

# Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi

## Journal of Geomorphological Researches

© Jeomorfoloji Derneği

www.dergipark.gov.tr/jader

E - ISSN: 2667 - 4238



### Araştırma Makalesi / Research Article

## FREKANS ORANI YÖNTEMİ KULLANILARAK ARSUZ ÇAYI HAVZASI HEYELAN DUYARLILIK ANALİZİ

### Landslide Susceptibility Analysis of Arsuz Stream Basin Using the Frequency Ratio Method

Semir DEMİRBİLEK<sup>a</sup>, Hüseyin TUROğLU<sup>b</sup>

<sup>a</sup> İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya AnaBilim Dalı, Fatih/İstanbul-Türkiye  
semir\_demirbilek@hotmail.com <https://orcid.org/0000-0003-4463-4016>

<sup>b</sup> İstanbul Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fatih/İstanbul-Türkiye  
turogluh@istanbul.edu.tr <https://orcid.org/0000-0003-0173-6995>

#### Makale Tariğesi

Geliş 5 Haziran 2024

Kabul 8 Ağustos 2024

#### Article History

Received 5 June 2024

Accepted 8 August 2024

#### Anahtar Kelimeler

Arsuz Çayı Havzası, Heyelan duyarlılık analizi, Frekans Oranı

#### Keywords

Arsuz Stream Basin, Landslide susceptibility analysis, Frequency Rate

#### Atıf Bilgisi / Citation Info

Demirbilek, S. & Turoğlu, H. (2024) Frekans Oranı Yöntemi Kullanılarak Arsuz Çayı Havzası Heyelan Duyarlılık Analizi / Landslide Susceptibility Analysis of Arsuz Stream Basin Using the Frequency Ratio Method, Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches, 2024 (13): 23-39.

doi: 10.46453/jader.1496249

#### ÖZET

Heyelan olayları, Türkiye'nin birçok bölgesinde gerçekteşen doğal afetlerin başında gelmektedir. Hatay Arsuz sınırları içerisinde yer alan Arsuz Çayı Havzası' da heyelan olaylarının gerçekteştiği sahalardan biridir. Çalışmanın amacı, Arsuz Çayı Havzası'nın frekans oranı yöntemi aracılığıyla sahalardan duyarlılık analizinin yapılmasıdır. Bu amaç doğrultusunda heyelan duyarlılık analizinin gerçekteştirilmesinde; yükselti, eğim, bakı, topografik nemlilik indisi (TWI) akarsu aşındırma gücü (Spi), yola uzaklık, akarsuya uzaklık, topografik pürüzlülük indisi (TRI), normalize edilmiş bitki indisi (NDVI), çizgisellik mesafesi, arazi örtüsü, yağış, vadi derinliği, eğrisellik ve litoloji olmak üzere toplamda 15 parametre kullanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) temelli gerçekteştirilen çalışmada, analizlerin ortaya konulmasında 1/25.000 ölçekli Mersin P35b1, Mersin P35b2, Mersin P35b3, Antakya P36a4 topografya paftaları, 1/100.000 ölçekli Antakya P36-P37-Hama-R36- Mersin P35-Lazkiye-R35 jeoloji paftaları, sayısal yükselti modeli (SYM-10 m), arazi örtüsü(10 m), Sentinel-2 25/01/2024 güncel tarihli uydu görüntüsü (10 m), yol verisi (10 m), yağış verisi (1 km<sup>2</sup>) kullanılmıştır. Frekans oranı yöntemine göre oluşturulan heyelan duyarlılık haritasına göre, bu alanların dağılış özellikleri; çok düşük duyarlılık sınıfı 34.9 km<sup>2</sup>, toplam alan içerisinde yaklaşık %23.8, düşük sınıfta duyarlılık 31 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde % 21.2, orta duyarlılıkta sınıflar 45.9 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde %31.3, yüksek duyarlı alanlar 30.3 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde % 20.7, çok yüksek sınıfta duyarlılık sahaları ise 4.5 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde %3.1'lik alan kaplamaktadır. Çalışmada yapılan analizlerin doğruluğu için alıcı işletim karakteristiği (ROC) yöntemi kullanılmıştır. ROC yöntemine bağlı olarak doğruluk analizi kapsamında, Frekans Oranı (FR) yöntemine göre oluşturulan modelin 0.828 gibi oldukça yüksek bir değerde olduğu saptanmıştır. Buna göre model doğruluğu yaklaşık %83 oranında bir doğruluğa sahiptir.

#### ABSTRACT

Landslide events are one of the leading natural disasters that occur in many regions of Turkey. Arsuz Stream Basin, located within the borders of Hatay Arsuz, is one of the areas where these landslide events occur. The purpose of the study is to perform landslide susceptibility analysis of the Arsuz Stream Basin through the frequency ratio method. For this purpose, a total of 15 parameters including elevation, slope, aspect, topographic moisture index (TWI), stream erosion power (Spi), distance to road, distance to stream, topographic roughness index (TRI), normalized vegetation index (NDVI), linearity distance, land use, precipitation, valley depth, curvature and lithology were used in the landslide susceptibility analysis. In the study carried out based on Geographic Information Systems (GIS), 1/25,000 scale Mersin P35b1, Mersin P35b2, Mersin P35b3, Antakya P36a4 topography sheets, 1/100,000 scale Antakya P36-P37-Hama-R36- Mersin P35-Latakia-R35 geology sheets, digital elevation model (SYM-10 m), land cover (10 m), Sentinel-2 satellite image dated 25/01/2024 (10 m), road data (10 m), rainfall data (1 km<sup>2</sup>) were used. When the landslide susceptibility map created according to the frequency ratio method, the distribution characteristics of these areas; very low sensitivity class is 34.9 km<sup>2</sup>, approximately 23.8% in the total area, low class sensitivity is 31 km<sup>2</sup> and 21.2% in the total area, medium sensitivity classes are 45.9 km<sup>2</sup> and 31.3% in the total area, high sensitivity areas are 30.3 km<sup>2</sup> and 20.7% in the total area, very high class sensitivity areas cover 4.5 km<sup>2</sup> and 3.1% of the total area. The receiver operating characteristic (ROC) method was used for the accuracy of the analyzes performed in the study. Within the scope of accuracy analysis based on

the ROC method, it was determined that the model created according to the Frequency Ratio (FR) method had a very high value of 0.828. Accordingly, the model accuracy has an accuracy of approximately 83%.

© 2024 Jeomorfoloji Derneği / Turkish Society for Geomorphology  
Tüm hakları saklıdır / All rights reserved.

## 1. GİRİŐ

Genellikle eğimli arazilerde, yamaçta bulunan kaya, moloz ve toprak gibi malzemelerin, yer çekiminin etkisi sonucu, yamaç aşağı hareket etmesi heyelan olarak tanımlanmaktadır (Gökçeoğlu ve Ercanoğlu, 2001; Cihangir ve Görüm, 2016; Üzel Günini ve Öztürk, 2021). Dünya'da ve Türkiye'de meydana gelen kütle hareketlerinin sonucunda sosyal ve ekonomik problemlere sebep olan büyük sorunlar ortaya çıkmıő, on binlerce insan yaşanan bu kütle hareketleri nedeniyle yaőamlarını kaybetmiőlerdir (Sun vd., 2020; Zhou vd., 2021). Froude ve Petley'in (2018) yapmıő olduğu araştırmalara göre; 2004-2016 yılları arasında gerçekteşen heyelan olayları sonucunda 7 yıllık süreçte toplam 4862 heyelan olayı meydana geldiği ve bu heyelanlar ile toplam 55997 kiőinin yaőamlarını yitirdiği tespit edilmiştir. Araştırmacılar, yaşanan bu heyelanların afete dönüőtüğünü ve genellikle yüksek dağlık sahalarda olduğunu, özellikle Himalayalar'da ve Çin'de yaőandıđını belirtmiőlerdir. Bu durumun nedenleri arasında, topografyanın kompleks bir yapıya sahip olması ile jeolojik özelliklerin etkisini de ayrıca belirtmiőlerdir.

Dünya genelinde heyelanların çokça meydana geldiği ülkeler arasında Türkiye'de yer almaktadır (Görüm ve Fidan, 2021). Türkiye ölçeğinde en fazla Karadeniz, İç ve Doğu Anadolu Bölgelerinde meydana gelen heyelan olayları, il bazında ise Trabzon, Zonguldak ve Kastamonu'da yoğun olarak görülmektedir (Turoğlu, 2000; Ergünay, 2007). Türkiyede yaşanan heyelan olayları sonucunda, 1958-2000 yılları arasında 4250 yerleşim yeri zarar görmüő, toplamda 197 kiőisi hayatını kaybetmiőtir. Yaşanan heyelan olayları sonucunda AFAD tarafından yapılan tespitler ile 63000 konutun yer deđiőtirmesi gerektiği belirlenmiştir (Ergünay, 2007). Çan ve arkadaşlarının (2013) yapmıő oldukları çalışmada, Türkiye'nin heyelan envanter veri setinin çıkarılması ile 17.000 km<sup>2</sup>'nin üzerinde 85047 adet heyelan belirlemiőlerdir. Buna ek olarak bu heyelanları derin ve sığ heyelanlar

olarak sınıflandırmıő, aktif ve aktif olmayanlar olarak ise 2 kategoriye ayırmıőlardır.

Çalışma sahası olan Arsuz Çayı, heyelanların gerçekteştiği sahalardan biridir. Arsuz Çayı; Akdeniz Bölgesi'nin Hatay İli sınırları içerisinde, kaynağını Amanos Dağları'nın zirvelerinden almaktadır. Arsuz Çayı, Amanos Dağları'nın kuzeybatı yamaçlarını drene ederek, Amanoslar'ın batı yamaçlarında bulunan Arsuz Çayı ve kollarının taşıdığı alüvyonların birikmesi sonucunda meydana gelen Arsuz Ovası'nı aşarak İskenderun Körfezi'nden Akdeniz'e sularını döker (Şekil 1).

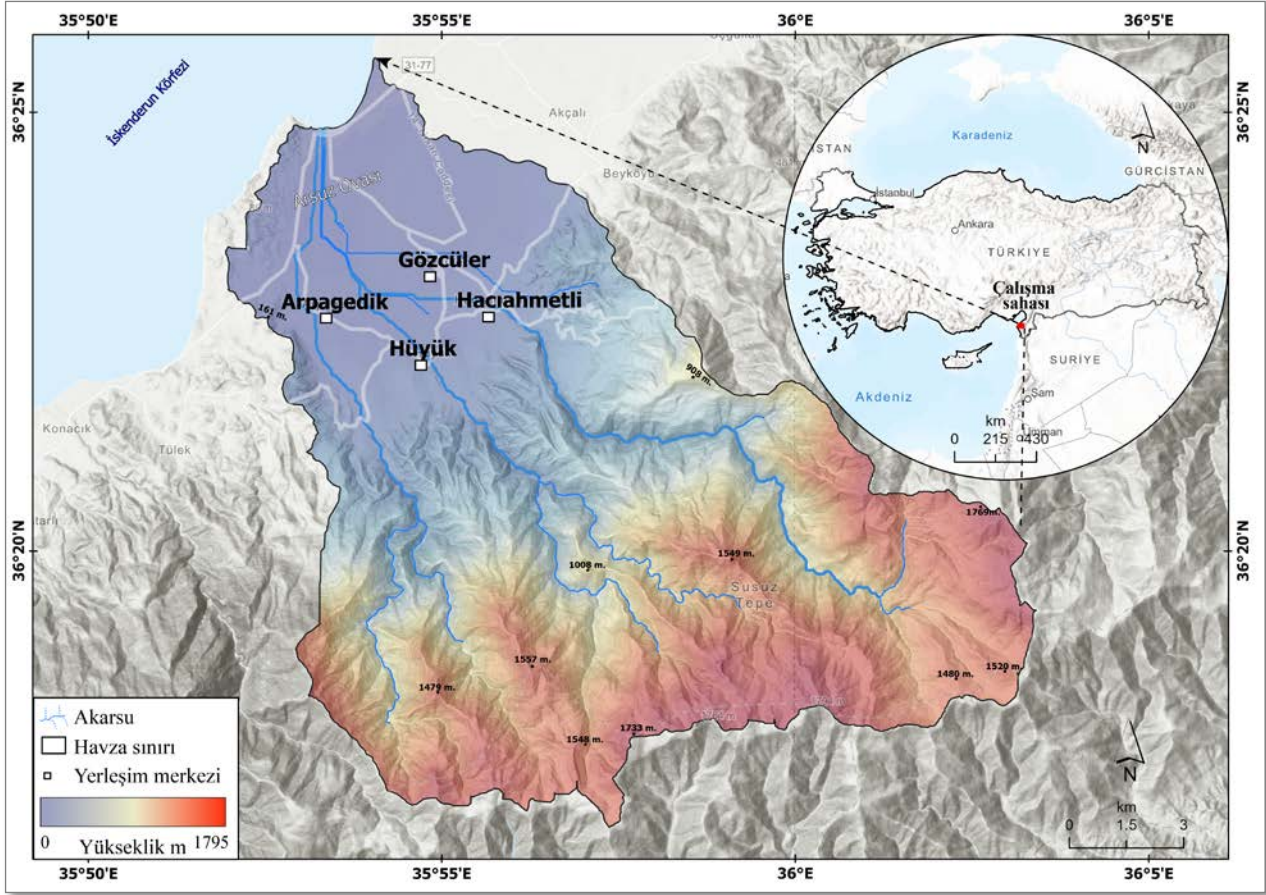
Heyelanların meydana gelmesinde arazinin litolojik, jeomorfolojik, hidrografik, iklimik ve arazi kullanım özellikleri gibi birçok faktör rol oynamaktadır. Arsuz Çayı Havzası'nda, ovanın bulunduğu sahanın eğimi 0°-6° arasındadır. Yerleşmelerin bittiği ve yükseltinin artış gösterdiği sahalarda eğim derecesi ise 6°-20° arasında yer alır. Havzanın yükseltisinin 1795 m 'ye kadar çıkması, litolojik ve jeomorfolojik yapısının uygun olması ile iklimik özellikler, arazi kullanım durumu heyelan oluşumunu ve riskini arttırmaktadır. Bu koőullar, Arsuz Çayı Havzası'nda heyelan duyarlılık analizinin yapılmasını tehlike önleme, sosyal, kültürel, ekonomik zarar görülebilirlikler açısından önemli hale getirmiőtir. Bu çalışmada; Frekans Oranı Yöntemi kullanılarak Arsuz Çayı Havzası için önemli olan heyelan duyarlılık analizinin yapılması amacıyla gerçekteştirilmiőtir.

## 2. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmada kullanılan Frekans Oranı Yöntemi; başta kütle hareketleri duyarlılık analizlerinde, özellikle taşkınlar, kaya düşmeleri, erozyon afetlerinin anlaşılmasında kullanılan ve oldukça popüler bir yöntemdir (Rahmati vd., 2016; Pourghasemi vd., 2020; Shu vd., 2021; Shano vd., 2021). Bu yöntem, genel olarak gerçekteşme ihtimali olan tehlikelerin, tetikleyici faktörlerine ait dinamiklerinin önem derecesine göre değerlendirilmesine dayanır. Bu değerlendirme; mekansal veritabanı

kullanılarak CBS ve UZAL analiz yöntemleri ile gerçekleştirilir (Bonham-Carter, 1994; Lee ve

Talib, 2005; Yılmaz, 2009; Reis vd., 2012; Chen vd., 2016a; Chen vd., 2016b; Ding vd., 2017).



**Şekil 1:** Çalışma sahasının lokasyonu / **Figure 1:** Location of the study area.

Frekans Oranı Yöntemi'nde heyelan duyarlılıklarının hesaplanmasında, heyelanların gerçekleşmesinde etkili olan 15 adet faktör kullanılmıştır. Bu veriler heyelanların gerçekleşmesinde rol oynayan etkenler arasında bulunur ve birçok çalışmada kullanılmıştır (Azarafza, 2021, Ado vd., 2022). Heyelan duyarlılık analizi kapsamında kullanılan verilerin indirildiği ve elde edildiği kaynaklar tablo 1'de verilmiştir. Şekil 4'te ise Tablo 1'de yer alan verilerden oluşturulan faktör haritaları yer almaktadır. Yağış verisi haricinde kullanılan bütün veriler 10 metre çözünürlüktedir. 1 km<sup>2</sup> çözünürlüğe sahip olan küresel iklim verisi, 10 m çözünürlüğe dönüştürülerek çalışmada duyarlılık analizi için kullanılmıştır (Fick ve Hijmans 2017). Analizlerin ortaya konulmasında 1/25.000 ölçekli Mersin P35b1, Mersin P35b2, Mersin P35b3, Antakya P36a4 topografya paftaları, 1/100.000 ölçekli Antakya P36-P37-Hama-R36- Mersin P35-Lazkiye-R35 jeoloji paftaları, sayısal yükselti modeli (SYM-10 m), arazi örtüsü (10 m),

Sentinel-2 25/01/2024 güncel tarihli uydu görüntüsü (10 m), yol verisi (10 m), yağış verisi (1 km<sup>2</sup>) ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır (Tablo 1). Son olarak ise elde edilen duyarlılık analizi sonucuna göre sonuçların doğruluk oranının sorgulanabilmesi amacıyla ROC (Alıcı işletim karakteristiği) yöntemi (Cemiloğlu vd., 2023) kullanılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulabilmesi için birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler; olasılık (sıklık oranı), analitik hiyerarşi süreci (AHP), bayeshen olasılık modeli, iki değişkenli, çok değişkenli, lojistik regresyon gibi farklı yöntemler olarak karşımıza çıkmaktadır (Akgün ve Türk, 2010; Arca ve Kutoğlu, 2017; Kılıçoğlu, 2020; Dalkes ve Korkmaz, 2023). Frekans oranı yönteminin; yapılan araştırmalarda, heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde birçok yöntemle göre daha yüksek doğruluk değerine sahip olduğu görülmüştür. Heyelan duyarlılık haritalarının çalışma sahasında bulunan heyelan envanter



verisi ile çakıştırılması sonucu, frekans oranı yönteminin envanter verilerinin analitik hiyerarşı süreci yöntemine göre daha uyumlu olduğu görülmüştür (Arca ve Kutoğlu, 2017; Dalkes ve Korkmaz, 2023). Bu nedenle çalışmada frekans oranı yöntemi tercih

**Tablo 1:** Heyelan duyarlılık analizinde kullanılan parametrelere ait zellikler / **Table 1:** Properties of the parameters used in landslide susceptibility analysis.

No	Veri seti	Kaynak	Veri türü	oznrlk	üretilen katman
1	Sayısal Yükselti Modeli (SYM)	Harita Genel Müdürlüğü-HGM	Raster	10 m	Eğim, baki, eğrisellik, ykseklilik, akarsu ağı, TWI, TRI, SPI, Vadi derinlik
2	Arazi rts	<a href="https://esa-worldcover.org/en">https://esa-worldcover.org/en</a>	Raster ve Vektor	10 m	Arazi rts
3	Uzaktan algılama verisi (Uydu görüntüsü)	<a href="https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-2">https://sentiwiki.copernicus.eu/web/sentinel-2</a>	Raster	10 m	NDVI, çizgisellik, heyelan envanter
4	Topografya ve jeoloji paftası	Harita Genel Müdürlüğü-HGM Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü-MTA	Raster ve Vektor	1/25.000 1/100.000	Heyelan envanter, ykseklilik raster verisi ve litoloji verisi
5	Yol verisi	<a href="https://overpass-turbo.eu/">https://overpass-turbo.eu/</a>	Vektor	10 m	Yola mesafe
6	Yağış verisi	Fijk and Hijmans, 2017- <a href="https://www.worldclim.org/">https://www.worldclim.org/</a>	Raster	1 km	Yağış
7	Geomorphons	<a href="https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/7.3.0/ta_lighting_8.html">https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/7.3.0/ta_lighting_8.html</a>	Raster	10 m	Jeomorfolojik birimler,

## 2.1. Heyelan Envanteri

Heyelan duyarlılık çalışmalarında; heyelan envanteri, bölgede meydana gelmiş olan heyelan alanlarının tespit edilmesi ve bunların belirlenmesi, gelecekte heyelanların olası meydana gelme alanları, duyarlılık analizi için çok kritik rol oynamaktadır (Guzzetti, 1999, 2012). Çalışma sahasında, yerleşmelerin bulunduğu alanlar eğim açısından çok düşük ve düşük duyarlılık özelliklerine sahipken; yerleşme sahaslarının ardından orta, yüksek ve çok yüksek eğim duyarlılık özellikleri görülür. Amanos Dağları'na doğru eğim ve yükseltinin artmasına paralel olarak yağış değerlerinin artış gösterdiği sahalarda, zemin hareketleri artış göstermektedir (Değerliyurt, 2014). Bu bilgiler ile birlikte sahanın heyelan envanter verisi çıkarılmış ve analiz edilmiştir.

Çalışma kapsamında, Arsuz ayı Havzası'nda meydana gelmiş heyelanların belirlenmesi için

edilmiştir. Buna ek olarak, bazı çalışmalarda ise bayeshen olasılık modelinin, frekans oranı yöntemine göre daha doğru sonuçlar ortaya koyduğu da belirtilmiştir (Akıncı vd., 2017; Kılıçoğlu, 2020).

arazi alışmaları, Sentinel-2 10 m oznrlkte 25/01/2024 güncel tarihli uydu görüntüsü, google earth ve MTA heyelan envanter verisi kullanılmıştır. Arazi alışmaları; bölge güvenlik koşulları gerekçe gösterilerek, özellikle yüksek dağlık bölgelerde var olan güvenlik sorunu ile orman yangını tehlikesi nedeniyle yoğun olarak yapılamamış, istenilen bölgelere gidilememiştir. Bu nedenle uydu görüntüleri ile oznrlğ yüksek olması sayesinde google earth ve apple maps görüntüleri tercih edilmiştir. MTA heyelan envanter verisinin 1/500000 ölçekli olması sebebiyle envanter kapsamında çok fazla heyelan verisi elde edilememiştir. Kullanılan tüm bu veriler, görsel yorumlama ve MTA envanter verisi kullanılarak, 77 farklı lokasyonda kütle hareketlerine ait tespit yapılmıştır (şekil 2, şekil 3). Tespit edilen bu heyelanlar ArcMap 10.4 programında, heyelan envanter vektör veritabanı oluşturulup,

herbir heyelan verisi tek tek çizilerek elde edilmiştir. Oluşturulan heyelan envanter verisinde çizimi yapılan heyelanlara ait örnekler Şekil 2'de verilmiştir. 77 adet heyelan envanter verisi dikkate alındığında, heyelan olayları genel olarak dik eğimli yamaçlar üzerinde meydana gelmiştir. Bu heyelanlar sayısal olarak toplamda 2.29 km<sup>2</sup>'lik bir alan kaplamaktadır ve en alçak noktası 155.2 m iken, en yüksek noktası

1629.3 m'dir. Heyelanların meydana geldiği yükseltilerin genel ortalaması ise 799.6 m'dir. Heyelanların meydana geldiği alanların eğim özellikleri incelendiğinde, maksimum 89° civarında, ortalama ise 36.3°'lik bir eğime sahip olduğu görülmektedir. Havza içerisinde meydana gelmiş kütle hareketlerine ait dağılış haritası Şekil 3'de verilmiştir.



**Şekil 2:** Arsuz Çayı Havzası'nda yüksek eğimli dik yamaçlar ve vadiler üzerinde meydana gelen farklı türde kütle hareketleri (<https://www.apple.com/maps/>) / **Figure 2:** Different types of mass movements occurring on high-slope steep slopes and valleys in the Arsuz Stream Basin (<https://www.apple.com/maps/>).

## 2.2. Heyelan Oluşumunu Etkileyen Faktörler

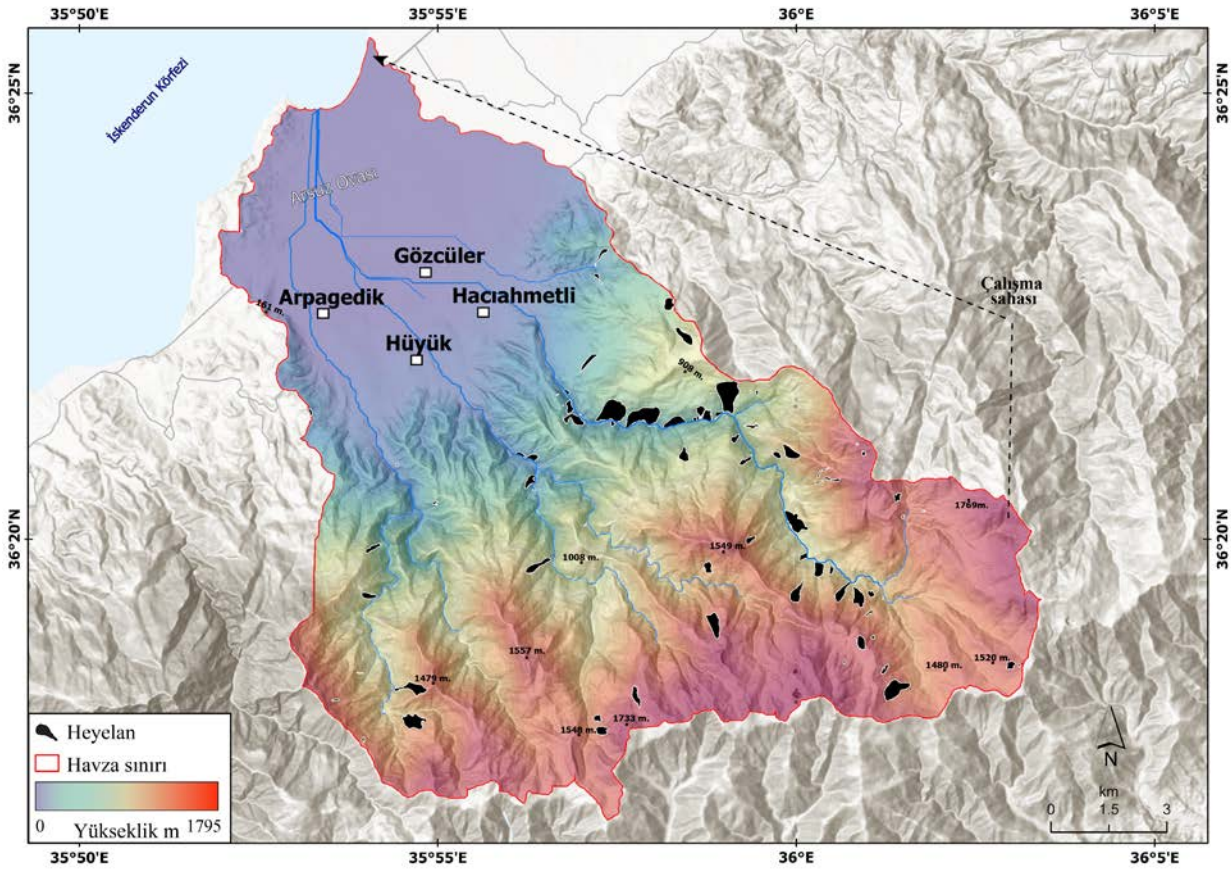
Heyelanların oluşum mekanizmalarının çok karmaşık olması ve içerisinde çok çeşitli dinamikleri barındırmasından dolayı heyelanların meydana gelmesinde birçok faktör etkili olmaktadır. Bu faktörler antropojenik, iklimik, jeolojik ve topografik kökenli de olabilmektedir. Bu nedenle, heyelan duyarlılık çalışmaları yapılırken birçok faktör dikkate alınarak değerlendirme ve analiz işlemleri

yapılmaktadır (Sun vd., 2020; Guzzetti, vd., 2012; Pham vd., 2020; Pourghasemi vd., 2020; Zhou vd., 2021). Belirtilen faktörler dikkate alınarak yapılan analiz yöntemi "niceliksel yöntemler" olarak ifade edilmektedir. Heyelanların belirtilen faktörler içerisinde alansal hesaplamaları yapılarak kullanılan parametrelerin ağırlıkları bulunduğundan sonra, her bir parametrenin bulunan ağırlıklarına göre



çakıştırılarak heyelan duyarlılık haritası elde edilir (Van Westen, 1993; Görüm, 2006). Çalışma kapsamında, heyelan duyarlılık analizi için 15 farklı parametre kullanılmıştır (şekil 4). Seçilen bu parametreler birçok heyelan duyarlılık çalışmasında (Shu vd., 2021, Wang vd., 2020, Shano vd., 2021), heyelanların gerçekteşmesinde temel faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, farklı veri kaynakları da kullanılmaktadır (Mohammady vd., 2012, Ozdemir ve Altural, 2013, Khan vd., 2018). Arsuz Çayı Havzası heyelan duyarlılık analizi için yükselti, eğim, baki, topografik nemlilik indisi (TWI) akarsu aşındırma gücü (Spi), yola uzaklık, akarsuya uzaklık, topografik

pürüzlülük indisi (TRI), normalize edilmiş bitki indisi (NDVI), çizgisellik mesafesi, arazi kullanımı, yağış, vadi derinliği, eğrisellik ve litoloji olmak üzere toplamda 15 parametre hesaba katılmıştır. Seçilen her bir parametre, frekans oranı hesaplaması için 10 alt sınıfa yeniden sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi ArcMap programında sınıflandırma (classify) kütüphanesinde doğal kırılmalar algoritması (Jenks, 1967) yöntemine göre yapılmıştır (Ke vd., 2023). Böylece oluşturulan sınıflandırmaya göre elde edilen her bir alt sınıfın, gerçekteşen heyelanlar ile olan ilişkisi hesaplanmış ve her bir alt sınıfın heyelanların meydana gelmesi üzerindeki etkinliği belirlenmiştir.



**şekil 3:** Arsuz Çayı Havzası'nda meydana gelen heyelanların konumları ve oluşturulan envanter veriseti.

**Figure 3:** Locations of landslides occurring in the Arsuz Stream Basin and the created inventory dataset.

### 2.3. Frekans Oranı Yöntemi

Frekans oranı yöntemi; geçmişte yaşanan afetlerin envanter verisine dayalı olarak gelecekte de yaşanma durumunu analiz etmektedir. Bu yöntem; olay envanter verisi aracılığıyla, bu alanlarda yaşanan taşkın, heyelan gibi afetlerin tetikleyici faktörleri göz önünde bulundurularak yeniden gerçekteşeceği olasılığını hesaplamaktadır. Frekans oranı (Fr) yöntemi (1);

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

ile elde edilir (Mandal ve Mondal, 2019; Üzel Günini ve Öztürk, 2021). Fr oranı değerinin 1 yada 1 den büyük olması heyelan olayının meydana gelmesinde önem açısından yüksek bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır (Erener ve Düzgün, 2010; Khan vd., 2019; Üzel Günini ve Öztürk, 2021). FR: frekans oranı a= heyelanı etkileyen parametrelerin her birine ait alt sınıfındaki heyelanlı piksel sayısının toplam heyelan piksel sayısına olan oranı b= heyelanı etkileyen parametrelerin her birine ait alt sınıfların piksel sayısının, alandaki toplam

piksel sayısına oranını ifade eder (Hepdeniz ve Soyaslan, 2018). Fr kullanılarak her bir parametrenin mevcut heyelan duyarlılığının tespit edilmesinde ise (2);

$$FSI_{FR} = \sum Fr \quad (2)$$

formülü kullanılır. Elde edilen her bir sınıfa ait Fr değeri arasındaki mevcut farklılıkların haritalama sırasında sorun oluşturmaması ve tutarsızlık oluşmaması için normalizasyon yani normalleştirme gerçekleştirilmektedir. Normalleştirme ise (3);

$$NFR = \frac{(FR - FR_{min})}{(FR_{maks} - FR_{min})} * 100 \quad (3)$$

olarak hesaplanmaktadır.  $FR_{min}$ : her bir parametre içerisindeki en küçük Fr değeri,  $FR_{max}$ : her bir parametre içerisindeki en byk Fr değeri'dir (Taşkanat, 2012).

Fr değerinin her bir parametre üzerinde hesaplanması için, öncelikle kullanılan toplamda 15 farklı parametrenin hepsine 10 sınıf aralığında yeniden sınıflandırma işlemi yapılmış, her bir parametrenin sınıflandırılmasında natural breaks (doğal kırılma) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma verilere ait maksimum ve minimum değerler arasında mevcut doğal kırılmaları kullanarak, sınıflandırma işlemini gerçekleştirir (Gong vd., 2021, Yılmaz, 2023).

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Frekans Oranı Yöntemine Göre Heyelan Duyarlılık Analizi

Frekans oranı yöntemi aracılığıyla 15 farklı parametre, bu parametrelerin heyelanların gerçekleşmesini tetikleme açısından ele alınmıştır. Böylece her bir parametrenin frekans oranı ile ilişkisi istatistiksel olarak belirlenmiştir. Fr değeri elde edilen her bir parametre ve alt sınıflarına normalizasyon uygulanarak, final duyarlılık haritasının oluşturulmasında kullanılmıştır. Normalizasyon değerleri sınıflandırılmış parametrelerin her bir alt sınıfına, sınıflandırılmış parametrelere yeniden uygulanarak hesaplamaya katılmıştır. Fr yöntemi sayısal sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre parametrelerin ayrı ayrı değerlendirmesi yapılacak olursa; litoloji verisi

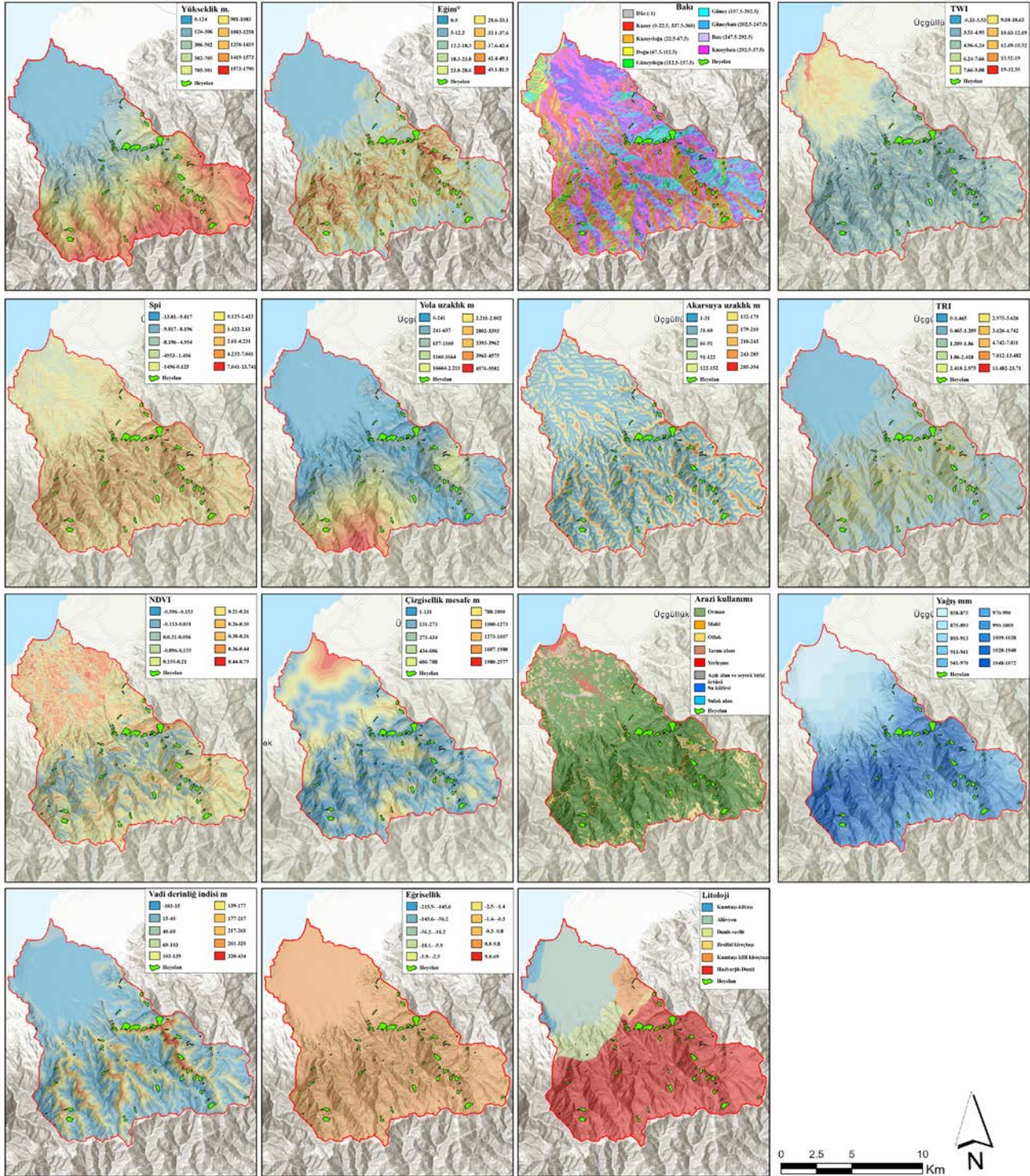
ile heyelanların meydana gelmesinde en önemli alt sınıfların ilk olarak Hazburjit-dunit ve kumtaşı-killi kireçtaşı birimlerinin olduğu, bu birimlerin heyelan olaylarının envanter verisinde de en fazla olayların yaşandığı birimlere karşılık geldiği grlmektedir (Tablo 2). Yükseklik verisinde ise en fazla etkiye sahip sınıfların 306-502,502-705,705-901 metreler olduğu görülürken, eğim parametresinde ise 37.6-42.4, 42.4-49.1°'lik eğimlere sahip alanların heyelan olayları açısından en kritik sahalarda olduğu tespit edilmiştir. Bu değerlerin; nemlilik indisinde 1-4. sırada olan sınıflar arasında görüldüğü, bu alanların heyelan olayları açısından daha duyarlı ve hassas olduğu, vadi derinliği indisinde; 217-320 m'ler seviyesinde olan derinliklerin, heyelan bakımından daha kritik ve yüksek etken olduğu, yağış parametresinde ise 990-1048 mm arasında olan sahalarda, arazi kullanım verisinde açık alanların, eğrisellik verisinde sınıflandırılmış 5. sınıfın (-5.9 - -2.5), bakı verisinde güney, güneybatı ve güneydoğuya bakan yamaçların, akarsu aşındırma indisinde 2.61-13.74 değerlerine karşılık gelen 8-9-10. sınıfların, çizgiselliklere olan mesafe parametresinde 788-1000 metre arasında olan sahalarda, akarsu mesafe verisinde 210-243 metrelerin, yola mesafe parametresinde 1664-2211 metrelerin, topografik engebelilik verisinde 0-0.465 değerlerinin ve normalize edilmiş bitki indisi verisinde ise 0.36-0.44 değerlerinin heyelanların meydana gelmesinde en fazla etkin olan alt sınıflar olduğu görülmüştür.

Frekans oranı yöntemine bağlı olarak yapılan heyelan duyarlılık analizinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, havzada heyelana duyarlı 5 sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek heyelan duyarlılık sınıfına karşılık gelmektedir. Böylece, kantitatif açıdan bu sınıflara bağlı olarak, heyelanların havzada tekerrür etme olasılıkları ya da meydana gelme durumları ile ilgili bilgi sahibi olmamıza olanak vermektedir. Heyelana duyarlı sahalarda incelendiğinde, düşük ve çok düşük sınıflara karşılık gelen sahalarda; genel olarak eğimin düşük olduğu ovalık alanın bulunduğu sahalarda ile çevresinde yer alan düşük eğimli, alçak yamaçlarda ve rölyefin maksimum olduğu, fakat daha çok düşük eğimli aşınım



yüzeylerinin olduğu sahalara karşılık gelen güneydoğu kesimlerinde bulunur. Orta sınıfta duyarlı alanlar ise yüksek ve çok yüksek sınıfta duyarlılıkların olduğu, yüksek eğimli dik

yamaçların, dar ve derin vadilerin çevresinde, özellikle eğimin çok yüksek olmadığı sahalarda yer almaktadır (Şekil 5).



**Şekil 4:** Heyelan duyarlılık analizi amacıyla kullanılan parametreler ve özellikleri (yükseklik (m), eğim, bakı, topografik nemlilik indisi (TWI), akarsu aşındırma gücü (Spi), yola uzaklık (m), akarsuya uzaklık (m), topografik pürüzlülük indisi (TRI), normalize edilmiş bitki indisi (NDVI), çizgisellik mesafesi (m), arazi kullanımı, yağış (mm), vadi derinliği (m), eğrimsellik ve litoloji) / **Figure 4:** Parameters and properties used for landslide susceptibility analysis (elevation (m), slope, aspect, topographic moisture index (TWI), stream erosion power (Spi), distance to road, distance to stream, topographic roughness index (TRI), normalized vegetation index (NDVI), linearity distance, land use, precipitation, valley depth, curvature and lithology).



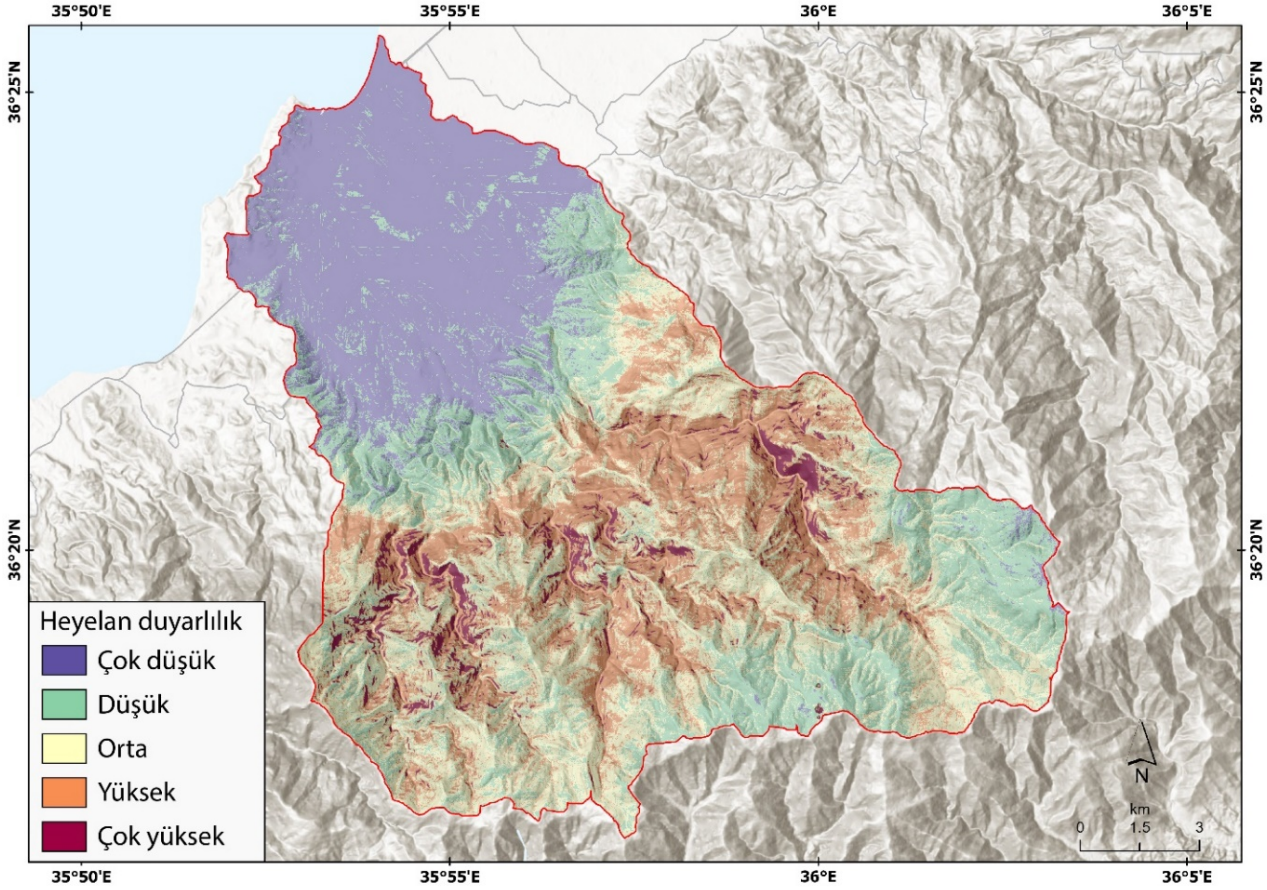
**Tablo 2:** Frekans Oranı yöntemi sayısal sonuçları / **Table 2:** Frequency ratio method numerical results.

PARAMETRE	PARAMETRE ALT SINIF	HEYELANLI ALANLARIN PİKSEL SAYISI	% ORANI	FAKTÖR ALANLARI	% ORAN	FR	NFR
LİTOLOJİ	1	1300	0.00	38759	0.03	0.14	9
	2	0	0.00	317273	0.22	0.00	0
	3	1100	0.00	98291	0.07	0.05	3
	4	0	0.00	5248	0.00	0.00	0
	5	9300	0.03	65183	0.04	0.58	39
	6	348300	0.97	945486	0.64	1.50	100
YÜKSELİTİ	1	0	0.00	358029	0.24	0.00	0
	2	44900	0.12	142717	0.10	1.28	40
	3	88100	0.24	112193	0.08	3.21	100
	4	48700	0.14	92640	0.06	2.15	67
	5	34500	0.10	94384	0.06	1.49	47
	6	30400	0.08	102156	0.07	1.22	38
	7	42200	0.12	120016	0.08	1.44	45
	8	34500	0.10	169136	0.12	0.83	26
	9	30300	0.08	174242	0.12	0.71	22
	10	6400	0.02	104787	0.07	0.25	8
EĞİM	1	800	0.00	330695	0.23	0.01	0
	2	4200	0.01	136472	0.09	0.13	2
	3	8300	0.02	177331	0.12	0.19	4
	4	20600	0.06	183004	0.12	0.46	9
	5	36500	0.10	172499	0.12	0.86	17
	6	59600	0.17	167342	0.11	1.45	28
	7	86900	0.24	147978	0.10	2.39	46
	8	76900	0.21	97071	0.07	3.23	63
	9	57800	0.16	45747	0.03	5.15	100
	10	8400	0.02	9271	0.01	3.69	72
TWI	1	70600	0.20	169315	0.12	1.70	100
	2	136500	0.38	415819	0.28	1.34	79
	3	104400	0.29	402674	0.27	1.06	62
	4	32900	0.09	187820	0.13	0.71	42
	5	8300	0.02	118029	0.08	0.29	17
	6	4500	0.01	91491	0.06	0.20	12
	7	1800	0.01	57391	0.04	0.13	8
	8	100	0.00	13621	0.01	0.03	2
	9	900	0.00	8136	0.01	0.45	27
	10	0	0.00	3045	0.00	0.00	0
VADI DERİNLİĞİ	1	27200	0.08	620542	0.42	0.18	0
	2	46700	0.13	305038	0.21	0.63	7
	3	51400	0.14	181400	0.12	1.16	15
	4	52800	0.15	127485	0.09	1.69	23
	5	43200	0.12	86126	0.06	2.05	29
	6	41800	0.12	61787	0.04	2.76	39
	7	36300	0.10	41209	0.03	3.60	52
	8	32500	0.09	25798	0.02	5.15	76
	9	26000	0.07	15779	0.01	6.73	100
	10	2100	0.01	5136	0.00	1.67	23

YAĞIŞ	1	0	0.00	104571	0.07	0.00	0
	2	0	0.00	105559	0.07	0.00	0
	3	0	0.00	80908	0.06	0.00	0
	4	1200	0.00	82826	0.06	0.06	3
	5	1800	0.01	82371	0.06	0.09	4
	6	22200	0.06	124813	0.08	0.73	36
	7	42600	0.12	171571	0.12	1.01	51
	8	106300	0.30	216676	0.15	2.00	100
	9	151200	0.42	327753	0.22	1.88	94
	10	34700	0.10	173254	0.12	0.82	41
ARAZI ÖRTÜŐÜ	Orman	202800	0.56	1190678	0.81	0.70	7
	Maki	20600	0.06	45464	0.03	1.85	19
	Otlak	90100	0.25	124846	0.08	2.95	30
	Tarım alanı	0	0.00	65111	0.04	0.00	0
	YerleŐme	0	0.00	23853	0.02	0.00	0
	Açık alan	46500	0.13	19066	0.01	9.96	100
	Su yüzeyi	0	0.00	865	0.00	0.00	0
	Su kütlesi	0	0.00	59	0.00	0.00	0
EĞRİSELLİK	1	0	0.00	1	0.00	0.00	0
	2	0	0.00	10	0.00	0.00	0
	3	0	0.00	40	0.00	0.00	0
	4	800	0.00	3188	0.00	1.02	48
	5	26200	0.07	49905	0.03	2.14	100
	6	39300	0.11	94659	0.06	1.70	79
	7	86200	0.24	275990	0.19	1.28	59
	8	110000	0.31	757428	0.52	0.59	28
	9	97500	0.27	288984	0.20	1.38	64
	10	0	0.00	95	0.00	0.00	0
BAKİ	Düz	0	0.00	1	0.00	0.00	0
	Kuzey	0	0.00	10	0.00	0.00	0
	Kuzeydoğu	0	0.00	40	0.00	0.00	0
	Doğu	800	0.00	3188	0.00	1.02	48
	Güneydoğu	26200	0.07	49905	0.03	2.14	100
	Güney	39300	0.11	94659	0.06	1.70	79
	Güneybatı	86200	0.24	275990	0.19	1.28	59
	Batı	110000	0.31	757428	0.52	0.59	28
SPI	1	0	0.00	13510	0.92	0.00	0
	2	900	0.25	25727	1.75	0.14	6
	3	18800	5.22	59362	4.04	1.29	58
	4	600	0.17	93470	6.36	0.03	1
	5	19400	5.39	240952	16.39	0.33	15
	6	60900	16.91	355652	24.19	0.70	31
	7	111700	31.02	370079	25.17	1.23	55
	8	115100	31.96	245360	16.69	1.92	85
	9	27800	7.72	50533	3.44	2.25	100
	10	4800	1.33	12696	0.86	1.54	69
ÇİZGİSELLİK MESAFESİ	1	173100	0.48	402065	0.27	0.57	7
	2	93600	0.26	363678	0.25	0.95	12
	3	36600	0.10	264855	0.18	1.77	22
	4	25500	0.07	171436	0.12	1.65	20



	5	16800	0.05	106467	0.07	1.55	19
	6	2100	0.01	70462	0.05	8.22	100
	7	9800	0.03	36233	0.02	0.91	11
	8	2500	0.01	23685	0.02	2.32	28
	9	0	0.00	19704	0.01	0.00	0
	10	0	0.00	11885	0.01	0.00	0
AKARSU MESAFESİ	1	96700	0.27	380972	0.26	0.96	41
	2	78000	0.22	284478	0.19	0.89	36
	3	65400	0.18	247982	0.17	0.93	38
	4	46600	0.13	210654	0.14	1.11	53
	5	31300	0.09	137872	0.09	1.08	50
	6	18600	0.05	87610	0.06	1.15	56
	7	11200	0.03	63131	0.04	1.38	74
	8	4800	0.01	33437	0.02	1.71	100
	9	4100	0.01	18192	0.01	1.09	51
	10	3300	0.01	5996	0.00	0.44	0
YOLA MESAFE	1	91600	0.25	726429	0.49	1.94	22
	2	129300	0.36	223889	0.15	0.42	5
	3	46400	0.13	140030	0.10	0.74	9
	4	46200	0.13	102430	0.07	0.54	6
	5	2300	0.01	81315	0.06	8.66	100
	6	18700	0.05	53865	0.04	0.71	8
	7	17800	0.05	45708	0.03	0.63	7
	8	7700	0.02	42046	0.03	1.34	15
	9	0	0.00	34358	0.02	0.00	0
	10	0	0.00	20254	0.01	0.00	0
TRI	1	1700	0.00	386862	0.26	55.72	100
	2	19100	0.05	347412	0.24	4.45	8
	3	72200	0.20	335694	0.23	1.14	2
	4	118900	0.33	241714	0.16	0.50	1
	5	93200	0.26	113156	0.08	0.30	1
	6	45600	0.13	35400	0.02	0.19	0
	7	8300	0.02	8465	0.01	0.25	0
	8	1000	0.00	1508	0.00	0.37	1
	9	0	0.00	66	0.00	0.00	0
	10	0	0.00	23	0.00	0.00	0
NDVI	1	0	0.00	22	0.00	0.00	0
	2	87800	0.24	152851	0.10	0.43	1
	3	73200	0.20	149662	0.10	0.50	1
	4	66400	0.18	189991	0.13	0.70	1
	5	60600	0.17	239637	0.16	0.97	1
	6	39000	0.11	253391	0.17	1.59	2
	7	24700	0.07	222385	0.15	2.20	3
	8	8000	0.02	160566	0.11	4.91	7
	9	300	0.00	84756	0.06	69.16	100
	10	0	0.00	17253	0.01	0.00	0



**Şekil 5:** Arsuz Çayı Havzası'nda frekans oranı yöntemine göre heyelan duyarlılık analizi / **Figure 5:** Landslide susceptibility analysis according to the frequency ratio method in the Arsuz Stream basin.

5 farklı sınıfa göre oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında bu alanların dağılış özellikleri ise; çok düşük duyarlılık sınıfı 34.9 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde yaklaşık %23.8, düşük sınıfta duyarlılık 31 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde % 21.2, orta duyarlılıkta sınıflar 45.9 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde %31.3, yüksek duyarlı alanlar 30.3 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde % 20.7, çok yüksek sınıfta duyarlılık sahaları ise 4.5 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde %3.1'lik yer kaplamaktadır (Tablo 3, Şekil 6).

### 3.2. Heyelan Duyarlılık Analizi Modeli Performans Doğruluğu

Üretilen duyarlılık analizi sonucuna göre elde edilen duyarlılık verisinde sonuçların doğruluk yüzdesinin sorgulanması için ROC (Alıcı işletim karakteristiği) yöntemi (Cemiloğlu vd., 2023) kullanılmıştır. Bu yöntemle göre mevcut heyelan envanteri alan verisi içerisine rastgele noktalar atılmıştır. Meydana gelen heyelan alan verisinden toplamda 5.198 adet nokta verisi oluşturulmuştur. Oluşturulan mevcut envanter nokta verisinden heyelan duyarlılık analiz modelinin çalıştırılması için eğitim verisi oluşturulan modelin performansının

doğruluğunu kontrol etmek için test verisi 2 gruba ayrılmıştır (Shirzadi, 2017; Utlu, 2023). Bunun sonucunda 5.198 adet heyelan envanter nokta verisi, % 70 eğitim verisi, %30'u ise test verisi olarak seçilmiştir (Utlu, 2023). Böylece, 3.639 veri eğitim, 1.559 nokta verisi test verisi olarak ayrılmıştır. Bu yöntemin hesaplanmasında (4);

(4)

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN}$$

$$FPR = \frac{TP}{TP + FN}$$

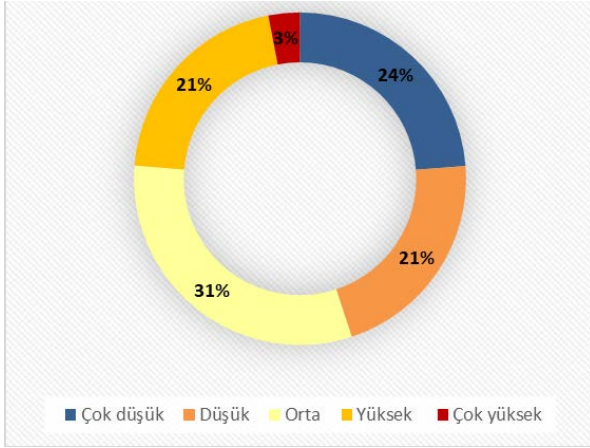
formülü tercih edilmektedir. Formülde ROC eğrisi üzerinde mevcut formülde olan yanlış pozitif ve doğru pozitif değerleri düşeyde ve yatayda x ve y eksenlerine dağıtır. Böylece ROC eğrisi üzerinde kalan ve değerler 1'e yaklaşması durumunda, modelin doğruluk oranı yüksektir (Shirzadi, 2017; Utlu, 2023). ROC yöntemine bağlı olarak doğruluk analizi kapsamında, Frekans Oranı (FR) yöntemine göre oluşturulan modelin 0.828 gibi oldukça yüksek bir değerde doğruluk değerine ulaşılmıştır. Buna göre



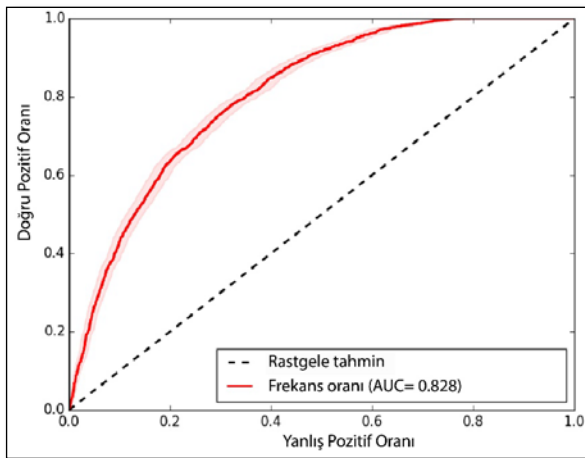
model doğruluğu yaklaşık %83 oranında bir doğruluğu sahiptir (şekil 7).

**Tablo 3:** Frekans oranı yöntemine göre heyelan duyarlılık sınıflarının alansal özelliklerinin dağılığ yüzdesi / **Table 3:** Percentage distribution of areal characteristics of landslide susceptibility classes according to frequency ratio method.

Heyelan duyarlılık	Alan km <sup>2</sup>	Alan %
Çok düşük	34.9	23.8
Düşük	31.0	21.2
Orta	45.9	31.3
Yüksek	30.3	20.7
Çok yüksek	4.5	3.1
<b>Toplam</b>	<b>146.6</b>	<b>100.0</b>



**şekil 6:** Frekans oranı yöntemine göre üretilen heyelan duyarlılık sınıflarının alansal özelliklerinin dağılığ yüzdesi / **Figure 6:** Percentage distribution of areal characteristics of landslide susceptibility classes produced according to the frequency ratio method.



**şekil 7:** Heyelan duyarlılık analizi sonuç modelinin ROC eğrisi ve AUC sonuçları / **Figure 7:** ROC curve and AUC results of landslide susceptibility analysis result model.

### 3. SONUÇ

Arsuz Çayı Havzası içerisinde değişik tip ve boyutlarda 77 adet heyelan meydana gelmiştir. Bu heyelanların çoğunluğu yamaç stabilitesinin bozulmaya uğradığı ulaşım güzergâhları ile akarsu vadilerinde, akma ve kayma tipinde görölmektedir. Heyelanların büyük bir kısmı yüksek eğim değerlerine sahip alanlarda gelişmiş olup toplamda 2.29 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır. Heyelanların gelişmiş olduğu yükselti aralığı 155-1629 metre olup genel ortalaması ise 799.6 metredir. Heyelanların yoğunlaştığı saha ise Hacıahmetli Deresi'nin bulunduğu kesim olarak görölmektedir.

Çalışmada litolojik özellikler ile heyelanlar arasındaki ilişki göze çarpmaktadır. Burada, Hazburjit-dunit ve kumtaşı-killi kireçtaşı birimlerinin olduğu, bu birimlerin heyelan olaylarının envanter verisinde de en fazla olayların yaşandığı birimlere karşılık geldiği belirlenmiştir. Yükseklik verisi sonucunda ise en fazla etkiye sahip sınıfların 306-502, 502-705, 705-901 metreler olduğu görölmektedir, eğim parametresinde ise 37.6-42.4, 42.4-49.1°'lik eğimlere sahip alanların heyelan oluşumu açısından en önemli sahalardan olduğu tespit edilmiştir. Bunlar dışındaki diğer verilere göre; nemlilik indisinde 1-4. sırada olan sınıflar, vadi derinliği indisinde; 217-320 m'ler seviyesinde olan derinlikler, yağış parametresinde 990-1048 mm arasında olan sahalardan, arazi örtüsü verisinde açık alanlar, eğrisellik verisinde sınıflandırılmış 5. sınıf (-5.9 - -2.5), bakı verisinde güney, güneybatı ve güneydoğuya bakan yamaçlar, akarsu aşındırma indisinde 2.61-13.74 değerlerine karşılık gelen 8-9-10. sınıflar, çizgiselliklere olan mesafe parametresinde 788-1000 metre arasında olan sahalardan, akarsu mesafe verisinde 210-243 metreler, yola mesafe parametresinde 1664-2211 metreler, topografik engebelilik verisinde 0-0.465 değerleri ve normalize edilmiş bitki indisi verisinde ise 0.36-0.44 değerleri heyelanların meydana gelmesinde en duyarlı ve hassas alt sınıflar olarak tespit edilmiştir.

Yapılan heyelan duyarlılık analizi sonucunda; havzada heyelana duyarlı 5 sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek sınıfta heyelan duyarlılığına karşılık gelmektedir. Düşük ve çok düşük sınıflara

karşılık gelen heyelana duyarlı sahalar genel olarak eğimin düşük olduğu ovalık alanın bulunduğu sahalara ile çevresinde yer alan düşük eğimli alçak yamaçlarda ve rölyefin maksimum olduğu fakat daha çok düşük eğimli aşınım yüzeylerinin olduğu sahalara temsil eden güneydoğu kesimlerinde bulunur. Orta sınıfta duyarlı alanlar ise yüksek ve çok yüksek sınıfta duyarlılıkların olduğu yüksek eğimli dik yamaçların, dar ve derin vadilerin çevresinde özellikle eğimin çok yüksek olmadığı sahalarda yer almaktadır. Tespit edilen bu alanların dağılış özellikleri ise; çok düşük duyarlılık sınıfı 34.9 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde yaklaşık %23.8, düşük sınıfta duyarlılık 31 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde % 21.2, orta duyarlılıkta sınıflar 45.9 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde %31.3, yüksek duyarlı alanlar 30.3 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde % 20.7, çok yüksek sınıfta duyarlılık sahalara ise 4.5 km<sup>2</sup> ve toplam alan içerisinde %3.1'lik yer kaplamaktadır.

Üretilen duyarlılık analizi sonucuna göre elde edilen duyarlılık verisinde Frekans Oranı (FR) yöntemine göre oluşturulan modelin, ROC yöntemine göre % 83 oranında bir doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Duyarlılık modelinin oluşturulmasında kullanılan envanter verisinin sahanın tamamını kapsamayı ve sadece havza ile sınırlı olması değerin yüksek çıkmasını sağlamıştır. Buna ek olarak havzada yapılacak daha detaylı arazi çalışmaları ile ayrıntılı envanter verisinin toplanılmasına ve bu da elde edilecek model sonuçlarının daha hassas doğrulukta olmasına katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak; çalışmada kullanılan parametrelerin sayısının artırılması, bölgede meydana gelen heyelanlar ve heyelandan etkilenen alanların tespit edilmesi, geçmişte yaşanan heyelan alanlarının bilinmesi ve gerekli envanterin oluşturulması, heyelan duyarlılık haritalarından daha hassas ve doğruluk oranı yüksek sonuçların elde edilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca heyelan hassasiyetinin ve uygulanabilirliğin yüksek olması amacıyla bundan sonraki çalışmalarda, özellikle yerleşim sahalara başta olmak üzere çok yüksek ve yüksek heyelan duyarlılığına sahip alanlarda, lokal bölgeler bazında çalışılması, yüksek çözünürlüklü verilerin kullanılması, farklı parametrelerin değerlendirmeye alınması ve ileri analiz

teknikleriyle hassas değerlendirmelerin yapılması önemlidir.

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma; İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalında hazırlanan "Arsuz Çayı Havzası'nın (Hatay) Uygulamalı Jeomorfoloji Etüdü" adlı doktora tez çalışmasından üretilmiştir.

## KAYNAKÇA

- Ado, M., Amitab, K., Maji, A.K., Jasińska, E., Gono, R., Leonowicz, Z. & Jasiński, M. (2022). "Landslide Susceptibility Mapping Using Machine Learning: A Literature Survey" *Remote Sensing* 14, no. 13: 3029. <https://doi.org/10.3390/rs14133029>
- Akgün, A., Türk, N. (2010). İki ve Çok Değişkenli İstatistik ve Sezgisel Tabanlı Heyelan Duyarlılık Modellerinin Karşılaştırılması: Ayvalık (Balıkesir, Kuzeybatı Türkiye) Örneği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 34(2), 85-112. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jmd/issue/28177/295467>
- Akinci, H., Doğan, S. Kılıçoğlu, C. 2017. Landslide Susceptibility Mapping Of Canik (Samsun) District Using Bayesian Probability and Frequency Ratio Models. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 5(3), 283-299. <https://doi.org/10.15317/Scitech.2017.89>
- Arca, D., Kutoğlu, ř.H. (2017). Frekans Oranı Metodu ile Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara. Erişim adresi: [https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/23443ad7429229\\_ek.pdf](https://www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/23443ad7429229_ek.pdf)
- Azarafza, M., Azarafza, M., Akgün, H., Atkinson, P.M., & Derakhshani, R. (2021). Deep learning-based landslide susceptibility mapping. *Scientific Report*, 11, 24112. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-03585-1>
- Bonham-Carter, G.F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists*. Pergamon Press, Modeling with GIS, Oxford. Erişim adresi: <https://www.sciencedirect.com/book/9780080418674/geographic-information-systems-for-geoscientists>
- Cemiloglu, A., Zhu, L., Mohammednour, A. B., Azarafza, M., Nanekaran, Y.A. 2023. "Landslide Susceptibility Assessment for Maragheh County, Iran, Using the Logistic Regression Algorithm" *Land* 12, no. 7: 1397. <https://doi.org/10.3390/land12071397>



- Cihangir, M. E., Görüm, T. (2016). Kelkit vadisinin aşağı ığırında gelişmiş heyelanların dağılım deseni ve oluşumlarını kontrol eden faktörler. *Türk Coğrafya Dergisi* (66), 19-28. <https://doi.org/10.17211/tcd.84731>
- an, T., Duman, T. Y., Olgun, ř., örekioğlu, ř., Karakaya-Gölmez, F., Elmacı, H., Hamzaçebi, S., & Emre, Ö. (2013). Türkiye Heyelan Veri Tabanı. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi. Erişim adresi: [//https://obs.hkmo.org.tr/showmedia/resimler/ekler/85a47f65233d5d0\\_ek.pdf](https://obs.hkmo.org.tr/showmedia/resimler/ekler/85a47f65233d5d0_ek.pdf)
- Chen, W., Chai, H., Sun, X., Wang, Q., Ding, X., & Hong, H. (2016a). A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping. *Arabian Journal of Geosciences*. 9 (3), 204. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2150-7>
- Chen, W., Wang, J., Xie, X., Hong, H., Van Trung, N., Bui, D.T., Wang, G., & Li, X. (2016b). Spatial prediction of landslide susceptibility using integrated frequency ratio with entropy and support vector machines by different kernel functions. *Environmental Earth Sciences*. 75 (20), 1344. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6162-8>
- Dalkes, M., Korkmaz, M. S. (2023). Analitik Hiyerarşi Süreci ve Frekans Oranı Yöntemlerinin Heyelan Duyarlılık Analizinde Karşılaştırılması: Trabzon İli Akabat ve Düzköy İlçeleri Örneği. *Doğal Afetler Ve evre Dergisi*, 9(1), 16-38. <https://doi.org/10.21324/dacd.1105000>
- Değerliyurt, M. (2014). İskenderun-Arsuz İlçelerinin (Hatay) CBS Tabanlı Zemin Hareketleri Duyarlılık Analizi, *Turkish Studies*, Cilt 9, Sayı 5:655-678. doi:<http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.6765>
- Ding, Q., Chen, W., & Hong, H. (2017). Application of frequency ratio, weights of evidence and evidential belief function models in landslide susceptibility mapping. *Geocarto International* 32 (6), 619-639. <https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1165294>
- Erener, A., Duzgun, H.S. (2010) Improvement of statistical landslide susceptibility mapping by using spatial and global regression methods in the case of More and Romsdal (Norway), *Landslides*, 7, 55-68. <https://doi.org/10.1007/s10346-009-0188-x>
- Ergünay, O. (2007). Türkiye'nin afet profili. TMMOB Afet Sempozyumu, 5(7), 1-14. Erişim adresi: <https://eskisakarya.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3885.pdf>
- Fick, E.S., Hijmans, R.J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
- Froude M. J., Petley D. (2018). Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 2161-2181. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>
- Gong, W., Hu, M., Zhang, Y., Tang, H., Liu, D. & Song, Q. (2021). GIS-based landslide susceptibility mapping using ensemble methods for Fengjie County in the Three Gorges Reservoir Region, China. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03572-z>
- Gökçeoğlu, C., Ercanoğlu, M. (2001) Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında kullanılan parametrelere ilişkin belirsizlikler. *Yerbilimleri* 23, 189-206. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yerbilimleri/issue/13619/165042>
- Görüm, T. (2006). Coğrafi bilgi sistemi ve istatistiksel yöntemler kullanılarak heyelan duyarlılık analizi: melen boğazı ve yakın evresi (Tez No.215614). [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi]. Yök Tez Merkezi.
- Görüm, T., Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides* 18, 1691-1705. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01580-7>
- 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/S0169-555X\(99\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00078-1)
- Guzzetti, F., Mondini, A.C., Cardinali, M., Fiorucci, F., Santangelo, M., & Chang, K.T. (2012). Landslide inventory maps: New tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*.112, 42-66. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.02.001>
- Günini, N. Ü., Öztürk, D. (2021). Van ili heyelan duyarlılığının frekans oranı yöntemiyle analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Cilt 26, Sayı 3. <https://doi.org/10.17482/uumfd.969246>
- Hepdeniz, K., Soyaslan, İ. İ. (2018). CBS ve Frekans Oranı yöntemi kullanılarak Isparta-Burdur dağ yolu heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2),179-186. <https://doi.org/10.29048/makufebed.414392>
- Jenks, G. F. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7, 186-190.
- Ke, C., He, S., & Qin, Y. (2023). Comparison of natural breaks method and frequency ratio dividing

- attribute intervals for landslide susceptibility mapping. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 82, 384. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03392-0>.
- Khan, H., Shafique, M., Khan, M. A., Bacha, M. A., Shah, S. U., & Calligaris, C. (2018). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 11-24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004>
- Kılıçoğlu, C. (2020). Frekans Oranı Metodu ve Bayesyen Olasılık Modeli Kullanılarak Samsun İli Vezirköprü İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 138-154. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.658662>
- Lee, S., Talib, J. A. (2005). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environmental Geology*. 47 (7), 982–990. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1228-z>
- Mandal, S., Mondal, S. (2019). *Statistical Approaches for Landslide Susceptibility Assessment and Prediction*, Springer International Publishing, Cham, 193 s. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-93897-4>
- Mohammady, M., Pourghasemi, H. R., & Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.10.005>
- Özdemir, A., & Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180-197. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2012.12.014>
- Pham, B.T., Nguyen-Thoi, T., Qi, C., Phong, T.V., Dou, J., Ho, L.S., Le, H.V., & Prakash, I. (2020). Coupling RBF neural network with ensemble learning techniques for landslide susceptibility mapping. *Catena* 195, 104805. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104805>
- Pourghasemi, H.R., Kornejady, A., Kerle, N., & Shabani, F. (2020). Investigating the effects of different landslide positioning techniques, landslide partitioning approaches, and presence-absence balances on landslide susceptibility mapping. *Catena* 187, 104364. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104364>
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42–70. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>
- Reis, S., Yalcin, A., Atasoy, M., Nisanci, R., Bayrak, T., Erduran, M., Sancar, C., Ekerin, S. (2012). Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio and analytical hierarchy methods in Rize province (NE Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 66 (7), 2063–2073. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1432-y>
- Shano, L., Raghuvanshi, T.K., & Meten, M. (2021). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio model: the case of Gamo highland, South Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 623. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-06995-7>.
- Shirzadi, A., Chapi, K., Shahabi, H., Solaimani, K., Kavian, A., & Ahmad, B. Bin. (2017). Rock fall susceptibility assessment along a mountainous road: an evaluation of bivariate statistic, analytical hierarchy process and frequency ratio. *Environmental Earth Sciences*, 76(4), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6471-6>
- Shu, H., Guo, Z., Qi, S., Song, D., Pourghasemi, H.R., & Ma, J. (2021). Integrating Landslide Typology with Weighted Frequency Ratio Model for Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study from Lanzhou City of Northwestern China. *Remote Sensing*, 13, 3623. <https://doi.org/10.3390/rs13183623>
- Sun, D.L., Wen, H.J., Wang, D.Z., & Xu, J.H. (2020). A random forest model of landslide susceptibility mapping based on hyperparameter optimization using Bayes algorithm. *Geomorphology* 362, 107201. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107201>
- Taşkanat, T. (2012). Frekans Oranı Ve Kanıt Ağırlığı Metotları Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi, Kayseri Küpeli Mahallesi Örneği. *Uzal ve CBS Sempozyumu*. 1-9. <https://doi.org/10.15659/uzalcbs2022.13033>
- Turoğlu, H. (2000). Doğal Ortam Analizi ve Düzenleme-Planlama Çalışmaları. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi* (8), 201-212. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/iucografya/issue/25057/264552>
- Utlı, M. (2023). Frekans Oranı ve Shannon Entropisi Yöntemi Kullanarak Ezine Çayı Havzası Taşkın Duyarlılık Analizi (Kastamonu-Bozkurt). *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi* (11), 160-178. <https://doi.org/10.46453/jader.1358845>
- Van Westen, C.J. (1993). Remote Sensing and Geographic Information Systems for Geologic Hazard Mitigation. *ITC Journal-4*. Erişim adresi:



- [https://www.researchgate.net/publication/209805617\\_Remote\\_Sensing\\_and\\_Geographic\\_Information\\_Systems\\_for\\_Geological\\_Hazard\\_Mitigation](https://www.researchgate.net/publication/209805617_Remote_Sensing_and_Geographic_Information_Systems_for_Geological_Hazard_Mitigation)
- Wang, Y., Sun, D., Wen, H., Zhang, H., & Zhang, F. (2020). Comparison of Random Forest Model and Frequency Ratio Model for Landslide Susceptibility Mapping (LSM) in Yunyang County (Chongqing, China). *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, 4206. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124206>
- Yılmaz, I. (2009). Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from Kat landslides (Tokat–Turkey). *Computers-Geosciences*, 35 (6), 1125–1138. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2008.08.007>
- 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>
- Zhou, X., Wen, H., Zhang, Y., Xu, J., & Zhang, W. (2021). Landslide susceptibility mapping using hybrid random forest with GeoDetector and RFE for factor optimization. *Geoscience Frontiers*, 12(5), 101211. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101211>