

Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi

Journal of Geomorphological Researches

© Jeomorfoloji Derneği

www.dergipark.gov.tr/jader

E - ISSN: 2667 - 4238




Araştırma Makalesi / Research Article

YOL BOYU HEYELANLARINA BİR ÖRNEK: ARDAHAN - GÖLE HEYELANI

An Example of Roadside Landslides: Ardahan - Göle Landslide

Dilek AYKIR

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi, Sosyal ve Beşeri Bilimler Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İzmir
 dlkaykr@gmail.com  <https://orcid.org/0000-0002-2748-4055>

Makale Tarihçesi

Geliş 27 Nisan 2023

Kabul 13 Haziran 2023

Article History

Received 27 April 2023

Accepted 13 June 2023

Anahtar Kelimeler

Heyelan, Frekans oranı, XRD, CBS, Ardahan

Keywords

Landslide, Frequency ratio, XRD, GIS, Ardahan

Atıf Bilgisi / Citation Info

Aykır, D. (2023) Yol Boyu

Heyelanlarına Bir Örnek: Ardahan -

Göle Heyelanı / An Example of

Roadside Landslides: Ardahan - Göle

Landslide, Jeomorfolojik Araştırmalar

Dergisi / Journal of Geomorphological Researches, 2023 (10): 52-70.

doi: 10.46453/jader.1288368

ÖZET

Heyelan, Türkiye'de depremlerden sonra en etkili afetlerden biridir. Heyelanın yarattığı etkiler çoğu zaman ciddi can ve mal kaybı ile sonuçlanmakta ve ülke ekonomisine ciddi zararlar vermektedir. Bu çalışma kapsamında Ardahan-Göle karayolunun 8. km'sinde meydana gelen Ardahan-Göle Heyelanı inceleme konusu olarak ele alınmıştır. Bu doğrultuda heyelan sahası ve çevresinde arazi çalışmalarıyla incelemeler yapılarak heyelanı tetikleyen unsurlar ile heyelanın morfometrik özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Heyelanın haritalanması amacıyla İHA ile elde edilen görüntüler kullanılarak 2,5 cm yersel çözünürlüğe sahip ortofoto ve 10 cm yersel çözünürlüğe sahip sayısal yükselti modeli oluşturulmuştur. Toplanan veriler CBS ortamında işlenerek heyelanın haritası üretilmiştir. Öte yandan arazi çalışmaları sırasında alınan numunelere XRD analizi uygulanarak kayma yüzeyi materyalinin jeokimyasal bileşimi ve kayma düzlemini oluşturan kil mineralleri ortaya koyulmuştur. Bölgede heyelana duyarlı alanların tespit edilmesi için frekans oranı yöntemi ile heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Elde edilen bulgulara göre; rotasyonel kayma tipi bir özellik gösteren Ardahan Göle Heyelanı karayolu genişletme faaliyetlerinin tetiklemesiyle meydana gelmiş ve akabinde yol yapımı çalışmalarında aksamalara neden olmuştur. XRD sonuçlarına göre; montmorillonit, illit ve vermikülit gibi farklı kil minerallerinin yüksek oranda var olması heyelanın gelişmesinde rol oynamıştır. Antropojenik ve doğal süreçlerin bölgede yeni heyelanları tetiklemesi ihtimali göz önüne alınarak frekans oranı yöntemi ile heyelan duyarlılık analizi yapılmış ve bu analizin sonucuna göre çok yüksek ve yüksek duyarlı alanların %33,11'lik bir alan kapladığı ortaya koyulmuştur.

ABSTRACT

Landslide is one of the most effective disasters after earthquakes in Turkey. The effects of the landslide result in a serious loss of life and property and cause serious damage to the country's economy. The Ardahan-Göle landslide, which occurred at the 8th km of the Ardahan-Göle highway, is our research subject in this study. Accordingly, the Ardahan-Göle Landslide and its surroundings were investigated by fieldwork, and the factors that triggered the landslide and the morphometric characteristics of the landslide were tried to be determined. In order to map the landslide, an orthophoto with a spatial resolution of 2.5 cm and a digital elevation model with a spatial resolution of 10 cm were created using the images obtained by the unmanned aerial vehicle (UAV). The landslide was mapped using the collected data was processed in GIS software. On the other hand, by applying XRD analysis to the samples taken during field studies, the geochemical composition of the slip surface material and the clay minerals forming the slip plane were revealed. In order to determine the areas susceptible to landslides, landslide susceptibility analysis was produced using the frequency ratio method. According to the results obtained; Ardahan Göle Landslide, which has a rotational slip type of movement, occurred with the trigger of highway expansion activities and subsequently caused disruptions in road construction works. According to XRD results; The high presence of different clay minerals such as montmorillonite, illite and vermiculite played a role in the development of the landslide. Considering the possibility of anthropogenic and natural processes triggering new landslides in the region, a landslide susceptibility analysis was produced using the frequency ratio method, and according to the results of this analysis, it was revealed that very high and highly susceptible areas cover an area of 33.11%

1.GİRİŐ

Doğal kaya, insanlar tarafından yapılan dolgu malzemeleri veya ikisinin karışımından oluşan materyalin aşağı ve dışa doğru hareketi olarak tanımlayabileceğimiz heyelanlar (Erginal ve Bayrakdar, 2005; Dai ve Lee, 2005; Dhakal vd., 2020) Tırkiye’de depremlerden sonra en fazla gırđlen doğal afettir (Ozşahin, 2013). Bu nedenle heyelanların yarattığı sorunlar hafife alınmayacak dđzeyde önem taşımaktadır.

Heyelanı hazırlayıcı faktörler arasında, yamaç eğiminin derecesi, toprak tipi, bđlgenin jeolojisi, sahanın morfolojisi, kaya türleri gibi doğal nedenler olabileceği gibi, yerleşim alanlarının yanlış seğimi, plansız ve dđzensiz kentleşme, yanlış arazi kullanımı, ormanların tahrip edilmesi ve her geçen gün nşfusun artmasıyla insanların doğal dengeyi bozmasına bağlı olarak gerçekteşen beşeri faktörler de olabilmektedir (Highland ve Bobrowsky, 2008; Sarker ve Rashid, 2013).

Karayollarında yanlış uygulanan yöntemler sonucu meydana gelen heyelanlar; yolların ve araçların hasar gırmesi, can kayıpları, trafik hareketlerinin kesintiye uğraması gibi direkt etkilerinin yanında, kamu ve çevre binalarının zarar gırmesi ve hizmetlerin kesintiye uğraması, flora ve fauna hayatının kesintiye uğraması gibi dolaylı etkilere de neden olabilmektedirler (Deniz ve Sındır 2001; Ertek ve Erginal, 2005; Kjekstad ve Highland, 2009). Bu nedenle yol, bina yapımında ilgili kişi veya kuruluşların projenin bulunduğu bđlgenin jeolojisi ve jeomorfolojisini göz önünde bulundurmaları ileride yaşanacak heyelanları önlemede etkili olacaktır.

Bu çalışma kapsamında; Ardahan-Göle karayolunun 8. km'sinde meydana gelen heyelanın hazırlayıcı ve tetikleyici faktörleri tartışılmakta, heyelanın gelecekteki reaktivasyon olasılığına değinilerek yaratacağı olumsuz etkilerin önlenmesi konusundaki önerilerde bulunmaktadır.

1.1. Araştırma Alanının Genel Coğrafi Özellikleri

Ardahan, Tırkiye'nin kuzeydoğusunda, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Erzurum-Kars Bölümü'nde yer almaktadır. Ardahan'ın genel jeomorfolojik yapısını; kabaca kuzey ve güneyinde yer alan sırasıyla Yalnızçam ve Allahüekber Dağları ile

yine bu dağların uzanımlarına paralel olarak güneybatı - kuzeydoğu uzanlımlı tektonik kökenli Ardahan, Hasköy, Göle, Çıldır ve Aktaş depresyonları oluşturur. Bu tektonik depresyonların çevresinde; ortalama 2100 - 2200 m yüksekliğe sahip plato yüzeyleri ile merkezi püskürmeler ile oluşmuş Göze Dağı (3167 m), Cin Dağı (2957 m), Çadır Dağı (3054 m), Uğurlu Dağı (2807 m), Kısır Dağı (3197 m) ve Akbaba Dağı (3026 m) gibi volkan konileri bulunmaktadır. Çalışmaya konu olan heyelan, Uğurlu Dağı'nın hemen doğusunda yer alan 2327 m yükseklikteki Kötüdere Tepe'nin kuzey yamacında gerçekteşmiştir (Şekil 1).

Araştırma alanının büyük kısmını genç volkanik formasyonlar oluşurmaktadır (Őekil, 2). Bölgedeki Kura Volkanitleri (Tk), Akyaka Bazaltı (Ta), Dumanlıdağ Piroklastikleri (Td) ve Kalkankale Formasyonu (tkk) Üst Miyosen - Alt Pliyosen döneminde oluşmuştur. Alt Pleyistosen'den itibaren, bölgedeki zayıflık zonları boyunca eđim koşulları doğrultusunda lav akıntıları yayılış göstermiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresinde; Üst Miyosen - Alt Pliyosen'e tarihlendirilen andezitler ve bazaltlar ile bunlarla yer yer aralanmalı tůf, aglomera ve yine yüksek oranda volkanik kökenli malzeme içeren Kuvaterner alüvyonları yayılış göstermektedir. Kars - Ardahan Platosu daha çok dom ve çatlak erüpsiyonu ile gerçekteşen eksojen lavlardan oluşmaktadır. Ardahan ve çevresinde KD-GB ve KB-GD yönlü doğrultu atımlı faylar tespit edilmiştir. Faylar, K 60-70 B ve K 60-75 D doğrultuludur. Farklı iki doğrultudaki bu faylar genellikle birbirlerini 80° ile 110° arasında değişen açılarla birbirlerini kesmektedir (Yalnızçam - Akayaka köyü arasında geçen Kuzeybatı-güneydoğu yönlü doğrultu atımlı fay çalışma sahasına yakın faylardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Yergök vd.,1994; Demirtař vd., 2012).

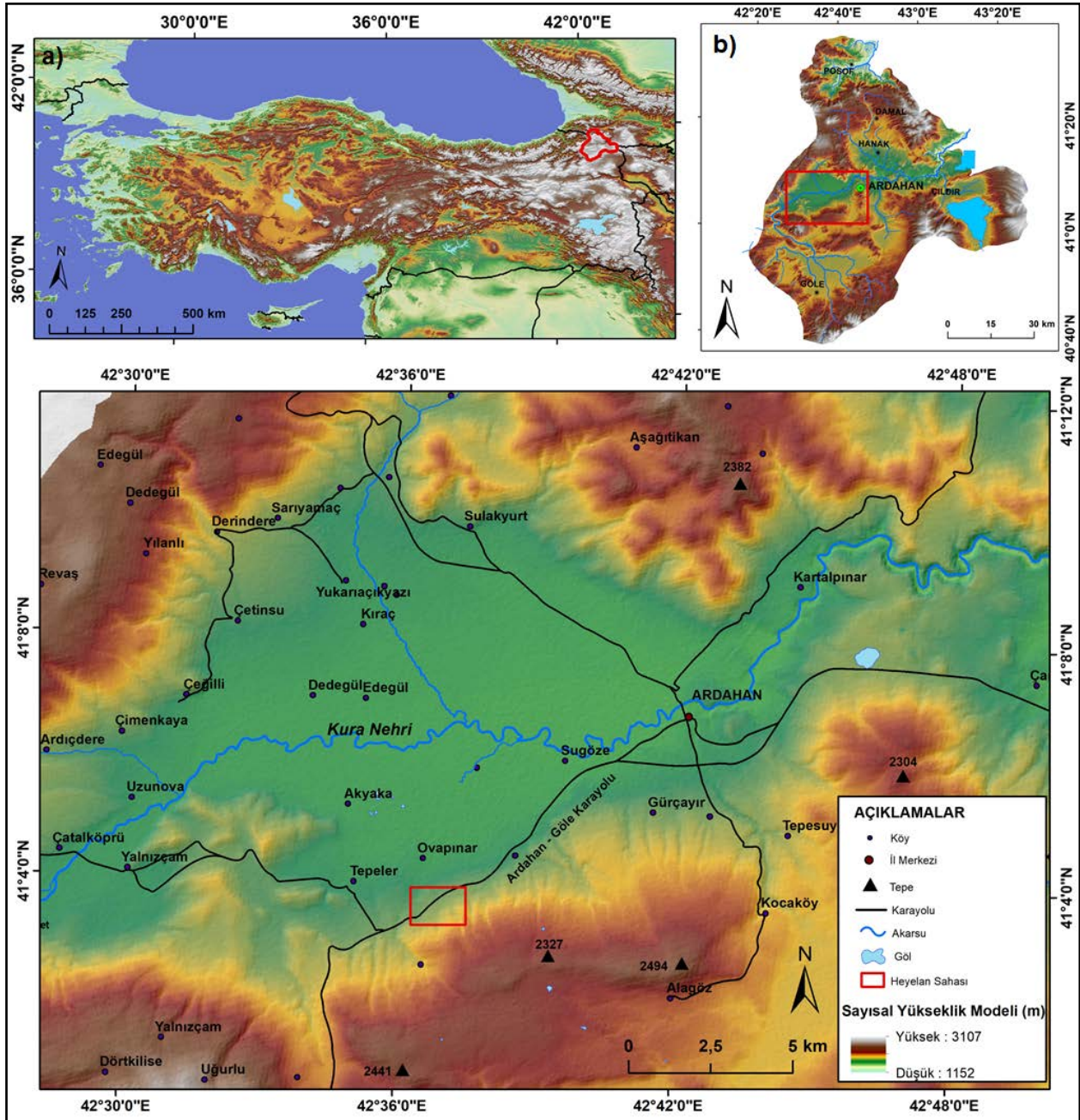
Köppen ve Geiger (1954) tarafından geliştirilen iklim sınıflamasına göre Ardahan, karasal (D) iklim tipine ait Dfb alt sınıfına girmektedir. Bu iklim tipi yüksek dağlık alanlarda gırđlen soğuk ve nemli iklim koşullarını yansıtmaktadır (Oztürk vd., 2017). Ardahan'da yıllık toplam yağış ortalaması 1958-2020 yılları arasında 555,6 mm civarındadır. Yıl içinde en fazla yağış

yaz mevsiminde düşmektedir. Yıllık yağışlı gün sayısı ortalaması 135,30, yıllık kar yağışlı günler sayısı ortalaması 36,97 ve yıllık karla örtülü günler sayısı ortalaması 111,44'tür (MGM, 2020). 1970 – 2022 yılları, yıllık toplam yağış regresyon analizine göre; regresyon eşitliği $y = 2.9048x + 480.22$, R^2 katsayısı ise 0.1519'dur. Bu değerler 53 yıllık dönemde yıllık toplam yağışların, çok kuvvetli olmamakla birlikte artma eğiliminde olduğunu göstermektedir (Şekil 3).

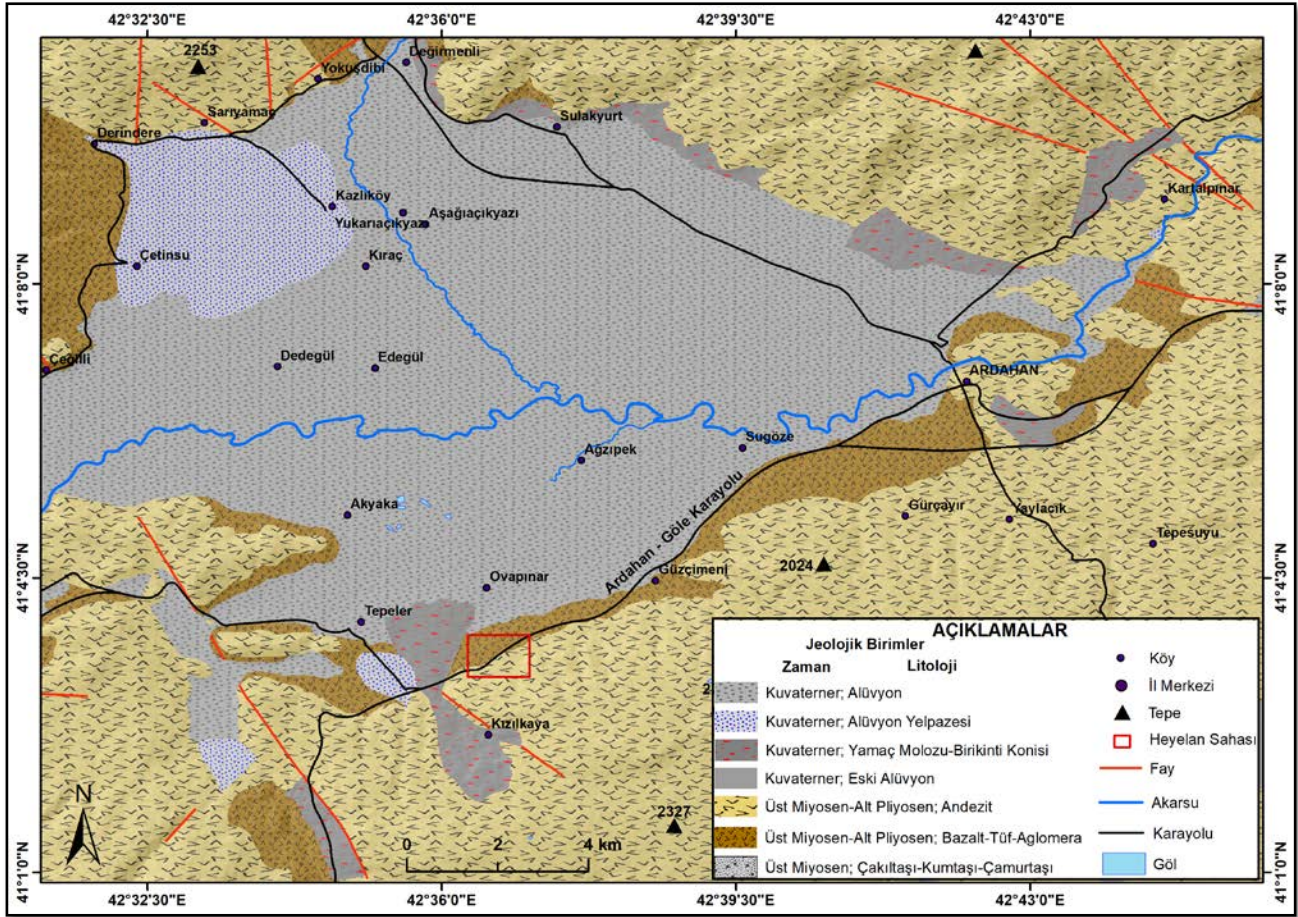
2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Verilerin Toplanması

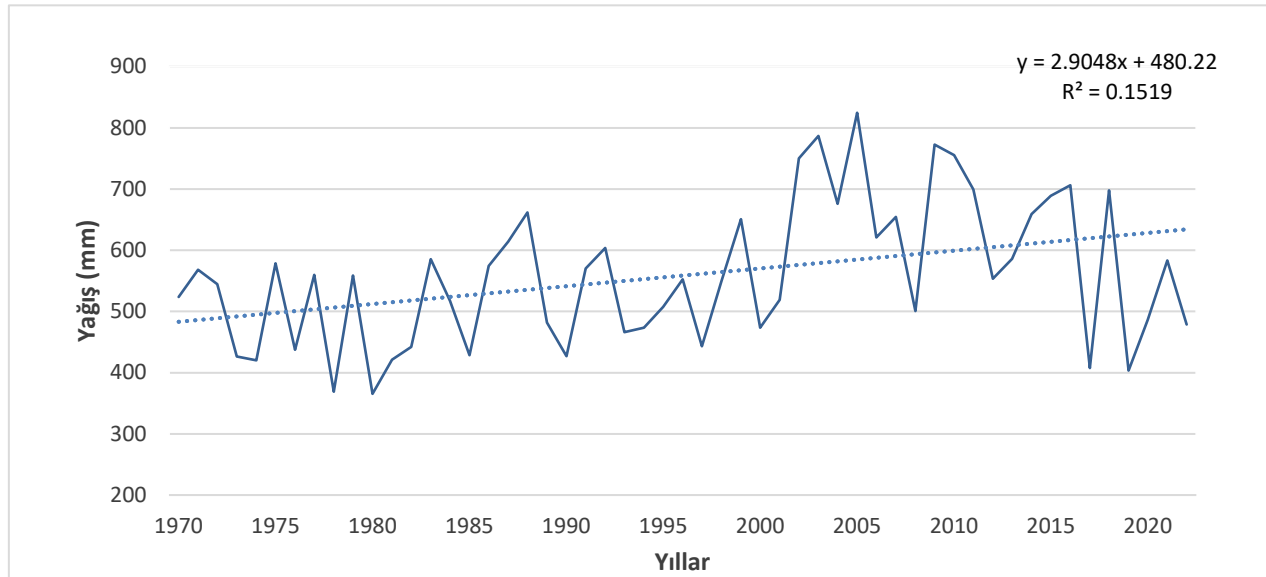
Heyelan duyarlılık çalışmalarında heyelan envanter haritalarına öncelikli olarak ihtiyaç duyulmaktadır. Heyelan envanter verisi, MTA Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri Portalı'ndan kml formatında temin edilmiştir. Heyelan duyarlılık



Şekil 1: Araştırma sahasının lokasyon haritası (a-b) ve Ardahan Ovası ve çevresinin sayısal yükseklik modeli (c) / **Figure 1:** Location map of the research area (a-b) and digital elevation model of Ardahan Plain and its surroundings (c).



Şekil 2: Jeoloji Haritası (MTA'nın 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları kullanılarak hazırlanmıştır) / **Figure 2:** Geological Map (Prepared using 1/25000 scaled geological maps of MTA).



Şekil 3: Ardahan meteoroloji istasyonu 1970 - 2022 yılları toplam yağış grafiği / **Figure 3:** Ardahan meteorological station total precipitation graph for the years 1970 – 2022 (MGM, 2022).

analizde kullanılmak üzere belirlenen yükselti, bakı, eğim, eğrisellik, akarsu ve topografik nemlilik indeksi parametreleri, Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 5 metre yersel çözünürlüğe sahip sayısal yükselti modeli kullanılarak üretilmiştir. Öte yandan

yine Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 5 metre çözünürlüğe sahip 1957, 1989, 2012 ve 2015 yıllarına ait hava fotoğrafı ve ortofotolar Ardahan-Göle heyelanına ait lokasyonun zamansal değişimini ortaya koymak için kullanılmıştır.

Ardahan Meteoroloji İstasyonu'nun 1958 – 2022 ölçüm periyoduna ait iklim verileri, çalışma alanının yağış özelliklerini ortaya koymak üzere kullanılmıştır. Denizden yüksekliği 1827 metre olan 17046 numaralı Ardahan meteoroloji istasyonunun uzun yıllar ortalama yıllık yağış değerine Schreiber (1904) ($Ph=Po+54xh$) formülü uygulandıktan sonra Kriging enterpolasyon yöntemiyle yağış dağılışı haritası üretilmiştir.

Arazi örtüsü verisi, ESRI tarafından piyasaya sürülen 10 metre yersel çözünürlüğe sahip Sentinel-2 Land Cover Explorer veri setinden temin edilmiştir. Bu veri seti 2017'den 2022'ye kadar her yıl için tüm Sentinel-2 uydu görüntülerine uygulanarak üretilmiştir (ESRI, 2022).

Çalışmada kullanılan karayolu verisi Open Street Map arayüzü kullanılarak elde edilmiştir (OSM, 2022). Jeolojik formasyon ve fay verisi MTA Genel Müdürlüğüne ait 1:25.000 ölçekli F49d3, F49c4, G49a21, G49a2, G49a4, G49a3 jeoloji paftalarından temin edilmiştir (MTA, 2012).

Ardahan-Göle heyelanın haritalanması için 30 Ekim 2022 tarihinde DJI mini3 pro insansız hava aracı ile 50 metre irtifada %80 bindirmeli uçuş gerçekleştirilmiş olup uçuş sonucunda 242 adet görüntü alınmıştır. Elde edilen görüntülerden Agisoft photoScan yazılımı kullanılarak 2,5 cm yersel çözünürlüğe sahip ortofoto ve 10 cm yersel çözünürlüğe sahip sayısal yükselti modeli oluşturulmuştur.

Heyelan alanında yapılan arazi çalışmasında; heyelanın morfolojik özelliklerine ait incelemeler yapılmıştır. Kayma yüzeyi materyalinin jeokimyasal bileşimini belirlemek için heyelanın kayma yüzeyinden numuneler alınmış ve X Işınları Kırınımı (XRD) yöntemi ile mineral bileşimi incelenmiştir. Aynı zamanda heyelan sahasında karayolu dolgusu üzerinde gelişen çatlaklar şerit metre ile ölçülmüştür (Şekil 4).

2.2. Frekans Oranı

Heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılacak yöntemin seçilmesinde; çalışmanın amacı, heyelanın türü, alanın kapsamı ve haritanın ölçeği, çalışma alanına erişebilirlik, kullanılacak veri, değerlendiricinin beceri ve tercihi gibi çeşitli faktörler etkili olmaktadır (Shano vd.,

2020). İstatiksel analizlerden Frekans Oranı (FO) yöntemi, heyelan konumları ile çalışma alanındaki faktörler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmak için heyelanların dağılımı ile heyelanla ilgili her bir parametre arasındaki gözlenen ilişkilere dayanmaktadır. Heyelanın tahmin edilmesinde heyelan envanterinin kullanılması ve diğer istatistiksel analizlerle karşılaştırıldığında genellikle daha doğru sonuçlar verdiği için FO yöntemi tercih edilmiştir (Lee, 2005; Lee ve Talib, 2005; Lee ve Pradhan, 2007; Özdemir ve Altural, 2013; Himan vd., 2014; Chen vd., 2016).

FO hesabı için denklem 1'deki formül kullanılmıştır (Lee ve Pradhan, 2007).

$$FO=a/b \quad (1)$$

Burada a, heyelanı etkileyen bir parametrenin her bir sınıf içinde heyelan varlığının yüzde cinsinden oranıdır, b ise heyelanı etkileyen bir parametrenin her bir sınıf içinde yüzde cinsinden oranıdır.

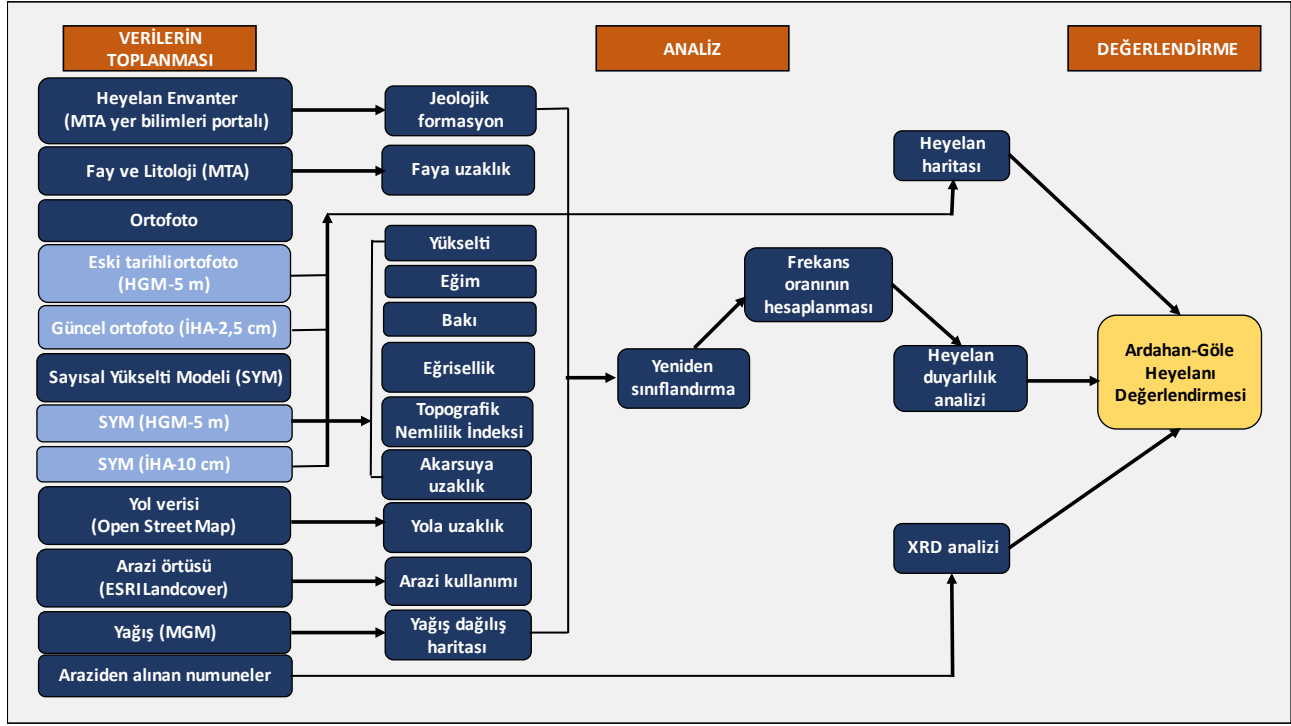
2.2.1. Frekans Oranı Analizi İçin Girdi Parametreleri

FO analizi için kullanılan girdi parametreler; eğim, baki, eğrisellik, yükselti, topografik nemlilik indeksi, yağış, arazi örtüsü, yola uzaklık, fay hatlarına uzaklık, akarsuya uzaklık ve jeolojik formasyondur.

Eğim, heyelan oluşumunun en önemli nedenlerinden biri olup topraktaki su içeriğini (yüzey ve yüzey altı), toprak oluşumunu ve erozyon potansiyelini etkilemektedir. Özellikle yerel ölçeklerde, nem konsantrasyonunu ve boşluk basıncı seviyesini etkilemektedir (Ayalew ve Yamagishi, 2005). Eğim artışına bağlı olarak heyelanların daha sık meydana gelme eğiliminde olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir (Poude ve Regmi, 2016). Baki şartları, iklimik ve dolayısıyla ayrışma özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Yamaçların aldığı güneş radyasyonunun farklılaşması heyelanı tetiklemektedir. Öte yandan pek çok fiziki coğrafya özelliklerini (zeminin su içeriği, bitki örtüsü, toprak vb.) etkileyerek heyelanı kontrol eden bir unsur olduğu da belirtilmektedir (Bozdoğan ve Canpolat, 2022). Eğrisellik, genellikle belirli bir yönde, eğim ve bakinin değişim oranı olarak tanımlanmaktadır (Wilson ve Gallant, 2000). Yüzey akışını kontrol etmesi açısından heyelan

oluşumları üzerinde etkisi bulunmaktadır. Eğrisellik analizlerinde sıfıra yakın değerler düz alanlara, pozitif değerler dış bükey alanlara, negatif değerler ise iç bükey alanlara karşılık gelmektedir (Pham vd., 2013). Topografya'daki farklı yükselti aralıklarının heyelan duyarlılığı üzerinde etkili olduğu ifade edilmektedir (Dai ve

Lee, 2002; Pourghasemi vd., 2012; Çellek, 2020). Çalışma alanındaki yükselti değerleri, 1776 m'den 2795 m'ye kadar değişmekte olup heyelan duyarlılık analizi için; 1776-1976, 1976-2176, 2176-2376, 2376-2576- 2576-2795 olacak şekilde 5 grupta kategorize edilmiştir.



Şekil 4: İş akış tablosu / Figure 4: Workflow chart.

Topografik Nemlilik İndeksi, genellikle mevsimsel veya kalıcı olarak suya doymuş zemin ile su akışının biriktiği alanları gösteren önemli bir parametredir. Bu nedenle, heyelanlı bir arazinin jeomorfolojik karmaşıklığını göstermesi konusunda önem arz etmektedir (Nefeslioęlu vd., 2011; Różycka vd., 2016). Bu kapsamda SAGA GIS kullanılarak TWI ortaya koyulmuştur.

Yağış özellikleri ile heyelan arasında sıkı bir ilişki bulunmaktadır. Yağışlı dönemde zemin suya doymuş hale gelmesi neticesinde sürtünmesinin azalmasına bağlı olarak heyelanı tetikleyen bir parametre olarak kabul edilmektedir (Erginal ve Bayrakdar, 2005).

Arazi örtüsü de heyelanların oluşumunda etkili olan faktörlerden birisidir. Genel olarak bakıldığında bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlar, tarımsal alanlar ve yerleşim alanları ile seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara oranla, heyelan oluşumundan daha az etkilendiği ifade edilmektedir. Ormanlık alanlar, özellikle ağaç kökleri tarafından sağlanan doğal destek

nedeniyle yağmur vb. gibi iklimsel etmenlerin etkisini azaltma eğilimindedir. Öte yandan bitki köklerinin gelişmesiyle geçirimsizliğin artması ve zemine su geçişini hızlandırmasına bağlı olarak yamaç dengesini bozduğu da ifade edilmektedir (Dahal vd., 2008).

Yol yapım çalışmaları sırasında oluşturulan yol yarmaları zeminde veya yamaçta bir süreksizlik yaratmaktadır. Yol açma-genişletme çalışmaları sonucu ortaya çıkan yol yarmaları suyun akışı için bir engel, kaynak ya da koridor görevi görmektedir. Bu bakımdan yol yarmalarının yamaçtaki konumuna göre heyelanı tetikleyici bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır (Ayalew ve Yamagishi, 2005).

Şevin akarsu ağlarına yakınlığı stabilite açısından bir diğer önemli faktördür. Akarsular, bir yamaç üzerindeki litolojinin suya doymuşluğunu ve stabilitesini etkilemektedir. Akarsular şevleri aşındırarak veya zeminin alt kısmının su seviyesini yükselterek stabiliteyi olumsuz etkileyebilmektedir (Yalcin, 2008).

Jeolojik zellikler heyelan duyarlılık çalışmalarında kullanılan önemli bir parametredir. Jeolojik zellikler, heyelan duyarlılık analizlerinin neredeyse tamamında girdi parametre olarak hesaba katılmıştır. Farklı formasyonlar farklı litolojiye, yapıya ve geçirgenliğe sahiptir ve bu da formasyon malzemelerinin duyarlılığını etkilemektedir (Hong vd., 2016). Fay hatları, heyelanın oluşması üzerinde etkili olan önemli parametrelerden birisidir. Fay hatlarına yakınlık kayalarda parçalanmaya neden olarak yamaçların duraylılığına olumsuz yönde etki edeceği belirtilmektedir (Ayalew ve Yamagishi, 2005; Gyawali vd., 2021).

3. BULGULAR

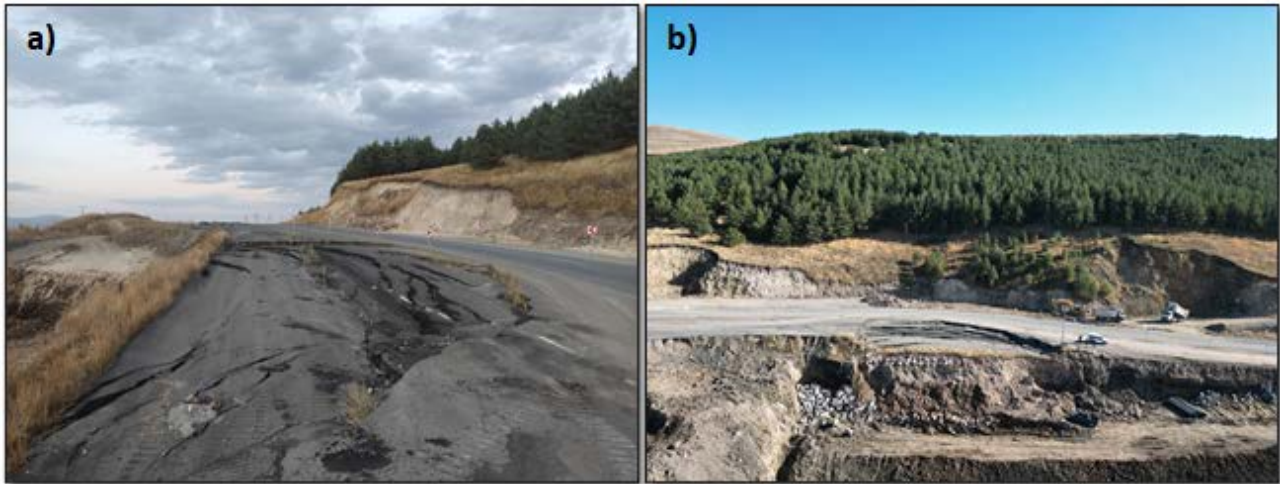
3.1. Ardahan – Göle Heyelanı ve evresinin Jeomorfolojik zellikleri

Ardahan depresyonu, alüvyal tabanlı tektonik bir depresyondur. Bu depresyon Alt Pliyosen'deki tektonik hareketler sonucunda yaklaşık 400 m çökmüştür ve depresyonu çevreleyen yamaçlarda fay diklikleri belirgin hale gelmiştir. ken depresyon, yüksek alanlardaki mevcut detritik malzemelerin akarsu ve yamaç süreçleriyle aşınmasıyla birlikte birikim sahası haline gelmiştir. Biriken malzemeler Kuvaterner'de meydana gelen epirojenik yükselme ile yarılmıştır. Depresyonun güney kesiminde Kura Nehri boyunca eğim çok az iken kuzey kesiminde ise birikinti konileri gelişmiş ve dalgalı bir görünüm ortaya çıkmıştır (Atalay ve Koçman, 1979; Koçman, 1979).

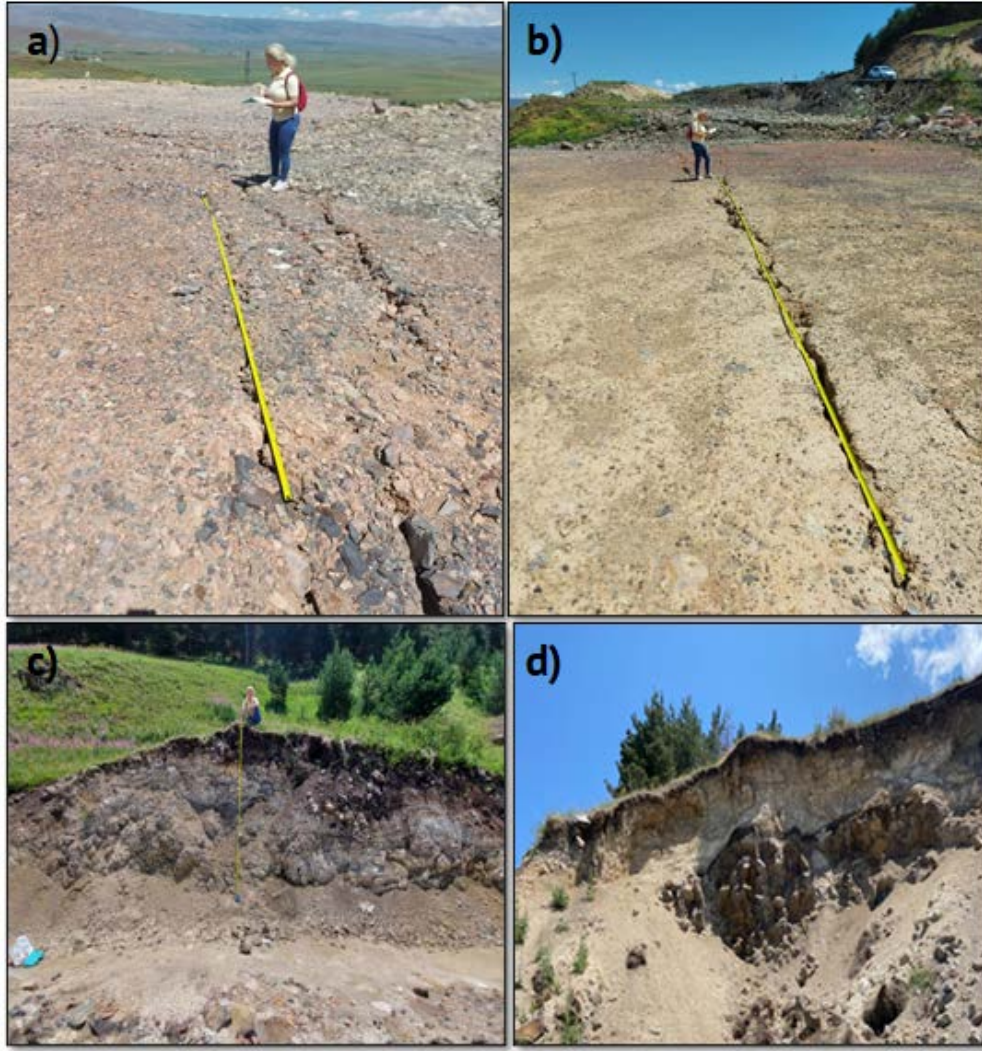
Ardahan – Göle Heyelanı (şekil 5); Ardahan depresyonu güney kesiminde, depresyonu çevreleyen plato sahasına ait yamaçlar üzerinde yer almaktadır. Heyelan, bu yamaçlar üzerinde yol açma çalışmaları sonucu oluşturulan karayolu dolgusunda gerçekleşmiştir. Ardahan – Göle Heyelanı, Varnes (1978)'ın kütlenin sınıflamasına göre rotasyonel kayma tipinin özelliklerini yansıtmaktadır. Heyelanın ta kısmında yükselti 1838 m, heyelan tacının en geniş yeri 43 m ve heyelan aynasının uzunluğu 66,5 m'dir. Heyelana ait diğer morfometrik veriler, heyelanın topuk ve gövdesinin bir kısmı devam eden karayolu yapım çalışmaları kapsamında tesfiye edilerek ortadan kaldırılması dolayısıyla hesaplanamamıştır (şekil 7). Karayolundaki asfalt yüzeyler dışında karayolu dolgusunda heyelanla birlikte oluşan 20.3, 10.5, 9.58, 8.59, 7.9, 5.9, 4.6, 3.7, 3.6 ve 3 m olmak üzere çeşitli uzunlukta gerilme çatlaklar ölçülmüştür (şekil 6, a, b).

3.2. Yol Yapım alışmaları

Ülkemizde karayolunda meydana gelen veya yol yapımının tetiklediği heyelanların sayısı giderek artmaktadır (Ertek vd., 1993; Yılmaz ve Karacan, 2002; Erginal ve Bayrakdar, 2006; Ataol ve Yeşilyurt, 2014; Parlak, 2020; Nurduhan ve Tağa, 2023). Doğal eğim dengesini bozması ve heyelanı tetikleme açısından yol yapım çalışmalarının, 6 Mw zerindeki depremlerle karşılaştırılabilir seviyede olduğu ifade edilmektedir (Tanyaş vd., 2022). Bu bakımdan karayolu yapımının tetiklediği kütlenin hareketlerinin araştırılması büyük önem arz etmektedir.



şekil 5: (a) Ardahan – Göle Heyelanı ve (b) İHA görüntüsü / **Figure 5:** (a) Ardahan – Göle Landslide and (b) drone image.

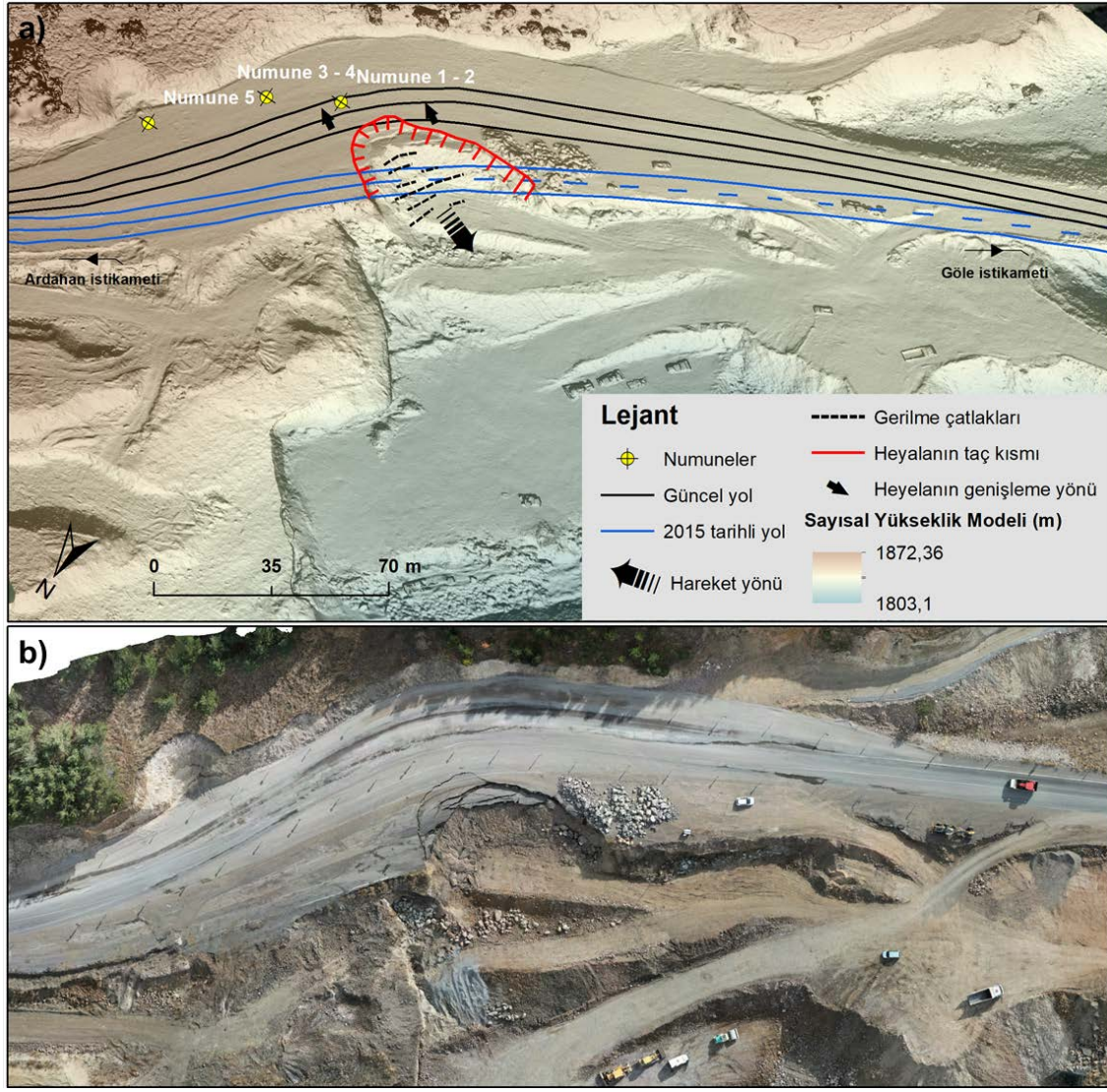


Şekil 6: (a, b) Şerit metre ile çatlak ölçümü (c, d) numune alınan kopma yüzeyleri / **Figure 6:** (a, b) Measurement of cracks with tape line (c, d) rupture surfaces sampled.

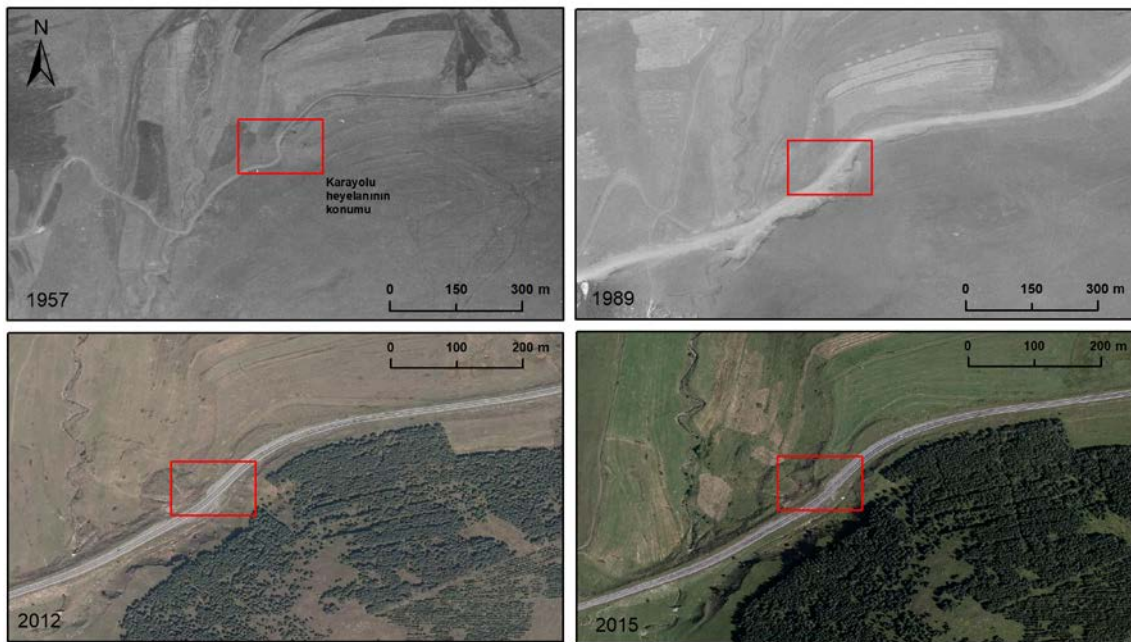
Ardahan – Göle karayolu, Ardahan il merkezi ve buna bağlı ilçeleri birbirine bağlamasının yanısıra bölge ticareti ve ekonomi açısından Ardahan'ı Erzurum'a bağlayan önemli bir ulaşım aksını oluşturmaktadır. Ardahan – Göle karayolunu kullanan yıllık ortalama günlük araç sayısı 1965'dir (Url-2, 2023). Bu kapsamda Ardahan - Göle arasındaki karayolunun 41 km'lik bölümü çift şeritli yol (bölünmüş yol) olarak projelendirilmiş ve 31.01.2017 tarihinde inşasına başlaması planlanmıştır. Ardahan-Göle karayolunun 8. km'sinde meydana gelen heyelan nedeniyle karayolu yapımı henüz tamamlanamamıştır. Akabinde 2021 başlama, 2022 bitiş tarihli "Göle – Ardahan Heyelan Islahı" projesi kapsamında bölgede çalışmalar devam etmektedir (Url-1, 2023; Url-2, 2023).

Heyelan sahasına ait 1957 ve 1989 tarihli hava fotoğrafları ile 2012 ve 2015 tarihli ortofoto görüntülerine bakıldığında yol hattı boyunca

çeşitli iyileştirmeler yapılmakla beraber ulaşımın uzun yıllar boyunca tek şeritli yol üzerinden sağlandığı anlaşılmaktadır (Şekil 8). Ardahan-Göle karayolunun çift şeritli olarak inşa edilme süreci kapsamında gerçekleştirilen yol açma-genişletme çalışmaları devam etmektedir (Şekil 9). Çalışma alanında tespit edilmiş fosil ve aktif heyelan bulunmaktadır (Url-3, 2023). Karayolu açma-genişletme çalışmaları esnasında mevcut heyelanlar gözardı edilerek çalışmaların devam ettiği gözlemlenmiştir. Yol istikameti boyunca mevcut şevlerin duraylılığı koruma veya sağlamlaştırmak için herhangi bir çalışma bulunmazken aksine yol genişletme çalışmaları kapsamında mevcut şevler, yamaca doğru daha yüksek eğimlerle geriletmiştir. 2015 ve 2023 yılı karayolu çizgilerinin değişimine bakıldığında 2023 yılı itibariyle yolun 23 m yamaç yönüne doğru ilerletildiği tespit edilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7: (a) Ardahan - Göle karayolu heyelanı haritası ve (b) ortofoto görüntüsü / **Figure 7:** (a) Ardahan - Göle highway landslide map and (b) orthophoto image.



Şekil 8: Karayolu heyelanına ait eski tarihli hava fotoğrafları ve ortofoto görüntüleri / **Figure 8:** Historical aerial photographs and orthophoto images of the highway landslide.



Şekil 9: Ardahan - Göle karayoluna ait panoramik İHA görüntüsü / **Figure 9:** Panoramic unmanned aerial vehicle (UAV) view of Ardahan - Göle highway.

3.3. XRD Analizleri

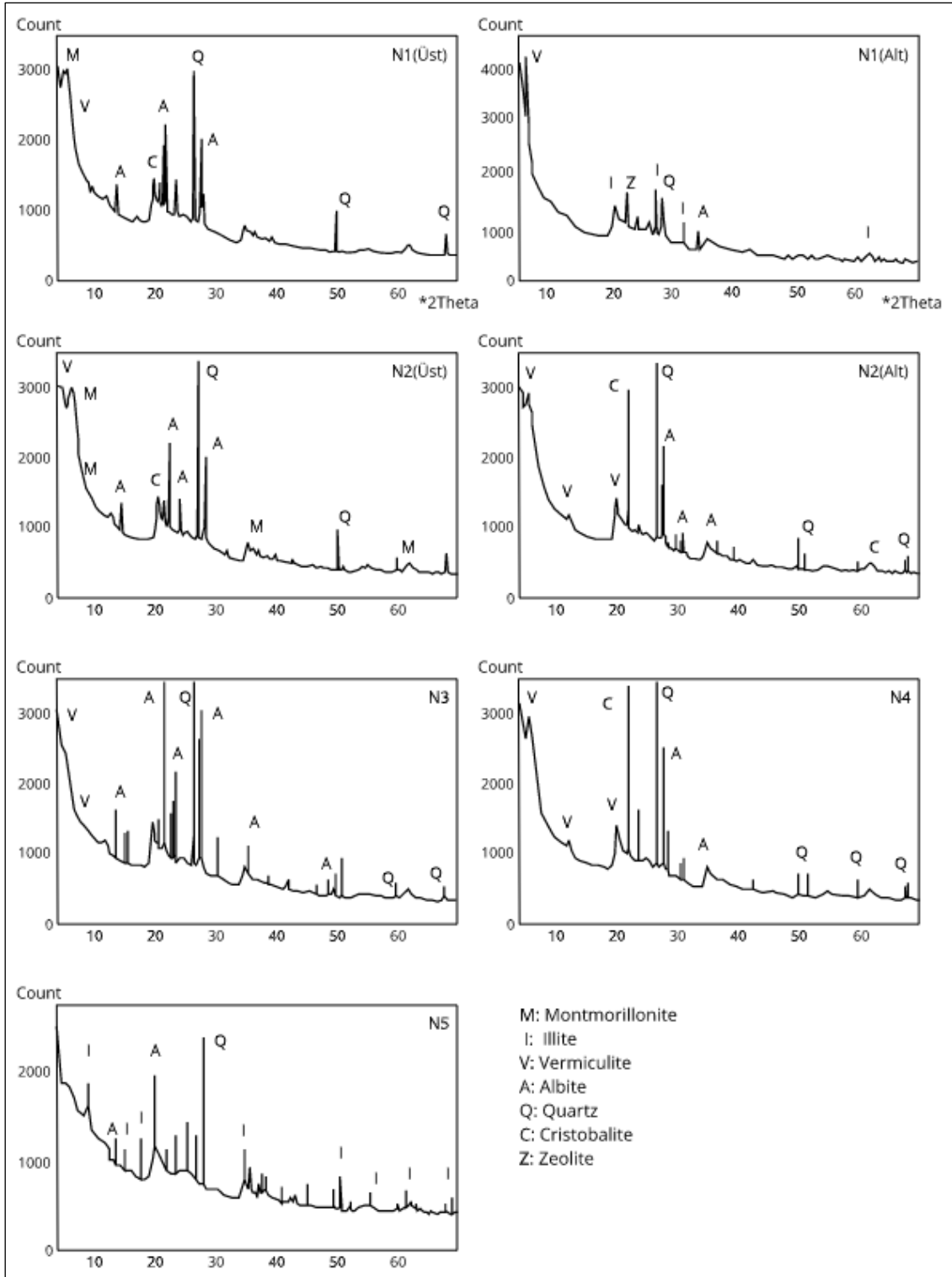
Ardahan - Göle heyelanı çevresinde kopma yüzeylerinde üç farklı lokasyondan beş adet numune alınmıştır (Şekil 5, c, d; Şekil 6). XRD analizlerinden elde edilen sonuçlara göre; İllit, Albit, Montmorillonit, Vermikülit, Kristobalit, Kuvars ve Zeolit mineralleri belli oranlarda kayma yüzeyi bileşiminde yer almaktadır. Plajiyoklaz Feldspat grubuna ait olan albit minerali alınan tüm numunelerde baskın mineral olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu durum bölgede magmatik kayaların yaygın olmasının doğal bir sonucudur. Montmorillonit, illit ve vermikülit gibi kil mineralleri birlikte ele alındığında ise oransal olarak yüksek değerlere ulaşmaktadır (Tablo 1; Şekil 10).

Montmorillonitler arasındaki bağ zayıf ve kation değişim kapasiteleri (80-150 cmol/kg^a) çok yüksek olduğundan bünyelerine yüksek oranda su alır ve şişerek hacimsel olarak genişlerler. Montmorillonit suyla temas ettiklerinde şişme potansiyelleri daha yüksek oldukları için bu durum boşluk basıncını da arttırmaktadır. İllitler ise strüktür olarak

montmorillonitlere benzer özellik gösterse de bazı farklılıklar içermektedir. İllitlerin kation değişim kapasitesi çok yüksek olmadığından montmorillonitler kadar şişme-büzülme ve plastisite özelliği göstermezler. Öte yandan tabakalar arası bağı orta derecede olan vermikülitler 100-150 cmol/kg^a kation değişim kapasitesine sahiptir. Bünyesine su alıp şişme özelliği gösteren vermikülitler de montmorillonitler kadar plastisite özellikleri yüksek değildir. Bu bağlamda smektit olarak da bilinen montmorillonitler, illit ve vermikülit minerallerinin olduğu zeminler bünyelerine su alıp bünyelerindeki nem içeriklerine göre şişme-büzülme gibi davranışları gösterirler. Bünyesine su alabilen farklı kil minerallerinin bir arada olması kayma mukavemetini azaltmaktadır. Dolayısıyla Ardahan - Göle heyelanı çevresinden alınan numunelerin XRD sonuçlarına göre; antropojenik müdahalelerin yanısıra kayma yüzeyi gereçlerinin jeokimyasal yapısı heyelanın tetiklenmesinde etkili olduğu düşünülmektedir (Mater, 1998; Erginal vd., 2009; Regmi vd., 2013; Atalay, 2016; Türkeş vd., 2011; Ahmed vd., 2021).

Tablo 1: Kopma yüzeylerinden alınan numunelerin kimyasal bileşimi ve göreceli oranları / **Table 1:** Chemical composition and relative ratios of samples taken from rupture surfaces.

Numune 1 (Üst)	Albit %28	Montmorillonit %27,4	Vermikülit %17,8	Kristobalit %15,3	Kuvars %11,5
Numune 1 (Alt)	Illit %41,6	Vermikülit %30,1	Albit %17,9	Kuvars %8,8	Zeolit %1,6
Numune 2 (Üst)	Albit %29,2	Montmorillonit %22,9	Vermikülit %20,9	Kristobalit %15,8	Kuvars %11,1
Numune 2 (Alt)	Albit %41,2	Vermikülit %40	Kuvars %10,7	Kristobalit %8,2	
Numune 3	Albit %49,6	Vermikülit %32,5	Kuvars %17,9		
Numune 4	Vermikülit %48	Albit %32,9	Kuvars %10,9	Kristobalit %8,3	
Numune 5	Illit %74,5	Albit %16,4	Kuvars %9,1		



Şekil 10: Numunelere ait XRD analiz sonuçları / Figure 10: XRD analysis results of samples.

3.4. Heyelan Duyarlılık Analizi

Çalışma sahasında yamaç duraylılığı etkilemesi muhtemel antropojenik süreçlerin gelişmesi ve zeminin jeokimyasal yapısı değerlendirildiğinde bölgede yeni heyelanların gerçekleşmesi olasıdır. Bu nedenle Ardahan-Göle karayolu üzerinde yaklaşık 47 km'lik bir hat boyunca 4 km'lik bir tampon oluşturularak heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Heyelan duyarlılığının analiz edilmesinde FR yöntemi

kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinde literatürde en fazla kullanılan parametrelerden eğim, baki, yükselti, eğrisellik, yola uzaklık, faya uzaklık, akarsuya uzaklık, jeolojik formasyon, arazi örtüsü, topografik nemlilik indeksi ve yağış olmak üzere seçilen 11 parametre bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. Bu parametreler FO yönteminin uygulanması için Şekil 11'de gösterildiği gibi ArcGIS ortamında yeniden sınıflandırılmıştır (Şekil 11).

Yeniden sınıflandırılmış parametreler ile heyelan envanteri CBS ortamında ilişkilendirilerek öncelikle Denklem 1’de a ve b katsayılarına karşılık gelen parametre sınıflarında “heyelanlı piksel sayısının toplam heyelanlı piksel sayısına oranı” ve “parametre sınıflarında piksel sayısının toplam piksel sayısına oranı” hesaplanmış ve bu oranlardan FO (a/b) değerleri elde edilmiştir. Çalışma alanındaki heyelanlar, seçilen parametreler bakımından incelenecek olursa; eğim parametresinde 10°-20° sınıf aralığı, bakı parametresinde kuzeybatı yünü, yükselti

parametresinde 2176-2376 m aralığı, eğrisellik parametresinde içbükey, yola uzaklıkta 0-500 m aralığı, faya uzaklıkta 500-1000 m aralığı, akarsuya uzaklık parametresinde 0-250 m aralığı, jeolojik formasyon parametresinde andezit anakayası, arazi örtüsü parametresinde mera sınıfı, topografik nemlilik indeksi parametresinde 8,00-9,20 aralığı ve yağış parametresinde 607-657 mm aralığı heyelanların en yoğun olarak görüldüğü (frekans oranı en yüksek) sınıflar olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

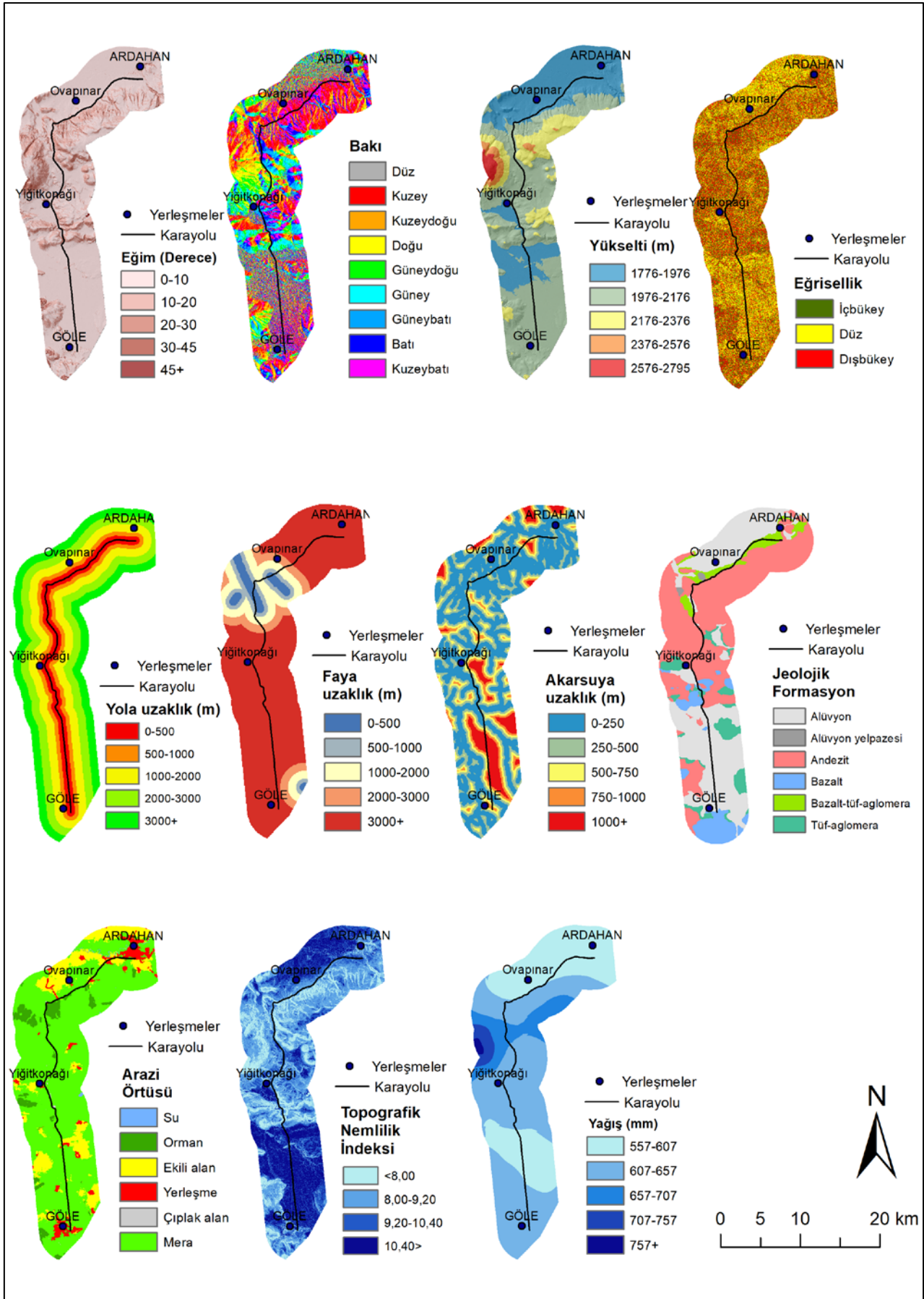
Tablo 2: Heyelan duyarlılık haritası için kullanılan parametreler ve frekans oranları / **Table 2:** Parameters and frequency ratios used for landslide susceptibility map.

Veri Katmanı	Sınıf	Piksel Değeri	Piksel Değeri (%)	Heyelan İçeren Piksel	Heyelan İçeren Piksel (%)	FR	RF	RF (%)	PR
Slope (Derece)	0-10	15110636	76.68	72075	65.24	0.005	0.221	22.13	
	10-20	3542175	17.97	34172	30.93	0.010	0.448	44.76	
	20-30	845733	4.29	3750	3.39	0.004	0.206	20.57	
	30-45	175864	0.89	475	0.43	0.003	0.125	12.53	
	45+	32643	0.17	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
Toplam		19707051	100.00	110472	100.00	0.022			5.35
Bakı	Düz (-1)	888	0.00	3	0.00	0.003	0.084	8.40	
	Kuzey (0-22.5 ve 337.5-360)	4089114	20.75	38278	34.65	0.009	0.233	23.28	
	Kuzeydoğu (22.5-67.5)	2739987	13.90	16809	15.22	0.006	0.153	15.26	
	Doğu (67.5-112.5)	2238502	11.36	4839	4.38	0.002	0.054	5.38	
	Güneydoğu (112.5-157.5)	1860470	9.44	458	0.41	0.000	0.006	0.61	
	Güney (157.5-202.5)	1929599	9.79	307	0.28	0.000	0.004	0.40	
	Güneybatı (202.5-247.5)	1707593	8.66	1285	1.16	0.001	0.019	1.87	
	Batı (247.5-292.5)	2211351	11.22	13208	11.96	0.006	0.149	14.85	
Kuzeybatı (292.5-337.5)	2929547	14.87	35285	31.94	0.012	0.300	29.95		
Toplam		19707051	100.00	110472	100.00	0.040			3.54
Yükselti (m)	1776-1976	7039329	35.68	24793	22.44	0.004	0.145	14.50	
	1976-2176	9828076	49.81	51200	46.35	0.005	0.215	21.45	
	2176-2376	2217116	11.24	34479	31.21	0.016	0.640	64.04	
	2376-2576	401777	2.04	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	2576-2795	243468	1.23	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
Toplam		19729766	100.00	110472	100.00	0.024			7.66
Eğrisellik	İçbükey	6459067	32,74	43215	39,12	0,007	0,39559	39,56	
	Düz	6866525	34,80	26603	24,08	0,004	0,229073	22,91	
	Dışbükey	6404174	32,46	40654	36,80	0,006	0,375337	37,53	
Toplam		19729766	100,00	110472	100,00	0,02		100,00	1.00
Yola uzaklık (m)	0-500	1873655	12.56	19561	17.71	0.010	0.514	51.40	
	500-1000	1787449	11.98	13257	12.00	0.007	0.365	36.51	
	1000-2000	3833870	25.69	38019	34.42	0.010	0.488	48.82	
	2000-3000	3818072	25.59	38632	34.97	0.010	0.498	49.81	
	3000+	3608482	24.18	1003	0.91	0.000	0.014	1.37	
Toplam		14921528	100.00	110472	100.00	0.020		100.00	5.98

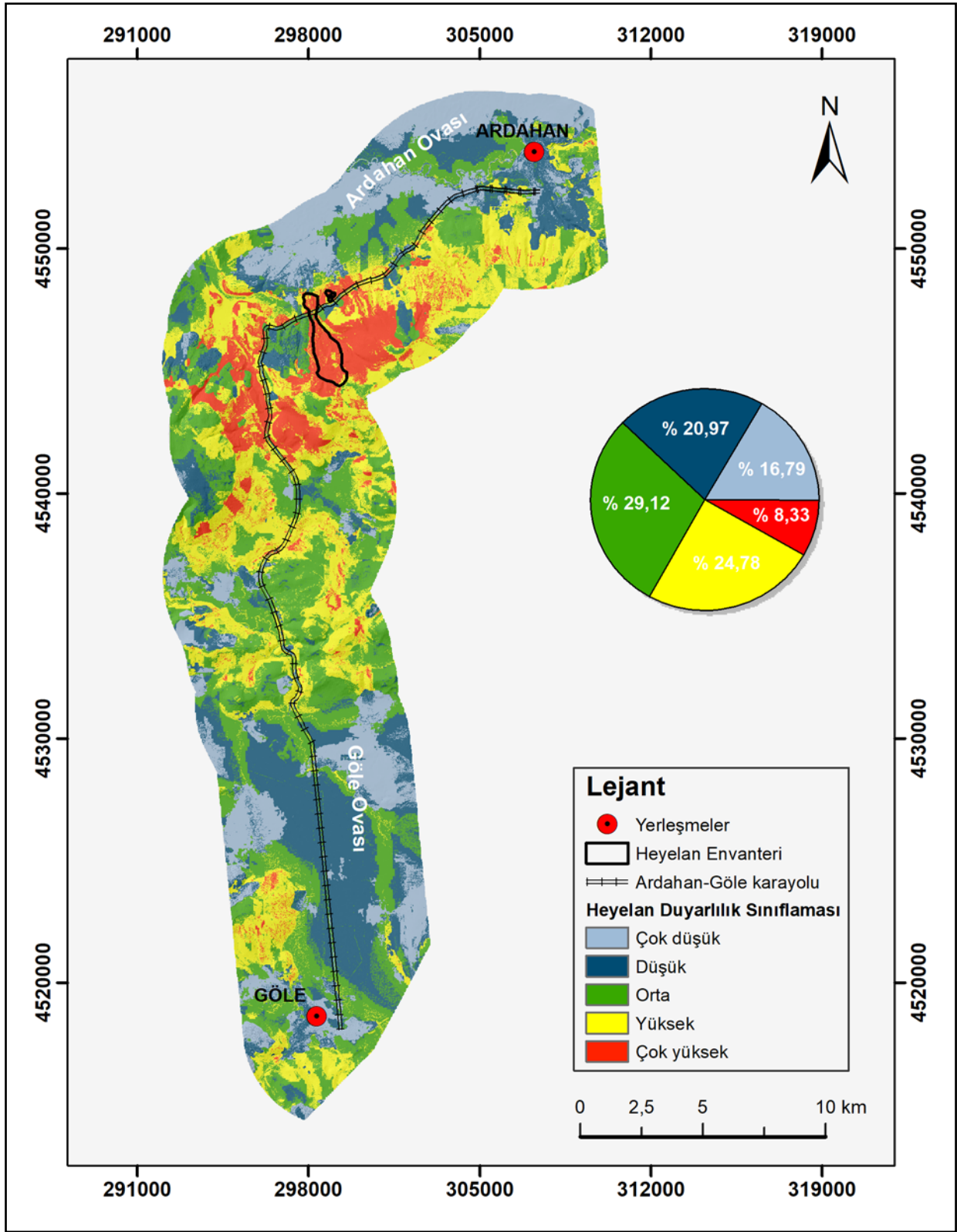
Faya uzaklık (m)	0-500	568375	3.81	29532	26.73	0.052	0.377	37.68	
	500-1000	716499	4.80	43450	39.33	0.061	0.440	43.98	
	1000-2000	1482621	9.94	37490	33.94	0.025	0.183	18.34	
	2000-3000	1150042	7.71	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	3000+	11003991	73.75	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
Toplam		14921528	100.00	110472	100.00	0.138		100.00	5.26
Akarsuya uzaklık (m)	0-250	7326413	49.10	91950	83.23	0.013	0.684	68.38	
	250-500	3629167	24.32	16042	14.52	0.004	0.241	24.08	
	500-750	1792763	12.01	2480	2.24	0.001	0.075	7.54	
	750-1000	1016470	6.81	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	1000+	1156715	7.75	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
Toplam		14921528	100.00	110472	100.00	0.018		100.00	8.18
Jeolojik Formasyon	Alüvyon	5876639	37.18	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	Bazalt	1142210	7.23	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	Bazalt-Tüf-Aglomera	667630	4.22	16550	14.98	0.025	0.547	54.69	
	Andezit	7071792	44.75	93489	84.63	0.013	0.292	29.17	
	Alüvyon Yelpazesi	59182	0.37	433	0.39	0.007	0.161	16.14	
	Tüf-Aglomera	986437	6.24	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
Toplam		15803890	100.00	110472	100.00	0.045		100.00	6.54
Arazi kullanımı	Su	37236	0.25	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	Ormanlık alan	689780	4.62	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	Ekili alan	2219334	14.88	1304	1.18	0.001	0.055	5.48	
	Yerleşme	792472	5.31	262	0.24	0.000	0.031	3.08	
	Çıplak alan	27972	0.19	1	0.00	0.000	0.003	0.33	
	Mera	11151955	74.75	108905	98.58	0.010	0.911	91.10	
Toplam		14918749	100.00	110472	100.00	0.011		100.00	10.90
Topografik Nemlilik İndeksi	<8,00	2644558	17.73	26097	23.62	0.010	0.371	37.13	
	8,00-9,20	5322606	35.68	75957	68.76	0.014	0.537	53.69	
	9,20-10,40	3445632	23.10	8001	7.24	0.002	0.087	8.74	
	10,40>	3506276	23.50	417	0.38	0.000	0.004	0.45	
Toplam		14919072	100.00	110472	100.00	0.027		100.00	6.37
Yağış (mm)	557-607	5388390	36.12	19759	17.89	0.004	0.157	15.65	
	607-657	7684506	51.51	76757	69.48	0.010	0.426	42.64	
	657-707	1428283	9.57	13956	12.63	0.010	0.417	41.71	
	707-757	346660	2.32	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
	757+	71233	0.48	0	0.00	0.000	0.000	0.00	
Toplam		14919072	100.00	110472	100.00	0.023		100.00	5.10

Son aşamada parametrelere ait FO değerleri hesaplandıktan sonra ArcGIS 10.8 yazılımında yer alan "Map Algebra>Raster Calculater" işlemi kullanılarak çakıştırma yapılmış ve heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Heyelan üzerinde etkili olan 11 farklı parametre kullanılarak üretilen duyarlılık haritası; "çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek" derecede duyarlı alanları temsil edecek şekilde manuel sınıflama yöntemi ile 5 sınıfa ayrılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasına göre; çok düşük ve düşük

duyarlı alanlar sırasıyla % 16,79 ve % 20,97'lik bir alan kaplamakta olup büyük çoğunlukla Ardahan ve Göle ovalarının bulunduğu alanlara karşılık gelmektedir. Öte yandan orta ve yüksek duyarlı alanların oranları sırasıyla % 29,12 ile %24,78 olarak hesaplanmıştır. Çok yüksek duyarlılığa sahip alanlar ise %8,33'lük alan kaplamakta olup heyelan envanter verisine karşılık gelmesi bakımından analizin sonuçlarını doğrular nitelikte olduğu tespit edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 11: Heyelan duyarlılık haritasında kullanılan parametreler / **Figure 11:** Parameters used in the landslide susceptibility map.



Şekil 12: Heyelan duyarlılık haritası / Figure 12: Landslide susceptibility map.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ardahan-Göle karayolunun 8. km'sinde meydana gelen heyelan, çalışma kapsamında Ardahan-Göle heyelanı olarak adlandırılmıştır. Tek şeritli yol üzerinden ulaşımı sağlanan

Ardahan - Göle yolunun 2017 yılı itibariyle çift şeritli (bölünmüş yol) olarak projelendirilmesi ile bölgede antropojenik süreçler yoğunlaşmıştır. Çift şeritli yol yapımı güzergahı projelendirilirken bölgedeki mevcut heyelanlar gözardı edilmiştir. Hatalı bir projelendirmenin

ürünü olarak karayolu üzerinde heyelan gerçekleşmiş ve ülke ekonomisi adına kayıplara neden olmuştur.

Karayolu güzergahı oluşturma, tasarım ve projelendirme süreçlerinde jeomorfolojik etüt, analiz ve haritalama çalışmalarının yapılması, tehlike ve risklerin azaltılması ve sürdürülebilir kullanım sağlaması bakımından katkılar sağlayacaktır.

XRD analizinden elde edilen sonuçlara göre bünyelerine su alıp şişme özelliği gösteren farklı türdeki kil minerallerinin yüksek oranlarda mevcut olması ve yol açma-geyişletme çalışmaları sonucu killi litolojileri daha hassas hale getirilmesi heyelanın gelişiminde rol oynamıştır.

Karayolu dolgularının yüksek eğimli şevlerle oluşturulması, yamaçlardan gelen yüzey sularını drene edecek karayolu hendeklerinin olmayışı ve mevcut karayolunun 2015 yılı karayoluna güzergahına göre yamaca doğru yüksek eğimle 23 m ilerletilmesi heyelanı tetikleyen unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Ardahan – Göle karayolunu sıklıkla kullanan tırlar başta olmak üzere karayolu araçlarının yarattığı titreşim (vibrasyon), çalışma sahasında mevcut yanlış mühendislik uygulamaları ve doğal süreçler dikkate alındığı çalışma sahasında yeni heyelanların meydana gelmesi muhtemel gözükmemektedir. Bu nedenle; karayolu dolgusu ve yol yarmasındaki yüksek eğimli şevlerin yatıklaştırılması ve kademelendirilmesi, şev topuğunu güçlendirme çalışmaları ve yüzey sularını drene etmek için drenaj kanallarının yapılması, çalışma sahasında gerçekleşmesi muhtemel heyelanların riskinin azaltılması amacıyla uygulanması önerilmektedir. Aynı zamanda karayolu heyelanı dışında çalışma sahasındaki aktif heyelan da göz önüne alındığında heyelan uyarı ve izleme sistemlerinin kurulması meydana gelecek can ve mal kayıplarının önlenmesi açısından uygulanması gerekli bir yöntemdir.

Sahada mevcut antropojenik ve doğal süreçlerin heyelana neden olma potansiyelleri göz önüne alınarak heyelan duyarlılık analizi yapılmıştır. Yüksek ve çok yüksek duyarlılığa sahip alanlar toplamda %33,11'lik bir alan kaplamaktadır. Üretilen heyelan duyarlılık haritası, planlama

süreçlerinde karar vericilere için yol göstermesi bakımından önem arz etmektedir.

KAYNAKÇA

- Ahmed, K. S., Basharat, M., Riaz, M. T., Sarfraz, Y. ve Shahzad, A. (2021). Geotechnical investigation and landslide susceptibility assessment along the Neelum road: a case study from Lesser Himalayas, Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(11). Doi:10.1007/s12517-021-07396-6
- Atalay, İ. (2016). Toprak Oluşumu, Sınıflandırılması ve Coğrafyası, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, İzmir.
- Atalay, İ. ve Koçman, A., (1979). Kuzey Anadolu'nun jeotektonik ve morfotektonik ana çizgileri: *Jeomorfoloji Dergisi*, S. 41 - 75.
- Ataol, M. & Yeşilyurt, S. (2014). ankiri-Ankara Karayolu Boyunca (Akyurt-Çankırı Arası) Heyelan Risk Bölgelerinin Belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 0 (29), 51-69. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/iucografya/issue/25074/264646>
- Ayalew, L. & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65(1-2), 15-31. doi: 10.1016/J.GEOMORPH.2004.06.010
- Bozdoğan, M. & Canpolat, E. (2022). Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) İle Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın Kütle Hareketleri Duyarlılık Analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(1), 33-53. doi:10.51800/ecd.1054815
- ellek, S. 2020. Morphological parameters causing landslides: A case study of elevation. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration* 162, 199-227. <https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.649758>
- Chen, W., Chai, H., Sun, X., Wang, Q., Ding, X., & Hong, H. (2016). A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2150-7>
- Dahal, R. K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Masuda, T. ve Nishino, K. (2008). GIS-based weights-of-evidence modelling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping. *Environmental Geology*, 54(2), 311-324. doi:10.1007/s00254-007-0818-3

- Dai, F. C. & Lee, C. F. (2002). Landslide characteristics and slope instability modeling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Geomorphology*, 42(3-4), 213-228. doi:10.1016/S0169-555X(01)00087-3
- Demirtaş, R. Penirci, O. & Uğraş, M. (2012). Ardahan ili, Hanak ilçesi, Sevimli Köyü Kura nehri üzerine kurulacak olan hidroelektrik santraline (HES) ait Jeoloji Araştırma Raporu, Ankara. <https://www.researchgate.net/publication/331811125>
- Deniz, O. & Sındır, R. (2001). Çayırbaşı Heyelanı/Çayırbaşı Landslide. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 7 (5). Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniddc/issue/2448/31074>
- Dhaka, S., Peng, C., Rijal, P. R., Su, L., Mavrouli, O., Wu, C. (2020). Landslide characteristics and its impact on tourism for two roadside towns along the Kathmandu Kyirong Highway. *Journal of Mountain Science*, 17(8). <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5871-3>.
- Erginal, A. E., Öztürk, B., Ekinci, Y. L., & Demirci, A. (2009). Investigation of the nature of slip surface using geochemical analyses and 2-D electrical resistivity tomography: a case study from Lapseki area, NW Turkey. *Environmental geology*, 58, 1167-1175. <https://doi.org/10.1007/s00254-008-1594-4>
- Erginal, E. A. & Bayrakdar, C. (2005). Karayolu Heyelanına bir örnek: İncecik Heyelanı (Tekirdağ), İstanbul Coğrafya Dergisi, 14, 43-53. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25063/264592>
- Ertek, T. A. & Erginal, A. E. (2005). Anthropogenetically Triggered Landslide Factors of the Varyant Landslide Area at Büyükçekmece, NW Turkey, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 3. DOI: 10.1127/zfg/50/2006/177
- Ertek, T., Turoğlu, H. & Mater, B. (1993). Çiftlik heyelanı (Sinop), *Türk Coğrafya Dergisi*, 0 (28), 181-188. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tcd/issue/21259/228199>
- ESRI, (2022). Esri Land Cover. 6 Nisan 2023 tarihinde <https://livingatlas.arcgis.com/landcoverexplorer/#mapCenter=-77.54%2C38.951%2C11&mode=step&timeExtent=2017%2C2022&year=2022> adresinden erişildi.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Nefeslioğlu, H. A., Duman, T. Y., & Can, T. (2005). The 17 March 2005 Kuzulu landslide (Sivas, Turkey) and landslide-susceptibility map of its near vicinity. *Engineering Geology*, 81(1), 65-83. <https://doi.org/10.1016/J.ENGGEOL.2005.07.011>
- Gyawali, P., Aryal, Y. M., Tiwari, A., Prajwol, C. K. & Ansari, K. (2021). Landslide Susceptibility Assessment Using Bivariate Statistical Methods: A Case Study of Gulmi District, western Nepal. *VW Engineering International*, 3(2), 29-40.
- Highland, L.M. & Bobrowsky, P. (2008). The landslide handbook—A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 p.
- Himan, S., Saeed, K., Baharin, A. & Mazlan, H. (2014). Landslide susceptibility mapping at central Zab basin, Iran: A comparison between analytical hierarchy process, frequency ratio and logistic regression models. *Catena*, 115, 55-70. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2013.11.014>
- Hong, H., Naghibi, S. A., Pourghasemi, H. R., & Pradhan, B. (2016). GIS-based landslide spatial modeling in Ganzhou City, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 9, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2094-y>
- Kjekstad, O. & Highland, L. (2009). Economic and Social Impacts of Landslides. In: Sassa, K., Canuti, P. (eds) *Landslides – Disaster Risk Reduction*. Springer, pp 573-587, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-69970-5_30
- Koçman, A. (1979). Yukarı Kura Nehri Havzası'nın Fiziksel Coğrafyası. (Doktora Tezi). Atatürk Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Erzurum.
- Köppen, W. & Geiger, R. (1954). *Klima der Erde (Climate of the earth)*. Wall Map 1:16 Mill. Klett-Perthes, Gotha.
- Lee, S. (2005). Application of logistic regression model and its validation for landslide susceptibility mapping using GIS and remote sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 26(7), 1477-1491. doi:10.1080/01431160412331331012.
- Lee, S., & Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4(1), 33-41. <https://doi.org/10.1007/s10346-006-0047-y>
- Lee, S., & Talib, J. A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*, 47, 982-990. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1228-z>
- Mater, B. (1998). *Toprak Coğrafyası, Çantay Kitabevi, İstanbul*.
- MGM, (2020). Ardahan Uzun Yıllar Tüm Parametreler Bülteni, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MGM, (2022). Ardahan Uzun Yıllar Yağış Verisi, Meteoroloji Müdürlüğü, Ardahan.

- MTA, (2012). MadenTeknik ve Arama Genel Mdrlg, 1/25.000 F49d3, F49c4, G49a21, G49a2, G49a4, G49a3 Jeoloji Paftaları. <https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/25bas>
- Nefeslioğlu, H. A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., & Gorum, T. (2011). Medium-scale hazard mapping for shallow landslide initiation: the Buyukkoy catchment area (Cayeli, Rize, Turkey). *Landslides*, 8, 459-483. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0267-7>
- Nurduhan, M. & Taga, H. (2023). Silifke-Mut (Mersin) Karayolunda Meydana Gelen Kargıcak Heyelanının Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mhendisliği Dergisi*, 46 (2), 139-156. DOI: 10.24232/jmd.1230612.
- OSM, (2023). Open Street Map 12 Mart 2023 tarihinde <https://www.openstreetmap.org/export#map=11/40.9747/42.6881> adresinden erişildi.
- zdemir, A., & Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.12.014>
- zşahin, E. (2013). Kütle Hareketleri ve Türkiye. Prof. Dr. Asaf Koçman'a Armağan, (Editör: Prof. Dr. Ertuğ NER), Ege Üniversitesi Yayınları Edebiyat Fakültesi Yayın No: 180, s.: 225-249, İzmir. https://www.academia.edu/4104156/K%C3%BCtle_Hareketleri_ve_T%C3%BCrkiye
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G. & Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger İklım Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklım Tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27. DOI: 10.26650/JGEOG295515
- Parlak, M. (2020). Karayolu Kenarındaki Heyelan Bölgesinin Bazı Toprak zelliklerinin Belirlenmesi: Lapseki-şevketiye (Çanakkale) rnek Çalışması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 282 - 287. Doi: 10.21324/dacd.583025
- Pham, B. T., Prakash, I., Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R. & Fatemi Aghda, S. M. (2013). Landslide susceptibility mapping by binary logistic regression, analytical hierarchy process, and statistical index models and assessment of their performances. *Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards*, 69(1), 749–779. doi:10.1007/S11069-013-0728-5
- Poudel, K., & Regmi, A. D. (2016). Landslide susceptibility mapping along Tulsipur-Kapurkot road section and its surrounding region using bivariate statistical model. *Journal of Nepal Geological Society*, 50(1), 83–93. <https://doi.org/10.3126/jngs.v50i1.22868>
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C. (2012). Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Natural Hazards*, 63(2), 965–996. <https://doi.org/10.1007/S11069-012-0217-2>
- Regmi, A. D., Yoshida, K., Dhital, M. R. & Devkota, K. (2013). Effect of rock weathering, clay mineralogy, and geological structures in the formation of large landslide, a case study from Dumre Besei landslide, Lesser Himalaya Nepal. *Landslides*, 10(1), 1–13. doi:10.1007/s10346-011-0311-7
- Rzycka, M., Migoń, P. & Michniewicz, A. (2016). Topographic Wetness Index and Terrain Ruggedness Index in geomorphic characterisation of landslide terrains, on examples from the Sudetes, SW Poland. *Zeitschrift fr Geomorphologie*, 61(2). doi:10.1127/zfg_suppl/2016/0328
- Sarker, A.A. & Rashid, M.A.K.M., 2013. Landslide and Flashflood in Bangladesh. In: Shaw, R., Mallick, F., Islam, A. (Eds). *Disaster Risk Reduction Approaches in Bangladesh*. Springer Science and Business Media. Chapter 8, pp. 165- 191. https://doi.org/10.1007/978-4-431-54252-0_8
- Schreiber, P. (1904). *Über die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserfu hrung der Flsse in Mitteleuropa*. Meteor., 21.
- Shano, L., Raghuvanshi, T. K., & Meten, M. (2020). Landslide susceptibility evaluation and hazard zonation techniques–a review. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 1-19. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00152-0>
- Tanyaş, H., Grm, T., Kirschbaum, D., & Lombardo, L. (2022). Could road constructions be more hazardous than an earthquake in terms of mass movement? *Natural hazards*, 112(1), 639-663. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05199-2>
- Türkeş, M., Erginal, E., Demirci, A., & Ekinci, Y. L. (2011). Çanakkale yöresi Ambaroba ve Mazılık heyelanlarının jeofiziksel, klimatolojik ve jeomorfolojik analizi. Beşinci Atmosferik Bilimler Sempozyumu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 461-474.
- Turoğlu, H. (2005). Trabzon-Sarp arası Karadeniz sahil yolu inşaatının jeomorfolojik etkileri. *Ulusal Coğrafya Kongresi (Prof. Dr. İsmail Yalçınlar Anısına) Bildiri Kitabı*, 29-30 Eylül 2005, 353–361.
- Ulusay, R. (2007). Heyelanlar ve mühendislik şevlerindeki duraysızlıklar: Türleri, etkileri ve zararların azaltılması. *Sel-Heyelan-Çiğ Sempozyumu*, Samsun, 157-185.

- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.
- Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). (2000). Terrain analysis: principles and applications. John Wiley & Sons.
- Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72(1), 1–12. doi: 10.1016/j.CATENA.2007.01.003
- Yergök, A.F., Akbaş, B., Karaköse, C., Asutay, H. J., Dalkılıç, H., Mengi, H., Kara, H., Papak, İ. ve Keskin, İ. (1994). Ardahan-Posof Dolayının Jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 9962, 117 s. (yayımlanmamış).
- Yılmaz, I. & Karacan, E. (2002). A landslide in clayey soils: An examples from the Kızıldag region of the Sivas-Erzincan highway (Sivas-Turkey), *Environmental Geosciences*, 9(1), 35-42. doi: 10.1046/j.1526-09842002.91002.x
- Url-1:
<http://www.ardahan.gov.tr/kurumlar/ardahan.gov.tr/YATIRIMLAR%20ARDAHAN/23.02.2018/Ardahan%20Devam%20Eten%20Proje%20ve%20Yat%C4%B1r%C4%B1mlar.pdf> (Erişim Tarihi: 05/04/2023).
- Url-2:
https://www.uab.gov.tr/uploads/cities/ardahan/7_5_Ardahan_050423.pdf (Erişim Tarihi: 05/04/2023).
- Url-3: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Yerbilimleri Harita Görüntüleyici. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> (Erişim Tarihi: 28/03/2023).