



## Tortum-Narman (Erzurum) bölgesinin kanıt ağırlığı yaklaşımı kullanılarak heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi

Samet Berber \*1 

<sup>1</sup> Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Türkiye, sametberber@balikesir.edu.tr

Kaynak Göster: Berber, S. (2025). Tortum-Narman (Erzurum) bölgesinin kanıt ağırlığı yaklaşımı kullanılarak heyelan duyarlılığının değerlendirilmesi. Geomatik, 10 (2), 144-156.

DOI: 10.29128/geomatik.1589807

### Anahtar Kelimeler

Kanıt Ağırlığı  
Heyelan duyarlılığı  
Erzurum  
Doğruluk  
ROC eğrisi

### Araştırma Makalesi

Geliş:22.11.2024  
Revize:11.12.2024  
Kabul:09.01.2025  
Yayınlanma:01.08.2025



### Öz

Bu çalışmada, Erzurum iline bağlı Tortum ile Narman arasındaki bölgenin heyelan duyarlılığı, Kanıt Ağırlığı (WoE) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk aşamada, yapılan saha çalışmalarıyla bölgenin heyelan envanteri oluşturulmuş ve heyelan oluşumuna etki eden 11 adet parametre belirlenmiştir. Saha araştırmaları sonucunda toplam 89 adet heyelan haritalanmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılan girdi parametreleri; eğim, bakı, arazi kullanımı, profil eğriselliği, plan eğriselliği, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi, yükseklik, litoloji, akarsu aşındırma gücü indeksi ve akarsulara mesafedir. Bu parametreler seçildikten sonra, her parametrenin alt sınıfları için kanıt ağırlığı hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada, parametre haritaları sayısal ortamda analiz edilerek, bölgeye ait heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuş ve göreceli olarak beş sınıfa ayrılmıştır. Sonuç olarak, elde edilen haritada çalışma alanının %3.94'ü çok düşük, %17.92'si düşük, %35.58'i orta, %35.84'ü yüksek ve %6.72'si çok yüksek heyelan duyarlılığına sahip olduğu tespit edilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının performans değerlendirmesinde Doğruluk (Accuracy), Geri Çağırma (Recall), Hassasiyet (Precision), F1 Puanı ve ROC eğrisi kriterleri kullanılmıştır. Bu kriterler için sırasıyla 0.673, 0.802, 0.638, 0.710 ve 0.722 değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, üretilen heyelan duyarlılık haritasının afet yönetimi ve planlaması çalışmalarına entegre edilebileceğini göstermektedir.

## Landslide susceptibility assessment of the Tortum-Narman (Erzurum) region using the weight of evidence approach

### Keywords

Weight of evidence  
Landslide susceptibility  
Erzurum  
Accuracy  
ROC curve

### Research Article

Received: 22.11.2024  
Revised: 11.12.2024  
Accepted: 09.01.2025  
Published: 01.08.2025

### Abstract

In this study, the landslide susceptibility of the region between Tortum and Narman in Erzurum province was evaluated using the Weight of Evidence (WoE) method. In the first stage, the landslide inventory of the region was created with the field studies and 11 parameters affecting landslide formation were determined. As a result of the field studies, a total of 89 landslides were mapped. The input parameters used in the production of the landslide susceptibility map are; slope, aspect, land use, profile curvature, plan curvature, topographic wetness index, normalized vegetation index, elevation, lithology, stream power index and distance to streams. After these parameters were selected, weight of evidence calculations were performed for the subclasses of each parameter. In the next stage, the parameter maps were analyzed in the digital environment and the landslide susceptibility map of the region was created and divided into five classes relatively. As a result, it was determined that 3.94% of the study area has very low, 17.92% low, 35.58% medium, 35.84% high and 6.72% very high landslide susceptibility in the obtained map. Accuracy, Recall, Precision, F1 Score and ROC curve criteria were used in the performance evaluation of the landslide susceptibility map. For these criteria, 0.673, 0.802, 0.638, 0.710 and 0.722 values were calculated, respectively. The obtained results show that the produced landslide susceptibility map can be integrated into disaster management and planning studies.

## 1. Giriş

Afetler ve olumsuz etkileri; yerel halk, karar vericiler, yerel yönetimler ve hükümetler açısından büyük önem taşımaktadır. Uluslararası afet veri tabanı olan Acil Durum Olayları Veri Tabanı (EM-DAT) kayıtları, her yıl gerçekleşen toplam afet sayısının 1970'lerden bu yana bir artış eğiliminde olduğunu göstermektedir. EM-DAT aracılığıyla 2023 yılında toplam 399 yıkıcı afet kayıt altına alınmıştır. Bu olaylar sonucunda 86.473 kişi hayatını kaybederken 93.1 milyon insan bu afetlerden etkilenmiştir (EM-DAT, 2023). Bu kayıtlara göre toplam ekonomik kayıp 202.7 milyar doları bulmaktadır. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından 2023 yılında yayımlanan rapora göre 2022 yılı içerisinde Türkiye'de toplam 22.982 doğal afet olayı kayıt altına alınırken bunların 21.054'ünün deprem, 1009'unun ise kütle hareketleri (heyelan, kaya düşmesi, obruk) olduğu belirlenmiştir (AFAD, 2023). En yıkıcı afet türlerinden biri olarak heyelanlar, dünya çapında da sebep oldukları çevresel sorunlarının yanı sıra birçok insanı, altyapıyı etkilemiş ve büyük can kayıplarına neden olmuştur. (Ercanoğlu ve ark., 2016).

Varnes (1978) heyelanı; herhangi bir taşıyıcı etkisi olmadan toprak, moloz veya kaya türündeki malzemenin yerçekimi etkisiyle eğim yönünde hareket etmesi olarak tanımlamıştır. Aşırı yağışlar, ani kar erimeleri, tektonik unsurlar ve antropolojik etmenler başta olmak üzere heyelanların oluşumunda birçok faktör etkili olmaktadır. Aleotti ve Chowdhury (1999) heyelan duyarlılığını; heyelan oluşumuna etkisi olduğu düşünülen parametrelerin kullanılmasıyla heyelan oluşması muhtemel alanların göreceli olarak sınıflandırılması olarak tanımlamıştır. Heyelan duyarlılık çalışmalarındaki amaç geçmişte oluşan heyelanlardan yola çıkarak gelecekte heyelan oluşması muhtemel alanları tahmin edebilmektir.

Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde kullanılan yöntemleri Aleotti ve Chowdhury (1999) niteliksel yöntemler ve niceliksel yöntemler olarak iki gruba ayırmıştır. Niceliksel yöntemler genellikle bilgisayar destekli veriye dayalı olarak gerçekleştirilirken niteliksel yöntemler ise araştırmacıların daha çok tecrübeleriyle ve gözlemleriyle gerçekleştirilmektedir. Harita üretim yöntemlerinin ilerlemesiyle birlikte verilerin elde edilmesi de kolaylaşmış ve bu tür çalışmalarda kullanılan analiz yöntemleri de çeşitlenmiştir. Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılacak yöntemin seçimi; mevcut verilere, çalışma alanının özelliklerine ve heyelan duyarlılığının değerlendirilmesinde istenen hassasiyet düzeyine bağlıdır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bu tür çalışmaların da artması sonucunda heyelan duyarlılık haritalarının performansının ve güvenilirliğinin arttığı söylenebilir. Heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde en çok kullanılan istatistiksel yöntemler Lojistik Regresyon (Logistic Regression, LR), Frekans Oranı (Frequency Ratio, FR) ve Kavit Ağırlığı (Weight of Evidence, WoE)'dir (Yeşilnacar ve Topal, 2005; Özdemir ve Altural, 2013; Chen ve ark., 2016; Polykretis ve Chalkias, 2018; Chen ve ark., 2019; Zhang ve ark., 2020; Goyes-Peñañiel ve Hernandez-Rojas, 2021; Aydoğan ve Dağ, 2023; Yılmaz, 2023).

Son yıllarda heyelan duyarlılık, tehlike ve risk konularında pek çok çalışma yapılmıştır (Biçer ve Ercanoğlu, 2020; Başara ve ark., 2021; Lin ve ark., 2021; Lee ve ark., 2021; Yılmaz, 2023; Li ve ark., 2023; Öcül ve Şişman, 2023; Fang ve ark., 2024; Kadı ve Yılmaz, 2024; Partigöç ve Dinçer, 2024).

Akinci ve ark. (2015) Türkiye'de heyelanların en sık yaşandığı illerden olan Artvin'in merkez ilçesinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretiminde Bayes olasılık modelini kullanan araştırmacılar girdi parametresi olarak da litoloji, yükseklik, eğim, plan ve profil eğriselliği, toprak derinliği, TWI, arazi kullanımı, yollara uzaklık ve akarsulara uzaklık parametrelerini seçmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılan yöntemin performans analizi için ROC eğrisini kullanan araştırmacılar Eğri Altındaki Alan (Area Under the Curve, AUC) değerini 0.943 olarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak üretilen heyelan duyarlılık haritasının Artvin'deki genel arazi kullanım planlaması için faydalı olabileceğini belirtmişlerdir.

Batar ve Watanabe (2021) Rudraprayag (Hindistan) bölgesinin heyelan, deprem ve sel başta olmak üzere birçok doğal tehlike ile karşı karşıya olduğunu vurgulayarak bölgenin heyelan duyarlılık haritasını ortaya koymaya çalışmışlardır. Araştırmacılar yaptıkları bu çalışmada arazi kullanımı, eğim, akarsulara mesafe, yollara mesafe, toprak türü başta olmak üzere toplam 14 adet girdi parametresi kullanmışlardır. Heyelan duyarlılık haritasını oluşturmak için yöntem olarak da bu tür çalışmalarda sıklıkla kullanılan WoE yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak bölgenin heyelan duyarlılık haritasında toplam alanın %14.43'ünün çok yüksek duyarlılıklı, %18.69'unun yüksek duyarlılıklı, %19.45'inin orta duyarlılıklı, %27.42'sinin düşük duyarlılıklı ve %20.01'inin de çok düşük duyarlılıklı alana karşılık geldiğini belirtmişlerdir. Heyelan duyarlılık haritasının performans analizini ROC yöntemiyle değerlendiren araştırmacılar, uygulanan yöntemin AUC değerini 0.857 olarak hesaplamışlardır.

Sujatha ve Sridhar (2021) Hindistan'ın Coonoor Taluk bölgesinde yaptıkları heyelan duyarlılık çalışmasında LR yöntemini kullanmışlardır. Araştırmacılar çalışma alanında heyelan duyarlılığına etki ettiğini düşündükleri eğim, bakı, yükselti, TWI, toprak türü, arazi kullanımı, 2006 yılına ait yerleşim yerlerini, 2016 yılının ait yerleşim yerlerini ve yıllık ortalama yağış verilerini kullanarak duyarlılık haritasını üretmişlerdir. Çalışmanın sonucu olarak araştırmacılar, ürettikleri heyelan duyarlılık haritasında toplam alanın %17.6'sının çok yüksek duyarlılıklı alana, toplam heyelanlı alanların %48.6'sının çok yüksek duyarlılıklı alana karşılık geldiğini belirtmişlerdir.

Gentilucci ve ark. (2023) İtalya'nın merkezi Adriyatik kıyısında yer alan Marche Bölgesinde, duyarlılık açısından yüksek risk taşıyan bir alanda yaptıkları çalışmada bu bölgedeki heyelan duyarlılığını değerlendirmek amacıyla WoE yöntemini kullanarak çeşitli topoğrafik, jeolojik, iklimsel ve bitki örtüsü parametrelerini analiz etmiştir. Geniş ve heterojen bir alan olan 9.344 km<sup>2</sup>'lik çalışma sahasında, toplam 14.927 heyelan olayı incelenmiştir. Çalışmada, eğim, bakı, aşırı yağış, Topografik Nemlilik İndeksi (TWI), NDVI, arazi

kullanımı ve litoloji gibi parametreler değerlendirilmiş ve heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Modelin performansı, ROC eğrisi (AUC) yöntemiyle doğrulanmış ve AUC değeri 0.75 olarak hesaplanmıştır, bu da modelin orta düzeyde doğru olduğunu göstermektedir. Çalışma, büyük ve çeşitli coğrafi alanlar için heyelan duyarlılığı analizinin zorluklarını ele alarak, bölgesel planlama ve risk yönetimi süreçlerine katkı sağlayabilecek değerli bir yaklaşım sunmaktadır.

Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretiminde ise bu tür çalışmalarda sıklıkla kullanılan WoE yöntemi tercih edilmiştir. WoE yöntemi, doğal tehlikelerin tahmini ve mekânsal modellerinin haritalanması için onu popüler kılan sağlam ve iyi yapılandırılmış analitik çerçeveyi kullanır. Farklı parametrelerin göreceli önemini belirleyebilme, karmaşık ilişkileri analiz etme ve duyarlılık haritaları oluşturma gibi avantajlara sahip olan bu yöntem, doğru veri setleri kullanıldığında etkili bir karar destek aracı olarak öne çıkmaktadır. WoE'nin çevresel değişkenlerin önceki ve sonraki olasılıklarını hesaplamada avantajları olmasına rağmen, bu yöntemin performansını sınırlayan iki dezavantajı bulunmaktadır (Chen ve ark., 2021). WoE'nin temel dezavantajı değişkenler arasındaki farklılıkları göz ardı etmesi ve farklı çevresel değişkenler için eşit ağırlık taşımasıdır (Hong ve ark., 2019). Diğer bir dezavantaj ise kanıt katmanı ikili hale getirildiğinde WoE'nin veri kaybedebilmesi ve değerlendirme sonuçlarını etkileyebilmesidir (Jin ve ark., 2013).

Bu çalışmadaki amaç, heyelan sorunlarının sıklıkla gözlemlendiği Tortum-Narman (Erzurum) arasındaki bölgenin heyelan duyarlılığını ortaya koymaktır. Yapılan literatür ve saha çalışmaları sonucunda bölgede gerçekleşen heyelanlara etki ettiği düşünülen 11 adet parametre belirlenmiş olup bunlar; yükseklik, eğim, profil eğriselliği, plan eğriselliği, TWI, NDVI, SPI, bakı, akarsulara mesafe, arazi kullanımı ve litoloji parametreleridir. Çalışma kapsamında yürütülen saha çalışmalarında heyelan oluşumuna etki eden parametrelerin belirlenmesiyle birlikte heyelan envanterini de oluşturmak amaçlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde bu tür çalışmalarda sıklıkla kullanılan WoE yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada heyelan duyarlılık haritasının üretilmesinde kullanılan WoE yönteminin performans değerlendirmesi Doğruluk (Accuracy), Geri Çağırma (Recall), Hassasiyet (Precision), F1 Puanı ve ROC eğrisi ölçütleri kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak yapılan bu çalışmayla birlikte heyelan sorunlarıyla sıklıkla karşılaşılan Tortum-Narman (Erzurum) arasındaki bölge için bir heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Üretilen heyelan duyarlılık haritasının hem yerleşim planlamalarında hem de ileride yapılacak tehlike ve risk çalışmalarında önemli bir adım oluşturacağı düşünülmektedir.

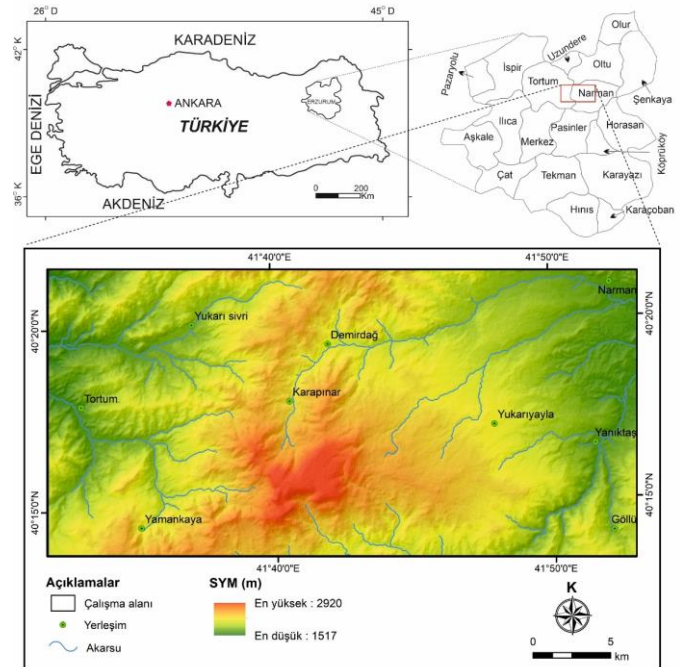
## 2. Yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

Erzurum, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde yer almakta olup yüzölçümü açısından ülkenin en büyük illerinden biridir. Bölgenin temel geçim kaynağı tarım ve hayvancılık olup şehir aynı zamanda kış turizmiyle öne

çıkılmaktadır. İklim açısından Erzurum'da sert karasal iklim hüküm sürmekte olup kışlar soğuk ve karlı, yazlar ise sıcak ve kurak geçmektedir. 1929-2020 yılları arasındaki meteorolojik veriler incelendiğinde yıllık ortalama sıcaklık 5.7 °C en düşük sıcaklık -37.2 °C ölçüldüğü görülmüştür. Aylık ortalama sıcaklık verileri incelendiğinde 19.5 °C ile en yüksek ortalama sıcaklık değeri ağustos ayına aittir. Ayrıca istasyon kayıtlarına göre yıllık ortalama yağış 430.9 mm'dir (MGM, 2024).

Erzurum ilinin Tortum ve Narman ilçe merkezleri arasında kalan yaklaşık 435 km<sup>2</sup>lik alan çalışma alanı olarak seçilmiştir (Şekil 1). Erzurum merkezinin kuzey-kuzeydoğu kesimlerinde yer alan bu bölgede kütle hareketleri sorunlarıyla sıklıkla karşılaşmaktadır (MTA, 2024). Çalışma alanında minimum yükseklik 1517 metre, maksimum yükseklik 2920 metre ortalama yükseklik 2086 metre, maksimum eğim açısı değeri de 62° ortalama eğim açısı ise 14.30°'dir. Ayrıca çalışma alanının yaklaşık %13'lük kısmında eğim açısı 25°'den büyüktür.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası

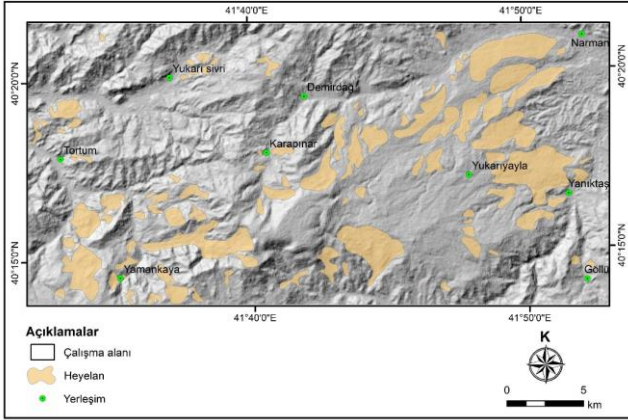
Çalışma alanı Konak ve ark. (2001) tarafından tanımlanan Olur-Tortum zonunda yer almaktadır. Olur-Tortum zonunda araştırmacılar kuzeybatıdan güneydoğuya doğru Olur, Aksu ve Çardaklı birliklerini tanımlamışlardır. Çalışma alanında bu birliklere ait litolojik birimler gençte doğru, kireçtaşı, kumtaşı, serpantin-it-gabro, kumtaşı-çamurtaşı-kireçtaşı, konglomera-kumtaşı-çamurtaşı, andezit-bazalt, aglomera-tüf, volkanosedimanter, konglomera, yamaç molozu ve alüvyon olarak ayırtlanmış olup bu birimlerin en yaşlısı Üst Jura, en genci ise Kuvaterner yaşına sahiptir.

### 2.2. Veri analizi

Heyelan duyarlılık çalışmalarının en önemli aşamalarından biri, çalışma alanının heyelan envanterinin oluşturulmasıdır. Bu doğrultuda çalışma

alanına ait heyelan envanteri; saha çalışmalarından, MTA'nın hazırlanmış olduğu Türkiye Heyelan Envanterinden ve Google Earth programından faydalanılarak oluşturulmuştur. Çalışma alanı sınırları içerisinde toplam 89 adet heyelan haritalanmış sonrasında Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında ArcGIS 10.2 yazılımı aracılığıyla sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmış ve çalışma alanına ait heyelan envanter haritası analize uygun hale getirilmiştir (Şekil 2). Çalışma alanında haritalanan en küçük heyelan 0.061 km<sup>2</sup> en büyük heyelan ise 7.14 km<sup>2</sup> olarak kaydedilmiştir. Ayrıca haritalanan heyelanların Varnes (1978) heyelan sınıflandırmasına göre yaklaşık %10'u yayılma, %15'i akma, %29'u kayma, %20'si kaya düşmesi ve %26'sı da karmaşık olarak sınıflandırılmıştır.

Heyelan duyarlılık haritasının üretimi için gerekli parametreler saha çalışmalarındaki arazi gözlemleri ve literatür dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu parametreler; akarsulara mesafe, arazi kullanımı, eğim, baki, yükseklik, plan eğriselliği, profil eğriselliği, NDVI, TWI, SPI ve litolojidir.



Şekil 2. Çalışma alanının heyelan envanteri

Yükseklik, heyelan duyarlılığını etkileyen en önemli topografik parametrelerden biridir (Mallick ve ark., 2021). Heyelan duyarlılığını konu alan çalışmaların neredeyse tamamında kullanılan yükseklik parametresini oluşturmak için 30x30 metre çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) (ASTER-GDEM) kullanılmıştır. Çalışma alanında yükseklik değerleri 1517 ile 2920 metre arasında değişmekte olup, üretilen haritada dağılıma uygun olarak beş adet alt sınıf belirlenmiştir (Şekil 3a).

Yamaçların akarsulara olan yakınlığı stabilite sorunları açısından önemli bir parametredir. Akarsulara mesafe parametresi yamaçları oluşturan malzemelerin doygunluk derecesini etkileyerek heyelan oluşumuna olumsuz etkide bulunmaktadır (Özşahin, 2015). Bu nedenle çalışma alanında akarsulara olan mesafenin çalışma alanındaki heyelan olaylarıyla ilişkisi değerlendirilerek belirlenen tampon mesafeleriyle akarsulara mesafe haritası oluşturulmuş ve beş alt sınıf belirlenmiştir (Şekil 3b).

Arazi kullanımı, heyelanların oluşumuna etki eden önemli bir parametredir. Arazi örtüsünün farklı türleri; yamaçların hidrolojik işleyişini, yağış dağılımını, yüzeysel akışı, sızma özelliklerini ve kayma mukavemetini değiştirebilir (Garcia-Ruiz ve ark., 2010).

Bu nedenle arazi kullanımı haritası ile heyelanların oluşumu arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla Corine 2018 verileri kullanılarak çalışma alanının arazi kullanımı haritası üretilmiş 12 adet alt sınıf belirlenmiştir (Şekil 3c).

Yamaçların stabilitesini etkileyen en önemli parametrelerden biri eğim derecesidir (Ercanoğlu ve ark., 2004). Eğim açısının artmasıyla birlikte yerçekimine maruz kalacak yükün artması ve seviye oluşturan malzemenin üzerindeki stresin artmasına bağlı olarak heyelan oluşma olasılığının da arttığı söylenebilir (Dehnavi ve ark., 2015). Eğim iki nokta arasındaki yatay mesafenin kot farkına oranıdır (Çiftçi ve Kuşak, 2021). Ancak buna rağmen düşük eğimli topoğrafyaya sahip bölgelerde de heyelanların meydana geldiği bilinmektedir. Çalışma alanına ait eğim haritası, temel altlık olarak kullanılan SYM vasıtasıyla üretilmiş ve dağılıma uygun olacak şekilde beş alt sınıf belirlenmiştir (Şekil 3d).

Yamaç yüzeylerinin yönünü temsil eden baki; hidrolojik süreçleri, ayrışmayı ve toprak gelişimini kontrol ederek heyelan duyarlılığına etkide bulunmaktadır (Sidle ve Ochiai, 2006). Çalışma alanına ait baki haritası SYM kullanılarak oluşturulmuş ve on alt sınıfa ayırt edilmiştir (Şekil 3e).

Topografik nemlilik indeksi (TWI), topografyanın doymuş akış kaynak bölgelerinin konumu ve miktarı üzerindeki etkisi ölçmektedir (Pourghasemi ve ark., 2012). Akarsuya yakın kesimlerde TWI değerinin arttığı bilinmektedir. TWI haritası 30x30 metre çözünürlüğe sahip SYM kullanılarak ArcGIS yazılımı vasıtasıyla çizilmiştir. TWI aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Beven ve Kirkby, 1979).

$$TWI = \ln \frac{a}{\tan \beta} \quad (1)$$

Eşitlikte  $a$  belirli bir havza alanını,  $\beta$  ise derece cinsinden eğimi ifade etmektedir (Şekil 3f).

Profil eğriselliği; eğim yönüne paralel düşey düzlemdeki eğrilik olup eğimin değişim hızını, yüzey suyu akış hızını ve bunların sonucunda erozyonu ve malzemenin eğim aşağı hareketini etkilemektedir (Yılmaz ve ark., 2011). Plan eğriselliği ise yatay bir düzlemin yüzeye kesişmesi sonucu oluşan bir kontur çizgisinin eğriliğini temsil eder ve yamaç duraylılığını etkilemektedir. Çalışma alanına ait profil ve plan eğriselliği haritaları SYM kullanılarak elde edilmiş ve her iki haritada da dağılıma uygun olarak beş alt sınıf belirlenmiştir (Şekil 4a-4b).

NDVI bitki örtüsünün yoğunluğunu ve sağlığını değerlendirmek için kullanılan bir indekstir (Jaafari ve ark., 2014). NDVI haritasının üretiminde 2020 yılının Ağustos ayına ait Landsat-8 uydu görüntülerinin 4. (B4-Red) ve 5. (B5-NIR) Bantları kullanılmıştır. NDVI aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Rouse ve ark., 1974).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

Eşitlikte  $NIR$  yakın kızılötesini,  $R$  ise kırmızı bantı ifade etmektedir. Belirli bir pikselde NDVI değeri her zaman -1 ile +1 arasında değer almaktadır ve pozitif

değerler bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgeleri temsil etmektedir (Şekil 4c).

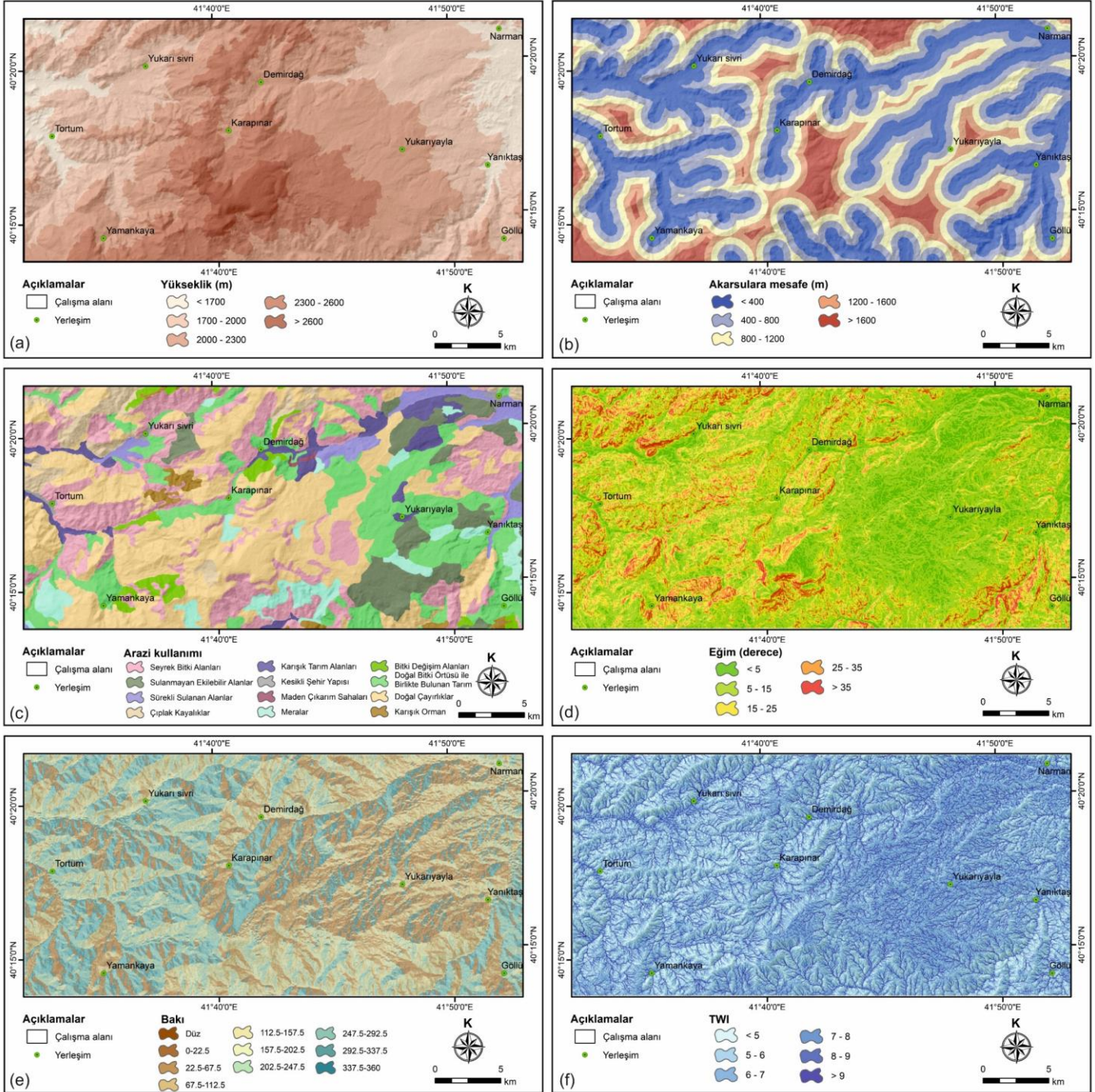
SPI, heyelan oluşumuna etki eden önemli topografik parametrelerden biridir. SPI, toprak erozyonu üzerinde önemli olan akan suyun aşındırıcı gücünün bir ölçüsü olup aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır (Moore ve Burch, 1986).

$$SPI = A_s \times \tan(\beta) \quad (3)$$

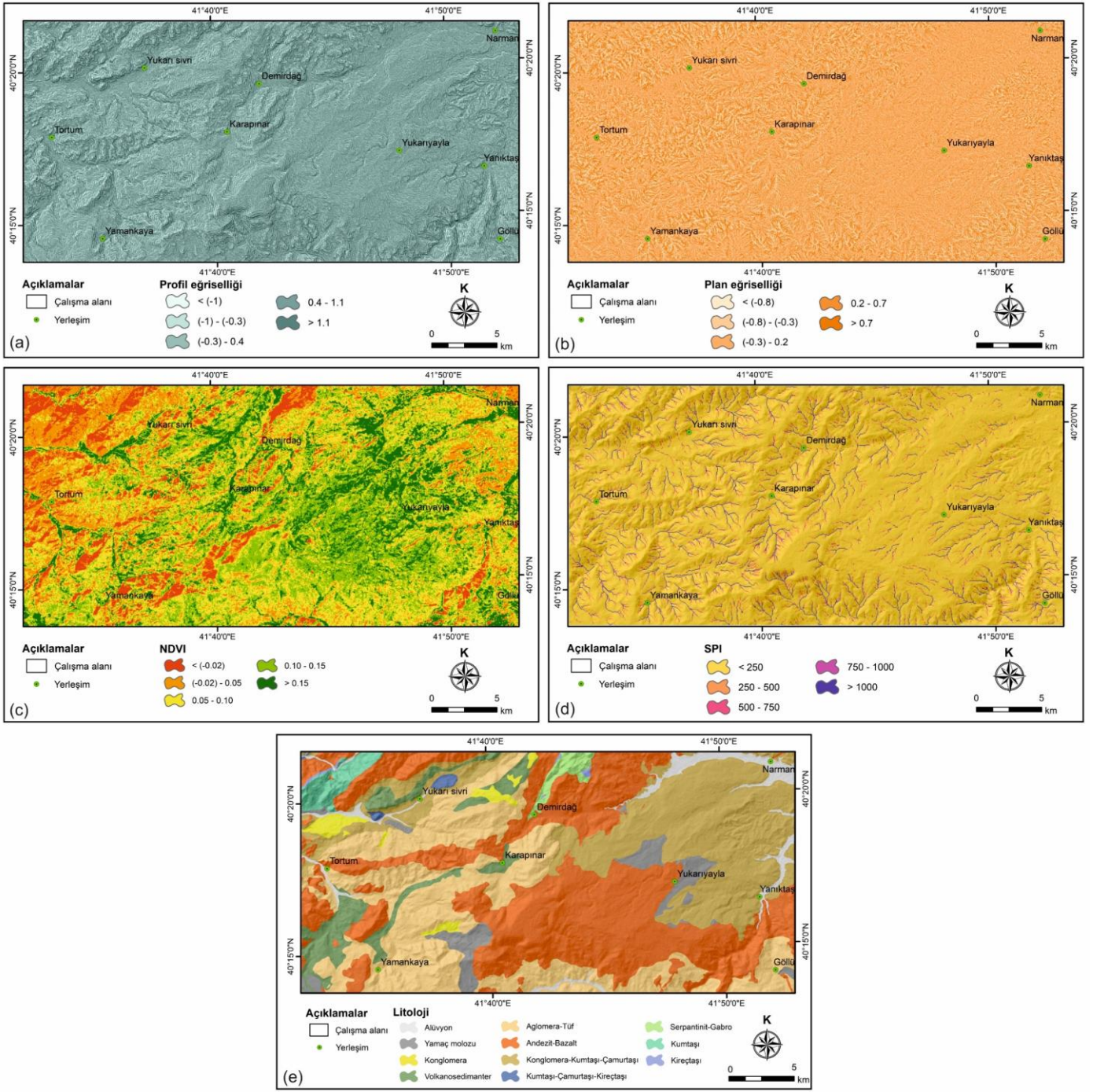
Eşitlikte  $A_s$  belirli bir havza alanını,  $\beta$  ise derece cinsinden eğimi ifade etmektedir. Çalışma alanının SPI

haritası SYM kullanılarak üretilmiş ve beş alt sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4d).

Heyelan duyarlılık haritalarında litoloji parametresi, potansiyel heyelan tehlikesini belirlemede önemli bir role sahiptir. Çünkü farklı kayaç türleri, su emilimi, toprak yapısı, erozyon direnci gibi özellikler açısından farklılık gösterir ve bu faktörler heyelan duyarlılığını doğrudan etkilemektedir. Çalışma alanına ait litoloji haritası MTA tarafından hazırlanmış Tortum H47 (a4-a3-b4-c1-d1-d2) 1:25.000'lik jeoloji paftalarından yararlanılarak elde edilmiştir (Konak ve Hakyemez, 2008) (Şekil 4e).



Şekil 3. Heyelan duyarlılığı analizinde kullanılan girdi parametrelerine ait haritalar; a) yükseklik, b) akarsulara mesafe, c) arazi kullanımı, d) eğim, e) baki, f) TWI



Şekil 4. Heyelan duyarlılığı analizinde kullanılan girdi parametrelerine ait haritalar; a) profil eğrisselliği, b) plan eğrisselliği, c) NDVI, d) SPI, e) litoloji

### 2.3. Kanıt ağırlığı metodu

WoE olayların oluşumunu tahmin etmek için kullanılan ve Bayes teoremine dayanan veri odaklı istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntem ilk kez tıp alanında kullanılmıştır (Spiegelhater ve Knill-Jones, 1984). Sonraki yıllarda maden sahalarının potansiyellerini ortaya koymak için kullanılmış olup (Bonham-Carter ve ark., 1988, 1989), günümüzde de heyelan duyarlılık konulu çalışmalarda kullanılmaktadır (Lee ve ark., 2002; Ilia ve Tsangaratos, 2015; Başara ve Şişman, 2021; Başara ve Şişman, 2022; Taşkanat, 2022; Qazi ve ark., 2023; Gentilucci ve ark., 2023). WoE yönteminde öncelikle pozitif ağırlık ( $W^+$ ) ve negatif ağırlık ( $W^-$ )

hesaplanmaktadır (Eşitlik 4 ve 5) (Van Westen ve ark., 2003).

$$W^+ = \ln \left[ \frac{\left( \frac{A_1}{A_1 + A_2} \right)}{\left( \frac{A_3}{A_3 + A_4} \right)} \right] \quad (4)$$

$$W^- = \ln \left[ \frac{\left( \frac{A_2}{A_1 + A_2} \right)}{\left( \frac{A_4}{A_3 + A_4} \right)} \right] \quad (5)$$

Yukarıdaki eşitliklerde;  $A_1$  seçilen parametre alt sınıfındaki heyelanlı piksel sayısını,  $A_2$  seçilen parametre alt sınıfı haricindeki heyelanlı piksel sayısını,  $A_3$  seçilen parametre alt sınıfındaki heyelansız piksel sayısını,  $A_4$  seçilen parametre alt sınıfı haricindeki heyelansız piksel

sayısını ifade etmektedir. Dolayısıyla  $A_1+A_2$  heyelanlı alanların toplam piksel sayısına,  $A_3+A_4$  ise heyelansız alanların toplam piksel sayısına karşılık gelmektedir. Pozitif ağırlık ( $W^+$ ), heyelanın meydana gelmesinde parametre alt sınıfının varlığının önemini yansıtmaktadır. Eğer  $W^+$  değeri pozitif ise parametre alt sınıfının varlığı heyelanların meydana gelmesinde etkili anlamına gelmekteyken, değer negatif ise tam tersi bir durum söz konusudur. Negatif ağırlık ( $W^-$ ), parametre alt sınıfının yokluğunun önemini ortaya koymak için hesaplanmaktadır.  $W^-$  değeri pozitif olduğunda parametre alt sınıfının yokluğunu heyelanların meydana gelmesinde etkili anlamına gelmekteyken, değer negatif ise tam tersi bir durum söz konusudur (Van Westen ve ark., 2003).

$W^+$  ve  $W^-$  hesaplandıktan sonra bunlar arasındaki fark ( $C$ , Kontrast) bulunmaktadır (Eşitlik 6). Bu değer analiz edilen parametre alt sınıfının anlamlı olup olmadığına ve bir alandaki heyelan dağılımını etkileyip etkilemediğine dair fikir vermektedir.

$$C = W^+ - W^- \quad (6)$$

Pozitif bir  $C$  değeri, analizi yapılan parametre alt sınıfının daha büyük bir ağırlığa sahip olduğunu ve bölgedeki olası heyelanların tespitini ayırt ettiğini vurgularken, negatif bir değer ise tam tersi durumu temsil etmektedir. Öte yandan değerlerin sifıra yakın olması modelde anlamlı bir etkiye sahip olmadığını ve dolayısıyla bu parametre alt sınıfının varlığı heyelan duyarlılığı açısından çok da belirleyici olmadığını da göstermektedir.

#### 2.4. Performans ölçütleri

Performans değerlendirilip karşılaştırılmadıkça nihai bir duyarlılık modeli kabul edilemez (Kainthura ve Sharma, 2022). Bu nedenle literatürde pek çok bilim insanının da tartıştığı gibi teste veya karşılaştırmaya yönelik çeşitli performans ölçütleri bulunmaktadır (Reis, 2018; Kainthura ve Sharma, 2022; Bayramoğlu ve Uzar, 2023; Tırmanoğlu ve ark., 2023). ROC eğrisi yöntemi literatürde en çok dikkate alınan performans ölçütlerinden biridir (Lima ve ark., 2022). Bu yöntemde çizilecek eğri, belirlenen bir eşik değerine karşılık düşey eksende duyarlılık yatay eksende ise 1-özgüllük değerlerini temsil eden noktalar vasıtasıyla çizilmektedir. ROC eğrisinde 0 ve 1 kesişim noktalarını birleştiren doğruya referans çizgisi denir ve bu çizgi altında kalan alanın değeri 0.5'tir. AUC değeri 1'e ne kadar yakınsa model performansının o kadar iyi olduğunu, 0.5'ye ne kadar yakınsa da model performansının düşük olduğunu göstermektedir (Tablo 1).

**Tablo 1.** AUC değerlerine karşılık gelen model performans sınıfı (Fawcett, 2006)

AUC	Model performans sınıfı
0.5-0.6	Yetersiz
0.6-0.7	Ortalama
0.7-0.8	İyi
0.8-0.9	Çok iyi
0.9-1.0	Mükemmel

ROC eğrisine ek olarak bu çalışmada uygulanan yöntemin performans değerlendirmesi için karşılaştırma matrislerine dayanan Doğruluk (Accuracy), Geri Çağırma (Recall), Hassasiyet (Precision) ve F1 Puanı ölçütleri kullanılmıştır. Bu ölçütlerin hesaplanmasında belirli bir eşik değeri için oluşturulan karşılaştırma matrislerinden yararlanılmaktadır (Tablo 2). Bu çalışmada matrislerin oluşturulması için belirlenen eşik değeri 0.5'tir.

**Tablo 2.** Performans ölçütlerinde kullanılan karşılaştırma matrisi (Güngör ve ark., 2022)

		Gerçek Durum		Toplam
		Pozitif (Heyelanlı Piksel)	Negatif (Heyelan Olmayan Piksel)	
Analiz Testi Sonucu	Pozitif (Heyelanlı Piksel)	A (TP)	B (FP)	A+B
	Negatif (Heyelan Olmayan Piksel)	C (FN)	D (TN)	C+D
Toplam		A+C	B+D	A+B+C+D

A (Doğru pozitif, TP): Gerçekte heyelanlı olup analiz sonucunda da heyelanlı olan piksel sayısını,

B (Yanlış pozitif, FP): Gerçekte heyelansız olup analiz sonucunda ise heyelanlı olan piksel sayısını,

C (Yanlış negatif, FN): Gerçekte heyelanlı olup analiz sonucunda ise heyelansız olan piksel sayısını,

D (Doğru negatif, TN): Gerçekte heyelansız olup analiz sonucunda da heyelansız olan piksel sayısını ifade etmektedir.

Doğruluk (Accuracy), Geri Çağırma (Recall), Hassasiyet (Precision) ve F1 Puanı performans ölçütleri aşağıdaki eşitlikler vasıtasıyla hesaplanmaktadır (Ikram ve ark., 2022).

$$\text{Doğruluk (Accuracy)} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (7)$$

$$\text{Geri Çağırma (Recall)} = \frac{TP}{TP+FN} \quad (8)$$

$$\text{Hassasiyet (Precision)} = \frac{TP}{TP+FP} \quad (9)$$

$$\text{F1 Puanı} = 2 * \frac{\text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (10)$$

Doğruluk, doğru sınıflandırılmış örnekler ile değerlendirme veri kümesindeki toplam örnek sayısı arasındaki oranı ifade etmektedir. Değer olarak [0,1] ile sınırlı olmakla birlikte burada 1 tüm pozitif ve negatif örnekleri doğru bir şekilde tahmin etmeyi, 0 ise pozitif ve negatif örneklerin hiçbirini doğru bir şekilde tahmin edememeyi temsil eder (Hicks ve ark., 2022).

Geri çağırma, duyarlılık veya Gerçek Pozitif Oran (TPR) olarak da bilinir, doğru sınıflandırılan pozitif örneklerin oranını belirtir ve doğru sınıflandırılan pozitif örnekler ile pozitif sınıfa atanan tüm örnekler arasındaki oran olarak hesaplanır. Geri çağırma [0, 1] ile sınırlıdır, burada 1 pozitif sınıfı mükemmel bir şekilde tahmin etmeyi, 0 ise tüm pozitif sınıf örneklerinin yanlış tahminini temsil eder (Hicks ve ark., 2022).

Hassasiyet, alınan örneklerin ilgili olan oranını belirtir ve doğru sınıflandırılmış örnekler ile o sınıfa atanmış tüm örnekler arasındaki oran olarak hesaplanır. Hassasiyet [0, 1] ile sınırlıdır, burada 1 sınıftaki tüm örnekleri doğru tahmin edilmiş olarak temsil eder ve 0 sınıfta doğru tahmin olmadığını temsil eder (Hicks ve ark., 2022).

F1 puanı, kesinlik ve geri çağırmanın harmonik ortalamasıdır; bu, her ikisinin de aşırı değerlerini cezalandırdığı anlamına gelir. F1 puanı [0, 1] ile sınırlıdır; burada 1, maksimum hassasiyet ve geri çağırma değerlerini, 0 ise sıfır hassasiyet ve/veya geri çağırma temsil eder (Hicks ve ark., 2022).

### 3. Bulgular

Çalışma alanının heyelan duyarlılık haritasının üretiminde WoE yöntemi kullanılmıştır. Seçilen girdi parametrelerine ait elde edilen istatistiksel değerler Tablo 3'te verilmiştir. Elde edilen bu değerler, ilgili parametre alt sınıflarına sayısal ortamda ArcGIS 10.2 yazılımı vasıtasıyla aktarılmıştır.

Girdi parametre haritaları ile heyelan oluşumu arasındaki ilişkiye bakıldığında Eğitim sınıfı 5<sup>o</sup>-15<sup>o</sup> olan alanlarda heyelan oluşumunun en yoğun olduğu gözükmektedir. 1700-2000 metre aralığındaki yükseklik değerine sahip alanlarda C değeri en yüksek hesaplanmış ve heyelan oluşumun yoğun olduğu ortaya çıkmıştır.

**Tablo 3.** Girdi parametresi alt sınıflarına ait Kontrast değerleri

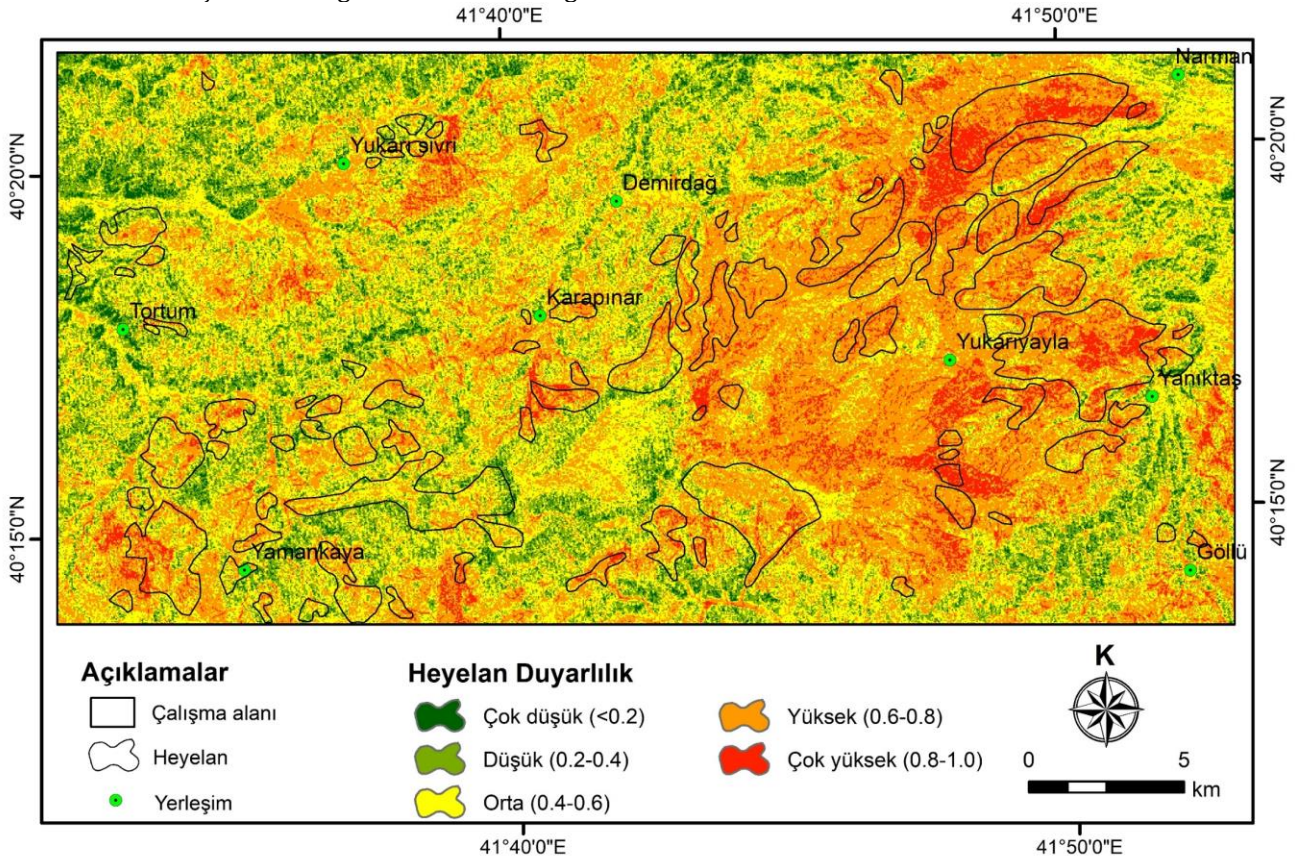
Parametre	Alt Sınıf	W+	W-	C	Parametre	Alt Sınıf	W+	W-	C
Eğim (°)	<5	0.381	-0.062	0.443	Bakı	Düz	0.000	0.000	0.000
	5-15	0.324	-0.351	0.675		0-22.5	0.473	-0.050	0.523
	15-25	-0.494	0.155	-0.649		22.5-67.5	0.366	-0.063	0.429
	25-35	-1.229	0.097	-1.326		67.5-112.5	-0.048	0.007	-0.055
	>35	-1.041	0.014	-1.055		112.5-157.5	-0.353	0.047	-0.400
Yükseklik (m)	<1700	-1.713	0.084	-1.797	157.5-202.5	-0.615	0.068	-0.683	
	1700-2000	0.367	-0.210	0.577	202.5-247.5	-0.401	0.035	-0.436	
	2000-2300	-0.151	0.080	-0.231	247.5-292.5	-0.191	0.020	-0.211	
	2300-2600	0.131	-0.033	0.164	292.5-337.5	0.154	-0.026	0.180	
	>2600	-1.067	0.029	-1.096	337.5-360	0.448	-0.042	0.490	
Plan eğriselliği	<(-0.8)	-0.607	0.032	-0.639	SPI	<250	-0.012	0.137	-0.149
	(-0.8)-(-0.3)	-0.016	0.004	-0.020		250-500	0.131	-0.005	0.136
	(-0.3)-0.2	0.190	-0.159	0.349		500-750	0.100	-0.001	0.101
	0.2-0.7	-0.040	0.012	-0.052		750-1000	0.095	-0.001	0.096
	0.7	-0.613	0.047	-0.660		>1000	0.174	-0.005	0.179
Profil eğriselliği	<(-1)	-0.829	0.038	-0.867	Akarsulara mesafe (m)	<400	-0.080	0.036	-0.116
	(-1)-(-0.3)	-0.055	0.015	-0.070		400-800	0.081	-0.032	0.113
	(-0.3)-0.4	0.181	-0.202	0.383		800-1200	0.051	-0.014	0.065
	0.4-1.1	-0.115	0.025	-0.140		1200-1600	0.028	-0.004	0.032
	>1.1	-0.753	0.028	-0.781		>1600	-0.214	0.014	-0.228
TWI	<5	-0.665	0.127	-0.792	NDVI	<(-0.2)	-0.461	0.035	-0.496
	5-6	-0.017	0.008	-0.025		(-0.2)-0.05	-0.582	0.113	-0.695
	6-7	0.130	-0.039	0.169		0.05-0.1	-0.043	0.018	-0.061
	7-8	0.213	-0.028	0.241		0.1-0.15	0.275	-0.124	0.399
	8-9	0.318	-0.021	0.339		>0.15	0.356	-0.064	0.420
Arazi kullanımı	>9	0.405	-0.040	0.445	Litoloji	Alüvyon	0.000	0.000	0.000
	Kesiklik şehir yapısı	-3.623	0.004	-3.627		Yamaç Molozu	0.969	-0.050	1.019
	Maden Çıkarım Sahaları	-0.505	0.000	-0.505		Konglomera	0.724	-0.013	0.737
	Sulanmayan Ekilebilir Alanlar	0.305	-0.027	0.333		Volkanosedimanter	0.118	-0.007	0.125
	Sürekli Sulanan Alanlar	-2.214	0.034	-2.248		Aglomera-Tüf	-0.548	0.144	-0.693
	Meralar	0.798	-0.055	0.852		Andezit-Bazalt	-0.625	0.255	-0.880
	Karışık Tarım Alanları	0.516	-0.024	0.541		Konglomera-Kumtaşı-Çamurtaşı	0.968	-0.441	1.409
	Doğal Bitki Örtüsü ile Birlikte Bulunan Tarım	0.371	-0.094	0.465		Kumtaşı-Çamurtaşı-Kireçtaşı	0.608	-0.003	0.611
	Karışık Orman	0.000	0.000	0.000		Serpantin-Gabro	0.000	0.000	0.000
	Doğal Çayırliklar	0.223	-0.123	0.346		Kumtaşı	-2.609	0.019	-2.629
	Bitki Değişim Alanları	-0.813	0.014	-0.827		Kireçtaşı	0.000	0.000	0.000
	Çıplak Kayalıklar	-0.815	0.025	-0.839					
	Seyrek Bitki Alanları	-1.082	0.197	-1.278					



1700 metreden düşük yüksekliğe sahip alanlarda heyelan oluşumunun az gözlemlendiği söylenebilir. Plan eğriselliği parametresi alt sınıflarında heyelan yoğunluğu en fazla -0.3-0.2 sınıfında gözükmektedir. Profil eğriselliği için hesaplanan değerlere bakıldığında heyelanlar -0.3-0.4 alt sınıfında daha yoğun dağılım göstermektedir. TWI alt sınıfları için hesaplanan  $C$  değerlerine bakıldığında nemliliğin arttıkça heyelan yoğunluğunun da arttığı ortaya çıkmıştır. Arazi kullanım haritası alt sınıflarından biri olan kesikli şehir yapısı alt sınıfında heyelanlar oldukça az gözlenmektedir. En yüksek  $C$  değerine sahip alanlar ise Meralar ve Karışık Tarım Alanlarıdır. SPI alt sınıfları için hesaplanan  $C$  değerlerine bakıldığında en yüksek değer  $>1000$  sınıfına ait olduğu gözükmektedir. Bu da Akarsu Aşındırma Gücü İndeksi değerinin arttıkça heyelan yoğunluğunun da bu alanlarda arttığına işaret etmektedir. NDVI haritası alt sınıflarına bakıldığında bitki örtüsü arttıkça  $C$  değerinin de arttığı

gözükmektedir. Akarsulara mesafe parametresi için mesafenin arttıkça  $C$  değerinin düştüğü gözükmektedir. Akarsulara olan mesafenin uzak olduğu alanlarda heyelan oluşumunun azaldığı söylenebilir. Litoloji parametresi için alt sınıflar değerlendirildiğinde Konglomera-Kumtaşı-Çamurtaşı biriminin en yüksek  $C$  değerine sahip olduğu gözükmektedir. Alüvyon, serpantin-gabro ve Kireçtaşı olan alanlarda ise heyelan gözlemlenmediği söylenebilir. Tüm bu sonuçlar ışığında belirlenen parametre ve alt sınıflarının heyelan oluşumuyla olan ilişkileri ortaya konmuştur.

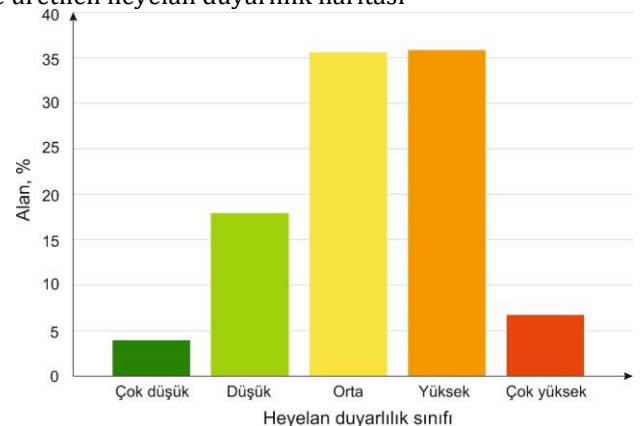
Son adım olarak, belirlenen parametrelerle ArcGIS yazılımı kullanılarak Overlay (üst üste çakıştırma) aracılığıyla çalışma alanına ait Heyelan Duyarlılık Haritası üretilmiştir (Şekil 5). Üretilen bu harita ise çok düşük (0-0.2), düşük (0.2-0.4), orta (0.4-0.6), yüksek (0.6-0.8) ve çok yüksek (0.8-1.0) olmak üzere göreceli olarak beş sınıfa ayrılmıştır.



Şekil 5. Çalışma alanının WoE yöntemiyle üretilen heyelan duyarlılık haritası

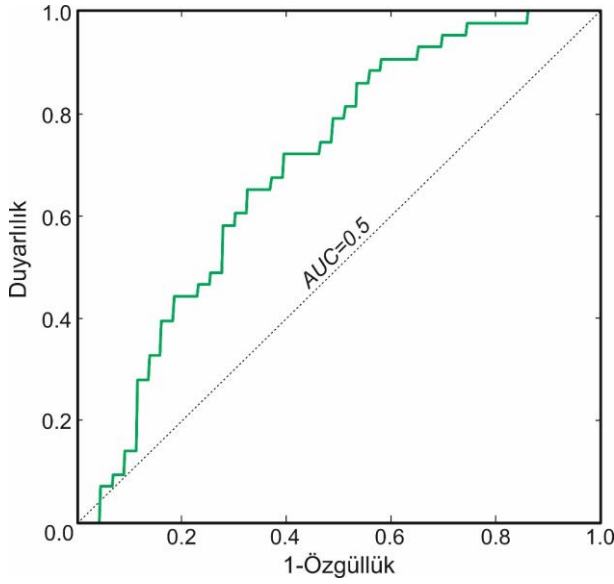
WoE yöntemiyle üretilen duyarlılık haritasına göre çalışma alanının %3.94'ü çok düşük, %17.92'si düşük, %35.58'i orta, %35.84'ü yüksek ve %6.72'si çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir (Şekil 6).

Çalışma alanında heyelan duyarlılığına etki eden girdi parametrelerinin uygunluğunu, elde edilen veriler ışığında üretilen heyelan envanterinin doğruluğunu ve heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılacak metodun uygunluğunu ortaya koymak amacıyla farklı performans ölçütleri değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda AUC, Doğruluk, Geri Çağırma, Hassasiyet ve F1 Puanı değerleri sırasıyla 0.722, 0.673, 0.802, 0.638 ve 0.710 olarak hesaplanmıştır (Şekil 7, Tablo 4).



Şekil 6. WoE metoduyla üretilen heyelan duyarlılık haritasındaki duyarlılık sınıflarının alansal dağılımı

Tüm bu sonuçlar ışığında uygulanan yöntemin mevcut sahada iyi sonuç verdiği ortaya çıkmıştır.



**Şekil 7.** WoE modeli için elde edilen ROC eğrisi

**Tablo 4.** WoE metodu için elde edilen Performans Ölçütü değerleri

Performans Ölçütü	Hesaplanan Değer
AUC	0.722
Doğruluk	0.673
Geri Çağırma	0.802
Hassasiyet	0.638
F1 Puanı	0.710

#### 4. Sonuç ve öneriler

Bu çalışmada Tortum-Narman (Erzurum) arasında kalan bölgenin WoE yöntemiyle heyelan duyarlılık analizinin yapılması hedeflenmiştir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarında heyelan envanterinin oldukça önemli bir yeri bulunmaktadır. Bu doğrultuda çalışma alanına ait heyelan envanterini oluşturmak amacıyla saha çalışmalarından, MTA Türkiye Heyelan Envanterinden ve Google Earth programından faydalanılmış ve çalışma alanında toplam 89 adet heyelan haritalanmıştır. Yapılan saha ve literatür çalışmaları sonucunda heyelan duyarlılığına etki ettiği düşünülen 11 adet girdi parametresi (akarsulara mesafe, arazi kullanımı, eğim, baki, yükseklik, plan eğriselliği, profil eğriselliği, NDVI, TWI, SPI, litoloji) belirlenmiş ve bu parametrelere ait haritalar üretilmiştir.

Belirlenen parametrelerin her biri için alt sınıflar oluşturulmuş ve bu alt sınıflara ait WoE metodu aracılığıyla hesaplanan C değerleri sayısal ortamda atanmıştır. Oluşturulan parametre haritalarının ArcGIS ortamında "Raster Calculator" komutuyla üst üste çakıştırılması sonucunda çalışma alanına ait heyelan duyarlılık haritası üretilmiş ve literatürdeki kullanımına uygun olarak göreceli beş sınıfa ayrılmıştır. Üretilen duyarlılık haritasına göre toplam alanın %3.94'ü çok düşük, %17.92'si düşük, %35.58'i orta, %35.84'ü yüksek ve %6.72'si çok yüksek heyelan duyarlılığına sahiptir.

Heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılan yöntemin performans analizi için de farklı performans ölçütleri kullanılmıştır. Buna göre; AUC, Doğruluk, Geri Çağırma, Hassasiyet ve F1 Puanı değerleri sırasıyla 0.722, 0.673, 0.802, 0.638, 0.710 olarak hesaplanmıştır. Bu performans sonuçlarına dayanarak, heyelan duyarlılık haritasının üretiminde kullanılan yöntemin genel olarak tatmin edici bir performans sergilediği söylenebilir. AUC (0.722) değeri, modelin sınıflandırma performansının Tablo 1'e göre "iyi" olduğunu ve pozitif ve negatif sınıfları ayırt etme becerisinin kabul edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Doğruluk (0.673), modelin genel başarı oranını ifade etmektedir. Geri Çağırma (0.802) değeri, modelin pozitif sınıfları (heyelana duyarlı alanları) tespit etme konusundaki başarısının oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, Hassasiyet (0.638) değerinin nispeten daha düşük olması, modelin yanlış pozitif tahminler yapma eğiliminde olabileceğine işaret etmektedir. Son olarak, F1 Puanı (0.710), geri çağırma ve hassasiyet arasında dengeli bir performans sağlandığını göstermektedir. Bu, yöntemin heyelan duyarlılık haritalarının üretiminde dengeli bir başarı sergilediğini göstermektedir. Genel olarak, bu sonuçlar modelin heyelan duyarlılık analizlerinde kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Yapılan bu çalışma sonucunda elde edilen heyelan duyarlılık haritası söz konusu bölgede yapılacak olan yerleşim planlamasında bir temel altlık olarak kullanılabilir. Ayrıca çalışma alanına ait sonraki adım olarak heyelan tehlike ve risk çalışmaları da yapılarak ilgili haritalar oluşturulmalıdır.

#### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir. (Proje No: 2023/217)

#### Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Kaynakça

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) (2023). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı 2022 Yılı Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri. Erişim adresi: <https://www.afad.gov.tr/afet-istatistikleri>
- Akıncı, H., Özalp, A.Y., Özalp, M., Kılıçer, S.T., Kılıçoğlu, C., Everan, E. (2015). Production of Landslide Susceptibility Map Using Bayesian Probability Model. *International Journal of 3-D Information Modeling*, 4(2), 16-33, September 2015.
- Aleotti, P., & Chowdhury, R. (1999). Landslide hazard assessments: Summary review and new perspective. *Bulletin of Engineering Geology of the Environment*, 58, 21-44
- Aydoğan, E., & Dağ, S. (2023). İstatistiksel Yöntemlerle Yukarı Karasu Havzası'nın Kuzeydoğu Bölümünün (Erzurum) Heyelan Duyarlılık Analizi. *Turkish*

- Journal of Remote Sensing and GIS, 4(1), 64-82. <https://doi.org/10.48123/rsgis.1202140>
- Batar, A.K., & Watanabe, T. (2021). Landslide Susceptibility Mapping and Assessment Using Geospatial Platforms and Weights of Evidence (WoE) Method in the Indian Himalayan Region: Recent Developments, Gaps, and Future Directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10 (3),114. <https://doi.org/10.3390/ijgi10030114>
- Başara, A. C., & Şişman, Y. (2021). Landslide susceptibility mapping of Tokat (Turkey) province using weight of evidence and random forest. *Advanced GIS*, 1(1), 1-7. Retrieved from.
- Başara, A.C., Tabar, M.E., & Şişman, Y. (2021). Landslide Susceptibility Mapping of Samsun (Turkey) Province Using Frequency Ratio and AHP Methods. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 24-30.
- Başara, A.C., & Şişman, Y. (2022). Frekans oranı, Kanıt Ağırlığı ve Lojistik Regresyon Yöntemleri Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Haritalarının CBS Tabanlı Karşılaştırılması. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 647-660. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1065284>
- Bayramoğlu, Z., Uzar, M. (2023). Performance analysis of rule-based classification and deep learning method for automatic road extraction. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8 (1), 83-97. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1062250>
- Beven, K.J., Kirkby, M.J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology /Un model base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrol Sci J* 24(1):43-69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Biçer, Ç. T., & Ercanoğlu, M. (2020). A semi-quantitative landslide risk assessment of central Kahramanmaraş City in the Eastern Mediterranean region of Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05697-w>
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., Wright, D.F. (1988). Integration of geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *Photogramm Eng Remote Sensing* 54,1585-1592
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., & Wright, D.F. (1989). Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. *Statistical applications in the earth science, geological survey of Canada*, 89(9), 171-183
- Chen, T., Niu, R., & Jia, X. (2016). A comparison of information value and logistic regression models in landslide susceptibility mapping by using GIS. *Environmental Earth Sciences*, 75, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-5317-y>
- Chen, W., Sun, Z., & Han, J. (2019). Landslide susceptibility modeling using integrated ensemble weights of evidence with logistic regression and random forest models. *Applied sciences*, 9(1), 171. <https://doi.org/10.3390/app9010171>
- Chen, J., Chen, S., Fu, R., Wang, C., Li, D., Jiang, H., Zhao, J., Wang, L., Peng, Y., Mei, Y., (2021). Simulation of water hyacinth growth area based on multi-source geographic information data: an integrated method of WOE and AHP. *Ecol. Indicat.* 125107574. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107574>
- Çiftçi,H.& Kuşak,L.(2021). Determination of unsuitability points on the route of Van Gölü-Kapıköy railway line by using GIS and AHP method. *Advanced GIS*,1(1), 27-36.
- Dehnavi, A., Aghdam, I.N., Pradhan, B., & Varzandeh, M.H.M. (2015). A new hybrid model using step-wise weight assessment ratio analysis (SWARA) technique and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) for regional landslide hazard assessment in Iran. *Catena*, 135, 122-148. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.020>
- EM-DAT (2023). Acil Durum Olayları Veri Tabanı, 2023 Afet Yılı İncelemesi Raporu. Erişim adresi: <https://www.emdat.be/>
- Ercanoğlu, M., Gokceoglu, C. & Van Asch, T.W.J. (2004). Landslide susceptibility zoning North of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Natural Hazards*, 32, 1-23. <https://doi.org/10.1023/B:NHAZ.0000026786.85589.4a>
- Ercanoğlu, M., Dagdelenler, G., Ozsayin, E., Alkeveli, T., Sönmez, H., Ozyurt, N.N., Kahraman, B., Uçar, I., & Çetinkaya, S. (2016). Application of Chebyshev theorem to data preparation in landslide susceptibility mapping studies: an example from Yenice (Karabuk, Turkey) region. *J Mount Sci*, 13 (11), 1923-1940. <https://doi.org/10.1007/s11629-016-3880-z>
- Fang, Z., Wang, Y., van Westen, C., & Lombardo, L. (2024). Landslide hazard spatiotemporal prediction based on data-driven models: Estimating where, when and how large landslide may be. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 126, 103631. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103631>
- Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27(8), 861-874.
- Garcitaşkaa-Ruiz, J.M., Beguería, S., Alatorre, L.C., & Puigdefabregas, J. (2010). Land cover changes and shallow landsliding in the flysch sector of the Spanish Pyrenees. *Geomorphology*, 124, 250-259. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.03.036>
- Gentilucci, M., Pelagagge, N., Rossi, A., Domenico, A., & Pambianchi, G. (2023). Landslide Susceptibility Using Climatic-Environmental Factors Using the Weight-of-Evidence Method-A Study Area in Central Italy. *Appl Sci*, 13, 8617. <https://doi.org/10.3390/app13158617>
- Güngör, B., Dedetürk, B.A., & Taşdemir, K. (2022). Cilt Kanseri Görüntü Sınıflandırması için Görüntü Ön İşlemenin Evrişimsel Sinir Ağları Performansı Üzerindeki Etkileri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 38 (2).
- Goyes-Peñafiel, P., & Hernandez-Rojas, A. (2021). Landslide susceptibility index based on the integration of logistic regression and weights of evidence: A case study in Popayan, Colombia. *Engineering Geology*, 280, 105958. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2020.105958>
- Hicks, S. A., Strümke, I., Thambawita, V., Hammou, M., Riegler, M. A., Halvorsen, P., & Parasa, S. (2022). On evaluation metrics for medical applications of artificial intelligence. *Scientific reports*, 12(1), 5979.
- Hong, H., Jaafari, A., Zenner, E.K. (2019). Predicting spatial patterns of wildfire susceptibility in the

- Huichang County, China: An integrated model to analysis of landscape indicators. *Ecological Indicators* 101, 878–891. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.056>
- Ikram, N., Basharat, M., Ali, A., Usmani, N.A., Gardezi, S.A.H., Hussain, M.L., & Riaz, M.T. (2022). Comparison of landslide susceptibility models and their robustness analysis: a case study from the NW Himalayas, Pakistan. *Geocarto Int* 37(25):9204–9241. <https://doi.org/10.1080/10106049.2021.2017010>
- Ilija, I., & Tsangaratos, P. (2016). Applying weight of evidence method and sensitivity analysis to produce a landslide susceptibility map. *Landslides*, 13, 379–397. <https://doi.org/10.1007/s10346-015-0576-3>
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *Int J Environ Sci Technol*, 11, 909–926. <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0464-0>
- Jin, G., Wang, Z., Hu, X., Hu, S., & Zhang, D. (2013). Land suitability evaluation in the Qinghai-Tibet Plateau based on fuzzy weight of evidence model. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29(18), 241-250.
- Kadi, F., & Yılmaz, O. S. (2024). Determination of alternative forest road routes using produced landslide susceptibility maps: A case study of Tonya (Trabzon), Türkiye. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 9 (2), 147-164. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1355615>
- Kainthura, P., & Sharma, N. (2022). Machine learning driven landslide susceptibility prediction for the Uttarkashi region of Uttarakhand in India, Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 16:570-583. <https://doi.org/10.1080/17499518.2021.1957484>
- Konak, N., Bilgiç, T., Bilgin, R., Hepşen, N., Ercan, T., & Hakyemez, Y. (2001). Kuzeydoğu Pontidlerin (Oltu-Olur-Şenkaya-Narman-Tortum-Uzundere-Yusufeli) Jeolojisi, MTA Raporu.
- Konak, N., Hakyemez, H.Y. (2008). 1: 100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No: 95 Tortum-H47 Paftası.
- Lee, S., Choi, J., & Min, K. (2002). Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model. *Environ Geol*, 43,120–131
- Lee, J. H., Kim, H., Park, H. J., & Heo, J. H. (2021). Temporal prediction modeling for rainfall-induced shallow landslide hazards using extreme value distribution. *Landslides*, 18, 321-338. [10.1007/s10346-020-01502-7](https://doi.org/10.1007/s10346-020-01502-7)
- Lima, P., Steger, S., Glade, T., & Murillo-Garcia, F.G. (2022). Literature review and bibliometric analysis on data-driven assessment of landslide susceptibility. *J Mt Sci* 19:1670–1698. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-7254-9>
- Li, R., Huang, S., & Dou, H. (2023). Dynamic Risk Assessment of Landslide Hazard for Large-Scale Photovoltaic Power Plants under Extreme Rainfall Conditions. *Water*, 15(15), 2832. <https://doi.org/10.3390/w15152832>
- Lin, W., Yin, K., Wang, N., Xu, Y., Guo, Z., & Li, Y. (2021). Landslide hazard assessment of rainfall-induced landslide based on the CF-SINMAP model: a case study from Wuling Mountain in Hunan Province, China. *Natural Hazards*, 106, 679-700. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04483-x>
- Mallick, J., Alqadhi, S., Talukdar, S., AlSubih, M., Ahmed, M., Khan, R.A., Kahla, N.B., & Abutayeh, S.M. (2021). Risk Assessment of Resources Exposed to Rainfall Induced Landslide with the Development of GIS and RS Based Ensemble Metaheuristic Machine Learning Algorithms. *Sustainability*, 13, 457. <https://doi.org/10.3390/su13020457>
- MGM (2024). Meteoroloji Genel Müdürlüğü [Online]. Erişim adresi: <https://www.mgm.gov.tr>.
- Moore, I.D., & Burch, G.J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil Loss equation. *Soil Sci Soc Am J*, 50(5), 1294–1298.
- MTA (2024). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Yerbilimleri Harita Görüntüleyici [Online]. Erişim adresi: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>
- Öcül, M., & Şişman, A. (2023). Landslide susceptibility analysis with multi criteria decision methods; a case study of Taşova. *Advanced GIS*, 3(1), 14-21.
- 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>
- Özşahin, E. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Heyelan Duyarlılık Analizi: Ganos Dağı Örneği (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7 (1), 47-63. [10.15659/hartek.15.04.68](https://doi.org/10.15659/hartek.15.04.68)
- Partigöç, N. S. ve Dinçer, C. (2024). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı afet risk analizi: Denizli ili örneği. *Geomatik*, 9 (1), 27-44. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1261051>
- Polykretis, C., & Chalkias, C. (2018). Comparison and evaluation of landslide susceptibility maps obtained from weight of evidence, logistic regression, and artificial neural network models. *Natural hazards*, 93, 249-274. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3299-7>
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., & Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran. *Catena*, 97, 71-84. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.05.005>
- Qazi, A., Singh, K., Vishwakarma, D.K., & Abdo, H.G. (2023). GIS based landslide susceptibility zonation mapping using frequency ratio, information value and weight of evidence: a case study in Kinnaur District HP India. *Bull Eng Geol Environ*, 82, 332. <https://doi.org/10.1007/s10064-023-03344-8>
- Reis, H.Ç. (2018). Detection of foot bone anomaly using medical photogrammetry. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (1), 1-5. <https://doi.org/10.26833/ijeg.333686>
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, 301–317. Greenbelt, MD: NASA.

- Sidle, R.C., & Ochiai, H. (2006). Landslides: processes, prediction, and land use. Water Resources Monograph Series. Washington (DC): American Geophysical Union.
- Spiegelhater, D., & Knill-Jones, R.P. (1984). Statistical and knowledge approaches to clinical decision-support systems, with an application in gastroenterology. *J R Stat Soc*, 147, 35–77
- Sujatha, E.R., & Sridhar, V. (2021). Landslide Susceptibility Analysis: A Logistic Regression Model Case Study in Coonor, India. *Hydrology*, 8, 41. <https://doi.org/10.3390/hydrology8010041>
- Taşkanat, T. (2022). Frekans Oranı ve Kanıt Ağırlığı Metotları Kullanılarak Heyelan Duyarlılık Analizi, Kayseri Küpeli Mahallesi Örneği. VIII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu, Ankara.
- Tırmanoğlu, B., İsmailoğlu, İ., Kokal, A.T., Musaoğlu, N. (2023). Yeni nesil multispektral ve hiperspektral uydu görüntülerinin arazi örtüsü / arazi kullanımı sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması: Sentinel-2 ve PRISMA Uydusu. *Geomatik*, 8 (1), 79-90. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1126685>
- van Westen, C.J., Rengers, N., & Soeters, R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment, *Natural Hazards*, 30(2003), 399-419.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes in landslides: analysis and control. Edited by R. L. Schuster And R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy Of Science, Washington. Special Report 176, Chapter 2, 11-33.
- Yeşilnacar, E., & Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3-4), 251-266. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.02.002>
- Yılmaz, C., Topal, T., & Süzen, M.L. (2011). GIS-based landslide susceptibility mapping using bivariate statistical analysis in Devrek (Zonguldak-Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 65, 2161-2178. <https://doi.org/10.1007/s12665-011-1196-4>
- 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>
- Zhang, Y. X., Lan, H. X., Li, L. P., Wu, Y. M., Chen, J. H., & Tian, N. M. (2020). Optimizing the frequency ratio method for landslide susceptibility assessment: A case study of the Caiyuan Basin in the southeast mountainous area of China. *Journal of Mountain Science*, 17(2), 340-357. <https://doi.org/10.1007/s11629-019-5702-6>



© Author(s) 2025. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>