



Araştırma Makalesi / Research Article

Enerji Nakil Hattını Etkileyen Çevreli Köyü (Mersin) Heyelanının İncelenmesi ve İyileştirme Yöntemlerinin Değerlendirilmesi

*Investigation of Çevreli Village (Mersin) Landslide Affecting the Energy Transmission Line and
Evaluation of Stabilization Methods*

Ahmet ORHAN 

Nevşehir HBV Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir

Geliş (Received): 06 Haziran (June) 2022 / Düzeltme (Revised): 20 Haziran (June) 2022 / Kabul (Accepted): 24 Haziran (June) 2022

ÖZ

Çalışmanın amacı Mersin ili, Tarsus İlçesi Çevreli Köyü'nde yer alan Kadıncık II HES'e ait 2 nolu elektrik direğini etkileyen heyelanın incelenmesi ve farklı iyileştirme yöntemlerinin karşılaştırmalı analizini gerçekleştirmektir. İnceleme sahasında ağırlıklı olarak kıltaşı, kıltaşı-siltaşı ve marn arakatkılı Güvenç formasyonu gözlenirken, üst kotlarda Kuzgun formasyonu'na ait çamurtaşı-kıltaşı arakatkılı konglomera, çakıllı kumtaşı ve kaba taneli kumtaşı seviyeleri gözlenmektedir. Söz konusu lokasyonda gerçekleşen duraysızlık sorunu, zamanla genişleyerek enerji nakil hattını içerisine alan büyük bir heyelana dönüşme potansiyeli taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında mevcut heyelan incelenerek yenilme mekanizması ortaya konulmuş ve ayrıca elektrik direğini etkileyecek olası duraysızlıkların engellenmesi için alternatif iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda inceleme alanında elektrik direği yakın çevresinde mühendislik jeolojisine yönelik sondaj çalışmaları yapılarak laboratuvar analizleri için örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Diğer taraftan geriye dönük analizlerle heyelan malzemesinin makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir. Bununla birlikte, mevcut durum ve ıslah önerilerinin suya doygun ve/veya dinamik koşullar altındaki performansları değerlendirilmiştir. Olası kaymaların önlenmesi için kaya dolgu ve fore kazık uygulaması alternatifleri limit denge analizleriyle incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda değerlendirilen iyileştirme yöntemlerinin farklı koşullarda duraylılığı sağlayabileceği ve yüksek maliyete sahip 2 nolu elektrik direğinin risk altında olmayacağı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Geri Analiz, Heyelan, İyileştirme Önerileri, Kıltaşı, Tarsus

ABSTRACT

The aim of the study is to examine the landslide affecting the electricity pole of Kadıncık II HEPP located in Çevreli Village of Tarsus District of Mersin Province and to perform a comparative analysis of different stabilization methods. While the Güvenç formation with claystone, claystone-siltstone and marl intercalations is observed in the study area, mudstone-claystone intercalated conglomerate, pebbly sandstone and coarse-grained sandstone levels are observed in the Kuzgun formation at the upper elevations. The instability problem in the mentioned location has the potential to expand into a large landslide that encompasses the energy transmission line over time. Within the scope of this study, the existing landslide was examined, and its failure mechanism was revealed, and alternative stabilization methods were developed to prevent possible instabilities that would affect the electricity pole. In this context, drilling studies for engineering geology were carried out in the vicinity of the electricity pole in the study area and disturbed and undisturbed samples were taken for laboratory analysis. On the other hand, shear strength parameters of the failed material were determined by means of back-analyses. Thus, the current situation and the

performance of the stabilization suggestions under saturated and/or dynamic conditions were evaluated. In order to prevent possible failures, alternatives of backfill and bored pile application were investigated by limit equilibrium analysis. As a result of the analyses, it has been revealed that the stabilization methods evaluated can provide stability in different conditions and that the high-cost electricity pole # 2 will not be at risk.

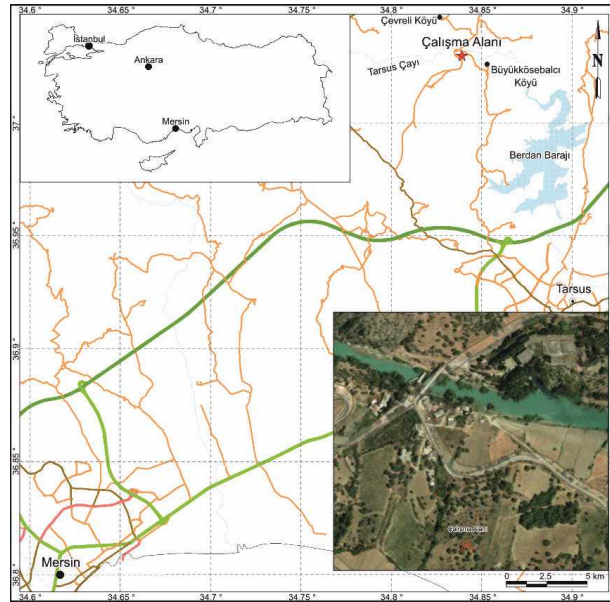
Keywords: Back-Analysis, Landslide, Stabilization Suggestions, Claystone, Tarsus

GİRİŞ

Heyelanlar, diğer doğal afetler arasında daha yaygın olarak karşılaştığımız kütle hareketlerinden biri olup, dönem dönem ciddi can ve mal kayıplarına yol açtığı bilinmektedir. Özellikle yağışlı dönemlerin ardından doğal yamaçlarda veya şevlerde yenilmeler ülkemizde olduğu gibi dünyanın birçok yerinde de yoğun bir şekilde yaşanmaktadır. Birçok uluslararası araştırmacı özellikle yağışların tetiklediği heyelanlar ile ilgili çalışmalar yürütmüşlerdir (Canuti vd., 1985; Finlay et al., 1997; Polemio ve Sdao, 1999). Ülkemizde de yağışların tetiklediği heyelanlar ile ilgili çalışmalar mevcut olup, Barkın (2004) ve Taga vd. (2015)

yapmış oldukları çalışmada benzer litolojik özelliklere sahip yamaç ve şevlerin duraylılığını değerlendirmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında Mersin ili, Tarsus ilçesi Çevreli köyü ile Büyükkösebalcı köyü arasında kalan TEİAŞ'a ait 154 Kw Kadıncık II HES-Akbelen Deltası'nın 2 nolu elektrik direğini etkileyen heyelanın incelenmesi ve farklı iyileştirme yöntemlerinin karşılaştırmalı analizi gerçekleştirilecektir. İnceleme alanı Mersin ili Tarsus İlçesi Mersin N33-c4 1/25000 ölçekli topografik paftasında yer almakta olup, Mersin il merkezine 40 km, Tarsus ilçe merkezine yaklaşık 15 km mesafede ve Kadıncık II HES'in 1 km güneyinde yer almaktadır (Şekil 1 ve Şekil 2).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of the study area.

İnceleme alanında ağırlıklı olarak kıltaşı, kıltaşı-siltaşı ve marn ara katkılı Güvenç formasyonu gözlenirken, üst kotlarda Kuzgun formasyonu'na ait çamurtaşı-kıltaşı ara katkılı konglomera, çakıllı kumtaşı ve kaba taneli kumtaşı seviyeleri gözlenmektedir. Güvenç formasyonu'nun suya aşırı doygun ayrılmış üst seviyelerinde çalışma konusunu oluşturan ve 2 nolu enerji nakil hattı direğini tehdit eden dairesel bir kayma gerçekleşmiştir. Bölgede benzer küçük ölçekli dairesel kayma ve akma şeklinde bazı duraysızlıklar da zaman zaman gözlenmektedir. Söz konusu lokasyonda gerçekleşen duraysızlık sorunu, zamanla genişleyerek enerji nakil hattını içerisine alan büyük bir heyelana dönüşme potansiyeli bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında mevcut heyelan incelenerek mekanizması ortaya konulmuş ve ayrıca elektrik direğini etkileyebilecek olası duraysızlıkların engellenmesi için alternatif ıslah yöntemleri geliştirilmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada inceleme alanında elektrik direği yakın çevresinde mühendislikjeolojisine yönelik sondaj çalışmaları yapılmıştır. Derinliği 15-25 m arasında değişen beş adet karotlu sondaj açılarak, laboratuvar analizleri için örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır (Şekil 3). Ulaşım sorunu nedeniyle heyelanın üzerinde sondaj çalışmaları gerçekleştirilememiştir. Laboratuvar deneyleri kapsamında, zemin ve kaya bileşenleri sınıflamaya yönelik sınıflandırma ve indeks deneylerin yanı sıra dayanım deneyleri TS 1500 / TS 1900-1-2/TS EN ISO 17892-1/ASTMD 5731 / ASTM D 2434 –ASTM D5856 standartlarına göre yapılmıştır. Çalışmanın üçüncü aşamasında, heyelanın ve önerilen ıslah uygulamalarının analitik çözümleri, laboratuvar ve arazi verileri temel alınarak yapılmıştır. Böylece mevcut durum ve iyileştirme projelerinin farklı koşullar altındaki performansları incelenmiştir.



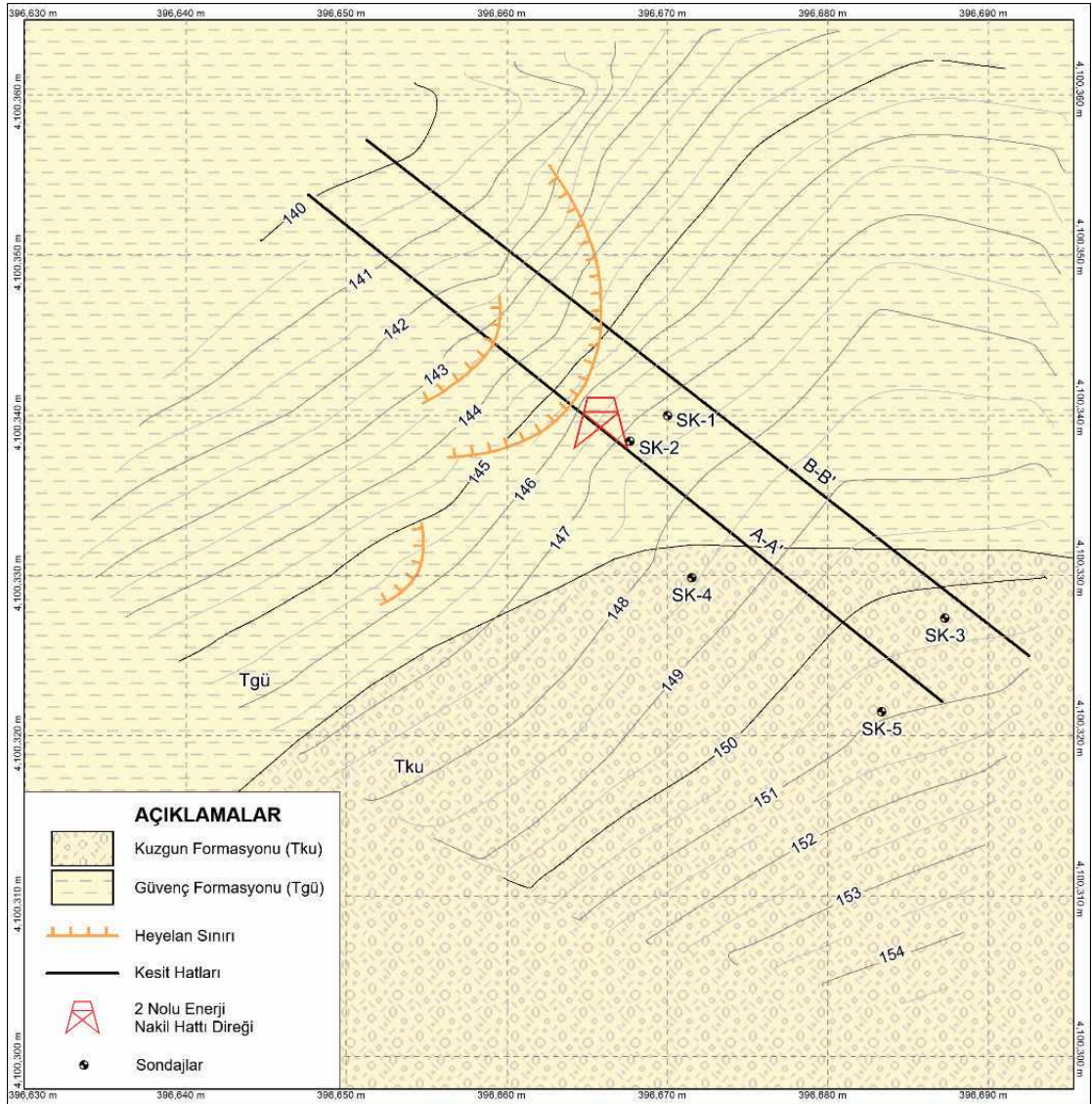
Şekil 2. Çalışma konusunu oluşturan elektrik direğinin genel görünümü.

Figure 2. General view of the studied electricity pole.

İnceleme Alanının Jeolojisi ve Depremsellik Durumu

İnceleme alanında Alt-Orta Miyosen yaşlı Güvenç formasyonu ve Üst Miyosen yaşlı

Kuzgun formasyonu gözlenmekte olup, iki birimin geçişli dokanağı 2 nolu elektrik direğinin hemen üst kotlarından geçmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı mühendislik jeolojisi haritası.

Figure 3. Engineering geology map of the study area.

Güvenç formasyonu Adana Baseni'nde; silttaşı, kumtaşı ara tabakalı, bol mikro-fauna ile kısmen piritli, % 80-90 oranında mavimsi gri-gri şeyl içeren birim ilk kez Schmidt (1961) tarafından Güvenç şeyli olarak isimlendirilmiş olup, birim daha sonraki araştırmacılar tarafından Güvenç formasyonu olarak adlandırılmıştır. Birim altta Karaisalı Kireçtaşı, üstte ise Kuzgun formasyonu ile yanall ve düşey geçişli olup, birimin kalınlığı konusunda farklı görüşler olmakla birlikte yaklaşık olarak 200 metre olduğu tahmin edilmektedir. Resif önü, sığ–derin deniz ortamlarında çökelen Güvenç formasyonu, tabanda killi kireçtaşı – marnlar ile temsil edilirken, üst seviyeleri daha çok kiltası-siltası ile temsil edilmektedir (Sevimli, 2003). Çok ince tabakalı kiltası-siltası tabakaları sarımsı gri ve yeşilimsi gri renklerle temsil edilmektedir (Şekil 4). Çalışma alanında kiltası-siltası litolojilerinin yoğun olarak gözlemlendiği Güvenç formasyonu üst kesimlerinde derin ayrışma profilleri sergilemektedir. Bu ayrışma zonu içerisinde oluşan dairesel kaymalardan biri incelenen enerji nakil hattı direğini duraylılık açısından olumsuz olarak etkilemektedir.

Kuzgun formasyonu, çalışma alanında elektrik direğinin üst kotlarında (güneyinde) gözlenmekte olup, konglomera tabakaları ile Güvenç formasyonu üzerine gelmektedir. Karaisalı, sığ denizel ve deltayik sediman aralanmasından oluşan Kuzgun formasyonu ilk kez Schmidt (1961) tarafından adlandırılmıştır. Ünlüenç (1986) birimi tabanda menderesli nehir çökelleriyle başlayıp sığ denizel çökellere geçen Kuzgun üyesi, bunun üzerine Salbaş Tüfü üyesi ve en üstte de yukarı doğru giderek kabalaşan ve başlıca deltayik çökellerden ibaret Memişli üyesi olmak üzere 3 üyeye ayırmıştır. İlgili birimin Güvenç formasyonu üzerinde düşük açılı açısall uyumsuzlukla bulunduğunu belirtmiştir. Çalışma alanında konglomera tabakaları ve kırmızımsı kahverenkli çamurtaşı-kum ara katlı çakıllı kumtaşı ve kaba taneli kumtaşı şeklinde gözlenmektedir (Şekil 5). Güvenç formasyonu içerisinde gözlenen zemin deformasyonları iki birim dokanağında da gerilme çatlağı şeklinde gelişmektedir.



Şekil 4. Güvenç formasyonu'nun yakın görünümü.

Figure 4. Close-up view of the Güvenç formation.



Şekil 5. Kuzgun formasyonu'na ait konglomeraların görünümü (sağda).

Figure 5. View of the conglomerates of Kuzgun formation (right).

Çalışma alanı, Doğu Anadolu Fay Sistemi, Ecemiş Fay Zonu ve Helen Kıbrıs Yayısı gibi aktif tektonik yapılar arasında sismik açıdan etkin bir alanda yer almaktadır. Dolayısı ile bölgenin depremselliği yukarıda belirtilen ana aktif yapılar ve bunların kolları tarafından denetlenmektedir. Bununla birlikte, Andırın kuzeydoğusundan başlayıp Ceyhan'a, oradan da Yumurtalık ilçesine uzanan ve Misis Fayı olarak adlandırılan fay, Çukurova Bölgesi'ni kuzeydoğu-güneybatı yönünde boydan boya kat eden bir fay olup, bölgenin aktivitesini denetleyen en etkin yapılardan biri sayılabilir. Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin bir kolu ya da etkisinde oluşmuş bir yapı olarak değerlendirilebilecek aktif bir fay olan bu sismik kaynak 1945 yılında 6.0 büyüklüğünde bir deprem üretmiş; daha sonra 1998 yılında 6.3 büyüklüğündeki Adana-Ceyhan depremi de yine bu kırık üzerinde meydana gelmiştir. Bu iki deprem de büyük olasılıkla aynı fay tarafından üretilmiş olup, Çukurova Bölgesi'nde yıkıcı

hasara neden olmuştur. 1997 yılında Hatay'da meydana gelen 5.7 büyüklüğündeki deprem ve 2001 yılında Dört Yol (Hatay)'da meydana gelen 5.4 büyüklüğündeki deprem bölgede meydana gelen önemli sismik olaylar olarak kayıtlara geçmiştir. Bunların dışında, çalışma alanını batıdan sınırlayan önemli bir fay zonu da yaklaşık olarak kuzey-güney uzanımlı olan Ecemiş Fay zonudur. İnceleme alanının yenilenen interaktif Türkiye Deprem Haritası'na göre 0.154 g'lik bir maksimum yatay yer ivmesine maruz kalabileceği belirlenmiştir (AFAD, 2018).

Şev Duraysızlık Problemi

İnceleme alanının deniz seviyesinden yüksekliği 140-150 m kotları arasındadır. Saha tarım arazisi niteliğinde olup, içerisinde bağcılık, zeytin gibi farklı tarım uygulamaları yapılmaktadır. Arazinin eğimi kuzeybatı yönünde olup, heyelanın meydana geldiği bölgede 35-45

derecelik bir topoğrafik eğim söz konusudur. Saha mevsim gereği (Nisan ayı) suya doymun olup, heyelan içerisinde küçük su birikintileri gözlenmektedir (Şekil 6). Ayrıca heyelan sahasının 100 metre güneydoğusunda (Heyelanın üst kotunda) tabakalar arasından gelen suların toplandığı sulama amaçlı açılan toprak havuzlar da dikkat çekmektedir. Bu lokasyonlarda yamaç eğimi güneydoğu yönünde olup, heyelanlı saha ile zıt eğim yönüne sahiptir.

Sahadaki jeolojik yapıyı tanımlayabilmek için her biri 15 ile 25 m arasında değişen derinliğe sahip beş adet zemin sondajı açılmıştır. Bu sondajlardan SK-1 ve SK-2 olarak adlandırılan sondajlar 2 nolu direğin hemen üzerinde 147.2 m kotlarında açılmıştır (Bkz. Şekil 3). Her iki sondajda da ağırlıklı olarak kiltası-silttaşı birimi izlenmiş olup, farklı ayrışma derecelerine sahip olmaları dikkati çekmektedir (Şekil 6). En üstte yaklaşık 1.0 metrelik bitkisel topraktan sonra kalınlığı 3.0 ile 4.0 m arasında değişen sarımsı kahverengi renkte ileri derecede ayrışmış kiltası, daha sonra 10.0 ile 12.0 metre derinliğe kadar az

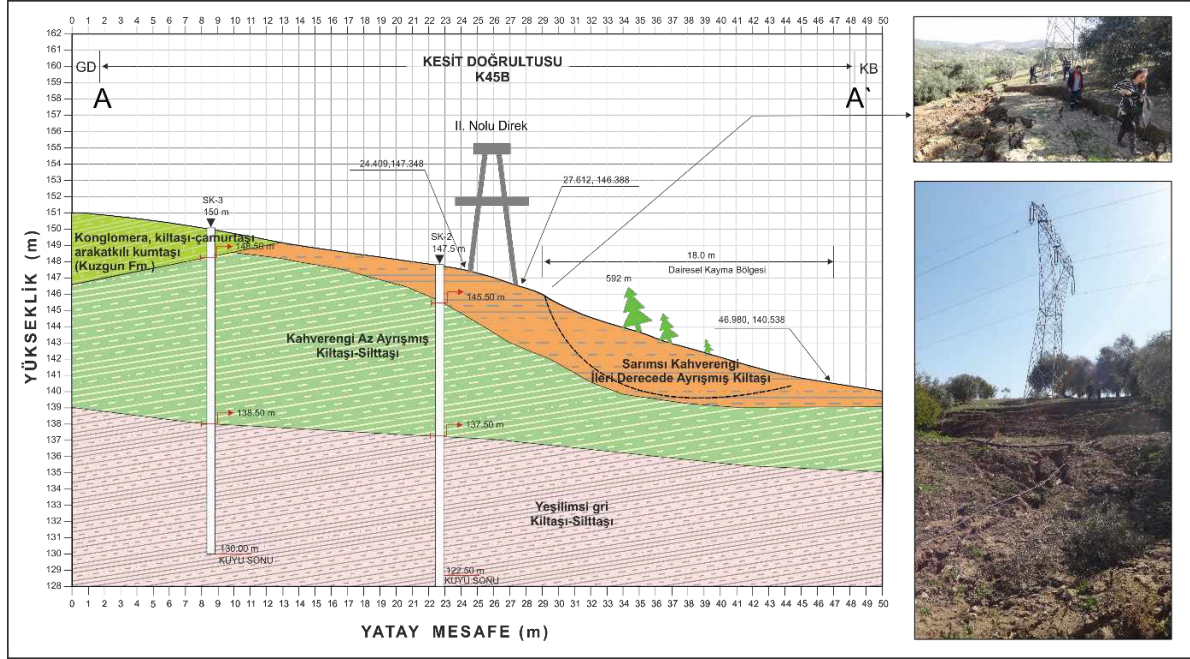
ayrışmış kiltası-silttaşı ve bu seviyeden sonra taze ayrışmamış yeşilimsi gri renkli kiltası-silttaşı gözlenmiştir. 146.0 m kotunun altında yani heyelan kütlesi üzerinde, ulaşım sorunundan, yüksek su içeriğinden ve koşullar uygun olmadığından sondaj çalışması yapılamamış olup, heyelan çevresinde açılan kuyular ve gözlemler sonucu hazırlanan jeolojik kesit Şekil 7’de verilmiştir.

Proje sahasındaki kaymalar Güvenç formasyonu’nun ileri derecede ayrışmış üst zonunda dairesel kayma şeklinde gerçekleşmektedir. 146.0 m kotunda başlayan dairesel kaymanın ayna kısmı 2 nolu elektrik direğine yaklaşık 1.0 ile 1.5 metrelik bir mesafede yer almakta olup, ayna uzunluğunun yanal yöndeki izi 20.0 m civarındadır (Şekil 8 ve Şekil 9). Söz konusu heyelanın topuğuna ait izler 140.0 ile 141.0 m kotlarına kadar gözlenmektedir. Heyelanın topuk ve taç kesimi de dikkate alındığında kayma dairesi derinliğinin ortalama olarak 3.0 ile 4.0 arasında değiştiği tahmin edilmektedir (Şekil 7).



Şekil 6. Heyelan kütlesi içinde su varlığının görünümü.

Figure 6. Close-up view of the presence of water in the landslide mass.



Şekil 7. İnceleme alanına ait jeolojik kesit.

Figure 7. Geological cross section of the study area.

İleri derecede ayrıışmış kilitaşı, aşırı yağışlı mevsimin etkisiyle önemli derecede suya doygun duruma ulaşmış ve bu durum eğimin azaldığı kotlarda aşırı boşluk suyu basıncının oluşmasına neden olmuştur. Farklı noktalarda boşluk suyu basıncının makaslama dayanımı üzerinde yarattığı olumsuz etki, doruk makaslama dayanımının aşılmasına ve artık makaslama dayanımlarının gelişmesine neden olmaktadır. Yani doygun koşulların ileri derecede ayrıışmış kilitaşının makaslama dayanımında neden olduğu azalma, kaymanın oluşmasında başlıca faktör olarak öne çıktığı düşünülmüştür. Kaymaya neden olan diğer faktörler ise ayrıışma derinliği ve yamaç eğimidir. Kayma söz konusu elektrik direğinin 3.0 m'lik betonarme temelinin hemen önünde başlamıştır (Şekil 8). Ancak, önlem alınmaması durumunda direk önündeki toprak yükünün boşalmasından sonra geriye doğru ötelenmeli ve daha derin kaymalar beklenmektedir.

DURAYLILIK ANALİZLERİ

Kayma Dayanımı Parametrelerinin Belirlenmesi

Duraylılık analizinde kullanılan parametreler laboratuvar deney sonuçları ve geri analizler yapılarak elde edilmiştir. Stabilitate sorunu ağırlıklı olarak kilitaşı-silttaşı litolojilerinden oluşan Güvenç Formasyonu içerisinde oluşmaktadır. Fakat zayıf kaya karakterindeki kilitaşı farklı ayrıışma derecelerinden dolayı farklı mühendislik özellikleri/davranışları göstermektedir. İnceleme sahasındaki ileri derecede ayrıışmış kilitaşlarının plastisite indeksi genelde %30'dan büyük olup, yüksek plastisiteli olduğu görülmektedir. Özellikle kayan kütlelerin doğal su içeriği (%45) likit limit sınırına oldukça yaklaşmış durumdadır. Suya doygun killerde deformasyonların artması doruk makaslama dayanım parametrelerinde önemli bir azalmaya neden olabilmektedir (Skempton, 1964). Bu

durumun yumuşak kaya niteliğindeki kilitaşları içinde geçerli olduğu Noble (1973) ve Grefsheim (1988) tarafından belirtilmiştir. Kilitaşlarında kısa süreli duraylılığın yüksek olduğu ancak uzun vadede önemli duraysızlık sorunlarının ortaya çıkabildiği bilinen bir gerçektir (Durgunoğlu, 1990). Bundan dolayı ileri derecede ayrılmış kilitaşları içerisinde meydana gelen duraysızlık sorunlarının değerlendirilmesinde boşluk suyu basıncını dikkate alarak efektif rezidüel parametrelerin kullanıldığı uzun dönem analizler daha gerçekçi sonuç vermektedir. Bundan dolayı bu çalışmada toplam gerilme analizlerine yer

verilmemiş, kullanılan parametreler efektif gerilme analizine uygun olarak seçilmiştir.

İnceleme alanında, konglomera-kumtaşı-kilitaş, kilitaş, az ayrılmış kilitaş-silttaş, ileri derecede ayrılmış kilitaş-silttaş olmak üzere dört farklı litoloji tanımlanmıştır (Şekil 7). Kütle hareketinin meydana geldiği ileri derecede ayrılmış kilitaş-silttaş birimi hariç diğer birimlerin dayanım parametreleri laboratuvar test sonuçları (Çizelge 1) ve RocProb v5 (Rocscience, 2014) veri tabanındaki veriler göz önünde bulundurularak yaklaşık olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Heyelan aynasının genel görünümü.

Figure 8. General view of the landslide crown.



Şekil 9. Heyelanın genel görünümü ve yayılımı (Fotoğraf yönü batıya doğrudur).

Figure 9. General view and spread of the landslide (Photo direction is westward).

Orhan

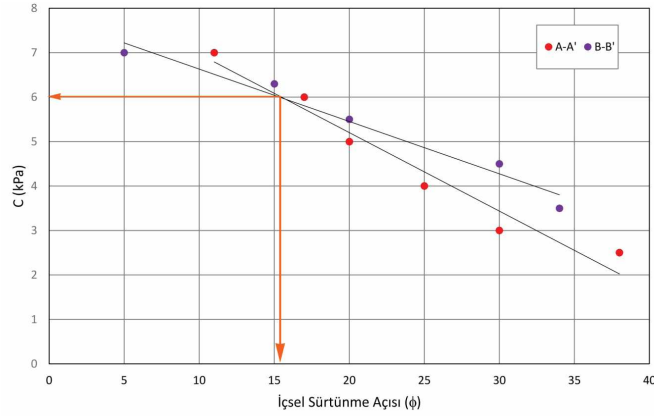
Çizelge 1. Laboratuvar deney sonuçları.

Table 1. Laboratory test results.

Sondaj No	Derinlik (m)	Doğal b.h.a γ_n kN/m ³	Serbest Basınç Dayanımı kN/m ² (qu)	Kohezyon kN/m ² (c)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	Litoloji-Formasyon
SK1	3.00-3.50	19.52	345	55.49	17.30°	Kahverengi Az Ayrışmış Kilitaşı-Silttaşı
SK1	9.00-10.50	24.61	280	-	-	Kahverengi Az Ayrışmış Kilitaşı-Silttaşı
SK2	1.50-2.00	17.18	176	55.49	14.40°	Sarımsı Kahverengi İleri Derecede Ayrışmış Kilitaşı
SK2	12.50-14.00	25.20	294	77.82	16.10°	Yeşilimsi Gri Kilitaşı-Silttaşı
SK3	3.50-4.00	18.77	216	52.00	14.20°	Kahverengi Az Ayrışmış Kilitaşı-Silttaşı
SK3	15.50-17.00	25.30	260	-	-	Yeşilimsi Gri Kilitaşı-Silttaşı
SK4	3.00-3.50	19.37	285	66.84	15.40°	Sarımsı Kahverengi Aşırı Ayrışmış Kilitaşı
SK4	18.50-20.00	24.83	320	-	-	Yeşilimsi Gri Kilitaşı-Silttaşı
SK5	2.50-3.00	24.50	319	70.15	18.10°	Kuzgun Formasyonu
SK5	12.50-14.00	24.76	300	-	-	Yeşilimsi Gri Kilitaşı-Silttaşı

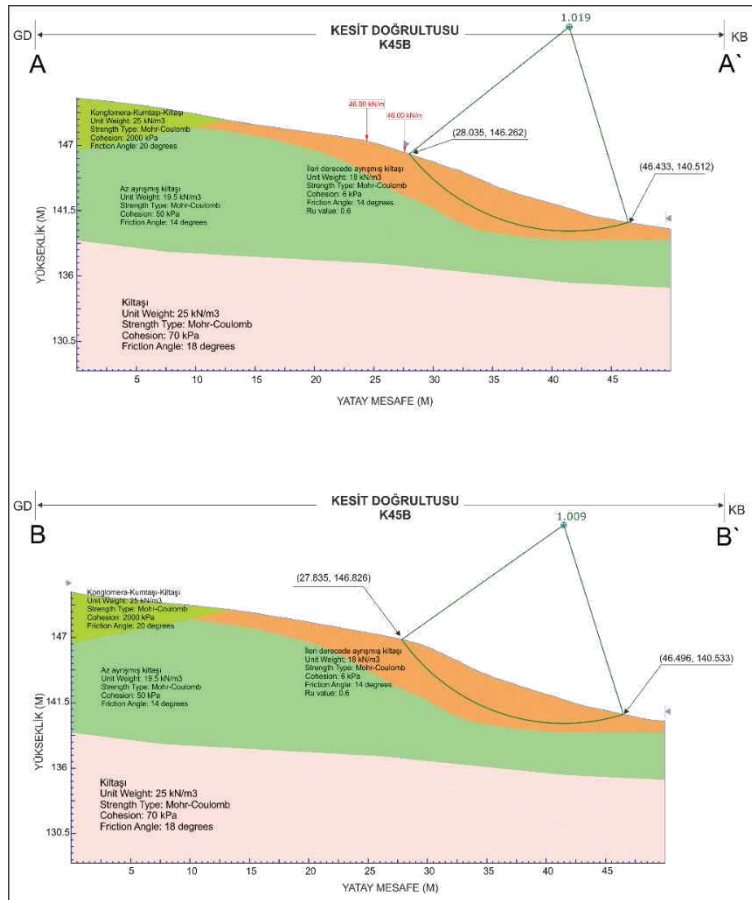
Buna göre, analizlerde Kuzgun formasyonu'nu temsil eden konglomera-kumtaşı-kilitaşı ve 139.0 metre kotunun altında görülen kilitaşı-silttaşı için birim hacim ağırlık (γ_n) 25 kN/m³, kohezyon (c') 70 kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ') 18 derece olarak seçilmiştir. Az ayrışmış kilitaşı-silttaşı için birim hacim ağırlık (γ_n) 19.5 kN/m³, kohezyon (c') 50 kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ') 14 derece olarak seçilmiştir. 2 nolu direğin temel zemini olan ve dairesel kaymanın içerisinde gerçekleştiği ileri derecede ayrışmış kilitaşı için birim hacim ağırlık (γ_n) 18 kN/m³ olarak belirlenirken, birimin makaslama dayanım parametreleri geri analizler yapılarak belirlenmiştir. Geriye dönük analizlerde güvenlik katsayısı (F=1) koşulunu sağlayan c- ϕ veri çift değerleri deneme-yanımla

yöntemiyle araştırılır. Böylece kayma yüzeyi boyunca etkin olacak c- ϕ değerleri belirlenir. Bu amaç için gerçekleşen heyelanı kesen A-A' ve B-B' kesitleri için c- ϕ çiftleri belirlenmiştir (Şekil 3 ve Şekil 10). Her iki kesit için F=1 koşulunu sağlayan kayma daireleri ve zemin koşulları Şekil 11'de verilmiştir. Analizlerde boşluk suyu basıncı dikkate alınmış olup, efektif gerilme koşulları değerlendirilmiştir. Şekil 10'da görüleceği üzere her iki kesit için elde edilen c- ϕ zarflarının kesişme noktasının bileşenleri ileri derecede ayrışmış kilitaşı için makaslama dayanım (c- ϕ) parametreleri olarak kabul edilmiştir. Buna göre geriye dönük analizler sonucunda ileri derecede ayrışmış kilitaşı için kohezyon (c') 6 kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ') 16 derece olarak seçilmiştir.



Şekil 10. Geriye dönük analiz sonuçları.

Figure 10. Back analysis results.



Şekil 11. Geriye dönük analizlerde $F=1$ koşulunu sağlayan kayma dairesi ve litoloji koşulları.

Figure 11. Slip circle and ground conditions satisfying the $F=1$ condition in the back analyses.

Durgunoğlu (1990) benzer karakterdeki kilitte efektif gerilme koşulları için pik kohezyon (c_p) 30 kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ_p) 26 derece, rezidüel kohezyon (c_r) 5-10 kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ_r) 22 derece olarak belirlemiştir. Buna göre, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen geriye dönük analizlerin sonuçları ile literatürde önerilen sonuçlar birbiriyle uyumludur.

Duraylılık analizlerinde boşluk suyu basıncı oranı (ru) kullanılmış olup, ru 'nun formülü aşağıdaki gibidir.

$$ru = \frac{\gamma_w \cdot H_w}{\gamma_s \cdot H_s} \quad (1)$$

Burada; γ_w ve γ_s sırasıyla su ve zeminin birim hacim ağırlıkları; H_w ve H_s ise sırasıyla şev yüzeyi ile kayma yüzeyi arasında kalan su ve zemin kalınlığı olarak tanımlanmıştır. Analizlerde boşluk suyu basıncı olmaması koşulu için $ru=0$, maksimum boşluk suyu basıncı (doğru koşullar) için $ru=0.6$ olarak kabul edilmiştir.

Duraylılık Analizlerinde Değerlendirilen Farklı Koşullar

Duraylılık analizlerinde güvenlik katsayısını etkileyecek farklı koşullar dikkate alınmış olup, analizlerde kullanılan bu koşulların açıklaması Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgede verilen koşulların tümünde şev üzerinde (Yatay Mesafe: 24.409; Kot: 147.348 ve Yatay Mesafe: 27.612; Kot: 146.388) iki farklı lokasyonda 2 nolu direğin ağırlığından kaynaklanan 46 kN'luk noktasal yükün iki noktada etkin olacağı

düşünülmüştür. Bu değer yaklaşık 4.6 tonluk bir ağırlığa denk gelmektedir. Pseudostatik analizlerde, deprem etkileri yatay, düşey veya her iki yön için geçerli olan ve sabit ivmeler vasıtasıyla etkiyen kuvvetler olarak göz önüne alınır (Kramer, 1996). Deprem ivmesinin yatay bileşeni kaymaya karşı koyan kuvvetleri azaltırken, kaydırıcı kuvvetleri artırır. Düşey bileşeni ise etkidiği yöne göre iki kuvveti birden artırır veya azaltır. Bundan dolayı, pseudostatik analizlerde düşey bileşen ihmal edilmektedir. Pseudostatik analizler, düzlemsel, dairesel veya dairesel olmayan kayma yüzeylerinin geçerli olduğu stabilite hesaplarında kullanılır (Kramer, 1996). Pseudostatik ivme katsayısının seçimi duraylılık analizlerinin en önemli aşamasıdır. Çünkü doğrudan kayan kütleyle etkiyen atalet kuvvetlerini değiştirecektir. Şev malzemesinin rijit olması durumunda o anki ivmeye eşit olacaktır. Fakat şev malzemesi rijit olmadığı için maksimum ivme sadece kısa bir süre için geçerli olacaktır. Bu yüzden yarı-statik katsayısı, maksimum deprem ivmesinin çok altında alınabilir. Bu konuda farklı görüşler olmasına rağmen, yatay bileşen değeri olarak maksimum yer ivmesinin yarısının alınması yaygın olarak tercih edilmektedir. Marcuson ve Franklin (1983) 1'in üzerindeki güvenlik katsayıları için maksimum yer ivmesinin 1/3 veya 1/2 alınmasını önermişlerdir. Aynı şekilde, Hynes vd. (1984) maksimum yer ivmesinin 1/2'sinin alınmasını önermişlerdir. Bu çalışmanın konusunu oluşturan heyelanın yer aldığı çalışma alanında AFAD (2018)'e göre oluşacak maksimum yatay yer ivmesi 0.154 g'dir. Yukarıdaki açıklamalar ışığında bu çalışma kapsamındaki pseudostatik duraylılık analizlerinde şev etkiyen yatay ivme bileşeninin 0.08 g alınması uygun bulunmuştur.

Çizelge 2. Bu çalışma kapsamındaki duraylılık analizlerinde dikkate alınan farklı koşullar.

Table 2. Different conditions considered in the stability analyses within the scope of this study.

Koşul No	Tanımlama	Açıklamalar
#001	Statik Koşul-Kuru	Mevcut şevde herhangi bir dinamik kuvvet ve boşluk suyu basıncı göz önüne alınmamıştır. Şevin tamamen kuru olduğu düşünülmüştür. 2 nolu direktten kaynaklanan yükler değerlendirmeye alınmıştır.
#002	Statik Koşul-Maksimum Boşluk Suyu Basıncı	Mevcut şevde herhangi bir dinamik kuvvet göz önüne alınmamıştır. Şevin tamamen suya doygun olduğu kabul edilerek, duraylılığı olumsuz olarak etkileyecek en yüksek boşluk suyu basıncı olarak ru katsayısı 0.6 olarak alınmıştır. Kaya dolgu uygulamasında ana kaya ve kaya dolgu arasında yapılacak drenaj görevi görececek granüler malzemede maksimum yeraltı suyu seviyesinin üstünde kalacağı düşünülmüş olup, kaya dolgu için ru=0 alınmıştır.
#003	Dinamik Koşul-Kuru	Mevcut şevde olası bir depremin oluşturacağı dinamik kuvvet pseudostatik kuvvet olarak düşünülerek, maksimum yatay yer ivmesinin yatay bileşeni 0.08 g alınmıştır. Şevin tamamen kuru olduğu ve böylece herhangi bir boşluk suyu basıncı göz önüne alınmamıştır (ru=0). 2 nolu direktten kaynaklanan yükler değerlendirmeye alınmıştır.
#004	Dinamik Koşul-Maksimum Boşluk Suyu Basıncı	Mevcut şevde olası bir depremin oluşturacağı dinamik kuvvet pseudostatik kuvvet olarak düşünülerek, maksimum yatay yer ivmesinin yatay bileşeni 0.08 g alınmıştır. Şevin tamamen suya doygun olduğu kabul edilerek, stabilizeyi olumsuz olarak etkileyecek en yüksek boşluk suyu basıncı olarak ru katsayısı 0.6 olarak alınmıştır. Kaya dolgu uygulamasında ana kaya ve kaya dolgu arasında yapılacak drenaj görevi görececek granüler malzemede maksimum yeraltı suyu seviyesinin üzerinde kalacağı düşünülmüş olup, kaya dolgu için ru=0 alınmıştır.

Mevcut yamacın iyileştirilmesi ve yüksek maliyete sahip enerji nakil hattı direğinin duraylılığının sağlanması için iki ayrı iyileştirme önlemi değerlendirilmiş olup, analiz sonuçları ilerleyen bölümlerde detaylı olarak tartışılmıştır. Arazi modellenmesi Şekil 3'te verilen hali hazır harita kullanılarak yapılmıştır. Mevcut arazinin

doğal konumu dikkate alınarak ve Bishop yöntemi kullanılarak, Slide v5.0 (Rocscience, 2010) programı aracılığıyla duraylılık analizleri Çizelge 2'de verilen koşullar dahilinde yapılmıştır. Her analiz model olarak isimlendirilmiştir ve açıklamaları Çizelge 3'de verilmiştir.

Orhan

Çizelge 3. Duraylılık analizlerinde kullanılan modellerin açıklaması.

Table 3. Description of models used in the stability analyses.

Açıklamalar	Uygulanan Duraylılık Analizleri
Mevcut yamacın doğal durumu	Statik Koşul Kuru/Doygun, Dinamik Koşul Kuru/Doygun
Fore kazık	Statik Koşul Kuru/Doygun, Dinamik Koşul Kuru/Doygun
Kaya dolgu	Statik Koşul Kuru/Doygun, Dinamik Koşul Kuru/Doygun

Mevcut Yamacın Doğal Durum Analizi

Mevcut yamacın doğal konumunda duraylılığı incelenmiştir. Mevcut durumda 146.0 m kotunun hemen altında dairesel bir kayma meydana gelmiş ve kayan kütle 140.0 m kotuna kadar ulaşmıştır. Mevcut durumda 2 nolu direğin önündeki kütle göreceli olarak azaldığından kaymanın direği içine alarak geriye doğru genişlemesi muhtemeldir. Şekil 7’de verilen kesitte ileri derecede ayrılmış kiltaşının duraylılığı için, duraylılık analizleri merkezi (20.211 m, 189.336 m) ve (52.920 m, 156.626 m) koordinatları ile tanımlanan alanda yer alan dairesel kayma merkezleri için yapılmıştır. Bu merkezlerin olası kayma daireleri 139.0 m kotuna teğet geçmektedir. Çizelge 2’de verilen koşullara göre analiz sonuçları Çizelge 4’te ve farklı koşullar için analiz edilen olası kayma daireleri ise Şekil 12’de verilmiştir.

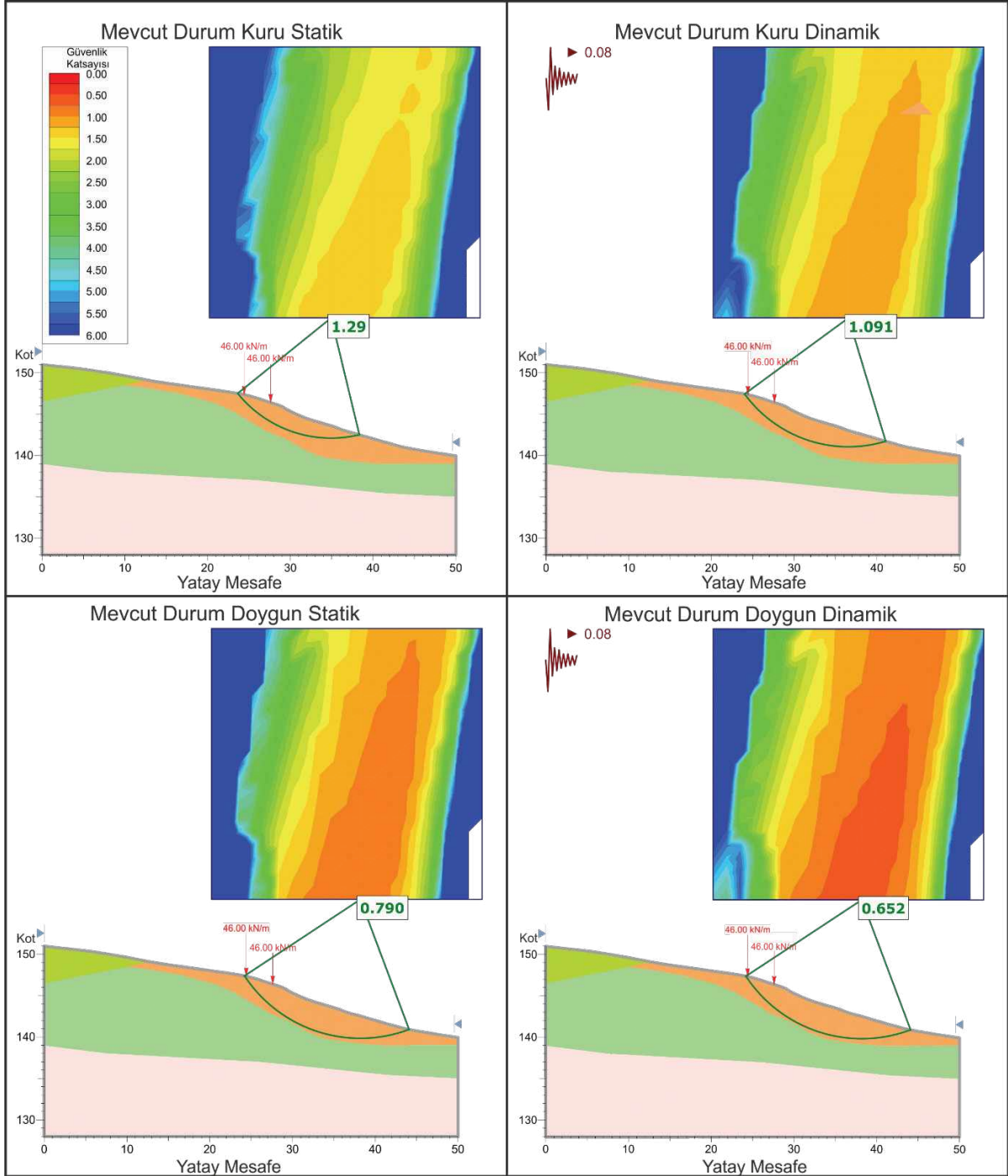
Çizelge 4’ten ve Şekil 12’den de görüleceği gibi güvenlik katsayısı yamacın mevcut durumu için kuru-statik/dinamik koşul hariç 1.0 değerinin altında çıkmaktadır. Kuru statik ve dinamik koşulda güvenlik katsayısı sırasıyla 1.290 ve 1.091 olarak limit denge koşulunun üzerindedir. Diğer koşullarda yamaçta bir hareketin beklenmesi kaçınılmazdır.

Her ne kadar güncel şev duraysızlığı şu an için mevcut direği içine almasa da, herhangi bir önlem alınmadığı takdirde ilerleyen zamanla birlikte söz konusu duraysızlığın geriye doğru öteleneceği ve elektrik direğinin stabilitesini tehlikeye atacağı açıktır. Bu nedenle bu aşamada enerji nakil hattı direğinin duraylılığının sağlanması amacıyla iki farklı iyileştirme önerisi limit denge analizleri ile değerlendirilmiştir.

Çizelge 4. Mevcut yamacın doğal durumu için yapılan duraylılık analizi sonuçları.

Table 4. Stability analysis results for the natural state of the existing slope.

Koşul No	Tanımlama	Minimum Güvenlik Katsayısı (GS)
001	Statik Koşul-Kuru	1.290
002	Statik Koşul-Maksimum Boşluk Suyu	0.790
003	Dinamik Koşul-Kuru	1.091
004	Dinamik Koşul- Maksimum Boşluk Suyu	0.652



Şekil 12. Mevcut yamacın doğal durumu için yapılan duraylılık analizlerinden görünümür.

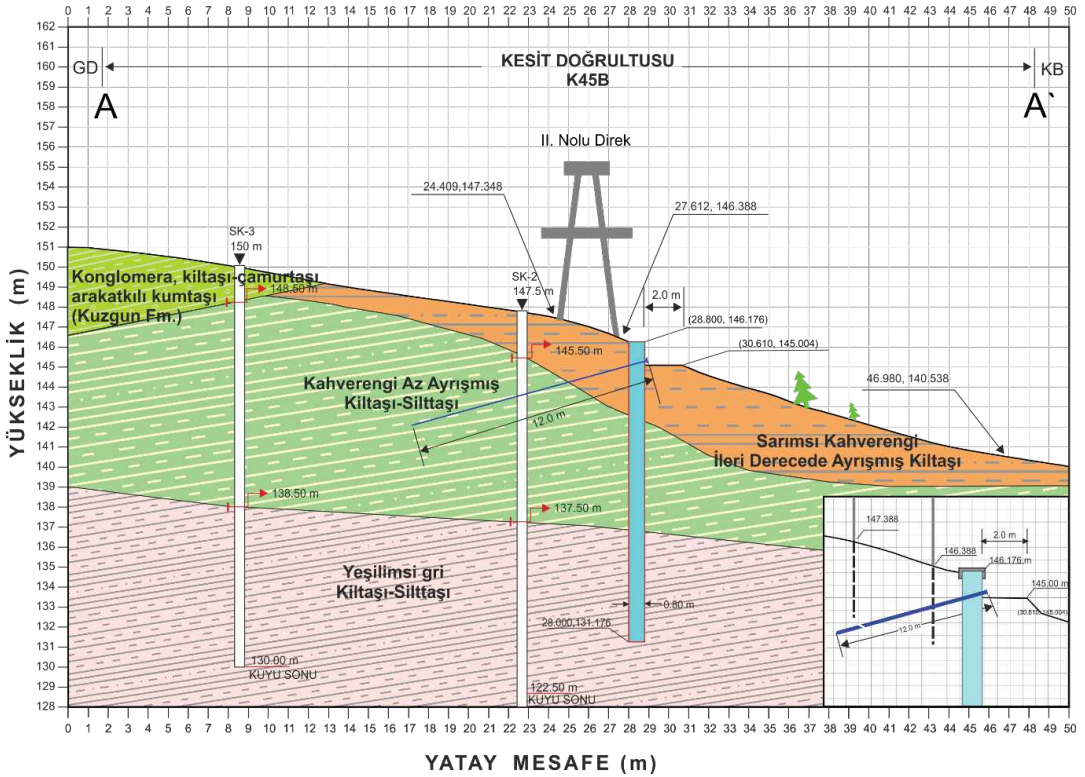
Figure 12. Views from the stability analyses for the natural state of the existing slope.

İyileştirme Önerileri

Fore Kazık İmalatı Önerisi

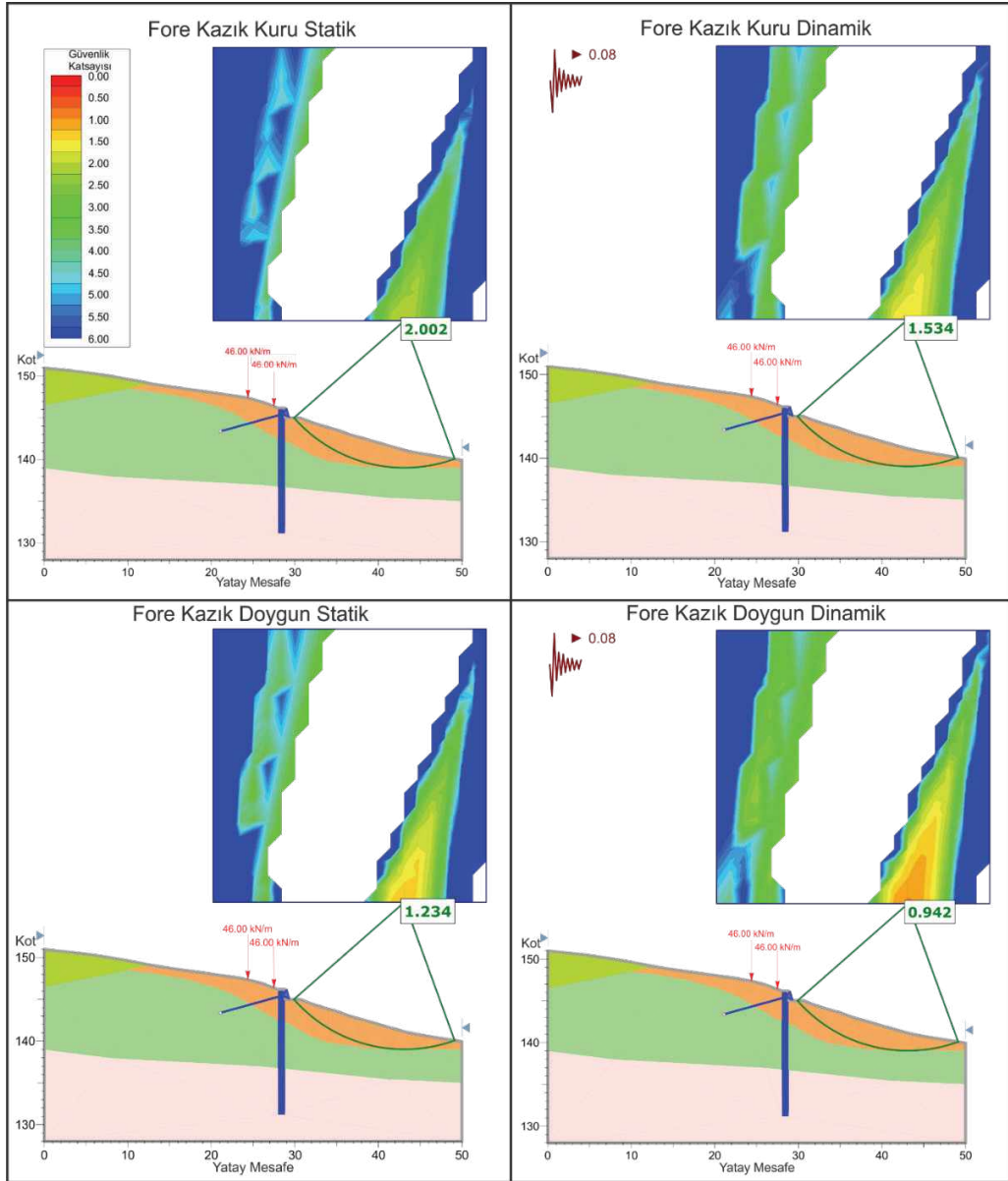
İlk aşamada mevcut sahada elektrik direğinin önünde imal edilebilecek fore kazıkların, yamacın ve dolayısıyla elektrik direğinin duraylılığı üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Bu kapsamda herhangi bir sıyırma kazısı yapılmadan yapılacak bu uygulama, mevcut direğin fonksiyonunu ve direğin bulunduğu arazinin özel mülk olma durumu değerlendirildiğinde çevreyi daha az etkileyecek bir iyileştirme yöntemidir. Fore kazık uygulamasında kazıkların en az 15.0 m boyunda olması planlanmıştır. Buna göre, kazıklar ileri derecede ayrılmış kıltaşı ve az ayrılmış kıltaşı-silttaşı seviyelerini geçerek ayrılmamış yeşilimsi gri renkli kıltaşı-silttaşı içine yerleşecektir (Şekil 13).

Şekil 13'te verilen kesit için yamacın duraylılığı, stabilite merkezi (20.211m, 189.336m) ve (52.920m, 156.626m) koordinatları ile tanımlanan alanda yer alan 400 dairesel kayma merkezi için yapılmış ve sonuçlar Şekil 14'te verilmiştir. Şekil 14 incelendiğinde, fore kazıkların ön bölümündeki şevde dinamik ve suya doymun koşullarda duraysızlıkların devam edebileceği (GS=0.94) öngörülmektedir. Ayrıca hem direğin üst kotlarında hem de alt kotlarında bir drenaj sisteminin uygulanması, yüzey sularının yamaç içerisine nüfuz etmesini engelleyecektir. Böylece oluşacak boşluk suyu basınçları azaltılabilir ve alt kotlarda suya doymun ve dinamik koşullarda olması beklenen duraysızlıklar engellenebilir.



Şekil 13. Fore kazık yapılarak önerilen iyileştirme çalışması.

Figure 13. Proposed slope stabilization with bored piles.



Şekil 14. Fore kazık ile yapılan iyileştirme önerisi için yapılan duraylılık analizi sonuçları.

Figure 14. Stability analysis results for the proposed slope improvement by bored piles.

Şekil 14'te olası kayma daireleri kazık uygulamasının gerisinde ve yamaç aşağı yönde odaklanmaktadır. Kazığın yamaç aşağısında olan kaymalara herhangi bir etkisi olmadığı için bu kesimde suya doymun dinamik koşullarda güvenlik katsayısının yer yer 1.0

altında kaldığı görülmektedir. Ancak burada oluşacak kaymaların direği etkilemesini kazık uygulaması önleyecektir. Kazık kotu altında ileride oluşabilecek lokal kaymaların kazıklardaki deplasman etkisini azaltmak için kazık üst kotundan 1.0 m aşağıda 15

derecelik eğimle 12 metre uzunluğunda ankraj ile kazıkların desteklenmesi önerilmektedir. Bu uygulama yapılırken, elektrik direği temellerinin kesilmemesine dikkat edilmelidir. Ayrıca, 146.0 metre kotunun altında drenaj uygulanarak yüzey sularının şev içerisine nüfuz etmesi engellenmelidir. Dinamik doygun koşul hariç güvenlik katsayısı 1.0 üzerinde olacaktır (Çizelge 5) ve şev topuğunda herhangi bir kayma olması beklenmemektedir. Çizelge 2’de verilen koşullara göre fore kazık uygulamasına ait analiz sonuçları Çizelge 5’te verilmiştir.

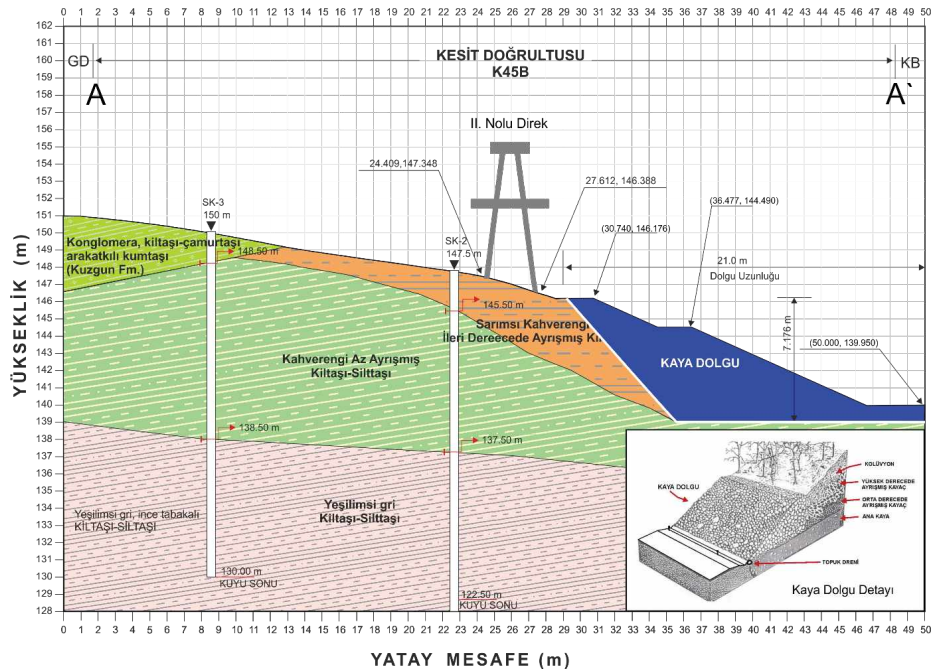
Çizelge 5. Fore kazık ile yapılan duraylılık analizi sonuçları.

Table 5. Stability analysis results with bored pile.

Koşul No	Tanımlama	Minimum Güvenlik Katsayısı (GS)
001	Statik Koşul-Kuru	2.002
002	Statik Koşul-Maksimum Boşluk Suyu	1.234
003	Dinamik Koşul-Kuru	1.534
004	Dinamik Koşul- Maksimum Boşluk Suyu	0.942

Kaya Dolgu İmalatı Önerisi

Mevcut sahanın iyileştirilmesi için ikinci bir yöntem olarak önerilen kaya dolgu, ileri derecede ayrılmış kiltaşının 146.0 m kotu başlayarak sıyırılması ve yerine kaya dolgu yapılması esasına dayanmaktadır. Yapılacak dolgunun tasarımı mevcut sahanın modellenerek enine kesitler için duraylılık analizleri yapılması ile ortaya konmuştur (Şekil 15 ve 16).



Şekil 15. Kaya dolgusu yapılarak önerilen şev duraylılık uygulaması.

Figure 15. Slope stabilization by rock backfill.

Kaya dolgu imalatında, ileri derecede ayrılmış kiltasında 146.176 m kotundan 139.0 m kotuna kadar 48 derecelik şev oluşturacak şekilde kazı yapıldıktan sonra yatay olarak topuğa kadar devam edilmelidir. Böylece sondaj verilerine ve arazi gözlemlerine dayandırılarak belirlenen ileri derecede ayrılmış kiltası zonu şev topuğundan tamamen kaldırılmış olacaktır. Kaldırılan ileri derecede ayrılmış kiltasının yerine kaya dolgu yapılması iyileştirme önerisinin temelini oluşturmaktadır (Şekil 15). Kaya dolgu genel olarak iki basamak şeklinde tasarlanmış olup, 146.176 m kotundan 144.90 m kotuna kadar olan birinci basamak genişliği 2.0 metre, şev eğimi 24 derece olarak belirlenmiştir. İkinci basamak 144.90 m kotundan başlayıp, 139.950 m kotuna kadar 24 derecelik şev eğimi ile başlayıp, basamak genişliği 5.0 olarak (M: 50.00; Y:139.950) devam etmektedir. Ana kaya (ileri derecede ayrılmış kiltası-silttaşı ve az ayrılmış kiltası-silttaşı) ve dolgular arasında granüler malzeme ile yapılacak drenaj tabakası (filtre) kalınlığı 0.25-0.50 m kalınlığında olmalıdır. Dolgu ile aynı anda yapılacak bu filtre şev tepesinden (146.176 m kotu) dolgu topuğuna kadar yapılarak, dolgu içinde ve sızan suların drene olmasını sağlayacaktır (Şekil 15).

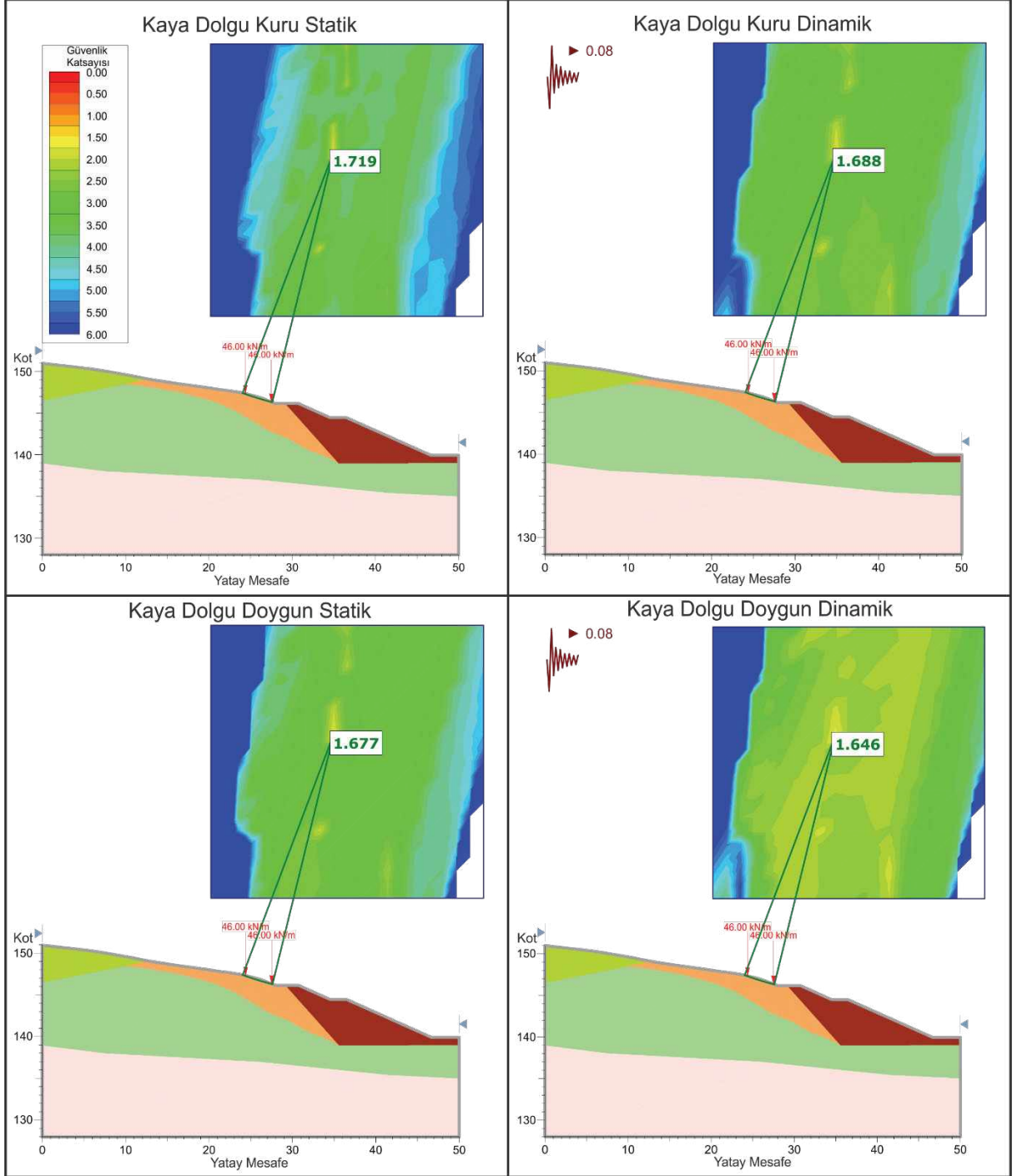
İleri derecede ayrılmış kiltasının sıyırılması sırasında zeminin doygunluk derecesine bağlı olarak elektrik direği önünde bir takım zemin deplasmanları gerçekleşebilir. Bu durum projenin uygulama noktasında bazı aksaklıklara neden olabilir. Fakat proje tamamlandıktan sonra kaya dolgunun ve mevcut yamacın güvenlik katsayısı her koşulda 1.0'ın üzerinde kalmaktadır (Şekil 16).

Şekil 15'te verilen kesit için kontrollü dolgu uygulamalı yamacın duraylılığı için, duraylılık merkezi (20.211m, 189.336m) ve (52.920m, 156.626m) koordinatları ile tanımlanan alanda yer alan 400 dairesel kayma merkezi için yapılmıştır. Kayma dairelerinin bir kısmı kaya dolgu içerisinde bir kısmı kaya dolgunun üst kotlarında olup, en düşük güvenlik katsayısı suya doygun dinamik koşul için 1.646 olarak belirlenmiştir (Şekil 16). Maksimum yeraltı suyu seviyesinin uygulanacak filtre tabakası ile ana kaya ve dolgular arasında kalacağı düşünülmüştür. Bundan dolayı analizlerde kaya dolgu içerisinde boşluk suyu basıncı oluşmadığı kabul edilmiştir. Çizelge 2'de verilen koşullara göre analiz sonuçları Çizelge 6'da ve analiz edilen olası kayma daireleri Şekil 16'da görülmektedir.

Çizelge 6. Kaya dolgu için yapılan duraylılık analizi sonuçları.

Table 6. Stability analysis results with rock backfill.

Koşul No	Tanımlama	Minimum Güvenlik Katsayısı (GS)
001	Statik Koşul-Kuru	1.719
002	Statik Koşul-Maksimum Boşluk Suyu	1.677
003	Dinamik Koşul-Kuru	1.688
004	Dinamik Koşul- Maksimum Boşluk Suyu	1.646



Şekil 16. Kaya dolgu için yapılan duraylılık analizi sonuçları.

Figure 16. Stability analysis results for rock backfill.

TARTIŞMA

Yukarıda detayları verilen iyileştirme önerilerinin tümünde farklı koşullarda 2 nolu direğin bulunduğu sahanın şev duraylılık katsayısı fore kazık uygulamasındaki dinamik koşul ve maksimum boşluk suyu durumu hariç 1.2'nin üzerindedir. Bu durum yamacın duraylılığının önerilen uygulamalardan biri ile sağlanacağını göstermektedir (Çizelge 7). Genel olarak en düşük güvenlik katsayısı değeri maksimum dinamik yükleme ve maksimum boşluk suyu basıncı koşulunun ($r_u=0.6$) aynı anda oluşması durumunda gerçekleşmektedir. Gerçek koşullarda bu tip kuvvetlerin en yüksek değerlerinde aynı anda oluşumları daha düşük olasılıktadır.

Kaya dolgu iyileştirme önerisi saha ve uygulama açısından bazı dezavantajlara sahiptir. Kaya dolgu projesi için belirlenen güvenlik katsayısı 1.2 üzerinde olmasına rağmen ileri derecede ayrılmış kiltaşının şev topuğundan sıyrılması sırasında oluşan kazı şevlerinin suya doymuş koşullarda duraysızlık sorunu çıkarması

beklenebilir. Bu durum uygulamada bazı aksamalara neden olabilecek niteliktedir. Bunun için projeye ilave maliyet getirecek geçici istinat yapılarının oluşturulması gerekebilir. Diğer bir husus ise sahanın özel mülk ve aktif olarak tarım yapıyor olması (damla sulama sistemlerinin varlığı arazide gözlenmiştir) büyük kazı-dolgu işlerinin yapılmasında sınırlandırmalar getirebilir. Fore kazık uygulaması kaya dolgu projesine göre daha sınırlı bir alanda yapılabilir ve uygulama sonrası arazi tekrar kullanılabilir. Dinamik koşul ve maksimum boşluk suyu koşulunda yaşanabilecek duraysızlık sorununu bertaraf etmek için ilave iyileştirme çalışması yapılması (topukta dolgu veya ikinci sıra fore kazık) ile çözülebileceği düşünülebilir. Ancak bu durum doğal olarak iyileştirme maliyetini de artıracaktır.

Burada iyileştirme önerilerinin uygulama noktasında çevresel ve zemin koşullarının yaratabileceği olumsuzluklar belirtilmiş olup, her iki iyileştirme önerisi de gerçekleştirildikten sonra enerji nakil direğinin duraylılığını sağlayabileceği görülmektedir.

Çizelge 7. Farklı iyileştirme önerileri için elde edilen güvenlik katsayılarının karşılaştırılması.

Table 7. Comparison of factor of safety values obtained for different stabilization suggestions.

Açıklamalar	Güvenlik Katsayısı (GS)			
	Koşul 1 Statik Koşul-Kuru	Koşul 2 Statik Koşul- Maksimum Boşluk Suyu	Koşul 3 Dinamik Koşul-Kuru	Koşul 4 Dinamik Koşul- Maksimum Boşluk Suyu
Mevcut durum	1.290	0.790	1.091	0.652
Fore kazık	2.002	1.234	1.534	0.942
Kaya dolgu	1.719	1.677	1.688	1.646

SONUÇLAR

Bu çalışma Mersin ili, Tarsus ilçesi Çevreli köyü ile Büyükkösebalcı köyü arasında yer alan TEİAŞ'a ait 154 Kw Kadıncık II HES-Akbelen Diltaş'ın 2 nolu direğini etkileyen heyelanın incelenmesi ve bir iyileştirme yönteminin önerilmesi amacıyla yapılmış olup, aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Çalışma alanında ağırlıklı olarak Alt-Orta Miyosen yaşlı kilitaşı, kilitaşı-silttaşı arakatlı Güvenç formasyonu ve Üst Miyosen yaşlı çamurtaşı-kilitaşı ara katlı konglomera, çakıllı kumtaşı ve kaba taneli kumtaşı seviyelerinden oluşan Kuzgun fomasyonu gözlenmektedir.
- Çalışma alanı, Doğu Anadolu Fay Sistemi, Ecemiş Fay Zonu ve Helen Kıbrıs yayı gibi aktif tektonik yapılar arasında sismik açıdan etkin bir alanda yer almakta olup, AFAD tarafından yenilenen interaktif "Türkiye Deprem Tehlike Haritası" na göre 0.154 g lik bir maksimum yatay yer ivmesine maruz kalabilecektir.
- Sahadaki jeolojik yapıyı tanımlayabilmek için her biri 15 ile 25 m arasında değişen derinliğe sahip beş adet araştırma sondajı açılmıştır. Sondajlarda ağırlıklı olarak yüksek plastisiteli kilitaşı-silttaşı birimi izlenmiş olup, farklı ayrışma derecelerine sahip olmaları dikkati çekmektedir.
- Zemin profili genel olarak en üstte yaklaşık 1.0 metrelik bitkisel topraktan sonra kalınlığı 3.0 ile 4.0 m arasında değişen sarımsı kahverengi renkte ileri derecede ayrışmış kilitaşı, daha sonra 10.0 ile 12.0 metre derinliğe kadar az ayrışmış kilitaşı-silttaşı ve bu seviyeden sonra taze-ayrışmamış yeşilimsi gri renkli kilitaşı-silttaşıdan oluşmaktadır.
- Güvenç formasyonu'nun aşırı doymun ayrıışmış üst seviyelerinde 2 nolu direği tehdit eden dairesel bir kayma gerçekleşmiştir. Söz konusu stabilite sorunu, zamanla genişleyerek enerji nakil hattını içerisine alan büyük bir heyelana dönüşme potansiyeli taşımaktadır.
- İleri derecede ayrıışmış kilitaşı, yağışların etkisiyle önemli ölçüde suya doymun duruma ulaşmış olup, heyelan kütlelerinde doğal su içeriği %40'tan fazladır. Suya doymun koşulların ileri derecede ayrıışmış kilitaşı'nın makaslama dayanımında neden olduğu azalma, kaymanın oluşmasında başlıca faktör olarak öne çıkmaktadır.
- Yapılan duraylılık analizlerinde mevcut durumun güvenlik katsayısı kuru-statik koşul hariç 1.0 değerinin altında çıkmaktadır. Sadece kuru koşulda (statik ve dinamik) güvenlik katsayısının sırasıyla 1.290 ve 1.091 olarak limit denge koşulunun hemen üzerinde olduğu görülmektedir. Doymun koşullarda yamaçta bir hareketin beklenmesi kaçınılmazdır. Zaten incelenen yamaçtaki duraysızlık sorunu da yamacı oluşturan malzemedeki suya doymunluğun artması ilke başlamıştır.
- Olası kaymaların enerji nakil direğini etkilememesi için kaya dolgu ve fore kazık uygulaması olmak üzere iki adet alternatif iyileştirme yöntemi değerlendirilmiştir. Kaya dolgu; ileri derecede ayrıışmış kilitaşı'nın sıyırılması ve yerine kaya dolgu yapılması esasına dayanmaktadır. 15 m derinliğindeki fore kazıklar ise büyük boyutta kazı yapılmadan uygulanabilecek niteliktedir.
- Önerilen iyileştirme yöntemlerinin her ikisinde de her türlü koşulda 2 nolu direğin bulunduğu sahanın kaymaya karşı

güvenlik katsayısı (fore kazık uygulaması dinamik koşul-maksimum boşluk suyu koşulu hariç) 1.2'nin üzerindedir. Bu durum yamacın duraylılığının önerilen iyileştirme yöntemleri ile sağlanabileceğini ve yüksek maliyete sahip 2 nolu direğin risk altında olamayacağını göstermektedir. Genel olarak en düşük güvenlik katsayısı değeri maksimum dinamik yüklemelerle (0.08 g yatay ivme bileşeni) ve maksimum boşluk suyu basıncı oluşumunun ($r_u=0.6$) aynı anda olması ile gerçekleşmektedir. Gerçek koşullarda bu tip kuvvetlerin en yüksek değerlerinde aynı anda oluşumları oldukça düşük olasılıktadır. Sonuç olarak, her iki iyileştirme önerisi de enerji nakil hattı direğinin duraylılığını sağlayacak niteliktedir.

KATKI BELİRTME

Laboratuvar deneylerinin yapılmasında ZEMKA Yapı Malzemeleri Zemin Araştırmaları Laboratuvarı personellerine, makalenin son haline gelmesinde verdikleri desteklerden dolayı Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerinden Prof. Dr. İsmail DİNÇER ve Prof. Dr. Mutluhan AKIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

KAYNAKLAR

- AFAD, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası.
- AİGM-DADB, 1996. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- ASTM D2434-68, 2006. Standard Test Method for Permeability of Granular Soils (Constant Head) (Withdrawn 2015). ASTM International, West Conshohocken, PA.

- ASTM D5731-16, 2016. Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM D5856-15, 2015. Standard Test Method for Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Material Using a Rigid-Wall, Compaction-Mold Permeameter. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Barkın, N., 2004. Mersin-Tarsus Otoyolu Güney Şevlerinde Meydana Gelen Duraysızlıkların İncelenmesi. Y.L. Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, (yayınlanmamış).
- Bishop, A. W., 1955. The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*, 5 (1), 7-17.
- Craig, R. F., 1992. *Soil Mechanics*. Chapman and Hall, 5th edition, London.
- Durgunoğlu, H.T., Kulaç F., Karadayılar T., Baştürk G., 1990. Yüksek plastisiteli Taban Zemini Killerin Projelendirme Kriteri. ZMTM Türk Milli Komitesi Bülteni, Zemin Mühendisliği, Cilt:1 Sy: 55-66.
- Finlay, P.J., Fell, R., Maguire, P.K., 1997. The relationship between the probability of landslide occurrence and rainfall. *Canadian Geotechnical Journal*, 34, 811-824.
- Grefsheim, F.D., 1988. Laboratory Testing for Slope Stability Desing Parameters in Overconsolidated Clay. *Proceedings of Landslide Conference*, 1, p: 123-130.
- Hynes-Griffin ME, Franklin AG., 1984. Rationalizing the seismic coefficient method. U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, Miscellaneous Paper GL-84-13, 21 pp.
- ISRM (International Society for Rock Mechanics), 2007. *The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 1974-2006*. Suggested Methods R. Ulusay and J.A. Hudson (editors), Prepared by the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics,

- Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, Turkey, 628 p.
- Kramer S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey 07458, pp. 434-437.
- Marcuson W.F., Franklin A.G., 1983. Seismic Design, Analysis, and Remedial Measures to Improve the Stability of Existing Earth Dams. Corps of Engineers Approach”, in Seismic Design of Embankments and Caverns, T.R. Howard, Ed., New York, ASCE.
- Noble, H.L., 1973. Residual Strength and landslides in clay and shale. JSMFED, ASCE Vol: 99 No: SM9. Paper 10023, September, p: 705-719.
- Polemio, M., Sdao, F., 1999. The role of rainfall in the landslide hazard: the case of the Avigliano urban area (Southern Apennines, Italy). Engineering Geology, 53(3-4), 297-309.
- Rocscience, 2010. Slide v5.0-2D limit equilibrium analysis. Rocscience Inc., Toronto, Canada.
- Rocscience, 2014. RocProb v5.0-Rock Properties Database. Rocscience Inc., Toronto, Canada.
- Schmidt, G. C., 1961. Stratigraphic nomenclature for the Adana Region. Petroleum District 7. Petroleum Administration Bulletin, 6, 47-63.
- Sevimli, U.İ., 2003. Demirhisar (Mersin KD’su) Civarının Jeolojisi ve Sedimantolojik Özellikleri. Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 49 s., Adana (yayımlanmamış).
- Skempton, A.W., 1964. Long term stability of clay slope. Geotechnique, 14, 77-101.
- Taga, H., Turkmen, S., Kacka, N., 2015. Assessment of stability problems at southern engineered slopes along Mersin-Tarsus Motorway in Turkey. Bulletin Engineering Geological Environment, 74, 379-391.
- TS 1500, 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması. TSE, 16 s., Ankara
- TS 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini. TSE, 99 s., Ankara
- TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini. TSE, 68 s., Ankara
- TS EN ISO 17892-1, 2014. Geotechnical investigation and testing- Laboratory testing of soil - Part 1: Determination of water content (ISO 17892-1: 2014). Türk Standardları Enstitüsü, ANKARA
- Ünlügenç, U. C., 1986. Kızıldağ Yayla (Adana) Dolayının Jeolojik İncelemesi. Ç. Ü. Fen Bilimleri Ens. Yüksek Lisans Tezi, 77s., Adana.