometry of the geogrid was created the same in the numerical model and this approach was verified by experiments in the literature. Parametric study results were presented with bearing capacity-displacement, failure mechanism, and pipe displacement. Geogrid reinforcement was seen to increase bearing capacity and to significantly reduce displacement. It was determined that the bearing capacity increased as the foundation moved away from the top of the slope. It was observed that the displacement intensity was higher in the unreinforced case compared to the failure mechanisms and the slope caused intensity on the mechanism. With the geogrid reinforcement and the movement of the foundation away from the top of the slope, the intensity on the mechanism decreased. It was concluded that positioning the buried pipe away from the top of the slope and the reinforcement placed on the pipe had a significant effect on preventing possible displacements and damage to the pipe.

Keywords: Geogrid, Buried pipe, Strip foundation, Slope, Numerical analysis

1. GİRİŞ

Geosentetikler, inşaat mühendisliği yapılarında 1970'lerin sonlarından beri kullanılmakta ve kullanımları hızla artmaktadır. Ulaşım, geoteknik, çevre ve hidrolik uygulamaları ile geniş bir uygulama yelpazesine sahiptirler. Geosentetik türlerinden biri olan geogridler, güçlendirme malzemesi olarak işlev görürler (Koerner, 2005; Das,

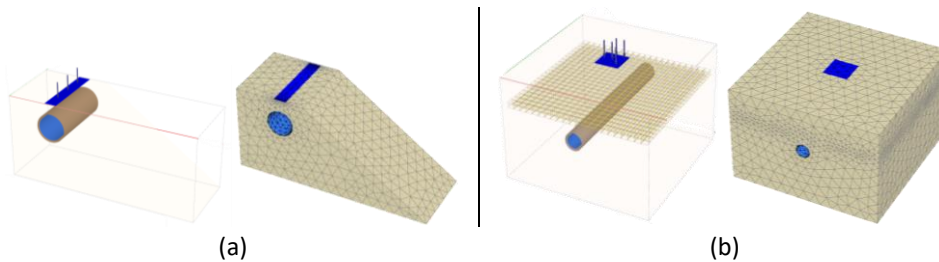
¹ Dr., Çukurova Üniversitesi, bemirler@cu.edu.tr

2010). Su, atık su, gaz, petrol vb. birçok akışkanın iletimi, elektrik ve telefon kablolarının yer altına alınması gibi pek çok kullanım alanı olan gömülü boru hatları, kentsel yaşamın sürdürülebilirliği açısından önemli altyapı sistemleridir. Borunun etrafının zeminle çevrili olması, gömülü borunun yanlış yerleştirilmesi, boru ve ekipman seçimindeki hatalar, deprem vb. doğal afetler gömülü boru sisteminde hasara neden olabilir (Bildik, 2013; Yılmaz, 2019; Öner, 2020). Mühendisler gömülü boruların tasarımı ve kurulumunda çeşitli zorluklarla karşı karşıyadır. İnşaat projesi engebeli arazide yer alıyorsa, erozyon ve eğim dengesizliği nedeniyle ilave değerlendirmeler yapılması gerekmektedir. Ancak literatürde şevli zemine gömülü borularla ilgili çalışmalar sınırlıdır (Khan ve Shukla, 2021; Khan vd., 2022; Ranjan vd., 2022). Basınca maruz kalan gömülü boru hatlarının korunması için geosentetik donatılar kullanılabilir. Bu sayede; meydana gelebilecek hasarlara karşı korumanın yanı sıra, boru üzerindeki gerilmeler azaltılabilir ve boru patlamasının sonuçları en aza indirilebilir (Moghaddas Tafreshi ve Khalaj, 2008; Tavakoli Mehrjardi vd., 2012; Plácido ve Portelinha, 2019). Gömülü borular üzerinde güçlendirilmiş zemin koşullarında çeşitli deneysel ve sayısal çalışmalar yapılmıştır (Hegde ve Sitharam, 2015; Fattah vd., 2016; Kou vd., 2018; Bildik ve Laman, 2020; Pires ve Palmeira, 2021). Önceki çalışmalar incelendiğinde gömülü boru hatlarının davranışını etkileyebilecek birçok faktörün olduğu söylenebilir. Ancak literatürde donatılı zemin şevindeki gömülü boru davranışının karakterize edilmesi konusunda hala bazı eksiklikler bulunmaktadır. Bu çalışma, şerit temel ve gömülü boruda geosentetiklerin etkinliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Donatısız/donatılı şev yakınına yerleştirilen şerit temel ve gömülü boru için taşıma kapasitesi, göçme mekanizması ve boru deplasmanının belirlenmesi amacıyla üç boyutlu sonlu eleman yazılımı olan PLAXIS 3D’de sayısal analizler yapılmıştır. Bu araştırmanın ilk adımı, sayısal analizin literatürdeki deneysel çalışmalarla doğrulanmasıdır. Bu işlem, geogrid donatılı ve donatısız durum için ayrı ayrı yapılmıştır. Donatısız şevli zemine gömülü boru ve yüzeyel temelin sayısal analizi, Khan vd. (2022) tarafından yapılan laboratuvar deney çalışması kullanılarak doğrulanmıştır. PLAXIS 3D’de geogridin doğrudan dörtgen yüzey formu yerine gerçek şekliyle sayısal modellenmesi yeni bir yaklaşım olduğundan, geogrid malzemesi Hegde ve Sitharam (2015) tarafından gerçekleştirilen laboratuvar deney çalışması kullanılarak doğrulanmıştır. İkinci adımda ise doğruluğu literatürdeki deneysel çalışmalarla gösterilmiş olan PLAXIS 3D kullanılarak geogrid takviyeli şevli gömülü boru ve yüzeyel temel davranışı araştırılmıştır. Bu amaçla, geogrid takviyesi ve şev tepesine uzaklığın etkisi taşıma gücü, göçme mekanizması ve boruda meydana gelen deplasmanla sunulmuştur.

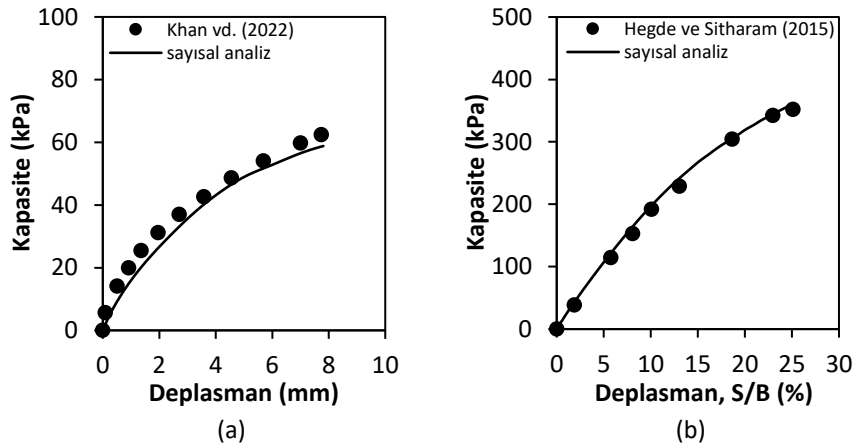
2. MATERYAL VE METOT

2.1. Doğrulama Analizleri

Doğrulama analizleri, üç boyutlu sonlu eleman yazılımı olan PLAXIS 3D kullanılarak yapılmıştır. Gömülü boru yerleştirilen geogrid takviyeli ve takviyesiz zeminlerin sayısal modelleri, literatürdeki laboratuvar deneyleri kullanılarak doğrulanmıştır. Khan vd. (2022), şevli zemine gömülü bir boru hattının üzerinde yer alan yüzeyel temelin yük-oturma davranışı ve taşıma kapasitesi ile ilgili deneyler yapmışlardır. Sayısal analiz modeli; 1250 mm uzunluğunda, 450 mm genişliğinde ve 560 mm yüksekliğinde deney boyutuna uygun olarak oluşturulmuştur. Zemin kum ve şevin açısı 35°’dir. Borunun çapı 160 mm, kalınlığı 5 mm, gömülme derinliği ise 80 mm’dir. Zemin yüzeyine yerleştirilen çelik temelin uzunluğu 440 mm, genişliği 80 mm ve kalınlığı 35 mm’dir. Temel, orta noktası 240 mm kret mesafesinde olacak şekilde konumlandırılmıştır. Zemin ve boru arasındaki etkileşim arayüz kullanılarak sağlanmıştır. Üç boyutlu ağ prosedüründe, zemin bölgesi 10 düğümlü dörtyüzlü elemanlar kullanılarak oluşturulurken, bilgisayarın çabası ve zamandan tasarruf etmek için orta ağ sıklığı ve geliştirilmiş ağ iyileştirmesi seçilmiştir. Sayısal modele ait görüntü Şekil 1’de verilmiştir. Sayısal analizin taşıma kapasitesi-deplasman ilişkisi, Şekil 2’de deneyle karşılaştırılmıştır. Şekil 2’ye göre deneyin sayısal analiz sonucuyla uyum içinde olduğu görülmüş ve sayısal modelin, deney davranışını başarıyla simüle ettiği belirlenmiştir.



Şekil 1. Doğrulama analizleri için sayısal modeller (a) Khan vd. (2022) (b) Hegde ve Sitharam (2015) Literatürdeki çalışmalarda geogridin üç boyutlu gerçek şeklini simüle etmek için PLAXIS 3D dışında yazılımlar kullanılmıştır. PLAXIS 3D'nin geogridin gerçek şeklini simülasyonundaki başarısını kanıtlaması gerekmektedir. Bu amaçla Hegde ve Sitharam (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışma analiz edilmiş ve modelin kapasite-deplasman davranışı deneysel veriyle karşılaştırılmıştır. Sayısal model; 900 mm uzunluğunda, 900 mm genişliğinde ve 600 mm yüksekliğinde deney boyutuna uygun olarak oluşturulmuştur. Zemin yüzeyine 20 mm kalınlığında ve 150 mm kenar uzunluğunda kare çelik temel yerleştirilmiştir. 35 mm×35 mm açıklık boyutlarında geogrid kullanılmıştır. Geogrid 1,1B derinliğe (B, temel genişliği) yerleştirilmiş olup genişliği ise 5,8B'dir. Borunun dış çapı 75 mm, kalınlığı 1,4 mm, gömülme derinliği 1,5B'dir. Zemin-boru arasındaki etkileşimi modellemek için arayüz kullanılmıştır. Çalışma ortamı, geogrid takviyesiz doğrulama analizine benzer şekilde orta ağ sıklığında elemanlara ayrılmış ve geliştirilmiş ağ iyileştirmesi seçilmiştir. Sayısal modele ait görüntü Şekil 1'de verilmiştir. Sayısal analizden elde edilen kapasite-deplasman ilişkisi, Şekil 2'de deneyle karşılaştırılmıştır. Şekil 2'ye göre deney ve sayısal analiz sonucunun uyum içinde olduğu görülmüş, sayısal analizin deneyi modellemedeki başarısı doğrulanmıştır.



Şekil 2. Doğrulama analizlerinden elde edilen kapasite-deplasman ilişkileri (a) Khan vd. (2022) (b) Hegde ve Sitharam (2015)

2.2. Parametrik Çalışma

Doğrulama analizleri ile üç boyutlu sayısal modelin, geogrid ve gömülü boru davranışını modellemedeki başarısı ortaya konduktan sonra parametrik çalışma yapılmıştır. Parametrik çalışmada, geogrid takviyeli şev yerleştirilen şerit temel ve gömülü borunun davranışı sayısal analizlerle incelenmiştir. Analizlerde şev eğimi, $\beta=45^\circ$ 'dir. Çalışma ortamının (zemin) boyutları; 1175 mm alt yüzey uzunluğu, 700 mm üst yüzey uzunluğu, 500 mm genişlik ve 475 mm yükseklikten oluşmuştur. Zemin yüzeyinde kullanılan şerit temel; 500 mm uzunluğunda, 75 mm genişliğinde (B) ve 20 mm kalınlığında çelik malzeme olarak modellenmiştir. Parametrik çalışmadaki zeminin özelliklerini belirlemek amacıyla Brinkgreve vd. (2010) tarafından kumlu zeminler için geliştirilen ampirik formüllerden faydalanılmıştır. Zeminin rölatif sıklığı (D_r), kumlu zeminin parametrelerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada rölatif sıklık $D_r=50\%$ olarak seçilmiş olup zemin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Güçlendirme amaçlı kullanılan geogridin açıklık boyutu 31 mm×31mm, gömülme derinliği 0,5B ve uzunluğu 5B'dir (geogrid özellikleri olarak Secugrid® 60/60 Q1 kullanılmıştır). Analizlerde dış çapı 75 mm, kalınlığı 2,2 mm olan boru kullanılmış ve 75 mm derinliğe (şev tepesindeki zemin yüzeyinden) gömülmüştür. Birim hacim ağırlık, Young modülü ve Poisson oranı değerleri günümüzde kullanılan PVC boru özelliklerinden derlenmiştir (Nirmala ve Rajkumar, 2016; Gemperline ve Rinehart, 2018; Khan vd. 2022). Çalışma ortamının sonlu eleman ağı, üç boyutlu ağ prosedüründe 10 düğümlü dört yüzü elemanlar kullanılarak oluşturulurken, bilgisayarın zorlanması önüne geçmek ve zamandan tasarruf sağlamak için orta ağ sıklığı ve geliştirilmiş ağ iyileştirmesi seçilmiştir. Zemin, temel, boru ve geogride ait parametreler Tablo 1'de, sayısal modele ait görüntü ise Şekil 3'te verilmiştir. Parametrik çalışmada, geogrid takviyesi ($N=0; 1$) ve temelin şev tepesine uzaklığının ($e/B=0; 1; 2$) taşıma kapasitesi, göçme mekanizması ve boru deplasmanına olan etkileri incelenmiştir.

Tablo 1. Parametrik çalışmada kullanılan malzeme özellikleri

Parametreler	Değerler
Zemin	
Malzeme modeli	Hardening Soil
Drenaj türü	Drenajlı
Doymamış durumdaki birim hacim ağırlık, γ_{unsat} (kN/m ³)	17,0
Doymuş durumdaki birim hacim ağırlık, γ_{sat} (kN/m ³)	19,8
Sekant modülü, E_{50}^{ref} (kN/m ²)	30000
Tanjant modülü, E_{oed}^{ref} (kN/m ²)	30000
Boşaltma/yeniden yükleme modülü, E_{ur}^{ref} (kN/m ²)	90000
Rijitlik oranı, m	0,54
Poisson oranı, ν	0,30
İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	34,25
Dilatasyon açısı, Ψ (°)	4,25
Göçme oranı, R_f	0,94
Dayanım azaltma faktörü, R_{inter} (geogrid)	0,90
Dayanım azaltma faktörü, R_{inter} (boru)	0,45
Temel	
Kalınlık, d (mm)	20
Birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)	77
Young modülü, E (kN/m ²)	2×10^8
Poisson oranı, ν	0,30
Boru	
Kalınlık, d (mm)	2,2
Birim hacim ağırlık, γ (kN/m ³)	14
Young modülü, E (kN/m ²)	$3,1 \times 10^6$
Poisson oranı, ν	0,40
Geogrid	
Eksenel rijitlik, EA (kN/m)	1200

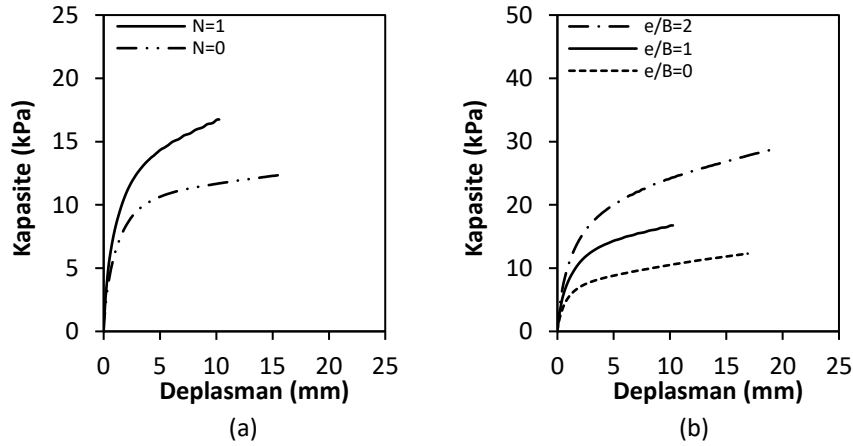


Şekil 3. Sayısal analiz modeli

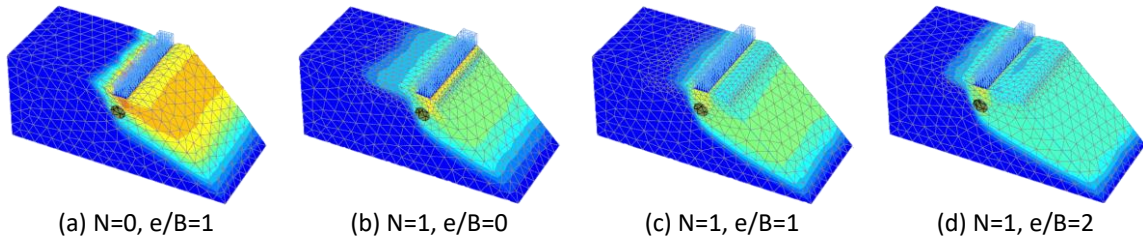
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Geogrid donatı takviyesi ($N=0$; 1) ve temelin şev tepesine uzaklığının ($e/B=0$; 1; 2), şerit temel ve gömülü boru davranışına olan etkileri; taşıma kapasitesi-deplasman, göçme mekanizması ve boru deplasmanı bulguları ile ortaya konmuştur (Şekil 4-6). Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının taşıma kapasitesi-deplasman ilişkisine etkisi Şekil 4'te sunulmuştur. Geogrid takviyesi, temelin taşıma kapasitesini yaklaşık %45 artırmış ve yerleştirildiği derinlikte ($0,5B$) efektif çalışarak kapasiteye önemli oranda katkı sağlamıştır. Deplasman değerleri, 10 kPa'lık kapasite için geogridsiz durumda yaklaşık 3,63 mm iken, geogridli durumda yaklaşık 1,61 mm olarak elde edilmiştir. Geogrid varlığının deplasmanı büyük oranda azalttığı sonuçlardan anlaşılmıştır. Her iki durumda da genel kayma göçmesine benzer eğri davranışı elde edilmiştir (Şekil 4a). Temelin şev tepesine uzaklığının (e/B) taşıma kapasitesine olan etkisi Şekil 4b'de verilmiştir. e/B 'nin artmasıyla taşıma kapasitesi önemli miktarda artış göstermiş ve bu oranın 0'dan 2'ye artmasıyla 10 mm deplasman için kapasitedeki artış miktarı yaklaşık 2,3 kat olmuştur. Bu durum, taşıma kapasitesi üzerinde şevin etkisinin azalmaya başlamasıyla açıklanabilir.

Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının göçme mekanizmasına etkisi Şekil 5'te sunulmuştur. Göçme mekanizmaları üzerinden sonuçlar incelendiğinde, donatısız durumda meydana gelen deplasman yoğunluğunun fazla olduğu ve şevden etkilendiği görülmüştür. Donatı kullanılmasıyla birlikte yoğunluğun azaldığı belirlenmiş ve temelin şev tepesinden uzaklaşmasıyla ise şevin, göçme mekanizmasında oluşturduğu etkinin azaldığı tespit edilmiştir. Aynı yaklaşım gömülü boru için de geçerli olmuştur. Borunun, her ne kadar kayma düzlemi içinde olsa da etkili bir mekanizma yoğunluğu içerisinde kaldığından söz edilemeyeceği analiz sonuçlarından anlaşılmıştır.

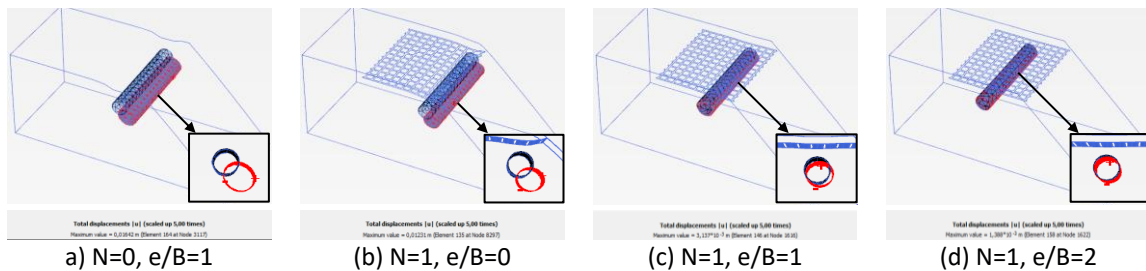


Şekil 4. Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının taşıma kapasitesine etkisi



Şekil 5. Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının göçme mekanizmasına etkisi

Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının boru deplasmanına etkisi Şekil 6'da sunulmuştur. Bu serideki tüm analizlerde şerit temel, N=1 ve e/B=0 durumu için elde edilen taşıma kapasitesi değeri olan 12,29 kPa'lık yüklemeye maruz bırakılmıştır. Bu yüklemeye karşılık, geogrid takviyesiz şevli zemin için boruda meydana gelen deplasman 16,4 mm iken, takviyeli zemin durumunda 3,1 mm'ye düşmüş ve yaklaşık 5 kat azalmıştır. Analiz sonuçları, gömülü boru üzerine yerleştirilen donatının meydana gelen deplasmanları ve boruda oluşabilecek hasarları önlemede önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Temelin şev tepesine uzaklığının boru deplasmanına olan etkisi incelendiğinde, e/B=0 durumunda boruda meydana gelen deplasman 12 mm iken, e/B=2'de 1,4 mm'ye düşmüş ve yaklaşık 8,5 kat azalmıştır. Gömülü borunun mümkünse şev tepesinden daha uzak bir konuma yerleştirilmesinin, olası hasarların önüne geçilmesini sağlayabileceği analiz sonuçlarından anlaşılmıştır.



Şekil 6. Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının boru deplasmanına etkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada geogrid takviyesi ve temelin şev tepesine uzaklığının şerit temel ve gömülü boru davranışına olan etkileri; taşıma kapasitesi-deplasman, göçme mekanizması ve boru deplasmanı ile incelenmiştir. Geogrid donatısının, gerçek geometrisinin sayısal modelde birebir oluşturulması bu çalışmanın önemli bir değeridir. Geogrid takviyesinin, taşıma kapasitesini artırdığı ve deplasmanı önemli ölçüde azalttığı görülmüştür. Temelin şev tepesinden uzaklaşmasıyla taşıma kapasitesinin arttığı belirlenmiş ve bu durum, kapasite üzerinde şevin etkisinin azalmasıyla açıklanmıştır. Göçme mekanizmalarına göre donatısız durumda deplasman yoğunluğunun fazla olduğu ve şevin mekanizma üzerinde yoğunluğa sebep olduğu tespit edilmiştir. Geogrid takviyesi ve temelin şev tepesinden uzaklaşması ile mekanizmadaki yoğunluk azalmıştır. Borunun şev tepesinden uzaklaşması ile de benzer bir durum elde edilmiştir. Gömülü borunun şev tepesinden uzağa konumlandırılmasının ve boru üzerine yerleştirilen donatının, meydana gelecek deplasmanları ve boruda oluşabilecek hasarları önlemede önemli bir etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Bildik, S., 2013, "Farklı Zemin ve Yükleme Koşullarındaki Gömülü Boru Sistemlerinin Davranışının Araştırılması", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Bildik, S., Laman, M., 2020, "Effect of Geogrid Reinforcement on Soil - Structure - Pipe Interaction in terms of Bearing Capacity, Settlement and Stress Distribution", *Geotextiles and Geomembranes*, 48, 844-853.
- Brinkgreve, R.B.J., Engin, E., Engin, H.K., 2010, "Validation of Empirical Formulas to Derive Model Parameters for Sands", *Proceedings of the Seventh European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, Taylor & Francis Group, London, 137-142.
- Das, B.M., 2010, "Principles of Geotechnical Engineering", Cengage Learning, Connecticut.
- Fattah, M.Y., Zbar, B.S., Al-Kalali, H.H.M., 2016, "Three-Dimensional Finite Element Simulation of the Buried Pipe Problem in Geogrid Reinforced Soil", *Journal of Engineering*, 22, 60-73.
- Gemperline, M.C., Rinehart, R.V., 2018, "Soil-Pipe Interface Friction Coefficients for Buried PE4710 Pipe", *Plastics Pipe Institute*.
- Hegde, A.M., Sitharam, T.G., 2015, "Experimental and Numerical Studies Protection of Buried Pipelines and Underground Utilities Using Geocells", *Geotextiles and Geomembranes*, 43, 372-381.
- Khan, M.U.A., Shukla, S.K., 2021, "Numerical Investigation of the Structural Response of a Conduit Buried within a Soil Slope", *Transportation Geotechnics*, 30, 100614.
- Khan, M.U.A., Shukla, S.K., Paraskeva, T.S., 2022, "Stress Distribution around the Conduit Buried within a Soil Slope - An Experimental Investigation", *Transportation Geotechnics*, 32, 100687.
- Koerner, R.M., 2005, "Designing with Geosynthetics", Pearson Prentice Hall, New Jersey.
- Kou, Y., Shukla, S.K., Mohyeddin, A., 2018, "Experimental Investigation for Pressure Distribution on Flexible Conduit Covered with Sandy Soil Reinforced with Geotextile Reinforcement of Varying Widths", *Tunnelling and Underground Space Technology*, 80, 151-163.
- Moghaddas Tafreshi, S.N., Khalaj, O., 2008, "Laboratory Tests of Small-Diameter HDPE Pipes Buried in Reinforced Sand Under Repeated-Load", *Geotextiles and Geomembranes*, 26, 145-163.
- Nirmala, R., Rajkumar, R., 2016, "Finite Element Analysis of Buried UPVC Pipe", *Indian Journal of Science and Technology*, 9, 1-5.
- Öner, C., 2020, "Gömülü Boruların Sığ Temellerin Yakınında Oluşan Deformasyonlar Üzerindeki Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Pires, A.C.G., Palmeira, E.M., 2021, "The Influence of Geosynthetic Reinforcement on the Mechanical Behaviour of Soil-Pipe Systems", *Geotextiles and Geomembranes*, 49, 1117-1128.
- Plácido, R., Portelinha, F.H.M., 2019, "Evaluation of Geocomposite Compressible Layers as Induced Trench Method Applied to Shallow Buried Pipelines", *Geotextiles and Geomembranes*, 47, 662-670.
- PLAXIS, 2023, "PLAXIS 3D Geotechnical Engineering Software", Plaxis bv, Bentley Systems, the Netherlands.
- Ranjan, R., Choudhary, A.K., Choudhary, A.K., 2022, "Numerical Analysis of Buried Pipelines Located in Slopes", *Stability of Slopes and Underground Excavations, Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, Singapore, 121-131.
- Tavakoli Mehrjardi, Gh., Moghaddas Tafreshi, S.N., Dawson, A.R., 2012, "Combined Use of Geocell Reinforcement and Rubber-Soil Mixtures to Improve Performance of Buried Pipes", *Geotextiles and Geomembranes*, 34, 116-130.
- Yılmaz, M., 2019, "Fiber ile İyileştirilmiş Zemine Gömülü Boruların Sismik Etkiler Altındaki Dinamik Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.