

İstatistiksel Yöntemlerle Yukarı Karasu Havzası'nın Kuzeydoğu Bölümünün (Erzurum) Heyelan Duyarlılık Analizi

Landslide Susceptibility Analysis of the Northeastern Part of the Upper Karasu Basin (Erzurum) Using Statistical Methods

Erdem Aydoğan¹, Serhat Dağ^{2*}

¹Afet ve Acil Durum (AFAD) İl Müdürlüğü, Erzurum/Türkiye.

²Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Serhat Dağ
serhatdag@gumushane.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1202140

Yayın süreci

Geliş tarihi: 10.11.2022
Kabul tarihi: 07.02.2023
Basım tarihi: 28.03.2023

Özet

Bu çalışmada, Erzurum ilinde Yukarı Karasu Havzası'nın kuzeydoğu bölümünün heyelan duyarlılık analizi gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları ile 334 adet heyelan tespit edilerek heyelan envanter haritası oluşturulmuştur. Mevcut heyelanların %80'i analizlerde kullanılırken, rastgele seçilen %20'si ise duyarlılık performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışma alanı koşulları göz önünde bulundurularak jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametreler analizlerde değerlendirilmiştir. Çalışmada hem frekans oranı yöntemi (FO) hem de Bayes olasılık modeli (BO) kullanılarak 5 farklı duyarlılık sınıfından oluşacak şekilde heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir. Daha sonra haritalar mevcut heyelanlarla karşılaştırılarak performans analizi gerçekleştirilmiştir. Frekans oranı yöntemine göre çalışma alanının %55.02'si, mevcut heyelanların ise %89.1'i yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlar olarak belirlenmiştir. Bayes olasılık modeli ile üretilen duyarlılık haritasında ise çalışma alanının %41.21'i, mevcut heyelanların ise %76.45'i yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlarda tespit edilmiştir. Bu sonuç çalışmada her iki yöntemle elde edilen heyelan duyarlılık haritalarının mühendislik projelerinin tasarımı ve mekânsal planlama çalışmalarında kullanılabilir nitelikte olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Heyelan, Frekans oranı yöntemi, Bayes olasılık modeli, Yukarı Karasu havzası, Erzurum, Duyarlılık analizi

Abstract

In this study, a landslide susceptibility analysis was carried out in the northeastern part of the Upper Karasu Basin in Erzurum. 334 landslides were determined by field studies and a landslide inventory map was created. While 80% of the existing landslides were used in the analyses, the randomly selected 20% were used in the evaluation of the susceptibility performance. Considering the conditions of the study area, geological, topographic and environmental parameters were evaluated in the analysis. The landslide susceptibility maps were produced using both the Frequency ratio method (FR) and Bayesian probability modal (BM), consisting of five susceptibility classes. Then, performance analysis was performed by comparing these maps with the existing landslides. According to the frequency ratio method, 55.02% of the study area and 89.1% of the existing landslides were determined as high and very high susceptible areas. However, in the susceptibility map produced by the Bayesian probability model, 41.21% of the study area and 76.45% of the existing landslides were detected in high and very high susceptible areas. This result shows that the landslide susceptibility maps obtained by both methods can be used in the design of engineering projects and spatial planning studies.

Keywords: Landslide, Frequency ratio method, Bayesian probability model, Upper Karasu basin, Erzurum, Susceptibility analysis

1. Giriş

Üzerinde yaşadığımız dünyanın atmosferle etkileşimi ve içyapısının dinamik olması dolayısıyla doğa olayları olarak adlandırılan deprem, heyelan, taşkın ve çığ türü olaylar meydana gelmektedir. Dünya genelinde, özellikle son 30 yıllık dönemde, nüfustaki hızlı artış, yeryüzü dinamikleri ve küresel iklim değişikliği gibi nedenlerin etkisi ile afete dönüşen doğa olaylarının sayısında kayda değer artışlar gözlenmektedir. Bu tür olaylar, insan hayatında ve çevresel koşullarda olumsuz yönde etkiye sahip olmaları durumunda afet olarak adlandırılmaktadır. Dünya genelinde uzun dönem ortalamaları dikkate alındığında depremlerden sonra hasar verebilme potansiyeli ve can kaybı en yüksek afet türü heyelanlardır (Gökçe vd., 2008; Aydoğan, 2019). Jeolojik, jeomorfolojik ve meteorolojik koşulların heyelan oluşumu üzerindeki etkinliği dikkate alındığı zaman dünya üzerindeki birçok ülkenin heyelan afeti ile karşı karşıya olduğu rahatlıkla ifade edilebilir. Özellikle son yıllarda küresel iklim değişikliklerine bağlı olarak dünyadakine benzer şekilde ülkemizde oluşan heyelan kaynaklı afetler de aşırı yağışlar ya da depremlerin tetiklemesi sonucunda meydana gelmektedir.

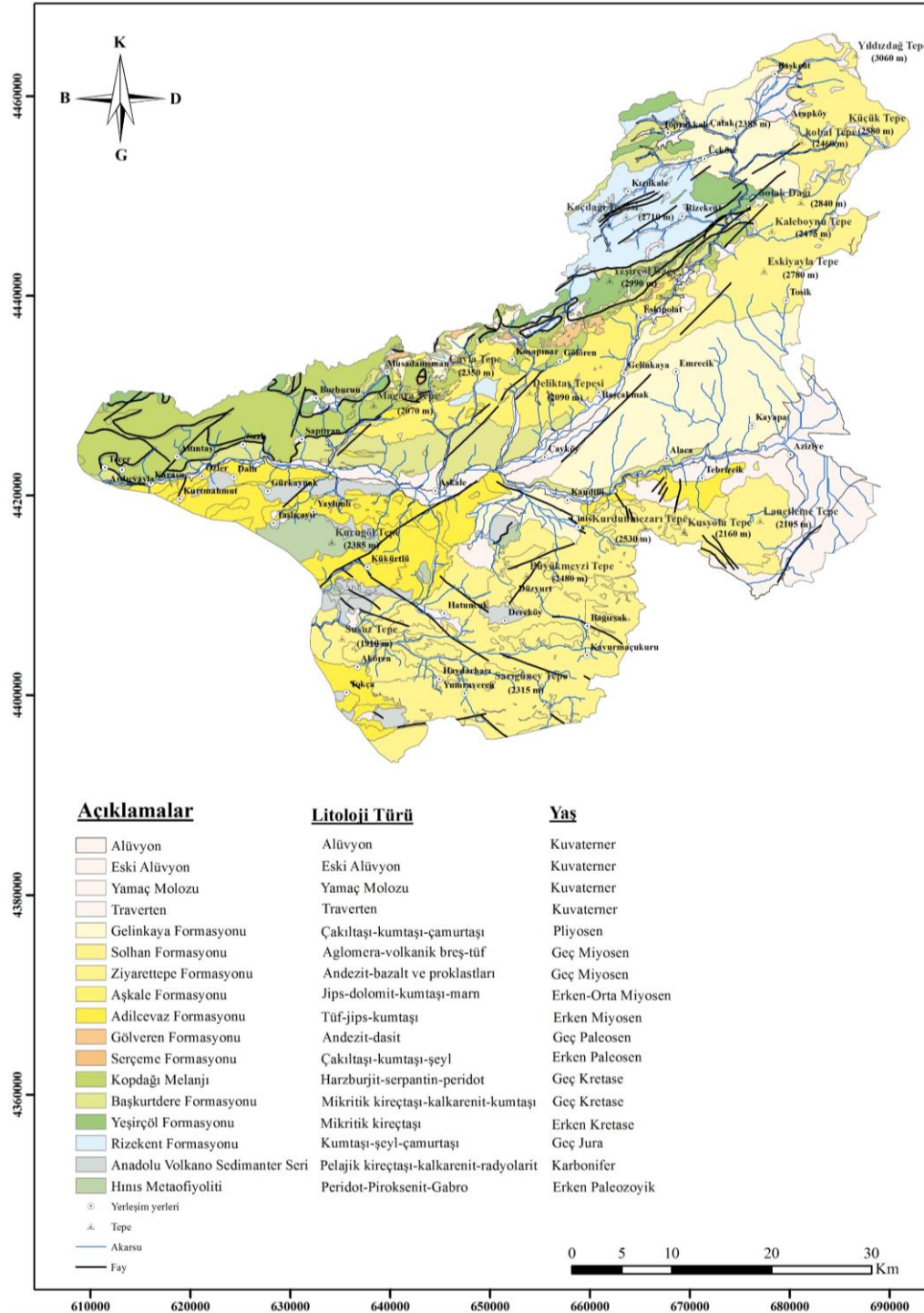
Heyelanlardan kaynaklı maddi zararlar dikkate alındığında sahip oldukları jeolojik, morfolojik ve meteorolojik koşullar nedeniyle çok fazla sayıda afet olayına maruz kalan İtalya, İsviçre ve ABD gibi gelişmiş ülkeler güçlü ekonomileri sayesinde afetlerin olumsuz etkilerinden daha az etkilenmektedir. Buna rağmen benzer afetler daha az meydana gelmesine rağmen az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde daha büyük çevresel zararlar oluşturmakta ve ülke ekonomilerini önemli derecede etkilemektedir. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bir yıldaki üretimlerinin %1-2'sini afetler sonucunda kaybetmektedirler. Yine Dünya Bankası verileri dikkate alındığında afetlerden kaynaklı can kaybının %95'i bu tür ülkelerde gerçekleşmektedir (Kremier ve Arnould 2000; Aydoğan, 2019). Sahip olduğu jeolojik özellikler, coğrafi yapısı ve iklimsel koşullar nedeniyle afetlere sık sık maruz kalan ülkemizde gerçekleşen deprem, heyelan ve taşkın türü olaylara bağlı afetler sonucu önemli miktarda can ve mal kaybı yaşanmaktadır. Bunlar içerisinde heyelan olayları neticesinde yaşanan kayıplar genellikle heyelanları tetikleyen deprem ve aşırı yağış gibi süreçlerin içerisinde değerlendirildiğinden çoğu zaman değerlendirmelerin gerçek durumu yansıtmakta yetersiz kaldığı, heyelan kaynaklı zararların gerçek boyutlarının daha da yüksek olduğu düşünülmektedir (Derin ve Ercanoğlu, 2018). Bunun yanı sıra heyelan kaynaklı afet olayları sonucunda ölüm ya da yaralanma ile ilgili sayılar çoğunlukla aşırı yağışlar ve deprem, daha az oranda ise diğer doğa veya insan kaynaklı birincil olaylara atfedilmektedir (Fidan ve Görüm, 2020). Yine olaydan etkilenen yaralı ve kayıp kişilerin durumlarının sonradan güncellenmemesi gibi nedenler dolayısıyla aslında çoğu zaman heyelanlar kaynaklı kayıp ve zararların gerçek boyutları tahmin edilenden daha yüksektir (Schuster, 1996; Haque vd., 2019; Fidan ve Görüm, 2020). Artan nüfus, şehirleşmelerde yaşanan düzensizlikler, teknolojik gelişmelere bağlı olarak farklı mühendislik yapılarına olan gereksinimin artması gibi birçok neden önümüzdeki yıllar için heyelanlardan kaynaklı afetler neticesinde yaşanabilecek kayıpların giderek çoğalacağını, dolayısıyla da bu alanda detaylı bilimsel çalışmaların önemi ve gerekliliğini de zorunlu kılmaktadır (Dağ ve Bulut, 2012). Doğa olayları ve sonucunda yaşanan afetler, ülkemiz açısından son derece önemli bir sorundur. Afetlerden kaynaklanan zararlar içerisinde değerlendirilen doğa olaylarına bağlı yaşanan can kaybı ve maddi kayıpların en az seviyeye indirgenmesi amacı ile çok sayıda araştırma yapılmaktadır (Dağ vd., 2011). Bu açıdan ele alındığında, ülkemizde Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı (AFAD), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) gibi devlet kurumları ile üniversiteler ve özel kuruluşlar tarafından, özellikle son yıllarda önemli projeler gerçekleştirilmektedir. Yine ülkemizde konu ile ilgili araştırmacıların Web of Science tarafından taranan dergilerde yapmış oldukları heyelan duyarlılığı, tehlike ve riskine yönelik makale çalışmaları bu anlamda azımsanmayacak seviyededir (Derin ve Ercanoğlu, 2018).

Baraj yeri, depolama alanı, yerleşim yeri gibi yer seçimi çalışmaları ile demir yolu ve kara yolları, oto yollar gibi güzergâh belirlemeye yönelik çalışmalar ya da buna benzer mühendislik projelerinin gerçekleştirilmesi aşamalarında ilgili alanların heyelan duyarlılığı açısından değerlendirilmesi önemlidir. Bu şekilde yüksek maliyet gerektiren bu tür projelerde ileride heyelan nedeniyle yaşanabilecek olumsuzlukların da önüne geçilmiş olacaktır (Akgün, 2018).

Bölgesel açıdan değerlendirilecek olursa, Karadeniz Bölgesi ve Doğu Anadolu Bölgesi ülkemizde heyelanlar açısından en fazla olay sayısına sahip bölgelerdir. AFAD verilerine göre, heyelan türü afet olay sayısı dikkate alındığında, Trabzon 1123 olay sayısı ile ilk sırada yer almaktadır. Olay sayısında Trabzon'u 1049 heyelan ile Rize, 613 ile Kastamonu ve 573 heyelanla Erzurum takip etmektedir. Aynı dönem içerisinde ülke genelinde kayıt altına alınmış olan heyelan olay sayısı ise 13494'tür (Gökçe vd., 2008; Aydoğan, 2019). Karadeniz Bölgesi'nde gerçekleşen heyelanlarının büyük bir çoğunluğu aşırı yağışlara bağlı olarak gelişen sığ akma ve kayma türündeki heyelanlardır. Doğu Anadolu Bölgesi'nde ise yüksek kesimlerdeki ani kar erimelerinin büyük ölçekli heyelanlar açısından tetikleyici unsur olduğu, ayrıca yörenin depremselliğinin de yine heyelanları tetikleyerek afetlere sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Bu durumlar dikkate alınarak gerçekleştirilen bu çalışma ile öncelikle heyelanlara bağlı yaşanacak can kaybı ve maddi kayıpların en az seviyeye indirgenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra nüfus artışları nedeniyle ihtiyaç olan yeni yerleşim alanı seçimine yönelik çalışmalar ile sanayi ve mühendislik yapı alanlarının tasarımında da faydalı olması amacıyla iki farklı istatistiksel yöntem kullanılarak Yukarı Karasu Havzası'nın kuzeydoğu bölümünün heyelan duyarlılık haritaları üretilmiştir.

Çalışmaya konu olan bölgede vadi tabanları, aşınım yüzeyleri, tepelik alanlar ve taraçalar gibi morfolojik birimler yer almaktadır. Oldukça kırıklı ve kıvrımlı olan dağların büyük bir kısmı Alpin orojenezine bağlı olarak neotektonik hareketler neticesinde şekillenmiştir. Morfolojik yapılar içerisinde dağlar kadar geniş yer kaplamamakla birlikte Ovacık (Ilıca) Platosu bulunmaktadır. Yükselti değerleri 1200-2200m arasında değişen Erzurum ve Aşkale Ovaları tektonik kökenli olup, çalışma alanında yer alan en önemli ovalardır. Havzanın hemen doğusunda yer alan Erzurum Ovası 591 km²lik yüzölçümüne sahiptir. Ovanın farklı bölgeleri dikkate alındığında deniz seviyesinden yüksekliği 1750-2050 m arasında değişmekte olup sık sık faylarla kesilmektedir. Havzanın hemen güneybatısında yer alan Aşkale Ovası yaklaşık 26 km² yüzölçümüne sahip olup, Pırnakapan, Koşapınar gibi bazı yerleşim yerleri ile Gölveren ve Ballıtaş Mahalleleri heyelan olaylarına maruz kalan alanlardır. Yöre çoğunlukla jipsli ve killi birimlerden oluşmaktadır. Özellikle fay hatlarına yakın alanlar ile akarsu vadilerinin geçtiği alanlarda yaygın olarak heyelanlar gözlenmektedir.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Tarhan (1990;1998) ve Timur (2000)'den yararlanarak)

Erzurum Meteoroloji İstasyon verilerine göre yörede yıllık ortalama yağış 432 mm'dir. Bu verilere göre 73.8 mm ile Mayıs ayı en yüksek, 17.7 mm yağış ile Ağustos ayı ise en düşük yağış ortalaması değerine sahip aylardır. Çalışma alanında özellikle kış aylarında ve yüksek kesimlerde kar yağışı etkilidir. Ocak ve Şubat ayları 11'er gün süre ile karın en çok yağdığı iki aydır ve bu aylarda yağın kar uzun süre erimemektedir.

Çalışmada daha önce Tarhan (1990;1998) tarafından hazırlanan haritalardan ve Timur (2000) tarafından bölgede gerçekleştirilen stratigrafi çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu çalışmalar esas alınarak çalışma alanının jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2).

Yukarı Karasu Havzası içerisinde bulunan litolojik birimler erken Paleozoikten günümüze kadar değişen bir yaş aralığına sahiptir. Çalışma alanında peridotit, piroksenit, olivinli gabro ve levha dayk karmaşığından oluşan Erken Paleozoik yaşlı Hınıs Metaofiyolitleri tabanı oluşturmaktadır ve Tarhan (1989) tarafından tanımlanmıştır. Bu birimin üzerine ofiyolitli melanj veya ofiyolitli karışık olarak tanımlanan, Karbonifer-Geç Kretase yaşlı Anadolu Ada Yayı Volkanoklastik Sedimanter Serisi gelmektedir (Tarhan, 1998). Bu birim üzerinde, kumtaşı, şeyl, çakıltaşı, kireçtaşı ve volkanik araseviyelerinden oluşan Rizekent Formasyonu bulunmaktadır. Bu formasyona Timur (2000) tarafından Geç Jura yaşı verilmiştir. Rizekent Formasyonu'nun üzerine Yeşilçöl Formasyonu gelmektedir. Bu formasyon bol çörtlü açık renkli kireçtaşları ile ara seviyeler halinde marn ve yeşilimsi gri renkli kalkarenitlerden oluşmaktadır. Bu formasyona içerisinde bulunan fosillere dayanarak Timur (1997) tarafından Erken Kretase yaşı verilmiştir. Çalışma alanında Akdeniz vd. (1994) tarafından Başkurtdere Formasyonu olarak isimlendirilen bir diğer formasyon ise kumtaşı, mikritik kireçtaşı, yeşilimsi marn, kalkarenit, ve şeyl ardalanması ile yüzeylenmektedir. Timur (2000) tarafından biyomikritlerde tespit edilen fosillere dayanılarak formasyona Geç Kretase yaşı verilmiştir. Başkurtdere Formasyonu'nun üzerine mafik ve ultramafik kayalardan oluşan Kopdağı Melanjı gelmektedir. Formasyon içerisinde hâkim kaya türü peridotit ve piroksenitlerdir. Bölgesel deneştirme ve birimlerin alt-üst ilişkisinden yararlanarak birime Malm-Geç Kretase yaşı verilmiştir (Timur, 2000). Bu birimin üzerine çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve kireçtaşlarından oluşan Serçeme Formasyonu gelmektedir. Serçeme Formasyonu'na içermiş olduğu fosillerden hareketle Timur (1997) tarafından Senoniyen-Erken Paleosen yaşı verilmiştir. Aglomera, tuf, andezit ve dasitik piroklastitlerinden oluşan Gölveren Volkanitleri, Kopdağı Melanjı ve Serçeme Formasyonu'nu keserek bu birimleri üstlemekte olup birimin yaşı Geç Paleosen-Erken Eosendir (Timur, 2000). Erzurum ve çevresinde geniş yayılım gösteren Adilceva Formasyonu volkanik arakatlı resifal kireçtaşı, kumtaşı, çakıltaşı, tuf, tüfit, kalkarenit, marn ve yer yer jips-anhidrit-tuz türü kayalardan oluşmaktadır. Birime Tarhan (1990) tarafından Erken Miyosen yaşı verilmiştir. Adilceva Formasyonu üzerine çalışma alanının kuzey kesiminde sığ denizel çökellerden oluşan Erken-Orta Miyosen yaşlı Aşkale Formasyonu gelmektedir (Timur, 1997). Aşkale Formasyonu çalışma alanında KD-GB doğrultusunda bir hat boyunca uzanmakta ve Gürleyintepe, Koşapınar ve Meymansur olarak adlandırılan üç alt üyeden oluşmaktadır. Aşkale Formasyonu'nun üzerinde gri siyah renkli andezit, bazalt ve bunların piraklastitlerinden oluşan ve bu birimi keserek yerleşen Geç Miyosen yaşlı Ziyarettepe Volkanitleri yer almaktadır (Timur, 2000). İnceleme alanında güney kısımlarda yer yer ince orta tabakalı marn, gösel kireçtaşı ve çakıltaşı arakatlı aglomera ve volkanik breş içeren birim Solhan Formasyonu olarak adlandırılmakta olup, Geç Miyosen yaşındadır (Tarhan, 1998). Çalışma alanında Formasyon mertebesinde en genç birim Pliyosen yaşlı Gelinkaya Formasyonudur. Bu formasyon, tüfit araseviyeleri kumtaşı, çakıltaşı, kiltası ve marn ardalanması ile tipiktir. Akarsu ve dere yataklarında çevre kayaların kırıntılarında oluşan, bloktan kil boyutuna kadar değişen boyutlarda malzeme içeren alüvyonlar Kuvaterner yaşlı olup, çalışma sahasındaki traverten ve yamaç molozları ile birlikte en genç birimleri oluşturmaktadır (Aydoğan, 2019).

3. Heyelan Duyarlılık Analizleri

Çalışma alanında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi için hem parametre hem de yöntem seçimi önemlidir. Parametre seçiminde en önemli unsur yamaçların dengesini etkileyen, bölgede heyelan oluşumunda etkili olan ve haritalanabilecek nitelikteki parametrelerin seçimidir. Bununla birlikte çalışma alanının büyüklüğü ya da çalışma ölçeği, veri elde etmede kullanıcıların karşılaşılabileceği sorunlar ile çalışma alanına özgü durumlardan kaynaklanan parametrenin etkinliği gibi hususlar hangi parametrelerin duyarlılık haritası üretiminde kullanılacağı sorusunun cevaplarını oluşturmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Dağ, 2007; Dağ vd., 2011). Aslında daha az oranda kullanılan litoloji-ayırışma, ayırışma derinliği, çizgisel unsurlara yakınlık, zemin makaslama dayanımı gibi bazı parametreler çalışılan alanın özelliklerine bağlı olup, ilgili alan için heyelan oluşumu açısından büyük öneme sahip olabilmektedir (Dağ vd., 2021). Nitekim konuya yönelik çalışmalarda kullanılan parametrelerin seçimi yapılırken çalışma alanındaki heyelanların gelişim sürecini önemli ölçüde denetleyen unsurlar gözetilmektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Bu değerlendirmeler dikkate alınarak çalışma alanı için hazırlayıcı faktörlerden jeolojik faktör olarak litoloji kullanılmıştır. Topoğrafik faktör olarak yükseklik, yamaç eğimi, yamaç eğim yönü, yamaç eğriselliği ve akarsuya yakınlık dikkate alınmıştır. Çevresel parametrelerden ise arazi kullanımı ve ana faya yakınlık unsurları bu çalışma için heyelan oluşumunda etkili olarak değerlendirilmiş ve heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılmıştır.

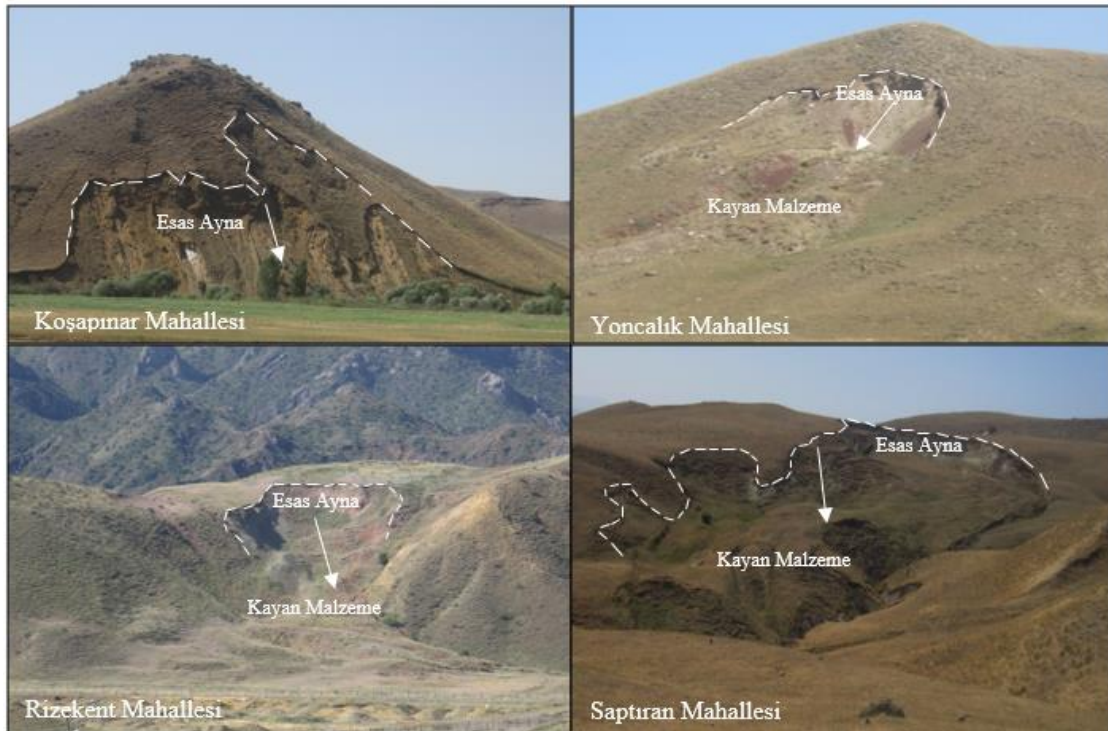
Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde genel anlamda nitel ve nicel yöntemlerden yararlanılmaktadır. Sayısal olmayan yöntemler, daha çok doğrudan saha gözlemlerini esas alan ve duyarlılık değerlendirmesini yapan kişinin bilgi ve deneyiminin ön plana çıktığı yöntemlerdir. Bu tür yöntemlerde çalışmaya esas olan verilerin temel kaynağını arazi çalışmaları esnasındaki gözlem ve değerlendirmeler oluşturmaktadır. Bu yöntemde arazi çalışmalarına ilaveten hava fotoğrafları yorumlanarak duyarlılık değerlendirmesi gerçekleştirilmektedir. Sayısal yöntemlerde ise heyelana neden olabilecek çok sayıdaki parametre bilgisayar ortamında analiz edilerek duyarlılık haritaları üretilmektedir. Bu yöntemlerde, ortam koşulları ile heyelanların oluşumu arasındaki ilişki matematiksel işlemlere dayanarak sayısal olarak ortaya koyulmaktadır. Jeoteknik yaklaşımlar, veri kaynaklı istatistiksel yöntemler ile yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi yapay zekâ yöntemleri analizlerde kullanılan sayısal yöntemler içerisinde yer almaktadır. Bu çalışmada ayrıntıları ilerleyen bölümlerde verilen istatistiksel yöntemlerden Frekans oranı yöntemi (FO) ve Bayes olasılık modeli (BO) kullanılmıştır.

3.1. Heyelan Envanteri

Heyelan duyarlılık değerlendirmelerinin yapılabilmesi açısından çalışma alanındaki heyelanların mekânsal dağılımının yanı sıra tipleri ve mümkünse zamansal değişimlerinin de gösterildiği heyelan envanter haritalarının hazırlanması çok önemlidir. Bu sayede güvenilir bir veri tabanı oluşturulabilir. Sonraki aşamalarda üretilecek haritaların kullanılabilirliği veri miktarı ve niteliğine bağlıdır. Heyelan envanterine yönelik yapılacak hatalar, sonrasında oluşturulacak duyarlılık haritalarının da doğruluğunu direkt etkileyecektir (van Westen, 1994).

Çalışmanın amacı, veri kaynağı ve çalışma ölçeği heyelan envanterini oluşturulurken araştırmacıların ne tür bir yol izlemesi gerektiği ve yöntem hususunda belirleyici olmaktadır. Literatür çalışmalarına dayalı tarihsel kayıtların incelenmesi, farklı zamanlara ait hava fotoğraflarının yorumlanması, arazi çalışmaları ile kontrol ve doğrulamaların yapılması özellikle öncü çalışmalarda sıklıkla tercih edilen yöntemlerdir. Daha sonraları ise teknolojik gelişmelere de bağlı olarak GIS ve CAD tabanlı yazılımların yaygınlaşması ve uydu görüntülerinin hassasiyetinin artması envanter çalışmalarına önemli katkılar sağlamıştır.

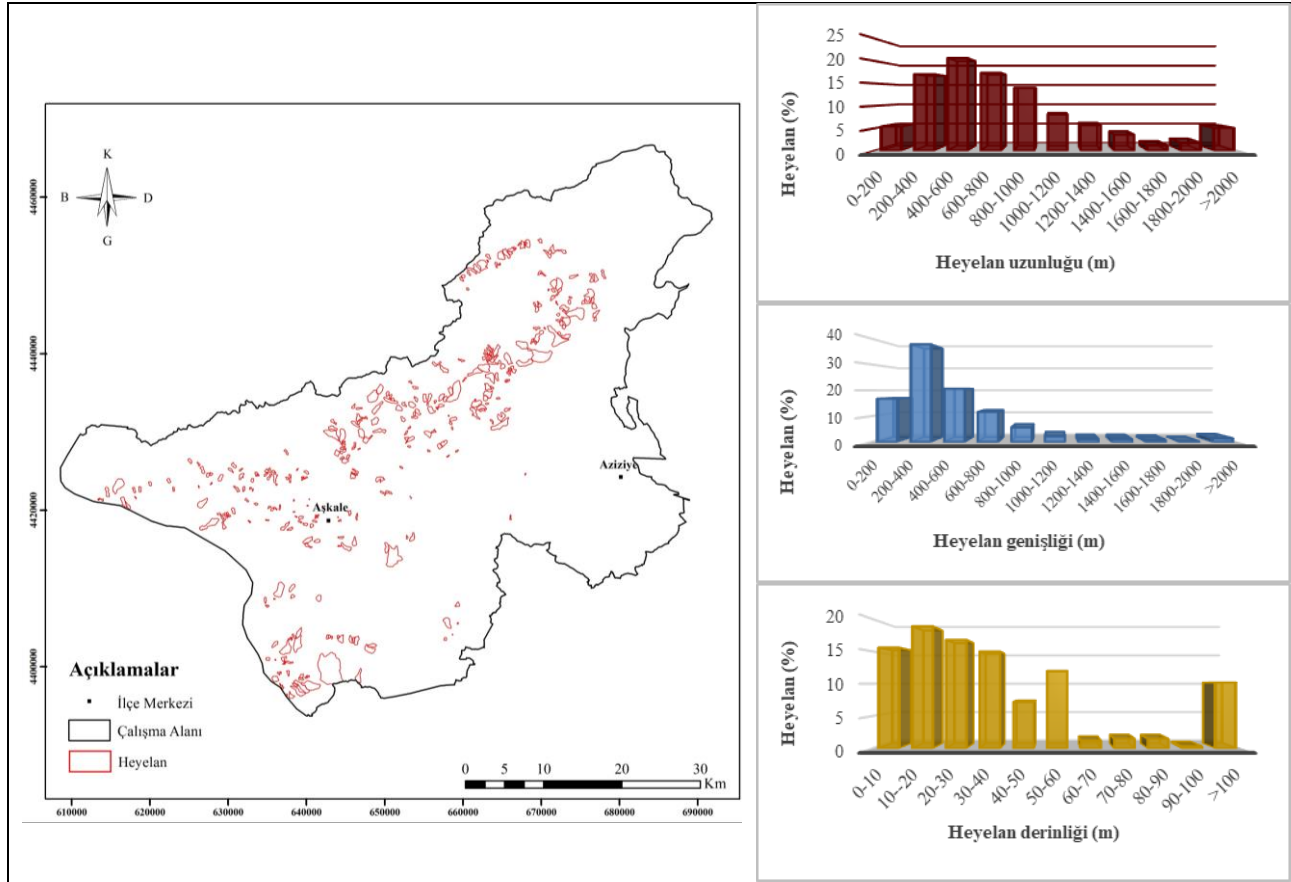
Çalışmada Erzurum İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü tarafından 2016 yılında hazırlanan heyelan envanter haritasına ilişkin çalışmalar esas alınmıştır. Bu çalışmada ise özellikle arazide heyelanların tipi, boyutları, koordinatları gibi bir takım tanımlayıcı bilgileri tespit edilmiş ve gerekli kontrollerle birlikte heyelan envanteri güncellenmiştir. Büyük çoğunluğu toprak kayması şeklinde gerçekleşen heyelanlar içerisinde yer yer moloz akmaları ve çoklu hareketlerin de gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanındaki mevcut heyelanların genel görünümüne örnekler

Toplam 2644.5 km²'den oluşan, Yukarı Karasu Havzası'nın Aziziye-Aşkale ilçe idari sınırlarına karşılık gelen çalışma alanında tespit edilen 334 adet heyelan toplam alan içerisinde 91.6 km²'lik alansal bir büyüklüğe sahiptir. Bu rakam toplam alanın %3.46'sına karşılık gelmektedir. Çalışma alanında heyelanlar boyutları itibarı ile 1/25.000 ölçekli haritada alansal olarak gösterilebilecek niteliktedirler. Bu nedenle heyelanların alansal dağılımının gösteriminde 25x25 m mekânsal çözünürlük tercih edilmiştir. Bu durumda çalışma alanında toplam hücre sayısı 4.231.349 ve heyelanlı alanların toplam hücre sayısı ise 146.635 olarak belirlenmiştir.

Arazi çalışmaları süresince hem heyelan envanteri oluşturulmuş hem de heyelanların boyutlarına (uzunluk, genişlik, derinlik) ilişkin veriler kayıt altına alınmıştır. Bu veriler sayesinde envanter haritası ile birlikte heyelanların boyutsal dağılımları da grafiklerle sunulmuştur (Şekil 4). Çalışma alanındaki heyelanların boyutları genel olarak değerlendirildiğinde heyelanların yaklaşık %75'i 0-1000 m uzunluk, 0-600 m genişlik değerlerine sahip olmakta ve yine mevcut heyelanların yaklaşık %85'inin derinlik değerleri ise 0-60m arasında değişmektedir.



Şekil 4. Heyelan envanter haritası ve heyelanların boyutları

3.2. Kullanılan Parametreler

3.2.1. Litoloji

Heyelan oluşumundaki en önemli faktörlerin başında litoloji gelmektedir. Bu değişken heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik çalışmaların hemen hemen tamamında kullanılmıştır. Litolojik birimlerin kaymaya karşı duyarlılığı, bu birimlerin su tutma kapasiteleri ve kayma gerilmelerindeki farklılıklar nedeni ile değişmektedir (Dağ, 2007; Dağ vd., 2021).

Litolojik özellikler değerlendirilirken bir takım araştırmacılar arazi gözlemlerine ve tecrübelerine dayanan nitel değerlendirmeleri dikkate almıştır (Maharaj, 1993; Nagarajan vd., 2000). Bazı araştırmacılar ise çalışma alanında heyelanların hangi litolojik birimler içerisinde dağılım gösterdiğini istatistiksel değerlendirmelerle ortaya koymuş ya da yamaç malzemesinin dayanım özelliklerinden yararlanmıştır (Süzen ve Doçyan, 2004; Çellek, 2013; Dağ ve Bulut, 2012; Neuhauser vd., 2012; Kayastha vd., 2013; Romer ve Ferentinou, 2016; Dağ vd., 2021). Mineral ve kayalarda sonradan oluşan fiziksel ve kimyasal değişimlerin neden olduğu bozunma da kaymayı etkileyen önemli bir etken olup bozunmanın derecesine bağlı olarak aynı litolojik birim içerisinde dahi heyelana olan hassasiyetin boyutları değişmektedir (Gökçeoğlu

ve Ercanoğlu, 2001). Çalışmada litoloji değişkeni formasyon mertebesinde sınıflandırılmış olup toplam 14 alt parametreden oluşan litoloji haritası üretilmiştir. Bu harita ile mevcut heyelanlar çakıştırılarak çalışma alanında heyelanların hangi birimler içerisinde dağılım gerçekleştirdiği tespit edilmiştir (şekil 5a).

3.2.2. Yükseklik

Bu kavram, deniz seviyesinden itibaren topoğrafik yüksekliği ifade etmektedir. Aslında bu parametrenin heyelan oluşumuna doğrudan etkisini ifade etmek çok gerçekçi olmayabilir. Bazı çalışmalarda topoğrafik olarak yüksek kesimlerin heyelan açısından daha duyarlı olduğu belirtilirken bazı araştırmalarda ise orta ve düşük yükseklik değerlerinin heyelan oluşumuna elverişli olduğu tespit edilmiştir. Aslında bu farklı yükseklik değerlerinin heyelan oluşumunda etkili olmaları heyelana neden olan ve ilgili çalışma alanı için daha etkili olacağı düşünölen diğer özelliklerden kaynaklanmaktadır (Dağ, 2007).

Çalışmada Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/25000 ölçekli sayısal topoğrafik haritalar kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modelinden hareketle raster veri formatında ve 25 m mekânsal çözünürlüğe sahip yükseklik haritası üretilmiştir. Eğimi, baki ve yamaç eğrisellik haritaları da Sayısal Yükseklik Modelinden (SYM) türetilmiştir.

Yükseklik haritası oluşturulurken SYM haritası 14 farklı sınıfta 100'er metrelik aralıklarla yeniden sınıflandırılmıştır. Çalışma alanı 1507 m ile 3112 m arasında değişen yükseklik değerlerinden oluşmaktadır (şekil 5b).

3.2.3. Yamaç Eğimi

Yamaçların sahip oldukları eğim değerleri litolojiden sonra duyarlılık analizlerinde en fazla değerlendirilen parametrelerin başında gelmektedir (Dağ vd. 2011). Araştırmacılar arasında yamaç eğiminin heyelan oluşumunda doğrudan etkili olduğu yönünde bir fikir ortaklığı söz konusudur. Eğim değerindeki artışa bağlı olarak yamaçların heyelan açısından daha hassas olacağına yönelik genel bir göröş hakimdir (Ayalew vd., 2004; Lee, 2005; Fell vd., 2008). Bununla birlikte Temesgen vd. (2001) ile Ayalew ve Yamagishi (2005) gibi bir takım araştırmacıların yapmış oldukları çalışmalarda 20°'nin altında düşük eğim değerindeki yamaçlarda da heyelanların oluştuğu belirtilmektedir (Dağ ve Bulut, 2012).

Bu çalışmada inceleme alanının eğim haritası ArcGIS 10.2 yazılımı kullanılarak SYM haritasından hareketle üretilmiştir. Çalışmada eğim haritası 5'er derece aralıklarla 11 kategoride sınıflandırılmıştır (şekil 5c). Üretilen eğim haritasına göre çalışma alanında eğim değerleri 3.46° ile 52° arasında değişmektedir.

3.2.4. Yamaç Eğim Yönü (Baki)

Yamaç eğim yönü araştırmacılar tarafından duyarlılık çalışmalarında kullanılan başlıca değerlendirme parametrelerinden biridir. Buna rağmen yamaç eğim yönünün heyelan oluşumunda hangi öneme sahip olduğuna dair fikir birliği söz konusu değildir. Ancak heyelanların belli yönelimdeki yamaçlarda yoğunlaşması birçok araştırmacı tarafından istatistiksel olarak değerlendirilmiştir (Dağ, 2007).

Yamaçlarda yağış nedeniyle heyelanların belli bir yönelimde daha fazla oluştuğu ve bu durumun alanın morfolojik yapısından ileri geldiği düşünölmektedir (Aydoğan, 2019). Yağışın yoğun olduğu yamaçlar eğim, geçirimlilik özelliği, bitki örtüsünün türü ve zemin türü gibi faktörlerin etkisi ile süzölme kapasitesine de bağlı olarak doygun hale gelebilmektedir. Bu durum da yamaçların heyelan oluşumunu etkilemektedir (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001). Benzer şekilde belli yönelimlere sahip yamaçlarda heyelanların daha sık gözlenmesinde sahanın morfolojik yapısı, bölgenin genel yağış yönü, güneş ışığını daha fazla alması gibi meteorolojik olaylar da etkili olmaktadır (Dağ ve Bulut, 2012).

Çalışma kapsamında SYM' den hareketle yamaç eğim yönü haritası üretilmiştir. Eğim yönü haritası düz yamaçların yanı sıra ara ve ana yönler de dikkate alınarak toplamda 9 sınıftan oluşacak şekilde yeniden sınıflandırılmıştır (şekil 5d).

3.2.5. Yamaç Eğriselliği

Yamaçlarda farklı topoğrafik şekillerin bir ürünü olarak iç bükey, dış bükey ve düz alanlardan oluşan arazi şekilleri yüzey sularının akışını kontrol etmekte ve heyelan oluşumunda etkin rol oynamaktadır. Eğrisellik parametrelerinde negatif değerler iç bükey, pozitif değerler dış bükey, sıfıra yakın değerler ise düz alanları temsil etmektedir (Tekin ve an, 2019). Bu konuda, dışa eğimli yamaçların iç bükey yamaçlara nazaran heyelan açısından daha hassas olduğu düşünölmekle birlikte farklı göröşlerin ortaya konulduğu çalışmalarda da mevcuttur (Aydoğan, 2019).

Yamaç eğriselliği haritaları da diğer topoğrafik parametreler gibi SYM'den üretilmektedir. Konu ile ilgili çalışmalarda eğriselliğin eğim değerleri ile ilişkili olarak bu değerlerdeki göreceli farklılıklara bağlı olduğu ifade edilmektedir (Erener ve Düzgün, 2010).

Çalışmada yamaç eğriselliği haritası olarak dış bükey alanlar pozitif, iç bükey alanlar negatif ve düz alanlar ise sıfır değeri ile temsil edilerek 3 sınıfta üretilmiştir. Eğrisellik haritasında yamaç eğriselliği değeri -3.5 ile 4.79 arasında değişim göstermiştir (Şekil 5e).

3.2.6. Arazi Kullanımı

Genel olarak ormanlık alanlar gibi bitki örtüsünün yoğun olduğu yerler, tarımsal alanlar ve yerleşim alanları ile seyrek bitki örtüsüne sahip alanlara oranla, heyelan olaylarından daha az etkilenmektedir. Özellikle yağışın etkisi ile zemine sızma ve zeminin doygun hale gelmesinde bitkinin kök ve yapraklarının önleyici bir role sahip olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte bitki köklerinin zemini güçlendirdiği ve kayma dayanımında artmaya sebebiyet verdiği ifade edilmektedir. Bütün bu olumlu görüşlerin yanı sıra bitki kök ve gövdelerinin gelişimi ile birlikte zemin yüzeyinin geçirgenliğinin artması ve yüzey sularının zemine geçişinin kolaylaşması nedeniyle yamaç dengesini bozduğu yönünde görüşler de söz konusudur (Aydoğan, 2019).

Çalışmada Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından üretilmiş olan arazi kullanımı haritasından yararlanılmıştır. Bu haritadan çalışma alanı sınırları dikkate alınarak arazi kullanım haritası elde edilmiştir. Bu haritanın üretilmesinde, sınıflamalarda duyarlılık bakımından benzer özelliğe sahip olacağı düşünölen kullanım alanları birleştirilerek genel olarak dört sınıf oluşturulmuştur. Buna göre çalışma alanında arazi kullanımı, çıplak kayalık alanlar, karışık tarım alanları, şehir yapısı ve endüstriyel alanlar ile mera ve çayırılık alanlardan oluşmaktadır (Şekil 5f).

3.2.7. Ana Faya Yakınlık

Ölkemiz bir deprem ülkesi olmakla birlikte afet olayları açısından da en fazla can ve mal kaybının yaşandığı afetler içerisinde depremler birinci sırada yer almaktadır. Özellikle sismik aktiviteler yönünden önemli olan bölgelerde fay türü yapısal unsurlara olan mesafe heyelanların oluşumu açısından önemlidir. Faylara yakın alanlarda oluşacak sismik aktiviteler nedeniyle zemin yapısı bozularak dayanımı azalmaktadır. Bu alanlarda meydana gelebilecek sismik hareketler heyelanlar açısından tetikleyici bir unsur olmaktadır. Bundan dolayı faylara yakın olan alanların heyelana olan hassasiyetinin yüksek olacağı, bu tür yapısal unsurlardan uzaklaştıkça hassasiyetin azalacağı genel anlamda kabul görmektedir. Fayların etki alanının büyüklüğu göz önünde bulundurulduğunda ana faya yakınlık parametresinin değerlendirildiği çalışmalarda sınıf aralıkları geniş tutulmaktadır (Aydoğan, 2019).

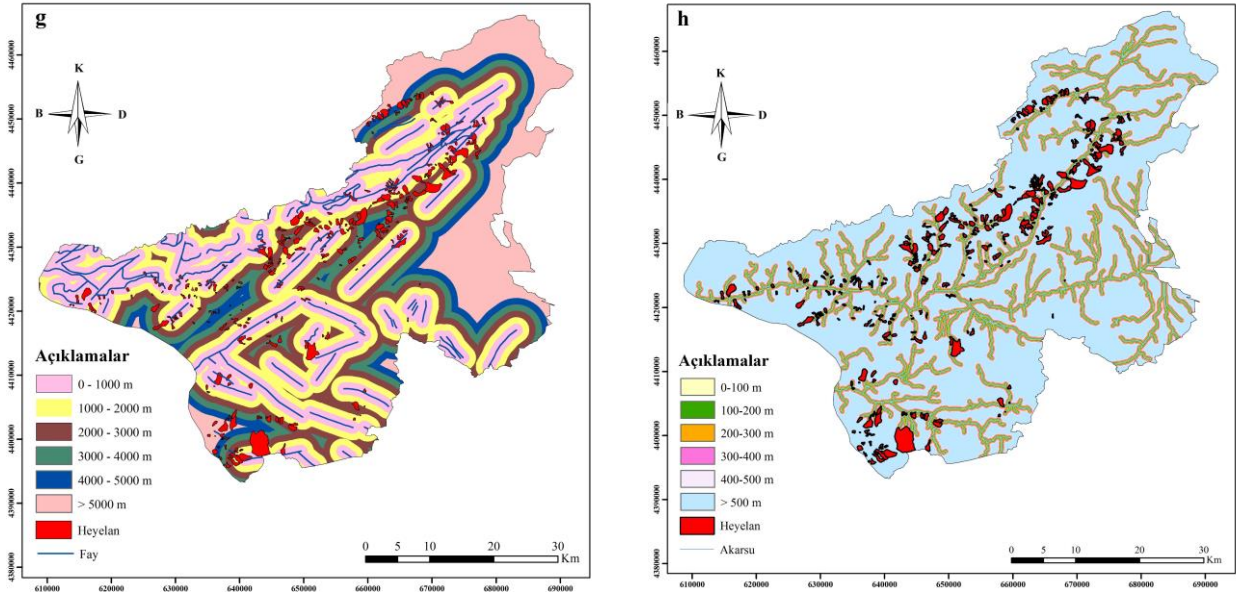
Alpin dağ oluşumu ve neotektonik dönemler olmak üzere jeolojik zaman olarak iki farklı dönemde kuzey kuzeybatı – güney güneydoğu (KKB-GGD) hatlarında sıkışma rejimine maruz kalan çalışma alanında bindirme fayları ve nap türü yapısal unsurlarla birlikte çok sayıda aktif ve pasif fay mevcuttur. Tabaka ve özellikle fayların çoğunluğu KD-GB doğrultuludur. Bu durum heyelan envanter haritasında heyelanların bu doğrultularda varlığı ile ilişkilendirildiğinde, heyelan oluşumunda fayların etkili olduğu görüşünü desteklemektedir. Bundan dolayı ana faya yakınlık parametresi duyarlılık analizlerinde özellikle tercih edilmiştir.

Çalışma kapsamında, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğu (MTA) tarafından oluşturulan 1/100.000 ölçekli topoğrafik haritalardan yararlanılarak fay haritası oluşturulmuştur. Duyarlılık analizlerinde kullanılmak üzere etki alanı dikkate alınarak 1000'er metre aralıklı altı farklı sınıfta ana faya yakınlık haritası üretilmiştir. Bu harita üzerine mevcut heyelanlar bindirilerek heyelanların hangi aralıklarda daha fazla gerçekleştiği araştırılmıştır (Şekil 5g).

3.2.8. Akarsuya Yakınlık

Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına yönelik birçok çalışmada yamaçların drenaj ağına olan mesafeleri yamaçların dengeleri açısından önemli olarak değerlendirilmiştir. Birçok araştırmacı tarafından akarsuya olan yakınlık heyelan olasılığı açısından bir parametre olarak kullanılmıştır. Akarsuların, yamaç topuklarını erozyona uğratmaları ya da akarsu seviyesinin altında yamaç malzemesinin suya doygun hale gelmesi bu değişkenin heyelan oluşumu açısından değerlendirilmesinin nedeni olarak gösterilmektedir (Dağ ve Bulut, 2012).

Yukarı Karasu Havzası genelinde yoğun drenaj ağı varlığı nedeni ile bu çalışmada akarsuya yakınlık parametresi duyarlılık analizlerinde kullanılmıştır. ArcGIS 10.2 yazılımı yardımıyla akarsulara 100'er metre aralıklı altı farklı tampon bölgeler oluşturulmuştur. Akarsuya yakınlığın heyelanlara olan etkisini belirlemek için akarsuya yakınlık haritası üretilmiş ve akarsuların heyelanlarla ilişkileri irdelenmiştir (Şekil 5h).



Şekil 5. Parametre haritaları ve heyelan alanları

3.3. Yöntem

Çalışmada heyelan analizlerinin gerçekleştirilmesi ve duyarlılık haritalarının üretilmesinde istatistiksel yöntemler içerisinde yer alan Frekans oranı yöntemi (FO) ve Bayes olasılık modelinden (BO) yararlanılmıştır. Her iki yöntem de heyelan analizlerine yönelik çalışmalarda araştırmacılar tarafından yaygın olarak kullanılan istatistiksel yöntemlerdir.

3.3.1. Frekans Oranı Yöntemi

Bu yöntem genel olarak belirli bir doğa olayının meydana gelmesinin, aynı olayın meydana gelmemesine oranının olasılığını ifade etmektedir. Frekans oranı (FO) yönteminin heyelan duyarlılığına yönelik çalışmalara ilişkin temel prensibi “heyelanlar geçmişte hangi koşullar altında oluştu ise gelecekte de benzer koşullar altında oluşacaktır” varsayımını esas almaktadır. Uygulama açısından da kolay olan bu yöntem konuya yönelik çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Akgün vd., 2008; Pradhan ve Lee, 2010; Baştuğ, 2018; Kılıçoğlu, 2020).

Bu yöntem parametre sınıfları ile ilgili olarak hesaplanan yoğunluk analizlerini dikkate almaktadır (Lee ve Talib, 2005). Modelle ilgili çalışmalarda Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları kullanılarak envanter haritası ile ilişkilendirilen parametrelerin yoğunluk analizleri gerçekleştirilmektedir (Erener ve Düzgün 2010). Daha sonra bu ilişki ve yoğunluk analizi temelinde frekans oranı değerleri aşağıdaki eşitlikten hareketle belirlenmektedir.

$$FO = \left(\frac{HPix}{\sum B} \right) / \left(\frac{Pix}{\sum A} \right) = \%B / \%A \quad (1)$$

Bu eşitlikte;

$HPix$; Parametre alt sınıfı heyelanlı hücre sayısı

$\sum B$; Çalışma alanı toplam heyelanlı hücre sayısı

Pix ; Parametre alt sınıfı hücre sayısı

$\sum A$; Çalışma alanı toplam hücre sayısı

Eşitlikten elde edilen frekans oranı değerinin 1’den çok veya az bir değere sahip olması, çalışma alanında heyelan oluşumunda etkin olduğu düşünölen parametrelerin heyelan oluşumuna etkisini tanımlamak açısından önemlidir. Frekans oranı 1’den ne kadar büyük bir rakamsal değere sahip olursa, ilgili parametre alt sınıfı ile heyelan oluşumu arasındaki ilişki o kadar fazla, 1’den ne kadar küçük bir değere sahip olursa, ilişki o kadar düşük olacaktır (Lee ve Talib, 2005). Çalışmada elde edilen frekans oranı değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

3.3.2. Bayes Olasılık Modeli

Bayes olasılık modeli, bir olayla ilgili daha önceki olasılık beklentilerini, olayın gerçekleşmesi durumunda elde edilen yeni bilgiler dâhilinde güncelleyerek daha sonraki bir zamanda benzer bir olayın gerçekleşme olasılığını elde etmek için kullanılan bir modeldir (Akıncı vd., 2017). Bu modelde parametrelerin kendileri rastlantı değişkeni olup olasılık dağılımına uymaktadır. Heyelanları etkileyen faktörler değiştiğinden dolayı faktörlerin altındaki sınıflara ait bilgilerde değişmektedir. Oysa heyelan envanterinde heyelanları meydana getiren şartlar heyelan olmadığı sürece ilgili alan için sabittir.

Bayes olasılık modelinin daha açık olarak hesaplanabilmesi için “Kanıt Ağırlıkları (Weight of Evidence, WoE)” modeli kullanılmaktadır (Akıncı vd., 2017; Kılıçoğlu, 2020). Bu model Bayes yaklaşımının içinde koşullu ve koşulsuz olasılıkların yeterli veriler kullanılarak uygulandığı bir yöntemdir. Model sayesinde çalışılan alanda gelecekte bir heyelanın meydana gelebilmesini öngören tahminlere pozitif ağırlıklar, heyelan oluşmamasını öngören tahminlere de negatif ağırlıklar atanmaktadır (Akıncı vd., 2017). WoE modeli van Westen vd. (2003) ve Regmi vd. (2010) tarafından matematiksel bir eşitlikle ifade edilmiştir. Ağırlıkların belirlenmesinde aşağıdaki eşitliklerden yararlanılmaktadır.

$$W^+ = \frac{\frac{A_1}{A_3}}{\frac{A_1+A_2}{A_3+A_4}} \quad W^- = \frac{\frac{A_2}{A_4}}{\frac{A_1+A_2}{A_3+A_4}} \quad C = W^+ - W^- \quad (2)$$

Bu eşitliklerde;

- A_1 ; Parametre alt sınıfındaki heyelanlı hücre sayısı
- A_2 ; Parametre alt sınıfı haricindeki heyelanlı hücre sayısı
- A_3 ; Parametre alt sınıfındaki heyelansız hücre sayısı
- A_4 ; Parametre alt sınıfı haricindeki heyelansız hücre sayısı
- W^+ ; Pozitif ağırlık
- W^- ; Negatif ağırlık
- C ; Ağırlık kontrastını ifade etmektedir.

Pozitif ağırlık (W^+), heyelanların oluşumu açısından faktörün varlığının önemini belirtmek için kullanılmaktadır. Bu değer pozitif (+) ise ilgili faktörün varlığı heyelan oluşumu için elverişli, negatif (-) ise elverişli değildir. Negatif ağırlık (W^-) ise heyelanların oluşumu açısından etkenin yokluğunun heyelan oluşumu açısından önemini değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu değer pozitif (+) ise ilgili faktörün yokluğu heyelan oluşumu için elverişli, negatif (-) ise elverişli değildir. Pozitif ve negatif ağırlıklar arasındaki fark “ağırlık kontrastı (C)” değeri ise tahmin değişkeninin heyelan ile mekânsal ilişkisini yansıtmaktadır. Bu değer pozitif olması değişkenin heyelan ile konumsal bir ilişkisini, negatif olması ise değişkenin heyelan ile konumsal bir ilişkisinin olmadığını ifade etmektedir. Ağırlık kontrastı değerinin sıfıra eşit olması durumu ise heyelana neden olan faktöre ait alt kategorinin analiz için önemli (anlamli) olmadığını göstermektedir (van Westen vd., 2003; Neuhauser ve Terhorst, 2007; Corsini vd., 2009, Akıncı vd., 2015; Akıncı vd., 2017; Kılıçoğlu, 2020). Çalışmada duyarlılık hesaplamalarında kullanılan parametrelere ait Bayes olasılık modeline ilişkin ağırlık değerleri Tablo 1’ de verilmiştir.

3.4. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesi

Çalışmada veri analizlerinin gerçekleştirilmesinde ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde CBS ortamında ArcGIS 10.2 yazılımından yararlanılmıştır. Öncelikle eşyüksele haritaları birleştirilerek Yukarı Karasu Havzası’nın çalışma alanı olarak seçilen kuzeydoğu bölümünün sınırları oluşturulmuştur. Bu işlemde Yukarı Karasu Havza sınırı ile Aziziye ve Aşkale ilçelerinin idari sınırlarının kesişim sınırı dikkate alınmıştır. Bu şekilde çalışma alanında tek bir hücre boyutu 25x25 m’den oluşan 4.231.349 adet hücre elde edilmiştir.

Çalışmada ayrıntıları daha önceki bölümlerde belirtilen bir takım özellikler dikkate alınarak bazı jeolojik, topoğrafik ve çevresel parametrelerin heyelan oluşumunda etkili olacağı düşünülmüş ve ilgili bu parametreler heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılmıştır. Öncelikle her bir parametreye ait parametre haritaları üretilmiştir (Şekil 5). Parametre haritaları daha sonra sınıflandırılarak alt kategorilere ayrılmış ve bu sayede parametre alt sınıflarına ait toplam alanlarla heyelanlı alanlar ayrı ayrı belirlenmiştir. Her bir parametre haritası envanter haritası ile karşılaştırılarak önceki heyelanların parametre alt sınıflarından hangilerine karşılık geldiği tespit edilmiştir (Tablo 1). Bu sayede aynı zamanda parametre alt sınıflarının da heyelan oluşumu açısından hassasiyetleri hakkında fikir sahibi olunmuştur.

Tablo 1. Parametre alt sınıfları ve model değerleri

	4231349	146635											
	Parametre Alt Sınıfları	Toplam Hücre	Heyelanlı Hücre	%A	%B	FO	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	W ⁺	W ⁻	C
LİTOLOJİ	Alv. Ymç. Mlz.	593235	14018	14.02	9.56	0.68	14018	132617	593235	3638114	-0.38	0.05	-0.43
	Adilcevaz F.	388195	15386	9.17	10.49	1.14	15386	131249	388195	3843154	0.13	-0.01	0.15
	Aşkale F.	239922	32127	5.67	21.91	3.86	32127	114508	239922	3991427	1.35	-0.19	1.54
	Anadolu Vol. S.	103664	5908	2.45	4.03	1.64	5908	140727	103664	4127685	0.50	-0.02	0.51
	Başkurdere F.	259310	9960	6.13	6.79	1.11	9960	136675	259310	3972039	0.10	-0.01	0.11
	Gelinkaya F.	615764	6207	14.55	4.23	0.29	6207	140428	615764	3615585	-1.23	0.11	-1.35
	Gölveren F.	15113	496	0.36	0.34	0.95	496	146139	15113	4216236	-0.05	0.00	-0.05
	Hınıs Metaofiyolit	60037	349	1.42	0.24	0.17	349	146286	60037	4171312	-1.79	0.01	-1.80
	Rizekent F.	194690	10486	4.60	7.15	1.55	10486	136149	194690	4036659	0.44	-0.03	0.47
	Kopdağı Mlnj F.	366502	12020	8.66	8.20	0.95	12020	134615	366502	3864847	-0.06	0.01	-0.06
	Serçeme F.	3985	9	0.09	0.01	0.07	9	146626	3985	4227364	-2.73	0.00	-2.73
	Solhan F.	887130	30697	20.97	20.93	1.00	30697	115938	887130	3344219	0.00	0.00	0.00
	Yeşircöl F.	117655	1917	2.78	1.31	0.47	1917	144718	117655	4113694	-0.75	0.02	-0.77
	Ziyrettepe F.	386147	7055	9.13	4.81	0.53	7055	139580	386147	3845202	-0.64	0.05	-0.69
YÜKSEKLİK (m)	1500-1600	26767	725	0.63	0.49	0.78	725	145910	26767	4204582	-0.25	0.00	-0.25
	1600-1700	154437	4309	3.65	2.94	0.81	4309	142326	154437	4076912	-0.22	0.01	-0.22
	1700-1800	612739	7519	14.48	5.13	0.35	7519	139116	612739	3618610	-1.04	0.10	-1.14
	1800-1900	616400	13398	14.57	9.14	0.63	13398	133237	616400	3614949	-0.47	0.06	-0.53
	1900-2000	423523	24500	10.01	16.71	1.67	24500	122135	423523	3807826	0.51	-0.08	0.59
	2000-2100	400826	20182	9.47	13.76	1.45	20182	126453	400826	3830523	0.37	-0.05	0.42
	2100-2200	452036	23078	10.68	15.74	1.47	23078	123557	452036	3779313	0.39	-0.06	0.45
	2200-2300	454484	23317	10.74	15.90	1.48	23317	123318	454484	3776865	0.39	-0.06	0.45
	2300-2400	393774	15914	9.31	10.85	1.17	15914	130721	393774	3837575	0.15	-0.02	0.17
	2400-2500	278406	10282	6.58	7.01	1.07	10282	136353	278406	3952943	0.06	0.00	0.07
	2500-2600	181332	2631	4.29	1.79	0.42	2631	144004	181332	4050017	-0.87	0.03	-0.90
	2600-2700	107337	613	2.54	0.42	0.16	613	146022	107337	4124012	-1.80	0.02	-1.82
	2700-2800	76638	167	1.81	0.11	0.06	167	146468	76638	4154711	-2.77	0.02	-2.78
>2800	52650	0	1.24	0.00	0.00	0	146635	52650	4178699	0	0.01	0	
YAMAÇ EĞİMİ (°)	0-5	1041207	9753	24.61	6.65	0.27	9753	136882	1041207	3190142	-1.31	0.21	-1.52
	5-10	865523	42560	20.46	29.02	1.42	42560	104075	865523	3365826	0.35	-0.11	0.46
	10-15	868396	45747	20.52	31.20	1.52	45747	100888	868396	3362953	0.42	-0.14	0.56
	15-20	656719	26500	15.52	18.07	1.16	26500	120135	656719	3574630	0.15	-0.03	0.18
	20-25	436411	12789	10.31	8.72	0.85	12789	133846	436411	3794938	-0.17	0.02	-0.19
	25-30	241607	5588	5.71	3.81	0.67	5588	141047	241607	3989742	-0.40	0.02	-0.42
	30-35	97670	2747	2.31	1.87	0.81	2747	143888	97670	4133679	-0.21	0.00	-0.21
	35-40	20784	749	0.49	0.51	1.04	749	145886	20784	4210565	0.04	0.00	0.04
	40-45	2584	184	0.06	0.13	2.05	184	146451	2584	4228765	0.72	0.00	0.72
	45-50	420	18	0.01	0.01	1.24	18	146617	420	4230929	0.21	0.00	0.21
	> 50	28	0	0.00	0.00	0.00	0	146635	28	4231321	0	0.00	0

Tablo 1'in devamı

	Parametre Alt Sınıfları	Toplam Hücre	Heyelanlı Hücre	%A	%B	FO	A1	A2	A3	A4	W+	W-	C
YAMAÇ EĞİM YÖNÜ (BAKI)	Düz	31	0	0.00	0.00	0.00	0	146635	31	4231318	0	0.00	0
	Kuzey	576392	24080	13.62	16.42	1.21	24080	122555	576392	3654957	0.19	-0.03	0.22
	Kuzeydoğu	421335	15373	9.96	10.48	1.05	15373	131262	421335	3810014	0.05	-0.01	0.06
	Doğu	452133	12800	10.69	8.73	0.82	12800	133835	452133	3779216	-0.20	0.02	-0.22
	Güneydoğu	631486	19011	14.92	12.96	0.87	19011	127624	631486	3599863	-0.14	0.02	-0.16
	Güney	667201	21876	15.77	14.92	0.95	21876	124759	667201	3564148	-0.06	0.01	-0.07
	Güneybatı	456280	15583	10.78	10.63	0.99	15583	131052	456280	3775069	-0.01	0.00	-0.02
	Batı	463967	16125	10.96	11.00	1.00	16125	130510	463967	3767382	0.00	0.00	0.00
	Kuzeybatı	562524	21787	13.29	14.86	1.12	21787	124848	562524	3668825	0.11	-0.02	0.13
EĞRİSELLİK	-3.5 - (-0.1)	1322245	61530	31.25	41.96	1.34	61530	85105	1322245	2909104	0.29	-0.17	0.46
	-0.1 - 0.1	1555710	38502	36.77	26.26	0.71	38502	108133	1555710	2675639	-0.34	0.15	-0.49
	0.1 - 5	1353394	46603	31.98	31.78	0.99	46603	100032	1353394	2877955	-0.01	0.00	-0.01
ARAZİ KULLANIMI	Şeh. Yap. ve En.	75382	541	1.78	0.37	0.21	541	146094	75382	4155967	-1.57	0.01	-1.59
	Tarım Alanı	1821702	66279	43.05	45.20	1.05	66279	80356	1821702	2409647	0.05	-0.04	0.09
	Mera-Çayırılık A.	2325896	79815	54.97	54.43	0.99	79815	66820	2325896	1905453	-0.01	0.01	-0.02
	Çıplak Kayalık	8369	0	0.20	0.00	0.00	0	146635	8369	4222980	0	0.00	0
ANA FAYA YAKINLIK (m)	0-1000	1329355	50395	31.42	34.37	1.09	50395	96240	1329355	2901994	0.09	-0.04	0.13
	1000-2000	998584	43548	23.60	29.70	1.26	43548	103087	998584	3232765	0.23	-0.08	0.31
	2000-3000	680857	34381	16.09	23.45	1.46	34381	112254	680857	3550492	0.38	-0.09	0.47
	3000-4000	406962	16777	9.62	11.44	1.19	16777	129858	406962	3824387	0.17	-0.02	0.19
	4000-5000	235919	1534	5.58	1.05	0.19	1534	145101	235919	3995430	-1.67	0.05	-1.72
	> 5000	579672	0	13.70	0.00	0.00	0	146635	579672	3651677	0	0.15	0
AKARSUYA YAKINLIK (m)	0-100	339305	7693	8.02	5.25	0.65	7693	138942	339305	3892044	-0.42	0.03	-0.45
	100-200	322774	10492	7.63	7.16	0.94	10492	136143	322774	3908575	-0.06	0.01	-0.07
	200-300	303330	11036	7.17	7.53	1.05	11036	135599	303330	3928019	0.05	0.00	0.05
	300-400	288026	10922	6.81	7.45	1.09	10922	135713	288026	3943323	0.09	-0.01	0.10
	400-500	280312	11310	6.62	7.71	1.16	11310	135325	280312	3951037	0.15	-0.01	0.16
	> 500	2697602	95182	63.75	64.91	1.02	95182	51453	2697602	1533747	0.02	-0.03	0.05

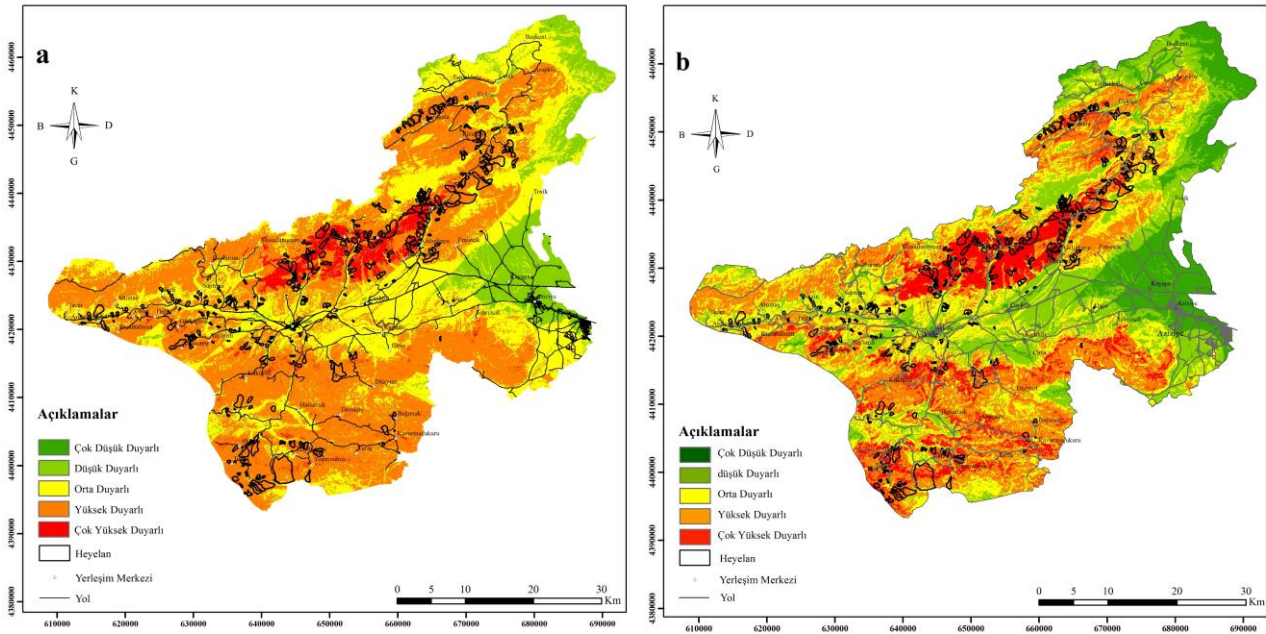
Jeolojik parametrelerden Solhan Formasyonu çalışma alanı içerisindeki dağılımına göre %20.97 oranı ile en fazla yüzeylenen litolojik birimi oluşturmaktadır. %14.57 oranı ile 1800-1900 m arasındaki yükseklik değerine sahip alanlar, çalışma alanındaki en fazla gözlenen yükseklik değerleridir. Çalışma alanındaki yamaçların %24.61'i 0-5° arasında eğim değerine sahip olup %15.77'si güney yönlü yamaçlardan oluşmaktadır. Yamaç eğriselliği gözönünde bulundurulduğunda -0.1 – 0.1 eğrisellik aralığı %36.77 oranı ile en fazla oranda gözlenmektedir. Çalışma alanında arazi kullanımı değerleri dikkate alındığında alanın yarıdan fazlası, %54.97'si mera ve çayırılık alanlardan oluşmaktadır. Fayların etkili olduğu çalışma alanının % 31.42' sinde ana faylara 1000 m den daha yakın alanlar mevcuttur. Akarsuya yakınlık sınıflarında ise "> 500 m" mesafe sınıfı % 63.75 dağılım oranı ile ilk sırada yer almıştır (Tablo 1).

Parametre alt sınıfları göz önünde bulundurularak mevcut heyelanların en fazla hangi sınıfta dağılım gösterdikleri belirlenmiştir. Buna göre; Aşkale Formasyonu %21.91'lik bir oranla heyelanların en fazla dağılım gösterdiği litolojik birimdir. %16.71 oranı ile 1900-2000 m yükseklik değerleri daha önce gelişen heyelanların en fazla gözlendiği yükseklik sınıfıdır. Çalışma alanındaki heyelanlı yamaçların %31.20'si 10-15° arasında eğim değerine sahip olup yine mevcut heyelanların %16.42'si kuzeye bakan yamaçlarda gerçekleşmiştir. -3.5–(-0.1) iç bükey eğrisellik aralığı %41.96 oranı ile var olan heyelanların en yoğun gözlendiği eğrisellik sınıfıdır. 0-1000 m arası ana faya yakınlık sınıfı %34.37 ile mevcut heyelanların en çok dağılım gösterdiği alanları oluşturmaktadır. Çalışma alanında gelişen heyelanların %64.91' i akarsulara 500 m'den daha uzak mesafelerde gelişmiştir. Son olarak mevcut heyelanlar %54.43 ile en fazla mera ve çayırılık alanlarda dağılım göstermiştir (Tablo 1).

Analizlerde, çalışma alanı toplam hücre, toplam heyelanlı hücre sayıları ile her bir parametre alt sınıfına ait toplam ve heyelanlı hücre sayıları belirlenerek frekans oranı değerleri ve ağırlık kontrastı değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra elde edilen bu değerler normalleştirilerek duyarlılık haritalarının oluşturulmasında normalleştirilmiş frekans oranı değerleri ve ağırlık kontrastı değerleri kullanılmıştır. Son olarak ArcGIS 10.2 yazılımında Raster Calculator ve Reclassify modülleri kullanılarak çalışma alanına ait duyarlılık haritaları hazırlanmıştır (Şekil 6).

Üretilen duyarlılık haritalarının görsel olarak sunulmasında literatürde genel olarak dört adet veri sınıflandırıcısından bahsedilmektedir. Bunlar eşit aralık, standart sapma, doğal kırılma ve kantil sınıflandırmasıdır (Ayalew vd., 2005; Akgün vd., 2008; Akgün vd., 2012). Bununla birlikte Akıncı (2022) bunlara ilaveten manuel, geometrik aralık ve tanımlı aralık olmak üzere ArcGIS yazılımı ile gerçekleştirilebilen yedi sınıflandırma yönteminden bahsetmektedir.

Bu çalışmada veri dağılımının normale yakın olması nedeni ile eşit aralıklı sınıflandırma tercih edilmiştir. İki farklı yöntemle hazırlanan heyelan duyarlılık haritalarında çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlı olmak üzere beş farklı sınıf oluşturulmuştur. Frekans oranı yöntemine göre, çalışma alanının %10.63'ü çok düşük ve düşük duyarlı, %34.35'i orta, %55.02'i ise yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlardan oluşmaktadır (Şekil 6a). Bayes olasılık modeli ile üretilen duyarlılık haritasında ise çalışma alanının genelinin %32.13'ü çok düşük ve düşük duyarlı alanlardan oluşurken, %26.66'sının orta, %41.21'lik kısmının ise yüksek ve çok yüksek duyarlı alanlardan oluştuğu belirlenmiştir (Şekil 6b).



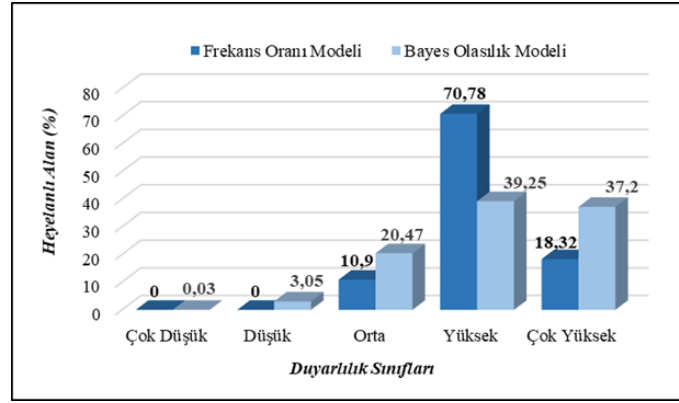
Şekil 6. a) Frekans oranı yöntemi, b) Bayes olasılık modeli ile üretilen heyelan duyarlılık haritaları

3.5. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Performansının Değerlendirilmesi

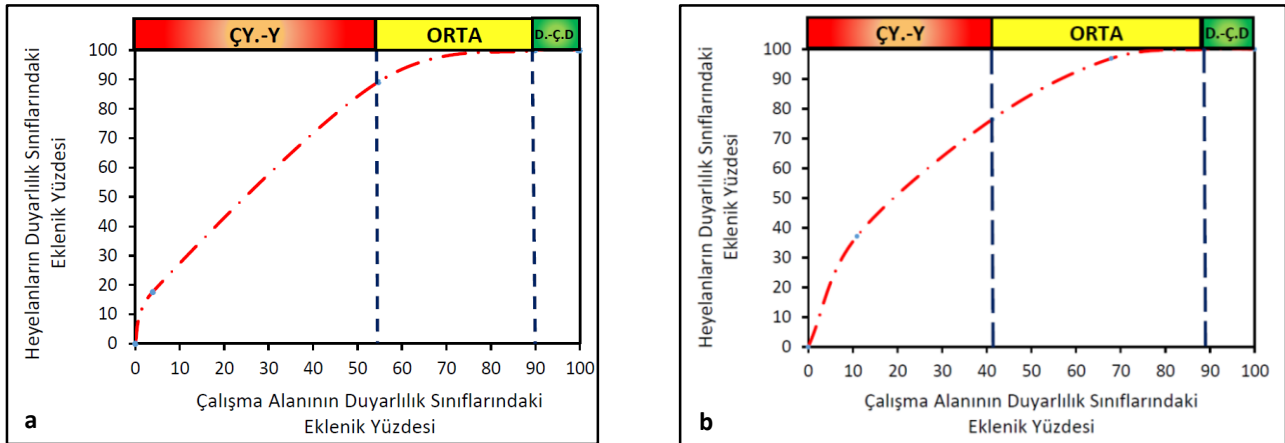
Heyelan duyarlılık analizlerine yönelik yapılan bilimsel çalışmaların temel felsefesi içerisinde “The past and today key to future” ifadesi yer almaktadır. Bu ifade “geçmiş ve bugün gelecek için anahtardır” olarak çevrilebilir. Aslında bu cümle heyelanlar açısından değerlendirildiğinde geçmişte ve günümüzde heyelanlar hangi koşullar altında gerçekleşti ise gelecekte de benzer koşullar oluştuğu zaman heyelanların gerçekleşebileceğini ifade etmektedir. Tam da bu nedenle bu tür çalışmalarda üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu ya da performansını gerçek manada değerlendirmek için o alanda yeni heyelanların oluşmasını beklemek ve yeni oluşan bu heyelanların araştırmacının daha önce üretmiş olduğu duyarlılık haritasında hangi sınıflar içerisinde yer aldığını test etmiş olmak gerekmektedir. Yazarlar bu durumun gerçekçi bir performans analizi olacağını düşünmektedir.

Bununla birlikte konu ile ilgili bilimsel çalışmalarda farklı türde gerçekleştirilen yöntemlerle duyarlılık haritalarının performansları test edilmektedir. Heyelan duyarlılık haritalarının performansları değerlendirilirken bu değerlendirmelerin sayısal verilerle destekleniyor olmasının gerekliliği önemsenmektedir. Bir yöntem olarak hazırlanan duyarlılık haritası ile envanter verileri karşılaştırılarak duyarlılık sınıflarının dağılım yüzdeleri ve bu sınıflara karşılık gelen heyelanların dağılım yüzdeleri hesaplanmaktadır. Bu durumda yüksek ya da çok yüksek duyarlı alanlarda heyelan yüzdelerinin de oransal olarak yüksek değerlerde olması beklenmektedir (Dağ, 2007).

Bu çalışmada duyarlılık haritalarının performansının değerlendirilmesinde, önce kontrol verileri olarak değerlendirilen mevcut heyelanların, üretilen duyarlılık haritalarındaki dağılımları dikkate alınmıştır. Bunun için envanter haritasından kontrol verisi olarak rastgele ayrılan %20'si duyarlılık haritaları ile karşılaştırılarak hangi sınıflar içerisinde yer aldığı grafik olarak belirlenmiştir (Şekil 7). Ayrıca her iki duyarlılık haritasının performansı başarı-tahmin eğrileri hazırlanarak ta test edilmiştir (Şekil 8). Başarı-tahmin eğrilerine göre Frekans oranı yönteminde çalışma alanının %55.02'si yüksek ve çok yüksek sınıf aralıklarında, heyelanların ise %89.1'i aynı sınıf aralıklarında yer almıştır. Bayes olasılık modeli ile üretilen duyarlılık haritasında ise çalışma alanının %41.21'i, heyelanların ise %76.45'i yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıflarda tespit edilmiştir (Şekil 8).



Şekil 7. Duyarlılık haritalarının performans grafiği



Şekil 8. Duyarlılık haritalarının Frekans oranı yöntemi (a) ve Bayes olasılık modeline (b) göre başarı-tahmin eğrileri

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada heyelan duyarlılık analizlerinde hem frekans oranı yöntemi hem de Bayes olasılık modelinden yararlanılmıştır. Her iki modelde gerçekleştirilen analizler neticesinde jips ve kil gibi su ile etkileştiği zaman kayma açısından potansiyel alanları oluşturan birimleri içeren Aşkale Formasyonu, 40-45° arasındaki eğim değerine sahip yamaçlar ve 0-1000 m arası ana faya yakın alanlar heyelan oluşumu bakımından hassas alanlar olarak belirlenmiştir.

Duyarlılık haritalarında eşit aralıklı sınıflama uygulanarak çok düşük duyarlıdan çok yüksek duyarlıya kadar değişen beş farklı sınıf oluşturulmuştur. Frekans oranı yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasında çok düşük duyarlı alanlar %0,47, düşük duyarlı alanlar ise %10,16'lık bir alansal yayılıma sahiptir. Bununla beraber çalışma alanının %34,35'i orta, %50,75'si yüksek ve %4,27'si ise çok yüksek duyarlı alan olarak belirlenmiştir. Bayes olasılık modeli ile üretilen duyarlılık haritasında ise çalışma alanının %11,24'ü çok düşük, %20,89'u düşük, %26,66'sı orta, %30,27'si yüksek ve %10,94'ü ise çok yüksek duyarlı olarak tespit edilmiştir.

Son olarak üretilen haritaların performans analizi gerçekleştirilmiştir. Frekans oranı yöntemi ile üretilen duyarlılık haritasında kontrol amaçlı kullanılan mevcut heyelanların %89,1'lik kısmı, Bayes olasılık modeli ile üretilen duyarlılık haritasında ise mevcut heyelanların %76,45'lik kısmı yüksek ve çok yüksek duyarlı sınıflarda yer almaktadır.

Bu durum hem Frekans oranı yöntemi hem de Bayes olasılık modelinin olası tehlike içeren alanlarda, heyelan risklerinin azaltılması kapsamında heyelanların mekânsal dağılımlarını belirlemede kullanılabilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Çalışmada üretilen duyarlılık haritaları bölgesel planlama çalışmalarında karar verme süreçlerinde karar vericiler tarafından kullanılabilir doğruluktur.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmayı destekleyen Erzurum Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü'ne (AFAD) teşekkür eder.

Kaynaklar

- Akdeniz, N., Akçören, F., & Timur, E. (1994). *Aşkale-İspir arasının jeolojisi* (Rapor No. 9731). Ankara: MTA Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Akıncı, H., Özalp, A.Y., & Kılıçer, S.T. (2015). Coğrafi bilgi sistemleri ve ahp yöntemi kullanılarak planlı alanlarda heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi: Artvin Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1-2), 40-53.
- Akıncı, H., Doğan, S., & Kılıçoğlu, C. (2017). Landslide susceptibility mapping of Canik (Samsun) district using bayesian probability and frequency ratio models. *Selcuk University Journal of Engineering Science and Technology*, 5(3), 283-299.
- Akıncı, H. (2022). Assessment of rainfall-induced landslide susceptibility in Artvin, Turkey using machine learning techniques. *Journal of African Earth Sciences*, 191, 104535. doi: 10.1016/j.jafrearsci.2022.104535.
- Akgun, A., Sezer, E. A., Nefeslioglu, H. A., Cokceoglu, C., & Pradhan, B. (2012). An easy-to use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers & Geosciences*, 38(1), 23-34.
- Akgün, A., Dağ, S., & Bulut, F. (2008). Landslide susceptibility mapping for a landslide-prone area (Findikli, NE of Turkey) by likelihood-frequency ratio and weighted linear combination models. *Environmental Geology*, 54, 1127-1143.
- Akgün, A. (2018). Bulanık uyarlanabilir rezonans teorisi (FuzzyART) yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: Tonya (Trabzon) Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 135-146.
- Aydoğan, E. (2019). *Yukarı Karasu Havzasının Aziziye-Aşkale Arasında Kalan Bölümünün Heyelan Duyarlılık Analizi*, (Yüksek Lisans Tezi). Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., & Ugawa, N. (2004). Landslide susceptibility mapping using GIS-based weighted linear combination, the case in Tsugawa area of Agano river, Niigata prefecture, Japan. *Landslides*, 1, 73-81. doi: 10.1007/s10346-003-0006-9.
- 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.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., & Kanno, T. (2005). Landslide in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparison of results from two methods and verifications. *Engineering Geology*, 81, 432-445.
- Baştuğ, G. (2018). *Adrasen ve Olimpos (Antalya) bölgelerinin heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması* (Yüksek Lisans Tezi). Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- Corsini, A., Cervi, F., & Ronchetti F. (2009). Weight of evidence and artificial neural networks for potential groundwater spring mapping: an application to the Mt. Modino area (Northern Apennines, Italy). *Geomorphology*, 111(1-2), 79-87. doi: 10.1016/j.geomorph.2008.03.015.
- Çellek, S. (2013). *Sinop-Gerze yöresinin heyelan duyarlılık analizi* (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Dağ, S. (2007). *Çayeli (Rize) ve çevresinin istatistiksel yöntemlerle heyelan duyarlılık analizi* (Doktora Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye.
- Dağ, S., Bulut, F., Alemdağ, S., & Kaya A. (2011). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan yöntem ve parametrelere ilişkin genel bir değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(2), 151-176.
- Dağ, S., & Bulut F. (2012). Coğrafi bilgi sistemleri tabanlı heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasına bir örnek: Çayeli (Rize, KD Türkiye). *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 36(1), 35-62.
- Dağ, S., Akgün, A., Kaya, A., Alemdağ, A., & Bostancı, H. T. (2021). Medium scale earthflow susceptibility modelling by remote sensing and geographical information systems based multivariate statistics approach: an example from Northeastern Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 79, 468, doi: 10.1007/s12665-020-09217-7.
- Derin, L., & Ercanoğlu M. (2018). Heyelan duyarlılığı, tehlikesi ve riski ile ilgili çalışmalarda Türkiye ve Avrupa Birliği ülkelerinin karşılaştırılması. *Afet ve Risk Dergisi*, 1(1), 26-38.
- Erener, A., & Düzgün, H. S. B. (2010). Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway). *Landslides*, 7(1), 55-68.

- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E., & Savage, W. Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102(3), 85-98.
- Fidan, S., & Görüm T. (2020). Türkiye’de ölümcül heyelanların dağılım karakteristikleri ve ulusal ölçekte öncelikli alanların belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 74, 123-134.
- Gökçe, O., Özden, Ş., & Demir, A. (2008). *Türkiye’de afetlerin mekânsal ve istatistiksel dağılımı afet bilgileri envanteri*, T.C Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Afet Etüt ve Hasar Tespit Daire Başkanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü.
- Gökçeoğlu, C., & Ercanoğlu, M. (2001). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri*, 22(23), 189-206.
- Haque, U., da Silva, P.F., Devoli, G., Pilz, J., Zhao, B., Khaloua, A., Wilopo, W., Andersen, P., Lu, P., Lee, J., Yamamoto, T., Keellings, D., Wu, J-H., & Glass, G.E. (2019). The human cost of global warming: deadly landslides and their trigger (1995-2014). *Science of The Total Environment*, 682, 673-684.
- Kayastha, P., Dhital, M.R., & De Smedt, F. (2013). Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. *Computers & Geosciences*, 52, 398-408.
- Kılıçoğlu, C. (2020). Frekans oranı metodu ve bayesyen olasılık modeli kullanılarak Samsun ili Vezirköprü ilçesinin heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 138-154.
- Kremier, A., & Arnould, M. (2000). World Bank’s Role in Reducing Impacts of Disasters. *Natural Hazards*, 1(1), 37-42.
- 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.
- Lee, S., & Talib, J.A. (2005). Probabilistic Landslide Susceptibility and Factor Effect Analysis. *Environmental Geology*, 47, 982-990.
- Maharaj, R. (1993). Landslide processes and landslide susceptibility analysis from an upland watershed: a case study from St. Andrew West Indies Jamaica. *Engineering Geology*, 34(1-2), 53-79.
- Nagarajan, R., Roy, A., Vinod Kumar, R., Mukherjee, A., & Khire, M.V. (2000). Landslide hazard susceptibility mapping based on terrain and climatic factors for tropical monsoon regions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58, 275-287.
- Neuhauser, B., Damm, B., & Terhorst, B. (2012). GIS-based assessment of landslide susceptibility on the base of the weights-of-evidence model. *Landslides*, 9(4), 511-528.
- Neuhauser, B., & Terhorst B. (2007). Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence” applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany). *Geomorphology*, 86(1-2), 12-24.
- Pradhan, B., & Lee S. (2010). Delineation of landslide hazard areas on Penang Island-Malaysia: by using frequency ratio-logistic regression, and artificial neural network model. *Environmental Earth Sciences*, 60, 1037-1054.
- Regmi, N.R., Giardino, J.R., & Vitek, J.D. (2010). Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1-2), 172-187.
- Romer, C., & Ferentinou, M. (2016). Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment—A Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa. *Engineering Geology*, 201, 29-44.
- Schuster, R.L. (1996). Socio-economic significance of landslides. In Turner A.K., Schuster R.L. (Eds.) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board-National Research Council, Special Report, 247, 12-35.
- Süzen, M. L., & Doyuran, V. (2004). Data driven bivariate landslide susceptibility assesment using geographical information system: a method and application to Asarsuyu catchment, Turkey. *Engineering Geology*, 71(3-4), 303-321.
- Tarhan, N. (1989). *Hınıs-Varto (Erzurum-Muş) dolayının jeolojisi ve petrolojisi* (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Tarhan, N. (1990). *1/100000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi G-33 paftası* (Rapor No. 35). Ankara: MTA Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Tarhan, N. (1998). *1/100000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi F-31 paftası* (Rapor No. 56). Ankara: MTA Jeoloji Etütleri Dairesi.
- Tekin, S., & Çan, T. (2019). Yapay sinir ağları yöntemi ile Ermenek Havzası’nın (Karaman) kayma türü heyelan duyarlılık değerlendirmesi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 3(1), 21-28.
- Temesgen, B., Mohammed, M. U., & Korme, T. (2001). Natural hazard assessment using GIS and remote sensing methods, with particular reference to the landslides in the Wondogenet Area, Ethiopia. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial & Planetary Science*, 26(9), 665-675.
- Timur, E. (1997). *Yeşirçöl Dağı (Aşkale, Erzurum) ve dolayının jeolojisi ve sedimanter özellikleri* (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Timur, E. (2000). Yeşirçöl Dağı (Aşkale, Erzurum) ve dolayının stratigrafisi. *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi*, 13(1-2), 85-99.

- van Westen, C. J. (1994). GIS in landslide hazard zonation: a review with examples from the Colombian Andes. In M.F. Price & D.I. Heywood (Eds.), *Mountain environments & geographic information systems* (pp. 135-165), London, UK: Taylor and Francis.
- van Westen, C. J., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, *Natural Hazards*, 30(2003), 399-419.