

# SERT KİLLİ ZEMİNLERDE MİNİ KAZIKLI ZEMİN ÇİVİSİ İKSA SİSTEMİNİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

**Eşref DİNÇ**

İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ORCID NO: 0000-0003-2710-1867, +905395700236, dinces17@itu.edu.tr

**Aykut ŞENOL**

Prof. Dr., (Emekli-İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi)

ORCID NO: 0000-0003-1832-3919, senol@itu.edu.tr

**Arif ÇINAR**

İnşaat Yüksek Mühendisi (Geobos Zemin Güçlendirme Sistemleri)

ORCID NO: 000-0003-2002-3333 +905322575383, arifcinar@geobos.com

## ÖZET

Bu çalışma, mini kazıkların düşey eleman olarak, zemin çivilerinin ise yatay destek elemanı olarak kullanıldığı bir ikxa projesinin çalışmasını ve sonuçlarını kapsamaktadır. Çalışma sahasında, mini kazıklar  $d=30.00$  cm çapında,  $s=0.60$  m yatay aralıkla ve  $L=10.50$  m boyunda teşkil edilmiştir. Mini kazıklar,  $L=6.00$ ,  $8.00$  m ve  $12.00$  m boylarında,  $d=26$  mm çapındaki geçici zemin çivileri ile yatay aralıkları,  $s=1.20$  ile  $1.80$  m olacak şekilde desteklenmiştir. Çalışmaya konu sahada, sert killi zemin, sahanın hâkim zemin formasyondur. Çalışma kapsamında, Plaxis 2D yazılımı kullanılarak kritik ikxa kesiti üzerinde sonlu elemanlar analizi yapılmıştır. Zemin çivisi modellenmesinde, “Geogrid” ve “Embedded Beam Row” olmak üzere iki farklı model elemanı kullanılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Söz konusunda çalışmada, iki farklı analiz yöntemi kullanılmasındaki temel amaç; bu yöntemlerden elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. İnceleme alanında belirlenen kritik zemin kesiti üzerinde limit denge analizleri de yapılarak elde edilene sonuçlar tartışılmıştır. Ayrıca bu proje kapsamında kritik olarak belirlenen kesit için inceleme alanında düzenli olarak inklinometre okumaları yapılmıştır. Yapılan inklinometre sonuçları Plaxis 2D analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, ön tasarım kabulleri ve kullanılan analiz metodu ve zemin modelinin doğruluğu araştırılmıştır. Yapılan bu değerlendirmeler sonucunda inceleme alanında elde edilen sonuçların, sonlu elemanlar modelini doğruladığı ve deplasmanların aynı mertebelerde meydana geldiği ortaya koyulmuştur. Sonlu elemanlar ve inklinometre sonuçları beraber değerlendirildiğinde; analiz edilen modelin doğru kurulması ve saha koşullarının modele doğru yansıtılması gibi hususlar, proje sahasında oluşabilecek gerçek durumunun önceden belirlenmesine ve ekonomik çözümlerin yapılabileceğini göstermektedir. Yapılan bu çalışma ile sert killi zeminlerde, ikxa tasarımları yapılırken, daha ekonomik ve alternatif tasarımlar için kaynak oluşturması amaçlanmıştır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde iki hesap yöntemi arasında belirgin farklılıklar olmadığı ve iki yöntemin de zemin çivisi modellemesinde kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin çivisi, yatay yer değiştirme, sert kil, sonlu elemanlar yöntemi, limit denge yöntem, inklinometre.

# EVALUATION OF THE PERFORMANCE OF MINI PILED SOIL NAIL SHORING SYSTEM ON HARD CLAY SOILS

## ABSTRACT

This study consists of a case study in which mini piles are used as vertical elements and soil nails are used as horizontal support elements. In the study area, mini piles were selected with  $d = 30.00$  cm diameter,  $s = 0.60$  m horizontal spacing, and  $L = 10.50$  m length. The mini piles were supported by temporary soil nails of  $L = 6.00, 8.00$  m, and  $12.00$  m in length and  $d = 26$  mm in diameter, with a horizontal spacing of  $s = 1.20$  to  $1.80$  m. On the site that is the subject of the study, the hard clayey soil is the dominant soil formation. Within the scope of the study, finite element analysis was performed on the critical shoring section using Plaxis 2D software. In soil nail modeling, the results were evaluated by using two different model elements, "Geogrid" and "Embedded Beam Row." The main purpose of using two different analysis methods in the study of the subject; is the comparative evaluation of the results obtained from these methods. As a result of the evaluations, Limit equilibrium analyses were also performed on the critical soil section determined in the study area, and the results were discussed. In addition, inclinometer readings were performed regularly in the study area for the critical section within the scope of this project. The inclinometer results were compared with the Plaxis 2D analysis results. As a result of the evaluations, the preliminary design assumptions, the analysis method used, and the accuracy of the soil model were investigated. As a result of these evaluations, it has been revealed that the results obtained in the study area confirm the finite element model and that the displacements occur in the same order. When the finite element and inclinometer results are evaluated together, issues such as the correct installation of the analyzed model and the correct reflection of the site conditions on the model show that the real situation that may occur at the project site can be determined beforehand and economic solutions can be made. This study is aimed at creating a source for more economical and alternative designs when shoring designs are made on hard clay soils. It was determined that there were no significant differences between the two calculation methods and that both could be used in soil nail modeling.

**Keywords:** *Soil nail, horizontal displacement, hard clay, finite element method, limit equilibrium method, inclinometer.*

## 1. ZEMİN ÇİVİLİ İKSA YÖNTEMLERİ

Zemin çivili iksa sistemleri, belirli belirli aralıklar ile enjeksiyonla güçlendirilen kaplanan yakın aralıklı çelik donatılar (yani çiviler) yerleştirilerek mevcut zeminin pasif takviyesinden (Art germe yapılmadan) oluşur. İnşaat yukarıdan aşağıya doğru ilerlerken sürekliliği sağlamak için hafriyat yüzeyine püskürtme beton veya precast da uygulanabilmektedir (FHWA-SA-96-069R, 1998). Bu çalışma kapsamında inceleme alanında sert killi zemini profilinin hâkim olduğu bir sahada, düşey iksa elemanlarının mini kazık, yatay iksa elemanın zemin çivisi olarak uygulandığı bir iksa sistemi üzerinde sonlu elmanlar analizi ve testler gerçekleştirilmiştir. Yapılan deney, ölçüm ve hesaplamalar vaka analizi olarak sunulmuştur.

## 2. SAYISAL ANALİZ ÇALIŞMASI

### 2.1 Mini Kazıklı Zemin Çivisi İksa Sistemi

Geoteknik analizlerde kullanılan zemin parametreleri belirlenirken, zemin etüt raporu, daha önceki çalışmalar ve güncel literatürden faydalanmıştır. İnceleme alanında geoteknik tasarımlarda kullanılması için sondaj ve araştırma çukuru logları, SPT, Presiyometre ve laboratuvar deney sonuçları birlikte değerlendirilerek, geoteknik zemin modeli kurulmuştur.

Analizlerde kullanılan idealize zemin parametreleri özet olarak Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

**Tablo 1. Hesaplamalarda kullanılan zemin parametreleri**

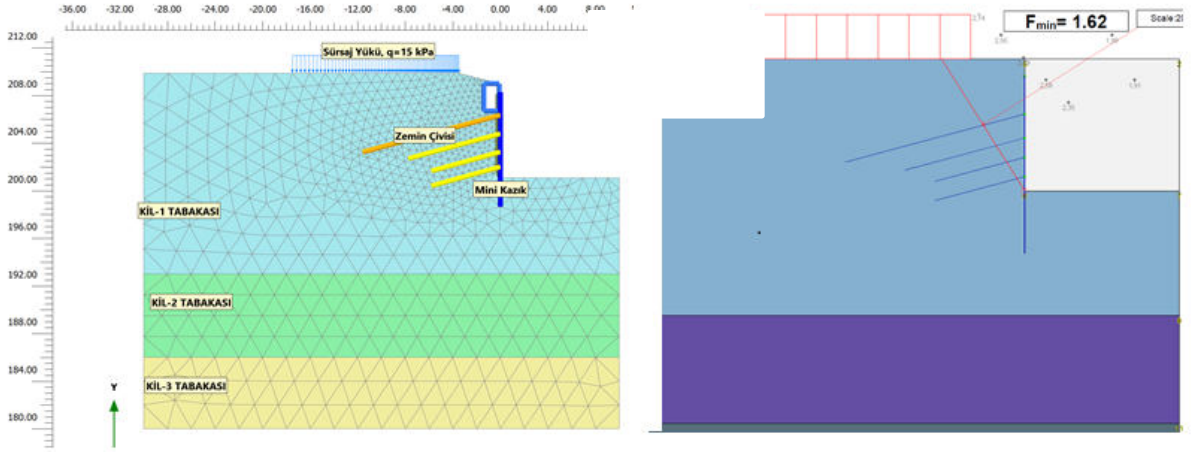
Jeolojik Tabakalar	Parametre	Kabul Edilen Değerler
Sert Kil Tabakası $N_{ort}=30$	Birim Hacim Ağırlık ( $\gamma$ )	20.00 kN/m <sup>3</sup>
	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi'$ )	30°
	Kohezyon ( $c'$ )	15.00 kPa
	Çevre Sürtünmesi ( $q_s$ )	100.00 kPa
	Elastisite Modülü ( $E_s$ )	90.00 MPa

İnceleme sahasında düşey iksa elemanlarının mini kazık, yatay iksa elemanın zemin çivisi olan bir iksa sistemi oluşturulmuştur. Çalışma sahasında, mini kazıklar  $d=30.00$  cm çapında,  $s=0.60$  m yatay aralıkla  $L=10.50$  m boyunda teşkil edilmiştir. Mini kazıklar  $L=6.00$ ,  $8.00$  m ve  $12.00$  m boylarında,  $d=26$  mm çapındaki geçici zemin çivileri ile yatay aralıkları,  $s=1.20$  ile  $1.80$  m olacak şekilde desteklenmiştir. İnceleme alanında ön tasarımda kullanılan zemin çivisi parametreleri Tablo 2’de özetlenmiştir.

**Tablo 2. Projeye ön tasarımda kullanılan zemin çivisi parametreleri**

Eleman	Parametre	Değer
Zemin Çivisi	Normal Rijitlik ( $E_A$ )	$2.32 \times 10^5$ kN/m
	Delik çapı ( $D_{ank}$ )	0.12 m
	Donatı çapı ( $D_{çivi}$ )	0.026 m
	Donatı Elastisite Modülü ( $E_r$ )	$2.00 \times 10^8$ kN/m <sup>2</sup>
	Yatay Aralık ( $s_h$ )	1.80 m
	Donatı Uzunluğu ( $L_{donatı}$ )	12.00-6.00 m

Proje kapsamında kritik olarak belirlenen kesit için gerilme-deformasyon ve limit-denge (toptan göçme) analizleri yapılmıştır. Analizler için kurulan iksa kesitleri Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. İdealize zemin profili, Plaxis 2D ve Talren modeli

## 2.2 Limit Denge Analizleri

Limit denge analizleri Talren bilgisayar programı yardımıyla yapılmıştır. Talren programı limit denge analizleri programıdır. Geçici durum analizlerinde, şev stabilitesi güvenlik faktörü (FoS) için minimum FoS=1.30 kabulü ile yapılmıştır (Lazarte et al., 2015). Analizlerde mini kazıkların kesmeye karşı rijitliği dikkate alınmıştır. Yapılan analizler neticesinde kritik kesite ait güvenlik sayısı, 1.62 olarak hesaplanmıştır.

## 2.3 Sonlu Elemanlar Analizleri

Projelendirilen iksa sisteminin gerilme-deformasyon analizleri Plaxis 2D yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Plaxis yazılımı sonlu elemanlar metodunu kullanarak düğüm noktalarında oluşan genel bir ağ yüzeyi oluşturup, düğüm noktaların da meydana gelen deplasman ve kuvvetler yardımıyla analiz yapmaktadır. Yapılan analizler sonucunda, elde edilen deplasmanlar ve kesit tesirleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Sonlu elemanlar analizleri deplasman ve kesit tesiri değerleri

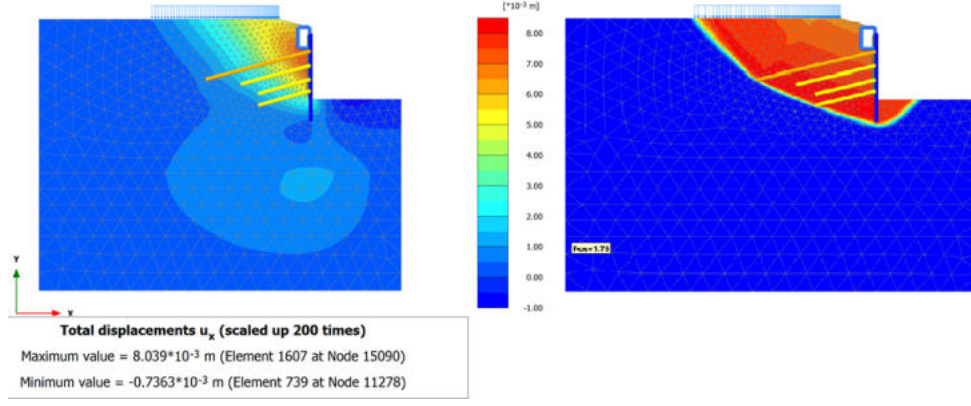
Kesit	Kazı Derinliği H (m)	Maksimum Deplasman $\Delta x$ (mm)	Normal Kuvvet (kN/m)	Zemin Çivisi Kesme Kuvveti (kN/m)	Eğilme Momenti (kN/m)
(*1) GEOGRİD	8.40	8.00	61.42	-	-
(*2) EBR	8.40	7.00	52.84	3.94	0.80

\*1: Kritik kesit zemin çivileri "Geogrid" elemanı ile tasarlanmıştır.

\*2: Kritik kesit zemin çivileri "Embedded Beam Row" elemanı ile tasarlanmıştır.

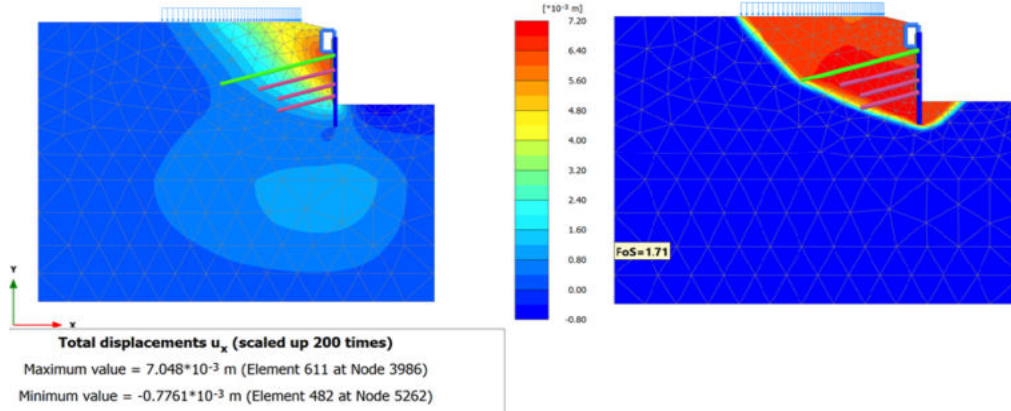
Zemin çivilerinin "Geogrid" eleman olarak tanımlandığı modelde oluşan, yatay deplasman ve muhtemel toptan göçmeye karşı kayma düzlemi Şekil 2'de gösterilmiştir.

Zemin çivilerini "Geogrid" eleman olarak tanımlandığı analizlerde iksa sisteminde yatayda  $u_x=8.00$  mm deplasman meydana gelmiştir. Sitemin toptan göçme karşı güvenlik sayısı FoS=1.76 olarak hesaplanmıştır.



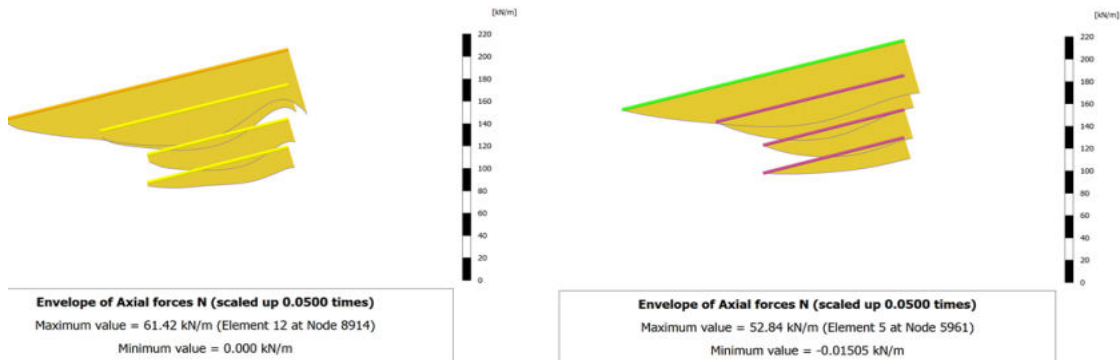
**Şekil 2. Geogrid model inceleme kesiti yatay deplasman ve toptan göçme kaması**

Zemin çivilerinin “Embedded Beam Row” eleman olarak tanımlandığı modelde oluşan yatay deplasman ve toptan göçmeye karşı kayma düzlemi Şekil 3’te gösterilmiştir. Yapılan analizlerde, iksa sisteminde yatayda  $u_x=7.05$  mm deplasman olduğu saptanmıştır. Sitemin toptan göçme karşı güvenlik sayısı FoS=1.71 olarak hesaplanmıştır.



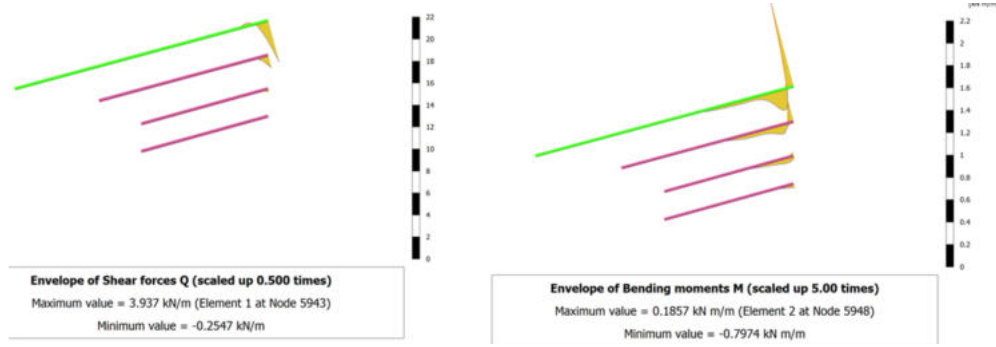
**Şekil 3. EBR model kesiti yatay deplasman ve toptan göçme kaması**

İnceleme kesitinde zemin çivilerinin “Geogrid” eleman olarak tanımlandığı modelde, zemin çivilerinde maksimum normal kuvvet, birinci sıra zemin çivisinde ve 61.42 kN/m değerinde hesaplanmıştır. Zemin çivilerinin “Embedded Beam Row” eleman olarak tanımlandığı modelde, zemin çivilerinde oluşan maksimum normal kuvvet, birinci sıra zemin çivisinde ve 52.84 kN/m değerinde hesaplanmıştır. İki farklı model ile yapılan analizlere ait sonuçlar Şekil 4’de verilmiştir.



**Şekil 4. EBR ve Geogrid modelde oluşan normal kuvvetler**

İnceleme kesitinde zemin çivilerinin “Embedded Beam Row” elaman olarak tanımlandığı modelde zemin çivilerinde oluşan kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri Şekil 5’te gösterilmiştir.

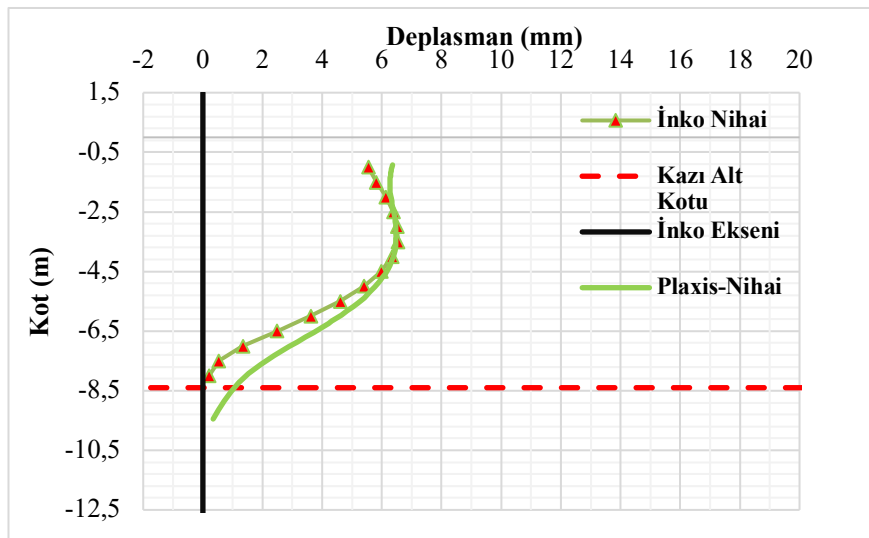


Şekil 5. Zemin çivisinde oluşan kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri (EBR Model)

Yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucunda görülebileceği gibi “Embedded Beam Row” ile tasarlanan modelde çok düşük mertebelerde kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri oluşmaktadır. İki farklı eleman tanımlanarak yapılan analiz sonucunda; iki modelde de oluşan yatay deplasmanlar, toptan göçmeye karşı güvenlik sayıları ve zemin çivisinde oluşan normal kuvvetler birbirine yakın mertebelerde oluşmaktadır.

## 2.4 İnklinometre Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İksa projesi kapsamında, analizlere konu olan kritik kesit için düzenli inklinometre okumaları alınarak, iksa kesitinde oluşan yatay deplasmanlar takip edilmiştir. İnklinometre okumaları ile Plaxis 2D analizleri sonucunda oluşan deplasmanlar, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Nihai kazı kademesinde inklinometre ve Plaxis 2D sonuçlarının beraber verildiği sonuçlar Şekil 6’da yer almaktadır. İnklinometre sonuçları ile Plaxis sonuçlarının Şekil 6’da gösterildiği gibi aynı mertebeler olduğu ve iksa sistemde oluşan deplasman şeklinin olduğu görülmektedir.



Şekil 6. İnklinometre ve Plaxis sonuçlarının karşılaştırılması

Yapılan sonlu eleman analiz sonuçları ve inklinometre sonuçları beraber değerlendirildiğinde; analiz edilen modelin doğru kurulması ve saha koşullarının modele doğru yansıtılması, proje sahasında oluşabilecek gerçek durumunun önceden modellenerek ekonomik ve optimum çözümlerin yapılabilmesine olanak tanımaktadır.

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bildiri kapsamında inceleme alanında sert killi zemin profilinin hâkim olduğu bir sahada, mini kazıklı zemin çivisi iksa sistemi üzerinde bir takım analiz ve testler yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Analizlerde mini kazıkların düşey elemanlar olarak, zemin çivilerinin ise yatay destek elemanı olarak kullanıldığı bir proje vaka analizi olarak incelenmiştir. Proje kapsamında gerçekleştirilen inklinometre okumaları ile Plaxis 2D analizleri sonucunda oluşan deplasmanlar, karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

- Yapılan limit denge analizleri sonucunda, toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı 1.62 olarak bulunmuştur. Sonlu elmanlar analizlerinde, zemin çivilerinin “Geogrid” ve “Embedded Beam Row” tanımlandığı modellerde toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı sırasıyla, 1.76 ve 1.71 olarak hesaplanmıştır. Yapılan üç analizde de toptan göçmeye karşı güvenlik katsayıları birbirine yakın mertebelerde olduğu görülmektedir.
- Sonlu elmanlar analizlerinde zemin çivilerinin “Geogrid” ve “Embedded Beam Row” tanımlandığı modellerde sistemde oluşan; yatay deplasman ve zemin çivisi normal kuvvetleri yakın mertebelerde oluşmuştur.
- Zemin çivilerinin “Embedded Beam Row” tanımlandığı modellerde, zemin çivilerinde oluşan kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri çok düşük mertebelerde hesaplanmıştır. Yapılan analizler neticesinde, zemin çivilerinde elde edilen eğilme momenti ve kesme kuvvetlerinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğu belirlenmiştir. Bu durum; literatürde bildirilen benzer vaka çalışmaları ile uyumludur.
- Elde edilen analiz sonuçları, sonlu elmanlar analizlerinde zemin çivilerinin “Geogrid” ve “Embedded Beam Row” olarak tanımlanabileceğini göstermektedir.
- Vaka analizinde sonlu elemanlar ve inklinometre sonuçları beraber değerlendirildiğinde; analiz edilen kesitin doğru modellenmesi ve saha koşullarının modele doğru yansıtılması, proje sahasında oluşabilecek gerçek durumunun öngörülerek ekonomik ve optimum çözümlerin yapılabilmesine olanak tanıdığı söylenebilir.

### KAYNAKLAR

FHWA-SA-96-069R. (1998). *Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls* U.S. Department of Transportation.

Lazarte, C. A., Robinson, H., Gómez, J. E., Baxter, A., Cadden, A., & Berg, R. (2015). *Soil nail walls reference manual* (No. FHWA-NHI-14-007).

### TEŞEKKÜR

*Bu çalışmaya katkılarından dolayı çalışmanı olduğum; Geobos Zemin Güçlendirme firmasına ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.*

*Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.*