

HEYELANLARIN KESME KAZIKLARI İLE STABİLİZASYONU VE DİNAMİK ANALİZİ

DYNAMIC ANALYSIS AND STABILIZATION OF LANDSLIDES BY SHEAR PILES

Yusuf YAŞAR¹, Özgen KÖKTEN², Tolgahan FEYİZOĞLU³

ÖZET

Heyelan ve şev kaymalarının tetiklenmesinde nadiren tek bir neden etkin olmakla birlikte genel olarak ve çoğunlukla birden fazla nedenin oluşturduğu mekanizma etkin olmaktadır. Bu çalışma kapsamında bir vaka analizi özelinde, heyelanların sınıflandırılması, olası kayma düzlemlerinin tariflenmesi, geri hassaslık analizleri ile tetiklenmiş kayma dayanımı parametrelerinin tayini, heyelan stabilizasyonu ile ilgili konvansiyonel olarak benimsenen tasarım kriterleri ve metodolojisinin belirlenmesi, kesme kazıklarının tasarım esasları, kullanılarak üç boyutlu (3D) sonlu elemanlar modelinin kurulması, dinamik analizlerinin yapılarak hazırlanan tasarım hakkında bilgiler sunulmuştur. Bununla birlikte 3D sonlu elemanlar analizi ile yapılan statik ve dinamik analiz sonuçları, yapılan iki boyutlu (2D) analizler ile karşılaştırılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelanlar, şev stabilitesi, kesme kazıkları, sonlu elemanlar

ABSTRACT

The triggering of the landslides and slope failures are generally caused by the combination of the natural and human made major reasons. In the aim of this study, the classification of the landslides, determination of the possible slip planes, calculation of the triggered shear strength parameters by the site based sensitivity analyses, determination of conventionally followed design criteria and methodology for landslide stabilization, design principles of shear piles are evaluated. In addition, the obtained static and dynamic analysis results by three and two-dimensional finite element are evaluated and compared.

Keywords: Landslides, slope stability, shear piles, finite elements

¹ İ İnşaat Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş., yusuf.yasar@temelsu.com.tr (Sorumlu Yazar)

² İnşaat Yüksek Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş., ozgen.kokten@temelsu.com.tr

³ İnşaat Yüksek Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş., feyizoglutolgahan@temelsu.com.tr

1. GİRİŞ

Heyelanlar yeryüzünde çok sık meydana gelen ve çok yaygın bir kütle hareketi çeşididir. Aşınmada önemli rol oynayan heyelanlar aynı zamanda topoğrafyada derin izler bırakırlar. Eğimlerin fazla olduğu sahalarda heyelan riski artarken bazı bölgelerde fay yamaçları dik eğimlerin oluşmasına neden olarak heyelanları kolaylaştırırlar. Ayrıca mühendislik yapıları ve bu yapıların yerleşimi gibi etkenlerle denge açısına erişmiş bulunan yamaçlar üzerinde dış yük artışına, topuk bölgelerinde kazı yapılmasına ve drenaj koşullarının değişmesi nedeni ile yamaç/şev içerisinde boşluk suyu basıncındaki artışlar heyelan oluşumuna neden olan koşulları hazırlarlar.

Bu çalışmada, bir vaka analizi olarak baraj malzeme ocağı ulaşım yolunda daha önce yaşanan stabilite problemleri, heyelan ve devamında yaşanan göçme nedeni ile kullanılamayan güzergahın, “Heyelan-1” olarak isimlendirilen kesiminde gerekli tedbirlerin alınarak yol güzergahının yeniden güvenle ulaşımına açılabilmesi için yapılan geoteknik değerlendirmeler ve hesaplamalar paylaşılmıştır. Çalışma kapsamında heyelanlı bölge ve şevlerin kayma sonrasında oluşan mevcut arazi durumunun stabilitesinin değerlendirilmesi, olası yeni kaymaların önlenmesi ve heyelanlı bölgenin daha stabil hale getirilerek uluslararası şartnamelerce tanımlanan gerekli güvenlik düzeyine taşınabilmesi ve rehabilitasyonu için gerekli heyelan destekleme ve düzenleme projeleri ulusal ve uluslararası şartnameler göz önüne alınarak denetlenmiştir.

2. HEYELAN KAVRAMI VE OLASI NEDENLERİ

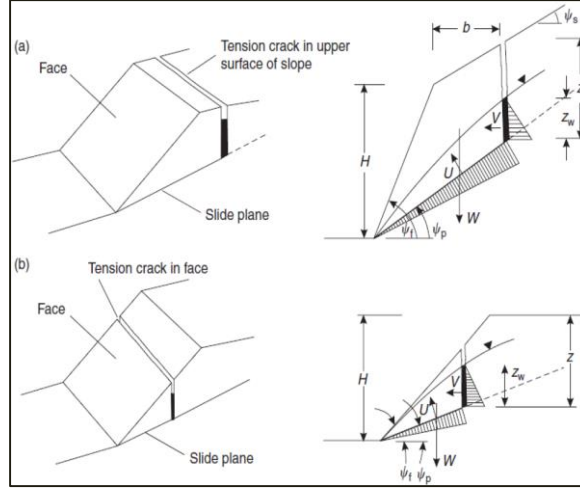
Heyelan ya da toprak kayması, zemini kaya veya yapay dolgu malzemesinden oluşan bir yamacın yer çekimi, eğim, su ve benzeri diğer kuvvetlerin etkisiyle aşağı ve dışa doğru hareketidir. Kayalardan, döküntü örtüsünden veya zeminden oluşmuş kütlelerin, yer çekimi, su basıncı veya kilitli ikincil gerilmeler etkisi altında yerlerinden koparak yer değiştirmesine heyelan denir. Bazı heyelanlar büyük bir hızla gerçekleştikleri halde bazı heyelanlar daha yavaş gerçekleşirler.

Heyelan ve şev kaymalarının tetiklenmesinde nadiren tek bir neden etkin olmakla birlikte genel olarak birden fazla nedenin belli yüzdelere oluşturduğu birleşik bir kompleks sistemin oluşturduğu mekanizma etkin olmaktadır. Heyelanlar, şev kaymaları ve göçmelerinde konvansiyonel olarak genel kabul ile bilindiği üzere; olası kayma düzlemlerinde killeşmiş veya rezidüel kayma dayanımında bulunan geçirimsiz bir ara yüzey oluşmaktadır (Alonso ve Pinyol, 2014).



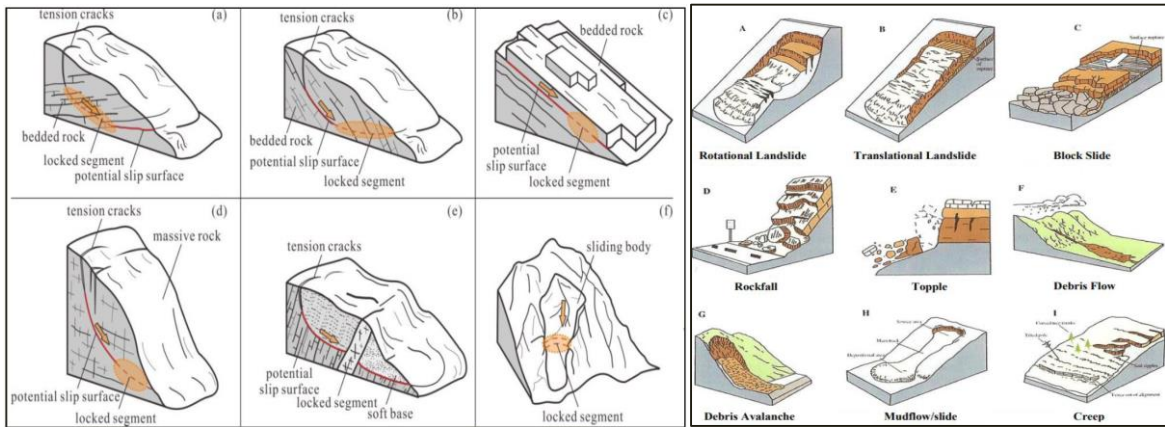
Şekil 1. Killeşen kayma düzleminde ara yüzeye ait örnek bir görünüm (Alonso ve Pinyol, 2014)

Olası kayma düzlemi ara yüzeyinde birikecek olan askıdaki boşluk sularının yaratacağı artımsal ek boşluk suyu basınçlarının hareket yönünde yaratacağı istenmeyen ek gerilmeler ve dayanım kaybı heyelanların tetiklenmesi yönünde en etkin nedenlerden birini teşkil etmektedir (Wyllie, D. C. ve Mah, C., 2004).



Şekil 2. Artımsal ek boşluk suyu basınçlarının şev stabilitesine etkisi (Wyllie, D. C. ve Mah, C., 2004)

Heyelan ve kaymaların yaşandığı şevlerde yerçekimsel kuvvetlerin yanında yapısal jeoloji, süreksizlikler üzerinde oluşabilecek devinimsel tekrarlı deformasyon koşulları ile askıdaki boşluk suyu basıncı nedeni ile kilitli ikincil gerilmeler ve kayma ara yüzeyinde yer alan kilitli segmentler oldukça etkin olmaktadır. Şekil 3’de gösterilen kilitli segment ve segmentlerde oluşacak yenilmelerin şev bütünündeki yeri değişebilmekle birlikte bu bölgelerden birinde oluşabilecek yenilme heyelan hareketinin tetiklenmesi için yeterli olabilmektedir



Şekil 3. Kilitli segment kategorileri, Tetiklenme türleri ve Heyelan türleri (Chen ve dig., 2018, USGS, 2005 ve 2008)

3. GEOTEKNİK TASARIM

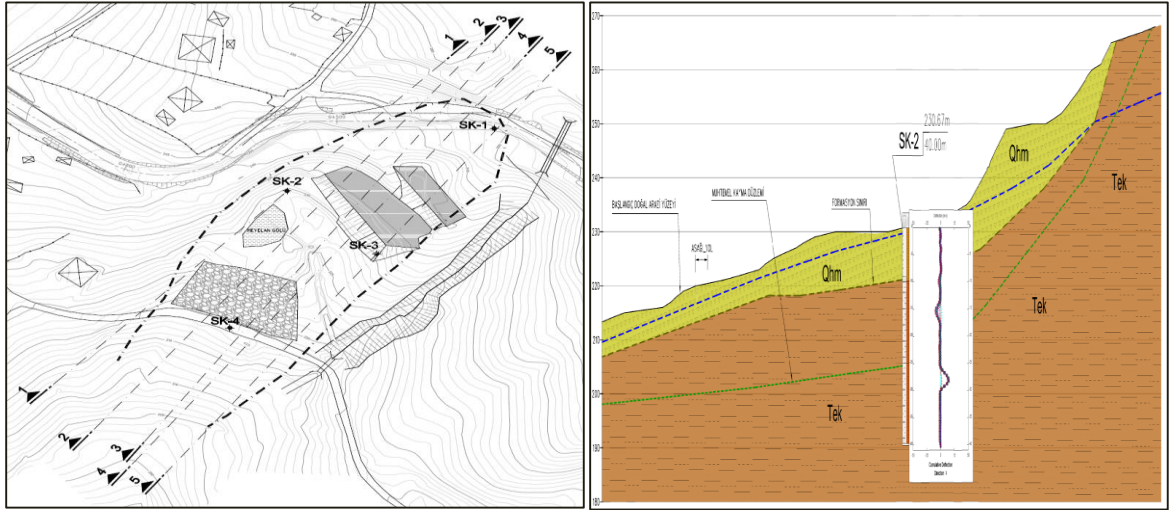
Çalışma kapsamında yer alan yol güzergâhından tam yüklü durumda ağır tonajlı yük kamyonlarının geçmesi beklenmektedir. Sürekli olarak kaya dolgu malzemesi taşıyacak olan

yol güzergahı inşaat süresi içerisinde can ve mal güvenliğini sağlayacak nitelikte ve standartlarda tasarlanmıştır.

3.1. Çalışma Alanı Yapısal Jeolojisi

Heyelan sahasında yer alan anakaya Orta-Alt Eosen yaşlı kumtaşı-kiltaşı-silttaşı ve marn ardalanmasından oluşan Kusuri formasyonudur. Bu birimlerin üzerinde sığ bir kalınlıkta yamaç döküntüsü (Qhm) yer almaktadır. İnceleme alanında bulunan fliş kayaç topluluğu kiltaşı - silttaşı - kumtaşı ve yer yer marn ardalanmasından oluşmaktadır.

Arazide yapılan gözlemlerde fliş gri-kahverengi renkli, tabakalanmalı, tabaka kalınlıklarının ince-orta, ince taneli, az karbonatlı gevşek ve sıkı çimentolu, tabakalanmalar genellikle eğimli, eklemli ve kırıklı kiltaşı-kumtaşı ardalanması (Tek) olarak gözlenmektedir. Çalışma kapsamında inceleme alanında Şekil 4’de gösterildiği üzere 4 adet sondaj açılmıştır.



Şekil 4. İdealize jeolojik kesit yerleşimi

Bölgede açılan 2 sondaj kuyusuna yerleştirilen inklinometre cihazlarında yapılan okumalar ile birlikte kayma düzlemlerinin de yer aldığı idealize jeolojik kesitler oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen sondaj çalışmaları, sondajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerin sonuçları ile birlikte yapılan saha gözlemleri ve jeolojik değerlendirmeler ışığında hazırlanan idealize jeolojik kesit ve hareket eden kütle sunulan şekiller üzerinde gösterilmiştir. Çalışma kapsamında 5 kritik kesit belirlenmiş ve analizleri yapılmış olmakla birlikte kritik kesitlerden birinin jeolojik kesiti paylaşılmıştır.

3.2. Çalışma Alanı Depremselliği

Çalışma alanı Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre yüksek riskli ve tehlikeli deprem bölgesi üzerinde yer almakta olup Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) etki alanındadır. Kuzey Anadolu Fay Zonu yaklaşık uzunluğu 1200 km olan doğrultu atımlı bir fay sistemi olup Düzce ve Bolu Havzası da bu fay üzerinde bulunmaktadır. Çalışma kapsamında ilgili bölge için Sismik Tehlike Analizi Raporu hazırlanmıştır. Yapılan geoteknik değerlendirme ve analizlerde maksimum zemin yer ivmesi değeri 0.188 g olarak dikkate alınmıştır.

3.3. Heyelan Sonrası Proje Alanı

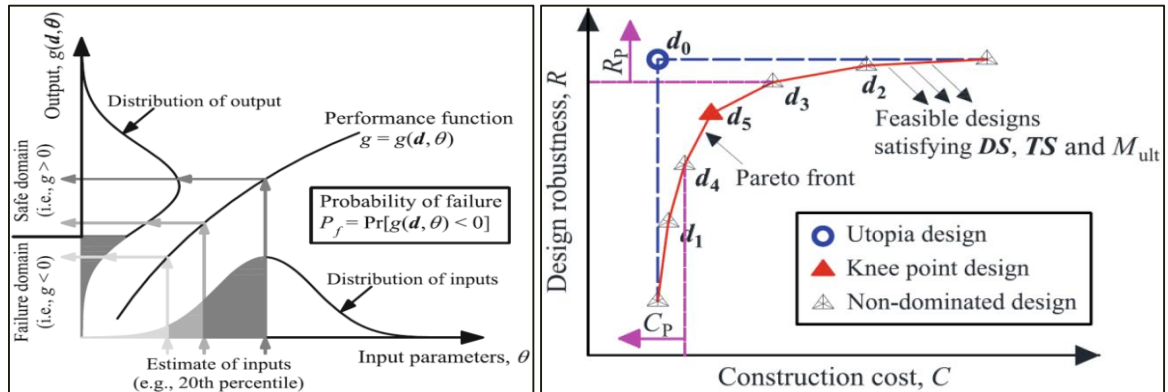
Çalışma alanında yaşanan heyelan, mevcut yola ait dolgu şevlerinde oluşan kaymalar ile ilgili olarak yapılan saha çalışmaları neticesinde elde edilen fotoğraflar, kronolojik olarak “Google Earth” haritalarındaki değişimler ve sondaj kuyularına yerleştirilen aletsel inklinometre okumaları ışığında yaşanan heyelan ve devam eden kaymaların mevcut durumu incelenmiş ve çalışma ilerletilmiştir. Heyelan alanında zaman içerisinde yaşanan değişim Şekil 5’te gösterilmiştir.



Şekil 5. Heyelan öncesi ve sonrası saha görünümü

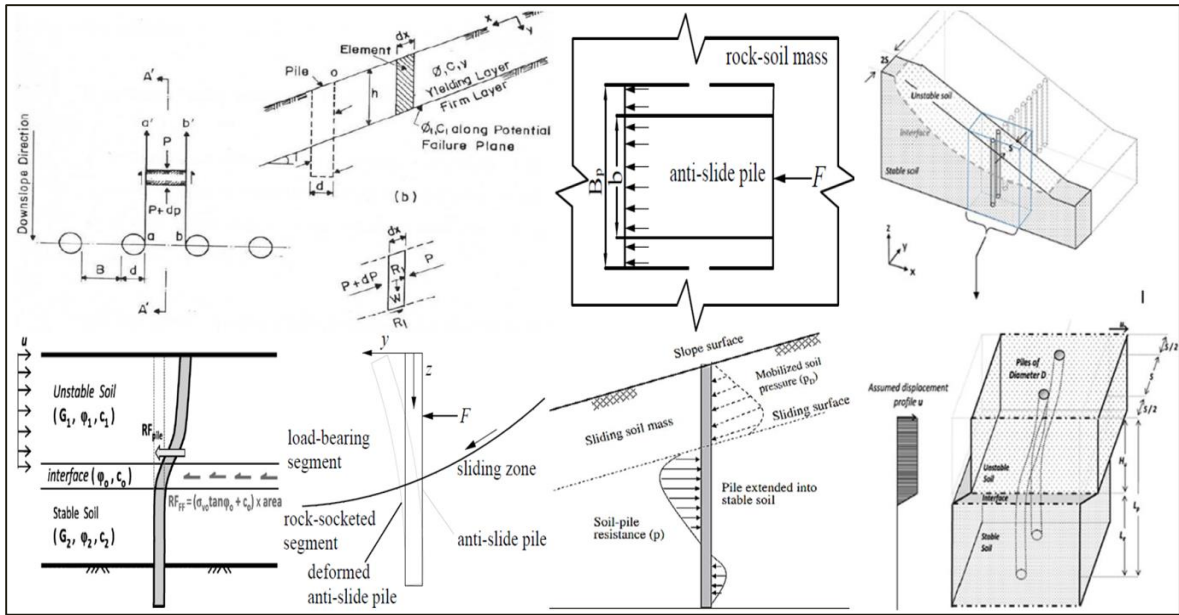
3.4. Proje Kavram ve Esasları

Çalışma alanının heyelan ve kaymaya karşı toptan stabilite yönünden gerekli güvenlik sayılarını sağlayacak şekilde stabil hale getirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, çalışma alanında oluşan heyelan ve kaymaların stabilize edilerek güvenli hale getirilmesi noktasında yapılacak olan geoteknik tasarımda belirsizliklerin etkisinin en aza indirilebilmesi için yapılan saha gözlemleri, jeolojik araştırmaların sonuçları (sondaj ve deney), aletsel inklinometre okumaları sonuçlarına ek olarak yapılan ofis çalışmalarında emniyet – etkinlik ilişkisi de göz önüne alınarak değişik alternatifler için yapılan parametrik hassaslık analizleri ile destek sistem tasarımı yapılmıştır (Gong ve diğ.,2020). Seçilen tasarımın etkinliğini maliyet ile olan ilişkisi ve hedeflenen tasarım noktası konseptsel olarak belirtilen referans aracılığı ile Şekil 6’da gibi tanımlanmıştır



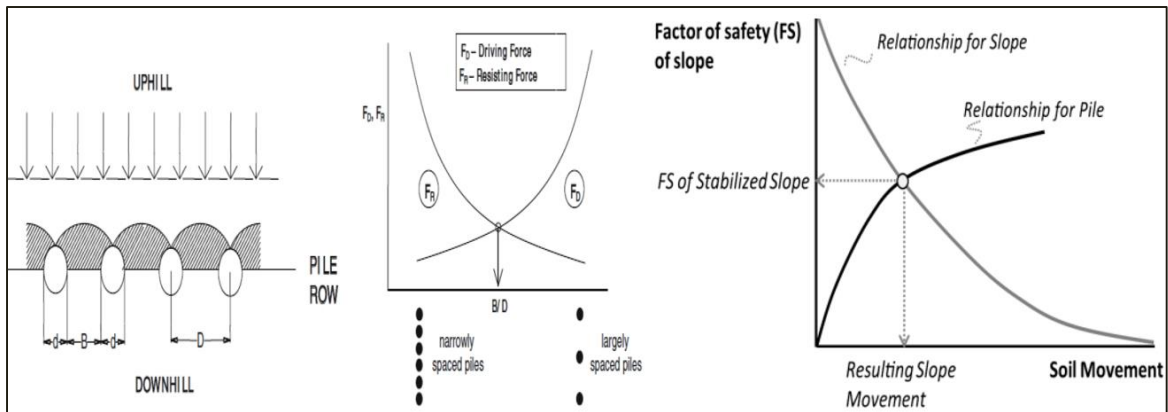
Şekil 6. Tasarım ilkeleri, optimizasyonu ve maliyetle ilişkisi (Gong ve diğ.,2020)

Bu kapsamda, çalışma alanında oluşan heyelanın önlenmesi ve desteklenmesi noktasında, USGS (2008), Japan Landslide Society (2002), Australian Geomechanics (2007), Deep Foundation Institute (2013) gibi kaynaklarda heyelan kazığı olarak tanımlanan kesme kazıklarının kullanılması gerekli ve uygun bulunmuştur. Proje alanında oluşan heyelan ve kaymaların önlenmesi amacı ile yerinde dökme fore kazık olarak teşkil edilecek kesme kazıkları ile oluşturulan destek sistemin mevcut zemin ve kaya tabakaları, yeraltı suyu seviyesi ve deprem etkileri de dikkate alınarak heyelanın tetiklenmesi sonucunda oluşabilecek yanıl yükler ile deprem nedeni ile oluşacak dinamik - hidrodinamik yanıl yükleri yeter emniyet ile taşıyabilecek, yatay ve düşey deplasmanları sınırlayacak rijitlikte olması gerekmektedir. Kesme kazıkları başlık kirişi ile birbirlerine monolitik olarak mesnetli teşkil edileceklerdir.



Şekil 7. Konseptsel olarak problem ve kesme kazıklarına etkiyen kuvvetler (Zhuoying ve diğ., 2016, Wang ve diğ., 1974 ve Mujah ve diğ., 2013)

Yanal yüklü kesme kazıkları ile oluşturulacak sistemin toplam eksenel ve kayma rijitliğinde, kazıkların çapı ve kazıklar arası mesafe ile etkin olacak kazıkların rijitliği özellikle önemli bir yer tutmaktadır (Kourkoulis ve diğ., 2012, Popescu ve diğ., 2016).

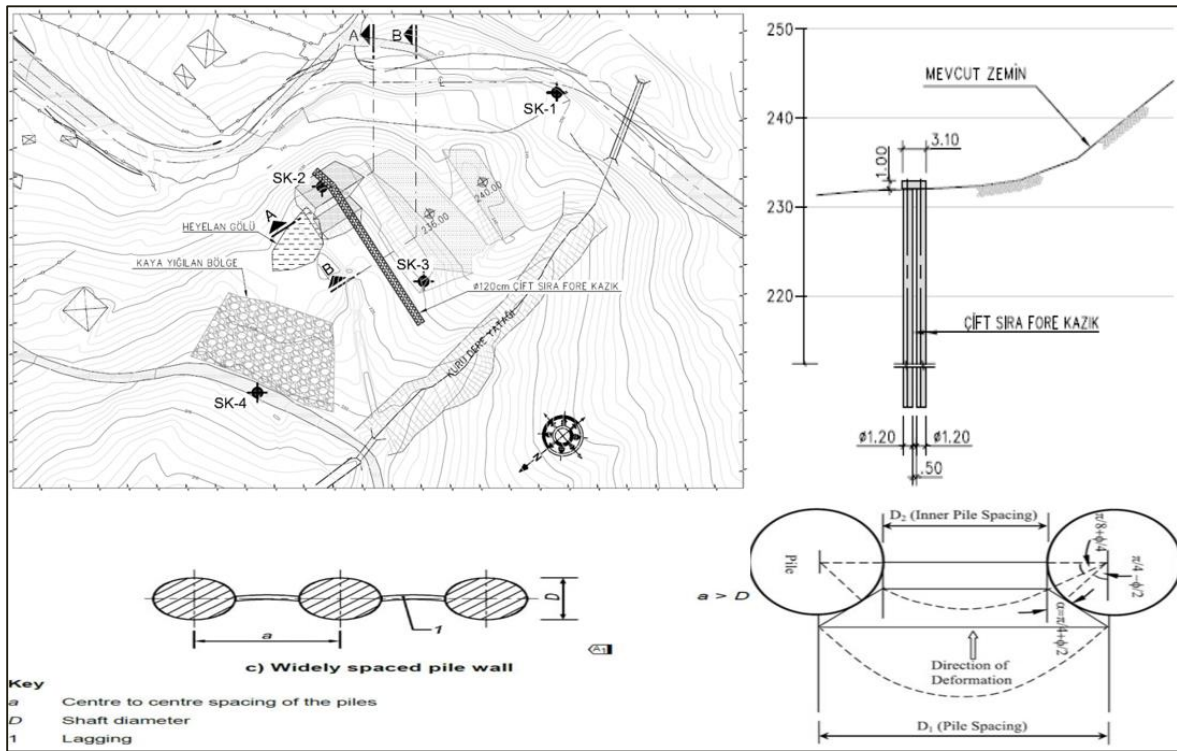


Şekil 8. Tasarım ilkeleri, optimizasyonu ve maliyetle ilişkisi (Gong ve diğ.,2020)

Yapılan parametrik sonlu elemanlar analizi sonuçlarına göre statik ve dinamik durumda kazıklar arası mesafenin sistem dengesine olan etkisi proje kapsamında yapılan çalışmalarda irdelenerek değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda heyelanın önlenmesi ve desteklenmesinde kullanılacak sürekli fore kazıkların çapları $D=120$ cm olarak seçilmiş kazık aralıkları Ciria C580 (2003) ve TS EN 1536 + A1(2015) referans alınarak 140 cm olarak belirlenmiştir. Birinci ve ikinci sıra fore kazıklar arası teğetsel mesafe 50 cm olacaktır. Kazık boyları 35 – 40 m arasında değişken olacak şekilde tasarlanmıştır.

Projelendirilen kesme kazıklarının çalışma alanında yerleştirileceği bölge Şekil 9'da gösterilmiştir. Burada kazık aksının hareket yönüne dik olarak yerleştirilmesine öncelik verilmiştir.

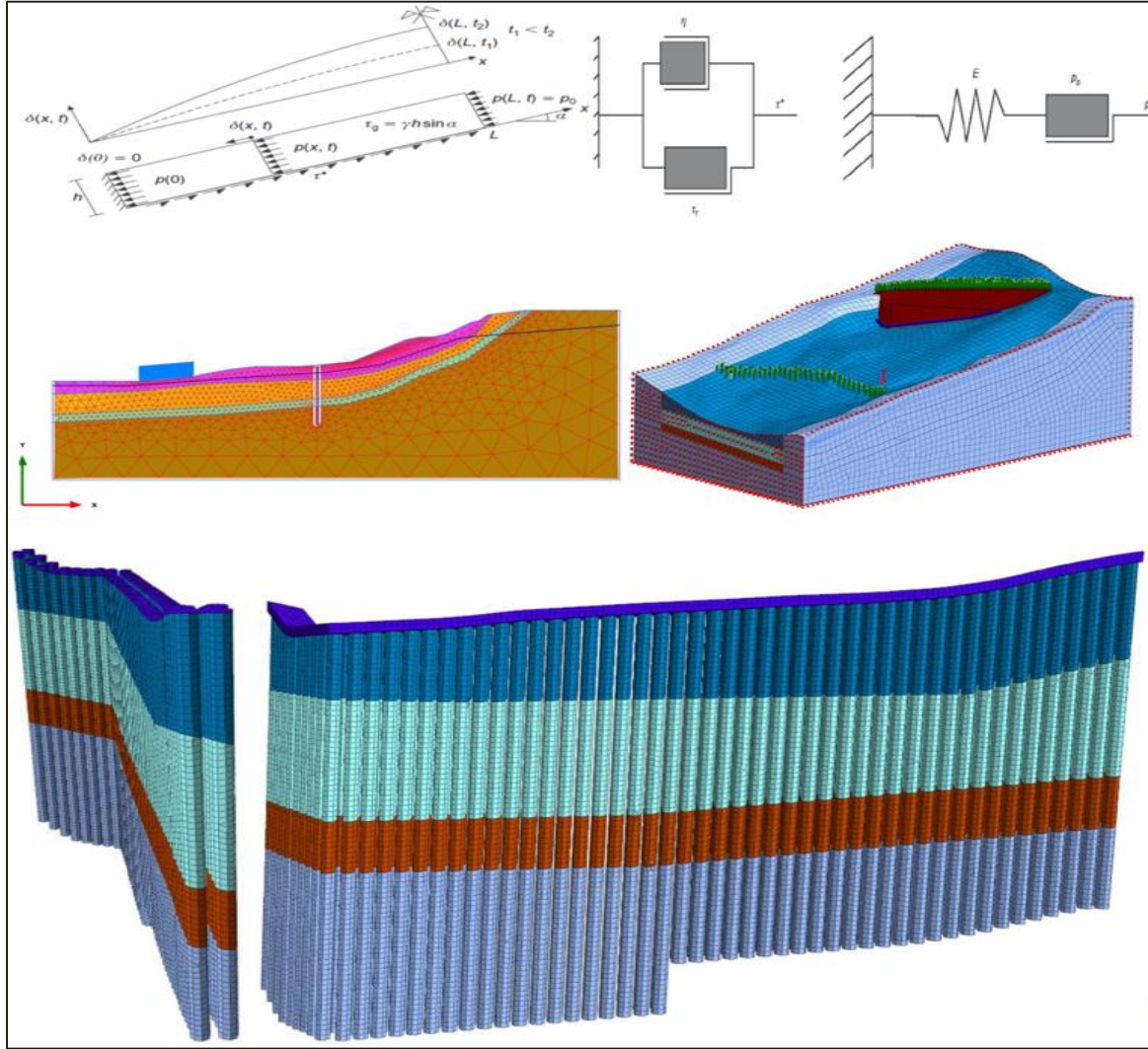


Şekil 9. Heyelan önleyici kesme kazıkları yerleşimi ve tipik kesiti

3.5. Nümerik Analizler

Çalışma kapsamında, tasarlanan sistemin ve kritik kazı kesitlerinin gerekli nümerik analizlerin gerçekleştirilmesi için 2 boyutlu (2D) analizlerde sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis, 3 boyutlu (3D) model ile yapılan analizlerde ise sonlu elemanlar yöntemini kullanan MIDAS GTS NX paket yazılımı kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen geri analizlerde kayma bandından geçen ve $F.S=1.0$ güvenlik sayısını veren kayma düzlemleri saptanarak kayma düzlemine ait geri analiz parametreleri belirlenmiştir. Destekleme ve düzenlemesi yapılan heyelan bölgesinde ise uluslararası şartnameler ve kaynaklarda (McMillan ve diğ., 2000) genel kabul gören hali $F.S=1.50$ olarak belirlenerek yapılan nümerik analizler ile denetlenmiştir.



Şekil 10. Heyelan matematiksel modeli, Plaxis 2D ve MIDAS GTS NX 3D sonlu elemanlar modeli

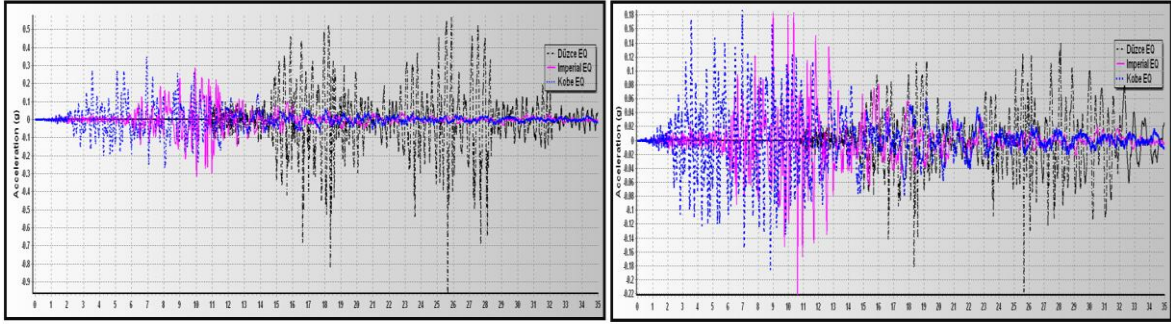
3.6 Dinamik Analizler

Belirlenen kritik kesitlerin tamamı için zaman tanımlı ivme - zaman fonksiyonu modele tanımlanarak tam birleşik dinamik analizler gerçekleştirilerek sismik durum için deplasman analizleri yapılmıştır. Kritik kesitlerin dinamik analizleri için PLAXIS paket bilgisayar programı kullanılmıştır.

Şevlerin dinamik analizleri Eurocode 8 (2004) esas alınarak yapılmıştır. Bu kapsamda 3 adet farklı deprem büyüklüğüne sahip, frekans – zaman aralığı farklı, tekrarlı şiddetdeki deprem kaydı dinamik analizlerde kullanılmak üzere PEER arşivinden seçilmiştir ve ölçeklendirilmiştir.

Tablo 1. Seçilen deprem kayıtlarına ait bilgiler

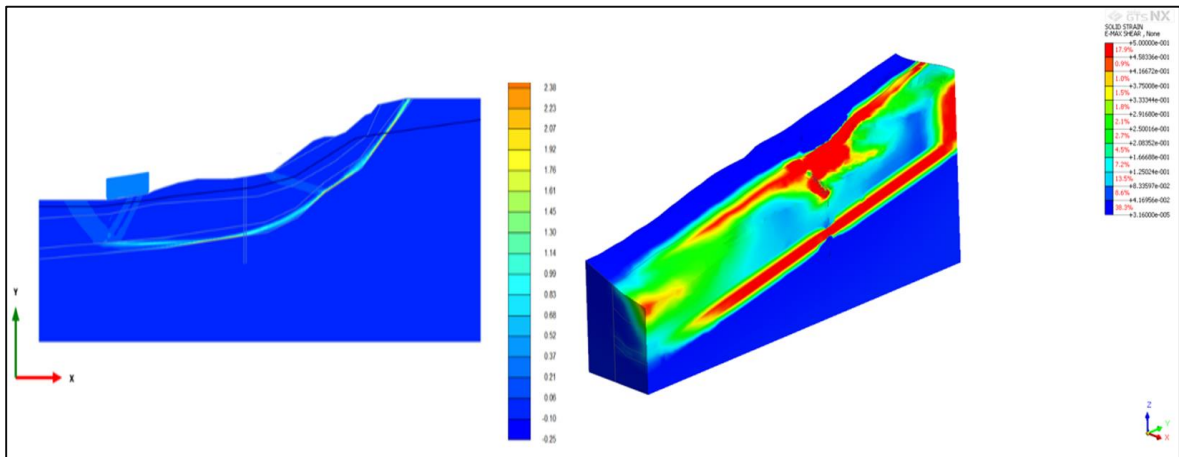
Deprem adı	Yeri	Yılı	Büyüklük (M_w)	İstasyon	Fay türü
Imperial Valley	ABD-Meksika sınırı	1979	6.5	El Centro Array 2	Doğrultu atımlı
Kobe	Japonya-Kobe	1995	6.9	Kakogawa	Doğrultu atımlı
Düzce	Türkiye-Düzce	1999	7.2	Lamont 375	Doğrultu atımlı



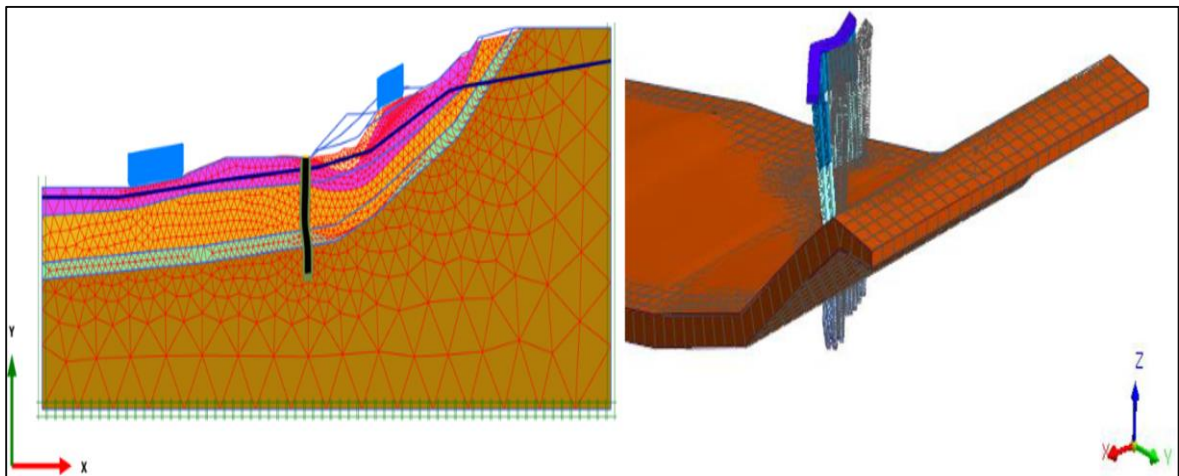
Şekil 11. Eşleştirme öncesi ve sonrası zaman tanımlı deprem-ivme kayıtları

3.6 Analiz Sonuçları

Yapılan nümerik analizler ışığında killeşen kayma ara yüz düzlemi rezidüel kayma dayanımı parametreleri için içsel sürtünme açısı değerlerinin Plaxis 2D programında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinde 10° ve 12° arasında ve MIDAS GTS NX 3D programında gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinde 5° olarak elde edilmektedir.



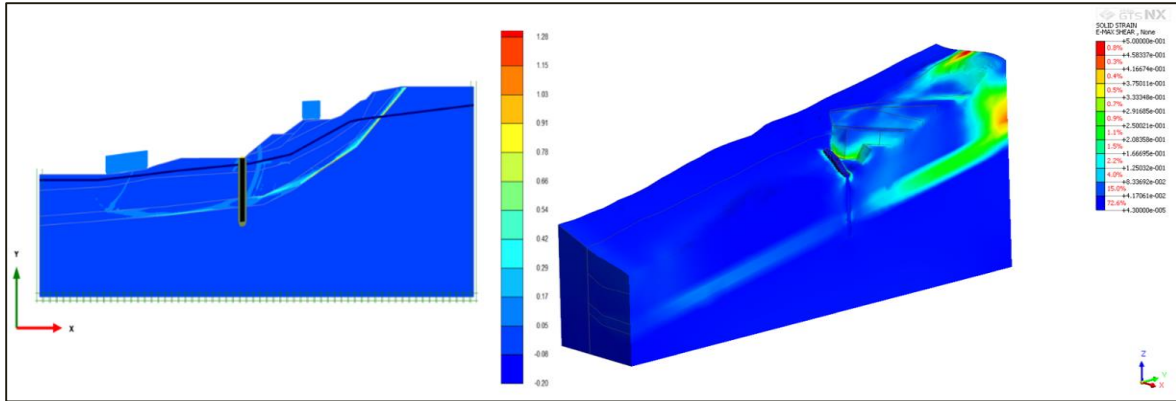
Şekil 12. Kritik analiz kesiti Plaxis 2D ve MIDAS GTS NX 3D geri analizi, kayma birim şekil değiştirme görünümü toptan kaymaya karşı güvenlik sayısı $F.S=1.0$



Şekil 13. Abartılmış deforme ağlar (Son aşama)

Gerçekleştirilen analizler sonucunda yapım sonu durumunda oluşan abartılmış deforme ağırlar 2D ve 3D boyutlu analizler için Şekil 13’de paylaşılmıştır. Aynı analizlerde fore kazıklarda meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar da Tablo 2’de paylaşılmıştır.

Çift sıra 120 cm çaplı fore kazıklar ile güçlendirilen şev için 2 ve 3 boyutlu olarak gerçekleştirilen analizler sonucunda toptan kaymaya karşı güvenlik sayıları sırasıyla 1.50 ve 1.72 olarak elde edilmiştir. İlgili analizlerde kaymaya zorlanan bölgeler Şekil 13’de gösterilmiştir.



Şekil 13. Kritik analiz kesiti Plaxis 2D ve MIDAS GTS NX 3D desteklenen şev analizi, kayma birim şekil değiştirme görünümü toptan kaymaya karşı güvenlik sayısı $F.S=1.50$ ve 1.72

Gerçekleştirilen analizler sonucunda yapım sonu durumunda oluşan abartılmış deforme ağırlar 2D ve 3D boyutlu analizler için sunulmuştur. Aynı analizlerde fore kazıklarda meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar da Tablo 2’de paylaşılmıştır.

Tablo 2. Fore kazıklarda meydana gelen maksimum yatay deplasmanlar

Analiz	Kesit	İlk sıra kazık	İkinci sıra kazık
2 boyutlu analiz	1-1	0.9 cm	0.9 cm
	2-2	1.8 cm	1.7 cm
	3-3	0.7 cm	0.6 cm
	4-4	0.8 cm	0.7 cm
	5-5	0.7 cm	0.7 cm
3 boyutlu analiz		2.2 cm	

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında heyelanlı bölge ve şevlerin kayma sonrasında oluşan mevcut arazi durumunun stabilitesinin değerlendirilmesi, olası yeni kaymaların önlenmesi ve heyelanlı bölgenin stabil hale getirilerek gerekli güvenlik düzeyine taşınabilmesi ve rehabilitasyonu için gerekli heyelan destekleme projesi hazırlanmıştır.

Çalışma alanında yer alan heyelanlı bölge için belirlenen kritik kesitler ile sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 2D paket bilgisayar programı kullanılarak yapılan geri analizlerde “phi-c reduction” yöntemi ve 3. boyut etkilerinin görülebilmesi, heyelanın etki alanının net olarak değerlendirilebilmesi amacı ile sonlu elemanlar yöntemini kullanan MIDAS Gts Nx 3D paket bilgisayar programı kullanılarak “SRM” yöntemi ile yapılan analizlerde toptan

kaymaya karşı güvenlik sayısı değerleri ve olası kayma düzlemleri; teorik gereklilik olarak limit durumunda $F.S= 1.0$ için belirlenmiştir.

Heyelan iyileştirme projesi kapsamında projelendirilen destek elamanları, yapılan geri analizlerde kullanılan aynı kesitler ve model için 2D ve 3D yapılan sonlu elemanlar analizleri ile düzenleme ve desteklemelerinin heyelan stabilizasyonu ve kaymaya karşı toptan güvenlik sayısı üzerindeki olumlu etkisi ve istenen güvenlik sayısının yakalanması noktasında net olarak gösterilerek karşılaştırılmıştır. Analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayıları Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kazıklı destekleme sistemi ile kaymaya karşı güvenlik sayıları

Kesit	FS (2D-geri analiz)	FS (3D-geri analiz)	FS (2D-destekleme ile)	FS (3D-destekleme ile)
1	1.0	1.0	1.5	1.72
2	1.0	1.0	1.5	
3	1.0	1.0	1.5	
4	1.0	1.0	1.5	
5	1.0	1.0	1.5	

Kritik kesitlerde belirlenen noktalar için ölçeklendirilmiş 3 farklı deprem kaydı ile yapılan dinamik analiz sonuçlarına göre hesaplanan maksimum yanal deplasman ve kalıcı yanal deplasman değerleri kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır. Bu kapsamda düzenleme ve destekleme projesi kapsamında oluşturulan sistemin dinamik performansı istenen kriterleri sağlamaktadır. Analizler sonucunda elde edilen yanal deplasmanlar Tablo 4’de özetlenmiştir.

Tablo 4. Dinamik analiz sonuçları

Kesit	Deprem kaydı	Fore kazık altı		Fore kazık üstü		Yol	
		Maksimum yanal deplasman (cm)	Kalıcı yanal deplasman (cm)	Maksimum yanal deplasman (cm)	Kalıcı yanal deplasman (cm)	Maksimum yanal deplasman (cm)	Kalıcı yanal deplasman (cm)
1	Imperial	-11.6	0.2	-13.2	0.7	-14.0	-0.4
	Kobe	-5.7	-0.1	-6.6	-0.9	-6.4	-0.7
	Düzce	4.2	0.5	6.0	2.3	6.0	1.7
2	Imperial	-11.6	0.6	-13.2	0.6	-14.5	-0.3
	Kobe	-5.7	-0.2	-7.2	-0.7	-7.6	-1.3
	Düzce	4.3	0.7	6.1	2.5	6.1	1.9
3	Imperial	-11.4	0.2	-13.1	-0.8	-14.2	-0.8
	Kobe	-5.6	-0.2	-6.6	-0.7	-6.8	-0.9
	Düzce	4.2	0.6	5.4	1.8	5.0	0.8
4	Imperial	-11.5	0.0	-13.4	0.0	-13.6	-0.3
	Kobe	-5.8	-0.2	-6.8	-0.6	-7.1	-0.7
	Düzce	4.4	0.6	5.6	1.9	5.4	1.9
5	Imperial	-11.9	0.0	-14.6	0.0	-13.6	-0.5
	Kobe	-5.8	-0.2	-8.6	-0.4	-8.7	-1.7
	Düzce	4.2	0.3	7.3	-0.2	5.1	-0.9

Sonuç olarak vaka analizi özelinde heyelan hareketi çift sıra fore kazık imalatı ile sınırlandırılmıştır. Önerilen sistem ile kaya malzemesi taşımasında kullanılacak yol güzergahı gerek toptan kaymaya karşı stabilite, gerek statik ve dinamik durumlarda oluşacak deplasmanlar açısından yeterli güvenlik seviyesine çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR

- Alonso, E. E., & Pinyol, N. M. (2014). Slope stability in slightly fissured claystones and marls. *Landslides*, 12(4), 643–656.
- Australian Geomechanics (2007), *Landslide Risk Management, Journal and News of the Australian Geomechanics Society*
- Chen, H., Qin, S., Xue, L., Yang, B., & Zhang, K. (2018). A physical model predicting instability of rock slopes with locked segments along a potential slip surface. *Engineering Geology*, 242, 34–43.
- Clague, J. J., & Stead, D. (2012). *Landslides: Types, Mechanisms and Modeling* (Illustrated ed.). Cambridge University Press.
- Ciria C580, *Embedded Retaining Walls- Guidance for Economic Design*, 2003
- Deep Foundation Institute (2013), *Analysis of Landslides and Slopes Stabilized*.
- Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. (2004).
- Galli, A., & di Prisco, C. (2013). Displacement-based design procedure for slope-stabilizing piles. *Canadian Geotechnical Journal*, 50(1), 41–53.
- Gong, W., Tang, H., Juang, C. H., & Wang, L. (2020). Optimization design of stabilizing piles in slopes considering spatial variability. *Acta Geotechnica*, 15(11), 3243–3259. <https://doi.org/10.1007/s11440-020-00960-6>
- Japan Landslide Society (2002), *Landslides in Japan*.
- Ito, T., & Matsui, T. (1975). Methods to Estimate Lateral Force Acting on Stabilizing Piles. *Soils and Foundations*, 15(4), 43–59.
- Kourkoulis, R., Gelagoti, F., Anastasopoulos, I., & Gazetas, G. (2012). Hybrid Method for Analysis and Design of Slope Stabilizing Piles. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138(1), 1–14.
- Li, C., Chen, W., Song, Y., Gong, W., & Zhao, Q. (2020). Optimal Location of Piles in Stabilizing Slopes Based on a Simplified Double-Row Piles Model. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 24(2), 377–389.
- Liu, X., Cai, G., Liu, L., & Zhou, Z. (2020). Investigation of internal force of anti-slide pile on landslides considering the actual distribution of soil resistance acting on anti-slide piles. *Natural Hazards*, 102(3), 1369–1392. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03971-4>
- McMillan, P. Harber, A.J. & Nettleton, I.M. 2000. *Rock Engineering Guides to Good Practice Road Rock Slope Remedial and Maintenance Works*, Transport Research Laboratory, Crowthorne, Berkshire, UK. In press.
- PEER Ground Motion Database - PEER Center. (n.d.). PEER. <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- Poulos, H. G. (1995). Design of reinforcing piles to increase slope stability. *Canadian Geotechnical Journal*, 32(5), 808–818.
- U.S. Department of the Interior (2008), *The Landslide Handbook—A Guide to Understanding Landslides*, USGS.
- TS EN 1536 + A1, 2015, *Özel Jeoteknik Uygulamalar Delme (Fore) Kazıklar (Yerinde Dökme Betonorme Kazıklar)*
- Wyllie, D. C., & Mah, C. (2004). *Rock Slope Engineering: Fourth Edition* (4th ed.). CRC Press.
- Zhang Xu, Tan Zhuoying. (2016). *Mechanism of Load Transmission and Interaction Between Rock and Pile Under Nonlinear Incidence*. School of Civil and Environment Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China.