Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı

15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

GEOTEHLİKE DEĞERLENDİRMELERİNDE UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN KULLANIMINDAN ÖRNEKLER

EXAMPLES OF USING SATELLITE IMAGERY IN GEOHAZARD ASSESSMENT

Tahir YILDIZ[1], Hüseyin YILDIRIM[2]

ÖZET

Geotehlike (Geohazard) değerlendirmesi, geoteknik, jeoloji, jeofizik ve geomatik mühendisliğinin aktif rol aldığı çok disiplinli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır. Bu değerlendirme kapsamında heyelanlar, kaya düşmeleri, kumul hareketi gibi yer hareketlerinin sebepleri ve mekanizmaların anlaşılması hedeflenir. Değerlendirmeler meydana gelen olayların çözümlenmesinin yanında, söz konusu olaylar meydana gelmeden de sebeplerin anlaşılması ve risklerin azaltılması noktasında önemlidir. Yöntemde esas olarak, araştırma sahalarındaki topografik ve jeomorfolojik durumun zaman içindeki değişimi, antropojenik (insan kaynaklı) ve jeolojik etkilerle beraber incelenerek sebepler araştırılır. Bu bildiri kapsamında, heyelan ve kaya düşmeleri başta olmak üzere, geçmiş uydu görüntülerinden faydalanılarak yapılan geotehlike çözümleme çalışmalarından örnekler sunulacak olup, bu çalışmanın ileri safhalarda olası benzer olayların önlenebilmesi noktasındaki rolü irdelenecektir.
Anahtar Kelimeler: *geotehlike,heyelan,kaya düşmesi,uydu*

ABSTRACT

Geohazard assessment is promoted as a multidisciplinary research field requiring crucial contribution of geotechnical, geological, geophysical and geomatic engineers. This assessment aims to understand the potential reasons and mechanisms of mass movements such as landslides, rockfalls and sand dune migrations. Besides the evaluation of past incudents, these evaluations are essential for identifying necessary precautions before the occurance of geohazards. The methodology primarily involves to identify temporal changes in the topographic and geomorphological conditions of the project sites, alongside anthrolopogenic (human-induced) and geological impacts. Within the scope of this proceeding, examples of geohazard evaluation conducted using historical satellite imagery- focusing particularly on landslides and rockfalls- will be presented, and the role of such studies in preventing potential further occurences will be discussed.
Keywords: *geohazard,landslide,rockfall,satellite*

1. GİRİŞ

Geotehlike (Geohazard) kelime olarak yeraltında ya da yer üstünde meydana gelen, kaynağı jeolojik süreçler, jeomorfolojik öğeler ya da antropojenik (insan kaynaklı) olabilen, mühendislik yapılarına tehdit oluşturabilecek tüm etmenlerin bütünü olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla, mühendislik yapılarının tasarımında, proje sahasına ait geotehlike senaryolarının detaylı bir şekilde tariflenmesi yapı ve çevre güvenliği açısından kritik önem arzeder. Geotehlike değerlendirmesi, jeoloji, jeofizik, geoteknik, geomatik başta olmak

[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

üzere farklı mühendislik alanlarının kolektif üretimi ve çalışmasıyla eksiksiz bir senaryo ortaya koyabilmektedir. Geotehlike tipleri ise, karada ve denizde farklı şekillerde gruplanmakta olup, bu tehlikelerin tespitinde yürütülen araştırma çalışmaları da aynı kategoriler altında farklılaşmaktadır.

1.1 Geotehlike Araştırma Yöntemleri

Deniz koşullarında gruplanan başlıca geotehlike tipleri kütle hareketi ve şev stabilite problemleri altında denizaltı heyelanlar, türbidite akıntıları, sediment akması (creep) olarak tariflenebilir. Bunun yanında, deniz tabanındaki sığ gaz varlığı ve gaz çıkışlarından kaynaklı meydana gelen sığ gaz kraterleri (pockmark), gaz hidratlar, çamur volkanları (mud volcanoes) önemli geotehlike tipleridir. Deniz tabanı morfolojisi ve sismik & tektonik risk grubu altında oyulma (scouring), kum dalgaları, faylanma ve denizel çökel sıvılaşması sayılabilir. Denizel geotehlike tespitinde, jeofizik ve geoteknik yöntemlerle çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırmalarda çok ışınlı batimetri (MBES), yanal taramalı sonar (SSS), ve sığ sismik (SBP) başta olmak üzere bölgesel ve yapısal riskler göz önüne alınarak planlanır. Geoteknik deniz araştırmalarında, geotehlike değerlendirmesini destekler yönde özelleştirilmiş numune alma ekipmanları kullanılarak, bütünleşik bir tehlike senaryosu oluşturulmalıdır.

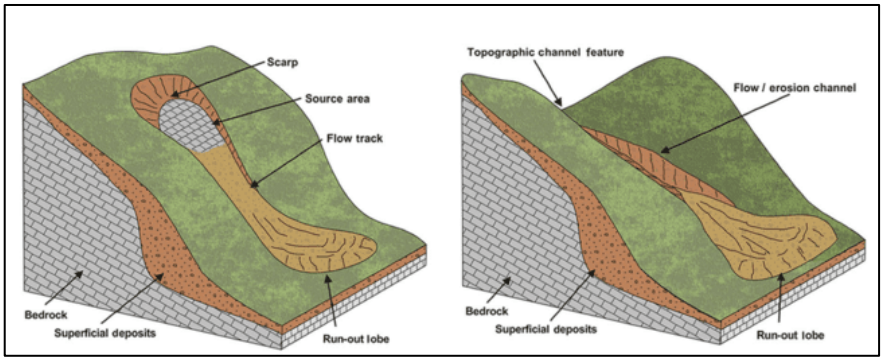
Kara şartlarında ise, değerlendirme aşamasına esas saha araştırmaları ve değerlendirme yöntemleri deniz kısmından farklılık göstermektedir. Karasal geotehlikeler aşağıdaki gibi gruplanabilir:

- Sismik geotehlikeler: depremler ve sıvılaşma bu grupta değerlendirilebilir.
- Kütle hareketleri: heyelanlar, kaya düşmeleri ve çamur akmaları bu grupta sayılabilir.
- Yüzey altı geotehlikeler: obruklar (sinkhole), şişen killer ve sığ gaz varlığı bu gruba dahil edilebilir.

Geotehlike saha araştırmaları kapsamında, geleneksel geoteknik saha araştırma yöntemleri ve laboratuvar süreçleri takip edilmektedir. Buna ek olarak, geotehlike tipine göre özelleştirilen jeofizik deneyler bu sürece dahil edilmelidir. Örneğin obruk potansiyeli özelinde bir geotehlike saha araştırmasında, geoteknik çalışmaları destekler nitelikte elektrik özdirenç tomografi (ERT) testlerinin araştırma programına dahil edilmelidir. Fay ve süreksizlik araştırmalarında ise, sondaj çalışmalarına kuyu içi optik görüntüleme seçeneği dahil edilebilmektedir.

Geoteknik ve jeofizik çalışmaların yanında, uzaktan algılama (remote sensing) metodlarının, özellikle heyelan potansiyeli ve kaya düşme riskinin mekansal bölgeleme çalışmalarında kullanımı oldukça yaygınlaşmış durumdadır. Bu bağlamda insansız hava araçları (UAV) ile yüksek çözünürlük arazi elevasyon modelinin eldesi, farklı zaman dilimlerinde elde edilen arazi görüntülerinin mukayesesiyle deformasyon miktarı ve yönünün tahmin edildiği In-SAR yöntemi ve LIDAR gibi ileri seviye görüntüleme yöntemleri geotehlikelerin bölgesel sınırlarının tespitinde ve mekanizmasının anlaşılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır (Scaioi vd.2014). Tüm bu yöntemlerin yanında, arşiv uydu görüntülerinin karşılaştırmalı mukayesesi, geotehlikelerin lokasyonlarında, afet öncesi dönemlerde emareler olduğuna yönelik veriler sunabilmektedir (Nichol ve Wong, 2006). Bu metodla, heyelanlar, kaya düşmeleri, kumul hareketi gibi yer hareketlerinin büyük boyutlu bir geotehlike unsuru haline gelmeden önce bölgesel risk sınıflaması yapılabilir ve kontrol altında tutulabilir. Değişik formlarda meydana gelen heyelanlarının mekanizmasının tariflenmesi (Şekil 1), uydu görüntülerinden elde edilen bulgularla mukayeseli olarak mümkün olmaktadır. Bu mukayeseli çalışma sonucunda, heyelan mekanizmasının anlaşılması, rehabilitasyon öncesi

saha araştırma ve laboratuvar çalışmalarının planlanması aşamalarında doğru adımlar atılabilmektedir.



Şekil 1. Sökülme (a) ve Akış (b) Formunda Şev Stabilitesi Problemleri (Winter, 2020)

2. GEOTEHLİKE DEĞERLENDİRMELERİ

Bu başlık altında, şev stabilitesi ve kaya düşmesi başta olmak üzere son 5 yıl içinde meydana gelen karasal geotehlike vakaları detaylandırılacak, vaka öncesinde bölgelere ait geçmiş uydu görüntüleri (Google Earth-GE) ve uzaktan algılama bazlı deformasyon analizleri sunulacaktır.Tariflenecek vakaların önemli bir kısmında, büyük kütle hareketlerinin ve stabilite problemlerinin gözlenmesinden önce proje sahalarında minör düzeyde hasar emarelerinin, oldukça düşük çözünürlüğe sahip uydu verisinden dahi tespit edilebildiği gözlenmiştir.
Uydu görüntülerinden hareketli riskli bölge tespitinde aşağıdaki bulgular emare olarak kabul edilebilir:

- Jeomorfolojik anomaliler: Fay benzeri gözle görülebilen doğal olmayan süreksizlikler
- Şevlerin taç ve topuk bölgesindeki deformasyonlar
- Platformlarda meydana gelen ve tekrarlı olarak gözlenen çatlaklar
- Yol korkuluğu gibi esnek yapılardaki deformasyonlar

2.1. Şev Stabilitesi Problemleri

Şev stabilitesi problemleri kapsamında, karayollarını güzergahı üstünde yer alan destekli ve desteksiz yamaç şevlerde, yapısal dolgularda ve istinat yapılarında meydana gelen hasarların sebepleri ve belirtileri, geçmiş uydu görüntüleri ve ileri düzey uzaktan algılama yöntemleriyle anlaşılmaya çalışılmıştır.

Düzce-Akçakoca Karayolu Donatılı Toprak Duvar Hasarı

26 Mart 2021 tarihinde, Düzce-Zonguldak karayolunun Çiçekpınar kesiminde yer alan toprakarme duvarda bir kısmı göçme olayı meydana gelmiştir. Olay sonrasındaki saha gözlemlerine istinaden, maksimum 13 metrelere ulaşan toprakarme duvarın 80 metre uzunluğundaki bir kesim tamamen yol gövdesinden ayrılmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. Göçen Duvar Hattı (Yıldız ve Yıldırım (2023))

Bölgenin aktif bir heyelan zonunda yer almamaktadır. Bölgenin hidrolojik ve meteorolojik koşullarına bakıldığında, göçme olayı öncesinde bölgede aşırı yağışların gözlendiği raporlanmıştır. Saha gözlemleri ise, duvara ait donatı geometrisi ve seçilmiş dolgu özelliklerinin, kabul görmüş tasarım kriterlerine uyduğuna işaret etmektedir. Koerner ve Koerner (2013), göçmeye maruz kalan donatılı toprak duvarları inceledikleri çalışmada, yapıların %86'sının imalatın tamamlanmasını takip eden 4 yıl içinde kalıcı deformasyona uğradığını raporlamıştır. Yapının 2012 tarihinden beri hizmet vermekte olması, bu yapının göçme mekanizmasının literatüre girmiş yaklaşımlardan farklı olabileceği sonucuna işaret etmektedir. Dolayısıyla, göçen duvarın servis ömrü boyunca göçmeye dair emareler vermiş olma ihtimaline karşı, bölgenin arşiv uydu görüntüleri incelenmiştir.

2014 yılından duvarın yıkıma uğradığı 2021 yılına kadar periyodik olarak alınan bölgenin uydu görüntüleri incelendiğinde, duvarın desteklediği yolda değişik dönemlerde pek çok tamirat ve üstyapı yenilemesi olduğu farkedilmiştir. Uydu fotoğraflarında gözlenen tamirat bölgesinin 2014 yılına ait cadde görüntüsüne bakıldığında ise, kaplama üstünde çekme çatlağı gözlenebilmektedir (Şekil 4). Dolayısıyla, 2021 yılına kadar, yol üstyapı bölgesinde göçmeye dair işaretler yüzeyde çekme çatlağı olarak gözlenebilmiştir. Bu olay, uydu görüntülerinden tespit edilen emarelerin doğru değerlendirilmesi ve gerekli enstrümantasyon ve izleme programlarının dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.



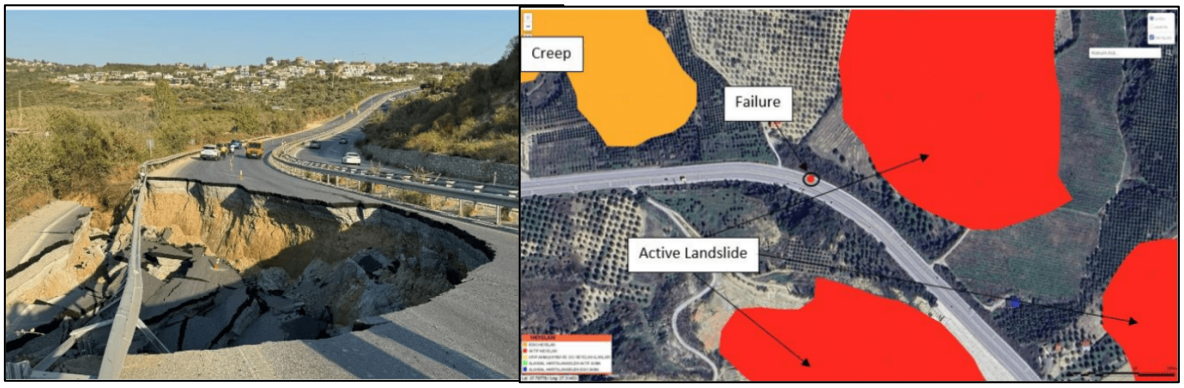
Şekil 3. Eylül 2020 (Uydu) ve Ekim 2014 (Cadde) Tarihli Saha Görüntüleri (GE)

Kuşadası-Söke Yolu Göçme Olayı

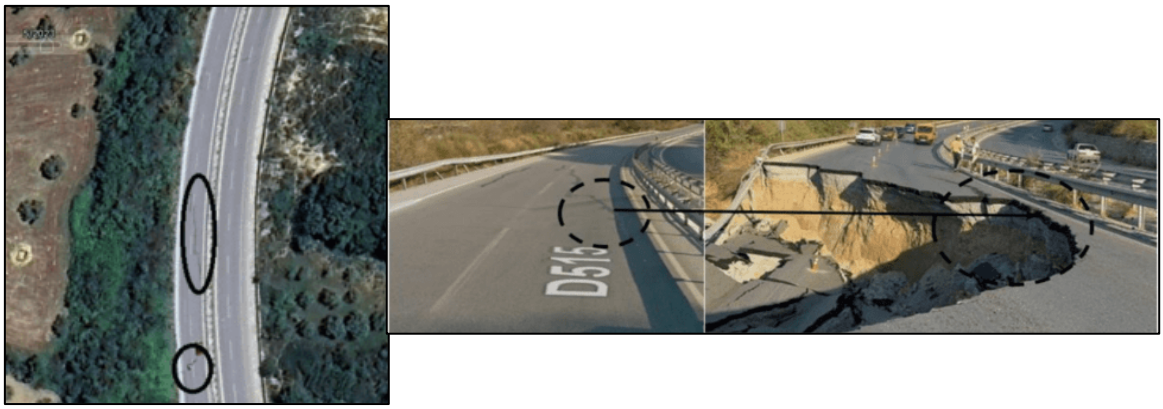
Kuşadası-Söke yolunun Yaylaköy mevkiinde, 10 Ağustos 2025 yılında yol gövdesinin 80 metrelik bir kesiminde göçme meydana gelmiştir. Bu olaya ait değerlendirme aşamalarında

jeolojik arka plan, heyelan potansiyeli ve geçmiş uydu görüntülerinin değerlendirmesi takip edilmiştir. Değerlendirme çalışmalarının sonucunda, göçme kesiminin MTA portaline göre, aktif bir heyelan zonunda yer aldığı anlaşılmıştır (Şekil 5).

Bölgeye ait geçmiş uydu verileri ve cadde görüntüleri değerlendirildiğinde, yol gövdesinde muhtelif zamanlarda gerçekleştirilen üstyapı tamiratlarına yönelik izler tespit edilmiştir. 2023 yılında alınan cadde görüntülerinde, tamirat çalışmalarının yürütüldüğü çatlak izlekleri boyunca, korkuluk yapılarında şekilsel bozulmalar ve sünmeler gözlenmiştir. Göçmeye sebep olan yüzeysel çatlaklar da, tamiratların yapıldığı bölgelerden gelişmiştir. Göçmeye dair emarelerin olaydan uzun zaman önce ortaya çıktığı, tamirat çalışmalarında ise bu emarelerin lokal onarımla kapatıldığı görülmüştür. Emarelerin tekrarlı olarak ortaya çıkması, bu bölgede bir geoteknik izleme programının gerekliliğini göstermiştir (Şekil 6).



Şekil 4. Söke-Kuşadası Yolu Göçen Kesim ve Heyelan Potansiyeli (MTA)



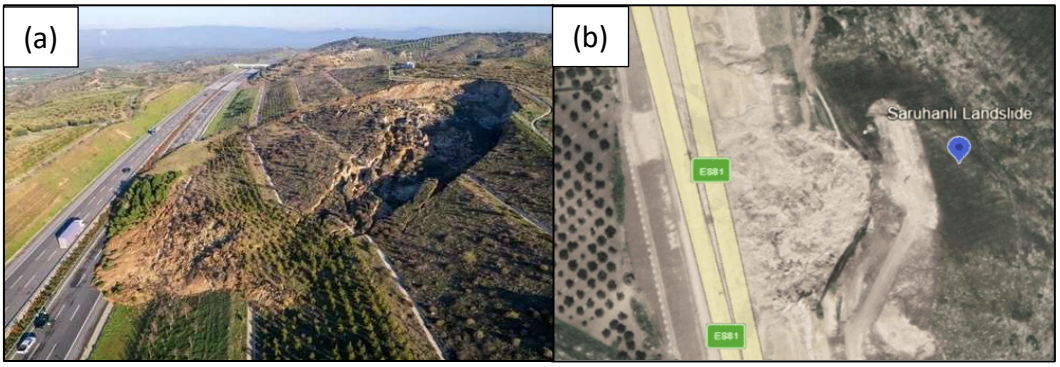
Şekil 5. Mayıs 2023 Uydu Görüntüleri ve Göçme Sonrası Durum (GE)

Saruhanlı-Manisa Otoyolu Şev Stabilitesi Problemi

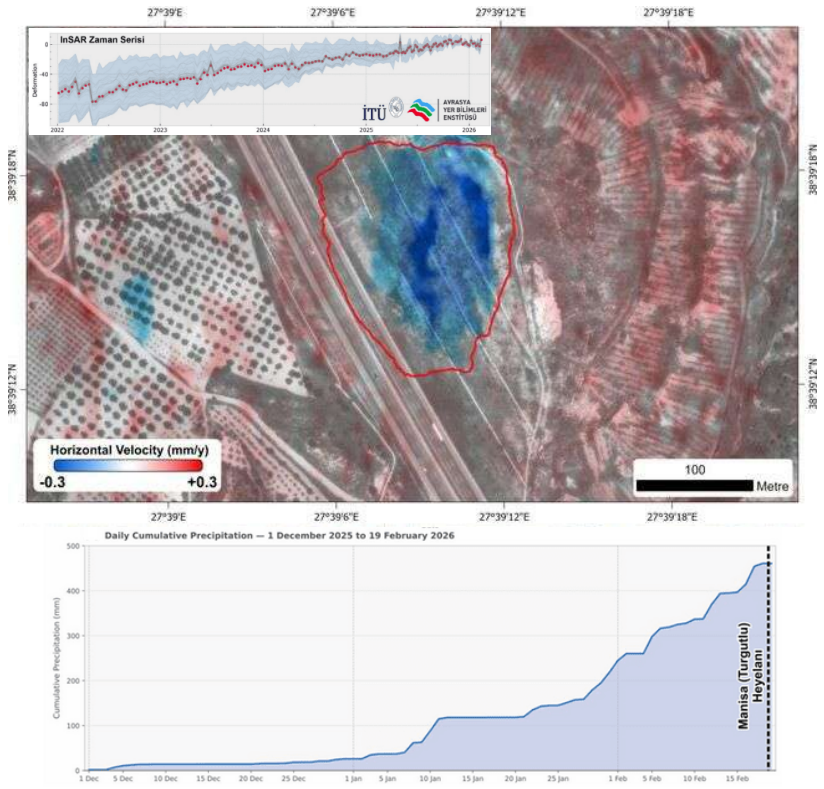
İzmir-İstanbul Otoyolunun Saruhanlı ve Manisa arasında yer alan Koldere kesiminde 19.02.2026 tarihinde bir heyelan meydana gelmiştir. Heyelan olayı, yol sınırında bulunan yaklaşık 25 metre yükseklikteki kademeli şevin kısmi olarak ayrılması ve yolun bir yönünü tamamen ulaşıma kapatması şeklinde cereyan etmiştir. Şev geometrisi göz önüne alındığında, palye eğiminin 3Y:1D olarak projelendirildiği ve birim palye yüksekliğinin yaklaşık 7 metre ile sınırlandığı anlaşılmaktadır. Şevin lokal bir göçmeye maruz kalması, sebebin imalat ve projelendirmeden ziyade, bölgesel bir jeolojik anomalinin, hidrolojik ve meteorolojik zorlayıcı etmenlerle birleşerek bu olaya sebep olduğu fikrini doğurmuştur.

Bölgeye ait geçmiş uydu görüntüleri incelendiğinde ise, yolun imalat dönemine denk düşen 2018 yılında, tam göçme zonuna denk düşen bölgede benzer bir şev stabilitesi problemi gözlenmiştir (Şekil 7). Yapım öncesi dönemden süregelen bu lokal yenilme zonu, yolun servis süresi boyunca da değişik emareler göstermiş, göçen şevin topuk bölgesinde bitkilendirme çalışmalarının işe yaramadığı, şevin alt kesimlerinde yol eksenine dik yönde çekme çatlakları meydana geldiği uydu görüntüleriyle tespit edilmiştir.

Yağış koşullarının ve bölgenin geçmişten gelen deformasyon karakteristiğinin anlaşılması adına, bölgeye ait In-SAR değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. In-SAR yönteminden elde edilen sonuçlara göre, göçen şevin topuk bölgesinde, yolun hizmet süresi boyunca devam eden bir ötelenme hareketi, bu hareketin bölgedeki yağış karakteristiğine göre artış gösterdiği anlaşılmıştır (Şekil 8).



Şekil 6. Heyelan zonuna ait Şubat 2026 (a) ve Nisan 2018 (b) tarihindeki genel durum (GE)



Şekil 7. In-SAR ve Meteorolojik Verilerle Heyelan Mekanizması

İyon-Odos Otoyolu-Yunanistan Şev Stabilitesi Problemi

İyon-Odos otoyolunun 130. Kilometre kesiminde 2 Şubat 2026 tarihinde bir heyelan meydana gelmiştir. At nalı formunda, yaklaşık 1.9 hektarlık bir alanda gözlenen heyelan, tekil palye yüksekliği 10 metreye varan 3 palyeli, yaklaşık 25 metrelik bir şevin yol güzergahına doğru blok tipinde kayması şeklinde meydana gelmiştir. Heyelan sonrasında çekilen fotoğraflarda, kayan şev yüzeyinde kaya düşmelerine karşı bir önlem olarak teşkil edildiği düşünülen ağ tipi çelik bariyerlerin varlığı dikkat çekmektedir (Şekil 9).



Şekil 8. İyon-Odos Otoyolu Heyelanı Genel Görünüş (Depoundis, 2026)

Benzer şekilde, kesime ait geçmiş uydu görüntüleri incelendiğinde, yapım sırasında, heyelanın meydana geldiği bölgede kontrolsüz bir yamaç hareketi gözlenmiştir (Şekil 10). Bu gözlem, heyelan bölgesinin jeolojik yapısıyla alakalı bir geotehlike potansiyeli olabileceği fikrini doğurmuştur. Heyelan, bölge jeolojisine kumtaşı birimlerin içindeki ince silttaşı bantlarının erozyonundan kaynaklanmakta olup, uzun süreli ıslanma kuruma etkisi ve yüzeye hakim bitki örtüsü, düşey yönde su hareketine yardımcı olmuş, kayma düzleminin gelişmesine sebebiyet vermiştir (Depountis,2026). Bu vaka, şev stabilitesi problemlerinin önüne geçebilmek için bölgesel jeolojik çalışmaların, kayaç birimlerin çatlak ve süreksizlik mekanizmalarının doğru anlaşılmasının önemini göstermektedir. Jeolojik değerlendirme ve hidrolojik koşullar biraraya getirildiğinde, şev erozyonuna karşı teşkil edilen kaya düşme bariyerlerinin, şev güvenliği açısından fayda getirmeyeceği, yine erozyona karşı yapılan bitkilendirmenin ise, yüzeysel akışları arttırması açısından şev duraysızlığını arttırabilecek etkileri olacağını göstermektedir.



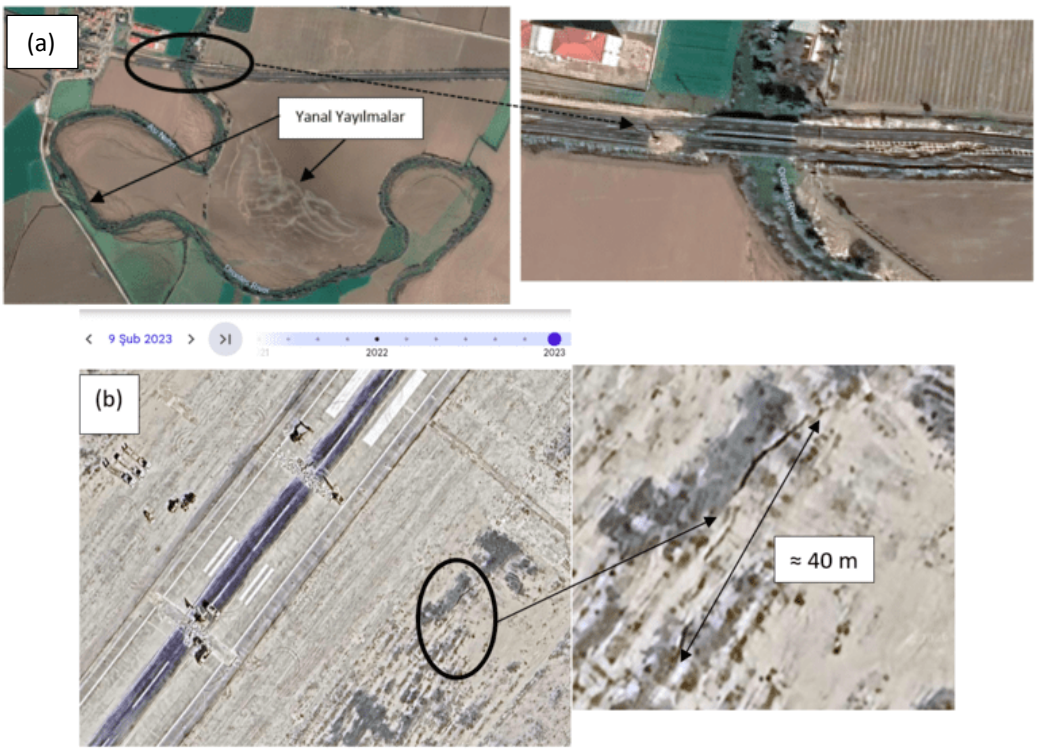
Şekil 9. İyon-Odos Otoyolu 2013 ve 2026 görünümü (GE)

2.2. Sıvılaşma Problemleri

Sıvılaşmaya maruz kalan zeminlerde yanal yayılmalar (lateral spreading), kum kaynamaları (ejecta) gibi yüzeysel değişimler gözlenir. Ağır üstyapılar mevcut kotlarından aşağıya doğru hareketlenirken, boru hatları gibi hafif üstyapılar yukarıya doğru hareket eder. 1960lı yıllarda ilk defa tanımlanan bu fenomen, 2023 Kahramanmaraş (Hatay Havalimanı, Adıyaman-Gölbaşı) depremlerinde pek çok kesimde gözlenmiştir. Sıvılaşma sonrası meydana gelen yanal yayılmalar ve yüzeysel çatlaklar uydu görüntülerinden tespit edilebilecek boyutta gözlenebilmektedir. Sıvılaşma özelinde uydu görüntülerinin kullanımı, risk tahmini ve yönetiminden ziyade meydana gelen geotehlikenin etki bölgesinin tariflenmesi, ölçeğinin doğru anlaşılması ve hasar sonrası analizlerin tutarlılığı açısından önemlidir.

Hatay Havalimanı ve Civarında Sıvılaşmaya Ait Örnekler

1975 yılında kurutulan Amik Gölü'nün havza sınırları içine 2001-2007 yılları arasında inşaa edilen Hatay Havalimanı, lokasyonu itibariyle pek çok geotehlike unsurunu barındıran bir alanda hizmet vermiştir. Bölgenin yüksek taşkın potansiyeline sahip olması, Doğu Anadolu ve Ölü Deniz faylarının kesişim bölgesinde konumlanması yapı güvenliği açısından ciddi soru işaretleri olarak vurgulanmıştır (Özşahin, 2010). 2007-2023 yılları arasında pek çok kez taşkınlara maruz kalan havalimanı, 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında pist bölgesinden ciddi ölçekte hasar almıştır. Havalimanı sınırları içinde ve yakınlarında muhtelif lokasyonlarda yanal yayılmalar, kum kaynamaları, kum volkanları tespit edilmiş, bölgede yer alan Asi Nehri üzerindeki Demirköprü Köprüsü sıvılaşma kaynaklı aldığı hasarla büyük zarar görmüştür. (Çetin vd., 2024)). 2023 depremlerinin öncesinde ve sonrasında, bölgeden alınan uydu görüntüleri kıyaslandığında, büyük alanlara dağılmış yanal yayılmalar gözlenebilmektedir. Havalimanının güneyinden akan Asi Nehrinin yatağını takip eden, çok geniş alanlarda saçılım gösteren yanal yayılmalar meydana gelmiştir (Şekil 11).



Şekil 10. Hatay Havalimanı Bölgesi Sıvılaşma Hasarları: Demirköprü (a), Apron Bölgesi (b) (GE)

Gölbaşı-Adıyaman Civarında Sıvılaşmaya Ait Örnekler

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında, Adıyaman'ın Gölbaşı ilçesinde oldukça yoğun sıvılaşmaya bağlı yapı hasarı raporlanmıştır. Bölgeye ait sıvılaşma değerlendirmesi, pek çok saha ve laboratuvar çalışmasıyla literatürde yer almaktadır. Sıvılaşmaya bağlı yapısal hasarın araştırılması noktasında, LİDAR teknolojisinin kullanıldığı çalışmalar, geotehlike potansiyelinin ve etkilerinin ileri görüntüleme yöntemleriyle ortaya konması noktasında dikkate değerdir (Macedo ve diğ, 2025). Mart 2023 tarihinde alınan uydu görüntülerinde, Gölbaşı gölünün güney kıyısındaki kesimlerde, sıvılaşmadan kaynaklı yanal yayılmalar açıkça görülmektedir. Sıvılaşmadan ötürü meydana gelen yanal yayılma etkisi, demiryolu hattında ötelenmeler yaratmış olup, bu izlekler uydu fotoğraflarından rahatça seçilebilmektedir.



Şekil 11. Gölbaşı-Adıyaman Sıvılaşma Hasarları (GE)

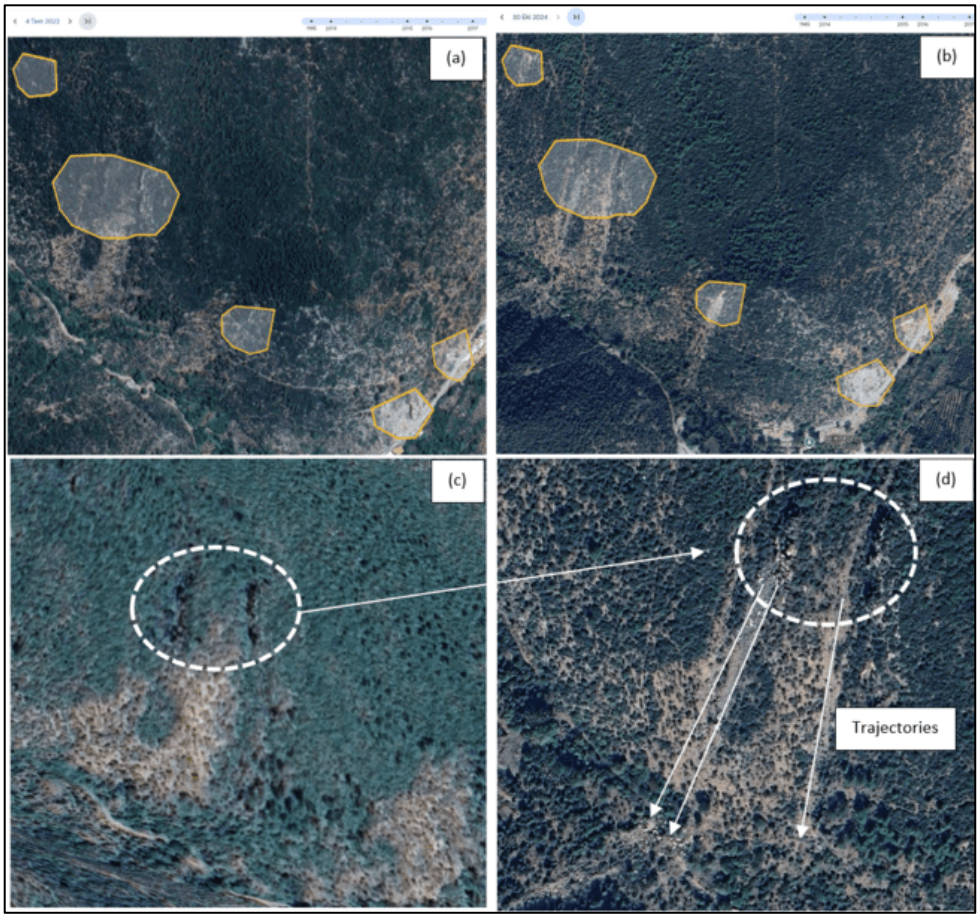
Sıvılaşma kaynaklı yatay ötelenmeler bazı ampirik metotlarla tahmin edilebilmektedir. Ancak ampirik hesaplarla elde edilen ötelenme miktarları, saha gözlemleriyle ciddi farklılıklar gösterebilmektedir. Gölbaşı bölgesi özelinde bu farklılığın sebepleri, sıvılaşmaya maruz sahanın kompleks jeolojik yapısı, sıvılaşan tabaka kalınlığı, ve yüzey eğimi olarak sıralanmıştır (Zeybek ve diğ. (2025). Bu bulgudan hareketle, sıvılaşma kaynaklı yatay deformasyonların tahmin modellerinin, sahaya özel olarak toplanan yüksek hassasiyetli elevasyon verisiyle kalibre edilmesi durumunda, gerçekçi sonuçlara ulaşılabileceği söylenebilir.

2.3. Kaya Düşmesi Problemleri

Kaya düşmeleri, inceleme alanlarına ait yüksek çözünürlüklü elevasyon verisi ve geçmiş uydu görüntülerinin karşılaştırmalı değerlendirmesiyle yorumlanabilmektedir. Bu yorumlama sonucunda risk alan sınırlarının tespiti, gerçekçi modelleme öncesinde önemlidir. Diğer yandan, kaya düşmeleri meydana geldikten sonra yapılacak değerlendirmeler, mekanizmanın anlaşılması ve benzer vakaların önlenmesi açısından kritiktir. Kaya düşmelerinde temel etkenlerin başında, atmosferik etkilerle kaya birimlerde gelişen süreksizlikler ve bu süreksizliklerin afetlerle tetiklenmesi gelmektedir. Bu başlık altında sismik etkilerle tetiklenen kaya düşmesi vakalarından bir örnek, geçmiş uydu görüntülerinin incelenmesi yardımıyla özetlenmiştir.

Bektaşlı- Hatay Kaya Düşmesi

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında, Hatay'ın Kırıkhan İlçesine bağlı Bektaşlı köyünde, kaya düşmelerine bağlı yıkımlar gerçekleşmiştir. Köyün kuzeyindeki dağlık kesimden sökülen kayalar yerleşim alanlarda büyük can ve mal kaybına sebep olmuştur. Bu bölümde kaya düşmelerinin yaşandığı bölgenin değişik dönemlerdeki uydu görüntüleri incelenmiştir. Kaya düşmelerinin başladığı kesimlerdeki süreksizlikler ve anomaliler, uydu görüntülerindeki izleklerden de takip edilebilmektedir (Şekil-13). Kaya düşmesi riskine maruz alanların yüksek çözünürlüklü uzaktan algılama tabanlı görüntüleme teknikleriyle araştırılması ve modellenmesi, arşiv görüntüleriyle desteklenmesi, benzer geotehlikelerin öncesinde risk yönetimi ve önlem planı oluşturulması noktasında önemlidir (Colica ve diğ. 2025).



Şekil 12. Bektaşlı-Hatay Kaya Düşme Bölgesi Uydu Görüntüleri: Temmuz 2022 Saha Genel Görünüşü (a), Ekim 2024 Saha Genel Görünüşü (b), Kasım 2019 Kaya Düşme Bölgesi (c), Ekim 2024 Kaya Düşme Bölgesi (d) (GE)

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, jeolojik, jeomorfolojik veya antropojenik kaynaklı olup mühendislik yapılarını tehdit eden geotehlikeleri (geohazard) deniz ve kara ortamları özelinde gruplamayı hedeflemektedir. Kara bölgelerinde gözlenen geotehlikelerin en sık gözlenen tiplerinden şev stabilitesi, sıvılaşma ve kaya düşmesi gibi risklerin mekanizmalarını anlamak amacıyla yürütülen jeolojik-geoteknik araştırma yöntemleri ele alınmıştır. Ele alınan vakaların ölçümleme kriterlerini ve geotehlike unsurlarını gösterir özet Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Geotehlike Değerlendirme Abağı

Vaka	Lokasyon & Tarih	Geotehlike Tipi	Olası Sebep	İmajiner Anomali	Değerlendirme Notları
Düzce-Akçakoca MSE Duvar Göçmesi	Düzce-Türkiye / 2021	Heyelan	Antropojenik & Meteorolojik	Var / Yol Platformunda Çatlak (2014)	➢ Göçme bölgesinde olay öncesi hasar mevcut ➢ Aletsel gözleme yönelik ibare bulunmuyor. ➢ Geoteknik izleme program eksikliği
Kuşadası-Söke Yolu Göçmesi	Söke-Türkiye / 2025	Heyelan	Antropojenik & Jeolojik	Var / Yolda Çatlak ve Korkuluk hasarı (2023)	➢ Göçme bölgesinde olay öncesi hasar mevcut ➢ Bölge aktif heyelan bölgesi ➢ Jeolojik arka plan heyelana müsait ➢ Kontrolsüz kazı ile tetiklenmiş heyelan
Manisa-Saruhanlı Şev Göçmesi	Manisa-Türkiye / 2026	Heyelan	Antropojenik & Meteorolojik	Var / İmalat sırasında göçme, şevde yüzeysel çatlak (2018)	➢ Göçme bölgesinde olay öncesi hasar mevcut ➢ Göçme öncesi yoğun yağış mevcut ➢ Geoteknik izleme program eksikliği
İyon Odos Otoyolu Göçmesi	İyonya-Yunanistan / 2026	Heyelan	Antropojenik & Jeolojik & Yağış	Var / İmalat sırasında göçme (2013)	➢ Şev erozyonu önlemi mevcut ➢ Kumtaşı içinde erozyon ➢ Islanma kuruma etkisi >>düşey yönlü akış>>kayma düzlemi gelişimi
Hatay Havalimanı Bölgesi	Hatay-Türkiye / 2023	Sıvılaşma	Jeolojik & Sismik	Yok	➢ Sismik olarak aktif ➢ Yüksek YASS & gevşek zemin ➢ Taksi yolu üstünde ve bitişiğinde Yanal Yayılmalar ➢ Yanal yayılma bölgeleri uydu görüntüleriyle gözlenebiliyor
Gölbaşı	Adıyaman-Türkiye / 2023	Sıvılaşma	Jeolojik & Sismik	Yok	➢ Sismik olarak aktif ➢ Yüksek YASS & gevşek zemin ➢ Yanal yayılma bölgeleri uydu görüntüleriyle gözlenebiliyor ➢ Risk ölçütü ve etki alanı tespiti için geomatik yöntemlerle validasyon önemli.
Bektaşlı Kaya Düşmesi	Hatay-Türkiye / 2023	Kaya Düşmesi	Jeolojik & Sismik	Var	➢ Sismik olarak aktif ➢ Yamaçlı arazide duraysız kaya blokları gözleniyor ➢ Uydu görüntülerinden kaya düşme rotaları (trajectory) gözleniyor. ➢ Uzaktan algılama yöntemleri ile gözlem önemli ➢ Afet senaryoları için risk sınıfları belirlenmeli ve haritalanmalı

Proje sahalarının jeolojik, jeofizik ve geoteknik perspektiften karakterizasyonunda bir seri saha ve laboratuvar çalışması yürütülmektedir. Tüm bu çalışmaları desteklemek, farklı veri setlerini ilişkilendirme ve doğrulamak adına ise, ilaveten uzaktan algılama ve ileri

teknolojiye dayalı yükseklik verilerinin kullanımı kritik önemdedir. Sonuç olarak geotehlike değerlendirme aşamalarına, geleneksel saha ve laboratuvar çalışmalarının yanında, ileri teknoloji aletsel gözlemin ve uzaktan algılama tabanlı görüntüleme çalışmalarının entegre edilmesi çok faydalı sonuçlar doğuracaktır.

KAYNAKLAR

Arnold, Cody & Macedo, Jorge & Bray, Jonathan & Moug, Diane & Atalay, Fikret & Bassal, Patrick & Liu, Chenying & Bikçe, Murat & Durgunoğlu, Turan. (2025). Field characterization of areas in İskenderun affected by liquefaction during the 2023 Kahramanmaraş earthquake. Earthquake Spectra. 41. 10.1177/87552930251378227.

Cetin, Kemal & Soylemez, Berkan & Guzel, Hayri & Çakır, Elife. (2024). Soil liquefaction sites following the February 6, 2023, Kahramanmaraş-Türkiye earthquake sequence. Bulletin of Earthquake Engineering. 23. 921-944. 10.1007/s10518-024-01875-3.

Colica, Emanuele & Galone, Luciano & Gallo, Ilenia & Robustelli, Gaetano & D'Amico, Sebastiano & Piroddi, Luca & Martino, Salvatore & Grechi, Guglielmo. (2025). Rockfall hazard assessment using UAV photogrammetry and 3D modelling at Selmun Cliff in Malta. Discover Geoscience. 3. 10.1007/s44288-025-00349-6.

Depoundis, N. (2026). " The Landslide Event on February 2, 2026, along the Ionia Odos Motorway, Greece. Preliminary Site Investigation Findings, https://www.linkedin.com/pulse/landslide-event-february-2-2026-along-ionia-odos-greece-depountis-inj1f/

Koerner, R.M. and Koerner, G.R. (2013). "A Data Base, Statistics and Recommendations Regarding 171 Failed Geosynthetic Reinforced Mechanically Stabilized Earth (MSE) Walls,"GeotextilesandGeomembranes,Vol. 40, pp. 20-27.

Nichol, Janet & Wong, Man. (2005). Detection and interpretation of landslides using satellite images.Land Degradation and Development, 16, 243-255. Land Degradation & Development.16.243-255.10.1002/ldr.648.

Özşahin, Emre. (2010). Hatay Havaalanının Jeomorfolojik Özellikler ve Doğal Risk Açısından Değerlendirilmesi. Turkish Studies. 5. 1390-1411.

Scaioni, Marco & Longoni, Laura & Melillo, Valentina & Papini, M.. (2014). Remote Sensing for Landslide Investigations: An Overview of Recent Achievements and Perspectives. Remote Sensing. 6. 9600-9652. 10.3390/rs6109600.

Winter, M. 2020. Debris flows. In: GILES, D.P. & GRIFFITHS, J.S. (eds)Geological Hazards in the UK: Their Occurrence, Monitoring and Mitigation – Engineering Group Working Party Report. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 29, 163–185, https://doi.org/10.1144/EGSP29.5

Yildiz, T., Yildirim, H. (2023), Esnek İstinat Yapılarında Stabilite Problemleri ve Tasarım Önerileri – Bir Vaka analizi, 9. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, http://dx.doi.org/10.5505/2023geoteknik.SS-86

Zeybek, Abdulhakim & Yıldız, Özgür & Sonmezer, Yetis Bulent. (2025). Post-earthquake assessment of liquefaction in Gölbaşı-Adıyaman following the 6 February 2023 Kahramanmaraş earthquakes: field observations, SPT-based analysis, and laboratory testing of soil ejecta. Natural Hazards. 121. 24157-24206. 10.1007/s11069-025-07715-0.