



Frekans oranı yöntemiyle coğrafi bilgi sistemi ortamında heyelan duyarlılık haritasının üretilmesi: Manisa, Demirci, Tekeler Köyü örneği

Osman Salih Yılmaz*¹ 

¹ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Demirci Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama, Manisa, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Coğrafi Bilgi Sistemi
Google Earth Engine
Frekans Oranı
Heyelan
Tekeler köyü

Araştırma Makalesi

Geliş:25.04.2022
Revize: 22.05.2022
Kabul:02.06.2022
Yayınlanma:10.08.2022



Öz

Bu çalışmada 2009 yılında meydana gelen ve afet bölgesi olarak ilan edilen Manisa ili, Demirci ilçesi sınırlarında bulunan Tekeler köyünün heyelan duyarlılık haritası coğrafi bilgi sistemi tabanlı frekans oranı yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Heyelan duyarlılık analizinde yağış, eğim, baki, yükseklik, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, arazi kullanımı, litoloji, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi koşullandırma faktörleri olarak seçilmiştir. Heyelan olan bölgeden Google Earth görüntüleri kullanılarak örnek rastgele noktalar belirlenmiş, belirlenen noktalar %70'i eğitim %30'u test için iki sınıfa bölünmüştür. Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıflar içerisinde kalan alanlar sırasıyla tüm alanın %11,36, %39,61, %34,32, %12,89 ve %1,81'ini kapladığı görülmüştür. Heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu alıcı işletim karakteristiği eğrisi altında kalan alan dikkate alınarak hesaplanmıştır. AUC değeri başarı oranı %95,14 ve tahmin oranı %94,11 olarak bulunmuştur. Bu çalışma ile frekans oranı yöntemi kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının başarılı bir şekilde üretilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca bulunan sonuç haritanın olası muhtemel heyelanlar için bir öngörü niteliğinde olduğu, afet yönetim ve planlama çalışmalarına entegre edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Production of landslide susceptibility maps in geographic information system by frequency ratio method: Example of Demirci Tekeler Village, Demirci, Manisa

Keywords

Geographic Information System
Google Earth Engine
Frequency Ratio
Landslide
Tekeler village

Research Article

Received:25.04.2022
Revised:22.05.2022
Accepted:02.06.2022
Published:10.08.2022

Abstract

In this study, the landslide susceptibility map of Tekeler village, located in the borders of Demirci district of Manisa province, which occurred in 2009 and was declared as a disaster area, was produced using geographic information systems-based frequency ratio method. In landslide susceptibility analysis, precipitation, slope, aspect, height, distance to stream, distance to road, land use, lithology, curvature, topographic wetness index, normalized difference vegetation index conditioning was selected as factors. Sample random points were determined using Google Earth images from the landslide area, and the determined points were divided into two classes, 70% for training and 30% for testing. As a result, the landslide susceptibility map is divided into five classes: very low, low, medium, high, and very high. It was observed that the areas within these classes covered 11.36%, 39.61%, 34.32%, 12.89%, and 1.81% of the entire area, respectively. The accuracy of the landslide susceptibility map is calculated by considering the area under the receiver operating characteristic curve. AUC value success rate was calculated as 95.14% and prediction rate as 94.11%. With this study, it has been shown that landslide susceptibility maps can be produced successfully with the frequency ratio method. In addition, it was concluded that the resulting map is a prediction for possible landslides and can be integrated into disaster management and planning studies.

1. Giriş

Afetler toplumun yaşadığı çevrede maddi ve manevi kayıplara yol açan ani gelişen bir takım doğa ve insan faktörlü olaylardır (Berna ve ark., 2021). Özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak son yıllarda oldukça artan taşkın ve heyelan olayları insanların mal ve can güvenliğini tehlikeye atmaktadır (Tacconi Stefanelli ve ark., 2020; Al Kalbani & Rahman 2022; Oğuz ve ark. 2022). Heyelanlar hem doğal hem de yapay çevreye önemli zararlar veren, ekonomik ve can kayıplarına neden olan en büyük yıkıcı doğal afetler arasındadır (Abeyisiriwardana ve Gomes, 2022; Alptekin ve Yakar, 2020). Heyelan doğal ya da insan faktörlü zaman içerisinde meydana gelen toprak, dolgu ve moloz gibi unsurların yamaçlardan aşağı yönlü hareketi olarak tanımlanır (Koç ve Küçükönder, 2021). İnsan kaynaklı olabildiği gibi arazi kullanımı, yağış, vejetasyon ve sismik etkinin de bir arada değerlendirildiği aşağı yönlü kütle hareketidir (Thao ve ark., 2021; Gao ve Ding, 2022). Buldukları çevreye zarar vermesi nedeniyle, oluşabilecek zararların azaltılması ve arazi üzerindeki yapılacak her türlü aktivitenin planlanması açısından heyelan bölgelerinin belirlenmesi önemlidir (Aydınoglu ve Altürk, 2021). Bir alanda heyelan meydana gelme riskinin belirlenmesi heyelan duyarlılığı olarak ifade edilir (Günini Üzel ve Ötürk, 2021). Heyelan duyarlılık haritaları alt yapı ve üst yapı yatırım planlamalarının daha sağlıklı yapılması için karar vericiler ve kamu kuruluşlarına kritik bilgiler sağlayan, heyelan olmaya duyarlı alanların mekânsal dağılımını göstermesi açısından önemlidir (Kim ve ark., 2018). Ayrıca üretilen haritalar acil durum yönetimi prosedürlerinde temel bir unsur olarak kabul edilir (Kavzoglu ve Teke, 2022).

Heyelan oluşumu, litoloji, vejetasyon, sismik hareketler, eğim, yağış gibi birden fazla kriterle bağlıdır (Hepdeniz ve Soyaslan, 2018). Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi bu kriterlerin bir arada değerlendirmesini gerektirir. Bu açıdan coğrafi bilgi sistemi (CBS) araçları güçlü mekânsal karar verme yetenekleri sayesinde heyelan duyarlılık analizlerinde oldukça fazla tercih edilmektedir (Kılıçoğlu, 2020). Aynı zamanda doğal afetlerde uzaktan algılama (UA) tekniklerinin kullanımı karar verme süreçlerinde CBS'ye girdi sağlamada oldukça etkili bir araçtır (Jeyaseelan, 2003; Yılmaz ve ark., 2018). Bu kapsamda Google Earth Engine (GEE) gibi bulut platformlarının gelişimi UA tekniklerinde petabayt ölçeğinde büyük verileri işlemede kullanıcıları depolama alanları ve pahalı yazılım zorluklarından kurtarmıştır (Ghasempour ve ark., 2021; Huang ve ark., 2018; Liang ve ark., 2020; Patel ve ark., 2015; Zhou ve ark., 2020). GEE akademik amaçla kullanılan, kâr amacı gütmeyen, kullanıcılar için coğrafi veri kümelerinin bilimsel analizi ve görselleştirilmesi için geliştirilmiş bir platformdur. GEE Landsat, Sentinel ve MODIS gibi birçok ücretsiz uydu platformuna eş zamanlı erişebilmenin yanında kendisi ile bütünsel çalışın destek vektör makineleri (DVM), rastgele orman (RO), karar ağaçları gibi birçok algoritma ve kendine özgü kod kütüphanesi bulunmaktadır.

Heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için CBS tabanlı hem görsel hem de istatistiksel yaklaşımlarla birleştiren çeşitli modeller geliştirilmiştir (Sahana ve

Patel, 2019). Heyelan ve diğer birçok karar verme sürecinde frekans oranı (FO) (Melese ve ark., 2022; Thanh ve ark., 2020; Thapa ve Bhandari, 2019), lojistik regresyon (LR) (Abeyisiriwardana ve Gomes, 2022; Aditian ve ark., 2018; Mandal ve Mandal, 2018) ve çoklu kriterli karar verme tekniklerinden biri olan analitik hiyerarşi prosesi (AHP) (Aghlmand ve ark., 2020; Melese ve ark., 2022; Özşahin, 2015; Semlali ve ark., 2019; Sarı & Koyuncu 2021) literatürde en çok tercih edilen ve kabul gören yöntemler arasındadır. FO modeli, iki değişkenli istatistiksel analiz gerçekleştirebilen ve her koşullandırma faktörü için heyelan alanları ve kriterler arasındaki korelasyonu değerlendirebilen bir yöntemdir (Shafapour Tehrani ve ark., 2019; Siahkamari ve ark., 2018; Ullah ve Zhang, 2020). FO modelinde girdi verilerinin yönetimi, hesaplama ve çıktı süreçleri diğer yöntemlere göre daha kolaydır (Hang ve ark., 2021; Mersha ve Meten, 2020). Bu özelliklerinden dolayı FO yöntemi heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde oldukça fazla tercih edilmektedir (Trinh ve ark., 2022) ve uzman değerlendirmesinden bağımsız bir yöntem olduğundan sonuçları daha güvenilirdir (Thanh ve ark., 2020).

Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesine yönelik son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Avcı (2016) yaptığı çalışmada Bingöl Havzası'nın güneybatısında Murat Nehri'nin yan kollarından olan Gökdere Havzası ve çevresinin heyelan duyarlılık haritalarını FO metodu kullanarak üretmiştir. Oluşturulan heyelan duyarlılık haritasında yerleşim yerlerinin tamamı, tarım alanları ve kara yolları orta ve yüksek riskli alanlar olarak belirlenmiştir. Şahin (2018) yaptığı çalışmada heyelan için etkili faktörler içerisinde optimum faktör modelinin tespiti için farklı yöntemler kullanarak heyelan duyarlılık haritasını üretmiştir. Heyelan duyarlılık haritasını üretmek için adimsal regresyon (AR) yöntemi önermiştir. Ayrıca LR ve RO makine öğrenme yöntemlerini de heyelan duyarlılık haritalandırmasında kullanmıştır. Nohani ve ark. (2019) İran'ın kuzey kesiminde heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için FO, Shannon entropi (SE), kanıt ağırlıkları (weights of evidence, WoE), kanıtsal güven fonksiyonu (evidential belief function, EBF) yöntemlerini kullanmıştır. Yöntemlerin alıcı işletim karakteristiği (receiver operating characteristic, ROC) eğri altında kalan alan (curve and the area under the curve, AUC) değerleri WoE, FO, SE ve EBF için sırasıyla 0,84, 0,83, 0,82 ve 0,79 hesaplanmıştır. Pal ve Chowdhuri (2019) Himalaya'da Teesta Nehri'nin ana kolu olan Lachung Nehrinde heyelan duyarlılık haritasını üretmek FO metodu kullanmıştır. Yapılan çalışmada koşullandırma faktörü olarak eğim, yükseklik, bakı, profil eğriliği, arazi kullanımı, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (normalized difference vegetation index, NDVI), drenaj yoğunluğu, yol yoğunluğu, jeoloji ve yağış verileri kullanılmıştır. Heyelan duyarlılık haritası çok yüksek (%0,591), yüksek (%1,867), orta (%5,172), düşük (%25,685) ve çok düşük (%29,816) olarak sınıflandırılmış ve alan oranları hesaplanmıştır. Sonuç haritanın AUC tahmin oranı %88,9 ve başarı oranı %92,3 hesaplanmıştır. Thapa ve Bhandari (2019) Nepal'de heyelan duyarlılık haritasını üretmek için UA ve CBS yöntemlerini bir arada kullanmıştır. Çalışmada FO

metodu kullanılmış ve AUC başarı oranını %72,6 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre FO metodunun heyelan duyarlılık haritalarını belirlemede başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. [Dang ve ark. \(2020\)](#) bir rastgele orman makine (random forest machine, RFM) modeli önermiştir. Bu model RO ve DVM hibrit kullanımından oluşmaktadır. RFM yöntemi kullanılarak üretilen heyelan duyarlılık haritalarının başarısı F1 testinde 0,96 olarak hesaplanmıştır. [Mersha ve Meten \(2020\)](#) Etiyopya’da heyelana neden olan faktörleri değerlendirmek ve heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için FO ve WoE metodlarını kullanmışlardır. 576 adet aktif ve pasif heyelanlar, saha çalışması ve Google Earth görüntüleri ile hazırlanmış ve elde edilen veri seti %80 eğitim %20 test amaçlı kullanılmıştır. Bakı, eğim, eğrisellik, litoloji, arazi kullanımı, yağış ve akarsuya uzaklık dahil olmak üzere yedi koşullandırma faktörü dikkate alınmıştır. Elde edilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş heyelan duyarlılık bölgesine ayrılmıştır. Heyelan duyarlılık haritasının doğruluğu AUC metoduna göre hesaplanmış FO ve WoE modellerinin tahmin oranı sırasıyla %88,2 ve %84,8 olarak hesaplanmıştır. [Koç ve Küçükönder \(2021\)](#) Kahramanmaraş’ta heyelan duyarlılığını CBS matris modeli kullanarak üretmişlerdir. Yapılan analiz sonucu 265 km²’lik havzanın %4,5’inin heyelan açısından riskli olduğu belirlenmiştir. [Hang ve ark. \(2021\)](#) heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için CBS tabanlı FO metodunu kullanmıştır. Üretilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek sınıflara ayrılmıştır. Modelin doğruluğu sonucu AUC değeri 0,738 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada, Manisa ili Demirci ilçesi sınırları içerisinde bulunan ve bakanlar kurulu kararı ile afet bölgesi olarak ilan edilen Tekeler köyünde 2009 yılında gerçekleşen heyelan incelenmiştir. Bu bölgede daha önce mekânsal analiz yöntemleri kullanılarak bir heyelan analiz çalışması yapılmamıştır. Bu kapsamda CBS ve UA tekniklerine dayalı FO metodu kullanarak Tekeler köyü

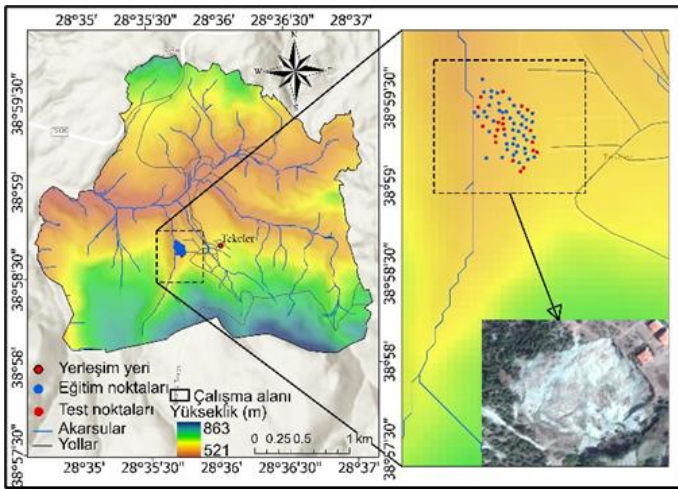
sınırları içerisindeki heyelan açısından riskli alanların tümü belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli (SYM) 12,5 m yersel çözünürlüklü ALOS PALSAR verisidir. Uydu görüntülerinin sınıflandırılması GEE platformunda geliştirilen kodlar ile yapılmıştır. Heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde yağış, eğim, bakı, yükseklik, akarsuya uzaklık, yola uzaklık, arazi kullanımı, litoloji, eğrisellik, topografik nemlilik indeksi (topographic wetness index, TWI), NDVI koşullandırma faktörleri göz önünde bulundurulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde çalışma alanı tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde yöntem başlığı altında kullanılan koşullandırma faktörleri, bu faktörleri oluşturmak için kullanılan veri kaynakları ve kullanılan metod açıklanmıştır. Dördüncü bölümde bulgular açıklanarak tartışılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar verilmiştir.

2. Çalışma Bölgesi

Tekeler köyü Manisa ili Demirci ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Köyün yüzölçümü yaklaşık olarak 7,75 km² olup Demirci İlçesine yaklaşık 12 km Manisa merkeze ise 170 km mesafededir ([Şekil 1](#)). Köyün yaklaşık olarak deniz seviyesinden yüksekliği ortalama 580 m dir. Bölgede yıllık ortalama sıcaklık 12°C civarında olup Akdeniz ve karasal iklim hakimdir. Bölgenin belirli bir kesimi çam ormanları, tarım arazileri ve boş arazilerden oluşmaktadır.

Tekeler köyünde 2009 yılında gerçekleşen heyelanda yaklaşık 100 m uzunluğunda, 30 m genişliğinde ve 20 m yüksekliğinde bir kütlelerin dereye doğru kaydığı 12.10.2009 afet jeolojik etüt raporunda belirtilmiştir ([Şekil 2](#)). Heyelan bölgesinin yaklaşık 5 m-10 m mesafedeki konutlara kadar yaklaştığı belirlenmiştir. Teknik incelemeler sonucu aynada oluşan çatlakların, heyelanın geriye doğru ilerlemesine neden olacağı yönündedir.



Şekil 1. Çalışma alanını gösteren harita



Şekil 2. Heyelan bölgesindeki kayma

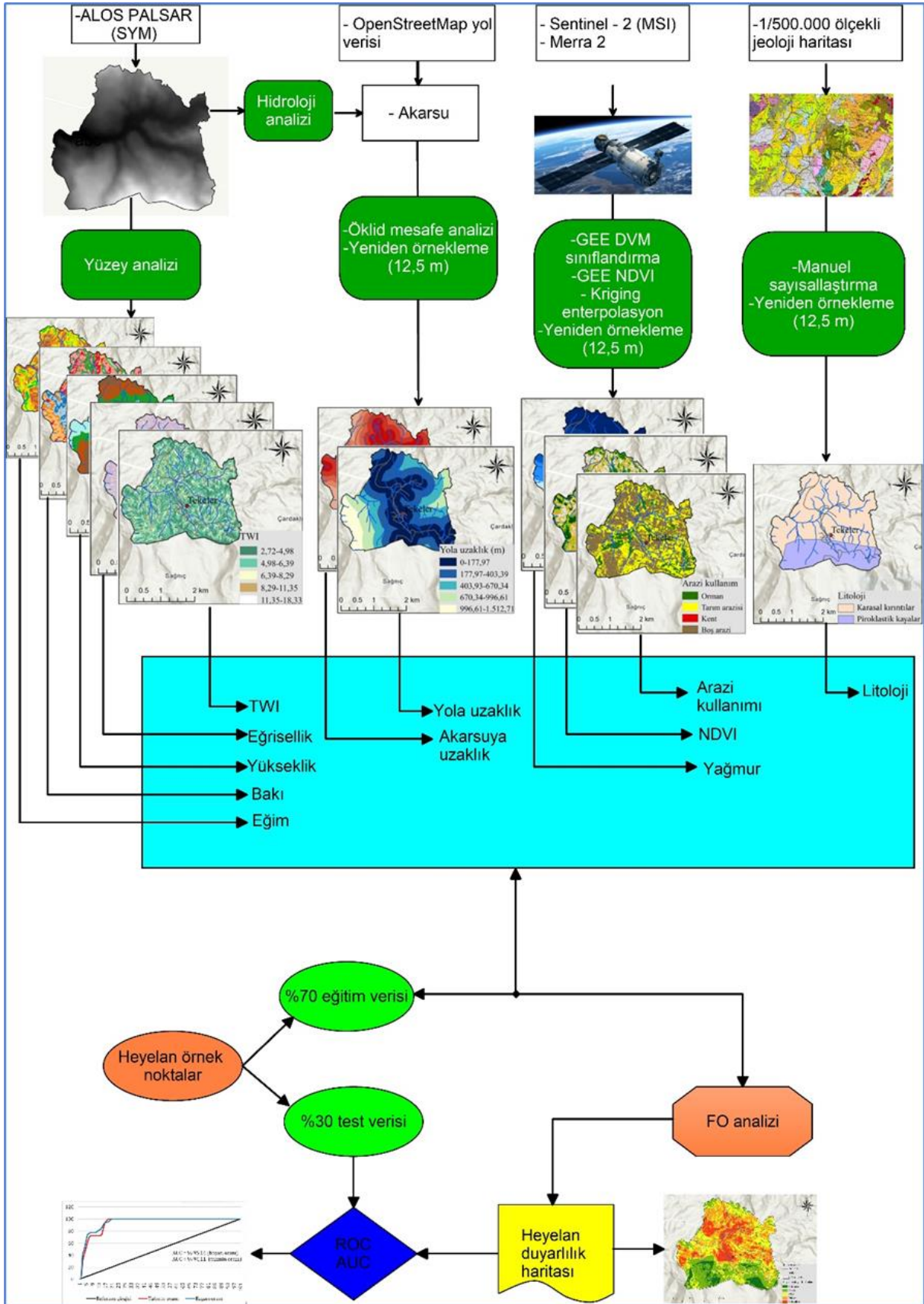
3. Yöntem

Bu çalışmada ilk olarak heyelan olan bölge Google Earth görüntüleri üzerinden belirlenerek rastgele 67 adet nokta belirlenmiştir. Belirlenen bu noktaların %70

eğitim, %30'u ise test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. İkinci adımda ise Tekeler köyünde heyelan duyarlılık haritası için FO metodunda kullanılacak koşullandırma faktörleri belirlenmiştir. Koşullandırma faktörleri raster haritaların sayısallaştırılması, OpenStreetMap

verilerinin kullanılması, optik uydu görüntülerinden sınıflandırma, meteorolojik uydu verilerinden enterpolasyon ve ALOS PALSAR 12,5 m SYM verilerinden çeşitli hidrolojik ve yüzey analizleri ile üretilmiştir. Bu

çalışmada sırasıyla yağış, eğim, baki, yükseklik, nehre uzaklık, yola uzaklık, arazi kullanım, litoloji, TWI, NDVI koşullandırma faktörleri olarak seçilmiştir. Çalışma ya ait iş akışı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil.3 İş akı diyagramı

3.1. Koşullandırma Faktörleri

3.1.1. Yağış

Heyelan oluşumunu tetikleyen en önemli faktörlerden birisi yağıştır. Özellikle sık ve kısa süreli yağışlar heyelan oluşumunda artırıcı bir etkiye sahiptir (Mallick ve ark., 2021). Sızan yağmur suları boşlukları doldurarak pozitif bir basınç geliştirip şevin direncini kırarak yenilmesini sağlar ve heyelan olayı gerçekleşir (Rana ve Babu, 2022). Bu çalışmada bölgeyle ilişkin yağmur verileri Araştırma ve Uygulamalar için Modern Çağ Retrospektif Analizi (Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, MERRA-2) uydusunun sağladığı meteorolojik veriler kullanılmıştır. Bölgenin tamamına kapsayacak şekilde toplam 21 sanal istasyon belirlenmiş ve bu istasyona düşen son 15 yılın günlük yağış verileri elde edilmiştir. Elde edilen günlük yağış verilerinden 15 yılın yıllık yağış miktarları hesaplanmış ve daha sonra ortalama alınarak belirlenen her istasyon için ortalama yağış verisi elde edilmiştir. ArcGIS yazılımı kullanılarak kriging enterpolsayon metoduyla yağış haritası üretilmiş ve 12,5 m olarak yeniden örneklendirilmiştir. Üretilen yağış haritası doğal kırılma (natural breaks (Jenks), NB) algoritması kullanılarak beş farklı kategoride sınıflandırılmıştır (Şekil 4a). NB optimizasyon yöntemi, veri değerlerinde doğal kırılmaları kullanarak koşullandırma faktörlerini sınıflandırır (Gong ve ark., 2021).

3.1.2. Eğim

Arazi eğimindeki değişimler heyelan oluşumunda dikkate alınması gereken önemli bir diğer kriterdir. Genel olarak eğim açısı zemindeki şev stabilitesi ve gerilme dağılımları ile ilişkilidir (Chen ve Zhang, 2021). Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında eğimin derecesi her zaman etkileyici bir faktör olarak kullanılmaktadır (Maqsoom ve ark., 2021). Bu çalışmada eğim haritası ALOS PALSAR SYM verisi üzerinden ArcGIS yüzey analizleri ile üretilmiştir (ALOS PALSAR SYM verisi yüzey analizlerinin tümünde kullanılmıştır). Üretilen harita beş farklı eğim sınıfına ayrılmıştır (Şekil 4b).

3.1.3. Bakı

Oluşan heyelanların çoğunu belli bir yönelime sahip yamaçlarda meydana gelmektedir. Farklı yönlerde güneş ışığına ve çeşitli iklimsel etkilere maruz kalan alanlar yüzeydeki morfolojik yapıyı etkilemekte ve heyelan oluşumunu tetiklemektedir. Özellikle yoğun yağış alan yamaçlar zeminin bitki örtüsü, eğim, geçirimsizlik gibi zemin türlerinde hâkim bakıdaki yamaçlarda diğer bakılara göre boşluk suyu basıncı artmasına sebep olur (Akıncı ve ark., 2015). Bu çalışmada yönler sekiz farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4c).

3.1.4. Yükseklik

Arazi yüksekliği arazinin yerçekimi potansiyel enerjisini, jeolojik ve jeomorfolojik süreçleri belirleyen kilit bir faktör olarak ilgili çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Yi ve ark., 2019). Arazinin SYM

verisinden elde edilen yükseklik haritası NB algoritması kullanılarak beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4d).

3.1.5. Akarsuya ve yola uzaklık

Akarsuların vadilerden geçtikleri şevleri zamanla aşındırma etkisi heyelan oluşumunda önemli bir faktör olarak değerlendirilir. Bu çalışmada akarsu kolları CBS hidrolojik analiz ile SYM verisi kullanılarak üretilmiş ve 12,5 m yeniden örneklendirilmiştir. Üretilen akarsu kolları öklid mesafe analizi ile tüm çalışma sahasını kapsayacak şekilde beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4e). Benzer şekilde heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesinde bölgede bulunan hâkim yollar arazinin stabilitesi açısından önemli bir antropojenik özelliktedir (Senouci ve ark., 2021). Çalışma alanına ait yollar OpenStreetMap'ten vektör veri formatında indirilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Yol ağındaki mesafe analizinde akarsuya uzaklıkta olduğu gibi öklid mesafe analizi kullanılarak raster formatında harita üretilmiş ve 12,5 m yeniden örneklendirilmiştir. Üretilen harita beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4f).

3.1.6. Arazi kullanımı

Arazi kullanımındaki değişiklikler özellikle tarım ve orman arazilerinin kent alanlarına dönüştürülmesi veya orman arazilerinin tarım arazilerine dönüştürülmesi, arazi üzerinde yapılan çeşitli mühendislik ve altyapı uygulamaları gibi aktiviteler zamanla toprak stabilitesini değiştirmektedir (El Jazouli ve ark., 2019). Çalışma bölgesine ait arazi kullanım haritası Sentinel-2 görüntüleri üzerinden piksel tabanlı sınıflandırma yapılarak üretilmiştir. Sınıflandırma çalışması GEE platformunda JavaScript kodlama dili kullanılarak yapılmıştır. Bu amaçla arazi kullanım formu ormanlar, köy yerleşim alanları, tarım arazileri ve boş alanlar olmak üzere dört farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4g). Sınıflandırma amaçlı son yıllarda oldukça fazla tercih edilen güçlü bir makine öğrenme algoritması olan DVM kullanılmıştır. DVM temel olarak, sınıfların en yakın noktalar arasındaki boşlukları (margin) maksimize etmeyi amaçlayan bir öğrenme algoritmasıdır (Cortes ve Vapnik, 1995). Sentinel-2 görüntüleri 10m mekânsal çözünürlüğe sahip görüntülerdir. Sınıflandırma sonucu elde edilen 10mx10m görüntüler diğer yüzey analizleri ile uyum sağlaması için 12,5x12,5 m yeniden örneklendirilmiştir.

3.1.7. Litoloji

Her malzeme sınıfı farklı kayma mukavemeti ve geçirgenlik özelliklerine sahip olması nedeniyle şev stabilitesinde en kontrol edici parametrelerden birisidir (Yalcin ve Bulut, 2007). Farklı kayaçlar şev malzemesinin mukavemetine olumlu ya da olumsuz bir şekilde katkıda bulunan çeşitli bileşimlere ve yapılarla sahiptir (Mersha ve Meten, 2020). 1/500.000 ölçeğinde jeoloji haritaları Maden Teknik Arama Genel Müdürlüğü'nün sitesinden ücretsiz olarak kullanıcılara servis edilmektedir. Çalışma alanına ait Jeoloji haritası 1/500.000 ölçeğinde indirilip manuel olarak vektör veri formatına (sayısallaştırma) dönüştürülmüştür. Çalışma alanı karasal kırıntılar ve

piroklastik kayaç birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 4h). 1/500.000 ölçekli harita daha genel kayaç türlerini göstermektedir. Bu çalışmada genel ayrıntıyı göstermekte olup çalışmanın amacına uygundur.

3.1.8. Eğrisellik

Eğim açısı veya bakı değişim oranı olarak tanımlanan eğrilik düzlemi içbükey, düz ve dışbükey olarak üç farklı sınıfta kategorize edilir. Piksellerin aldığı pozitif değerler arazinin dışbükey, sıfır değerleri düz ve negatif değerler ise arazinin içbükey olduğu anlamına gelir. Bu arazi formlarının suyun akışı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Dışbükey alanlar su akışı eşit olarak dağıtıp sonucu etkilemez fakat bunun aksine içbükey alanlar suyun en alt kısımda birikmesine neden olur ve heyelan oluşumunu tetikler (Senouci ve ark., 2021). Bu çalışmada SYM verisi üzerinden CBS ortamında yüzey analiz uygulanarak eğrisellik haritası üretilmiştir. Üretilen harita içbükey, düz ve dışbükey olmak üzere üç farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4i).

3.1.9. Topografik nemlilik indeksi

Moore ve ark. (1991) yer altı suyu potansiyelini belirlemek için TWI önermişlerdir. TWI aynı zamanda toprağın nemlilik durumunu da temsil eder. Toprak nemi boşluk suyu basıncına neden olur ve özellikle şev kırılmasını kontrol eden toprak direncini düşürür (Alqadhi ve ark., 2022). Bu nedenden dolayı heyelan çalışmalarında önemli bir kriter olarak kullanılır. TWI aşağıdaki Eşitlik 1 ile hesaplanır.

$$TWI = \ln\left(\frac{\alpha}{\tan\beta}\right) \quad (1)$$

Burada, α bir münhani boyunca birim noktadan geçen yukarı eğim alanıdır. $\tan\beta$ ise noktadaki eğim açısını ifade eder. Bu çalışmada SYM verisi kullanılarak CBS ortamında üretilen TWI haritası, NB algoritması ile, beş farklı sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4j).

3.1.10. Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi

NDVI, bitki indeksi Rouse ve ark. (1974) tarafından geliştirilmiştir. Sağlıklı bitki örtüsü, yakın kızıl ötesi ışığın büyük bölümünü yansıtırken, sağlıklı veya seyrek bitki örtüsü yakın kızıl ötesi ışığın çok azını yansıtır. Bu bilinen özellik sayesinde kırmızı ve infrared bantlarının normalleştirilmiş farkı bitki örtüsünü tespit etmede iyi bir yöntemdir (Acar ve ark., 2021). Belirli bir piksel için NDVI hesaplamaları her zaman (-1) ile (+1) arasında değişen bir sayı ile sonuçlanır (Rouse ve ark., 1974). Çalışmada NDVI bitki indeksi Eşitlik 2 ile hesaplanır.

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (2)$$

Burada, Sentinel-2 görüntüleri için sırasıyla NIR bandı B8 ve RED bandı ise B4 ifade eder. NDVI GEE platformunda hazırlanmıştır. Elde edilen harita 12,5 m yeniden örneklenerek analize dahil edilmiştir.

3.2. Frekans oranı

FO bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki öngörücü ilişkiyi ölçmek için iki değişkenli popüler bir yöntemdir (Khosravi ve ark., 2016). Özellikle doğal felaketler taşkın (Cao ve ark., 2016), heyelan (Li ve ark., 2022) ve yer altı suyu tespiti (Elvis ve ark., 2022) gibi çalışmalarda sıklıkla tercih edilir. FO yöntemi, her bir kriterin tahmini heyelan üzerindeki etkisini değerlendiren temel bir istatistiksel analiz yöntemidir. FO Eşitlik 3, heyelan duyarlılık indeksi (HDI) ise Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanır.

$$FO = \frac{\left(\frac{N_{pix}(SX_i)}{\sum_{i=1}^m SX_i}\right)}{\left(\frac{N_{pix}(X_j)}{\sum_{j=1}^n N_{pix}(X_j)}\right)} \quad (3)$$

$$HDI = \sum_{j=1}^n FO \quad (4)$$

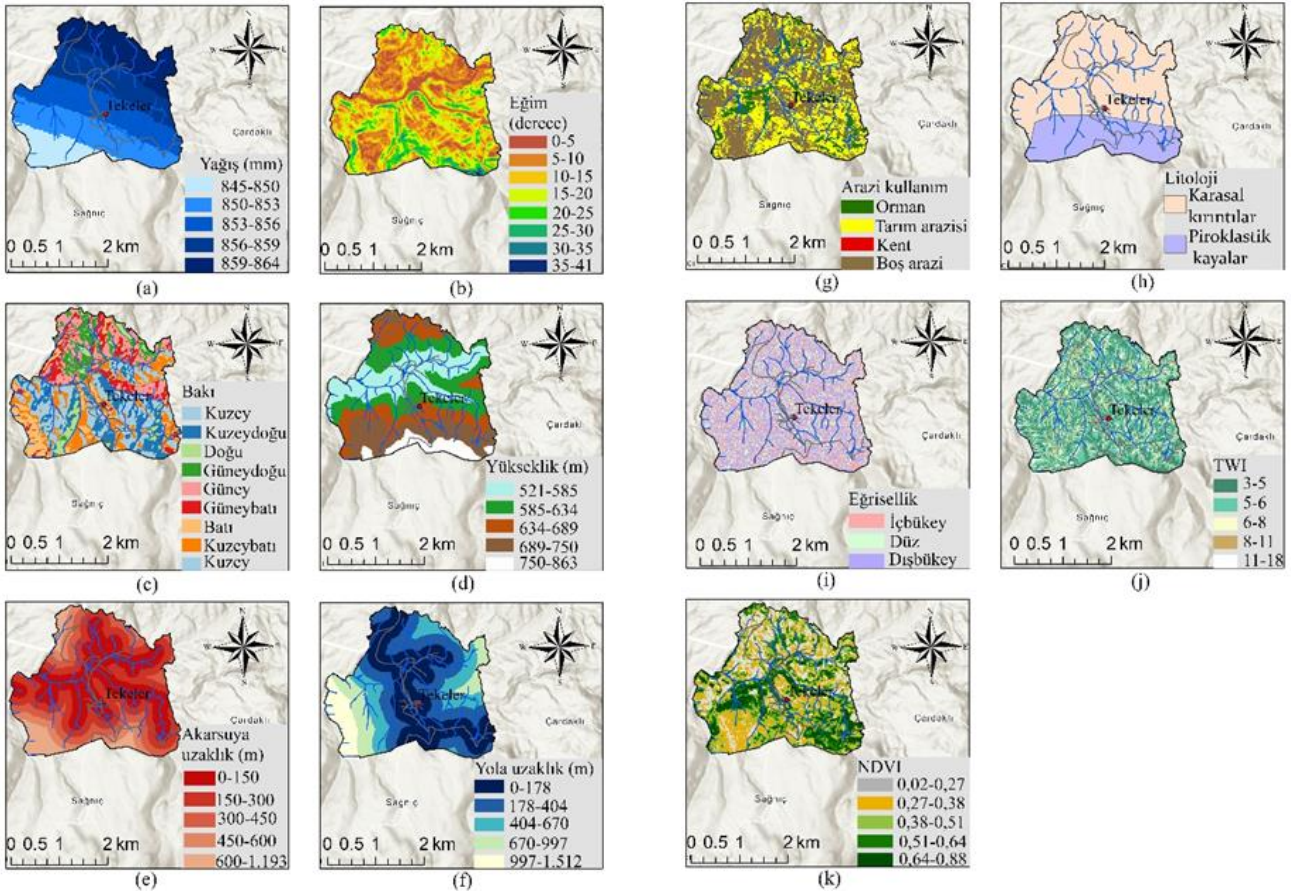
$$TO = \frac{(max_{BF} - min_{BF})}{\min (max_{BF} - min_{BF})} \quad (5)$$

Burada X kriterinin i sınıfındaki heyelan alanındaki piksel sayısı $N_{pix}(SX_i)$ ile temsil edilir. X_j faktörü içindeki toplam piksel sayısı ise $N_{pix}(X_j)$ ile temsil edilir. m , X_i faktöründeki sınıfların sayısı, n ise kriter sayısıdır (Shafapour Tehrany ve ark., 2019). FO tabloları Microsoft Excel yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Diğer mekansal analizler için ise ArcGIS yazılımı kullanılmıştır.

Eşitlik 5' de TO tahmin oranı, BF ise bağıl frekanstır. max_{BF} RO' nun aldığı en yüksek değeri ifade ederken, min_{BF} ise en düşük değeri ifade eder. $\min (max_{BF} - min_{BF})$ ise tümü için minimum değerdir (Sarkar ve ark., 2021).

3.3. Doğruluk değerlendirmesi

FO metodun sonuçlarının performansını değerlendirmek için ROC ve AUC kullanılmıştır. ROC ve AUC teknikleri doğal afetlerin araştırılmasında sıklıkla kullanılır (Suppawimut, 2021). Yöntemde elde edilen heyelan duyarlılık haritası hem test verileriyle hem de eğitim verileriyle karşılaştırılmıştır. AUC 0 ile 1 arasında değer alır. Bu iki değer arasındaki diğer aralıklar şu şekilde sıralanabilir: zayıf (0,5-0,6), orta (0,6-0,7), iyi (0,7-0,8), çok iyi (0,8-0,9) ve mükemmel (0,9-1,0) (Shafapour Tehrany ve ark., 2019). Bu çalışmada toplam heyelan bölgesi içerisinde olacak şekilde 67 adet nokta belirlenmiş bu noktaların 47 tanesi eğitim verisi 20 tanesi ise test verisi olarak kullanılmıştır.



Şekil 4. Koşullandırma faktörleri: a) yağış, b) eğim, c) bakı, d)yükseklik, e) akarsuya uzaklık, f) yola uzaklık, g) arazi kullanım, h) litoloji, i) eğrisellik, j) TWI, k) NDVI

4. Bulgular ve Tartışma

GEE platformunda yapılan sınıflandırmanın doğruluğu sınıflandırma amaçlı kullanılan Sentinel-2 görüntüleri üzerinden yapılmıştır. Bu amaçla sınıflandırmak için seçilen eğitim verilerinin %70'i algoritmayı eğitmek için kullanırken geriye kalan %30'u sınıflandırmanın doğruluğunu kontrol için kullanılmıştır. Sınıflandırmanın doğruluğu kullanıcı doğruluğu (KD), üretici doğruluğu (ÜD), genel doğruluk (GD) ve Kappa (κ) istatistik testi ile değerlendirilerek elde edilen sonuçlar **Tablo 1**'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde köy yerleşim yerlerinin bölgede az olması KD değerinin diğerlerine göre daha düşük olmasına sebep olmuştur. Fakat sınıflandırmanın GD %86,80 ve κ 0.786 olması bu sınıflandırmanın başarılı olduğunu gösterir.

Tablo 1. Sınıflandırma doğrulukları

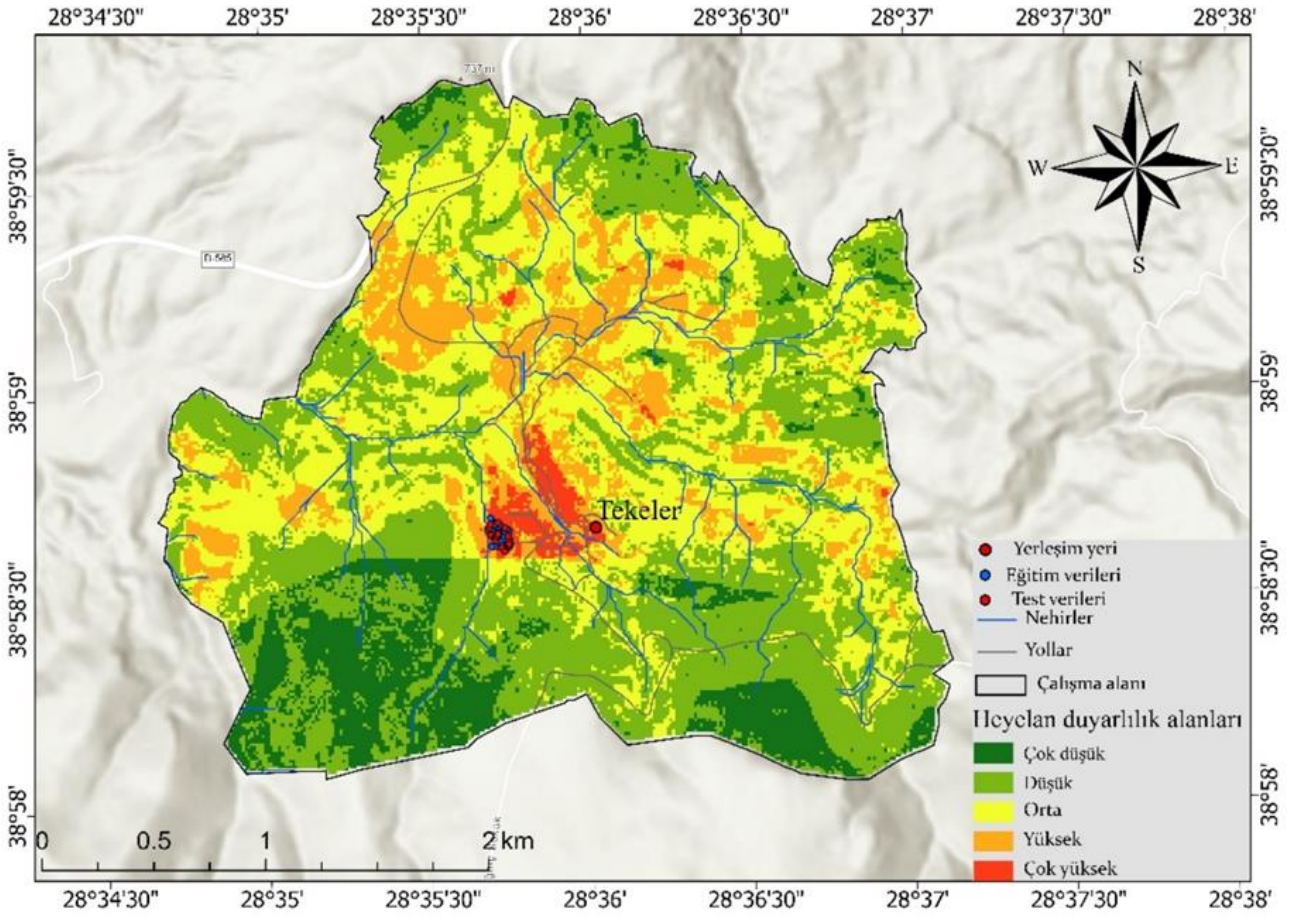
Sınıflar	KD (%)	ÜD (%)	GD (%)	κ
Orman	99,96	78,46		
Köy yerleşim	54,29	93,87	86,80	0.786
Tarım arazileri	65,71	82,14		
Boş araziler	88,45	97,38		

FO yönteminde heyelan oluşma riskini eğitim verilerini dikkate alarak her kriter için ayrı ayrı belirlemiştir. Elde edilen FO sonuçları **Tablo 2**'de gösterilmiştir. FO ağırlığının yüksek olması o sınıf ile heyelan oluşumu arasında güçlü bir korelasyon olduğunu gösterir. Bu korelasyona dayanarak o piksellere karşılık bölgede heyelan olma olasılığı da artacaktır.

FO istatistiksel yöntem gerçek olgularla çalıştığı için araziden elde edilen eğitim verilerinin yoğunluğu ve araziye dağılımı çalışma alanından elde edilecek sonuçları da etkilemektedir. Bunun sebebi araziden elde edilen eğitim verileri tüm ana koşullandırma faktörlerini temsil etse de alt sınıflardaki dağılımı değişken olacaktır. Bu çalışma da **Tablo 2** incelendiğinde de sırasıyla yağış kriterinde heyelan olan bölgede 850-856 mm arasında yağışa sahip bölgede heyelan olduğu görülmüştür. Eğim sınıfında ise 5 derece ile 25 derece sınıfı içerisinde heyelan gerçekleşmiştir. Heyelan özellikle batı, kuzeybatı ve kuzey yönlerinin hâkim olduğu bakıda gerçekleştiği görülmüştür. Arazinin topografyası dalgalı formda olup heyelan 585-634 m aralığında değişen yükseklikte gerçekleşmiştir. Çalışma alanında sürekli bir akarsu olmasa da mevsimsel etkilerle geçici akarsular oluşabilmektedir. SYM verisi üzerinden elde edilen akarsu kollarına ve aynı şekilde OpenStreetMap den elde edilen yol verisi kullanılarak yapılan yakınlık analizinde heyelan olan bölge sırasıyla akarsuya 0-150 m, yola ise 0-178 m mesafeleri arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı arazi kullanımını açısından ise ormanlık alanlar tarım arazileri ve boş arazilerden oluşmaktadır. Heyelan oluşan bölge tarım arazilerinin ve boş alanların olduğu alanda gerçekleştiği görülmüştür. Çalışma alanı litolojik olarak iki kayaç türünün hâkim olduğu bir bölgedir. Heyelan olan alanda ise karasal kırıntılı kayalar mevcuttur. Diğer belirlenen kriterler ise çalışma alanına neredeyse homojen dağılım sergilemektedir. **Tablo 2**'de hesaplanan veriler kullanılarak CBS ortamında üretilen heyelan duyarlılık haritası **Şekil 5**'te verilmiştir.

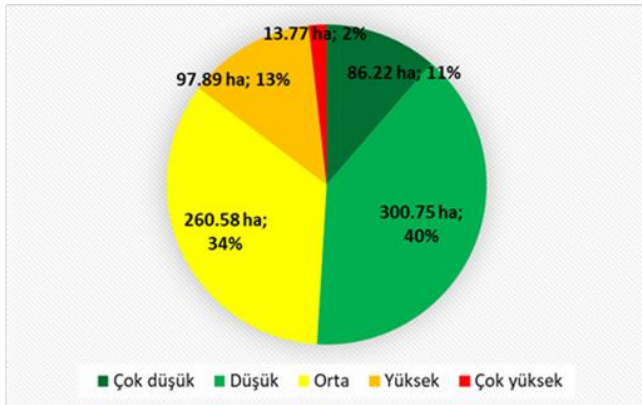
Tablo 2. FO parametre değerleri

Faktör	Faktör alt sınıfları	Piksel sayısı	% oranı	Faktör alanları	% oran	FO	TO	BF
Yağış	845-850	0,00	0,00	5.397	10,89	0,00	0,00	2,01
	850-853	2.968,75	47,50	11.574	23,34	2,03	0,48	
	853-856	3.281,25	52,50	11.719	23,64	2,22	0,52	
	856-859	0,00	0,00	10.204	20,58	0,00	0,00	
	859-864	0,00	0,00	10.685	21,55	0,00	0,00	
Eğim	0-5	0,00	0,00	5.363	11,04	0,00	0,00	2,36
	5-10	156,00	2,44	13.803	28,41	0,09	0,02	
	10-15	2.500,00	39,02	13.316	27,40	1,42	0,31	
	15-20	3.594,00	56,10	9.752	20,07	2,80	0,61	
	20-25	156,00	2,44	4.356	8,96	0,27	0,06	
	25-30	0,00	0,00	1.632	3,36	0,00	0,00	
	30-35	0,00	0,00	320	0,66	0,00	0,00	
	35-41	0,00	0,00	50	0,10	0,00	0,00	
Bakı	Kuzey (0-22,5)	0,00	0,00	6.542	13,46	0,00	0,00	3,33
	Kuzeydoğu (22,5-67,5)	0,00	0,00	6.640	13,66	0,00	0,00	
	Doğu (67,5-112,5)	0,00	0,00	2.484	5,11	0,00	0,00	
	Güneydoğu (112,5-157,5)	0,00	0,00	3.834	7,89	0,00	0,00	
	Güney (157,5-202,5)	0,00	0,00	6.730	13,85	0,00	0,00	
	Güneybatı (202,5-247,5)	0,00	0,00	5.025	10,34	0,00	0,00	
	Batı (247,5-292,5)	5.312,50	82,93	5.237	10,78	7,69	0,86	
	Kuzeybatı (292,5-337,5)	937,50	14,63	7.251	14,92	0,98	0,11	
	Kuzey (337,5-360)	156,25	2,44	4.849	9,98	0,24	0,03	
Yükseklik	521-585	0,00	0,00	12.586	25,38	0,00	0,00	3,86
	585-634	6.406,00	100,00	13.215	26,65	3,75	1,00	
	634-689	0,00	0,00	10.794	21,76	0,00	0,00	
	689-750	0,00	0,00	9.341	18,83	0,00	0,00	
	750-863	0,00	0,00	3.659	7,38	0,00	0,00	
Akarsuya uzaklık	150	6.250,00	100,00	18.338	36,98	2,70	1,00	3,86
	300	0,00	0,00	14.281	28,80	0,00	0,00	
	450	0,00	0,00	8.256	16,65	0,00	0,00	
	600	0,00	0,00	4.635	9,35	0,00	0,00	
	600+	0,00	0,00	4.082	8,23	0,00	0,00	
Yola uzaklık	0-178	6.250,00	100,00	18.093	36,48	2,74	1,00	3,86
	178-404	0,00	0,00	13.282	26,78	0,00	0,00	
	404-670	0,00	0,00	8.587	17,31	0,00	0,00	
	670-997	0,00	0,00	5.700	11,49	0,00	0,00	
	997-1.512	0,00	0,00	3.932	7,93	0,00	0,00	
Arazi kullanım	Orman	0,00	0,00	6.560	13,22	0,00	0,00	3,75
	Tarım arazileri	156,00	2,63	20.307	40,94	0,06	0,03	
	Köy yerleşim	0,00	0,00	12	0,02	0,00	0,00	
	Boş araziler	5.781,00	97,37	22.725	45,81	2,13	0,97	
Litoloji	Karasal kırıntılar	6.250,00	100,00	34.395	69,37	1,44	1,00	3,86
	Piroklastik kayalar	0,00	0,00	15.187	30,63	0,00	0,00	
Eğrisellik	İç bükey	3.125,00	48,78	18.475	37,25	1,31	0,46	1,00
	Düz	938,00	14,63	12.804	25,82	0,57	0,20	
	Dış bükey	2.344,00	36,59	18.316	36,93	0,99	0,35	
TWI	3-5	2.343,75	36,59	14.533	29,91	1,22	0,34	1,30
	5-6	2.343,75	36,59	19.186	39,48	0,93	0,26	
	6-8	1.562,5	24,39	10.411	21,43	1,14	0,31	
	8-11	156,25	2,44	3.549	7,30	0,33	0,09	
	11-18	0,00	0,00	913	1,88	0,00	0,00	
NDVI	0,021-0,267	2.187,50	36,84	10.012	20,18	1,83	0,43	1,65
	0,267-0,381	2.812,50	47,37	14.009	28,24	1,68	0,39	
	0,381-0,508	937,50	15,79	10.289	20,74	0,76	0,18	
	0,508-0,646	0,00	0,00	8.641	17,42	0,00	0,00	
	0,646-0,877	0,00	0,00	6.653	13,41	0,00	0,00	



Şekil 5. Heyelan duyarlılık haritası

Üretilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek riskli alanlar olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır. Harita incelendiğinde köy yerleşiminin neredeyse tamamı çok yüksek risk altında olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek risk sınıfındaki alanlar haritada kuzey ve kuzeybatıya doğru artma eğilimindedir. Haritanın güney kısmında risk neredeyse yok denilecek kadar azdır. Güney kesimde keskin bir ayırım söz konusudur bu ayırım litoloji sınıfından kaynakladığı düşünülmektedir. Her bir sınıfın alan dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.

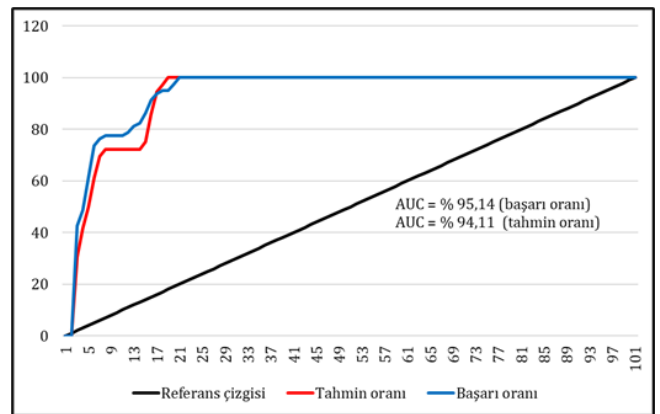


Şekil 6. FO metoduna göre elde edilen heyelan duyarlılık alanları

Heyelan duyarlılık haritasından elde ettiğimiz alanlar incelendiğinde heyelan açısından riskli diyebileceğimiz yüksek ve çok yüksek risk grubundaki alanlar sırasıyla

97,89 ha ve 13,77 ha olarak hesaplanmıştır. Bu iki alan sınıfının toplamı tüm alanın %15'ini oluşturmaktadır.

Bu çalışmanın başarı değerlendirilmesi eğri altındaki alanlara göre belirlendi. Heyelan olan bölgeden seçilen örnek noktalar eğitim ve test amaçlı kullanılma için ikiye bölünmüştür. AUC değeri her iki veri seti için hesaplanmıştır. Elde edilen sonuç grafiği Şekil 7'de verilmiştir. AUC değeri başarı oranı %95,14 iken tahmin oranı %94,11 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 7. AUC doğruluk değerlendirme

FO kullanılarak yapılmış daha önceki çalışmalar incelendiğinde, Melese ve ark. (2022) yaptıkları çalışmada heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için AHP, FO ve SE yöntemlerinin performansını karşılaştırmışlardır. Bu amaç için bakı, jeoloji, yükseklik,

eğim, toprak, yağış, arazi kullanımı, NDVI, TWI, eğrilik, nehre ve yola uzaklık olmak üzere on iki adet koşullandırma kriteri kullanmışlardır. AUC değeri AHP, SE ve FO için sırasıyla %86,5, %85,6 ve %82,5 olarak bulunmuşlardır. Bu sonuçlara göre AHP'nin diğer yöntemlere göre daha başarılı olduğu sonucuna varmışlardır. Li ve ark. (2021) Çin'in Huangyuan ilçesinde heyelan duyarlılık haritasını üretmek için yükseklik, eğim, baki, düzlem ve profil eğriliği, yola ve akarsuya ve faya olan uzaklık, litoloji, NDVI koşullandırma faktörleri seçilmiştir. Çalışmada bilgi metodu (information method, IM), FO ve yapay sinir ağları (YSA) yöntemleri kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler doğruluk değerlendirmesinde AUC değeri YSA, IM ve FO için sırasıyla 0,907, 0,900 ve 0,867 olarak hesaplanmıştır. Chandra ve Indrajit (2019) Himalaya bölgesinde heyelan duyarlılık haritaları için UA ve CBS teknikleri kullanışlar. Koşullandırma faktörleri için eğim, baki, yükseklik, profil eğriliği, NDVI, arazi kullanımı, drenaj yoğunluğu, yol yoğunluğu, jeoloji ve yağış kullanılmıştır. Arazi kullanım ve NDVI Sentinel-2 görüntüleri diğer veriler için ASTER (advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer) SYM kullanılmıştır. Çalışma FO yöntemi kullanılmış elde edilen harita çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek sınıflarına ayrılmıştır. Elde edilen heyelan doğruluk haritanın doğruluğu AUC tahmin oranı %89,90, başarı oranı ise %92,3 olarak hesaplandı. Günini Üzel ve Ötürk (2021) yaptıkları çalışmada Van ilinde heyelan duyarlılık haritalarını üretmek için FO yöntemini kullanmışlardır. Koşullandırma faktörleri için litoloji, fay hatlarına uzaklık, arazi kullanımı, yükseklik, eğim, baki eğrilik kriterleri kullanılmıştır. Heyelan envanterinin %70'i eğitim %30'u ise test verisi için bölünmüştür. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası %7,6'sı çok düşük, %20,0'i düşük, %27,7'si orta, %27,5'i yüksek ve %17,2'si çok yüksek olarak sınıflandırılmıştır. AUC değerini eşit aralıklı, doğal aralıklı, geometrik aralıklı ve kuantil sınıflandırma için ayrı ayrı hesaplamışlar ve tümünde sonucun 0,700'ün üzerinde çıktığını tespit etmişlerdir.

Yukarıda yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde bu çalışmada seçilen koşullandırma faktörlerinin hemen hemen hepsi diğer çalışmalarla benzerlik gösterdiği rahatlıkla söylenebilir. Bazı çalışmalarda faya uzaklıkta bir kriter olarak değerlendirilmiştir. Çalışılan bölgenin yaklaşık 25 km kuzeyinden Simav fay hattı geçmektedir. Fayın bölgeye olan mesafesi ve çalışılan alanının küçük olması fayın etkisinin çalışma alanı üzerindeki katkısını tam yansıtamayacağından bu çalışmada göz ardı edilmiştir. Diğer birçok çalışmada SYM verileri 30 m çözünürlüklü olması bu çalışmada ise 12,5 m ALOS PALSAR seçilmesi bu çalışmanın pozitif yönde hassasiyetini diğerlerine göre ön plana çıkarmaktadır. AUC değerleri yapılan diğer çalışmalarda hesaplanan değerlere göre oldukça başarılıdır.

Heyelan oluşumunda her ne kadar birçok kriter etkili olsa da arazinin jeolojik yapısı önemli bir kriterdir. Jeoloji haritaları yeryüzündeki çeşitli kayaç türleri, toprak yapısı ve yerin derinlikleri hakkında bilgi sağlarlar. Küçük ölçekli jeoloji haritaları kayaç türlerini daha genel gösterirken büyük ölçekli haritalar bölge jeolojisi hakkında daha detaylı bilgi sağlarlar. Bu çalışmada bölgenin jeoloji haritasının 1/25.000 gibi daha büyük

ölçek seçilmesi çalışmanın sonuçlarını daha pozitif yönde etkileyeceği söylenebilir.

5. Sonuçlar

Türkiye'nin Ege Bölgesinde oldukça fazla heyelanlar meydana gelmektedir. Bu heyelanlar kentsel gelişim, tarımsal faaliyetler, altyapı ve üst yapı gibi birçok uygulamada adeta bir fren niteliğindedir. Yaygın görülen heyelan modelleri kayma, akma, düşme ve devrilme olarak meydana gelmektedir. Arazideki bu kitlesel hareketleri tetikleyen birçok faktör mevcuttur. Bu çalışmayla birden fazla kriter dikkate alınarak Manisa ili Demirci İlçesi sınırları içerisinde bulunana Tekeler köyünde meydana gelen heyelan üzerinde bir çalışma yapılarak köyün heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan ve bir istatistik yöntemi olan FO kullanılmıştır. Koşullandırma faktörleri için veriler CBS ortamında çeşitli analizler yapılarak üretilmiştir. Özellikle arazi kullanım GEE platformunda Sentinel-2 görüntüleri kullanılarak kontrollü sınıflandırma teknikleri ile üretilirken NDVI ise aynı platformda hesaplatılarak analize dahil edilmiştir. Diğer yüzey analizlerini için 12,5 m çözünürlüklü ALOS PALSAR SYM verisi kullanılmıştır. Elde edilen heyelan duyarlılık haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılarak riskli alanlar belirlenmiştir. Bu çalışma daha önce bölgede teknik incelemelerin ötesine geçmeyen herhangi bir çalışma yapılmaması, kullanılan teknikler ve yöntemler dizisi ile çalışmaya özgünlük katmaktadır. Aynı zamanda elde edilen heyelan duyarlılık haritası mühendisler ve karar vericiler açısından oldukça fazla önem arz etmekte olup planlama ve önlem alma açısından rehber niteliği taşımaktadır.

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Abeyisiriwardana, H. D., & Gomes, P. I. A. (2022). Integrating vegetation indices and geo-environmental factors in GIS-based landslide-susceptibility mapping: using logistic regression. *Journal of Mountain Science*, 19(2), 477-492. <https://doi.org/10.1007/s11629-021-6988-8>
- Adition, A., Kubota, T., & Shinohara, Y. (2018). Geomorphology Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and arti fi cial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, 318, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.06.006>
- Acar, U., Yilmaz, O. S., Çelen, M., Ateş, A. M., Gülgen, F. & Şanlı, F. B. (2021). Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine Determination of Mucilage in The Sea of Marmara Using Remote Sensing Techniques with Google Earth Engine. *International*

- Journal of Environment and Geoinformatics, 8(4), 423–434. doi:10.30897/ijegeo.
- Aghlmand, M., Onur, M. İ., & Talaei, R. (2020). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. *European Journal of Science and Technology*, 224–230. <https://doi.org/10.31590/ejosat.araconf28>
- Akıncı, H., Özalp, A. Y., & Kılıçer, S. T. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP Yöntemi Kullanılarak Planlı Alanlarda Heyelan Duyarlılığının Değerlendirilmesi: Artvin Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 1(1–2), 40–53.
- Al Kalbani, K., & Rahman, A. A. (2022). 3D city model for monitoring flash flood risks in Salalah, Oman. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 7(1), 17-23.
- Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi Heyelan Bölgesinin İHA Kullanarak Modellenmesi Modelling of a Landslide Site Using a UAV. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1), 17–21.
- Alqadhi, S., Mallick, J., Talukdar, S., Bindajam, A. A., Van Hong, N., & Saha, T. K. (2022). Selecting optimal conditioning parameters for landslide susceptibility: experimental research on Aqabat Al-Sulbat, Saudi Arabia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(3), 3743–3762. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15886-z>
- Avcı, V. (2016). Gökdere Havzası ve Çevresinin (Bingöl Güneybatısı) Frekans Oranı Metoduna Göre Heyelan Duyarlılık Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 34, 160–177.
- Aydinoğlu, A., & Altürk, G. (2021). Heyelan Duyarlılık Haritalarının İstatistik ve Makine Öğrenmesi Teknikleri Kullanılarak Üretilmesi: Taşlıdere Havzası Örneği (Rize). *Coğrafya Dergisi / Journal of Geography*, 43, 159–176. <https://doi.org/10.26650/jgeog2021-814561>
- Berna, T., Orhan, O., & Tekin, S. (2021). Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Adıyaman Gölbaşı-Adıyaman Merkez Arasının Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(3), 701–708.
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability (Switzerland)*, 8(9), 948. <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- Chandra, S., & Indrajit, P. (2019). GIS - based spatial prediction of landslide susceptibility using frequency ratio model of Lachung River basin, North Sikkim, India. *SN Applied Sciences*, 1(5), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0422-7>
- Chen, W., & Zhang, S. (2021). GIS-based comparative study of Bayes network, Hoeffding tree and logistic model tree for landslide susceptibility modeling. *Catena*, 203, 105344. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105344>
- Cortes, C., & Vapnik, V. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297.
- Dang, V. H., Hoang, N. D., Nguyen, L. M. D., Bui, D. T., & Samui, P. (2020). A novel GIS-Based random forest machine algorithm for the spatial prediction of shallow landslide susceptibility. *Forests*, 11(1), 118. <https://doi.org/10.3390/f11010118>
- El Jazouli, A., Barakat, A., & Khellouk, R. (2019). GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). *Geoenvironmental Disasters*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40677-019-0119-7>
- Elvis, B. W. W., Arsène, M., Théophile, N. M., Bruno, K. M. E., & Olivier, O. A. (2022). Integration of shannon entropy (SE), frequency ratio (FR) and analytical hierarchy process (AHP) in GIS for suitable groundwater potential zones targeting in the Yoyo River basin, Méiganga area, Adamawa Cameroon. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 39, 100997. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100997>
- Gao, Z. & Ding, M. (2022). Application of convolutional neural network fused with machine learning modeling framework for geospatial comparative analysis of landslide susceptibility. *Natural Hazards*, 1-26. doi:10.1007/s11069-022-05326-7
- Ghasempour, F., Sekertekin, A., & Kutoglu, S. H. (2021). Google Earth Engine based spatio-temporal analysis of air pollutants before and during the first wave COVID-19 outbreak over Turkey via remote sensing. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128599. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128599>
- 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>
- Günini Üzel, N., & Ötürk, D. (2021). Van İli Heyelan Duyarlılığının Frekans Oranı Yöntemiyle Analizi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 865–884. <https://doi.org/10.17482/uumfd.969246>
- Hang, H. T., Hoa, P. D., Tru, V. N., & Phuong, N. V. (2021). Landslide Susceptibility Mapping Along National Highway-6, Hoa Binh Province, Vietnam Using Frequency Ratio Model and Gis. *International Journal of GEOMATE*, 21(85), 84–90. <https://doi.org/10.21660/2021.85.j2222>
- 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/makufebd.414392>
- Huang, W., DeVries, B., Huang, C., Lang, M. W., Jones, J. W., Creed, I. F., & Carroll, M. L. (2018). Automated extraction of surface water extent from Sentinel-1 data. *Remote Sensing*, 10(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/rs10050797>
- Jeyaseelan, A. T. (2003). Droughts & floods assessment and monitoring using remote sensing and GIS. *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*, 291.
- Kavzoglu, T., & Teke, A. (2022). Predictive Performances of Ensemble Machine Learning Algorithms in

- Landslide Susceptibility Mapping Using Random Forest, Extreme Gradient Boosting (XGBoost) and Natural Gradient Boosting (NGBoost). *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-06560-8>
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*, 83(2), 947–987. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>
- Kılıçoğlu, C. (2020). Frekans Oranı Metodu ve Bayesyen Olasılık Modeli Kullanılarak Samsun İli Vezirköprü İlçesinin Heyelan Duyarlılık Haritasının Üretilmesi. *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*, 20(1), 138–154. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.658662>
- Kim, H. G., Lee, D. K., Park, C., Ahn, Y., Kil, S. H., Sung, S. & Biging, G. S. (2018). Estimating landslide susceptibility areas considering the uncertainty inherent in modeling methods. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32(11), 2987–3019. <https://doi.org/10.1007/s00477-018-1609-y>
- Koç, E., & Küçükönder, M. (2021). Erkenez Havzası CBS Matris Yöntemi ile Heyelan Duyarlılık Değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(1), 141–154.
- Li, B., Wang, N., & Chen, J. (2021). GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping Using Information, Frequency Ratio, and Artificial Neural Network Methods in Qinghai Province, Northwestern China. *Advances in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1155/2021/4758062>
- Li, L., Nahayo, L., Habiyaremye, G., & Christophe, M. (2022). Applicability and performance of statistical index, certain factor and frequency ratio models in mapping landslides susceptibility in Rwanda. *Geocarto International*, 37(2), 638–656. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1730451>
- Liang, J., Xie, Y., Sha, Z., & Zhou, A. (2020). Modeling urban growth sustainability in the cloud by augmenting Google Earth Engine (GEE). *Computers, Environment and Urban Systems*, 84, 101542. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101542>
- Mallick, J., Alqadhi, S., Talukdar, S., Alsubih, M., Ahmed, M., Khan, R. A., Kahla, N. Ben, & 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 (Switzerland)*, 13(2), 1–30. <https://doi.org/10.3390/su13020457>
- Mandal, S., & Mandal, K. (2018). Modeling and mapping landslide susceptibility zones using GIS based multivariate binary logistic regression (LR) model in the Rorachu river basin of eastern Sikkim Himalaya, India. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(1), 69–88. <https://doi.org/10.1007/s40808-018-0426-0>
- Maqsoom, A., Aslam, B., Khalil, U., Abbas, Z., Sheheryar, K., & Tahir, A. (2021). Landslide susceptibility mapping along the China Pakistan Economic Corridor (CPEC) route using multi - criteria decision - making method. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01226-0>
- Melese, T., Belay, T., & Andemo, A. (2022). Application of analytical hierarchal process, frequency ratio, and Shannon entropy approaches for landslide susceptibility mapping using geospatial technology: The case of Dejen district, Ethiopia. *Arabian Journal of Geosciences*, 15(5), 1–21. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09672-5>
- Mersha, T., & Meten, M. (2020). GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 1–22. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00155-x>
- Moore, I. D., Grayson, R. B., & Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3–30. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050103>
- Nohani, E., Moharrami, M., Sharafi, S., Khosravi, K., Pradhan, B., Pham, B. T., Lee, S., & Melesse, A. M. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Using Different GIS-Based Bivariate Models. *Water*, 11(7), 1402. <https://doi.org/10.3390/w11071402>
- Oğuz, E., Oğuz, K. & Öztürk, K. (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7 (3), 220-234.
- Özşahin, E. (2015). Landslide Susceptibility Analysis by Geographical Information Systems: The Case of Ganos Mount (Tekirdağ). *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2015(1), 47–63. <https://doi.org/10.15659/hartek.15.04.68>
- Pal, S. C. & Chowdhuri, I. (2019). GIS-based spatial prediction of landslide susceptibility using frequency ratio model of Lachung River basin, North Sikkim, India. *SN Applied Sciences*, 1(5), 1–25. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0422-7>
- Patel, N. N., Angiuli, E., Gamba, P., Gaughan, A., Lisini, G., Stevens, F. R., Tatem, A. j., & Trianni, G. (2015). Multitemporal settlement and population mapping from Landsat using Google Earth Engine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.09.005>
- Rana, H., & Babu, G. L. S. (2022). Regional back analysis of landslide events using TRIGRS model and rainfall threshold: an approach to estimate landslide hazard for Kodagu, India. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 81(4), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10064-022-02660-9>
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS, NASA Special Publication. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium*, 309–317.
- Sahana, M., & Patel, P. P. (2019). A comparison of frequency ratio and fuzzy logic models for flood susceptibility assessment of the lower Kosi River

- Basin in India. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), 1–27. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1>
- Şahin, E. K. (2018). Heyelan Duyarlılık Haritası İçin Adımsal Regresyona Dayalı Faktör Seçme Yönteminin Etkinliğinin Araştırılması. *Harita Dergisi*, 84(159), 1–15.
- Sarı, F., & Koyuncu, F. (2021). Multi criteria decision analysis to determine the suitability of agricultural crops for land consolidation areas. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 6(2), 64–73
- Sarkar, D., Saha, S., & Mondal, P. (2021). GIS-based frequency ratio and Shannon's entropy techniques for flood vulnerability assessment in Patna district, Central Bihar, India. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1–22. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03627-1>
- Semlali, I., Ouadif, L., & Bahi, L. (2019). Landslide susceptibility mapping using the analytical hierarchy process and GIS. *Current Science*, 116(5), 773–779. <https://doi.org/10.18520/cs/v116/i5/773-779>
- Senouci, R., Taibi, N. E., Teodoro, A. C., Duarte, L., Mansour, H., & Meddah, R. Y. (2021). Gis-based expert knowledge for landslide susceptibility mapping (LSM): Case of Mostaganem coast district, west of Algeria. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1–21. <https://doi.org/10.3390/su13020630>
- Shafapour Tehrani, M., Kumar, L., Neamah Jebur, M., & Shabani, F. (2019). Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10(1), 79–101. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1506509>
- Siahkamari, S., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., & Rahmati, O. (2018). Spatial prediction of flood-susceptible areas using frequency ratio and maximum entropy models. *Geocarto International*, 33(9), 927–941. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1316780>
- Suppawimut, W. (2021). GIS-Based Flood Susceptibility Mapping Using Statistical Index and Weighting Factor Models. *Environment and Natural Resources Journal*, 19(6), 1–13. <https://doi.org/10.32526/enrj/19/2021003>
- Tacconi Stefanelli, C., Casagli, N. & Catani, F. (2020). Landslide damming hazard susceptibility maps: a new GIS-based procedure for risk management. *Landslides*, 17(7), 1635–1648. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01395-6>
- Thanh, D. Q., Nguyen, D. H., Prakash, I., Jaafari, A., Nguyen, V. T., Van Phong, T., & Pham, B. T. (2020). GIS based frequency ratio method for landslide susceptibility mapping at da Lat City, Lam Dong Province, Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 42(1), 55–66. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/42/1/14758>
- Thao, P., Ngo, T., Panahi, M., Khosravi, K. & Ghorbanzadeh, O. (2021). Geoscience Frontiers Evaluation of deep learning algorithms for national scale landslide susceptibility mapping of Iran. *Geoscience Frontiers*, 12(2), 505–519. doi: 10.1016/j.gsf.2020.06.013
- Thapa, D., & Bhandari, B. P. (2019). GIS-Based Frequency Ratio Method for Identification of Potential Landslide Susceptible Area in the Siwalik Zone of Chatara-Barahakshetra Section, Nepal. *Open Journal of Geology*, 9(12), 873–896. <https://doi.org/10.4236/ojg.2019.912096>
- Trinh, T., Luu, B. T., Le, T. H. T., Nguyen, D. H., Van Tran, T., Van Nguyen, T. H., ... Nguyen, L. T. (2022). A comparative analysis of weight-based machine learning methods for landslide susceptibility mapping in Ha Giang area. *Big Earth Data*, 1–30. <https://doi.org/10.1080/20964471.2022.2043520>
- Ullah, K., & Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of panjkora river basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *PLoS ONE*, 15(3), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>
- Yalcin, A., & Bulut, F. (2007). Landslide susceptibility mapping using GIS and digital photogrammetric techniques: A case study from Ardesen (NE-Turkey). *Natural Hazards*, 41(1), 201–226. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9030-0>
- Yi, Y., Zhang, Z., Zhang, W., Xu, Q., Deng, C., & Li, Q. (2019). GIS-based earthquake-triggered-landslide susceptibility mapping with an integrated weighted index model in Jiuzhaigou region of Sichuan Province.
- Yılmaz, O. S., Gülgen, F., Güngör, R., & Kadı, F. (2018). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleri ile Arazi Kullanım Değişiminin İncelenmesi, Köprübaşı İlçesi Örneği. *Geomatik*, 3(3), 233-241.
- Zhou, B., Okin, G. S., & Zhang, J. (2020). Leveraging Google Earth Engine (GEE) and machine learning algorithms to incorporate in situ measurement from different times for rangelands monitoring. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111521. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111521>

