Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

YÜKSEK GERİLİM ELEKTRİK DİREKLERİNDE HEYELAN KAYNAKLI GÖRÜLEN HASAR ÖRNEKLERİ

EXAMPLES OF LANDSLIDE-INDUCED DAMAGE TO HIGH-VOLTAGE ELECTRICITY TOWERS

Nejan HUVAJ SARIHAN[1], Volkan KALPAKCI[2], Şevki ÖZTÜRK[3]

ÖZET

Enerji arz güvenliği tüm Dünya için özellikle son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Toplam enerji arzında elektrik enerjisi büyük bir yer tutmakta ve elektrik enerjisinin büyük kısmı da pek çok ülkede havai iletim hatları ile iletilmektedir. Bu sebeple, yüksek gerilim havai elektrik iletim hatları kritik altyapılar olarak değerlendirilmektedir. Havai iletim hatları çelik elektrik direkleri ile yere bağlı olduğundan, bu direkler zaman zaman zemin hareketi, kaya düşmesi, sel vb. doğa kaynaklı afetler sebebiyle hasar görebilmektedir. Son yıllarda bu tür hasarların tespiti ve havai enerji iletim hatlarının bu tür afetlere karşı dayanıklılığının arttırılması konusunda çalışmalar hız kazanmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı yerlerinde gözlemlenen heyelan sebebiyle oluşmuş direk hasarlarına dair örnekler sunulmuştur. Bu örnekler incelenirken, heyelan mekanizması, heyelana göre direğin konumu, heyelan hızı gibi faktörlerin direklerde gözlemlenen hasar tip ve seviyelerini ciddi şekilde etkilediği görülmüştür. Bu noktadan hareketle, bu çalışmada çelik yüksek gerilim elektrik direği hasarları çeşitli örnekler üzerinden; heyelan mekanizması, direğin heyelan içindeki konumu ve oluşan hasarlar yönünden incelenmiş ve alınabilecek tedbirler değerlendirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: *Kritik altyapı, dayanıklılık, heyelan, çelik, elektrik, yüksek gerilim*

ABSTRACT

Energy supply security has gained significant importance worldwide, particularly in recent years. Electrical energy constitutes a major share of the total energy supply, and in many countries, the majority of this energy is transmitted via overhead transmission lines. Consequently, high-voltage overhead transmission lines are considered as critical infrastructure. Since overhead transmission lines are anchored to the ground by steel towers, these towers are susceptible to damage from natural disasters such as ground movement, rockfalls, and floods. In recent years, efforts to detect such damage and enhance the resilience of overhead power transmission lines against these disasters have intensified. This study presents examples of tower damage caused by landslides observed in various locations across Turkey. An analysis of these cases reveals that factors such as the landslide mechanism, the tower's position relative to the landslide, and the speed of the landslide significantly influence the type and severity of the damage sustained by the towers. Based on this premise, the present study examines damage to high-voltage steel electricity towers through various examples—analyzing landslide mechanisms, the tower's position within the landslide, and the resulting damage—and evaluates potential preventive measures.
Keywords: *Critical infrastructure, resilience, landslide, steel, electricity, high voltage*

[1] Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, nejan@metu.edu.tr
[2] Doç. Dr., Orta Doğu Teknik Üniversitesi (İdari), kalpakci@metu.edu.tr (Sorumlu Yazar)
[3] Dr. Öğr. Üyesi, Çankaya Üniversitesi, sevkiozturk@cankaya.edu.tr

1. GİRİŞ

Kritik altyapı sistemleri; su temini, telekomünikasyon, enerji ve ulaşım gibi hayati hizmetleri sağlayan ve modern toplumların ekonomik ve sosyal işleyişi açısından vazgeçilmez olan sistemlerdir. Bu sistemler, birbirleriyle olan karşılıklı bağımlılıkları nedeniyle doğal afetler sonucunda meydana gelen fiziksel hasarların yanı sıra, hizmet kesintileri ve zincirleme etkiler açısından da önemli ölçüde kırılganlık gösterebilmektedir (O'Rourke, 2007). Depremler, seller, kasırgalar, kuraklıklar ve heyelanlar gibi doğa kaynaklı afetler kritik altyapı sistemlerinin sürekliliği açısından önemli tehditler oluştururken, iklim değişikliği bazı aşırı hava ve iklim olaylarının sıklığını ve/veya şiddetini artırmaktadır (IPCC, 2021). Bununla birlikte, kentleşme, nüfus artışı ve ekonomik varlıkların belirli alanlarda yoğunlaşması, doğal afetlere maruz kalan altyapı ve ekonomik varlıkların artmasına ve dolayısıyla potansiyel afet kayıplarının büyümesine neden olabilmektedir (Hallegatte vd., 2013).

Kritik altyapıdaki hasarlar günümüzde ciddi ekonomik kayıplara, sosyal hayatta aksamalara ve bazı durumlarda can kayıplarına yol açabilmektedir. Kritik altyapının doğa kaynaklı afetlerin oluşturduğu tehlikelere karşı korunabilmesi için, öncelikle bu afetlerin altyapı sistemleri üzerindeki etkilerinin ve ortaya çıkan hasarların kapsamlı biçimde değerlendirilmesi ve buna dayalı etkili risk azaltma stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Afetlerin altyapı ve toplum üzerindeki etkilerinin anlaşılması, kırılganlıkların belirlenmesine ve afetlere karşı dayanıklılığın artırılmasına yönelik proaktif yaklaşımların geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Bu yaklaşım, doğal afetlere maruz kalma, kırılganlık ve başa çıkma kapasitesini birlikte ele alan dayanıklılık çerçevesiyle uyumludur (Cutter vd., 2008).

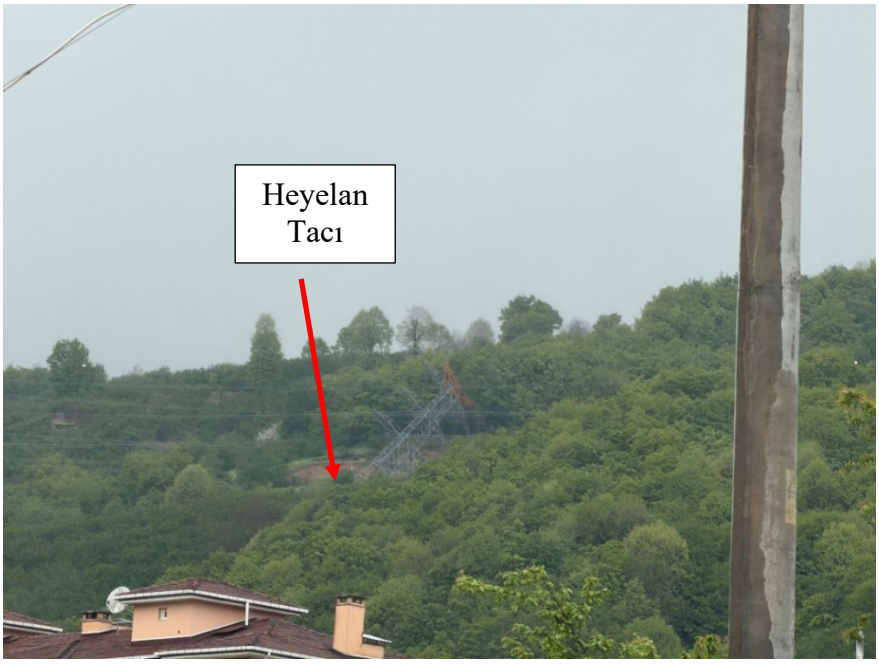
Enerji iletiminde temel altyapı bileşenleri olan havai elektrik iletim hatları, çelik direkler ile yeryüzüne bağlı olduğundan heyelanlar da dahil olmak üzere çeşitli doğa kaynaklı afetlere duyarlıdır. Ülkemizde ve Dünya'da yapılan çalışmalar, heyelan hareketlerinin yüksek gerilim enerji iletim direklerinde temel hasarları, farklı oturma, eğilme, devrilme gibi ciddi hasarlara neden olabildiğini göstermektedir. Özellikle direk temelinin aktif heyelan kütlesi içerisinde veya heyelan sınırına yakın konumlanması durumunda, zemindeki yatay ve düşey deformasyonların direk ayaklarında farklı büyüklüklerde hareketlere neden olarak yapısal stabiliteyi önemli ölçüde azaltabildiği raporlanmıştır. Ayrıca, bir direğin göçmesiyle iletkenlerde meydana gelen çekme kuvvetlerinin komşu direklere aktarılması, hasarın iletim hattı boyunca yayılmasına ve enerji arzında kesintilere yol açabilmektedir (Yu vd., 2022; Huang vd., 2024; Koç, 2024). Türkiye'de ise 6 Şubat 2023 depremleri sonrasında gerçekleştirilen saha incelemelerinde, heyelan kaynaklı temel hareketlerinin yüksek gerilim iletim direklerinin göçmesine neden olduğu doğrudan gözlemlenmiştir.

Bu noktadan hareketle, bu çalışmada çelik yüksek gerilim elektrik direği hasarları çeşitli örnekler üzerinden; heyelan mekanizması, direğin heyelan içindeki konumu ve oluşan hasarlar yönünden incelenmiş ve alınabilecek tedbirler değerlendirilmiştir.

2. DİREK HASARLARINA ÖRNEKLER

Bu bölümde, heyelan hareketlerine maruz kalmış yüksek gerilim hattı direklerinde görülen hasar çeşitleri örneklendirilmiştir. Bu örneklerin incelenmesi sırasında, heyelan mekanizması, heyelana göre direğin konumu, heyelan hızı gibi faktörlerin direklerde gözlemlenen hasar tip ve seviyelerini ciddi şekilde etkilediği görülmüştür.

İlk örnekte, aktif bir heyelan sahası tacında yer alan bir direk incelenecektir. Söz konusu heyelan, yoğun yağış sonrası ani gelişmiş derin bir heyelan olup, direk tam olarak heyelan tacında yer almaktadır (Şekil 1). Bu heyelan sonrasında direk tamamen devrilmiş ve kullanılamaz hale gelmiştir (Şekil 2)

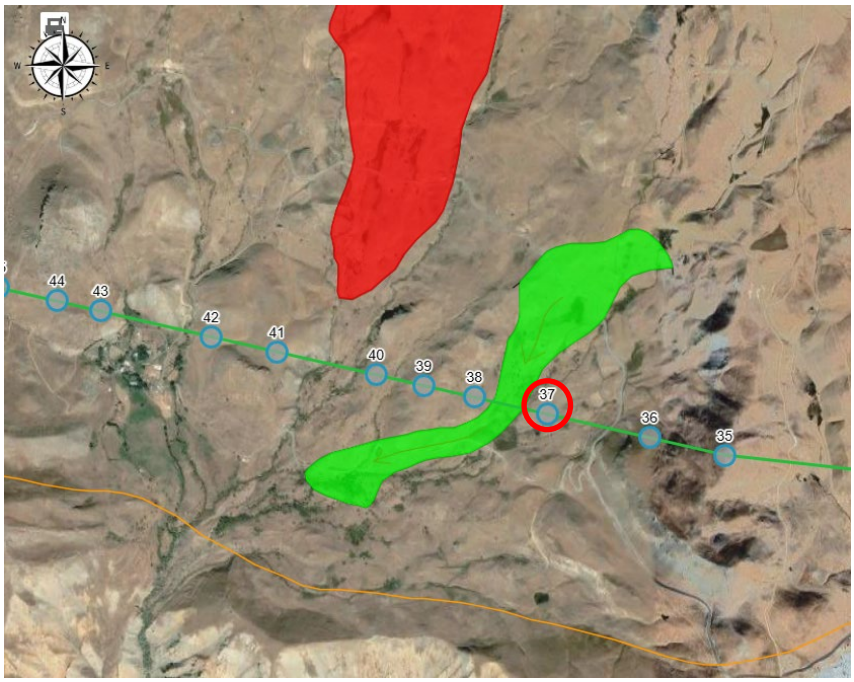


Şekil 1. Heyelan tacındaki direk uzaktan görünüm



Şekil 2. Heyelan tacındaki direk yakın görünüm

İkinci örnekte, aktif bir yüzeysel akma sahasında yer alan bir direk incelenecektir. Direk etrafındaki zemin farklı seviyelerde ayrışmış serpantinit birimlerinden oluşmaktadır. Direğin konumu ve MTA Heyelan Envanteri'ne (MTA, 2026) göre direk etrafında işaretlenmiş heyelanlar ve yüzeysel akmalar Şekil 3'de sunulmuştur. Bu şekilden, direğin bir yüzeysel akma alanına bitişik olduğu görülmektedir. İlgili direğin incelenmesi sırasında direğin C ve D ayaklarında, çelik ana destek elemanlarının birleşim noktalarından ayrıldığı ve bu ana taşıyıcı elemanların ciddi şekilde büküldüğü görülmüştür (Şekil 4). Ayrıca direk temel betonları zemin içerisine gömülü ve dönmüş haldedir (Şekil 5). Yapılan gözlemlerde bu hasarların, zemin hareketi kaynaklı çelik taşıyıcı elemanlara etki eden kesme tesirleri sebepli olduğu kanaatine varılmıştır. Bu örnekten görülebileceği üzere, zemin hareketleri kaynaklı kesit tesirleri çelik taşıyıcı elemanların kesit bütünlüğünü bozacak mertebelere ulaşabilmektedir. Gözlemlenen hasarın birleşme noktasından olması, kesitin en dar yeri olduğundan beklenen bir durumdur.



Şekil 3. Yüzeysel akma sahasına bitişik direk ve çevresi (MTA, 2026)



Şekil 4. Direk ana taşıyıcı çelik elemanlarında görülen hasarlar



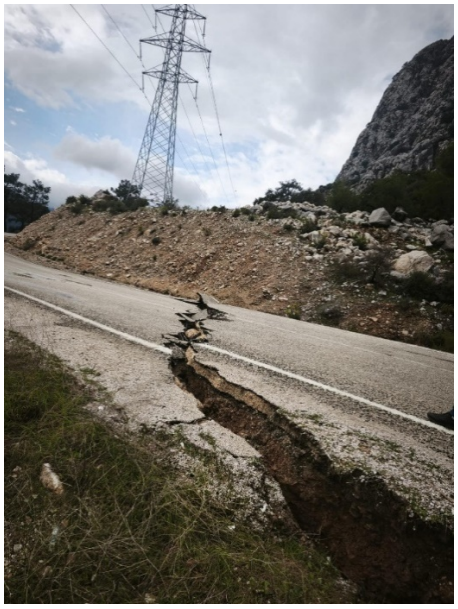
Şekil 5. Direk beton ayaklarında görülen gömülme ve dönme

Bir diğer örnekte ise eski bir heyelan kütlesi içerisinde direk etrafında gelişen yeni duraysızlıklar bulunmaktadır. Bu örnekte zemin profili kiltaşı, kumtaşı ve marn birimleri üzerinde gelişmiş killi, siltli, çakıl ve blok boyutlu heyelan malzemesinden oluşmakta olup, saha yaklaşık 25-30 derece eğimlidir. Bu örnekte direğin komple bir kütle halinde hareket etmesinden ziyade direk ayaklarının birbirlerine göre rölatif hareketlerinin daha baskın olduğu görülmüştür. Bu hareketlerin, direğin hem düz hem de çapraz çelik elemanlarında ciddi miktarda burkulma, eğilme ve dönmeye sebep olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Eski bir heyelan kütlesi içerisinde yer alan direkte görülen hasarlar

Zaman zaman kazı, dolgu vb. beşeri faaliyetler sonucu gelişen zemin hareketleri de yüksek gerilim direklerine zarar verebilmektedir. Bu anlamda maden kazıları ile yol kazı ve dolgularında meydana gelen duraysızlıklar direk etrafında duraylılık problemlerine en sık yol açan beşeri faaliyetler arasındadır. Şekil 7'de sunulan örnekte, bir karayolu dolgusunda gelişen toprak kayması sonrasında etkilenen bir direk görülmektedir. Bu örnekte direk heyelan tacının hemen gerisinde olduğundan doğrudan hasar almamış, ancak direk önündeki zeminin boşalması sebebiyle meydana gelen direk ötelenmesi neticesinde direk izolatörlerinde eğilmeye yol açmıştır (Şekil 8).



Şekil 7. Yol dolgusunda meydana gelen heyelan ve hemen gerisinde bulunan elektrik direği



Şekil 8. Direk izolatörlerinde meydana gelen eğilmeler

3. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen örnekler, heyelanların yüksek gerilim elektrik direkleri üzerindeki etkisinin yalnızca heyelanın varlığına değil, heyelan mekanizmasına, direğin heyelan kütlesine göre konumuna ve zeminin hareket biçimine bağlı olarak değiştiğini göstermektedir. Literatürde de yüksek gerilim iletim hatlarının zaman zaman eğimli ve heyelan duyarlı arazilerden geçmesi nedeniyle, direk temellerinin heyelanlar açısından önemli bir risk unsuru olduğu belirtilmektedir. Özellikle direk temelindeki küçük yatay deplasmanların dahi direğin üst kısmında belirgin ötelenme ve eğilmeye neden olabileceği bildirilmektedir (Huang vd., 2024).

Aktif heyelan tacında bulunan ilk örnekte direğin tamamen devrilerek kullanılamaz hale gelmesi, özellikle aktif ve hızlı gelişen derin heyelanların direkler açısından yüksek risk oluşturduğunu göstermektedir. Benzer şekilde, literatürde yağış kaynaklı bir heyelan sonucunda elektrik direği temelinin açığa çıkması ve direğin stabilitesinin tehdit edilmesi, heyelan hareketinin direk temelleri üzerindeki doğrudan etkisini ortaya koymuştur (Luo vd., 2020). Bu çalışmada söz konusu vaka için heyelan mekanizmasının belirlenmesi ve temel çevresindeki zeminin stabilitesinin değerlendirilmesi sonrasında ankrajlı biir sistemle iyileştirme yöntemi uygulanmıştır.

Buna karşılık, yüzeysel akma alanına bitişik olan ikinci örnekte direğin tamamen devrilmesinden ziyade ana taşıyıcı çelik elemanlarda birleşim noktalarından ayrılma ve ciddi bükülmeler ile temel betonlarında gömülme ve dönme gözlenmiştir. Bu durum, nispeten sınırlı görünen zemin hareketlerinin dahi direk elemanlarında önemli kesit tesirleri oluşturabileceğini göstermektedir. Benzer şekilde, güncel çalışmalar heyelan kaynaklı zemin ve temel deformasyonlarının iletim direklerinde önemli deplasmanlara ve deformasyonlara yol açabileceğini ve temel seviyesindeki hareketlerin direk üst kısmında büyütülmüş yapısal tepkilere dönüşebildiğini ortaya koymaktadır. (Luo vd., 2026).

Eski bir heyelan kütlesi içerisinde yer alan üçüncü örnekte ise direğin bütün olarak hareket etmesinden çok, direk ayaklarının birbirlerine göre rölatif hareketlerinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Bu hareketler sonucunda direğin düz ve çapraz çelik elemanlarında ciddi miktarda burkulma, eğilme ve dönme meydana gelmiştir. Bu gözlem, direk davranışının değerlendirilmesinde yalnızca toplam zemin hareketinin değil, temel ayakları arasındaki rölatif hareketlerin de dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Nitekim iletim kulelerinin temel deformasyonlarına bağlı davranışlarının, zemin hareketinin büyüklüğü ve temel koşulları ile doğrudan ilişkili olduğu farklı araştırmalarda da ortaya konulmuştur (Huang vd., 2024; Luo vd., 2026).

Karayolu dolgusunda gelişen heyelan örneği ise direğin doğrudan heyelan kütlesi içerisinde bulunmadığı durumlarda dahi hasar oluşabileceğini göstermektedir. Bu örnekte direğin heyelan tacının hemen gerisinde bulunması nedeniyle doğrudan bir hasar oluşmamış, ancak direk önündeki zeminin boşalmasına bağlı olarak meydana gelen direk ötelenmesi izolatörlerde eğilmelere neden olmuştur. Dolayısıyla enerji iletim hatlarının güzergâhında gerçekleştirilen yol kazısı, dolgu ve benzeri insan faaliyetlerinin de direklerin yakın çevresindeki şev ve zemin stabilitesi açısından değerlendirilmesi gerekmektedir.

İncelenen örnekler birlikte değerlendirildiğinde, yüksek gerilim direklerinin heyelan tehlikesine karşı değerlendirilmesinde direğin heyelana göre konumu, zemin hareketinin

yönü ve niteliği ile direk temel ayakları arasındaki rölatif hareketlerin önemli parametreler olduğu görülmektedir. Bu nedenle heyelan tehlikesinin yalnızca direğin bulunduğu noktada değil, direğin çevresindeki potansiyel hareket alanı ile birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, iletim hattı koridorlarında heyelan riskinin değerlendirilmesinde heyelan tehlikesi ile iletim direğinin kırılganlığının birlikte ele alınmasını öneren Gong vd. (2019) tarafından ortaya konulan risk değerlendirme yaklaşımıyla da uyumludur.

Bu doğrultuda, aktif heyelan sahaları ve eski heyelan kütleleri içerisinde veya bunların yakınında bulunan direkler için öncelikle heyelanın yönü, derinliği, mekanizması ve sınırları ve hızı detaylı şekilde ortaya konulmalı ve tüm bu faktörler, heyelanlı alana göre direğin konumu ile birlikte değerlendirilerek olası çözüm örnekleri ortaya konulmalıdır. Örneğin hızlı gelişen bir heyelanda direğin acil olarak başka bir noktaya nakledilmesi en uygun çözüm olabilirken, yüzeysel akma sahasında temel ayak birleşimlerinde kesme hasarı görülen direklerde çelik bağlantıların güçlendirilmesi öncelikli seçenek olarak değerlendirilebilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'nin farklı bölgelerinde gözlemlenen heyelan kaynaklı yüksek gerilim elektrik direği hasarları; heyelan mekanizması, direğin heyelana göre konumu ve zemin hareketinin niteliği açısından değerlendirilmiştir.

İncelenen örnekler, heyelan kaynaklı hasarların direğin tamamen devrilmesi gibi ağır sonuçlardan, çelik taşıyıcı elemanlarda burkulma ve bükülme, temel ayaklarında gömülme ve dönme ve izolatörlerde eğilme gibi daha lokal hasarlara kadar değişebildiğini göstermiştir. Hasarın türü ve seviyesi, direğin heyelan tacında, heyelan kütlesi içerisinde veya heyelan alanına bitişik ya da gerisinde bulunmasına göre farklılaşmıştır.

Aktif heyelan tacında bulunan direğin tamamen devrilmesi, hızlı gelişen ve derin heyelanların yüksek gerilim direkleri açısından önemli bir tehlike oluşturduğunu göstermektedir. Yüzeysel akma alanına bitişik direkte gözlenen çelik eleman ve temel hasarları ise direğin doğrudan heyelan kütlesi içerisinde bulunmadığı durumlarda dahi zemin hareketlerinin önemli yapısal etkiler oluşturabileceğini ortaya koymaktadır. Eski heyelan kütlesi içerisindeki örnek, özellikle direk ayaklarının birbirlerine göre rölatif hareketlerinin çelik elemanlarda burkulma, eğilme ve dönmeye neden olabileceğini göstermiştir. Bunun yanında, karayolu dolgusunda meydana gelen heyelan örneği, direğin doğrudan heyelan içerisinde yer almadığı durumlarda dahi zemindeki boşalma ve ötelenmeler nedeniyle izolatör seviyesinde hasar meydana gelebileceğini ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, yüksek gerilim elektrik hatlarının heyelanlara dirençli hale getirilmesi için, hat güzergahı boyunca geçilen heyelanlar detaylı biçimde incelenerek; heyelan mekanizması ile birlikte direğin heyelana göre konumu da dikkate alınmalı ve alınabilecek tedbirler bu koşullara göre değerlendirilmelidir. Metin içerisinde verilen örneklerden de görüleceği üzere, bu tedbirlerin kimi zaman acil ve kapsamlı olması gerekirken, kimi zaman da daha yüzeysel ve zamana yayılı tedbirler alınarak bu riskler yönetilebilmektedir.

TEŞEKKÜR

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) İletim Hatları Tesis Daire Başkanı Sn. İlhami Civelek başta olmak üzere tüm TEİAŞ personeline ve bu proje kapsamındaki çalışmalarda emek vermiş olan tüm uzmanlarımıza, çalışmalar esnasında verdikleri katkı ve desteklerden dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E. ve Webb, J. (2008), "A Place-Based Model for Understanding Community Resilience to Natural Disasters", Global Environmental Change, Vol. 18, No. 4, 598–606, doi:10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013.

Gong, H., Jiang, B., Wu, C. ve Ke, X. (2019), "Landslide Risk Assessment on the Corridors of Transmission Lines", DEStech Transactions on Engineering and Technology Research, doi:10.12783/dtetr/icicr2019/30612.

Hallegatte, S., Green, C., Nicholls, R.J. ve Corfee-Morlot, J. (2013), "Future Flood Losses in Major Coastal Cities", Nature Climate Change, Vol. 3(9), 802–806, doi:10.1038/nclimate1979 .

Huang, C., Yin, K., Liang, X., Gui, L., Zhao, B. ve Liu, Y. (2024), "Study of Direct and Indirect Risk Assessment of Landslide Impacts on Ultrahigh-Voltage Electricity Transmission Lines", Scientific Reports, Vol. 14, 25719, doi:10.1038/s41598-024-76726-x.

IPCC (2021), "Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, doi:10.1017/9781009157896.

Koç, H.N. (2024), "Landslide Vulnerability Assessment Methodology for High Voltage Electric Transmission Towers", Middle East Technical University, Ankara, Türkiye, Master's Thesis.

Luo, G., Zhong, Y. ve Yang, Y. (2020), "Failure Mechanism and Mitigation Measures of the G1002 Electricity Pylon Landslide at the Jinping I Hydropower Station", Advances in Civil Engineering, Vol. 2020, Article ID 8820315, 15 pages, doi:10.1155/2020/8820315.

Luo, N., Yan, Y., Bu, X., Wu, W., Ren, X. ve Yu, G. (2026), "Field Investigation and Numerical Simulation of Transmission Tower Landslides under Rainfall", Landslides, Vol. 23, 2029–2047, doi:10.1007/s10346-026-02699-9.

MTA (2026), "Yerbilimleri Harita Görüntüleyici - Heyelan Envanteri Veri Katmanı". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, yerbilimleri.mta.gov.tr (Erişim Tarihi: 1 Haziran 2026)

O'Rourke, T.D. (2007), "Critical Infrastructure, Interdependencies, and Resilience", The Bridge: Linking Engineering and Society, Vol. 37, No. 1, 22–29.

Yu, H., Li, H. ve Zhang, Z.,Q. (2022), "Failure Patterns of Transmission Tower-Line System Caused by Landslide Events", Energies, Vol. 15, No. 19, 7155, doi:10.3390/en15197155.