

HEYELAN REHABİLİTASYON PROJELERİNDE DİSİPLİNLERARASI YAKLAŞIMIN ÖNEMİ: GÜRCİSTAN ÖRNEĞİ

Tahir YILDIZ¹

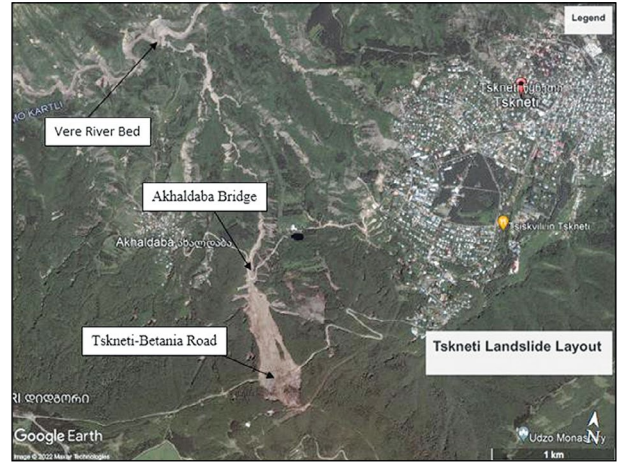
Hüseyin YILDIRIM²

1. GİRİŞ

Heyelanlar, dünyanın hemen her bölgesinde farklı tetikleyicilerle ortaya çıkan; ciddi can ve mal kayıplarına yol açan doğa olaylarıdır. Ülkemizde hem doğal süreçler (aşırı yağışlar, sismik aktivite vb.) hem de antropojenik (insan kaynaklı) etkilerle sıkça karşılaşılan bu yıkımlar, afet sonrası yürütülecek rehabilitasyon çalışmalarının ne denli titiz bir mühendislik süzgecinden geçmesi gerektiğini kanıtlamaktadır. Disiplinlerarası bir perspektifle geliştirilen mühendislik çözümleri, yalnızca mevcut hasarı onarmakla kalmaz; benzer felaketlerin tekrerr etmesini engelleyerek ekonomik kayıpların da önüne geçer. Bu bağlamda, 2015 yılında Gürcistan'ın Tiflis kentinde meydana gelen Tskneti-Betania heyelanı, modern bir rehabilitasyon planının nasıl olması gerektiğine dair yenilikçi bir örnek teşkil etmektedir. Zarar gören ulaşım ağlarının yeniden inşasında; mühendislik jeolojisi, hidroloji, jeofizik ve geoteknik mühendisliği disiplinlerinin eş güdümlü çalışmasıyla ortaya konan bu proje, çok disiplinli bir heyelan rehabilitasyon projesi örneği olarak literatürde yerini almıştır.

Haziran 2015'te Gürcistan'ın Tiflis kenti yakınlarındaki Tskneti-Betania bölgesinde, aşırı yağışlar sonucu 1,2 milyon metreküplük bir toprak hareketi meydana gelmiştir. Bu büyük enkaz akışı (debris flow), Vere Nehri'ni geçici olarak tıkamış ve nehir yatağı boyunca yapay bir sedde oluşmasına neden olmuştur. Su kütlesinin oluşturduğu büyük hidrostatik basıncın etkisiyle bu sedde kısa süre içinde çökmüş, akabinde enkaz akışı Tiflis şehir merkezine ulaşmıştır. Bu afet sonucunda stratejik yollar tahrip olmuş ve 22 kişi hayatını kaybetmiştir. Felaketin teknik sebepleri, jeolojik, topoğrafik ve hidrolojik veriler değerlendirilerek sonraki bölümlerde özetlenecektir. Hasar gören yolların yeniden yapımında uygulanan geoteknik çözümler, meydana gelen heyelanların tariflenmesiyle ilişkili olarak tariflenecektir. Heyelan rehabilitasyonu

kapsamında yeniden inşa edilen yollarda, zemin çivileri, konvansiyonel betonarme istinat duvarları, donatılı toprak duvarlar ve ilave sanat yapıları kullanılmıştır. İnceleme sahasının genel uyu görüntüsü **Şekil 1**'de sunulmaktadır.



Şekil 1 - İnceleme Sahasının Uydu Görünüşü

2. SAHA KOŞULLARI

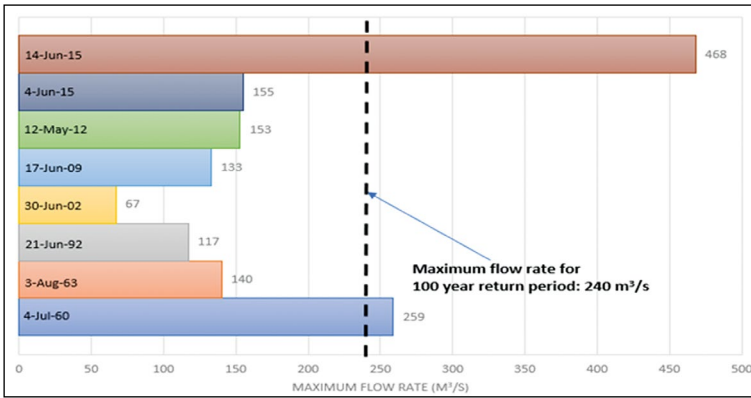
Bu bölümde, inceleme alanının jeolojik, hidrolojik ve meteorolojik koşullarıyla ilgili özellikleri sunulmaktadır. Sel olayının meydana gelmesini etkileyen başlıca faktörler, heyelan rehabilitasyon acil eylem planı göz önünde bulundurularak açıklanacaktır. Acil eylem planı raporu afetin meydana geldiği bölgenin çevresel, iklimsel ve jeolojik koşulları hakkında ayrıntılı bilgiler içermektedir.

2.1 Jeolojik Arkaplan

Heyelan bölgesi, Tskneti köyünün güneydoğusunda, deniz seviyesinden 1180-1300 metre yükseklikte yer almaktadır. Bölge; Oligosen ve alt Miyosen dönemine ait kil, kumtaşı, konglomera (Maikop serisi) ve denizel molaslardan oluşmaktadır.

¹ Kıdemli Geoteknik Mühendisi, TP-OTC, tahir.yildiz88@gmail.com (Sorumlu Yazar)

² Prof. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği ABD, yildirimh@itu.edu.tr



Şekil 2 - Vere Nehri için maksimum akış debi değerleri ve heyelan öncesi değer

Gürcistan sınırları içerisinde yer alan Küçük Kafkaslar kesimi, engebeli arazi yapısıyla karakterizedir. Bazı bölgelerde kule biçimli arazi yapısı, Eosen dönemine ait volkanik kayalarla ilişkilidir; Borjom-Bakuriani çevresinde ise genç volkanik oluşumlar gözlemlenmektedir. Erozyon derinliği ortalama olarak 500-1000 metre arasında değişmektedir. Kayaların tabakalanma yönleri kuzeye eğimlidir. Arazi dağlık olup erozyon-tektonik kökenlidir. Tabaka yönü boyunca, yani batıdan doğuya doğru vadilerin yamaçları asimettiktir: batı yamaçları daha dik, doğu yamaçları ise daha düzdür. Vadilerdeki bu asimetri, Telety antiklinalinin monoklinal yapısından kaynaklanmaktadır (Kuparadze, 2019).

2.2 Hidrolojik Koşullar

Vere Nehri'nin hidrolojik davranışına ilişkin yerel veri tabanına göre, nehrin normal yıllık debisi 0,26 ile 1,22 metreküp/saniye arasında değişmektedir. Maksimum debi ise genellikle ilkbahar veya yaz başında gözlemlenmekte olup 48.3 m³/s'ye kadar çıkmaktadır. 100 yıllık tekrar periyodu esas alındığında öngörülen maksimum debi 240 m³/s olarak kabul edilmektedir. Kayıtlara göre, pik akış değerleri 1960 yılında 259 m³/s, 1972 yılında ise 153 m³/s olarak rapor edilmiştir (UNDP, 2015). Görüm ve Fidan (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, aşırı yağışlar kaynaklı ölüme sebebiyet veren heyelanların çoğunun, en fazla yağışın olduğu dönemlerde değil, yaz mevsimindeki aşırı pik yağışları takiben Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleştiği öne sürülmüştür. İnceleme alanının hidrolojik özellikleri

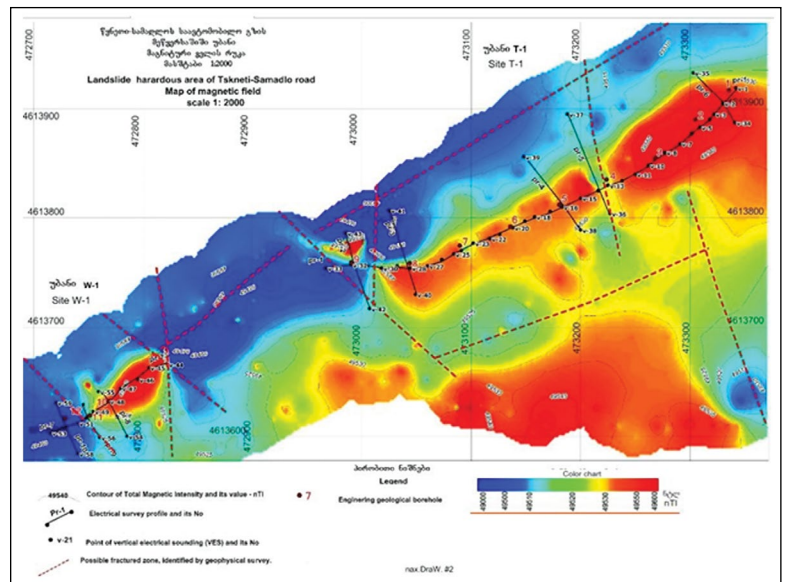
bu yaklaşımla örtüşmektedir. Heyelan yağışlı mevsimde değil, yaz başında kaydedilen en yüksek akış oranı sonrasında meydana gelmiştir (UNDP, 2015). 13-14 Haziran 2015 tarihlerinde maksimum debi 468 m³/s'ye ulaşmış olup, bu değer 100 yıllık tekrar periyodu için tasarlanan maksimum debinin neredeyse 2 katına eşittir (**Şekil 2**).

3. SAHA ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARI

Rehabilitasyon çalışmaları öncesinde 10 sondaj ve 9 hatta düşey elektrik rezistivite (VES) ölçümlerini içeren kapsamlı jeofizik etütler yapılmıştır. Bölgenin; yoğun ayrılmış kumtaşı, arjilit ve konglomera tabakalarından oluştuğu, kayma yüzeyi eğiminin yer yer 40 dereceye ulaştığı tespit edilmiştir. Heyelanın en büyük çapta yıkım meydana getirdiği kesime ait bölgede (T-1) ve yakınındaki görece kısa hatta (W-1) sondajlara ek olarak gerçekleştirilen düşey elektrik rezistivite (VES) ve magnetometre sonuçları, heyelana uğrayan bölgenin etki derinliğini ve boyutsal etki bölgesini netleştirmeyi hedeflemiştir (Kuparadze ve Pataridze (2019)). Saha araştırma lokasyonları ve magnetometre sonuçları **Şekil-3**'te sunulmuştur.

4. REHABİLİTASYON BÖLGELERİ VE YÖNTEMLERİ

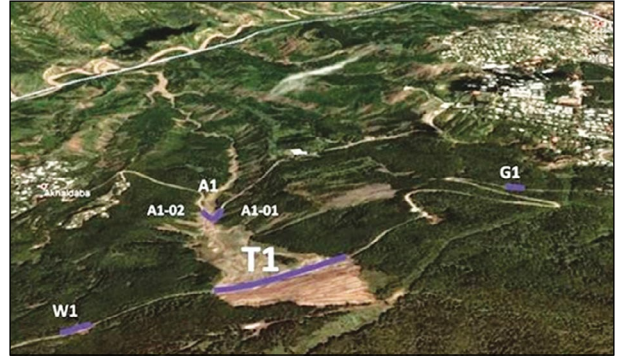
Bu başlık altında iyileştirme projesi kapsamında çalışılacak kesimler tanımlanacak, akabinde literatürdeki sınıflamalara göre saha gözlemleri ışığında heyelana uğrayan bölgelerin yapısına uygun



Şekil 3 - Saha araştırma lokasyonları ve magnetometre sonuçları

iyileştirme yöntemleri araştırılacaktır. Meydana gelen heyelan sonucunda Tskneti-Samadlo yolunun yıkıma uğradığı küçük bir kesim olan G-1, yolun devamında en ağır yıkıma maruz kalan T-1 ve devamındaki W-1, ayrıca enkaz akışının Vere nehrine en yakın bölgede tamamen yıkıma uğrattığı Akhaldaba (A-1) kesimlerinde rehabilitasyon çalışmaları yürütülecektir (Yıldız ve diğ. (2024)).

Heyelanların neden olduğu potansiyel stabilite problemlerine yönelik genel yaklaşım özetleri, Holtz ve Schuster (1996) tarafından kategorize edilmiştir. Problemin karmaşıklığı nedeniyle, önerilen yöntemin teknik, maliyet-etkin ve hızlı inşaat ihtiyaçları açısından kapsamlı bir değerlendirme gerektirdiği belirtilmiştir. Bu nedenle, hasar görmüş kesimler iyileştirme (onarım) yöntemlerinin özelliklerine



Şekil 4 - Rehabilitasyon kesimleri (Yıldız ve diğ. (2024))

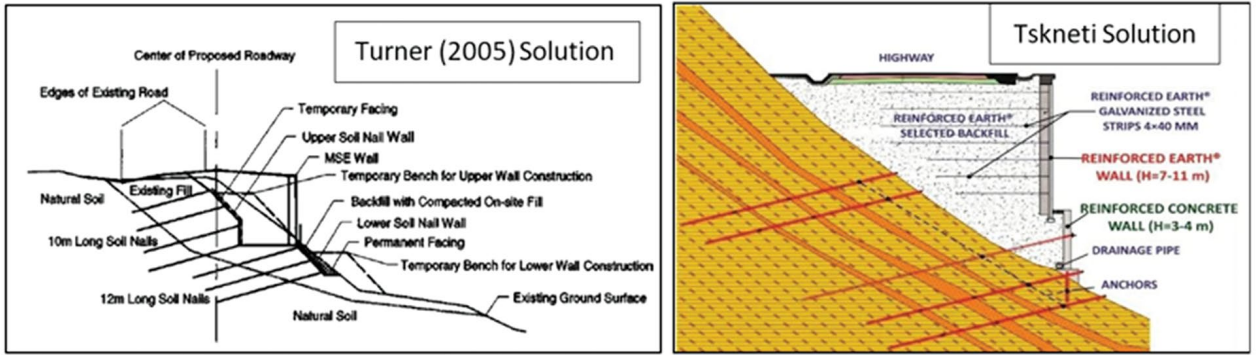
göre sınıflandırılmıştır. Holtz ve Schuster (1996)'in yaklaşımı esas alınarak yapılan bu sınıflama **Tablo 1**'de özetlenmiştir.

Tablo 1 - Holtz & Schuster (1996) yaklaşımına göre kesimlerin stabilizasyon sınıfları (Yıldız ve diğ. (2024))

Kesim	Kategori	Metod
G-1	Kat. 1: Problemden kaçınma	Stabil olmayan malzemenin kaldırılması
	Kat-4: İçsel dayanımı artırma	Donatılı Toprak Duvar (MSE) İmalatı
A-1	Kat. 1: Problemden kaçınma	Köprü imalatı & Stabil olmayan malzemenin kaldırılması
	Kat-4: İçsel dayanımı artırma	Donatılı Toprak Duvar (MSE) İmalatı
W-1&T-1	Kat. 1: Problemden kaçınma	Stabil olmayan malzemenin kaldırılması
	Kat.3: Yapısal sistem kullanımı & zemin çivisi kullanımı	Konsol betonarme duvar & topuk kesiminde destek kazıkları & aynayı stabil tutacak zemin çivisi imalatı
	Kat-4: İçsel dayanımı artırma	Donatılı Toprak Duvar (MSE) İmalatı



Şekil 5 - Rehabilitasyon kesimleri (G-1 ve A-1)



Şekil 6 - Turner (2005) yönteminden uyarlanan hibrit kesit

4.1 Rehabilitasyon Çalışmaları – G-1 & A1

Çözümün görece daha kolay olduğu G-1 ve A-1 kesiminde yıkıma uğrayan yolun imalatı ilk aşamada tamamlanmıştır. Yukarıda belirtildiği üzere G-1 kesiminde stabil olmayan zemin tabakalarının kaldırılmasını takiben donatılı toprak duvar ve drenaj önlemine esas menfez imalatı tamamlanmıştır. A-1 kesiminde ise yine yıkıntı malzemenin temizlenmesinin ardından betonarme köprü imalatı yapılmıştır. Köprünün yaklaşım rampaları ise donatılı toprak duvar ile stabilize edilmiştir.

4.2 Rehabilitasyon Çalışmaları – W-1 & T-1

T-1 bölgesi, 40° eğimli ve 15 metrelik kot farkına

sahip aktif bir heyelan alanında yer almaktadır. Bölgenin riskli yapısı nedeniyle, stabilizasyon için aşamalı bir hibrit çözüm geliştirilmiştir. Donatılı toprak duvar çözümünün tekil kullanımı, 15 metrelere varan kesit yüksekliği yaratmakta olup, bu imalat için ortaya çıkacak kazı ihtiyacı ve yapıların kısıtlı uygulama örnekleri riskli bulunmuştur. Dolayısıyla Zemin çivileri, konsol duvar ve donatılı toprak duvar çözümlerinin birarada kullanıldığı, Turner (2005) modelinden esinlenen aşağıda detayları sunulan hibrit bir çözümün uygulanmasına karar verilmiştir (Şekil 6).

- **Kazı Aynası:** Zemin çivileri ve kaya düşme bariyerleriyle sabitlendi.



Şekil 7 - W-1 ve T-1 rehabilitasyon kesiti

- **Topuk Kesimi:** 3-4 metre yüksekliğinde, ankrajlarla desteklenmiş betonarme konsol duvar inşa edildi. Kazı aynası gerisinde gelişebilecek genel stabilite problemlerinin önlenmesi için, konsol betonarme duvarın gövdesinden şev aynasına dik doğrultuda zemin çivilerinin teşkil edilmesi uygun bulunmuştur.
- **Dolgu ve Üst Yapı:** Konsol duvarın üst kesiminde, yol platformunu desteklemesi amacıyla donatılı toprak duvar teşkiline karar verilmiştir. Hibrit çözüm sayesinde, donatılı toprak duvar yüksekliği, dolayısıyla şerit ihtiyacı ve kazı miktarında optimizasyon yapılabilmektedir.

İmalat öncesi ve sonrası durum, T-1 ve W-1 kesimleri için **Şekil 7**'de sunulmaktadır.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu çalışmada, 13-14 Haziran 2015 tarihlerinde meydana gelen Tskneti heyelanının teknik yönleri ve arka planı, önemli mühendislik açıları açısından incelenmiştir. Felaketin jeolojik ve hidrolojik arka planı değerlendirilmiş; hasar gören yollar için yapılan arazi araştırmaları ve iyileştirme çalışmalarının kapsamı detaylandırılmıştır. Jeolojik ve jeomorfolojik arka plan açısından heyelan bölgesi, deniz seviyesinden 1180–1300 metre yükseklikte, Oligosen ve alt Miyosen dönemlerine ait killer, kumtaşları, konglomeralar (Maikop serisi) ve denizel molaslardan gözlemlendiği bir kesimdedir. Hidrolojik açıdan bakıldığında, heyelan öncesinde bölgenin kuzeyindeki Vere nehrinde 100 yıllık tekerrür periyodu için öngörülen debinin yaklaşık iki katına ($468 \text{ m}^3/\text{s}$) ulaşan ekstrem yağışlar gözlemlenmiştir. Bu da heyelanın aşırı yağışlar tarafından bölgenin kırıklı kayaç yapısı ve süreksizliklerin bu koşullardan kaynaklı olarak tetiklendiğinde işaret etmektedir. Bölgedeki olası kırık zonlarını tanımlamak amacıyla düşey elektrik öz direnç ölçümleri ve manyetometre araştırmalarını içeren jeofizik yöntemler kullanılmıştır. Hasar gören yollar için önerilen rehabilitasyon yöntemleri, her kesim için ayrıntılı olarak ele alınmış ve hasarın yarattığı fiziksel koşullar ve mekanizmalara göre belirlenmiştir. Vaka analizi, heyelan rehabilitasyonunda sadece hasarlı yapıyı onarmanın yeterli olmadığını; jeoloji, hidroloji ve geoteknik disiplinlerinin birlikte çalıştığı multidisipliner bir yaklaşımın zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Özellikle dar alanlarda ve derin kayma yüzeylerinin bulunduğu bölgelerde, rijit ve esnek sistemlerin bir arada kullanıldığı hibrit çözümler, hem imalat hızı hem de sismik performans açısından kritik avantajlar sağlamaktadır. Rehabilitasyon sonrasında düzenli aletsel gözlem, sistem performansının takibi

ve heyelan mekanizmasının tekrarlanması önüne geçilmesi noktasında önemli olup, ülkemiz için de takip edilmesi gerekli bir mühendislik çözümdür.

KAYNAKLAR

Holtz, R. D., and Schuster, R. L. (1996). "Stabilization of soil slopes." Chap. 17 in Landslides: Investigation and mitigation, Special Report 247, A. K. Turner and R. L. Schuster, eds., Transportation Research Board, National Academy Press, Washington, D.C., 439–473.

Görüm, T., Fidan, S. (2021) "Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey". Landslides 18, 1691– 1705 <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01580-7>

Kuparadze D., Pataridze D., (2019), "Engineering Solution of the Catastrophic Landslide Areas (By the example of Georgia)" Proceedings of the IX International Scientific and Practical Conference International Trends in Science and Technology– Vol.1 pp:9-17, Warsaw, Poland.

UNDP—United Nations Development Programme (2015) "Tbilisi disaster needs assessment" (Final draft), 84 pp

Yıldız, T., Kuparadze D., Pataridze D, (2024). "Technical aspects and remediation work for hazardous landslides: Tskneti Example, Georgia" Proceedings of the 18th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE24), Lisbon, Portugal <http://dx.doi.org/10.1201/9781003431749-258>

Yıldız, T., Seyedtehrani, E., Durgunoğlu, H.T., Özbatır, M., (2018), "Toprakarme İstinat Yapılarına Yeni Bir Yaklaşım: Zemin Çivili Toprakarme Duvar", 17. Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Ulusal Konferansı, İstanbul, Türkiye

Yıldız T., Yıldırım H., (2025), Heyelan Rehabilitasyon Projelerinde Esnek İstinat Sistemlerinin Kullanımı – Bir Vaka Analizi. 10. Geoteknik Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye

Turner, John P, and Wayne G. Jensen. (2005) "Landslide stabilization using soil nail and mechanically stabilized earth walls: case study." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 131.2 pp: 141-150. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2005\)131:2\(141\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2005)131:2(141))