

KAZIKLARLA STABİLİZE EDİLMİŞ ŞEVLERİN KISA SÜRELİ STABİLİTE ANALİZLERİNDE ÜÇ BOYUTLU ETKİLERİN İNCELENMESİ

A STUDY ON THE 3D EFFECTS IN SHORT TERM STABILITY ANALYSIS OF SLOPES STABILIZED WITH PILES

Emre TEKDEMİR¹, Irem Zeynep YILDIRIM²

ÖZET

Şev boyunca yerleştirilen aralıklı kazıklar, yaygın şev stabilizasyon yöntemlerinden biridir. Kazıkların etkisiyle farklılaşan göçme mekanizmalarını doğru olarak belirlemek ve şevlerin stabilitesini değerlendirebilmek için kazık-şev sisteminin bütünleşik olarak analiz edilmesi gerekir. Bu çalışmada kazıklarla güçlendirilmiş killi şevlerin kısa süreli durumda (drenajsız) stabilite analizlerindeki üç boyutlu etkiler incelenmektedir. Analizlerde 2V:1H eğime sahip, 10m yüksekliğinde, yüksüz ve sürşarj yüklü killi şevler, sonlu elemanlar yöntemi kullanan bir yazılım ile üç boyutlu olarak modellenerek analiz edilmiştir. Bütün modelde, yüklü durum için 90 m'lik şeve 12 m x 24 m boyutlarında dikdörtgen bölgesel bir sürşarj yük etkimektedir. Dilim model ise bu bütün modelden 9 m'lik yüklü bir kesit alınarak hazırlanmıştır. Başları şev yüksekliğinin ortasına yerleştirilen kazıkların ucu, şev topuğunun 10 m altında bulunan kum tabakası içinde 5 m derinliktedir. Yüksüz durumda dilim model ve bütün modelin analizinden elde edilen güvenlik katsayıları ve göçme mekanizmaları birbirleriyle uyumludur. Bütün model ile kıyaslandığında dilim modelin hesaplama süresi çok daha azdır. Bu sonuçlar yüksüz şevlerin analizleri için dilim modelin bütün model kullanımına tercih edilebileceğini göstermektedir. Bölgesel bir yükleme olması durumunda ise dilim model ve bütün model için elde edilen sonuçlar farklılaşmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, özellikle sınırlı boyutları olan bir sürşarj yükleme etkisi altında olan ve kazıklarla güçlendirilmiş şevlerin üç boyutlu analizlerinde bütün model kullanımının önemini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Şev stabilitesi, kazıklarla stabilizasyon, sürşarj, sonlu elemanlar metodu, üç boyutlu analiz

ABSTRACT

Piles placed with spacing in-between along the slopes, is one of the common slope stabilization techniques. In order to assess the stability of the slopes stabilized with piles, by accurately identifying the failure mechanisms, a coupled analysis of the pile-slope system is required. This study investigated the influence of the three-dimensional effects on a short-term (undrained) stability analysis of pile-stabilized clayey slopes. In the analyses, 10 m high clayey slope with a 2V:1H inclination was modeled and analyzed with and without surcharge loads, using the software that utilized the three-dimensional finite element method. In the loaded cases, a 12 m by 24 m rectangular surcharge load was applied at the crest of the full slope model with an out-of-plane depth of 90 m. Using the loaded section of the full model, a slice model with an out-of-plane depth of 9 m was created. Piles placed at the middle of the slope were tipped at a depth of 5 m within the sand layer that laid 10 m below the toe of the slope. For the cases without surcharge load, the slice and the full model provided very similar factor of safety values and the failure mechanisms. The computation time

¹ Araştırma Görevlisi, Boğaziçi Üniversitesi, emre.tekdemir@boun.edu.tr

² Dr. Öğretim Üyesi, Boğaziçi Üniversitesi, zyildirim@boun.edu.tr (Sorumlu yazar)

required for the slice model was significantly lower than that of the full model. These observations indicate that the slice model can be preferred over the full model for the analysis of slopes without surcharge loads. In the case of a local limited-size surcharge loading, the difference between the results obtained from the analysis of the full model and the slice model became significant. The results of this study show the importance of using the full model, especially in the three-dimensional analysis of pile-stabilized slopes under local loading conditions.

Keywords: *slope stability, pile stabilized slopes, finite elements method, surcharge, three-dimensional analysis*

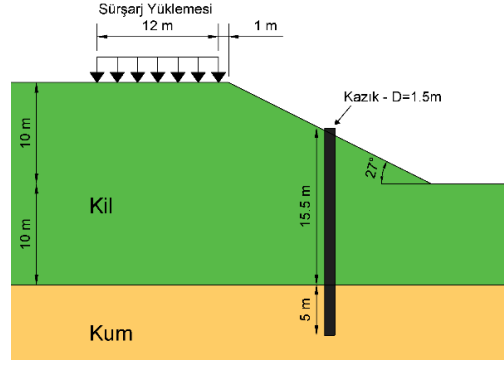
1. GİRİŞ

Betonarme kazıklar şevlerin stabilitesini iyileştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Sürşarj yüklerinin planlandığı ve şev geometrisinin değiştirilmesine ilişkin sınırlamaların olduğu durumlarda, kazıklarla yapılan stabilizasyon en etkili yöntemlerden biridir (Liang vd., 2009; Yıldırım, 2019). Şev stabilitesi problemine kazıkların eklenmesi şevin göçme mekanizmasında önemli değişikliklere sebep olmaktadır. Bu sebeple şevin ve kazıkların tek bir sistem olarak modellenmesi, bu bileşenler arasındaki etkileşimlerin daha doğru bir şekilde değerlendirilebilmesi için gereklidir. Bu tip deformasyon ve stabilite analizleri, üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar (FE) veya sonlu farklar (FD) metotları kullanılarak yapılabilir (Cai ve Ugai, 2000; Keleşoğlu, 2015). FE ve FD araçları tipik olarak, zeminlerin drenajlı veya drenajsız kayma mukavemeti parametrelerini kademeli olarak azaltarak göçme mekanizmasını tahmin etmeye çalışır. Mukavemet parametrelerindeki küçük bir artışın göreceli olarak yüksek yer değiştirmelere yol açtığı durum göçme olarak kabul edilir. Bu durumda azaltılmış mukavemet parametrelerinin başlangıçtaki mukavemet parametrelerine oranı belirlenerek bütün sistem için tek bir güvenlik katsayısı hesaplanır (Brinkgreve vd., 2021). Killi şevlerde sürşarj yüklemesiyle oluşan ve hızlı sönmümlenemeyen boşluk suyu basıncı etkileriyle ani ve derin göçmeler gözlenebilir. Derin göçmelerde, kazığın yapısal kapasitesinin göçmeyi yönetmesi muhtemeldir. Bu yüzden, FE analizlerinde kazık elemanlarının yapısal olarak göçmeye olanak sağlayacak şekilde modellenmesi sonuçları etkilemektedir (Jiang vd., 2022). Bu çalışmada, elasto-plastik betonarme kazıklar kullanılarak stabilize edilen killi şevlerin kısa süreli analizlerinde oluşan 3D etkiler, FE analizleri sonuçlarıyla irdelenmektedir. 3D etkileri incelemek için farklı düzlem dışı derinliğe ve yükleme koşullarına sahip şev modelleri, uygun zemin-kazık ara yüzlerine sahip hacim elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Analizlerde şev geometrisi, zemin özellikleri, sürşarj ve kazık yerleşim parametreleri sabit tutulmuştur. Betonarme kazıklarla stabilize edilmiş killi şevlerin deformasyonları, kazık tesirleri ve güvenlik katsayıları tartışılmıştır.

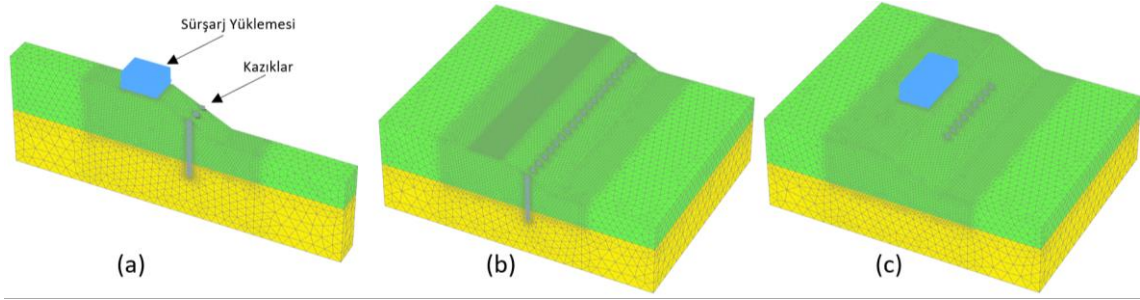
2. YÖNTEM

Bu çalışmada, 2H:1V eğime sahip, 10 m yüksekliğinde killi bir şev incelenmektedir (bkz. Şekil 1). Şevin yüksüz durumda ve şev tepe noktası yakınına yerleştirilmiş 100 kPa büyüklüğünde sürşarj yükü etkisi altında deformasyon ve stabilite analizleri yapılmıştır. Analizlerde 3D FE geoteknik yazılımı Plaxis 3D (Brinkgreve vd., 2021) kullanılmıştır. Analizlerde 90 m düzlem dışı derinliğe sahip bir bütün model ve 9 m düzlem dışı derinliğe sahip bir dilim model hazırlanmıştır. 90 m'lik bütün modelde şeve 12 m x 24 m boyutlarında bölgesel bir sürşarj yükü etkilendirilmiştir. 9 m'lik dilim modelde ise hazırlanan bütün modelden düzlem dışı derinlik boyunca yük etkisinde ince 12 m x 9 m boyutlarında bir kesit alınmıştır. Bu çalışmada farklı yükleme koşulları için üretilen ve değerlendirilen 3D FE modeller Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 2a'da sürekli yük altında kazıklarla stabilize edilmiş (güçlendirilmiş) bir dilim şev modeli görülmektedir. Şekil 2b'de ise yüksüz durumda kazıklarla stabilize edilmiş bir bütün model görülmektedir. Bu iki modelde de düzlem şekil değiştirime durumunun geçerli olduğu düşünüldüğü için, bu durumların analizinde iki boyutlu (2D) analizler yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu çalışmada, aralıklı kazıkların geometrisinin yük transfer mekanizmasındaki etkisinin ve kazıklar arası oluşan kemerlenme etkilerinin gözlenebilmesi için bu iki durum için de 3D analiz tercih edilmiştir. Ayrıca yüksüz ve sürekli yüklü durum için tercih edilen 3D analizler, Şekil 2c'de sunulan bölgesel yükleme durumu için elde edilen sonuçlarla daha kolay karşılaştırma yapılabilmesini de sağlamıştır.

Analizlerde sıkı kum üstünde orta katı bir kil tabakası bulunduran bir zemin profili kullanılmıştır. Kum ve kil malzemeler için hardening small strain (HSS) bünye modeli kullanılmıştır. Kullanılan zemin parametreleri Tablo 1'de sunulmaktadır. İlk olarak, doğal şevin stabilitesi, sürşarj yükünün uygulanmasından önce ve sonra analiz edilmiştir. Yükleme durumundaki şevin dilim model kullanılarak kısa süreli (drenajsız) stabilite analizi sonucunda elde edilen (2D analizle karşılaştırılabilecek) güvenlik katsayısı (F_s) 1.147'dir. Kısa süreli durum için minimum güvenlik katsayısının en az ~1.3 olması hedeflenir. Dilim modelden elde edilen F_s değeri, sürşarj yükü uygulanmadan önce şevin güçlendirilmesinin (stabilizasyonunun) gerekliliğine işaret etmektedir.



Şekil 1. İncelenen şev geometrisi



Şekil 2. Üç boyutlu (3D) FE modeller ve yükleme koşulları: (a) yüksüz/süreklî sürşarj yüklü dilim model, (b) yüksüz bütün model, (c) bölgesel yüklemeli bütün model

Tablo 1. FE modelinde kullanılan zeminlerin özellikleri

Zemin	Drenaj koşulu	γ (kN/m ³)	Su (kPa)	$c'^{(1)}$ (kPa)	φ' (Deg.)	E_{50}^{ref} (kPa)	E_{oed}^{ref} (kPa)	E_{ur}^{ref} (kPa)
Orta katı kil	Drenajsız	16	50	-	-	12000	12000	36000
Sıkı kum	Drenajlı	18	-	1	42	70000	70000	210000

Not: Kullanılan FE yazılımında sayısal hataları önlemek için kumların drenajlı analizinde Mohr-Coulomb efektif kohezyon parametresininin 0.2 kPa'dan yüksek olması ($c' > 0.2$ kPa) önerilmektedir (Brinkgreve vd., 2021). Bu sebeple kumun efektif kohezyon parametresi 1 kPa alınmıştır.

Yüklemeden önce, sürşarj yükleri altında stabiliteyi artırmak için modele betonarme kazıklar eklenmiştir. Betonarme kazıkların çapı 1.5 m ve iki kazık arası merkezden merkeze mesafe kazık çapının üç katıdır ($S/D=3$). Kazık başları serbest hareket edecek şekilde modellenerek şev yüksekliğinin ortasına yerleştirilmiştir. Kazık uçları ise kilin altındaki sıkı kum tabakası içinde 5 m derinliğe yerleştirilmiştir. Şev modeline hacim eleman olarak eklenen betonarme kazıklar, Gerolymos vd. (2014) tarafından önerilen elasto-plastik makroskopik betonarme eleman modeli kullanılarak modellenmiştir. Bu makroskopik betonarme eleman yaklaşımında donatı ve beton bir bütün olarak kabul edilmekte ve betonarme kazıklar Mohr-Coulomb (MC) parametreleri ile tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımda betonarme elemanın MC parametreleri, tekil betonarme elemanların M-N göçme zarfları ve moment-eğrilik ilişkileri kullanılarak, Matlab ve Plaxis 3D programları aracılığıyla kalibre edilmiştir. Kazık en kesitinde beton alanının toplam boyuna donatı alanına oranı %1.5 olarak kabul edilmiştir. Bu donatı oranına sahip betonarme eleman için önerilen elasto-plastik betonarme kazık parametreleri Tablo 2'de sunulmaktadır.

Tablo 2. FE modelinde kullanılan elasto-plastik betonarme kazık parametreleri (Gerolymos vd., 2014)

E (GPa)	ν	c (kPa)	φ (Deg.)	σ_t (kPa)
30	0.2	15262	0	7534

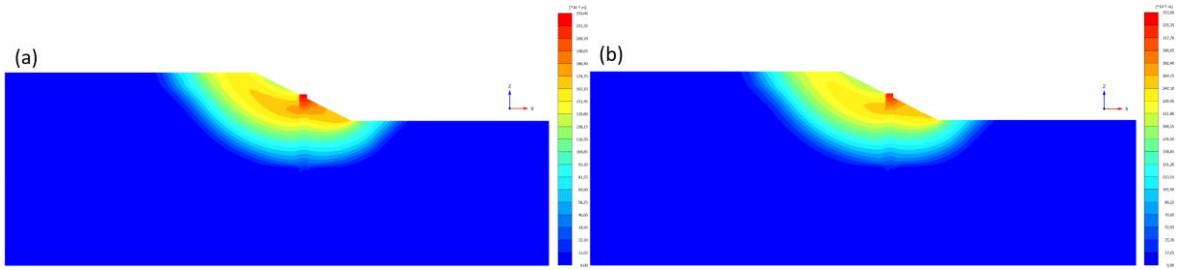
Kazıklarla stabilize edilen bütün şev ve dilim şev modellerinin analiz sonuçlarından elde edilen F_s değerleri, kazıklarda oluşan kesit tesirleri ve gözlenen göçme mekanizmaları karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Analiz edilen şevler için, kazıklarla stabilite edilmeden önce ve stabilizasyon sonrası elde edilen F_s değerleri ve kazıklar etkisiyle F_s değerinde gözlenen artışlar (ΔF_s) Tablo 3'te sunulmaktadır. Tablo 3'e göre yüksüz durumlarda dilim ve bütün modellerin analizinden elde edilen F_s değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Ayrıca kazıkların sisteme kattığı stabilizasyon etkisini daha net görebilmek için sunulan ΔF_s değeri, iki model için de aynıdır. Şekil 3, kazıklı ve yüksüz durumda stabilite analizinde gözlenen göçme mekanizmalarını göstermektedir. Şekil 3'te bütün ve dilim modelden elde edilen göçme yüzeylerinin benzer şekle sahip olduğu ve benzer derinliklerden geçtiği görülmektedir. İki modelde de kazıkların, eğilme momenti kapasitelerine ulaştıkları ve bu sebeple de kum zemine girdikleri derinlikte plastik bir mesnet oluştuğu gözlenmiştir. Kazıkların F_s değerlerini yükselttiği, ancak göçme şeklini ve derinliğini çok değiştirmedeği gözlenmiştir. Stabilize edilmiş şev için hazırlanan modellerin analizlerinde göçme durumunu kazıkların yapısal kapasitesi kontrol etmektedir. Yüksüz durumda dilim modelin analizinden elde edilen F_s değerinin bütün modelden elde edilene çok yakın olduğu gözlenmiştir. Bu sonuç yüksüz şevlerin üç boyutlu analizlerinde çok daha kısa işlem süresine sahip olan dilim modelin sorunsuz kullanılabilceğini göstermektedir.

Tablo 3. Üç boyutlu (3D) FE analiz sonuçlarına göre kazıkların güvenlik katsayılarına etkisi

Model	Stabilizasyondan önce F_s	Stabilizasyondan (kazıklardan) sonra F_s	ΔF_s artış
Dilim model - yüksüz	1.794	2.199	0.405
Bütün model - yüksüz	1.798	2.203	0.405
Dilim model - sürekli yükleme	1.147	1.282	0.135
Bütün model - bölgesel yükleme	1.461	1.591	0.130

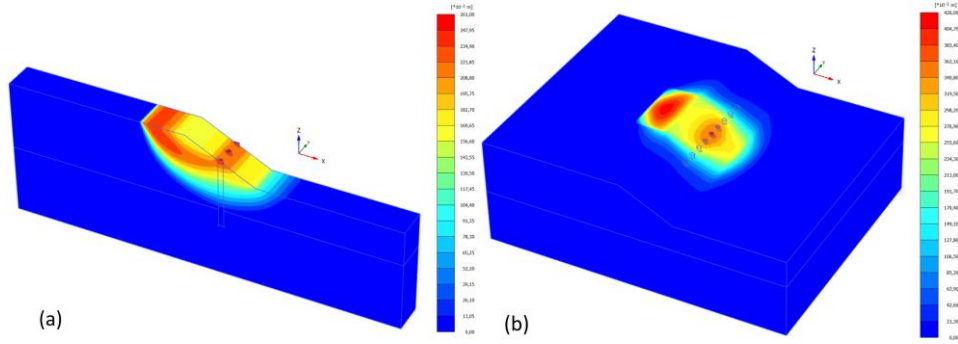


Şekil 3. Yüksüz durumda gözlenen göçme mekanizmaları (inkremental deplasman):
(a) dilim model, (b) bütün model

Tablo 3, şev tepesine yakın dikdörtgen (12 m x 9 m) 100 kPa bir sürşarj yük etkideği durumda, dilim model ve bütün modelin analizlerinden elde edilen F_s değerlerinin farklılığını göstermektedir. Bütün model, bölgesel yüklemenin sebep olduğu üç boyutlu çanak şeklindeki göçme mekanizmasının oluşmasına olanak sağladığı için daha yüksek F_s değeri hesaplamaktadır. Dilim modelde ise yüklemenin düzlem dışı derinlik boyunca devam ettiği kabul edilen sürekli bir yükleme durumu varsayılmakta, bu da daha elverişsiz bir durum olduğu için, analizler daha düşük F_s değerleri ile sonuçlanmıştır. Bütün ve dilim modelin analizlerinden elde edilen F_s değerleri arasındaki fark, güçlendirilmemiş (kazıksız) ve kazıklı analizlerde benzerdir.

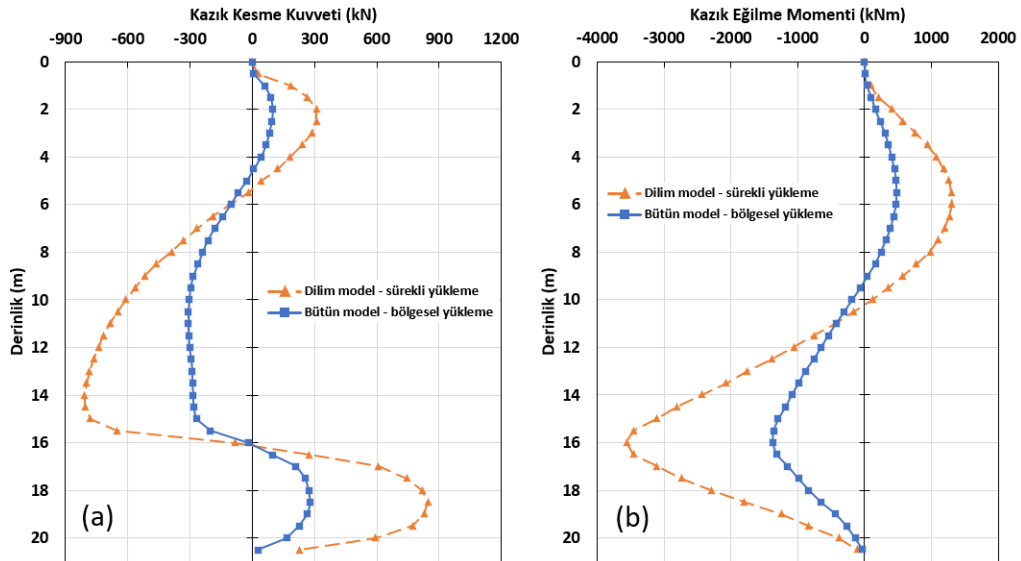
Şekil 4, yükleme durumunda stabilite analizlerinde dilim ve bütün modelde gözlenen göçme mekanizmalarını göstermektedir. Şekil 4a ve 4b'deki kazık başı hareketleri incelendiğinde, kazık başlarının etraflarındaki zemine kıyasla daha fazla hareket ettiği görülmektedir. Bu gözlem kazıkların stabilizasyon sebebiyle yüklendiğini ve üç boyutlu modellenen aralıklı kazıklara yük aktarımının sağlandığını göstermektedir. Şekil 4a'da gösterilen dilim modelde, düzlem dışı derinlik boyunca devam eden bir yükleme durumu olduğu için tüm kazıkların aynı etkiler altında olduğu görülmüştür. Bütün modelde ise (bkz. Şekil 4b), dilim modelden farklı olarak, şevin orta noktasına denk gelen kazığın en elverişsiz etkiler altında olduğu, orta noktadan uzaklaştıkça kazıklara etki eden kesit tesiri ve deplasmanların kademeli olarak azaldığı görülmüştür. Bölgesel yükleme sebebiyle kazıklarla stabilize edilen şevde oluşan (kazık ve şev sisteminin) bütünleşik göçme mekanizması Şekil 4b'de net bir şekilde görülmektedir. Yüksüz duruma benzer olarak, yüklü durumda da göçme yüzeyinin derinden geçtiği ve kazıkların yapısal kapasitesinin göçme modunu yönettiği gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kazıklarla güçlendirilen şev sistemlerinde, özellikle göçme mekanizmasının kazıkların

kontrol etmesinin beklendiği durumlarda kazıkların elasto-plastik olarak modellenmesinin avantajını göstermektedir. Analizlerin bütün modelde yapılması kazıklardan önce yükün oluşturduğu etki alanının incelenmesini de sağlamaktadır. Bunun genel avantajı da ihtiyaç olduğunda stabilizasyon için gereken optimum kazık sayısının ve yerleşiminin belirlenebilmesidir. Yapılan bölgesel yüklemeli bütün model analizlerinde stabilizasyon için toplam dokuz (9) kazık kullanılması yeterli olmuştur. Sonuçlar kazıklarla stabilize edilen bölgesel yüklü şevlerin stabilite analizlerinde dilim model yerine bütün model kullanmanın daha ekonomik stabilizasyon çözümleri üretebileceğini göstermektedir.



Şekil 4. Yükleme durumunda stabilite analizinde gözlenen göçme mekanizmaları (inkremental deplasman): (a) dilim model – sürekli yükleme, (b) Bütün model – bölgesel yükleme

Yüklemenin tam orta noktasına denk gelen, en elverişsiz konumdaki kazıkların kesme kuvveti ve eğilme momentinin derinlikle değişimi sırasıyla Şekil 5a ve Şekil 5b’de görülmektedir. Dilim ve bütün model sonuçları karşılaştırıldığında, kazık davranışının genel olarak benzer olduğu görülmektedir. Yükleme durumunda deformasyon analizinden elde edilen kazık kesit tesirleri ve yer değiştirmeler Tablo 4’te sunulmaktadır.



Şekil 5. Yükleme durumunda kazık iç kuvvetleri: (a) Kesme kuvveti, (b) Eğilme momenti

Tablo 4. Yükleme durumunda üç boyutlu (3D) FE deformasyon analizi sonuçlarına göre kazık kesit tesirleri

Model	Maksimum yatay kazık başı deplasmanı (cm)	Maksimum eğilme momenti (kNm)	Maksimum kesme kuvveti (kN)
Dilim model - sürekli yükleme	8.1	3559	847
Bütün model - bölgesel Yükleme	2.9	1390	310

Kazıklı ve yüklü şevlerin deformasyon analizlerinde, dilim modelin analizinden elde edilen maksimum kazık kesit tesirlerinin ve kazık başı deplasmanlarının bütün modelin analizinden elde edilen değerlerin 2.5 katından

yüksek olduğu gözlenmiştir. Kesit tesitleri, bölgesel yükleme etkisi altındaki şevlerin deformasyon ve stabilite analizlerinde, üç boyutlu göçme yüzeyinin oluşmasına izin veren bütün model kullanımının avantajlı olduğunu göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, kazıklarla stabilize edilmiş killi şevlerin analizlerinde üç boyutlu (3D) etkileri incelemektedir. İncelenen şev için, kısa süreli yükleme koşulları altında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Hesaplama süresi 3D bütün modele kıyasla çok kısa olan 3D dilim model yüksüz (kazıklı ve kazıksız) şevlerin analizlerinde kullanıldığında elde edilen güvenlik katsayıları bütün modelin analizinden elde edilen değerlere oldukça yakındır.
- Kazıksız ve yüklü şevlerin 3D stabilite analizleri sonucunda, bölgesel yükleme sonucu oluşması beklenen çanak şeklindeki göçme yüzeyi ancak 3D bütün modelde yapılan analizlerde gözlenebilmektedir. Bu üç boyutlu etkiler, bütün modelin analizlerinde daha yüksek bir güvenlik katsayısı elde edilmesini sağlamaktadır.
- İncelenen örnekte, kazık-şev sisteminin göçme mekanizması ve güvenlik katsayısını kazık kapasitesi belirlemektedir. Kazıklarla stabilize edilen şev sistemleri modellenirken, özellikle kazıkların göçmeyi kontrol etmesi beklenen durumlarda, kazıkların elasto-plastik olarak modellenmesi anlamlı güvenlik katsayıları elde edilmesi için önemlidir.
- Kazıklı ve yüklü şevlerin deformasyon analiz sonuçları incelendiğinde bölgesel yüklemeli şevlerin deformasyon analizlerinin 3D bütün model kullanılarak yapılmasının (optimum kazık sayısının ve yerleşiminin de belirlenmesi açısından) daha ekonomik sonuçlar sağlayacağı belirlenmiştir.

Bu çalışma, bölgesel yükleme durumunu incelemeyi hedeflediği için 3D analizlere yoğunlaşmıştır. Geoteknik uygulamalarında 2D analizler, düzlem şekil değiştirme durumunda şev stabilitesi problemlerinde sıklıkla başvurulan bir modelleme yöntemidir. Özellikle yüksüz ve sürekli yüklü şevler için 2D ve 3D analizlerin kıyaslanması bu çalışmanın bir eksikliğidir ve gelecekte yapılacak karşılaştırmalı çalışmalar literatüre katkı sağlayabilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmayı Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) 16961 numaralı proje kapsamında destekleyen Boğaziçi Üniversitesi'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Brinkgreve, R. B. J., Kumarswamy, S., Swolfs, W. M., Fonseca, F., Ragi Manoj, N., Zampich, L., Zalamea, N. (2021), "PLAXIS 3D 2021 Reference Manual", PLAXIS bv. Delft, The Netherlands.
- Cai, F., & Ugai, K. (2000), "Numerical Analysis of the Stability of a Slope Reinforced with Piles", *Soils and Foundations*, 40(1), 73–84. <https://doi.org/10.3208/sandf.40.73>
- Gerolymos, N., Papakyriakopoulos, O., & Brinkgreve, R.B.J. (2014), "Macroelement Modeling of Piles in Cohesive Soil Subjected to Combined Lateral and Axial Loading", In MA. Hicks, R.B.J. Brinkgreve, & A. Rohe (Eds.), *Proceedings of The 8th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering* (pp. 373-378), Taylor and Francis. <https://doi.org/10.1201/b17017-68>
- Keleşoğlu, M.K. (2015), "The Evaluation of Three-dimensional Effects on Slope Stability by the Strength Reduction Method", *KSCÉ Journal of Civil Engineering*, 20(1), pp. 229–242. <https://doi.org/10.1007/s12205-015-0686-4>
- Liang, R. Y., Yamin, M., & Bodour, W. A. (2009), "Lesson from Instrumented Slope Stabilization Project Using Drilled Shafts", *International Foundation Congress and Equipment Expo, Orlando*. [https://doi.org/10.1061/41021\(335\)13](https://doi.org/10.1061/41021(335)13)
- Jiang, J., Huang, X., Shu, X., Ning, X., Qu, Y., & Xiong, W. (2022), "Application of a Damage Constitutive Model to Pile-Slope Stability Analysis", *Frontiers in Materials*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1082292>
- Yıldırım, İ., Z., (2019), "Bir Dolgu Taşkın Setinin Yüklenmesiyle Oluşan Şev Stabilitesi Probleminin Çözümü", *İMO Uluslararası 8. Geoteknik Sempozyumu Bildiri Kitabı, İstanbul, 2019*.