

# SAKARYA İLİ HEYELAN DUYARLILIK HARİTALANDIRMASI VE RİSK DEĞERLENDİRMESİ

## LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY MAPPING AND RISK ASSESSMENT IN SAKARYA PROVINCE

İsa Vural<sup>1</sup>, Dua Kayatürk\*<sup>2</sup>, Berre Nur Bir<sup>3</sup>

### ÖZET

Heyelanlar, doğal afetler arasında en yıkıcı olanlardan biri olarak öne çıkar. Türkiye'de depremlerden sonra en çok can ve mal kaybına sebep olan ikinci afet türü olarak gelmektedir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) heyelanların hem mevcut envanter haritalarının oluşturulmasında hem de heyelan olma ihtimali yüksek lokasyonların belirlenip haritalandırılmasında kullanılan ve çalışmaya çok büyük kolaylıklar sağlayan sistemlerdir. Bu çalışma, Sakarya ilinde olası heyelanların zararını azaltmak amacıyla heyelan duyarlılık haritalarının oluşturulmasını amaçlamaktadır. İlk olarak, analiz için belirlenen 10 parametrenin (bitki örtüsü, litoloji, yükseklik, arazi kullanımı, eğim, eğrisellik, bakı, yollara uzaklık, faylara uzaklık, akarsulara uzaklık) haritaları oluşturulmuş, ardından mevcut heyelan envanter haritası hazırlanmıştır. Elde edilen parametre haritaları ve mevcut heyelan envanter haritası, frekans oranı yöntemiyle analiz edilerek heyelan duyarlılık haritalarına ulaşılmıştır. Bu haritalar beş risk kategorisine (çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek) göre sınıflandırılmıştır. Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının doğruluğu ROC analizi ile değerlendirilmiştir. Bölgede, hangi parametrelerin heyelanı tetiklediğinin yanı sıra parametre haritaları bölgede yürütülecek diğer çalışmalar için kaynak oluşturmaktadır. %75.5 doğrulukla sonuçlanan bu çalışma gelecekte planlanacak heyelan önlemleri araştırmaları için yararlanılabilecek nitelikte bir veri içermektedir.

*Anahtar Kelimeler: Heyelanlar, heyelan duyarlılık analizi, frekans oranı yöntemi, coğrafi bilgi sistemleri*

### ABSTRACT

Landslides stand out as one of the most destructive natural disasters. After earthquakes, landslides are the second most common type of disaster in Turkey, causing the highest loss of life and property. Geographic Information Systems (GIS) are systems that are used both in the creation of existing inventory maps of landslides and in the identification and

<sup>1</sup> Doç. Dr., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, [ivural@subu.edu.tr](mailto:ivural@subu.edu.tr)

<sup>2</sup> Arş. Gör., Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, [dua@subu.edu.tr](mailto:dua@subu.edu.tr) (sorumlu yazar)

<sup>3</sup>Yüksek Lisans Öğrencisi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, [berrenurbir@gmail.com](mailto:berrenurbir@gmail.com)

mapping of locations with a high probability of landslides and provide great convenience to the study. This study aims to create landslide susceptibility maps in order to reduce the damage of possible landslides in Sakarya. Firstly, the maps of 10 parameters (elevation, slope, aspect, slope curvature, lithology, vegetation, land use, distance to fault lines, distance to rivers, distance to roads) determined for the analysis were created, and then the existing landslide inventory map was prepared. The obtained parameter maps and the existing landslide inventory map were analyzed with the frequency ratio method and landslide susceptibility maps were obtained. These maps were classified according to five risk categories (very low, low, medium, high, very high). The accuracy of the produced landslide susceptibility maps was evaluated by ROC analysis. The parameter maps, as well as which parameters trigger landslides in the region, constitute a resource for other studies to be carried out in the region. This study, which resulted in 75.5% accuracy, contains data that can be utilized for landslide prevention studies to be conducted in the future.

*Keywords: Landslides, landslide susceptibility analysis, frequency ratio method, geographic information systems*

## 1. GİRİŞ

Heyelanlar, küresel çapta önemli zararlar ve can kayıplarına yol açan bir doğa olayıdır. Son yıllarda, artan nüfus, kentleşme ve iklim değişikliği gibi faktörler nedeniyle heyelanların sıklığı ve şiddeti artmaktadır. Heyelan risklerinin etkili bir şekilde azaltılması için, belirli bölgelerdeki heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Doğal olaylar nedeniyle can ve mal kayıplarının yaşandığı ve ekonomik aktivitenin yoğun olduğu bölgelerde, etkilenen şehir düzeninin yeniden oluşturulması zaman almaktadır. Bu nedenle, afete duyarlı bölgelerin incelenmesi ve muhtemel afet bölgelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Türkiye, morfolojik yapısı, coğrafi konumu ve iklim özellikleri nedeniyle doğal afetlerden kaynaklanan can kaybı ve ekonomik zararlarla sık sık karşı karşıya kalmaktadır (Demir vd., 2015). Ülkemizde 1950-2019 yılları arasında 23286 heyelan yaşanmış olup, 2019 yılında 245, 2022 yılında ise 137 heyelan/kaya düşmesi olayı kayıtlara geçmiştir (AFAD, 2020; AFAD, 2023). Afet değerlendirmelerinde ilk sıralarda yer alan heyelanların incelenmesi ve duyarlı bölgelerin belirlenmesi, olası etkilerin en aza indirilmesi gerekmektedir.

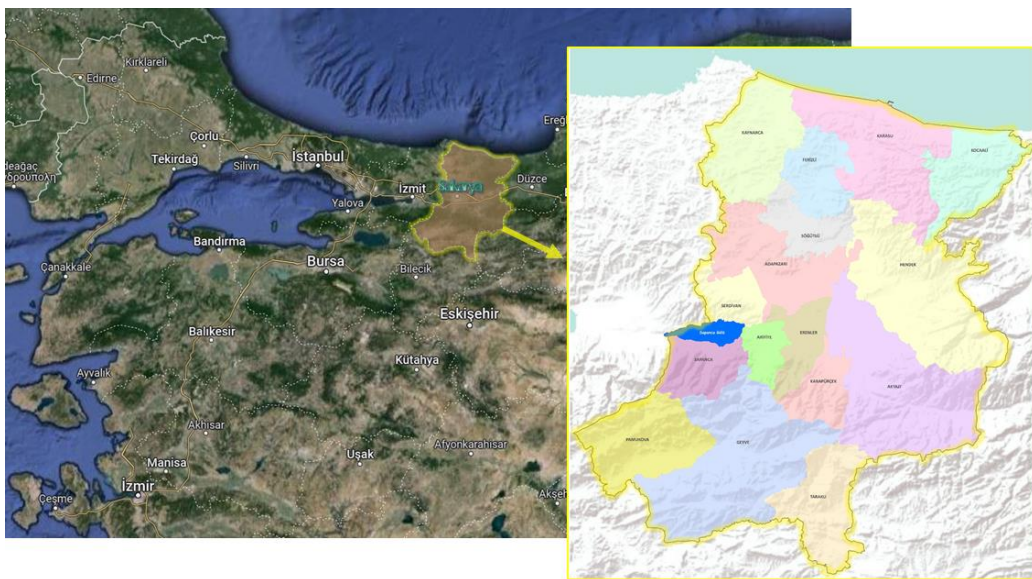
Heyelan duyarlılığı ise bir bölgede heyelan meydana gelme olasılığını gösterir ve yerel arazi koşullarına göre belirlenir (Reichenbach, 2018). Heyelanlar tek bir nedene bağlı olarak oluşmadığından, araştırmacılar heyelan duyarlılık analizlerinde istatistik yöntemler kullanmaktadır. Geçmiş heyelan olaylarını içeren heyelan envanter haritaları, mekansal-zamansal olasılığının belirlenmesinde ana girdi olarak kullanılmaktadır (Moraques, 2024). Heyelan duyarlılık değerlendirmeleri, veri madenciliği, istatistiksel analizler ve CBS ile çalışma alanının mekansal anlamda işlenmesini ve heyelan alanları ile ilgili parametreler arasındaki ilişkinin kurulmasını içerir (Pourghasemi, 2018). CBS, konumsal verilerin bilgisayar ortamında derlenmesi, muhafaza edilmesi ve analiz edilmesi üzerine tasarlanmış sistemlerdir (Aranoff, 1991), neredeyse tüm heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılmaktadır. Heyelan duyarlılık analizi için literatürde çok sayıda yöntem bulunmaktadır ancak araştırmacıların üzerinde kesin olarak karar kıldığı bir yöntem yoktur.

Bu çalışma, Sakarya'daki heyelan duyarlılığının değerlendirilmesine odaklanmaktadır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak çeşitli parametreleri analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çeşitli kaynaklardan elde edilen mekânsal veriler ile bölgenin güncel durumunu ortaya koyan parametre haritaları oluşturulmuştur. Çalışmada, bu parametrelerin analizi ve modelleme tekniklerinin kombinasyonu kullanılarak Sakarya için bir heyelan duyarlılık haritası sunulmaktadır. Elde edilen bulgular heyelan risk yönetimi ve önlemlerinin oluşturulmasına hizmet etmektedir.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

Sakarya, Türkiye'nin kuzeyinde, 4832 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahip bir ildir. İklim açısından, Karadeniz kıyısında Karadeniz iklimi, güneyde ise Marmara tipi Akdeniz iklimi etkilidir. Yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 130,7 olup, toplam yağış miktarı 842,9 mm'dir. Senelik ortalama sıcaklık ise 14,6 °C'dir (MGM, 2023). Topografik olarak, kuzeyde alçak tepelik bölgeler, ortada Adapazarı ovası ve güneyde engebeli dağlık bölgelerden oluşur. İlin en yüksek dağları Keremali (1543 m) ve Karadağ (1467 m) olup, Sakarya Nehri Eskişehir'den doğup Karasu'dan denize dökülür (ÇEM, 2011; DSI, 2024). Ayrıca, Sapanca Gölü, tektonik oluşumlu bir tatlı su gölüdür. Jeolojik olarak, İstanbul, Armutlu-Almacık ve Sakarya zonlarından oluşur. Sakarya zonunun Jura-Kretase dönemine ait tortul örtü ve metamorfik temelden oluştuğu, İstanbul zonunun ise Ordovisiyen-Alt Tersiyer dönemine ait tortul kayalardan meydana geldiği bilinmektedir. Bu zonlar, erken Eosen'den itibaren çökelmiş birimler tarafından örtülmüştür (Yılmaz vd., 1997). Adapazarı-Pamukova gibi genç tektonik ovaların içinde ve çevresinde ise Pliyosen-Kuvaterner dönemine ait daha yaşlı birimler bulunmaktadır (Erturaç, 2018). Sakarya'nın konumu ve ilçeleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

Sakarya, geçmişten günümüze birçok heyelana maruz kalmış, özellikle Geyve, Karasu ve Kocaeli ilçelerinde yoğun yağışa bağlı heyelanlar rapor edilmiştir (Çelik, 2023). Geçmiş heyelanlar genellikle ilin güney kesimlerinde Geyve ve Taraklı ilçelerinde yoğunlaşmıştır (MTA, 2023).



Şekil 1. Sakarya konumu ve ilçeleri

### 3. METODOLOJİ

Şevin stabilitesini etkileyen faktörler ve heyelan envanteri oluşturulması için çeşitli kaynaklardan veriler derlenmiştir. Heyelan duyarlılık haritası (HDH) oluşturulmasında frekans oranı yönteminden yararlanılmıştır. CBS için kullanılan ArcGIS, çalışmanın çıktılarını oluşturan ana yazılım olmuştur. Receiver Operating Characteristic (ROC) ve Area Under Curve (AUC) HDH'lerin oluşturulmasında kullanılan yöntemin performansının değerlendirilmesini sağlamıştır.

#### 3.1. Heyelan Envanteri

Mekânsal veriler, çalışma alanına ait iklim, ekonomik ve sosyal yapı gibi nitel veriler ile analizde kullanılan hâlihazırda mevcut heyelan bölgeleri, sayısal yükseklik modeli (SYM), eğim haritası, bakı haritası, jeoloji haritası, arazi kullanım haritası gibi nicel verilerdir. Sakarya AFAD İl Afet Risk Azaltma Planı (İRAP) planında afete maruz bölgelerin 59 tanesi heyelan olarak işlenmiştir (AFAD, 2021). Mevcut heyelan alanlarının belirlenmesi için MTA'dan heyelan vektör verileri temin edilmiştir.

#### 3.2. Şev Stabilitesini Etkileyen Faktörler

Şev stabilitesini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Bu faktörlerin stabiliteyi etkileme dereceleri değişiklik gösterir, bu sebeple doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilirler. Bir sahayı heyelana yatkın hale getiren faktörlerin başında sismik aktivite, yağış ve arazi örtüsü değişiklikleri gelmektedir (Keshri vd., 2024). Sahaya özel jeoloji, hava durumu, arazi kullanımı gibi önemli faktörleri içeren bir veri tabanı oluşturulması esastır. Bu çalışmada heyelan duyarlılığında kullanılmak üzere 10 adet parametre seçilmiştir. Bunlar yükseklik, eğim, bakı, yamaç eğriselliği, akarsulara uzaklık, yollara uzaklık, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı, bitki örtüsü ve litoloji parametreleridir.

Bu çalışmada topoğrafik analiz için ASTER Global Dijital Yükseklik Modeli'ne (ASTER GDEM) ait veriler kullanılmıştır. Bu portaldan edinilen Sakarya iline ait 27 m çözünürlüklü SYM kullanılarak yükseklik, eğim, bakı ve yamaç eğriselliği haritaları hazırlanmıştır. Litoloji verileri MTA yerbilimleri veri tabanından alınarak sayısallaştırılmıştır. Fay verileri MTA'dan vektör veri olarak temin edilip haritalaştırılmıştır. Arazi kullanım verileri Avrupa arazi kullanım haritasını oluşturan CORINE projesinden temin edilmiştir. Akarsu verisi ASTER GDEM'den alınıp SYM kullanılarak hidroloji analizi ile akarsulara uzaklık haritası elde edilmiştir. Yol verileri OpenStreetMap internet portalı ve Overpass turbo aracı ile edinilmiş olup haritalaştırılmıştır. Bitki örtüsü için Landsat 8 uydu görüntülerinde Normalized difference vegetation index (NDVI) analizi yapılmıştır. Tüm sayısallaştırma, analiz etme ve haritalaştırma ArcGIS'de yapılmıştır.

#### 3.3. Heyelan Duyarlılık Haritalarının Elde Edilmesi

Heyelana duyarlılığın belirlenmesinde çeşitli istatistiksel modeller kullanılabilir. Oluşturulan parametre haritalarından yararlanılarak heyelan duyarlılık haritaları elde edilmesinde frekans oranı yöntemi benimsenmiştir. Frekans oranı yöntemi bir olayın olma olasılığının olmama olasılığına oranı şeklinde tanımlanır (Thanh vd., 2020). Mevcut heyelan alanları ile parametrelerin korelasyonunu araştırmak için kullanılmıştır. Her bir parametrenin her bir

sınıfındaki heyelana denk gelen ve gelmeyen piksel sayıları hesaplanmış ve bir dizi oranlama ile frekans oranı değerleri bulunmuştur. Frekans oranının 1'den büyük olması heyelan ile heyelanı tetikleyen parametreler arasındaki ilişkinin o kadar yüksek olduğunu, 1'den ne kadar küçükse ilişkinin zayıf olduğunu gösterir (Akgün ve Bulut, 2007). Frekans oranının hesaplanmasında kullanılan formül:

$$FR = PLO/PIF \quad (1)$$

Formüldeki PLO, heyelanda etkisi olan her bir sınıfın içindeki heyelan varlığının yüzdesi, PIF ise heyelanda etkisi olan her bir sınıfın parametre haritası içindeki yüzdesini ifade etmektedir. Bu formülle hesaplanan frekans oranı değeri parametre haritasının ağırlıklandırılmasında rol oynamaktadır. Ağırlıklandırılan parametre haritalarının raster hesaplayıcısıyla toplanmasıyla heyelan duyarlılık haritası elde edilir.

### 3.4. Haritaların Değerlendirilmesi (ROC, AUC)

Model doğrulaması, HDH'de modelin doğruluğunu değerlendirmek için önemli bir ölçüttür ve çeşitli istatistiksel teknikler kullanılarak gerçekleştirilir. Mevcut araştırmada frekans oranı yaklaşımından elde edilen HDH modellerinin doğruluğu Receiver Operating Characteristic (ROC) eğrisi ile değerlendirilmiştir. Bu yöntemin temel fonksiyonu, bölgenin heyelan envanter haritasında olan mevcut heyelanlar ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarını karşılaştırmaktır. Bu karşılaştırma heyelan olmayan alanlarda heyelan varlığı gösteren piksellerin yanlış pozitif değerleri ile heyelanların var olduğu alanlarda heyelan varlığı gösteren piksellerin doğru pozitif değerlerinin oranlanması şeklindedir. Analizde yanlış pozitif değerlerinin karşısında, doğru pozitif değerleri dikkate alınır ve buna bağlı olarak Area Under Curve (AUC) değerini hesaplanır. ROC eğrisi, altında kalan alanda 0.5-1 arası değerleri modelin doğruluğunun tespiti için kullanılır (Nandi ve Shakoor, 2009). Tahmin doğruluğu ile AUC arasındaki ilişki için şu derecelendirmeler yapılmıştır: olağanüstü (%90), çok mükemmel (%80-90), iyi (%70-80), orta (%60-70) ve kötü (>%60) (Pourghasemi vd., 2013).

## 4. BULGULAR

### 4.1. Şev Stabilitesinde Faktörlerin Etkisi

Çalışma alanı olan Sakarya iline ait parametre haritaları frekans oranı yöntemi ile analiz edilmiştir. Hazırlanan parametre haritaları heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmak suretiyle her bir parametre haritasının ve her bir parametrenin her bir alt sınıfına ait toplam ve heyelanlı piksel sayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve frekans oranı yöntemi Denklem 1 dikkate alınarak yapılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre frekans oranı yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasını etkileyen ilk parametre arazi kullanımı olmuştur. Bunu eğim, bitki örtüsü, yükseklik, fay hatlarına uzaklık, yollara uzaklık, litoloji, akarsulara uzaklık, bakı ve yamaç eğriselliği takip etmektedir. Elde edilen sonuçların özeti Tablo 1'de verilmiştir.

Arazi kullanımında en yüksek katsayı bağlar ve doğal bitki örtüsü ile tarım alanlarına aittir. Bunun sebepleri arasında arazilerin amacı dışı kullanımı ve ormanlık arazilerin hızla yok oluşu gösterilebilir. Eğim parametresinde ise en yüksek katsayı 10°-20° sınıfındadır. Bazı çalışmalarda düşük eğimlerde de yüksek heyelan duyarlılığı tespit edilmiştir, bu durumun başlıca nedeninin litoloji olduğu öngörülmektedir. Genel kabul eğim arttıkça heyelan duyarlılığının artacağı yönünde olsa da yapılan bazı çalışmalarda düşük eğimlerde de heyelan duyarlılığının yüksek çıktığı görülmüş ve her bölgenin kendi özelinde değerlendirilmesi gerektiği kanaatine varılmıştır. Bitki örtüsü sınıflarında ormanlar, çiftlik arazileri ve yoğun bitki örtüsünde sınıf katsayısı yüksektir. Bu, bitki köklerinin zemini sarması ve yüzey suyunun zemine direkt girişini kolaylaştırması ile ilgilidir. Sakarya'nın yoğun yağış alan bir il oluşu sebep gösterilebilir.

Tablo 1. Frekans oranı yöntemi parametre katsayıları

Parametreler	Katsayılar	Parametreler	Katsayılar
Arazi Kullanım	5,8319	Yollara Uzaklık	2,7407
Eğim	5,4768	Litoloji	2,6331
Bitki Örtüsü	4,8586	Akarsulara Uzaklık	1,2548
Yükseklik	4,7144	Bakı	1,101
Fay Hatlarına Uzaklık	4,7019	Yamaç Eğriselliği	1

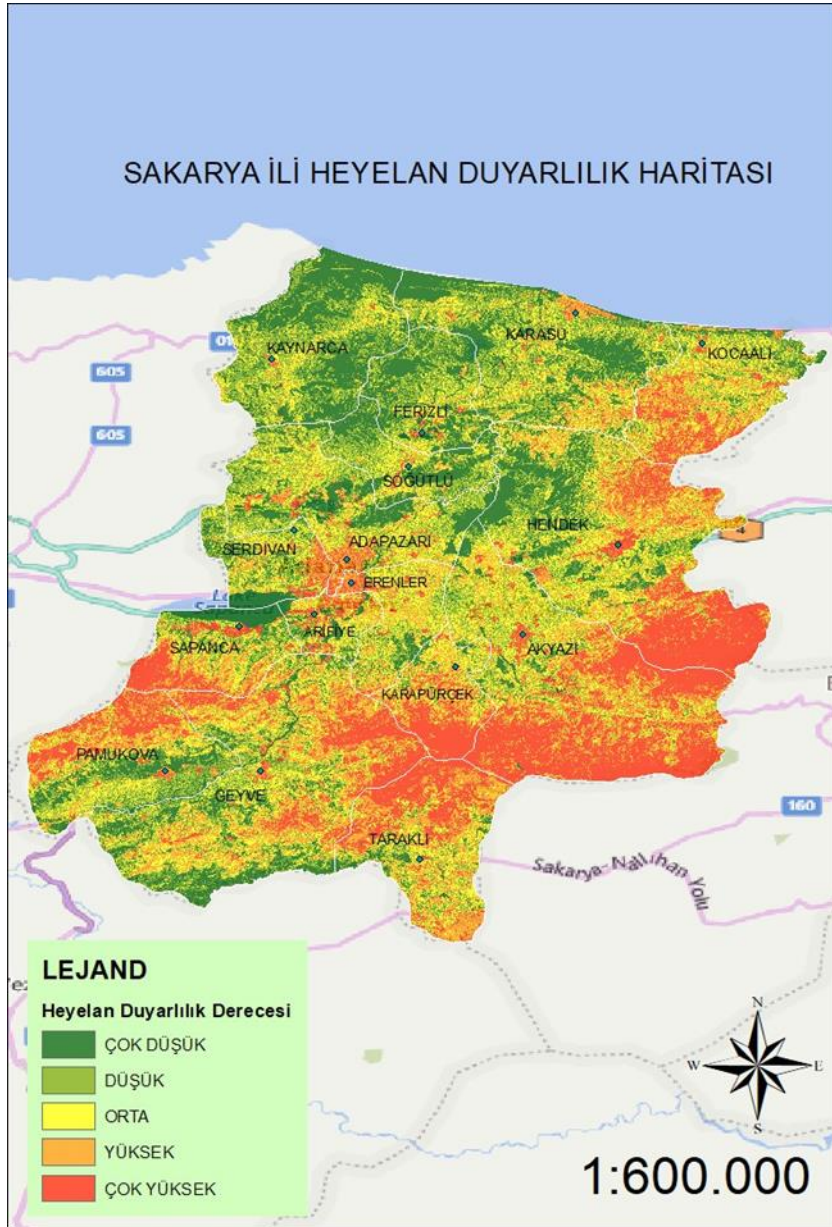
#### 4.2. Heyelan Duyarlılık Haritası

Şev stabilitesini etkileyen faktörlerin etki katsayılarının her haritaya tek tek uygulanmış ve yeni parametre haritaları elde edilmiştir. Ardından parametre haritalarının raster hesaplayıcıda katsayılarla çarpılıp toplanmasıyla nihai haritaya ulaşılmıştır. Analiz sonucunda Sakarya ilinin %11'i çok düşük, %26'sı düşük, %23'ü orta, %22'si yüksek ve %18'i çok yüksek heyelan duyarlılık derecelerine sahip olduğu ortaya konmuştur. Çok yüksek ve yüksek duyarlılığa sahip alanlar çoğunlukla ilin güney kısmında yer almaktadır. Bu kesimde dağlık alanlar çoğunluktadır, mevcut heyelan alanları da yine çoğunlukla bu kesimde bulunmaktadır. Heyelan duyarlılığı açısından riskli görülen ilçeler Geyve başta olmak üzere Karapürçek, Akyazı ve Pamukova olduğu gözlenmiştir. Tablo 2'de frekans oranı yöntemine göre heyelan duyarlılık analizinde heyelanların yoğunlukta çıktıkları ilçelerin duyarlılık dağılımları yüzde bazında verilmiştir. Şekil 2'de frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası gösterilmiştir.

Tablo 2. Frekans oranı yöntemine göre heyelan duyarlılık analizi ilçe dağılımları.

İlçe	Heyelan Duyarlılık Yüzdesi (%)				
	Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
Geyve	1,2	5,2	16,6	32,5	44,5
Karapürçek	0,2	1,8	24,9	33,9	39,2
Akyazı	1,3	18,6	21,6	28,8	29,7
Pamukova	3,7	23,7	18,4	28,2	26
Taraklı	0,3	4,6	28,6	43	23,5
Sapanca	13,4	8,6	19,1	35,6	23,3
Hendek	1,5	15,8	32,7	33,1	16,9
Erenler	7,4	40,2	25	12,9	14,5

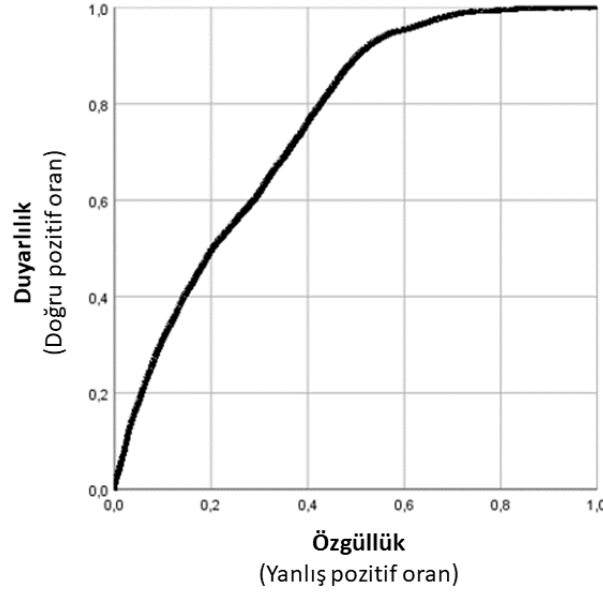




Şekil 2. Sakarya ili frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası

#### 4.3. Haritaların Değerlendirilmesi

Üretilen heyelan duyarlılık haritalarının heyelan verilerinin %25'inin rastgele seçilmesiyle oluşturulan test verilerine çoklu değer atama ile atanması sonucu ROC analizi verileri oluşturulmuştur. Oluşturulan veriler SPSS'deki ROC Curve aracıyla analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen ROC eğrisi Şekil 3'te gösterilmiştir. Yapılan analize göre frekans oranı yöntemi kullanılarak yapılan heyelan duyarlılık analizi %75,5 oranında doğruluğa sahiptir.



Şekil 3. Sakarya ili frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritası

## 5. SONUÇ

Sakarya ilinin heyelan duyarlılık haritası istatistiksel bir yöntem olan frekans oranı yöntemi kullanılarak bu çalışma ile elde edilmiştir. Heyelan duyarlılığının oluşturulmasında literatürde yaygın olarak kullanılan 10 adet parametrenin heyelana olan etkisi irdelenmiştir. En etkili parametrenin arazi kullanımı olduğu, ardından eğim, bitki örtüsü ve yükseklik geldiği görülmüştür. Heyelan duyarlılık haritasına bakıldığında Sakarya'nın güney kesiminin heyelan duyarlılık derecesinin çok yüksek olduğu gözlenmiştir. Heyelan duyarlılık değerlendirmesinde frekans oranı yönteminin tahmin doğruluğu iyi olarak elde edilmiştir.

Heyelan duyarlılığının yüksek ve çok yüksek olarak belirlendiği bölgelerde saha çalışması ve deneylerin yapılması heyelana karşı önlem alınması amacıyla hizmet edecektir. Böylelikle bölgede can ve mal kaybının önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

## TEŞEKKÜR

*Bu çalışma Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje No: 092-2022) kapsamında desteklenmiştir.*

## KAYNAKLAR

- AFAD (2020), 2019 Yılı Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri, [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e\\_Kutuphane/Istatistikler/2020yilido\\_gakaynakliolayistatistikleri.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Istatistikler/2020yilido_gakaynakliolayistatistikleri.pdf) (Erişim: 26 Nisan 2023)
- AFAD (2021). İl Afet Risk Azaltma Planı. Sakarya: Sakarya Valiliği.
- AFAD (2023), 2022 Yılı Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri, [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e\\_Kutuphane/Istatistikler/2022-Yili-Doga-Kaynakli-Olay-Istatistikleri.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Istatistikler/2022-Yili-Doga-Kaynakli-Olay-Istatistikleri.pdf) (Erişim: 06 Mart 2024)



- Akgün, A., Bulut, F., 2007. GIS-Based landslide susceptibility for arsin-yomra (trabzon, north Turkey) region. *Environment Geological* 51, 1377–1387. <https://doi.org/10.1007/s00254-006-0435-6>.
- Aranoff, S. (1991). *Geographic Information Systems : A Management Perspective*. Ottawa: WDL Publications.
- Çelik, G., June 20, 2023, Sakarya'da heyelan: Köy yolu kapandı, NTV. [https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/sakaryada-heyelan-koy-yolu-kapandi,DhZt\\_zseGEeUVqHFVxjGYg/b\\_hSH6BLZ0iO3ffZzmz9tA](https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/sakaryada-heyelan-koy-yolu-kapandi,DhZt_zseGEeUVqHFVxjGYg/b_hSH6BLZ0iO3ffZzmz9tA)
- ÇEM (2011). SAKARYA İL ÇEVRE DURUM RAPORU. Sakarya: T.C. Sakarya Valiliği.
- Demir, G., Aytekin, M., & Akgun, A. (2015). Landslide susceptibility mapping by frequency ratio and logistic regression methods: an example from Niksar–Resadiye (Tokat, Turkey). *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 1801-1812.
- DSİ, Devlet Su İşleri. 2024. Statistics on hydropower, Ankara, Türkiye, [www.dsi.gov.tr](http://www.dsi.gov.tr) (Erişim: 06 Mart 2024)
- Erturaç, M. (2018). Sakarya'nın Fiziki Beşeri ve İktisadi Coğrafya Özellikleri. Sakarya: Sakarya Üniversitesi.
- Keshri, D., Sarkar, K., & Chattoraj, S. L. (2024). Landslide susceptibility mapping in parts of Aglar watershed, Lesser Himalaya based on frequency ratio method in GIS environment. *Journal of Earth System Science*, 133(1), 1-26.
- MGM (2023). Meteoroloji Genel Müdürlüğü İl ve İlçeler Resmi İstatistikler. Meteoroloji Genel Müdürlüğü: <https://mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceleristatistik.aspx?m=SAKARYA> (Erişim: 26 Mart 2023)
- Moragues, S., Lenzano, M. G., Jeanneret, P., Gil, V., & Lannutti, E. (2024). Landslide susceptibility mapping in the Northern part of Los Glaciares National Park, Southern Patagonia, Argentina using remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Quaternary Science Advances*, 13, 100146.
- MTA. (2023, 04 20). 1/500.000 ÖLÇEKLI TÜRKİYE HEYELAN HARİTASI. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/1-1250000-olcekli-turkiye-heyelan-haritasi.jpg>
- Nandi, A., & Shakoor, A. (2009). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Eng Geology*, 110, 11-20.
- Pourghasemi, H. R. (2018). Prediction of the Landslide . *Catena*, 177-192.
- Reichenbach, P. R. (2018). A Review of Statistically-Based Landslide Susceptibility Models. *Earth-Science* , 60-91.
- Thanh D Q, Nguyen D H, Prakash I, Jaafari A, Nguyen V T, Van Phong T and Pham B T 2020 GIS based frequency ratio method for landslide susceptibility mapping at Da Lat City, Lam Dong province, Vietnam; *Vietnam J. Earth. Sci.* 42(1) 55–66, <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/1/14758>.
- Yılmaz, Y., Tüysüz, O., Yiğitbaş, E., Genç, Ş., & Şengör, A. (1997). Geology and Tectonic Evolution of the Pontides. *Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region* (s. 183-226). içinde İstanbul: AAPG Memoir 68.Çinicioğlu, S.F., Bozbey, I., Öztoprak, S. ve Keleşoğlu, A.K. (2007), "An Integrated Earthquake Damage Assessment Methodology and Its Application for Two Districts in Istanbul, Turkey", *Engineering Geology*, Vol 94, 145-165.