

6 Şubat Kahramanmaraş depremleri ile oluşan kütle hareketlerine bir örnek: Tepehan heyelanı¹

An example of mass movements caused by the Kahramanmaraş earthquakes of february 6: Tepehan landslide²

İskender Dölek^{a*}, Taygun Uzelli^b, İsmail Ege^c, Ömer Çelik^d

^a Muş Alparslan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Muş, Türkiye.

^b İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Jeotermal Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, Türkiye,

^c Uşak Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Uşak, Türkiye.

^d Muş Alparslan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Muş, Türkiye.

ORCID: I.D. 0000-0002-5922-8515, T.U. 0000-0003-0846-5921; İ.E. 0000-0001-5896-0440- Ö.Ç. 0000-0003-2633-4458

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 30.05.2023

Kabul/Accepted: 16.08.2023

Anahtar Kelimeler:

Deprem

Kütle hareketleri

Heyelan

Hatay

Altınözü

Keywords:

Earthquake

Mass movements

Landslide

Hatay

Altınözü

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(İ. Dölek) isdolek@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.1307166



Atıf/Citation:

Dölek, İ., Uzelli, T., Ege, İ., & Çelik, Ö. (2023). 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri ile oluşan kütle hareketlerine bir örnek: Tepehan heyelanı. *Türk Coğrafya Dergisi*, (83), 73-86.

<https://doi.org/10.17211/tcd.1307166>

ÖZ / ABSTRACT

6 Şubat 2023 tarihinde, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde yaklaşık 9 saat ara ile meydana gelen depremler sonucunda can ve mal kayıpları yaşanmış, yollar, köprüler zarar görmüş farklı türde (heyelan, kaya düşmesi, çamur akması) binlerce kütle hareketi meydana gelmiştir. Hatay'ın Altınözü ilçesine bağlı Tepehan köyünde Neojen yaşlı kumtaşı, killi kireçtaşı, kiltası ve marnlardan oluşan birim içerisinde gelişen heyelan 12.000 metrekarelik bir alanı etkilerken, 180.000 metreküpten fazla bir malzeme deprem sırasında oluşan heyelanla yer değiştirmiştir. Bu kadar büyük bir kütle yer değiştirmesinde depremlerin büyüklüğü yanında insan faaliyetleri de etkili olmuştur. Heyelanın meydana geldiği sahada Drone ile enine ve boyuna %70 bindirmeli sütunlar oluşturacak şekilde dijital görüntüler çekilmiştir. Bu görüntüler Agisoft yazılımında işlenmiş 60cm * 60cm piksel çözünürlükte Dijital Yüzey Modeli (DSM) ve Orto fotolar üretilmiştir. Heyelanın farklı yerlerinden alınan toprak numuneleri analiz edilerek genel toprak özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Tepehan heyelanı depremlerin kütle hareketlerini (heyelanları) tetiklediği gerçeğinin somut bir örneği olması dışında yerleşim alanlarının doğal tehlikelere karşı (kütle hareketleri) güvenli hale getirilmesinde heyelanların izlenmesi ve haritalanmasının önemini bir kez daha göstermiştir. Depremlerin etkileri değerlendirilirken kütle hareketleri de dikkate alınmalıdır. Bu şekilde daha gerçekçi bir değerlendirme yapılabilir ve koruyucu önlemler daha etkili bir şekilde alınabilir.

On February 6, 2023, multiple earthquakes occurred with approximately 9 hours of interval on the Eastern Anatolian Fault Zone (EAFZ), resulting in significant loss of life and property. Numerous mass movements, including landslides, rockfalls, and mudflows, caused damage to roads, bridges, and various structures. In Tepehan village, located in Altınözü district of Hatay, a landslide occurred within a unit composed of Neogene-aged sandstone, clayey limestone, shale, and marl, affecting an area of 12.000 square meters. The landslide displaced more than 180.000 cubic meters of material due to the earthquake. In addition to the magnitude of the earthquakes, human activities also contributed to the displacement of such a large mass. Digital images were captured using a drone in the landslide area, creating vertically and horizontally overlapping images to generate a Digital Surface Model (DSM) and orthophotos with a resolution of 60cm x 60cm pixels using Agisoft software. Soil samples were collected from different locations of the landslide and analyzed. The Tepehan landslide serves as a concrete example of how earthquakes trigger mass movements and highlights the importance of monitoring and mapping landslides in making settlement areas safer against natural hazards, such as mass movements. When evaluating the effects of earthquakes, it is crucial to consider mass movements. This allows for a more realistic assessment and enables the implementation of more effective protective measures.

¹ Bu çalışma 24-25 Mart tarihleri arasında yapılan International Earthquake Symposium'da sunulan sözlü bildirinin geliştirilmiş şeklidir.

² This work is an expanded version of the oral presentation given at the International Earthquake Symposium held on March 24-25.

Extended Abstract

Introduction

On February 6, 2023, at 04:17 local time, an earthquake occurred on the Eastern Anatolian Fault Zone (EAFZ) with a moment magnitude (M_w) of 7.7, according to the data provided by the Disaster and Emergency Management Presidency (AFAD). The epicenter was reported to be Pazarcık (Kahramanmaraş). Following the initial earthquake, another earthquake with a moment magnitude (M_w) of 7.6 occurred on the EAFZ, with the epicenter reported to be Ekinözü-Elbistan (Kahramanmaraş), 9 hours later at 13:24 local time.

The consecutive earthquakes, occurring approximately 9 hours apart, have affected 11 provinces, resulting in the loss of thousands of lives and the destruction of tens of thousands of buildings. These earthquakes have caused damage to roads and bridges, while also triggering thousands of mass movements of various types, such as landslides, rockfalls, and mudflows.

A landslide triggered by the earthquake has occurred in Tepehan village, located in the Altınözü district of Hatay province. The landslide, which occurred within a unit consisting of Neogene-aged sandstone, clayey limestone, shale, and marl, has affected an area of 12,000 square meters. More than 180,000 cubic meters of material has been displaced during the landslide that occurred during the earthquake.

Data and Method

Digital images were captured using a drone in the area where the landslide occurred, creating horizontal and vertical overlapping columns at a rate of 70%. These images were processed in Agisoft software to generate a Digital Surface Model (DSM) and Orthophotos with a pixel resolution of 60cm * 60cm.

Through field observations and examination of terrain models, it was determined that tension cracks and scarp formations occurred in the upper parts of the crown section of the landslide, which occurred as planar sliding. The area that was active in terms of mass movements prior to the earthquakes became active again due to the energy released as a result of the vibrations caused by the earthquake. In addition to the magnitude of the earthquakes, the intensive agricultural activities carried out in the area where the landslide occurred before the earthquake also influenced the size of the landslide and the amount of material transported with it. Aftershocks that followed the main shocks sustained the activity of the landslide and activated other parts of the suspended landslide, revealing a serious future danger for settlements close to the active sections.

Discussion

Soil and rock samples were collected from various sections of the Tepehan landslide. These samples underwent analyses at the soil analysis laboratory within the Central Laboratory of Muş Alparslan University to determine their physical and chemical properties. Some analyses were conducted to determine the soil pH and electrical conductivity (EC). Saturation paste was prepared and pH and EC readings were taken to assess the general soil characteristics. The clay, silt, and sand contents of the soils were determined as percentage values using the "Bouyoucos Hydrometer" method.

Trace elements (Fe, Zn, Cu, Mn) were determined using the DTPA (Diethylenetriaminepentaacetic acid) method.

In this particular case, the Tepehan landslide demonstrates the significance of monitoring and mapping paleo-landslides in making settlement areas resilient against mass movements. Understanding the behavior and characteristics of previous landslides can provide valuable insights into potential hazards and aid in developing mitigation strategies.

The combination of geological factors and seismic energy released during the earthquake played a role in the initiation and activation of the Tepehan landslide. The geological composition of the area, including the presence of loose rock types and fractures, made it susceptible to planar sliding during periods of increased stress caused by seismic events.

Through field observations and the analysis of terrain models, it has been determined that the landslide, occurring in a planar sliding manner, exhibits tension cracks and scarp formations in the upper parts of its crown. The area, which was already active prior to the earthquakes, experienced the reactivation of previous landslides due to the vibrations generated by the release of energy during the earthquake. The aftershocks following the main shocks continue to sustain the activity of the landslide, triggering other sections of the suspended landslide as well. This has revealed a significant danger for settlements located near the active sections of the landslide.

The Tepehan landslide is a mass movement (landslide) that occurs as planar sliding within a unit composed of Neogene-aged sandstone, clayey limestone, shale, and marl. Sandstone, clayey limestone, shale, and marl are generally rocks with loose structures and cracks. These rock types have a low coefficient of friction and limited strength. Therefore, as the slope steepness increases, these rock types are prone to sliding and falling when they interact with factors such as rainfall, groundwater movement, earthquakes, erosion, human activities, and other similar factors.

Intensive human intervention in the area corresponding to the current toe of the Tepehan landslide, which formed as a result of the Kahramanmaraş earthquakes on February 6th, has been a significant factor in disturbing the slope stability. In the summer of 2022, the area experienced extensive human activities such as land clearing and leveling for agricultural purposes. These interventions have disrupted the slope's stability and contributed to the occurrence of the landslide.

The mass movements that occurred during and after the Kahramanmaraş earthquakes on February 6th have been highly valuable in demonstrating the variation in types of mass movements based on lithological differences. These events have shown that the types of mass movements vary depending on the lithological characteristics.

Conclusion

The Tepehan landslide serves as a concrete example of how earthquakes trigger mass movements (landslides) and highlights the importance of monitoring and mapping landslides in making settlements safe against natural hazards. It has once again emphasized the significance of monitoring and mapping landslides in ensuring the safety of residential areas against natural hazards, particularly mass movements.

When assessing the effects of earthquakes, the consideration of mass movements is crucial. This approach allows for a more realistic evaluation.

1.Giriş

6 Şubat 2023 tarihinde, Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde yerel saat ile 04:17'de, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) verilerine göre moment büyüklüğü (Mw) 7.7 olan merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) olarak açıklanan bir deprem meydana gelmiştir. İlk depremin ardından 9 saat sonra, yerel saat ile 13:24'te merkez üssü Ekinözü-Elbistan (Kahramanmaraş) olan; DAFZ üzerinde moment büyüklüğü (Mw) 7.6 olan ikinci bir deprem daha yaşanmıştır.

9 saat ara ile meydana gelen depremler 11 ilimizi etkilerken binlerce can kaybına ve on binlerce binanın da yıkımına neden olmuştur. Art arda yaşanan depremler yollara, köprülere zarar verirken, farklı tiplerde (heyelan, kaya düşmesi, çamur akması) binlerce kütle hareketinin de yaşanmasına neden olmuştur. AFAD'dan yapılan açıklamaya göre bir ay içinde 4'ten büyük 13 bin 753 artçı sarsıntı meydana gelmiştir (AA,2023).

6 Şubat'ta yaşanan depremler gerçekleşme süreleri, büyüklükleri, etki alanları gibi özellikleri bakımından ender doğa olayları olarak değerlendirilse de Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) tarihsel süreç içerisinde farklı büyüklüklerde yıkıcı depremler üreten ülkemizin önemli tektonik hatlarından biridir. Antakya-Kahramanmaraş Grabeni bu tektonik hareketlerin meydana getirdiği aktif tektoniğin izlerinin çok belirgin olarak görüldüğü bir bölgede yer almaktadır (Ege, 2011; 2014).

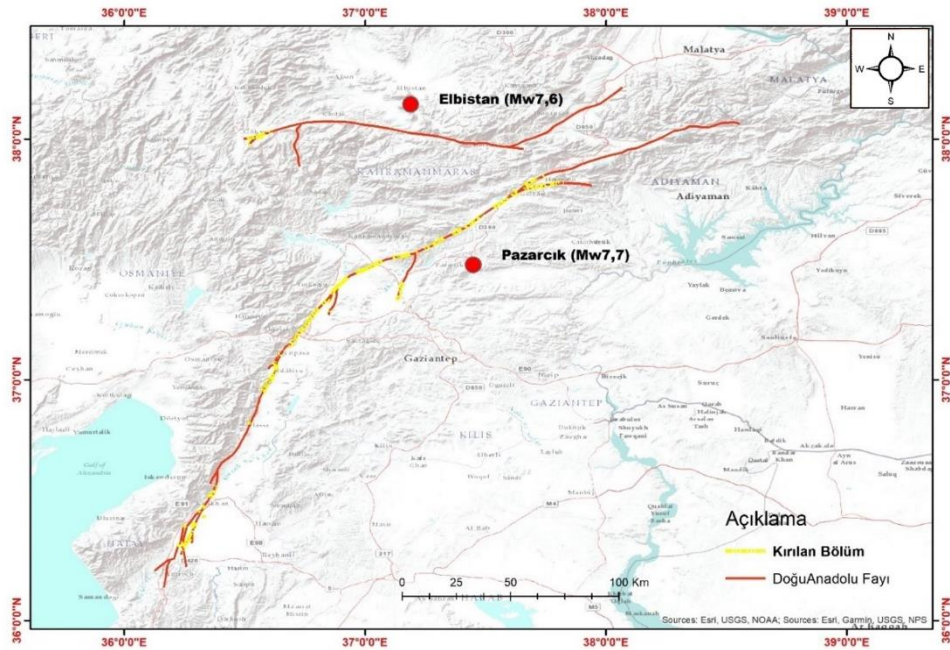
M.S. 13 Aralık 115'de tarihin gördüğü en büyük yıkımlarından biri yaşanan deprem sırasında gerçekleşti. Tarihiçi L.Cassius'un anlatımına göre Antakya'dan Beyrut'a kadar olan sahada çok sayıda kent yıkıldı. Caesarea Maritima limanı depremin tetiklediği Tsunami ile çok büyük hasara uğradı (Bazdan, 2023).

Bölgede ciddi hasarlara neden olan çok sayıda depreme ait tarihsel kayıtlara ulaşmak mümkündür. M.Ö. 148 yılından günümüze kadar bölgede 44 adet 7'nin üzerinde, 37 adet 8'in üzerinde, 13 adet de 9'un üzerinde ve 1 adet (M.S. 245 yılında)10 şiddetinde deprem yaşanmıştır (Ege, 2022).

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerin büyüklükleri yanında; odak merkezlerinin yüze yakın olması depremlerin yıkım etkisini artırırken, farklı tipte ve büyük lükte çok sayıda kütle hareketinin de yaşanmasına neden olmuştur.

Doğanşehir de (Malatya) İncirli Mahallesi'ne bağlı bir mezra oluşan heyelanla toprak altında kalırken, Kâhta (Adıyaman) sınırları içerisindeki dağlık alandaki köylerde; Antakya ilçesi Dağ Mahallesi olarak anılan kesimde kaya düşmesi sonucu birçok konut ve park halindeki çok sayıda araç hasar görmüştür. İslahiye (Gaziantep) batısında Değirmencik Mahallesi ile İdilli köyleri arasındaki boğaz içerisinde İdilli dere yatağı heyelanla setlenince, heyelanın gerisinde bir heyelan set gölü meydana gelmiştir. Yine Defne (Hatay) ilçesinde zeytin bahçesinde 15 metre genişlikte 10 metre derinlikte yarıklar oluşmuştur. Antakya merkezde Dağ ve Bağrıyanık mahallerinde, Antakya Kalesi çevresinde tonlarca ağırlıkta kaya blokları yuvarlanarak birçok araca zarar vermiştir (Foto 1). Burada sadece birkaçına değinilen ancak çok sayıda irili ufaklı kütle hareketi yaşanmıştır. İlerleyen süreçte yapılacak çalışmalarla olayın boyutları çok daha net bir şekilde ortaya konulacaktır. Çalışma sahasında tarım yapılan alanlarda heyelan gerçekleşmişken yerleşim alanlarında yamaç duraysızlıklarına bağlı yıkılmış binalar belirlenmiştir (Şekil 1).

6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremlerin sonucunda; farklı tipte kütle hareketlerinin yaşanması yanında meydana gelen kütle hareketlerinin büyüklüğü ve bu boyutta kütle hareketlerinin çok kısa süre içerisinde meydana gelmesi herkes için olduğu kadar yerbilimleri açısından da incelenmesi gereken ilginç bir durumdur.



Şekil 1. 6 Şubat'ta meydana gelen depremlerin odak merkezleri, Doğu Anadolu Fay Zonu ve Fay zonu üzerinde kırılan yerler (USGS, 2023 verileri kullanılarak yeniden çizilmiştir).

Figure 1. The focal centers of the earthquakes that occurred on February 6, the East Anatolian Fault Zone and the fractured places on the fault zone (redrawn using USGS, 2023 data).



Fotoğraf 1. Tepehan Mahallesiindeki yıkılmış binalar
Photography 1. Collapse buildings in Tepehan Village

Kütle hareketleri, kaya, regolit ve toprağın yerçekimi etkisi altında yamaç aşağı hareketi olarak ifade edilebilir. Bozulma ile zayıflayan kaya parçalara ayrılır sonra kütle hareketleriyle, oluşan molozlar yamaç aşağı taşınır. Kütle hareketleri ve akan suyun birleşik etkisi, yeryüzünün en yaygın ve belirgin arazi şekli olan akarsu vadilerini oluşturur. Birçok akarsu vadisinin daha çok geniş olması kütle hareketlerinin önemini gösteren önemli göstergelerden biridir (Lutgens vd., 2013).

Yerçekimi kütle hareketlerini kontrol eden en önemli kuvvettir. Ancak duraylılığın bozulması ve yamaç aşağı hareketin başlamasında farklı etmenlerinde etkisi söz konusudur. Heyelan oluşmadan çok önce, çeşitli süreçler yamaçtaki malzemeyi zayıflatmaya çalışır. Aşamalı olarak kütleli yerçekimi tarafından harekete geçmeye daha uygun hale getirir. Bu zaman aralığında yamaç duraylı kalır ancak duraysız hale gittikçe yaklaşır. Sonunda, yamacın dayanımı, onu duraylı durumdan duraysız duruma geçirecek eşik noktasına kadar zayıflar (Lutgens vd., 2013). Yamaç aşağı hareketi başlatan süreç tetikleyici olarak ifade edilir. Tetikleyici süreçler tek başına kütle hareketi olayına neden değildir ancak birçok sebebin en sonuncusudur. Kütle hareketlerini tetikleyici faktörler arasında; kaya ve zemin malzemelerinin suya doygun hale gelmesi, yamaçların dikleştirilmesi, topuk aşındırması, jeolojik tabaka ve yamaç eğimlerinin yönü ve açısı, toprağı tutan bitki örtüsünün tahrip edilmesi, depremlerin neden olduğu yer titreşimleri gibi unsurlar gösterilebilir (Lutgens vd., 2013).

2. Kütle Hareketlerini Tetikleyici Bir Unsur Olarak Depremler

Bir deprem ve artçı şokları, çok büyük hacimlerde kaya ve pekişmemiş materyali yerinden oynatabilir. Ocak 1994'te Los Angeles'ın Northridge bölgesinde meydana gelen 6,7 büyüklüğündeki depremle 11.000'den fazla heyelan meydana gelmiştir. 8 Ekim 2005 Pakistan ve Hindistan arasındaki Kaşmir bölgesinde 7,6 büyüklüğündeki deprem ve artçı şokları ile tetiklenen yüzlerce heyelan, moloz akmaları, kaya düşmeleri gözlenmiştir.

12 Mayıs 2008 Çin'in Sichuan eyaletindeki deprem Cheng'du şehri ve yakın çevresini etkilemiştir. Deprem sonrasında yüzlerce heyelan, kaya çığları ve moloz akmaları yerleşim alanlarına, kara ve demir yollarına zarar vermiş, heyelanlar nehir yataklarını tıkayarak çok sayıda göl meydana gelmiştir (Lutgens vd., 2013).

6 Şubat Kahramanmaraş merkezli depremler sonucunda heyelan, kaya düşmesi, moloz akması, çamur akıntısı gibi farklı kütle hareketlerini sahada gözlemlemek mümkündür. Litolojik farklılıklar kütle hareketlerinin çeşitlenmesi üzerinde önemli etkenlerden biridir. Depremlerin odak merkezlerinin yüzeye yakın olması kütle hareketlerinin büyüklüğü ve yoğunluğu üzerinde etkin olan unsurlardan biridir. Yüzeğe yakın depremlerin daha büyük ölçekte hasar yaratabildiği konusu, literatürde geniş bir şekilde ele alınmıştır (Smith, 2016; Jones & Williams, 2013). Bu tür depremler sırasında, toprak kayması, toprak sıvılaşması, çökme ve su baskını gibi olayların yaşanabileceği ve büyük ölçekli hasarlara da neden olabileceği belirtilmektedir (Johnson vd., 2016).

Deprem derinliği ve yüzey deformasyonları arasındaki ilişki de birçok araştırmacı tarafından formülize edilmeye çalışılmıştır. Baumgardner vd., (2016), depremin derinliğinin yüzeydeki kütle hareketleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmalarında, deprem derinliği ile yüzey deformasyonları arasında bir ilişki olduğunu ifade etmişlerdir. Geller ve Jackson (2015) ise depremin derinliği ve büyüklüğü arasındaki ilişkiyi açıklayan bir matematiksel model önermişlerdir. Bu model, Richter ölçeği kullanılarak hesaplanan deprem büyüklüğü ile depremin kaynak derinliği arasında bir bağlantı kurmaya çalışmıştır. Bu matematiksel model, depremin enerjisini tahmin etmek için kullanılabilir. Depremin potansiyel olarak yaratacağı hasarın tahmin edilmesine de yardımcı olabilir.

Matematiksel olarak, Geller ve Jackson (2015) tarafından önerilen model şu şekilde ifade edilebilir:

$$M = \log(A) + 0.0033h + C^3$$

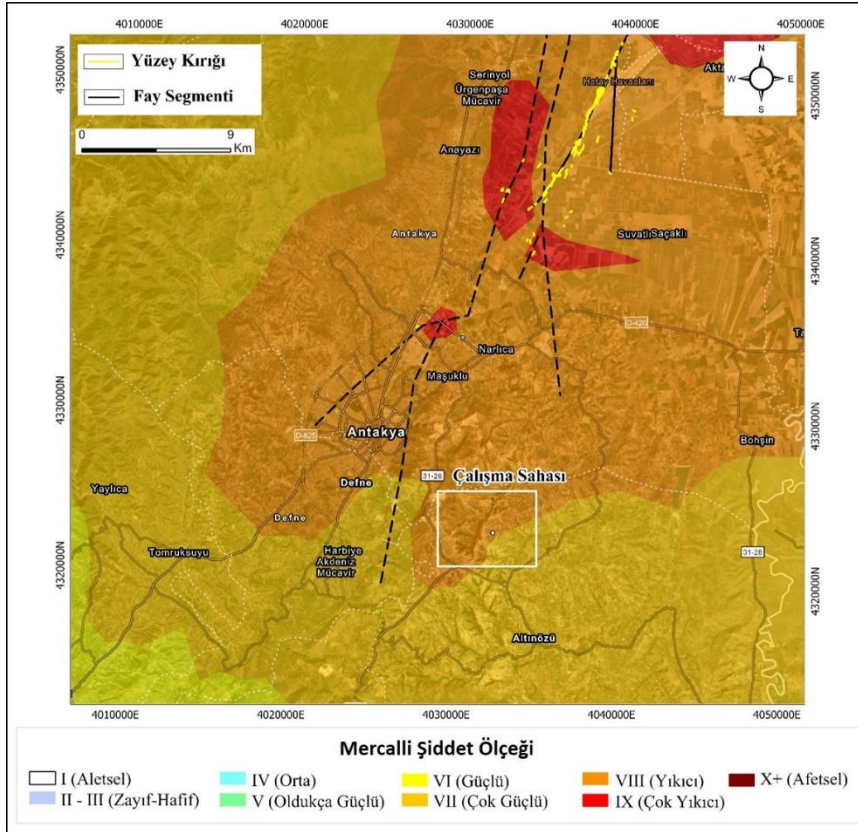
Bu matematiksel model, depremin derinliği arttıkça deprem şiddetinin azaldığını gösterir. Yani, daha derin depremler genellikle daha küçük deprem şiddetlerine sahiptir. Ancak, model aynı zamanda deprem şiddetini etkileyen diğer faktörlerin de olduğunu gösterir. Derin bir deprem, daha derinlerdeki kayalarda deformasyon meydana getirirken yüzeydeki kütle hareketlerini doğrudan etkilemez ya da çok fazla etkili olmayabilir. Bu nedenle, derin bir deprem sırasında, yüzeyde daha az kütle hareketi meydana gelebilir (Vakov,1996). Öte yandan, sığ bir deprem, yüzeye daha yakın kayaç gruplarında meydana gelir ve yüzeydeki kütle hareketlerini doğrudan etkiler. Bu nedenle, sığ bir deprem sırasında, yüzeyde daha fazla kütle hareketi olabilir, oluşan kütle hareketleri daha büyük olabilmektedir.

6 Şubat Kahramanmaraş merkezli depremler sonrasında pek çok kurum, kuruluş ve üniversite detaylı deprem değerlendirme raporları yayınlamıştır (İTÜ, 2023, AFAD, 2023). Bu raporlarda deprem yüzey kırıkları, yapısal deformasyonlar, yıkılan yapılar ve oluşan kütle hareketleri belirtilmiş ve haritalanmıştır. Tepehan Köyü civarında yapılan çalışmalarda bölgede deprem sarsıntılarının yollarda ve zeminde hasara sebep olduğu tespit edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS)'nin hizmete sunduğu Kahramanmaraş deprem

serisi verileri incelendiğinde çalışma alanının olduğu yerin de deprem sarsıntılarında büyük ölçüde etkilendiği görülmektedir (USGS, 2023) (Şekil 2).

Mercalli şiddet ölçeği, bir depremin şiddetini ölçmek için kullanılan ölçektir. Depremin yeryüzüne, insanlara, cisimlere ve yapılara olan etkisini I ile XII arasında bir ölçek ile nicelendirir (Johnson & Lee, 2020). USGS verilerine göre 6 Şubat Kahramanmaraş merkezli depremlerin şiddeti özellikle merkez üslerine, yüzey kırıklarına yakın yerlerde ve alüvyon zeminlerde IX (çok yıkıcı) seviyelere kadar ulaşmıştır. Antakya merkez ve Defne'nin güneydoğusunda yer alan Tepehan Köyü civarında da depremlerin şiddet değerleri VIII (yıkıcı) seviyelerine kadar ulaşmıştır (Şekil 2). Bu sebeple bu bölgede yapılarda hasarların görülmesi ve heyelanların gerçekleşmiş olması hem deprem sarsıntılarının büyüklüğünün ve ivmesinin önemli değerlerde olduğunu gösterirken, zeminde sorunlu olduğunu işaret etmektedir.

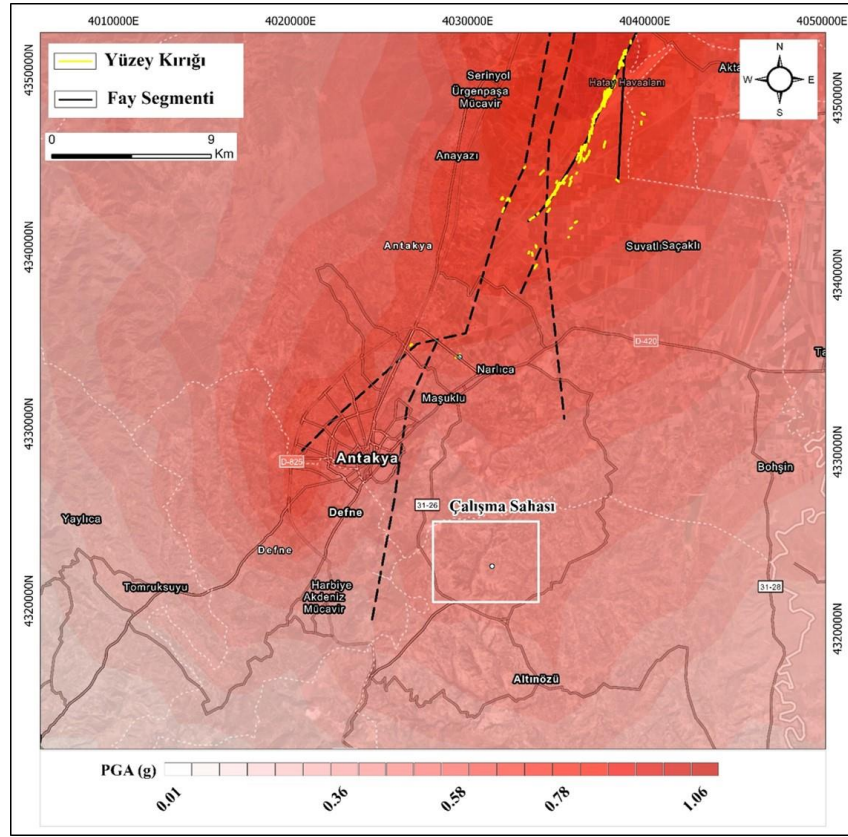
PGA terimi, İngilizce "Peak Ground Acceleration" teriminin kısaltması olup Türkçe karşılığı "En Büyük Yer İvmesi" değeridir⁴. USGS verilerine göre, Tepehan Köyü çevresinde en büyük yer ivmesi değerleri (g) 0.44 ve 0.5 aralığında yüksek tehlikeli olabilecek seviyelere yakın olarak belirlenmiştir (Şekil 3). Bu durum da aslında 6 Şubat Kahramanmaraş merkezli depremler esnasında yer ivme değerlerinin heyelanları tetikleyecek büyüklüklere ulaşabildiğini göstermektedir.



Şekil 2. Çalışma sahası ve yakın çevresindeki M7.8'lik depreme ait şiddet dağılım haritası (USGS, 2023 verileri kullanılarak yeniden çizilmiştir).
Figure 2. The intensity distribution map of the M7.8 earthquake in the study area and its immediate surroundings (redrawn using USGS, 2023 data).

³ Burada M, Richter ölçeğinde ölçülen deprem büyüklüğünü temsil eder, A ise depremin yatay bileşeninde ölçülen maksimum yer ivmesidir. H, depremin kaynak derinliğini kilometre cinsinden ifade eder. C'ise sabit bir değeri ifade eder.

⁴ Bakanlar Kurulu'nun 1996 yılındaki kararı ile yürürlüğe girmiş olan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası 2019 yılında yürürlükten kaldırılmıştır. Yeni Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve Bina Deprem Yönetmeliği 18 Mart 2018 tarihinde 30364 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanmış olup 01.01.2019 tarihinde uygulamaya girmiştir. Yeni deprem tehlike haritasında en büyük yer ivmesi değerleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Çalışma sahası ve yakın çevresindeki M7.8'lik depreme ait PGA (g) dağılım haritası (USGS, 2023 verileri kullanılarak yeniden çizilmiştir).
Figure 3. PGA (g) distribution map of M7.8 earthquake in the study area and its immediate surroundings (redrawn using USGS, 2023 data).

Heyelanların genellikle yüze yakın meydana gelen deprem gibi tetikleyici faktörler den etkilendiği düşünülmektedir. Örneğin, son yıllarda Türkiye'de yaşanan depremler, heyelanların artmasına neden olmuştur. Bunun nedeni olarak, deprem sırasında yer kabuğun da meydana gelen değişimlerin, yamaçlarda zayıf olan kayaları hareket ettirmesi olarak ifade edilmiştir (Yıldız vd., 2001).

Deprem derinliği ile kütle hareketleri arasındaki bağlantı, depremin derinliği ve yüzedeki kütle hareketleri arasındaki ilişkiyi de ifade eder. Bu ilişki, depremin meydana geldiği derinliğin, toprak hareketlerinin yoğunluğu ve şekli üzerinde

önemli bir etkiye sahip olmasından kaynaklanır (Gökten & diğerleri, 2015). Depremlerin yer kabuğunun üst kısmında meydana geldiği ve yüze yakın depremlerin daha büyük ölçekte hasar yaratabildiği konusu, literatürde geniş bir şekilde ele alınmıştır (Jones & Williams, 2013). Bu tür depremlerin, toprak kayması, toprak sıvılaşması, çökme ve su baskını gibi, büyük ölçekli hasarlara neden olabileceği de belirtilmektedir (Johnson vd., 2016, Öztürk, 2002). Kahramanmaraş depremlerinin yerin 8.6 ve yaklaşık 7 km derinlikte gerçekleşmiş olması da nispeten sığ olarak değerlendirilebilecek seviyelerde açığa çıkan enerjinin yüzedeki kütle hareketlerini tetikleyebilme potansiyelini arttırmıştır.



Fotoğraf 2. 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri ile Tepehan köyü yakınında oluşan kütle hareketi.

Photography 2. The mass movement that occurred near the Tepehan village with the February 6 Kahramanmaraş earthquakes.



Fotoğraf 3. 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri ile Tepehan köyü yakınında oluşan kütle hareketi içerisinde derinliği yer yer 20 m'yi bulan yarıklar (batıya bakış).

Photography 3. The 6 February Kahramanmaraş earthquakes and the crevices up to 20 m deep in the mass movement near Tepehan village (looking west).



Fotoğraf 4. 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri ile Tepehan köyü yakınında oluşan kütle hareketi (Heyelan) içerisinde kumtaşı, killi kireçtaşı, kilitaşı ve marnlardan oluşan birim içerisinde derinliği yer yer 20 m'yi bulan yarıklar (doğuya bakış) ve devrilmeler şeklinde gerçekleşen daha küçük ölçekli kütle hareketleri.

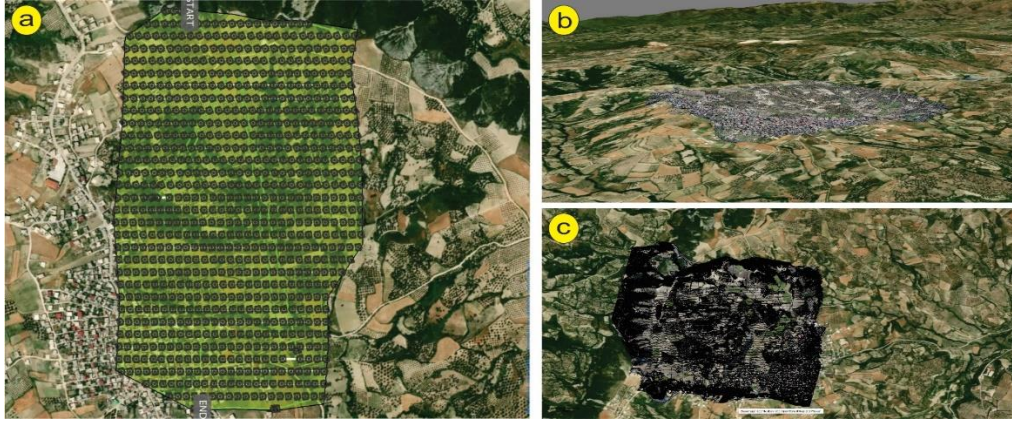
Photography 4. Smaller-scaled mass that occurred in the form of crevices (looking east) and overturns with a depth of 20 m in places within the unit consisting of sandstone, clayey limestone, claystone and marls within the mass movement (landslide) that occurred near the Tepehan village with the February 6 Kahramanmaraş earthquakes. movements.

3. Materyal ve Yöntem

3.1. Fotogrametri

Çalışma sahasına ait dijital görüntülerin elde edilmesi ve arazi modellerinin oluşturulmasında, drone ile elde edilen görüntüler kullanılmıştır. Drone ile görüntüleme ile yüksek çözünürlüklü görüntü alma olanağı olduğu gibi ile alınan görüntüler nesnelerin konumu, şeklini, boyutunu ve yüksekliğini ölçebileceğimiz dijital fotogrametri çalışmalarında da kullanılabilir. Oluşturulan görüntüler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile kullanılarak haritalama çalışmaları içinde altlık olarak değerlendirilebilmektedir. Ayrıca drone ile yeryüzüne daha yakın bir yükseklikten çekim yapılabildiği için

yüzeyle ait daha ayrıntılı ve daha hassas bir görüntüleme yapılabilmektedir. Bu şekilde yüzeyle ait farklı açılardan görüntüler elde edilebilmekte ve fotogrametri işlemlerinde kullanılan eşleştirme algoritmaları daha gerçekçi yüzeyler oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Buna ek olarak alınan görüntülerin koordinatlı olması bu görüntülerin yerel konumlarının çok az bir hata payı ile belirlenmesine olanak sağlar ve fotogrametri işlemlerinin doğruluğunu da artırır. Oluşturulan görüntü ve yüzey modelleri başka program ve çalışmalarda da kullanılabilir.



Şekil 4. (a) Uçuş rotası ve görüntü alınan noktalar, (b) nokta bulutu, (c) çekim yapılan yüzeye ait düzensiz ağ modeli.

Figure 4. (a) Flight path and imaged points, (b) point cloud, (c) irregular network model of the photographed surface.

Bu çalışma için Drone kamerasının çözünürlüğü, FOV (Field of View) alanının büyüklüğü, yüzeydeki nesnelerin büyüklüğü, hava ve topoğrafya koşulları dikkate alınarak 100 metre uçuş yüksekliği olarak belirlenmiştir. Bu yükseklikten yapılan uçuşla oluşturulacak görüntüdeki her bir piksel başına düşen gerçek yüzey mesafesi (Ground Sampling Distance, GSD) yaklaşık 2,3 cm olarak belirlenmiştir.

Drone ile çekilen görüntüler Agisoft programına aktarılmış, görüntülerin çözünürlük ve renk kaliteleri eşlenmiştir. Görüntülerin yükseklik, açı ve renk kaliteleri analiz edilerek hizalama işlemi gerçekleştirilmiştir. Hizalanmış ve açı değerleri düzenlenmiş görüntülerden bağlama noktaları olarak da ifade edebileceğimiz (Tie points) noktaları oluşturulmuştur. Çekim yapılan yüzeydeki birçok noktaya ait 3D koordinatlarını (x,y,z) içeren bir veri kümesi olarak ifade edilebilecek nokta bulutu (Point Cloud) oluşturulmuştur (Şekil 4b). Nokta bulutu oluşturularak aynı zamanda yüzeye ait eksik veriler de tamamlanmıştır.

3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Tepehan heyelanının muhtelif bölümlerinden toprak (5 adet) ve kayaç (5 adet) örnekleri alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde Muş Alparslan Üniversitesinde, toprak analiz laboratuvarında fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik bazı analizlere tabi tutulmuştur.

Toprak pH ve EC'sini belirlemek için, saturasyon çamuru hazırlanmış saturasyon çamurunda pH ve EC okumaları yapılmış, genel toprak özelliği belirlenmeye çalışılmıştır (Rhoades vd., 1999). Kireç içeriğinin bulunması için Scheibler kalsimetresinde karbondioksit çıkış hacmine göre kireç içeriği tespit edilmiştir (Allison ve Moodie 1965). Organik madde miktarı "Modifiye Edilmiş Walkey-Black" metoduna göre yapılmıştır. Bu yöntemle göre; 0,5 g toprak örneği 500 ml'lik erlenmayere konulmuş ve üzerine önce 10 ml potasyum dikromat ve daha sonra 20 ml sülfürik asit çözeltisi eklenmiş ve karışım başlangıçta yavaş daha sonra hızlı bir şekilde 1 dk çalkalanmıştır. Oda sıcaklığına ulaşan örnekler 200 ml saf su eklenmiş ve üzerine 5-6 damla fenantrolin ilave edilmiştir. Demir sülfat heptahidrat çözeltisiyle titre edilerek kırmızı rengin yeşil renge dönmesiyle de harcanan demir sülfat miktarı hesaplanarak organik madde miktarı bulunmuştur.

Toprakların kil, silt ve kum içerikleri % değerleri "Bouyoucos Hidrometresi" metodu ile belirlenmiştir. Değişebilir Katyonlar

(Ca, Mg, Na, K), 10 g toprak örneğine 50 ml 1 N amonyum asetat çözeltisi eklenip bir miktar çalkalandıktan sonra bir gece çözelti içerisinde bekletilerek bir sonraki gün filtre kağıdında süzümüştür. Bu işlemden sonra elde edilen ekstrakt Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde (AAS) okunarak değişebilir katyonların miktarı belirlenmiştir. İz Elementler (Fe, Zn, Cu, Mn); DTPA (Diyetilen Tiriamin Penta Asetik Asit) yöntemi ile belirlenmiştir (Thomas, 1982). 10 gr toprak örneği üzerine 50 ml DTPA çözeltisi ilave edilerek dakikada 200 devir çalkalama makinasında 2 saat karıştırılıp filtre kağıdından süzülerek ekstraksiyon elde edilmiştir. Elde edilen süzükte AAS ile okuma yapılarak iz elementler belirlenmiştir (Lindsay ve Norwell 1978). Bulunan değerler Tablo 1'de verilmiştir.

4. Tepehan Heyelanı

6 Şubat Kahramanmaraş merkezli depremler gerek büyüklükleri ile gerekse etkili oldukları alan, ivme değerleri ile yer bilimlari açısından ilginç sismik olaylardır. Yaşanan bu depremler sırasında ve depremler sonrasında oluşan artçı sarsıntılar sonucunda çok sayıda kütle hareketi yaşanmıştır.

Hatay'ın Altınözü ilçesine bağlı Tepehan köyünün batısında kalan Koyak Mevkii'nde depremle tetiklenen büyük bir kütle hareketi (heyelan) yaşanmıştır. Kütle hareketinin gerçekleştiği Tepehan formasyonu kumtaşı, killi kireçtaşı, kıltaşı ve marndan oluşmaktadır. Birim ilk kez Selçuk (1985) tarafından adlandırılmıştır. Antakya dolayında yüzeylenen birimin tip kesit yeri Tepehan dolaydır. Alt dokanağında, Sofular formasyonu, üst dokanağında ise Nurzeytin formasyonu ile uyumlu ve geçişlidir. Kalınlığı 200-500 m arasındadır (Selçuk, 1985). Önceki çalışmalarda, Selçuk (1985) tarafından derlenen örneklerde formasyonun yaşı Geç Miyosen olarak belirtilmiştir. Boulton ve diğerleri (2006)'nin tanımlamadığı Nurzeytin formasyonunun alt bölümüne karşılık gelen birimin alt bölümü sığ, orta ve üst bölümü ise gittikçe derinleşen sığ-açık deniz ortamında çökelmiş olduğunu göstermektedir (Herece, 2008).

Su tutma kapasitesi oldukça yüksek olan kumtaşı, killi kireçtaşı, kıltaşı ve marnlardan oluşan Tepehan formasyonu içerisinde düzlemsel kayma şeklinde gelişen heyelan 12.000 metrekarelik bir alanı etkilerken, 180.000 metreküpten fazla bir malzeme yer değiştirmiştir. Heyelanın gerçekleştiği alanda ortalama eğim değeri %19 civarındadır. Normal şartlarda bu büyüklükteki bir kütle hareketinin daha yüksek eğim koşullarında gerçekleşmesi beklenir.

Bu durum heyelanın olduğu alanda yamaç duraylılığının değişmesinde birincil derecede depremle oluşan titreşimlerin (dalgaların) etkisini net olarak göstermektedir. Bu durum sahaya ait görüntülerle de desteklenmektedir (Şekil 5). 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sırasında ve sonrasında meydana gelen değişik türdeki kütle hareketleri litolojik farklılıklara bağlı olarak kütle hareketinin tipinin değiştiğini göstermesi bakımından oldukça değerlidir. Birçok çalışmada da ifade edildiği gibi, kaya düşmeleri ve heyelanlar hem kayaç türü hem de çevresel faktörler gibi birçok unsurun etkileşimiyle oluşur ve

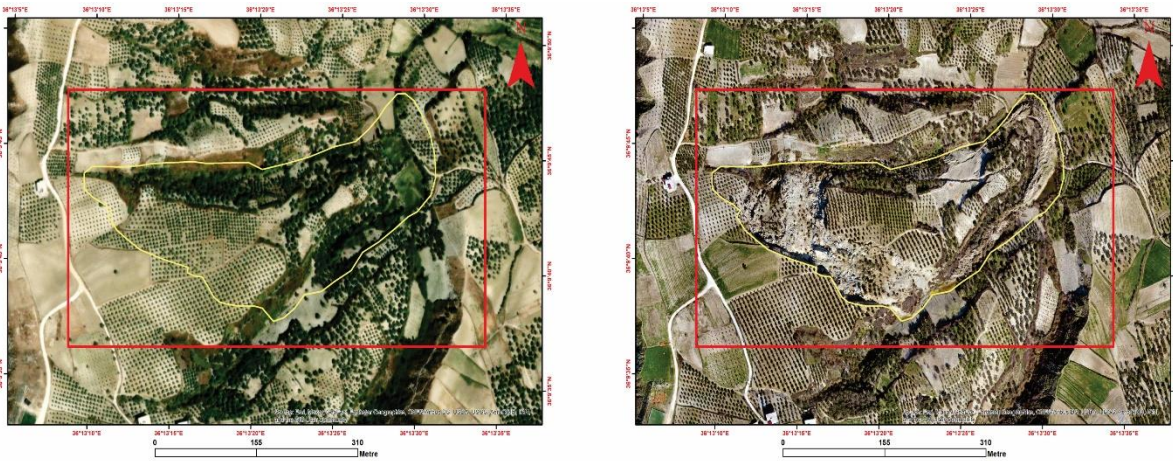
farklı türde kayalar farklı mekanizmalarla hareket edebilir. Bu sebeple laboratuvar analizlerinde özellikle kütle hareketleri açısından önemli kil, kum ve diğer litolojilerin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Tepehan heyelanının farklı alanlarından alınan numuneler laboratuvarda analiz edilmiş ve numunelere ait değerler Tablo 1'de verilmiştir. Tepehan heyelanından alınan numunelerin Sodyum hegzametafosfat kullanılarak disperse edilip toz haline getirilmesiyle yapılan tekstür analizinde Kil oranı %66,2, %28 Silt, %5,8 Kum belirlenmiştir (Şekil 8, Tablo 1).



Şekil 5. Tepehan heyelanına ait lokasyon haritası.

Figure 5. Location map of Tepehan landslide.



Şekil 6. Tepehan heyelanının gerçekleştiği alanın heyelan öncesi ve sonrası görünümü.

Figure 6. Pre- and post-landslide view of the area where Tepehan landslide took place.



Şekil 7. Heyelanın taç kısmının üst bölümlerinde oluşan uzunluğu yaklaşık 320 m'yi bulan açılma çatlakları⁵.

Figure 7. Opening cracks up to 320 m in length formed in the upper parts of the crown of the landslide.



Fotoğraf 5. Tepehan kütle hareketi (heyelanı) öncesi arazide düzleştirme çalışmaları sonucu oluşmuş, arazinin statik dengesini bozan ve heyelanı hazırlayıcı unsurlardan biride tarımsal amaçlı oluşturulan zeytin bahçeleri.

Photography 5. The olive groves, formed for agricultural purposes, are one of the factors that disrupt the static equilibrium of the terrain and contribute to the occurrence of the Tepehan mass movement (landslide) as a result of land leveling works conducted prior to the landslide.

⁵ Heyelanın taç kısmının üst bölümlerinde oluşan çatlak uzunlukları ve diğer hesaplamalar Dron görüntülerinin işlenmesi ile elde edilen Ortofoto ve DSM verileri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Üç boyutlu alanların hesaplanması için farklı yöntemler kullanılabilir, ancak genellikle yüzey modelleri ve üçgen ağlar üzerinde çalışma yapılır. Bir yüzey modeli, üç boyutlu bir nesnenin yüzeyinin üçgenlere bölünmüş temsili olarak düşünülebilir. Bu yüzey üçgenlerinin alanları toplanarak üç boyutlu alan hesaplanır. Üç boyutlu alan hesaplaması için

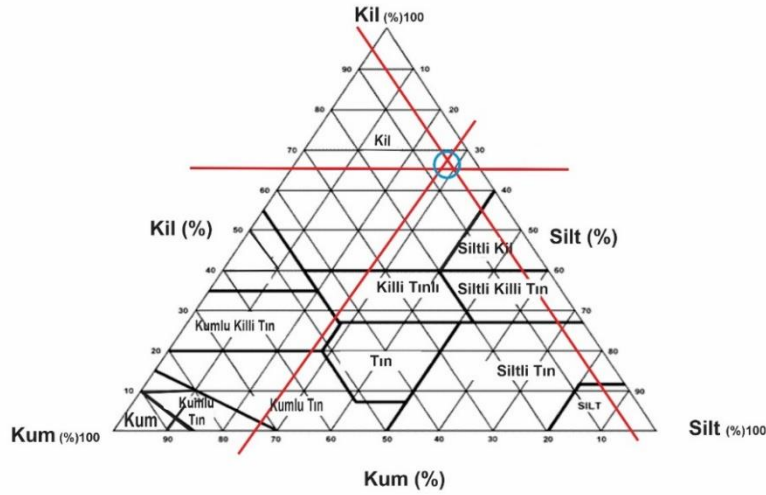
Alan = Σ (Tüm üçgenlerin alanı) formülü kullanılır.

Burada " Σ " sembolü, tüm üçgenlerin alanlarını toplamı temsil eder. Üçgenin Alanını Hesaplama: Bir üçgenin alanı, üç kenarının uzunluklarına göre Heron formülü kullanılarak hesaplanabilir:

$$s = (a + b + c) / 2$$

$$\text{Alan} = \sqrt{s * (s - a) * (s - b) * (s - c)}$$

Burada "a", "b" ve "c", üçgenin kenar uzunluklarıdır ve "s", yarı çevresini temsil eder. Üç boyutlu alan hesaplama süreci, üçgenlerin yüzey modeli üzerindeki konumlarına ve geometrik özelliklerine bağlı olarak yinelenir. Yüzey modelindeki her üçgenin alanı hesaplanır ve bu alanlar toplanarak toplam üç boyutlu alan elde edilir. Bu hesaplama, nesnenin yüzey alanını temsil eder. Eğer nesnenin içindeki hacmin de hesaplanması istenirse, üç boyutlu nokta bulutundaki noktaların içindeki hacimlerin hesaplanması gerekir. Hacim hesaplama, genellikle üç boyutlu nokta bulutunda bulunan noktaları çevreleyen tetraedronların hacminin hesaplanmasıyla gerçekleştirilir.



Şekil 8. Tepehan Heyelanına ait toprak örneklerinin Tekstür Üçgenindeki dağılımı.

Figure 8. Distribution of soil samples from the Tepehan Landslide in the Texture Triangle.

Alınan numunelerde organik madde miktarının 0,51 gibi düşük bir değer göstermesi (Tablo 1) agregat oluşumunu engelleyen bir unsur olarak değerlendirilmiştir. Bunun da toprak yapısının bozulmasına neden olan unsurlardan biri olduğu düşünülmüştür. Bu durum depremle oluşan titreşimlerde büyük kütle hareketlerinin oluşmasına neden olan unsurlardan biri olarak değerlendirilmiştir.

Tepehan heyelanı Neojen yaşlı kumtaşı, killi kireçtaşı, kiltası ve marnlardan oluşan birim içerisinde düzlemsel kayma şeklinde gelişen bir kütle hareketi (heyelan)'dir. Kumtaşı, killi kireçtaşı, kiltası ve marnlar, genellikle gevşek yapıya ve çatlaklara sahip birimlerdir. Bu birimlerin sürtünme katsayısı düşüktür ve dayanıklılığı sınırlıdır. Bu nedenle, yamaç eğimi arttıkça bu tür kayaçlar yağış, zemin suyu hareketleri, depremler, erozyon, insan aktiviteleri vb. faktörlerle etkileşime girdiğinde⁶, bu kaya

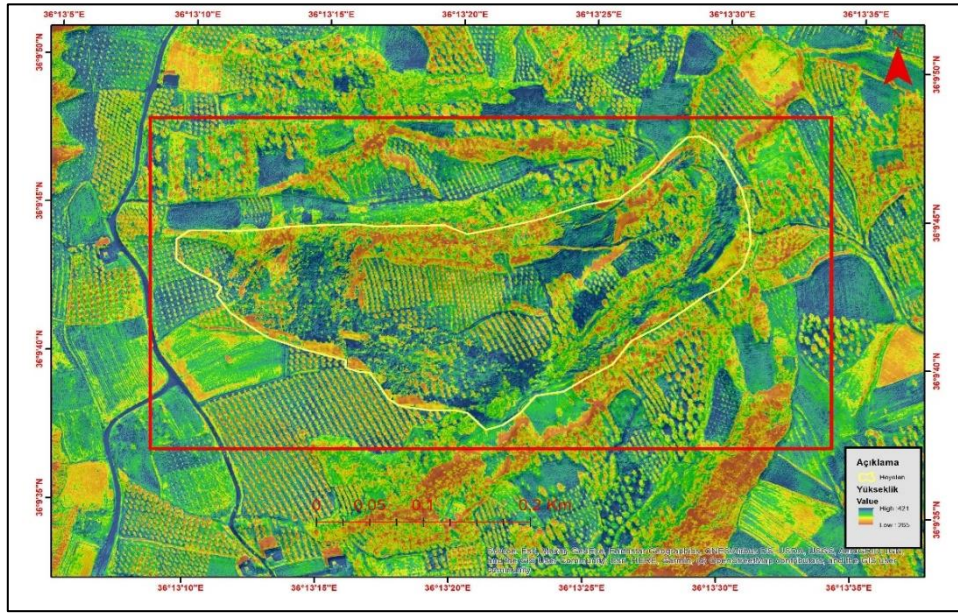
türleri kayma ve düşme eğilimi gösterirler. Bu tür litolojilerin tabakalanmalı ve ardalanmalı istifler oluşturduğu sahalarda görülen heyelanlar daha çok düzlemsel kayma şeklindedir. Bunun bir sebebi de tabakalar arasında yeraltısuyu geçirimsizliğinin ve kohezyon farklılıklarının olmasıdır. Düzlemsel kayma, bir kaya bloğunun, kayma düzlemi boyunca hareket etmesidir (Hoek vd.,1974; Vakov,1996). Kayma düzlemi, kaya bloğunun içinde mevcut olan doğal bir çatlak, ayrılma veya birleşme yüzeyi olabilir. Bu çatlaklar, yamaçlarda uzun süreli yerçekimi etkisi nedeniyle oluşabilir. Böylece, kayma düzlemi boyunca hareket eden kaya blokları, heyelanlar sırasında yamaçtan aşağıya hareket eder. Tepehan heyelanının gerçekleştiği birim özellikleri yanında depremle oluşan enerjiye bağlı olarak titreşim şiddeti çok kısa bir süre içinde 480 x140 metrelik bir alanın aktivite kazanmasına neden olmuştur.

Tablo 1. Tepehan heyelanından alınan toprak ve kayaç numunelerine ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.

Table 1. Physical and chemical analysis results of soil and rock samples taken from Tepehan landslide.

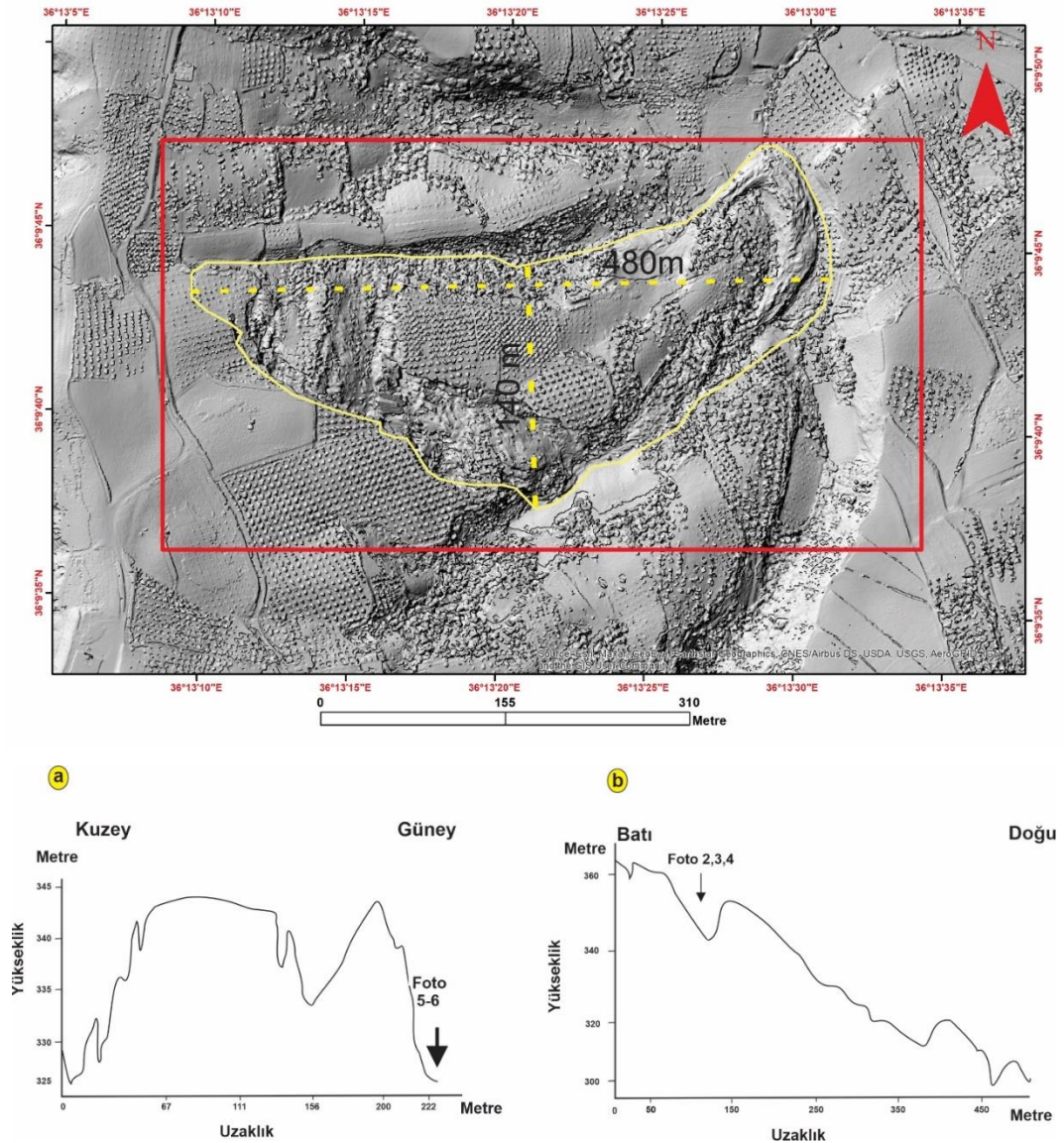
Analiz	Birim	Kayaç	Toprak	Yorum
		Sonuç	Sonuç	
pH		8,2	8,34	Hafif Alkali
EC		782	533	Hafif Tuzlu
Kireç	%	71,03	60,42	Az Kireçli
Organik Madde	%	0,22	0,51	Çok Az
Tekstür	%	%64,2 Kil, %32 Silt, %3,8 Kum	%66,2 Kil, %28 Silt, %5,8 Kum	Killi
Ca	mg/L	4700	5145	
Mg	mg/L	1071	1072,5	
Na	mg/L	20,5	63	
K	mg/L	295,5	261	
Fe	mg/L	83,25	76	
Zn	mg/L	17,45	14,45	
Cu	mg/L	2	3,25	
Mn	mg/L	12	4,25	

⁶ Şubat Kahramanmaraş depremleri sonucu gerçekleşen Tepehan heyelanının bugün toprak kısmına karşılık gelen alanda 2022 yılının yaz mevsiminde heyelanın tarla açma ve düzleme amaçlı yoğun insan müdahalesi yamaç statikliğinin bozulmasına neden olan önemli bir etkidir (Fotoğraf 5).



Şekil 9. Tepehan Heyelanı ve yakın çevresine ait DSM görüntüsü.

Figure 9. DSM image of Tepehan Landslide and its surroundings.



Şekil 10. Tepehan Heyelanı ve yakın çevresine ait 2 boyutlu görüntü (Hilshade) ve farklı doğrultulardan alınan profiller.

Figure 10. 2D image (Hilshade) of Tepehan Landslide and its immediate surroundings and profiles taken from different directions.

5. Sonuç ve Öneriler

Tepahan heyelanı depremlerin kütle hareketlerini (heyelanları) tetiklediği gerçeğinin somut bir örneği olması dışında, kütle hareketlerinin türü ile litoloji arasındaki ilişkiyi ortaya koyması açısından da ilginç bir oluşturmaktadır. Heyelanın gerçekleştiği alan Miyosen yaşlı klastik ve karbonatların birlikte ardalı şeklinde bulunduğu bir alandır. Bu sebeple yer yer killi geçirimsiz seviyeler yer yer kireçtaşı ve kumtaşı gibi birimleri görmek mümkündür. Bu alan aynı zamanda Tepahan yerleşiminden uzak, tarımsal faaliyetler için kullanılan ekim alanları ve çevresindeki mera ve zeytinliklerden oluşmaktadır.

Tepahan heyelanı deprem derinliği ile kütle hareketlerinin boyutları arasındaki ilişkiyi ortaya koyması açısından da tipik bir örnektir.

Tepahan heyelanı yerleşim alanlarının doğal tehlikelere karşı (kütle hareketleri) güvenli hale getirilmesinde heyelanların izlenmesi ve haritalanmasının önemini bir kez daha göstermiştir. Depremlerin etkileri değerlendirilirken kütle hareketleri de dikkate alınmalıdır. Bu şekilde daha gerçekçi bir değerlendirme yapılabilir ve koruyucu önlemler daha gerçekçi olabilir. Jeolojik formasyonların su tutma veya geçirme özellikleri dikkatle incelenmeli, alttaki geçirimsiz üstte duraylılığını kaybetme niteliği olan birimlerde heyelan riski dikkatle irdelenmelidir.

Tepahan heyelanı insan ve çevre arasındaki ilişkinin çok hassas dengelere bağlı olduğunu gösteren önemli örneklerden biridir. İnsan ve çevre arasındaki hassas denge gözetilmeden yapılan müdahalelerin sonuçlarını işaret etmesi açısından da oldukça değerlidir. Arazinin doğal eğiminin insan etkisi ile (tarımsal amaçlı) bozulması oluşan heyelanın boyutları üzerinde önemli bir etkidir. Bu nedenle heyelan tehlikesi olan alanlarda bu tür çalışmalara izin verilmemelidir. Zira arazideki bilinçsiz insan müdahalesi çok büyük riskler doğurabilmektedir. Bu alan koruma altına alınmalı ve kamulaştırılmalıdır. Bu şekilde insanlara depremin tetiklediği kütle hareketlerinin anlatılması afet bilincinin oluşturulması açısından oldukça önemlidir.

Teşekkür

Çalışmanın değerlendirilmesindeki katkıları için Hakemlere ve Editör Kuruluna teşekkür ederiz.

Çıkar Çatışması/Conflict of Interest: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder. *The authors declare that they have no conflict of interest.*

Yazar katkısı/Author contribution

İ.D, T.U, İ.E ve Ö.Ç bu çalışmanın tamamlanmasına eşit oranda katkıda bulunmuşlardır. *İ.D, T.U, İ.E and Ö.Ç contributed equally in completing this study.*

Kaynakça

Allison, L. E., & Moodie, C. D. (1965). Carbonate. In C.A. Black et al. (Ed), *Methods of soil analysis, part 2, agronomy series, American Society of Agronomy Inc. U.S.A.*, (pp. 1379-1400). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c40>

Anadolu Ajansı. (2023, Mart 06). *Deprem bölgesinde bir ayda 13 bin 753 artçı sarsıntı meydana geldi, asrın felaketi.* Anadolu Ajansı. <https://www.aa.com.tr/tr/asrin-felaketi/depem-bolgesinde-bir-ayda-13-bin-753-artci->

[sarsinti-meydana-geldi/2838324](https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.2.c40)

Bezdan, M. (2023). Antakya depremi. *Foto Atlas*, (1).

Bingöl, S. (2009). *Kahramanmaraş civarının depremselliğine ilişkin jeokimyasal parametrelerin değerlendirilmesi* [Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi].

<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>

Boulton, S.J., Robertson, A.H.F., & Ünlügenç, U.C. (2006). Tectonic and sedimentary evolution of the Cenozoic Hatay Graben, Southern Turkey: a two-phase model for graben formation. *Tectonic Development of The Eastern Mediterranean Region*, 260, 613-634.

<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.2006.260.01.26>

Bouyoucos, G.J. (1955). A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 4(9), 434.

<https://doi.org/10.2134/agronj1951.00021962004300090005x>

Hungr, O. Evans, S.G., Bovis, M.J., & M. J., Hutchinson, (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, VII(3), 221-238.

https://www.researchgate.net/profile/Michael-Bovis/publication/279333490_Review_of_the_classification_of_landslides_of_the_flow_type/links/570d4c8c08aed31341cf7684/Review-of-the-classification-of-landslides-of-the-flow-type.pdf

Ege, İ. (2011). Determination of fault morphology of Antakya-Kahramanmaraş depression area by using methods of Remote Sensing (RS) and Geographical Information Systems (GIS). *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 19, 702-708. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.05.188>

Ege, İ. (2014). Antakya-Kahramanmaraş grabeninde aktif tektoniğe ait jeomorfolojik gözlemler. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(26), 71-88. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/182884>

Ege, İ. (2022). *Amik Ovası ve yakın çevresinin jeomorfolojisi* (II. Basım). Kriter Yayınevi.

Lutgens, F. K., & TarBuck, E. J. (2013). *Genel jeoloji temel ilkeleri kavramlar* (C. Helvacı, Çev.). Nobel Akademik Yayıncılık.

Gökten, E., Çan, T., Özalp, S., & Yıldız, M. (2015). Deprem derinliği ve kütle hareketleri arasındaki bağlantı. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(2), 35-42.

Herece, E. (2008). *Doğu Anadolu Fay (DAF) Atlası*. M.T.A. Genel Müdürlüğü.

Hoek, E., & Bray, J. (1974). *The role of jointing in rock slope stability*. IMM, London.

Vakov, A., (1996). Relationships between earthquake magnitude, source geometry and slip mechanism. *Tectonophysics*, 261(1-3), 97-113. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(96\)82672-2](https://doi.org/10.1016/0040-1951(96)82672-2)

Johnson, E., et al. (2016). *Liquefaction hazard and risk assessment*. Springer.

- Jones, R., & Williams, S. (2013). *Effects of earthquakes on buildings and structures*. Federal Emergency Management Agency. <https://www.usgs.gov/faqs/how-do-earthquakes-affect-buildings>
- King, G. C. P., Stein, R. S., & Lin, J. (1994). Static stress changes and the triggering of earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(3), 935-953. <https://doi.org/10.1785/BSSA0840030935>
- Lindsay, W. L., & Norwell, W. A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42, 421-428. <https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x>
- Öztürk, K. (2002). Heyelanlar ve Türkiye'ye etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(2), 35-50. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gefad/issue/6765/91015>
- Selçuk, H. (1985). *Kızıldağ-Keldağ Hatay dolayının jeolojisi ve jeomorfolojik evrimi* (Rapor No. 7787). MTA. MTA Genel Müdürlüğü.
- Thomas, G.W. (1982). Exchangeable Cations. In A. L. Page (Ed), *Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and microbiological properties* (pp. 159-165). Madison, WI: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Ulusay, R., Gokceoglu, C., Topal, T., Sonmez, H., Tuncay E., Z., A., Ergüler, & Kasmer Ö. (2006). Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of an abandoned rock-hewn settlement in Urguüp (Cappadocia), Turkey. *Environmental Geology*, 50(1), 473-494.