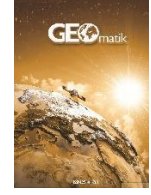




Geomatik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



Ağrı Dağı Volkanik Kütleli'nde lahar oluşumları ve lahar duyarlılığının CBS tabanlı analizi (Doğu Anadolu-Kuzeybatı İran)

Coşkun Kaya¹, Yahya Öztürk², Atilla Karataş³, Hasan Sayın⁴, Yunus Emre Balcıoğlu⁵

¹Iğdır Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Iğdır, Türkiye, coskun_kaya044@hotmail.com

²Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Van, Türkiye, yhztrk@hotmail.com

³Marmara Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, İstanbul, Türkiye, atilla.karatas@marmara.edu.tr

⁴Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Van, Türkiye, hasansayin@yyu.edu.tr

⁵İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, balciogluyunusemre@gmail.com

Kaynak Göster: Kaya, C., Öztürk, Y., Karataş, A., Sayın, H., & Balcıoğlu, Y. E. (2025). Ağrı Dağı Volkanik Kütleli'nde lahar oluşumları ve lahar duyarlılığının CBS tabanlı analizi (Doğu Anadolu-Kuzeybatı İran). *Geomatik*, 10 (1), 29-46

DOI: 10.29128/geomatik.1508315

Anahtar Kelimeler

Ağrı Dağı
Lahar
Volkanik Tehlike
CBS

Araştırma Makalesi

Geliş: 01.07.2024
Reviz: 07.08.2024
Kabul: 16.08.2024
Çevrim İçi Yayınlanma:
01.11.2024



Öz

Strato-volkan sahalarında yıkıcı etkiler üreten afetlerden birini oluşturan laharlar, volkanik topoğrafyalara özgü enkaz akması şeklindeki kütle hareketleridir. Sıcak ya da soğuk lahar şeklinde sınıflandırılan lahar akıntıları, yakın jeolojik geçmişte Ağrı Dağı'nda da sıklıkla meydana gelmiştir. Özellikle harekete geçen kütle dahilinde bol miktarda kaba detritik malzeme ve kalın piroklastik çökellerin varlığı, lahar oluşumunda başlıca parametrelerdendir. Bunun yanında yüksek eğim değerleri, gelişkin yüzeysel drenaj ağı (barancoslar), sismik aktivite ve tektonik deformasyon diğer önemli faktörlerdendir. Büyük Ağrı Dağı buzulunun erimesi, buzulüstü göllerinin taşması ve sağanak yağışlar ise lahar akışlarını denetleyen diğer önemli bileşenlerdir. Ayrıca Ağrı Dağı Volkanik Kütleli'nin fumerol safhasında olması, erüptik faaliyetlere bağlı olarak sıcak lahar gelişimlerini tetikleyebilmektedir. Bu çalışmada kütlede lahar gelişimini denetleyen mekanizmalar açıklanmış, CBS tabanlı frekans oranı metoduyla volkanik kütleli lahar duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Jeomorfolojik ve klimatolojik verilerle CBS tabanlı analitik bulgular kütleli geniş bir kesiminde laharların gelişme potansiyelinin fazla olduğunu göstermektedir. Ağrı Dağı Volkanik Kütleli'nin eteklerindeki birçok yerleşimin varlığı da dikkate alındığında lahar tehlikesinin ulusal afet envanteri kapsamına alınması ve mekânsal organizasyonun buna uygun şekillendirilmesi önerilmektedir.

Lahar formations and GIS-based analysis of lahar susceptibility in The Mountain Ararat Volcanic Massif

Keywords

Mount Ağrı
Lahar
Volcanic Hazard
GIS

Research Article

Received: 01.07.2024
Revised: 07.08.2024
Accepted: 16.08.2024
Online Published:
01.11.2024

Abstract

Lahars, which can create disaster-scale impacts in strato-volcanic areas, are a type of mass movement specific to volcanic topographies. Lahar flows, which can be hot and cold in character, have frequently occurred on Mount Ararat in the recent geological past. Especially the presence of abundant coarse detrital material and thick pyroclastic deposits in the mobilized mass are the main parameters responsible for the transformation of debris flows into lahars. High slope values, developed surface drainage network, seismic as well as volcanic activity and tectonic deformation are also important factors. Climatologically, the melting of the Greater Ararat glacier, overflow of supraglacial lakes and heavy rainfall, which has tended to increase in recent years, control the lahar flows. In this study, in addition to explaining the mechanisms controlling lahar development, a lahar susceptibility analysis of the volcanic massif was performed using the GIS-based frequency ratio method. The results show that the potential for lahar development is high in a large part of the mass. Considering the presence of many rural settlements on the slopes of Mount Ararat Volcanic Massif, it is recommended that the lahar hazard should be included in the national disaster inventory and the spatial organization should be shaped accordingly.

1. Giriş

Volkanik sahalardaki yaygın kütle hareketlerinden olan laharlar (Lavigne vd., 2000; Erinc, 2001; Vallance ve Iverson, 2015; Turoğlu, 2022), jeolojik mazide volkanik bölgelerin peyzajını şekillendiren bir dinamik olmakla birlikte bu bölgelerdeki katastrofik afetlerin temel nedenlerinden biri olarak öne çıkmıştır (Umbal, 1986; Witham, 2005; Paguican vd., 2009; Aucker vd., 2013; Duncan vd., 2014). Suya doygun hale gelen piroklastik malzemenin taşıyıcı kütleli oluşturduğu laharlar (Franvis ve Oppenheimer, 2004), çok farklı boyuttaki volkano-klastik malzemenin yoğun/kıvamlı çamur (enkaz, moloz) akması şeklinde (Smith ve Fritz, 1989; Vallance ve Scott, 1997; Lavigne vd., 2000; Gomez vd., 2018), eğim boyunca ve genelde bir vadi içinde (Vallance, 2000) akmasıyla gelişen volkanik yörelere özgü bir kütle hareketi türüdür. Gelişim mekanizmasındaki farklılıklardan dolayı sıcak (birincil) ve soğuk (ikincil) laharlar şeklinde sınıflandırılan bu kütle hareketi (Aucker vd., 2013; Turoğlu, 2022; Zorer, 2022), genellikle birçok parametrenin ortak etkisiyle bazen de tek bir sürece bağlı olarak gelişebilmektedir. Sıcak laharların temel nedeni volkanik patlamalarla ilişkili süreçlerken (örneğin freatik erüpsiyonlar) (Aucker vd., 2013) soğuk laharların nedenleri arasında iklimik (aşırı yağışlar, sağanak yağışlar, ekstrem kar ve buz erimeleri) (Capra vd., 2010) ve hidrolojik (krater göllerinde yamaç deformasyonları, buzul üstü göllerin patlaması vs.) nedenler yer almaktadır. Her iki denetleyici mekanizmanın etkisiyle olağan hidrolojik döngüye katılan fazla su, piroklastik depolarca zengin detritik malzemenin çamur akıntısı şekline dönüşmesine neden olmaktadır. Özellikle litolojik uygunluktan dolayı stratovulkanlarda görülen laharlar, büyük oranda barancosları takip ederler (Zorer, 2022) ve drenaj şebekesine yakın konumlanmış yerleşim yerlerini tahrip ederler (Jakob ve Hungry, 2005). Volkanolojik çalışmaların bir kısmı, stratovulkanların katastrofik yüzü olan laharların jeolojisine, jeomorfolojisine ve sosyal yaşamdaki tahrip edici etkilerine ayrılmıştır. Örneğin Pelée Dağı (Sür, 1976), Nevado del Ruiz Dağı (Pierson vd., 1990), Merapi Dağı (Lavigne vd., 2011; Hadmoko vd., 2018) Kamerun Dağı (Tchop vd., 2021) Büyük Ağrı Dağı (Karakhanian vd., 2004; Azzoni vd., 2019) gibi strato-vulkanların farklı dönemlerdeki erüpsiyonları sonucu birçok lahar meydana gelmiş ve bu laharlar sonucu binlerce insan hayatını kaybetmiştir. Bu nedenle laharların ulusal afet envanterinde tanınması ve gerekli önemlerin alınması oldukça önemlidir (Pierson vd., 2014).

Bu çalışma Türkiye'nin doğusunda konumlanmış bir stratovulkan olan Ağrı Dağı'ndaki lahar tehlikesinin nedenlerini anlamaya ve CBS tabanlı duyarlılık analizini ortaya koymaya yönelik hazırlanmıştır. Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi, büyük çoğunluğu Türkiye sınırları dahilinde olmakla birlikte bir bölümü de İran sınırları dahilinde de yer alan oldukça geniş ve yüksek bir volkanik sahaya karşılık gelmektedir. Dağın gövdesini ve yamaçlarını oluşturan volkanitler Türk-İran Yüksek Platosu'nun neotektoniği denetiminde gelişmiş Kuvaterner volkanizması ürünleridir (Şaroğlu, 1986; Yılmaz vd., 1987). Ağrı Dağı'nın kuzeyinde Türkiye'nin

İğdir ili yer alırken güneyinde Ağrı ili bulunur. Dağın güneydoğusu ise İran'ın kuzeybatıdaki kırsal yerleşmeleriyle çevrelenmiştir (Şekil 1). İki ülkenin sınırları dahilinde kalan yaklaşık 25 kırsal yerleşme ve sakinleri potansiyel lahar tehlikesi altındadır. Ağrı Dağı'nın jeomorfolojisi, jeolojisi ve volkanolojisine literatürde yer verildiği görülmekle birlikte (Blumenthall, 1959; Karakhanian vd., 2002; 2004; Azzoni vd., 2017; 2019) çevresinde önemli bir nüfus barındıran kütleli lahar tehlikesi henüz ifade edilmemiştir. Bu bağlamda, uluslararası iş birliği gerektiren Ağrı Dağı lahar tehlikesinin nedenlerini ve CBS tabanlı lahar tehlike riskini bu çalışmayla ortaya koyarak Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'ndeki lahar tehlikesi uluslararası afet envanterine ilk defa kazandırılacaktır. Tüm bunların yanında bu araştırma Türkiye'de ilk lahar çalışması özelliğine de sahip olup, çalışmanın ülkemizdeki diğer volkanik tehlike ve risk çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bununla birlikte çalışmada kullanılan CBS tabanlı frekans oranı metodu, bu çalışmayla birlikte lahar oluşumları için de ilk defa değerlendirilecektir.

2. Yöntem

Bu çalışmanın temel veri kaynaklarını arazi gözlemleri, bölgeye dair yapılan önceki çalışmalar, jeoloji ve topoğrafya paftaları, meteorolojik veriler ve CBS tabanlı analizler oluşturmaktadır. Arazi çalışmalarında konuya dair örneklem fotoğrafları alınmış ve fotoğrafların alındığı lokasyonlarla lahar gelişim nedenleri karşılaştırılmıştır. Çalışmada jeolojik alt yapıyı oluşturmak için Ağrı Dağı Volkan Kütlesi'ne dair yapılan çalışmalar (Sanver, 1968; Innocenti vd., 1976; Şaroğlu, 1986; Yılmaz vd., 1987; Notsu vd., 1989; Yılmaz vd., 1998; Karaoğlu vd., 2017; Keskin vd., 2014) ve jeoloji raporları (Sümengen, 2013) esas alınmıştır. Çalışmada iklimik analizler için İğdir ve Doğubayazıt meteoroloji istasyonuna ait veriler kullanılmış ve Mann-Kendall trend analizine göre değerlendirmeler yapılmıştır. Mann Kendall trend analizi öncelikle (Mann, 1945) tarafından ortaya atılmış olup daha sonra (Kendall, 1975) tarafından geliştirilmiş istatistiksel anlamlılık parametresidir. Ayrıca iklimdeki değişimi farklı açılardan ortaya koymak amacıyla doğrusal eğilim analizi ile onar yıllık periyotlarda sıcaklık ve yağışın nasıl bir değişime sahip olduğu belirlenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan şiddetli yağışlar indisi (Şekil 12), R programı (R programming) tarafından üretilmiştir. Yazılım içerisinde bir paket program olan ClimPACT2 paket programından yararlanılmış, İklim Değişikliği Belirleme, Gözlemeleme ve İndis Uzman Grubu (ETCCDMI) tarafından hazırlanan indislerden r95p düzeyi kullanılmıştır (Alexander ve Herold, 2016). Araştırma boyunca derlenen verilerden hareketle konuyla ilgili çeşitli haritalar (sıcaklık, yağış, jeoloji, topoğrafya vs.) üretilmiştir. Ayrıca iklimik verilerden hareketle de bölgedeki meteoroloji istasyonlarına göre sıcaklık ve yağışların uzun yıllar içindeki eğilimleri ortaya konmuştur. Çalışmanın analitik ayağında Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde lahar oluşumuna yol açan yedi parametre sınıflandırılmış ve CBS tabanlı Frekans Oranı Metodu (Choi vd., 2012) ile lahar duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Frekans Oranı metodu, bir olayın gerçekleşme

olasılığının gerçekleşme olasılığına oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Erener vd. 2010). Metot, çok değişkenli sayısal analiz sağlayabilen ve tüm parametreler arasında afet alanları ve değişkenler arasındaki ilişkiyi yorumlayabilen ve sıklıkla tercih edilen bir metottur (Shafapour Tehrany ve ark., 2019; Siahkamari ve ark., 2018; Ullah ve Zhang, 2020; Trinh ve ark., 2022; Yılmaz, 2023). Analizde kullanılan dem verisi Avrupa Uzay Ajansı'nın (ESA) veri indirme aracı olan Copernicus üzerinden temin edilmiştir. Öncelikle alana ait uydu görüntüsü indirilmiş ve daha sonra yine aynı platform üzerinden kullanıma sunulan Snap yazılımı ile dem verisi elde edilmiştir. Bu verinin tercih edilmesinin nedeni ücretsiz erişim izni sunması ve bu şekilde açık kaynak dem verileri arasında mekânsal çözünürlüğü en yüksek (10x10m) dem verisi olmasıdır. Böylece yapılan analizlerde yersel detaylar daha iyi gözlemlenmiştir

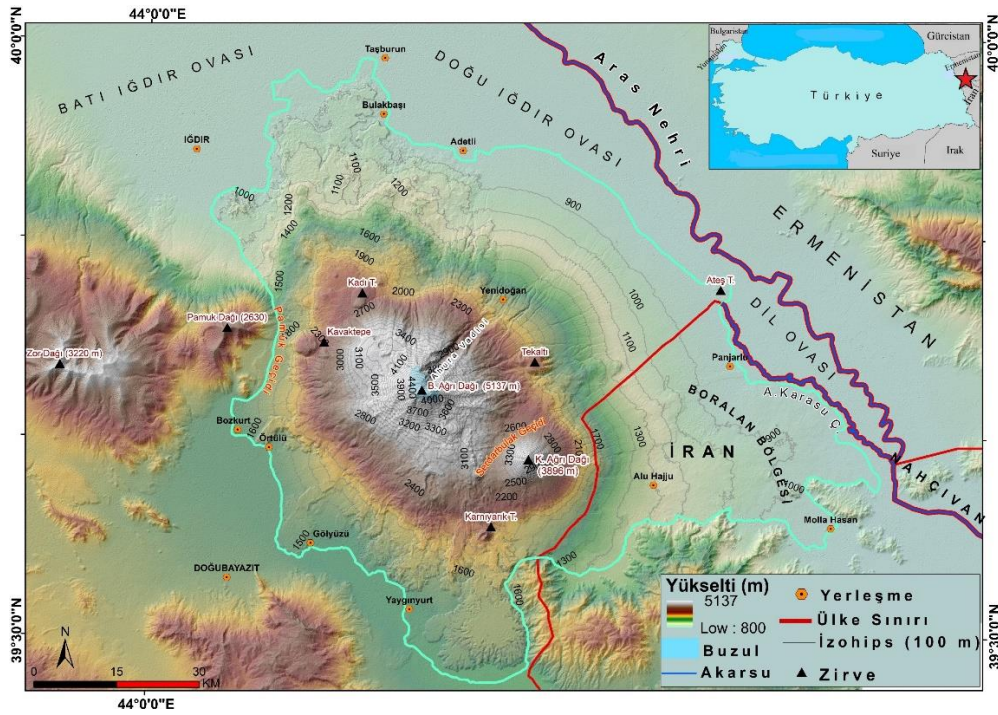
(Tablo 1). Frekans oranı metodu geçmişte meydana gelen laharların konumları ile lahar duyarlılığı analizi amacıyla belirlenen parametrelerin aralarındaki ilişkiyi anlamak amacıyla kullanılmıştır. Metot, geçmiş lahar konumları ile dikkate alınan laharı etkileyen her bir faktörün korelasyonunu araştırmak için ele alınmıştır. Laharları etkileyen parametrelerin her biri kategorilere ayrılarak tüm parametrelerin frekans değerleri hesaplanmıştır. Sonuçta elde edilen parametre haritaları ağırlıklı çakıştırılarak lahar duyarlılık haritası oluşturulmuştur.

Söz konusu metot aşağıdaki formülle hesaplanır:

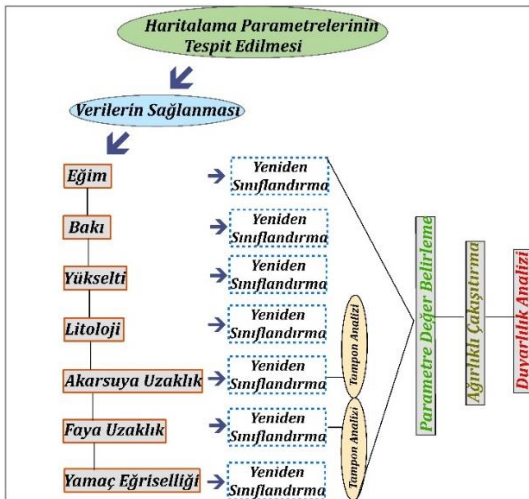
$$\text{Frekans Oranı} = FR = a/b$$

a = Parametre alt grubundaki afetli piksel sayısının, toplam afetli piksel sayısına oranı

b = Parametre alt grubunun piksel sayısının, alandaki toplam piksel sayısına oranı.



Şekil 1. Çalışma alanı sınırlarını gösteren topografya ve lokasyon haritası.



Şekil 2. Frekans oranı metodunun basitleştirilmiş iş-akış şeması.

Tablo 1. Frekans oranı metodunda kullanılan veriler ve kaynakları.

Veri Türü	Kaynak
Lahar verisi	Tarihi kaynaklar, arazi çalışması.
Sayısal Yükselti Modeli	URL-1
Jeoloji verisi	URL-2
Eğim özellikleri	SYM'den üretilmiştir.
Bakı özellikleri	SYM'den üretilmiştir.
Eğrimsellik	SYM'den üretilmiştir.
Drenaj ağı	SYM'den üretilmiştir.

3. Coğrafi Ortam

3.1. Jeolojik özellikler

Orta-Üst Miyosen'e tarihlendirilen neotektonizma'nın Bitlis-Zagros Bindirme Zonu boyunca meydana gelen kıtasal çarpışmayla birlikte başladığı bilinmektedir (Şengör ve Kidd, 1979; Lebedev vd., 2010). Arap ve Avrasya levhaları arasında meydana gelen bu çarpışma, bölge tektoniğini denetlemekle birlikte yaygın kıta içi volkanizmanın da temel nedeni olmuştur (Keskin, 2003; Keskin, 2007). Türk-İran Yüksek Platosu'nda neotektonikle birlikte gelişen birçok tektonik sistemden biri olan açılma çatlakları bölgenin volkanizmasından sorumlu ana yapısal unsurlardır (Şaroğlu, 1986). Ağrı Dağı Volkanı, Orta-Geç Kuvaterner döneminde Ağrı Açılma Çatlağı'na bağlı meydana gelen patlamalarla koni oluşumunu tamamlarken (Sanver, 1968; Innocenti vd., 1976; Notsu vd., 1989; Yılmaz vd., 1998; Karaoğlu vd., 2017) heybetli görünümüyle bölgedeki en genç volkan konilerinden birini oluşturmaktadır.

Ağrı Dağı kütesinin litolojik yapısını şekillendiren kayalar, Kuvaterner'de yüzeylenen lav, piroklastik kayalar ve jeomorfolojik süreçler ile taşınmış detritik materyallerden oluşmaktadır. Ortaç bileşimli bazik ve andezitik lavlar ve piroklastik kayalar bunların en baskın olanlarıdır (Yılmaz vd., 1998; Karakhanian vd., 2002; Sümengen, 2013; Keskin vd., 2014) (Şekil 3). Lahar akıntılarının gelişmesinden sorumlu başlıca materyal tedarikçisi olan piroklastik kayalar, Büyük ve Küçük Ağrı Dağı'nın zirveleri çevresinde yaygın olarak yüzeylenmekte ve kalınlıkları 750 m'ye kadar çıkabilen depolar meydana getirmektedir (Yılmaz vd., 1998). Bununla beraber Ağrı Dağı takke buzuluna ait moren depoları kütenin 3000 m'den daha yüksek seviyelerinde (Azzoni vd., 2017) ve vadi buzullarına ait morenler ise farklı buzul vadilerinde moren dilleri şeklinde 2200 metreler kadar görülmektedir (Şekil 3). Dağın gövdesine yamanmış kalın piroklastik örtüler ve glasyal süreçlerin ürünü detritik depolar (morenler, flüvyo-glasyal depolar vs.) Ağrı Dağı Volkanik Kütesi'nin yamaçlarında ortaya çıkan sellerin laharlara dönüşmesinden sorumlu parametrelerin başında gelmektedir.

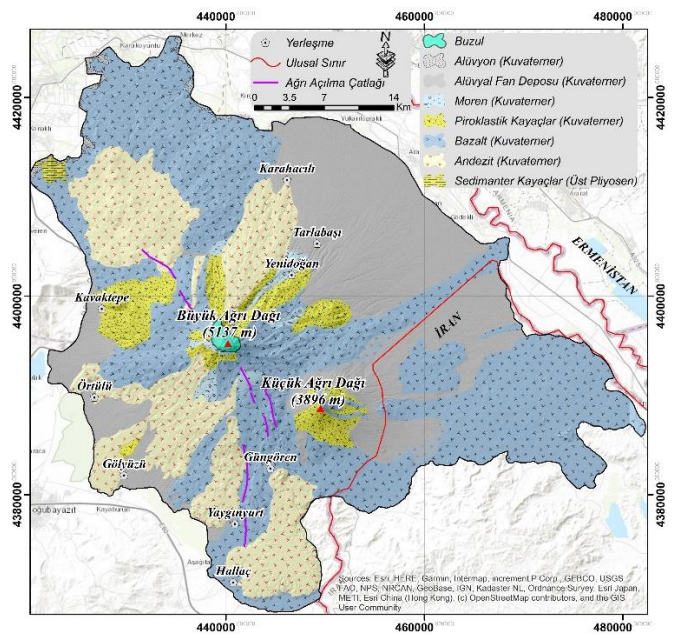
3.2. Fiziki coğrafya özellikleri

Büyük Ağrı (5137 m) ve Küçük Ağrı (3896 m) Dağı olmak üzere iki ana koniden oluşan volkanik kompleks (Şekil 5a) yaklaşık 1800 km² alana yayılmış durumdadır. Bu alanın 950 km²'si (%52) Iğdır ve 500 km²'si (%28) Ağrı sınırları içerisinde olup Türkiye'de yer alırken, 360 km²'si (%20) İran (Boralan Bölgesi) sınırları içerisinde kalmaktadır.

Coğrafi koordinat sistemine göre 39°28' -39°59' kuzey enlemleri ile 44°04'-44°48' doğu boylamları arasında konumlanan Ağrı Dağı Volkanik Kütesi'nin kuzeyinde ortalama 800 m yükseltisiyle Iğdır Ovası (Şekil 5a), güneyinde ise 1500 m'deki tabanıyla Doğubayazıt Ovası yer almaktadır (Şekil 5b). Nispi yükseltinin 4000 m'yi aştığı kütlede rüzgâr, akarsu, buzul ve yamaç süreçleri oldukça etkin durumdadır (Azzoni vd., 2017; Kaya,

2023). Yüksek eğim değerlerinin fazla alan kapladığı Ağrı Dağı volkanı morfolojik ünitelerin oldukça genç ve taze olduğu bir kütedir (Şekil 5). Hidrolojik geçirgenliği (permeabilitesi) oldukça yüksek olan volkanik kayaların geniş mostralara göstermesi, volkanik kütle üzerinde drenaj şebekesinin gelişimini sınırlandırmaktadır (Karataş, 2022a). Yüksek eğim değerlerine rağmen volkan üzerinde dağın kuzeydoğusundaki Ahura Flüvyo-Glasyal Vadisi dışında (Şekil 5d) derin vadilere rastlanmamaktadır. Volkanın zirvesindeki örtü buzulu ve karların erimelerine bağlı olarak akışa geçen epizodik karakterli akarsuların taşıdığı materyaller, volkanın eteklerinde geniş birikinti koni ve yelpazelerin gelişimine neden olmuştur. Bu manzara özellikle dağın kuzeydoğu ve güneybatı yamaçlarında dikkat çekicidir. Bununla beraber Ağrı Açılma Çatlağı'nın denetlediği kuzeybatı ve güneydoğu yamaçlarda ise genç lav akıntılarının oluşturduğu lav platoları hâkim morfolojik yapıyı oluşturmaktadır. Yüksek kesimlerde ise volkanik domlar, cüruf konileri, patlama çukurları (maar, krater) ve lav platoları volkan topografyasına ait unsurlardır. 2500 m'lerden sonra birlikte görülen volkan topografyası ile periglasyal, glasyal ve yamaç süreçleri ile oluşmuş şekiller yamaçlarda laharlara kaynaklık eden enkaz materyallerinin hazırlamasında oldukça etkilidir.

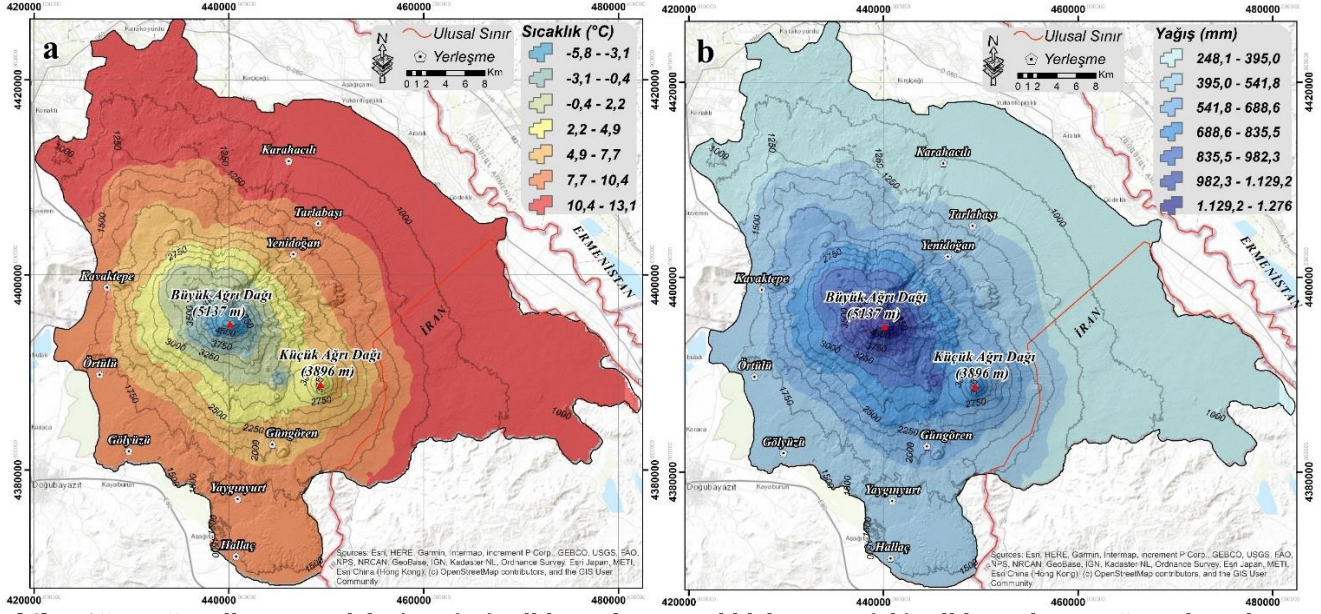
Karasal iklim koşullarının etkin olduğu Ağrı Dağı Volkanik Kütesi'nde (Azzoni vd., 2017; Demircan, 2022; Karataş, 2022a) yükseltinin artması ile birlikte sertleşen iklimik koşullar ortaya çıkmaktadır (Şekil 4). Ağrı Dağı'nı çevreleyen Iğdır ve Doğubayazıt havzalarında yarı kurak iklim karakteri baskın iken Ağrı Dağı Volkanik Kütesi'nin yamaçları boyunca yükseldikçe nemli ve soğuk iklim tipleri görülmektedir (Yılmaz ve Çiçek, 2016). Söz konusu havzalarda yıllık toplam yağış değerleri Iğdır'da 262 mm, Doğubayazıt'ta 334 mm'dir. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri ise Iğdır'da 13 °C, Doğubayazıt'ta ise 9,2 °C'dir (URL-3).



Şekil 3. Ağrı Dağı Volkanik Kütesi'nin genel jeolojik haritası (1/100.000 ölçekli MTA İ52-İ53 basılı jeolojik haritasından, Sümengen, 2013 ve Karakhanian vd., 2002'den değiştirilerek).

Ağrı Dağı kütleli iklimatik, litolojik ve antropojenik süreçlerin etkisiyle oldukça seyrek bitki örtüsüne sahiptir. İran-Turan flora bölgesine ait bitki taksonları kütlede 2000 m'ye kadar yaygın bir dağılım sergilerken, 2000-3500 m aralığında Avrupa-Sibirya flora bölgesi elamanlarına geçiş vardır (Krause, 1914). Büyük ve Küçük Ağrı Dağı'nın kuzey yamaçlarında koruluk halinde huş, ardıc ve titrek kavak türlerinden oluşan orman

kalıntıları ise oldukça az alan kaplar (Şekil 5e). Yüksek arazilerin büyük bir kısmı dağ çayırları veya Alpin vejetasyona ait türlerden oluşmaktadır. İklimatik ve litolojik koşullara bağlı olarak zirve kesimine yakın sahalarda bitki örtüsünü bulunmamaktadır. Bu kesimlerde glasiyal/periglasiyal süreçler ve yerçekimi etkisiyle gelişmiş moloz akıntıları ve takke buzulu yer almaktadır.



Şekil 4. Ağrı Dağı Volkan Kompleksi'nin (4a) yıllık ortalama sıcaklık haritası, (4b) yıllık ortalama yağış miktarı haritası (URL-3).



Şekil 5. (5a) Ağrı Dağı Volkan Kompleksi; Büyük Ağrı (sağda) ve Küçük Ağrı Dağı, (5b) Büyük Ağrı Dağı'nın İğdir Ovası'ndan görünümü, (5c) Büyük Ağrı Dağı'nın Doğubayazıt Ovası'ndan görünümü, (5d) Büyük Ağrı Dağı'nın KD yamaçlarında 1840 sıcak lahar afetinin ve günümüzde ise sık sık soğuk laharların yaşandığı Ahura Vadisi, (5e) Küçük Ağrı Dağı'nın Serdarbulak Yaylası'ndan görünümü, bu alandaki relikt huş-titreğ kavak topluluğu lahar oluşumlarını kısıtlamaktadır.

4. Bulgular

4.1. Ağrı Dağı'nda lahar oluşumlarına yol açan etmenler

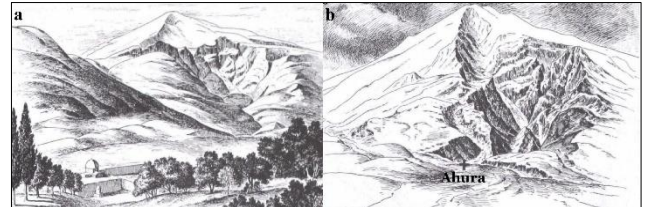
4.1.1. Volkanik patlamalar

Literatürdeki veriler dikkate alındığında strato-volkanik yükselimlerde en yıkıcı laharların patlamalı erüptik faaliyetleri takiben meydana geldiği anlaşılmaktadır (Manville vd., 2000; Salinas vd., 2007). Bu nedenle Ağrı Dağı Volkan Kompleksi'nde de lahar oluşum mekanizmasında en tehlikeli tetikleyici süreç, kompleksin aktif bir stratovolkan olmasıdır. Nitekim kompleksin 1,5 my önce Pliniyen patlamaları ile başlayan oluşum süreci tarihi çağlara kadar devam etmiştir (Innocenti vd., 1976; Güner, 1986; Yılmaz vd., 1998; Karakhanian vd. 2002; Karaoğlu vd., 2017). Lav çıkışlarının meydana geldiği yan erüpsiyonlar ise 20.000 yıl öncesine kadar sürse de (Sanver, 1968; Notsu vd., 1989) piroklastik ve freatik-freatomagmatik patlamalar en az 1840 yılına kadar kaydedilmiştir (Karakhanian vd., 2002; Siebert, vd., 2011; Sigurdsson vd., 2015). Ağrı Dağı'nın Holosen volkanik aktiviteleri MÖ. 2500-500 yılları arasında, MS. II.-III. yüzyıl aralığında, MS.1453'te, MS. 1783'te (?) ve MS. 1840'ta gerçekleşmiştir (Karakhanian vd., 2002; Atıcı ve Türkecan, 2017). Volkan, günümüzde fümerol safhada olup (Yılmaz vd., 1998) gaz çıkışları hâla sürmektedir. Söz konusu erüptik faaliyetler kompleks dahilinde literatürde sıcak lahar ya da birincil lahar şeklinde ifade edilen lahar oluşumlarının temel sorumlusudur. Nitekim Ağrı Dağı'nın yakın çevresinde 2 Temmuz 1840 yılında meydana gelen 7,4 büyüklüğündeki deprem (Ambraseys ve Melville, 1982) volkanın KD yamacında freatik karakterli patlamaya neden olmuştur (Karakhanian vd., 2002). Patlama ilk etapta büyük bir heyelana (enkaz akışına) yol açarken, ikincil olarak sıcak lahar akıntıları gerçekleştirmiştir (Karakhanian vd., 2002; Azzoni vd., 2019). Volkanik faaliyet sonucunda meydana gelen katastrofik laharlar, yaklaşık 1800 m'deki 200 haneden oluşan tarihi Ahura Köyü'nün yıkımı ve 1900 kişinin ölümüne sonuçlanmıştır (Bryce, 1878; Lynch, 1901) (Şekil 6). Ağrı Dağı'nın 1840 patlamasına ait enkaz malzemeleri Ahura Vadisi tabanında ve kütlein KD eteklerinde gelişen alüvyal yelpaze üzerinde güncel sedimanter yapılar veya bloklar şeklinde gözlenmektedir (Şekil 7). 1840 yılı patlaması örneğinde olduğu gibi Ağrı Dağı'nın aktif volkanik bir kütle olması ve lahar oluşumuna yol açan diğer parametrelerin (sismik aktivite, kalın buzul varlığı, moren depoları, piroklastik kayalar vs.) varlığı kompleks dahilinde sıcak/birincil lahar oluşumu tehlikesinin devam ettiğini göstermektedir.

4.1.2. Buzul erimeleri

Ağrı Dağı, Anadolu'nun tek ve en büyük takke buzuluna sahiptir (Çiner, 2003; Sarıkaya, 2011; Yavaşlı vd., 2015). Blumenthal (1959), Ağrı Dağı'nın Pleyistosen buzullaşma seviyesinin 3000 m'ye kadar ilerlediğini ve buzulların 100 km² alan kapladığını belirtmektedir. Ancak buzulların kapladığı alan Holosen'in sıcak dönemlerinde büyük oranda eriyerek daralmıştır.

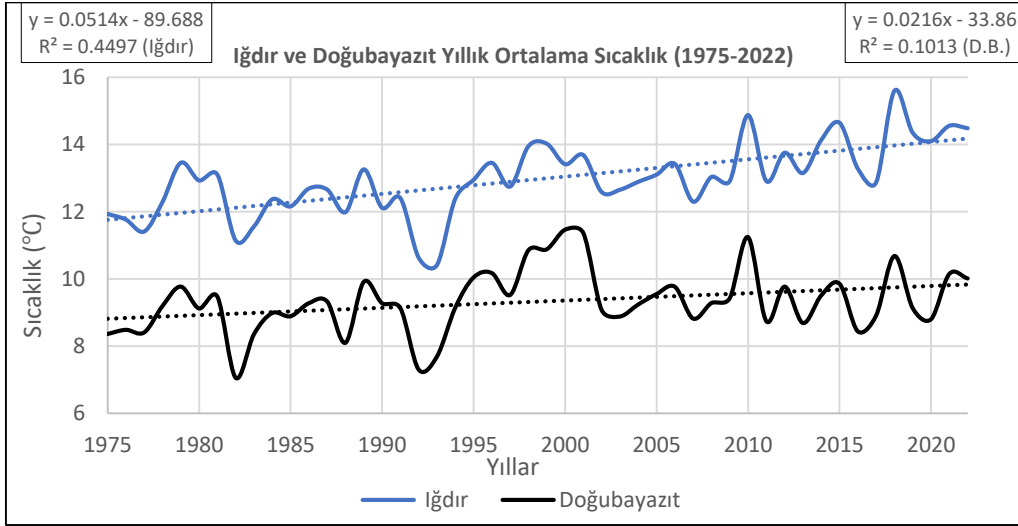
Özellikle 20-21. yüzyılda sıcaklık ortalamalarındaki artışlara bağlı olarak dramatik bir şekilde takke buzul hacmi küçülmüştür (Sarıkaya, 2012). Buzul alanına ait ilk veri, 19. yüzyılda kütleye tırmanış yapan Avrupalı bilim insanları tarafından çekilen tarihi fotoğraflarda görülmektedir. Kütlein tarihi buzul fotoğraflarında (Lynch, 1901) buzulların 20. yüzyıl başlarında 15 km²'den fazla alan kapladığı hesaplanmıştır (Şekil 9). Buzul alanı 20. yy. ortalarında 10 km² alan kaplarken (Blumenthal, 1959), 21. yüzyılda 5,3 km²'ye gerilemiştir (Sarıkaya, 2012; Yavaşlı vd., 2015). Uzaktan algılama ve hassas uydu görüntülerinden elde edilen veriler ile literatürdeki bilgilere göre (Lynch, 1901; Blumenthal, 1959; Sarıkaya, 2012; Yavaşlı vd., 2015; Yalçın, 2017; Baldasso, vd., 2018) son 120 yılda buzulların yaklaşık 2/3'si erimmiştir. Büyük Ağrı Dağı'ndaki buzul erimlerinin iklimik değişimlerle ilişkisini ortaya koymak için bölgedeki uzun yıllar ölçümünü olan Iğdır ve Doğubayazıt Meteoroloji istasyonlarının verileri analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; Iğdır'da ortalama sıcaklığın 48 senelik süreçteki yıllık eğilim analizine bakıldığında pozitif yönlü bir durumun olduğu görülmektedir. Buna göre Iğdır'da yıllık sıcaklık artışı 0.05°C iken her on yılda 0.5°C lik bir artış gözlenmiştir. Mann Kendall eğilim analizine göre ise % 0.001 düzeyinde olmakla birlikte istatistik olarak anlamlı bir artış gözlenmiştir (Şekil 8). Doğubayazıt istasyonunda da yine incelenen dönemde pozitif bir eğilimin olduğu görülmektedir. Iğdır istasyonu kadar kuvvetli bir eğilim gözükmesi de yıllık artış 0.02°C olurken her 10 yıldaki artış miktarı ise 0.2°C olmuştur. Buna göre Iğdır'ın Doğubayazıt'a göre daha kuvvetli bir sıcaklık artışı yaşadığı görülmektedir. Mann Kendall'a göre istatistik olarak 0.05 düzeyinde anlamlı bir artış görülür.



Şekil 6. (6a) Ağrı Dağı'nın kuzeydoğu yamacının 1840 Ahura felaketinden önceki görünümü (yerleşim alanı, tarihi Ahura Köyü'nü temsil etmektedir), (6b) 1840 felaketinden sonra Ahura Vadisi'nin genel görünümü (Eisbacher and Clague, 1984).

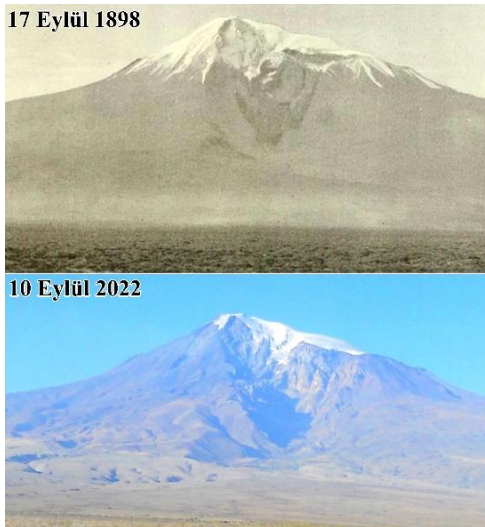


Şekil 7. Büyük Ağrı Dağı'nın KD yamaçlarında, Ahura Vadisi'nin hemen eteklerinde 1840 yılında meydana gelen katastrofik freatik patlama ve lahar olayıyla muhtemel ilişkili dev volkanik bloklar (torevalar).



Şekil 8. Iğdır ve Doğubayazıt meteoroloji istasyonlarına göre yıllık ortalama sıcaklık değerlerinin eğilim grafiği.

Buzul erimeleri sonucu hidrolojik döngüye katılan su, özellikle günün sıcak saatlerinde yüzeysel akışta ani seviye artışları oluşturduğu için lahar akıntılarında neden olmaktadır. Ağrı Dağı'nın hidrografik bilançosunda buzul kayıplarına karşın yüzeysel akışa geçen fazla su, dağınık/gevşek formdaki detritik malzemeyi harekete geçirip sık sık soğuk lahar oluşumlarına yol açmaktadır. Nitekim Ahura Vadisi'nde meydana gelen soğuk laharların büyük kısmı günün en sıcak saatlerinde artan buzul erimeleri sonuca açığa çıkan suyun vadi boyunca akışa geçmesiyle gelişmektedir (Şekil 14c, 14d). Arazi gözlemleri sonucu elde edilen veriler, lahar gelişimine yol açan parametreler arasında oldukça hassas bir eşiğin olduğunu göstermektedir. Olağan akıştaki su, lahara tetikleyen bir mekanizmadan uzak karakterdeyken buzul erimesiyle hasil olan su denge eşiğini anormal oranda bozarak laharlara yol açmaktadır. Ahura Vadisi'nin yanı sıra Büyük Ağrı Dağı'nın kuzey yamaçlarında Küp Gölü düzlüğü denilen mevkide bu tür laharlara sık sık rastlanmaktadır (Şekil 10e, 10f, 14g, 14h).



Şekil 9. Üstte Lynch (1901) tarafından 1898 Eylül'ünde, altta ise bu çalışma kapsamında 2022 Eylül ayında çekilen fotoğraf. Büyük Ağrı Dağı'nın özellikle KD yamaçlarında buzul hacmi daralması ve jeomorfolojik değişim dramatik şekilde görülebilmektedir.

4.1.3. Buzulüstü göllerin taşması

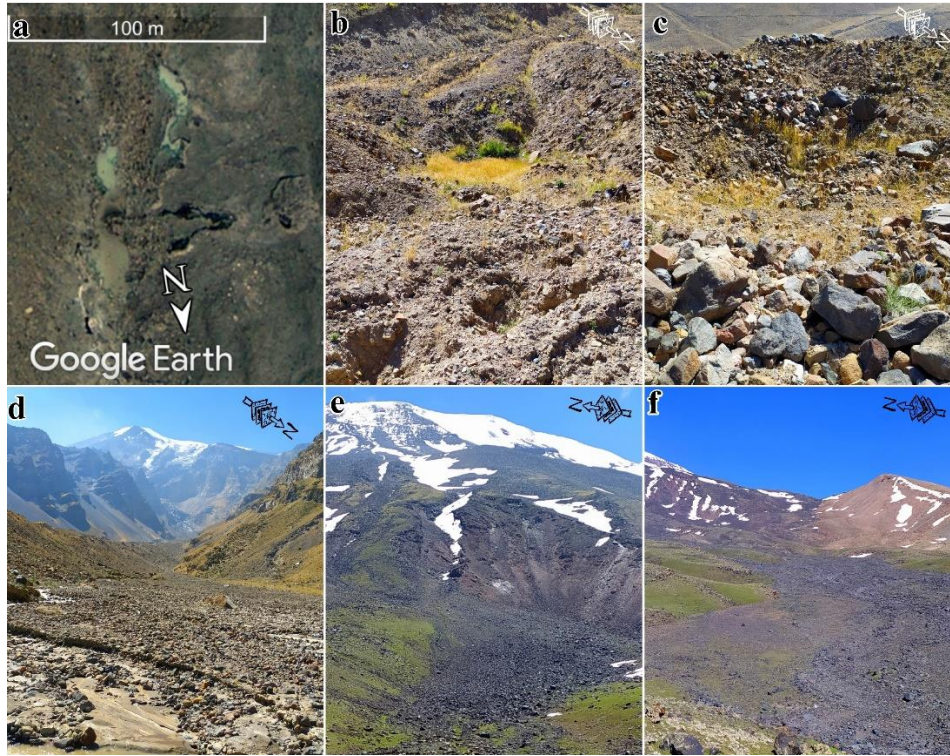
Ağrı Dağı kütesinde gelişim gösteren saçak buzullarının bazıları, son yüzyıllık süreçte buzulların erimesine ve yamaçlardaki materyal akışına bağlı olarak döküntü malzemesi ile kaplanmıştır. Döküntü örtülü buzul olarak tanımlanan, yüzeyi enkaz malzemesi ile kaplı buzul dilleri (Kirkbride ve Deline, 2013; Çalışkan vd., 2014; Mayr ve Hagg, 2019; Keserci vd., 2023) üzerinde buzul üstü göller oluşabilmektedir. Özellikle Büyük Ağrı Dağı'nın KD kesiminde Ahura Vadisi içinde gelişim gösteren Cehennemdere döküntü örtülü buzulu (Eisbacher and Clague, 1984) ve KB yamaçtaki Parrot döküntü örtülü buzulu (Azzoni vd., 2017) üzerinde küçük çaplı mevsimlik buzul üstü göller (supraglasyal lake) oluşmaktadır (Şekil 10a, 10b, 10c). Bu göller ani sıcaklık artışlarına bağlı olarak yamaç çökmelerinden veya sağanak yağışlar esnasında seviye artışlarından dolayı içerisinde buldukları çanaklardan taşabilmektedirler. Göllerin bu şekilde taşmasıyla yüzeysel akışa geçen su hassas denge eşiğini pozitif olarak bozarak detritik malzemelerin lahar şeklinde akışa geçmesine neden olmaktadır (Şekil 10a, 10b, 10c). Ahura Vadisi içinde hemen hemen her yıl meydana gelen soğuk laharların ani sağanak yağışların yanı sıra Cehennemdere (Ahura) döküntü örtülü buzulu üstünde buzul üstü göllerinin taşmasıyla da ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Nitekim Cehennemdere döküntü örtü buzulu üzerinde oluşan göllerin yer yer buzulun çevresindeki yan morenleri yararak ana drenaja karıştığı arazide gözlemlenmiştir.

4.1.4. Litoloji

Volkanik rölyeflerde sıcak ya da soğuk laharlarla ilişkili hazırlayıcı parametrelerin başında litolojik özellikler gelmektedir. Burada özellikle piroklastik malzemenin varlığı ve kalınlığı, çeşitli dışsal jeodinamik süreçlerle hasil olan kaba detritik malzemenin yaygınlığı yüzeysel akışa geçen suyun lahara dönüşmesindeki temel etmenlerdir. Özellikle piroklastiklerin bulamaçlı akıntı içerisinde taşıyıcı unsur olması laharların diğer moloz akıntılarıyla farklarından birini oluşturmaktadır (Turoğlu, 2022). Büyük ve Küçük Ağrı dağları da yamaçlarında çeşitli seviyelerde lahar mekanizması için

gerekli olan piroklastik ve detritik malzeme açısından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Volkanik soğumayla jenetik ilişkili çatlak dokusu kayaçları fiziksel parçalanma sürecine karşı oldukça hassas hale getirmektedir. Özellikle bazaltlarda görülen bu özellik Ağrı Dağı'nın farklı yerlerinde mafik örtüler üzerinde yaygın şekilde görülmektedir. Bunun yanında kütle üzerinde görülen yüksek sıcaklık farkı konjelifraksiyon sürecinin şiddetlenmesine ve bunun doğal bir sonucu olarak kalın kaba tekstürlü detritik malzemelerin depolanmasına neden olmaktadır (Şekil 10e, 10f). Bunların yanı sıra Kuvaterner boyunca Büyük Ağrı Dağı'nda etkisini sürdüren buzullaşma süreçleri de yaygın şekilde kalın moren depoları istiflemiştir (Şekil 10d). Özellikle saçak buzullarının eteklerinde ve vadi

buzullarının taban ve cephelerinde kalın moren depoları dikkat çekmektedir. Bütün bunlardan hareketle yüksek sıcaklık farkı, soğuma kökenli çatlaklı petrografik patern ve buzullaşma süreçleri bölgede zengin detritik malzeme çökelimine neden olurken bu depolar lahar akışı için kaba enkaz malzemesi işlevi görmektedir. Bunların yanı sıra Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nin eksplosif faaliyetlerine bağlı olarak geri düşme ürünleri ya da piroklastik akıntılar şeklinde istiflenen kül, pomza gibi materyaller ise enkaz malzemesinin taşıyıcı unsuru rolündedirler (Şekil 3). Dolayısıyla Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde görülen bu litolojik özellikler kütleinin her iki koni kesiminde hem sıcak hem soğuk laharlar için uygun koşulları sağlamaktadır.

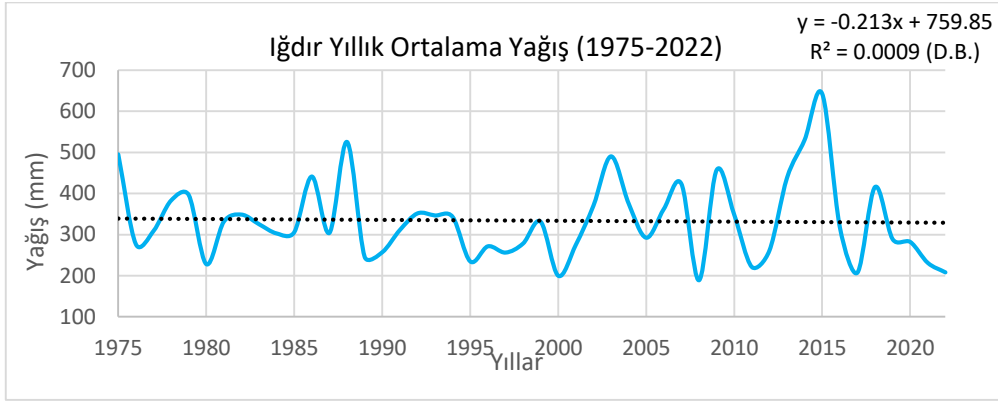


Şekil 10. (10a) Ağrı Dağı kuzeydoğu yamaçlarında Parrot döküntü buzulu üzerinde gelişen buzulüstü göller, (10b ve 10c) Cehennemdere döküntü örtülü buzulunun üzerinde gelişen kurumuş gölcük çanakları, (10d) Ahura Vadisi'nde laharlara kaynaklık eden moren depoları, (10e ve 10f) Ağrı Dağı'nın yaklaşık 3500 metre seviyelerinde batıya bakan yamaçlarda laharlar için materyal kaynağı olarak bulunan dağınık formdaki fiziksel parçalanma ürünü detritik malzeme, moren depoları.

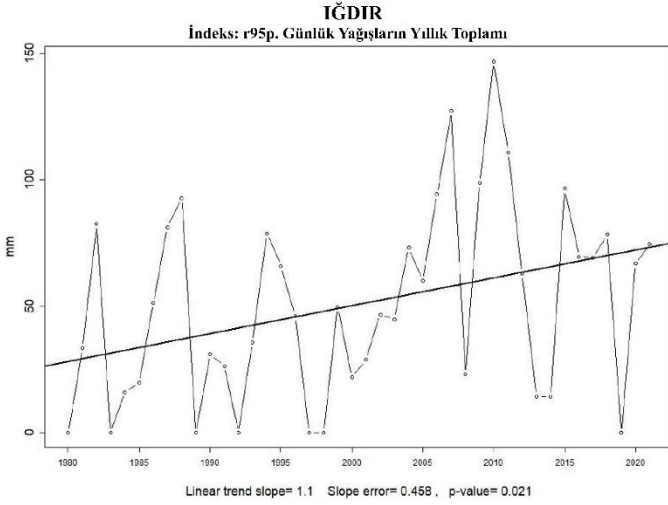
4.1.5. Sağanak yağışlar

Volkanolojik literatürde soğuk ya da ikincil lahar olarak bilinen lahar türleri (Aucker vd., 2013; Zorer, 2022), nispeten düşük debili ancak daha sık oluşum frekansına sahip enkaz akışlarıdır (Turoğlu, 2022). Özellikle yarı kurak bölgelerin stratovulkanlarında soğuk laharlardan sorumlu birincil fenomen aşırı ve ani sağanak yağışlardır (Capra vd., 2010). Bu nedenle bu tür laharlara "yağmur laharları" da denilmektedir (Manville vd., 2000; Lecointre vd., 2004). Bu yağışlar erüptik faaliyetlerle ilişkili, stratovulkan çevresinde meydana gelen lokal meteorolojik sistemlerle bağlantılı olabileceği gibi bölgesel iklimsel sistemlerin de doğal bir sonucu olabilir. Aşırı yağışlarla stratovulkanın yüzeysel hidrolojik döngüsüne katılan bol miktarda su, soğuk laharlara yol açabilmektedir. Ağrı Dağı Volkanik

Kütlesi'nde de özellikle yaz başlarında ve ortalarında sağanak şeklindeki yağışlar bölgede sık sık düşük debili lahar oluşumlarına yol açmaktadır. Nitekim yapılan çalışmalar Ağrı Dağı çevresinin yarı kurak/kurak iklim formuna sahip bir bölge olduğunu göstermiştir (Öztürk vd., 2023). Uzun yıllar ölçüm yapılan Iğdır meteoroloji istasyonu verilerinin analizlerinde bölgede yağış miktarlarında anlamlı azalma ya da artışın olmadığı görülmektedir (Şekil 11). Ancak stabil yağış miktarına rağmen sağanak yağışların payı son yıllarda artış eğilimi sunmaktadır (Şekil 12). Sağanak yağışların miktarı son 42 yılda, %95 güven aralığında anlamlı 45.1 mm artmıştır (toplam yağış içinde oranı %16.9 artmıştır). Laharların bol yağışlardan ziyade sağanak yağışlarla tetiklendiği düşünüldüğünde bu durumun Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde önemli bir lahar nedeni olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 11. Iğdır Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yıllık ortalama yağış miktarının eğilim analizi.



Şekil 12. Iğdır Meteoroloji İstasyonu verilerine göre son 40 yılda sağanak yağış miktarının grafiği (95 persentil üzerinde kalan günlük yağışların yıllık eğilimi (şiddetli yağışlar)).

4.1.6. Topoğrafik etmenler ve drenaj özellikleri

Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi gerek 4000 m'yi aşan görece yükseltisi, gerek yüzey alanının yarıya yakınında %10'un üzerine çıkan ve konkav yamaç profiline uygun olarak üst kotlara doğru iyice artan eğim değerleri, gerekse yamaçlarındaki planez ve barankosların etkisiyle şev duraylılığını tehdit eden rölyef özellikleri sebebiyle materyal taşınımı ve kütle hareketlerine karşı savunmasız bir topoğrafik karakter ortaya koymaktadır (Şekil 13). Kütlelerin stratovolkan özelliğinin koniyi meydana getiren değişik evrelere ait tabakalı depoların da yamaç eğimine paralel bir istiflenme ortaya koymasına yol açtığı da düşünüldüğünde, heyelanlardan sektörel çökmelere kadar birçok büyük ölçekli kütle hareketi için elverişli koşulların mevcudiyeti dikkati çekmektedir. Böylesi deformatif hareketler yamaç profiline değişimlere ve yeni eğim kırıklarının ortaya çıkmasına ön ayak olabileceği gibi, lahar oluşumu açısından da akışkanın ana kütlelerine katılabilecek bol miktarda piroklastik malzemenin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Volkanik kül, lapilli ve bloklardan ibaret bu gevşek dokulu ve tutturulmamış materyal ani sağanaklar, yoğun erime süreçleri ve göl taşmaları neticesinde kolaylıkla bir laharın meydana gelebilmesinin yolunu açmaktadır. Her ne kadar permeabilitesi yüksek volkanitler geniş mostralara

gösterse de eğimin, dolayısıyla da akış hızının fazla oluşu ve stratovolkanik kütleleri oluşturan tabakalar arasında killi-milli seviyelerin de yer alması yamaçlardaki sızmayı azaltarak yüzeysel akışı desteklemektedir (Karataş, 2022b; 2023). Bu durum ise viskozitesi düşen yük ile beslenmiş yüksek enerjili ve etkili korazyon ortaya koyan bir akışkan dinamiğine sahne olmaktadır. Benzer bir durumun döküntü örtülü buzullar üzerinde alttaki buzulun geçirimsiz zon rolü oynamasıyla üst katmandaki enkazda da meydana gelebileceği anlaşılmaktadır. Sahada her an hazır bir lahar tetikleyicisi durumundaki buzul üstü göllerinin varlığı da yine geçirimsiz buzul tabakasına dayanmaktadır. Bütün bu etmenler bir arada değerlendirildiğinde Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde çok bileşenli, birçok farklı parametreye istinat eden ve yılın hemen her döneminde ortaya çıkabilecek laharlar için elverişli koşullar barındıran bir topoğrafik yapının varlığı kendini göstermektedir.

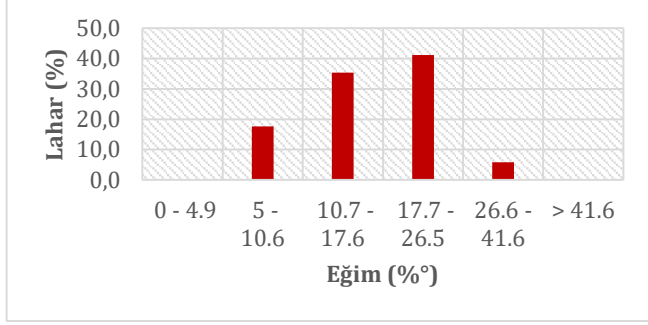
Sahanın drenaj şebekesinin söz konusu topoğrafik yapının denetiminde şekillendiği gerçeği (Bayrak, 2021) özellikle barankoslar ve heyelan yaralarına adapte olmuş görece büyük bazı vadilerin varlığını gerekçelendirmektedir. Üst kotlardaki ışınal drenaj eteklere doğru deformatif yüzey yapılarına, genç lav akıntılarının ve infiltrasyonu destekleyen düşük eğimli sathlara bağlı olarak değişiklikler göstermektedir (Şekil 13). Ancak volkanik kütlelerin nispeten stabil bir yamaç profiline sahip doğu, kuzeydoğu ve güneybatı sektörleri bir engelle karşılaşmadan daha yüksek enerjiyle akış gösterilebilecek yatakları ve drenaj hatlarını barındırmaktadır. Böylesi bir altyapının daha etkin bir lahar oluşumu adına riski artırdığı aşıkardır. Dolayısıyla bahsi geçen sektörlerdeki belirgin akış kanallarının potansiyel lahar yatakları olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kütlelerin etek kesimlerindeki düşük eğimli ve az engebeli yüzeye sahip alüvyal/kolüvyal depolar üzerinde muhtemel laharların etki gücü azalmakla birlikte tesir sahası genişlemektedir. Bu sebeple böylesi koşullara sahip alanların da laharın drene edileceği kanallar oluşturularak mekânsal planlamaya dahil edilmesinde yarar görülmektedir. Aksi halde buralarda planlanacak ağaçlandırma, ziraat ve yerleşme süreçleri her an lahar riskiyle karşı karşıya olacaktır.

Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde lahar gelişim mekanizmasını denetleyen tüm bu süreçlerden dolayı kütlede sık sık lahar oluşumları görülmektedir (Şekil 14).

Tablo 2. Frekans oranı metodunda kullanılan parametreler ve değerleri (LP: Laharlı piksel sayısı, AP: Alandaki piksel sayısı, TLP: Toplam laharlı piksel, TP: Toplam piksel, FR: Frekans, NFR: Normalize edilmiş frekans değeri).

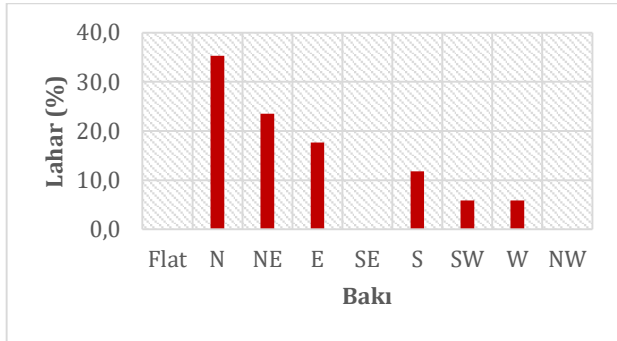
		LP	AP	TLP	TP	FR	NFR	NFR*100
Yükselti								
1	803-1100	0	3875820	17	11772391	0	0	0
2	1100-1500	0	2094486			0	0	0
3	1500-1900	7	2706780			1,790857	0,20733	21
4	1900-2400	4	1315909			2,104989	0,243698	24
5	2400-3000	3	979934			2,120021	0,245438	25
6	3000-3800	1	639120			1,083511	0,12544	13
7	3800-5133	2	160342			8,637707	1	100
Eğim								
1	0-5	0	4134117	17	11772391	0	0	0
2	5-10	1	3379224			0,204927	0,012819	1
3	10-15	3	1693515			1,226727	0,076739	8
4	15-25	6	1779312			2,335151	0,146077	15
5	25-35	3	612945			3,389343	0,212023	21
6	35-79	4	173278			15,98572	1	100
Baki								
1	-10 - 0	0	196963	17	11772391	0	0	0
2	0- 22.5	0	1021680			0	0	0
3	22,5 - 67.5	1	1943565			0,356301	0,15625	16
4	67,5 - 112.5	5	1688367			2,050779	0,899336	90
5	112,5 - 157.5	4	1509988			1,834435	0,804462	80
6	157,5 - 202.5	4	1214728			2,280325	1	100
7	202,5 - 247.5	2	1210445			1,144197	0,501769	50
8	247,5 - 292.5	0	1146605			0	0	0
9	292,5 - 337.5	0	1269939			0	0	0
10	337,5 - 360	1	570111			1,214664	0,532672	53
Yamaç Eğrisselliği								
1	-42.8 - -2.56	1	205655	17	11772391	3,367259	1	100
2	-2.56 - -1.28	3	2034375			1,021189	0,30327	30
3	-1.28 - -0.64	4	2181100			1,26999	0,377158	38
4	-0.64 - 0.64	5	5109384			0,677668	0,201252	20
5	0,64 - 1,92	3	2038860			1,018942	0,302603	30
6	1,92 - 47.4	0	203017			0	0	0
Litoloji								
1	Alüvyal Yelpeze	5	195478	17	11772391	17,71283	0,109744	11
2	Alüvyon	0	3761			0	0	0
3	Andezit	1	151191			4,580257	0,028378	3
4	Bazalt	5	327858			10,56088	0,065432	7
5	Buzul	0	2398			0	0	0
6	Çakıltası-Kumtaşı-	0	2042			0	0	0
7	Moren	2	8581			161,4016	1	100
8	Piroklastik Kayaçlar	4	43670			63,42969	0,392993	39
Akarsuya Uzaklık								
1	0-250	3	925549	17	11772391	2,244593	0,475697	48
2	250-500	0	909577			0	0	0
3	500-1000	1	1775644			0,389996	0,082652	8
4	1000-2500	2	4632881			0,298947	0,063356	6
5	2500-5000	8	3071671			1,803562	0,382229	38
6	5000-7500	3	440281			4,718534	1	100
Faya Uzaklık								
1	0-500	0	220168	17	11772391	0	0	0
2	500-1000	0	245040			0	0	0
3	1000-2000	1	523967			1,321636	0,48003	48
4	2000-4000	3	1202625			1,727455	0,627428	63
5	4000-8000	5	2310015			1,498894	0,544412	54
6	8000-12000	8	2012161			2,753233	1	100
7	12000-20000	0	3138534			0	0	0
8	20000-40000	0	2119881			0,00	0	0

Eğim: Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde eğim koşullarının lahar gelişimleriyle ilişkisi değerlendirildiğinde özellikle eğim derecesinin 10-26° olduğu noktalarda yoğunluğun olduğu görülmektedir (Şekil 15). Bu değerlerden yüksek eğimli sahalarda gravite etkisiyle detritik malzemenin tutunamaması, düşük eğimli bölgelerde ise akış için gereken gravite etkisinin zayıflığı lahar gelişimini sınırlandırmaktadır.



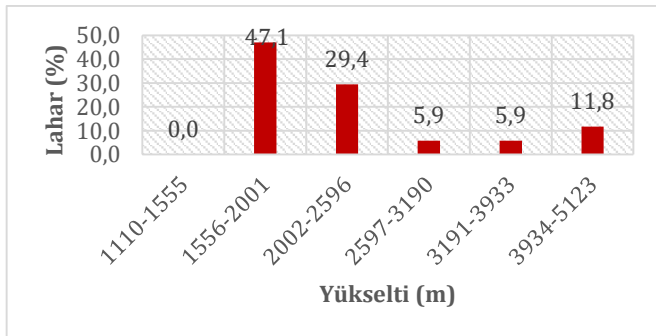
Şekil 15. Eğim değerleri-lahar ilişkisi grafiği.

Bakı: Bakı pozisyonuyla lahar gelişimindeki ilişkide K, KD ve D sektörlü yamaçların ön planda olduğu görülür (Şekil 16). Bu durum iklimik bir etmenden ziyade söz konusu yamaçlarda kalın piroklastik örtünün ve gelişkin buzullaşma alanlarından dolayı yaygın moren depolarının varlığından kaynaklanmaktadır.



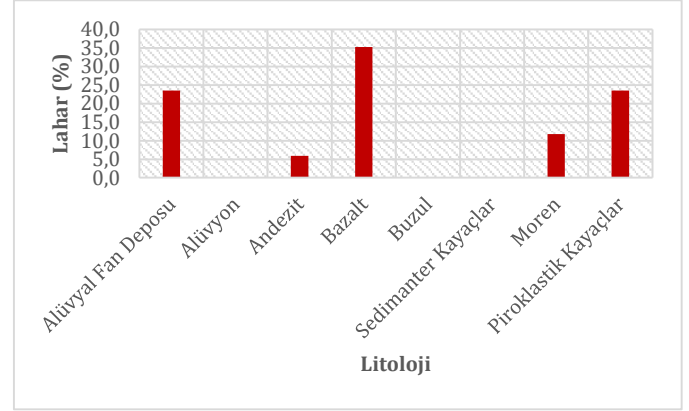
Şekil 16. Bakı yönleri-lahar ilişkisi grafiği.

Yükselti: Kütlede yükseltinin özellikle 1500-2500 metreler aralığı lahar gelişiminin yaygın olduğu hipsometrik aralığı temsil etmektedir (Şekil 17). Bu değerlerle lahar gelişimi arasında jenetik tam bir bağlantı sağlanamamakla birlikte söz konusu yükselti aralığında fiziksel parçalanma kökenli enkaz malzemesinin varlığı etkili olmuş olabilir.



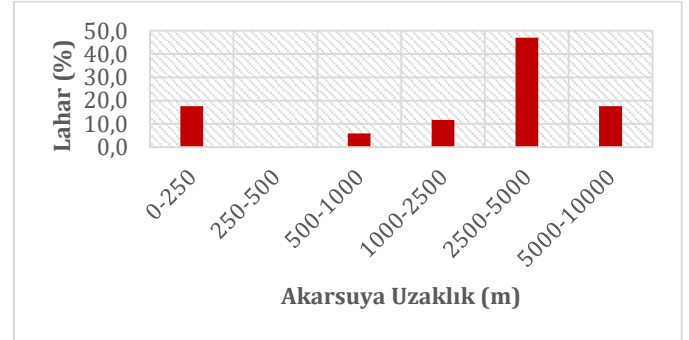
Şekil 17. Yükselti değerleri-lahar ilişkisi grafiği.

Litoloji: Litolojik birimlerden özellikle çatlaklı dokuya sahip bazaltik birimlerin, kaba detritik karakterli morenlerin ve piroklastiklerin etkisi diğer kayalara baskındır (Şekil 18). Bu parametre, söz konusu litolojilerin lahar için uygun petrografik ve stratigrafik bileşimde olmasından dolayıdır.



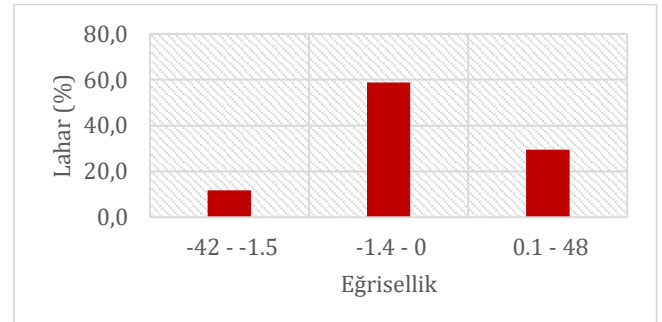
Şekil 18. Litolojik yapıyla lahar ilişkisi grafiği.

Akarsuya Uzaklık: Lahar olaylarının ana akarsu vadilerinden uzakta yoğunlaşması (Şekil 19) kütle üzerindeki tüm vadilerde laharların geliştiğini gösterirken, vadi morfolojisinden uzak yamaçlarda da laharların geliştiği anlaşılmaktadır.



Şekil 19. Akarsuya uzaklık-lahar ilişkisi grafiği.

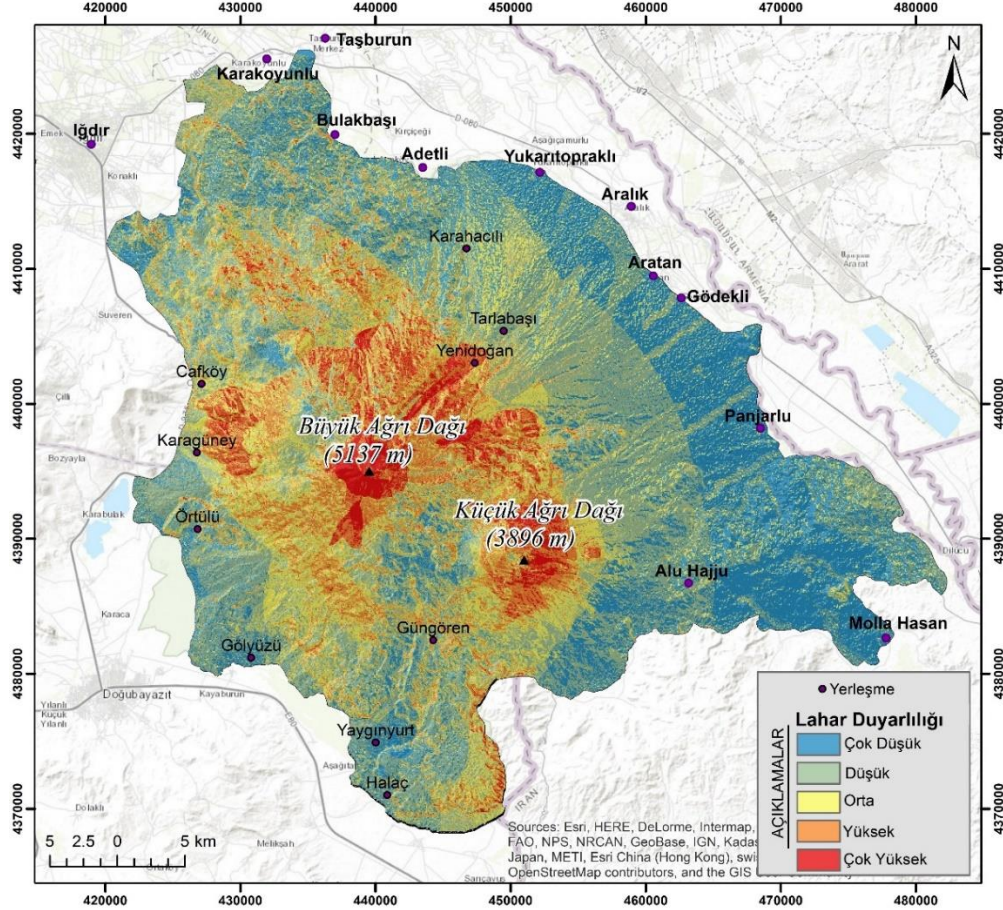
Yamaç Eğriselliği: Yamaç eğriselliği; su kütlelerinin yüzeysel akış hızını, sediment tanelerinin yamaçtaki taşınımını belirler (Wilson and Gallant, 2000). İçbükeye sahip yamaçlarda laharlar daha hızlı ve iri materyal taşıma kapasitesine sahipken, dışbükeye sahip yamaçlarda bu durum azdır. Ağrı Dağı kütlesinde yamaç eğriselliği analizine göre laharların iç bükey profillere sahip yamaçlarda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 21).



Şekil 21. Yamaç eğriselliği-lahar ilişkisi grafiği.

Ağrı Dağı kütesinin geniş bir kesiminde lahar duyarlılığının fazla olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 23). Özellikle laharların taşıyıcı etmen olduğu kalın piroklastikler ve enkaz malzemesi üretmiş bazaltlar üzerinde, eğim değerlerinin 10-26 °C olduğu alanlarda duyarlılık fazladır. Söz konusu Küçük Ağrı Dağı'nın tüm yüzeyleri, Büyük Ağrı Dağı'nın K-KD, D, G-GB yamaçları laharların kaynaklandığı alanlar durumundadır. Bu alanlarda özellikle derin vadiler başlıca tehlikeli alanları oluşturmaktadır.

Türkiye tarafındaki; Bozkurt, Örtülü, Gölyüzü, Çiftlik, Kolikent, Karahacılı, Yukarıtopraklı, Aralık, Yukarıaratan, Emince, Yenidoğan, Tarlabası yerleşmeleri ile İran tarafındaki; Gerik, Salband, Gol Ali, Surik, Ali Farash, Alu Hajju, Beri, Panjarlu, Kukh ve Qush lahar tehlikesi altında olan yerleşmelerdir.



Şekil 23. Ağrı Dağı Volkan Kompleksi'nin lahar duyarlılık haritası.

5. Sonuç

Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi, Batı Asya'nın en önemli strato-volkanik komplekslerinden birini oluşturmaktadır. Sahip olduğu teolojik özelliklerinden dolayı tarih boyunca bölgedeki birçok kültür tarafından kutsal kabul edilen Ağrı Dağı (Berlitz, 1987), bir o kadar da katastrofik etki üretme potansiyeliyle ön plana çıkmaktadır. Özellikle lahar akıntılarının Ağrı Dağı özelinde oldukça sık ve yıkıcı karakterde meydana gelmesi (Şekil 7, Şekil 14) laharların stratovolkanik kütlelerdeki katastrofik boyutunu göstermektedir. Jeolojik geçmişindeki birçok volkanik patlamaya rağmen kütlede bilinen en eski lahar akıntısı 1840 yılında meydana gelen Ahura felaketidir. Bölgedeki sismik hareketlilikle ilişkilendirilen bu lahar, tarihi Ahura Köyü'nü sakinleriyle birlikte yok etmiştir. Sıcak laharın ilişkili olduğu magmatik faaliyet freatik erüpsiyon şeklinde gerçekleşmiş olup, bu durum Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nin aktif bir volkanik yükselim olduğunu doğrulamaktadır. Dolayısıyla Holosen aktivitesi çok iyi

bilinen ve yaygın şekilde magmatik faaliyetler gerçekleşen kütlede yeni sıcak laharların meydana gelmesi de ihtimal dahilindedir.

Sıcak laharlara oranla daha sık gelişen ancak daha düşük debiyle karakterize edilen soğuk laharlar (Aucker vd., 2013; Turoğlu, 2022), Ağrı Dağı Volkan Kütlesi'ndeki ikincil tip lahar gelişimlerini temsil etmektedir. Özellikle son yıllarda bölgedeki yağış değişkenliğinin bir sonucu olarak artan sağanak yağış miktarı (Şekil 12) bu tip laharların temel tetikleyici mekanizması durumundadır. Literatürde yağmur laharları (Manville vd., 2000; Lecointre vd., 2004) olarak da bilinen bu laharlar, özellikle kütlede havza alanı geniş derin barancoslarında her yıl meydana gelmektedir. Tüm bunların da yanında sahada bulunan buzul üstü göllerinin beslenme koşulları ve yamaç çökmelerine bağlı olarak taşması da soğuk laharların bir diğer hidrolojik nedenidir. Büyük Ağrı Dağı'ndaki takke ve vadi buzullarının erimesiyle yüzeysel hidrolojik döngüye katılan su özellikle yaz mevsiminde sağanak yağışlar ve/veya buzul üstü göllerinin taşmasıyla akışa geçen su

ile birleşince düşük debili soğuk laharlara neden olabilmektedir. Bütün bunlar Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi'nde lahar gelişimini denetleyen mekanizmaların kompleks yapıda olduğunu ve özellikle kütleli iklim değişikliği kriziyle birlikte ele alındığında soğuk laharlar açısından oldukça tehlikeli bir noktada bulunduğunu göstermektedir.

Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi çeşitli coğrafik koşulların etkisiyle tarihsel süreçten bu yana meskûn bir saha özelliğini her zaman korumuştur. Kütleli farklı yükselti aralıklarında kurulmuş birçok kırsal yerleşme uygun hidrolojik koşullardan dolayı vadi tabanlarına konumlanmıştır. Mekânsal organizasyonda doğru bir tercih gibi görünen bu durum, lahar tehlikesi noktasında oldukça sorunlu bir parametreye dönüşmektedir. Nitekim özellikle sık sık meydana gelen soğuk laharların vadi tabanlarını takip etmesi bu alanlardaki yerleşmeler için oldukça yüksek risk teşkil etmektedir (**Şekil 23**). Bu problem hem Türkiye hem de İran sınırlarındaki tüm yerleşmeler için geçerli olduğu için lahar afet envanterinin oluşturulması ve gerekli önlemlerin alınması uluslararası iş birliğini gerektirmektedir. Bunun yanında dağcılık turizmi oldukça gelişkin olan Ağrı Dağı'nda (**Yulu, 2021**) laharların bu sektörü de etkilemesi söz konusudur. Özellikle kamp merkezlerinin lahar tehlikesinden dolayı riske uygun şekilde planlanması gerekmektedir.

Bilgilendirme/Teşekkür

Bu makale, 1. Yazarın 3. Yazar danışmanlığında hazırlamakta olduğu doktora tezi çalışmasından faydalanılarak üretilmiştir. Makaleye dair ön bulgular 12-14 Eylül 2023 tarihinde düzenlenen Bölgesel Jeomorfoloji Sempozyumu'nda (Regional Conference on Geomorphology) bildiri olarak sunulmuştur.

Araştırmacıların katkı oranı

Coşkun Kaya: Literatür taraması, Arazi çalışmaları, Harita Çizimi, Makale yazımı; **Yahya Öztürk:** Literatür taraması, Arazi çalışmaları, Makale yazımı, Harita Çizimi, Düzenleme; **Atilla Karataş:** Makale yazımı, Düzenleme; **Hasan Sayın:** Modelleme, Harita Çizimi; **Yunus Emre Balcıoğlu:** İklimsel Analiz, Grafikleştirme.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

Aleotti, P. & Chowdhury, R (1999). Landslide hazard assessments: Summary review and new perspective. *Bulletin of Engineering Geology of the Environment*, 58, 21-44. <https://doi.org/10.1007/s100640050066>
Alexander, L., Herold, N. (2016). *ClimPACT2: Indices and software. The commission for Climatology (CCI) Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI)*.
Ambraseys, N. N. & Melville, C. P. (1982). *A history of Persian earthquakes*. Cambridge University Press. Londra.

Atıcı, G., & Türkecan, A. (2017). Anadolu'nun Volkanları. *Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 22, 1-18. https://www.mta.gov.tr/dosyalar/images/dogalkaynaklar/makaleler/510/tr_20221025142618_510_4_602b49df.pdf
Auker, M.R., Sparks, R.S.J., Siebert, L., Crossweller, H. & Ewert, J. (2013). A statistical analysis of the global historical volcanic fatalities record. *J Appl. Volcanol.* 2, 2. <https://doi.org/10.1186/2191-5040-2-2>
Azzoni, R. S., Zerboni, A., Pelfini, M., Garzonio, C. A., Cioni, R., Meraldi, E. & Diolaiuti, G. A. (2017). Geomorphology of Mount Ararat/Ağrı Dağı (Ağrı Dağı Milli Parkı, Eastern Anatolia, Turkey). *Journal of Maps*, 13 (2), 182-190. <https://doi.org/10.1080/17445647.2017.1279084>
Azzoni, R. S.; Fugazza, D.; Garzonio C. A.; Nicoll, K.; Diolaiuti, G. A.; Pelfini, M. & Zerboni, A. (2019). Geomorphological effects of the 1840 Ahora Gorge catastrophe on Mount Ararat (Eastern Turkey). *Geomorphology*, 332, 10-21. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.02.001>
Baldasso, V., Soncini, A., Azzoni, R. S., Diolaiuti, G., Smiraglia, C., & Bocchiola, D. (2019). Recent evolution of glaciers in Western Asia in response to global warming: the case study of Mount Ararat, Turkey. *Theoretical and applied climatology*, 137, 45-59. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2581-7>
Bayrak M (2021) Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) kullanılarak Ağrı Dağı su potansiyelinin değerlendirilmesi, İçinde: Coğrafya Perspektifile Dağ ve Dağlık Alanlar II (Sürdürülebilirlik-Yönetim-Örnek Alan İncelemeleri, (Edt: Birinci S, Kaymaz Ç K, Kızıllan Y). Kriter Yayınevi (In Turkish). https://www.academia.edu/67922901/Analitik_Hiyerar%C5%9Fi_Prosesi_AHP_Kullan%C4%B1larak_A%C4%9Fr%C4%B1_Da%C4%9F%C4%B1_Su_Kaynaklar%C4%B1_Potansiyelinin_De%C4%9Ferlendirilmesi
Berlitz, C. (1987). The lost ship of Noah: In search of the Ark at Ararat.
Bryce, J. B. (1878). *Transcaucasia and Ararat: being notes of a vacation tour in the autumn of 1876*. Macmillan.
Blumenthal, M. (1959). Ağrı Volkanı ve sedimenter çevresinin dağları. *İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Mecmuası*, XXIII/3-4.
C. Gomez, F. Lavigne, D. Sri Hadmoko & P. Wassmer (2018). Insights into lahar deposition processes in the Curah Lengkong (Semeru Volcano, Indonesia) using photogrammetry-based geospatial analysis, near-surface geophysics and CFD modelling, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 353, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.01.021>
Capra, L.; Borselli, L.; Varley, N.; Gavilanes R. J.; Norini, G.; Sarocchi, D.; Caballero, L. & Cortés, A. (2010). Rainfall-triggered lahars at Volcán de Colima, Mexico: Surface hydro-repellency as initiation process. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 189. 105-117. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2009.10.014>
Choi, J., Oh, H., Lee, H., Lee, C. and Lee, S. (2021). Combining landslide susceptibility maps obtained from frequency ratio, logistic regression, and artificial

- neural network models using ASTER images and GIS, *Engineering Geology*, (124), 12-23. ISSN 0013-7952, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2011.09.011>.
- Çalışkan, O., Gürgeç, G., Yılmaz, E., & Yeşilyurt, S. (2014). Debris-covered glaciers during glacial and interglacial periods on the Taurus Mountains (Turkey). *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 120, 716-721. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.154>
- Çiner, A. (2003). Türkiye'nin güncel buzulları ve geç kuvarterner buzul çökelleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 46(1), 55-78. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tjb/issue/28630/590866>
- Dağ, S. & Bulut, F. (2012). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36 (1). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/280846>
- Demir, M., & Altaş, N. T. (2024). Kars kentinde deprem hasar risk potansiyeli taşıyan alanların CBS tabanlı AHP analizlerine dayalı olarak belirlenmesi. *Geomatik*, 9(1), 123-140. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1375650>
- Demircan, M. (2022). Iğdır'ın iklimi ve iklim değişikliği, T. Aydın (Ed.), *İçinde Doğal ve Beşeri Bilimler Açısından Iğdır-I* (77-112). Astana Yayınları
- Duncan, M., Edwards, S., Kilburn, C., Twigg, J. & Crowley, K. (2014). Anticipating disasters using community knowledge: A case study of a typhoon-triggered lahars disaster at Mayon volcano, Philippines, https://www.ucl.ac.uk/hazardcentre/sites/hazard_centre/files/duncan_2014_anticipating_disasters.pdf
- Eisbacher, G.H. & Clague, J.J. (1984). Destructive mass movements in high mountains: hazard and management. In: Mogan, W.C. (Ed.), *Geological Survey*.
- Erener A., Şebnem H., Düzgün B., (2010), Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of more and romsdal (norway). *Landslides*, Volume 7, 55-68.
- Erinç, S. (2001). Jeomorfoloji II (Güncelleştirilmiş 3. Baskı) (Güncelleştirenler: A.Ertek ve C.Güneysu). İstanbul: Der Yayınları.
- Francis, P. & Oppenheimer, C. (2004). *Volcanoes*, Oxford University Press.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M. & Reichenbach, P. (1999). Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy. *Geomorphology*, 31, 181-216. [https://doi.org/10.1016/S0169555X\(99\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0169555X(99)00078-1)
- Güner, Y. (1986). Nuh'un gemisi Ağrı Dağı'nda mı? Gemi ile ilgili sanılan Doğubayazıt-Telçeker heyelanının jeomorfolojik evrimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, (14), 27-37.
- Hadmoko, D.S., de Belizal, E., Mutaqin, B.W., Dipayana, G. A., Marfai, M. A., Lavigne, F., Sartohadi, J., Worosuprojo, S., Starheim, C. C. A. & Gomez, C. (2018). Post-eruptive lahars at Kali Putih following the 2010 eruption of Merapi volcano, Indonesia: occurrences and impacts. *Nat. Hazards*, 94, 419-444. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3396-7>
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Di Brozolo, F. R., & Villari, L. (1976). Evolution of the volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates (Lake Van, Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 1(2), 103-112. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(76\)90001-9](https://doi.org/10.1016/0377-0273(76)90001-9)
- Jakop, M. & Hungr, O. (2005). *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*, Springer, Praxis Publishing.
- Karakhanian, A. S.; Trifonov, V. G.; Philip, H.; Avagyan, A.; Hessami, K.; Jamali, F.; Bayraktutan, M. S.; Bagdassarian, H.; Arakelian, S.; Davtian, V. & Adilkhanyan, A. (2004). Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380, 3-4, 189-219, <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2003.09.020>.
- Karakhanian, A., Djrbashian, R., Trifonov, V., Philip, H., Arakelian, S., & Avagian, A. (2002). Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113 (1-2), 319-344. [https://doi.org/10.1016/S03770273\(01\)00264-5](https://doi.org/10.1016/S03770273(01)00264-5)
- Karaoğlu, Ö., Elshaafi, A., Salah, M. K., Browning, J., & Gudmundsson, A. (2017). Large-volume lava flows fed by a deep magmatic reservoir at Ağrı Dağı (Ararat) volcano, Eastern Turkey. *Bulletin of Volcanology*, 79, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s00445-016-1098-0>
- Karataş, A. (2022a). Büyük Ağrı Dağı güneybatı eteklerinin coğrafi yapısı ve Holosen paleocoğrafyası, Ağrı Dağı'nda Arkeoloji 1 Bozkurt Kurgan Mezarlığı Kazısı Mezarlık, Höyük, Kaleler ve Geç Kalkolitik Dönemden Urartu Krallığı'na Doğubayazıt Ovası (Edt. Aynur Özfirat)125-149. I. Baskı, Ege Yayınları, İstanbul.
- Karataş, A. (2022b). Erken Demir Çağı'nda coğrafi bilginin mekânsal organizasyonda kullanımı: Orta Aras Havzası örneği, Amisos, 1 (Özel Sayı-The Special Issue (Orta Aras Havzası/The Middle Aras Basin)), 37-55. <https://doi.org/10.48122/amisos.1051755>
- Karataş, A. (2023). Geç Holosen'de Ağrı Dağı Volkanik Kütlesi çevresinde kuruyan/kurutulan göl, gölet ve sulak alanlar. *Aras Havzası-II Tarih, Coğrafya, Arkeoloji, Kültür ve Sanat* (Edt. Ayhan Yardımcıel), 9-27. Kabalcı Yayıncılık, İstanbul.
- Kaya, C. (2023). Ağrı Dağı'nda Eski Çağ Yerleşmelerinin Doğal Çevre Koşulları ve Jeomorfolojik Birimlerle İlişkisi, T. Aydın (Ed.) içinde *Doğal ve Beşeri Bilimler Açısından Iğdır II* (s. 59-80) Astana Yayınları.
- Keserci, F., Güngör, G., Bozdoğan, M., Canpolat, E., Çılğın, Z., & Bayraktar, C. (2023). Geyik Dağı güncel buzulları ve morfometrik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, (84),199-217. <https://doi.org/10.17211/tcd.1395806>
- Keskin, M. (2003). Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey, *Geophysical*

- Research Letters, 30 (24), 1-9. <https://doi.org/10.1029/2003GL018019>
- Keskin, M. (2007). Eastern Anatolia: A hotspot in a collision zone without a mantle plume, In: Foulger, G.R., and Jurdy, D.M., eds., *Plates, plumes, and planetary processes: Geological Society of America Special Paper 430*, p. 693-722. [https://doi.org/10.1130/2007.2430\(32\)](https://doi.org/10.1130/2007.2430(32))
- Keskin, M., Oyan, V., Aysal, A. & Ünal, E. (2014). Büyük Ağrı volkanın petrolojisi, jeokimyası ve magma odası evrimi, *Doğu Anadolu*, 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 14-18 Nisan, Ankara, Türkiye.
- Kirkbride, M. P., & Deline, P. (2013). The formation of supraglacial debris covers by primary dispersal from transverse englacial debris bands. *Earth Surface Processes and Landforms*, 38 (15), 1779-1792. <https://doi.org/10.1002/esp.3416>
- Krause, K. (1914). *Die floristischen Beziehungen des Araratgebietes*.
- Lavigne, F., de Belizal, E., Cholik, N., Aisyah, N., Picquout, A. & Wulan Mei, E.T. (2011). Lahar hazards and risks following the 2010 eruption of Merapi volcano, Indonesia, *Geophysical Research Abstracts*, v. 13, EGU2011-4400, EGU General Assembly.
- Lebedev, V.A., Sharkov, E.V., Keskin, M. & Oyan, V. (2010) Erratum: geochronology of Late Cenozoic volcanism in the area of Lake Van, Turkey: an example of developmental dynamics for magmatic processes. *Dokl Earth Sci* 433 (2), 1031-1037. <https://doi.org/10.1134/S1028334X10110309>
- Lecointre, J., Hodgson, K., Neall, V. & Cronin S. (2004). Lahar-Triggering Mechanisms and Hazard at Ruapehu Volcano, New Zealand. *Natural Hazards* 31, 85-109. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000020256.16645.eb>
- Lynch, H. F. B. (1901). *Armenia, travels and studies (Vol. 1)*. Longmans, Green, and Company.
- Mayr, E., & Hagg, W. (2019). Debris-covered glaciers. *Geomorphology of Proglacial Systems: Landform and Sediment Dynamics in Recently Deglaciated Alpine Landscapes*, 59-71. https://doi.org/10.1007/978-3-319-94184-4_4
- MGM. Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Notsu, K., Fujitani, T., Ui, T., Matsuda, J., & Ercan, T. (1995). Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey. *Journal of volcanology and geothermal research*, 64(3-4), 171-191. [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(94\)00077-T](https://doi.org/10.1016/0377-0273(94)00077-T)
- Öztürk, Y., Yulu, A. & Turgay, O. (2023). Remote sensing supported analysis of the effect of wind erosion on local air pollution in arid regions: a case study from Iğdır province in eastern Türkiye. *Environmental Systems Research*, 12:13, <https://doi.org/10.1186/s40068-023-00294-8>
- Paguican, E.M.R., Lagmay, A.M.F., Rodolfo, K.S., Rodolfo, R.S., Tengonciang, A. M. P., Lopus, M. R., Baliatan, E. G. & Obille, E. C. (2009). Extreme rainfall-induced lahars and dike breaching, 30 November 2006, Mayon Volcano, Philippines. *Bull. Volcanol*, 71, 845-857. <https://doi.org/10.1007/s00445-009-0268-8>
- Partigöç, N. S., & Dinçer, C. (2024a). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı afet risk analizi: Denizli ili örneği. *Geomatik*, 9(1), 27-44. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1261051>
- Partigöç, N. S., & Dinçer, C. (2024b). The Multi-Disaster risk assessment: A-GIS based approach for Izmir City. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9(1), 61-76. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1295657>
- Pierson, T. C.; Janda, R. J.; Jean-Claude Thouret, J. C. & Borrero, C. A. (1990). Perturbation and melting of snow and ice by the 13 November 1985 eruption of Nevado del Ruiz, Colombia, and consequent mobilization, flow and deposition of lahars, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 41,1-4,17-66, [https://doi.org/10.1016/0377-0273\(90\)90082-Q](https://doi.org/10.1016/0377-0273(90)90082-Q).
- Pierson, T.C., Wood, N.J. & Driedger, C.L. (2014). Reducing risk from lahar hazards: concepts, case studies, and roles for scientists. *J Appl. Volcanol*, 3, 16. <https://doi.org/10.1186/s13617-014-0016-4>
- Muñoz-Salinas, E., Manea, V. C., Palacios, D., & Castillo-Rodriguez, M. (2007). Estimation of lahar flow velocity on Popocatepetl volcano (Mexico). *Geomorphology*, 92(1-2), 91-99.
- Sanver, M. (1968). A palaeomagnetic study of Quaternary volcanic rocks from Turkey. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1 (6), 403-421. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(68\)90038-1](https://doi.org/10.1016/0031-9201(68)90038-1)
- Sarıkaya, M. A. (2011). Türkiye'nin güncel buzulları. *Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistematik ve Bölgesel, Türk Coğrafya Kurumu Yayınları*, 1.
- Sarıkaya, M. A. (2012). Glacier loss on Mount Agri (Ararat) and its climatic significance. *Quaternary International*, 279, 427
- Shafapour Tehrany, M., Kumar, L., Neamah Jebur, M., & Shabani, F. (2019). Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 79-101. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1506509>
- Siahkamari, S., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., & Rahmati, O. (2018). Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto International*, 33(9), 927-941. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1316780>
- Siebert, L., Simkin, T., & Kimberly, P. (2011). *Volcanoes of the World*. Univ of California Press.
- Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., & Stix, J. (Eds.). (2015). *The encyclopedia of volcanoes*. Elsevier.
- Smith, G.A. & Fritz, W.J. (1989). Volcanic influences on terrestrial sedimentation. *Geology*, 17, 375-376. [https://doi.org/10.1130/00917613\(1989\)017%3C0375:VIOTS%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/00917613(1989)017%3C0375:VIOTS%3E2.3.CO;2)
- Sümengen, M. (2013). 1/100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi; Doğubayazıt -İ52, İ53 Paftası, MTA Jeoloji Etütler Dairesi, Ankara, 36 s.
- Sür, Ö. (1976). *Yanardağlar, oluşumları ve faaliyetleri*. Ankara Üniversitesi Dil Tarih-Coğrafya Fakültesi Yayınları. Ankara.

- Şaroğlu, F. (1985). Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi.
- Sengör, A. M. C., Kidd, W. S. F. (1979). Post – collisional tectonics of the Turkish – Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, 361-376. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(79\)90184-7](https://doi.org/10.1016/0040-1951(79)90184-7)
- Şentürk, E., & Erener, A. (2017). Determination of temporary shelter areas in natural disasters by GIS: a case study, Gölçük/Turkey. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(3), 84-90. <https://doi.org/10.26833/ijeg.317314>
- Tchop J.L., Metang V., Dilli-Rake J., Nana G.V., Nguet P.W., Tassongwa B. & Ntieche B. (2021). The lahars of the South-East slope of Mount Cameroon: geological study, economic interest and impacts of their exploitation on the environment. *Turkish Journal of Geosciences* 2(2), 1-12. <https://doi.org/10.48053/turkgeog.929327>
- Trinh, T., Luu, B. T., Le, T. H. T., Nguyen, D. H., Van Tran, T., Van Nguyen, T. H., ... Nguyen, L. T. (2022). A comparative analysis of weight-based machine learning methods for landslide susceptibility mapping in Ha Giang area. *Big Earth Data*, 1-30. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2043520>
- Turoğlu, H. (2022). *Magmatik Jeomorfoloji (Genel Esaslar ve Türkiye'den Örnekler)*. Filiz Kitabevi, İstanbul
- Ullah, K., & Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of panjkora river basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *PLoS ONE*, 15(3), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>
- Umbal, J. V. (1986). Mayon lahars during and after the 1984 eruption. *Philippine Journal of Volcanology*, 3, 38-59.
- Vallance, J. W. & Iverson, R. M. (2015). Lahars and Their Deposits, *The Encyclopedia of Volcanoes (Second Edition)*, 649-664. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385938-9.00037-7>
- Vallance, J. W. (2000). Lahars. *The Encyclopedia of Volcanoes*, 601-616.
- Vallance, J. W. & Scott, K. M. (1997). The Osceola Mudflow from Mount Rainier: Sedimentology and hazard implications of a huge clay-rich debris flow, *GSA Bulletin*, 109, 2, 143-163. [https://doi.org/10.1130/00167606\(1997\)109%3C0143:TOMFMR%3E2.3.CO;2](https://doi.org/10.1130/00167606(1997)109%3C0143:TOMFMR%3E2.3.CO;2)
- Van Den Eeckhaut, M., Hervás, J., Jaedicke, C., Malet, J.-P., Montanarella, L. & Nadim, F., (2012). Statistical modelling of Europe-wide landslide susceptibility using limited landslide inventory data. *Landslides*, 9, 357-369. <https://doi.org/10.1007/s10346-0110299-z>
- Van Westen, C.J., Castellanos, E. & Kuriakose, S.L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard and vulnerability assessment: An overview, *Engineering Geology*, 102, 112-132. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.010>
- Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice, *Commission of Landslides of the IAEG, UNESCO, Natural Hazards*, 3 (61). 63 s.
- Wilson, J. P., & Gallant, J. C. (Eds.). (2000). *Terrain analysis: principles and applications*. John Wiley & Sons.
- Witham, C. S. (2015). Volcanic disasters and incidents: A new database, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 148, 3-4, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2005.04.017>
- Yalçın, M. (2017). Ağrı Dağı buzul değişimlerinin uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(4), 166-170. https://fenbildergi.aku.edu.tr/wpcontent/uploads/2017/11/2686_mustafayalcin-166-170.pdf
- Yavaşlı, D. D., Tucker, C. J., & Melocik, K. A. (2015). Change in the glacier extent in Turkey during the Landsat Era. *Remote Sensing of Environment*, 163, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.03.002>
- Yılmaz, O. S. (2023). Frekans oranı yöntemiyle coğrafi bilgi sistemi ortamında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi: Manisa, Demirci, Tekeler Köyü örneği. *Geomatik*, 8(1), 42-54. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1108735>
- Yılmaz, E., & Çiçek, İ. (2016). Thornthwaite climate classification of Turkey Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 3973-3994. <https://www.jhumansciences.com/ojs/index.php/IJHS/article/view/3994>
- Yılmaz, Y., Güner, Y., & Şaroğlu, F. (1998). Geology of the Quaternary volcanic centres of the East Anatolia. *Journal of volcanology and geothermal research*, 85(1-4), 173-210. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(98\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(98)00055-9)
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, F., Güner, Y., (1987). Initiation of the neomagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 137: 177-199. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(87\)90256-3](https://doi.org/10.1016/0040-1951(87)90256-3)
- Yulu, A. (2021). Ağrı Dağı'nda Dağcılık Turizmi ve Çevresel Etkileri. (İçinde) COĞRAFİ PERSPEKTİFLE DAĞ VE DAĞLIK ALANLAR (Sürdürülebilirlik-Yönetim-Örnek Alan İncelemeleri). 329-355. Kriter Yayıncılık.
- Zorer, H. (2022). Kar Altındaki Ateş Ninurta "Nemrut Volkan Dağı Neotektonik Dönem Jeomorfolojik Gelişimi", Nobel Akademik Yayıncılık, 1. Basım. Ankara.
- URL-1: <https://dataspace.copernicus.eu/browser/> (son erişim: 25.02.2024)
- URL-2: <https://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx> (son erişim: 01.03.2024)
- URL-3: <https://mgm.gov.tr/tahmin/il-ve-iller.aspx?il=Igdır> (son erişim: 05.02.2024)

