

# Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi

## Journal of Geomorphological Researches

© Jeomorfoloji Derneği

www.dergipark.gov.tr/jader

E - ISSN: 2667 - 4238



### Araştırma Makalesi / Research Article

## FREKANS ORANI VE SHANNON ENTROPİSİ YÖNTEMİ KULLANARAK EZİNE ÇAYI HAVZASI TAŞKIN DUYARLILIK ANALİZİ (KASTAMONU-BOZKURT)

### Flood Susceptibility Analysis of the Ezine River Basin (Kastamonu-Bozkurt) Using Frequency Ratio and Shannon Entropy Method

Mustafa UTLU

Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Bingöl  
 utlumus@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-7508-4478>

#### Makale Tarihçesi

Geliş 12 Eylül 2023  
 Kabul 9 Ekim 2023

#### Article History

Received 12 September 2023  
 Accepted 9 October 2023

#### Anahtar Kelimeler

Taşkın duyarlılık analizi, Ezine Çayı Havzası, Frekans Oranı, Shannon Entropisi

#### Keywords

Flood Susceptibility Analysis, Ezine River Basin, Frequency Ratio, Shannon's Entropy

#### Atıf Bilgisi / Citation Info

Utlı, M. (2023) Frekans Oranı ve Shannon Entropisi Yöntemi Kullanarak Ezine Çayı Havzası Taşkın Duyarlılık Analizi (Kastamonu-Bozkurt) / Flood Susceptibility Analysis of the Ezine River Basin (Kastamonu-Bozkurt) Using Frequency Ratio and Shannon Entropy Method, Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches, 2023 (11): 160-178.

doi: 10.46453/jader.1358845

#### ÖZET

Taşkın olayları, Türkiye'de özellikle Karadeniz Bölgesi'nde yoğun bir şekilde meydana gelen doğal afetlerin başında gelmektedir. Ekstrem yağışlar, Karadeniz Bölgesi akarsu havzalarında, suların ani bir şekilde yüzeysel akışa geçmesi neticesinde taşkın afetinin yaşanmasında etkili olur. Kastamonu Bozkurt sınırları içerisinde yer alan Ezine Çayı havzası da bu taşkın afetinin gerçekteştiği sahalardan biridir. Dar ve derin vadilerde kısıtlı yerleşim alanlarının varlığı ve taşkın yatağı sınırları içerisinde olması nedeniyle, taőkına duyarlı alanların tespit edilmesi kritik önem taşımaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) bu amaçla taőkına duyarlı sahalarda tespit edilmesinde büyük rol oynamaktadır. Bu çalışmada da taşkın duyarlılığının tespit edilmesi amacıyla CBS temelli iki farklı istatistik yöntem kullanılmıştır. Frekans oranı (FR) ve Shannon Entropisi (SE) metodları taşkın duyarlılıkların üretilmesinde tercih edilen yöntemlerdir. Taşkın duyarlılık analizlerinin gerçekteştirilmesinde, sayısal yükselti modeli (SYM), eğim, baki, normalize edilmiş bitki örtüsü indeksi (NDVI), arazi kullanımı, topografik nemlilik indeksi (TWI), akarsu aşındırma gücü (SPI), jeomorfoloji, normalize edilmiş yerleşim alan indeksi (NDBI), plan eğrisellik, akarsuya mesafe, drenaj yoğunluğu kullanılan parametrelerdir. 2021 yılı Ağustos ayı taşkın yayılış alanı verileri dikkate alınarak oluşturulan envanter verisi, çalışmada yapılan analizlerin doğruluğu için tercih edilmiş, bu analiz için alıcı işletim karakteristiği (ROC) eğrisi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre iki değişkenli istatistik olan frekans oranı yöntemine ait model performans testine ait AUC değeri 0,976 ile daha yüksek sonuç alınmıştır. AUC değeri nin 0-1 arasında değişmesi ile birlikte değerin 1'e yaklaşması test sonuçlarının doğru olduğunu, 0,9-1 arasında olan FR sonucunun (0,976) yüksek doğrulukta bir tahminde bulunduğunu göstermektedir.

#### ABSTRACT

Flood events are one of the most common natural disasters in Turkey, particularly in the Black Sea region. Heavy rainfall in the high-elevation river basins of the region can cause sudden surface runoff and result in flooding. The Ezine River basin, located within the boundaries of Bozkurt in Kastamonu, is one of the areas affected by this flood disaster. Due to the limited settlement areas in narrow and deep valleys, and their location within flood-prone areas, identifying flood-prone areas in these regions is of critical importance. Geographic Information Systems (GIS) play a major role in identifying flood-prone areas for this purpose. In this study, two different statistical methods based on GIS were used to identify flood susceptibility. The frequency ratio (FR) and Shannon's Entropy (SE) methods were used methods for producing flood susceptibility. The parameters used in flood susceptibility analysis include Digital Elevation Model (DEM), Slope, Aspect, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Land Use, Topographic Wetness Index (TWI), Stream Power Index (SPI), Geomorphology, Normalized Difference Built-Up Index (NDBI), Plan Curvature, Distance to Stream, and Drainage Density. The inventory data created by considering the flood extent area data in August 2021 was used to verify the accuracy of the analyses conducted in the study. Receiver Operating Characteristic (ROC) curve was used for this analysis. According to the obtained results, the model performance test for the two-variable statistical method known as the frequency ratio method has provided a higher result with an AUC (Area Under the Curve) value of 0.976. The fact that the AUC value varies between 0 and 1, and approaches 1 in this case, indicates that the test results are accurate. An AUC value between 0.9 and 1 (0.976 in this case) suggests a high level of accuracy in prediction using the frequency ratio method.

## 1.GİRİŐ

Taşkınlar dünya üzerinde, sosyal ve ekonomik açıdan sorunların doğmasına ve aynı zamanda can kayıplarının yaşanmasına neden olan katastrofik seviyelere ulaşan doğal afetler arasında yer almaktadır (Chen vd., 2020). Ekonomik bakımdan büyük kayıplara neden olan taşkınlar, küresel nüfus üzerinde büyük bir tehdit oluşturmasının yanısıra, dünya üzerinde her yıl neredeyse 20 milyon ile 300 milyon arasında insan yaşamını doğrudan ve dolaylı bir Şekilde etkilemektedir ve ortalama 60 milyon dolarlık bir ekonomik zarar oluşturmaktadır (Costache vd., 2019; Islam ve Sarkar, 2021). Dünya genelinin %30'unda taşkınlar meydana gelirken, bu taşkın alanları da %82'lik bir oranla insanların yaşam alanlarına oluşturmaktadır (Dilley vd., 2005). Çünkü, giderek artan nüfus, yaşam alanlarının daralması sonucunda gereksinimlerini karşılamak amacıyla, insanları taşkın yatakları ve akarsu vadilerine yerleşmeye itmiştir. Bu nedenle, mevcut alanların yerleşim açısından uygun olmaması taşkın tehlike ve riski açısından zarar görebilirlik potansiyelini arttırmıştır. Taşkın potansiyeli oldukça yüksek olan bu sahalarda, özellikle değişen iklim koşulları ve ekstrem klimatik koşullar neticesinde daha da hassas ve kırılgan olmuşlardır (Alexander vd., 2019; Ali vd., 2019; Bubeck ve Thielen, 2018; Huang vd., 2019; Khan vd., 2021; Youssef vd., 2022). Fakat bu durum, sürekli artış eğiliminde olan nüfus dinamikleri ve giderek artan küresel ısınma sorunu, ekonomik ve sosyal gelişim özellikleri, arazi kullanımını yapısındaki kritik baskı, taşkın potansiyelinin ve neden olduğu sorunların daha da artacağına işaret etmektedir (Bui vd., 2019; Costache vd., 2019). Birleşmiş Milletler Afet Riskini Azaltma Ofisi (UNIDRR) ve Afet Epidemolojisi Araştırma Merkezi (CRED) raporunda; Uluslararası Afet Veri Tabanı (EM-DAT) verilerine göre 1995-2015 yılları arasında meydana gelen taşkın olayları neticesinde 157,000 kişinin öldüğünü ve yaklaşık 2,3 milyar kişiyi etkilediğini ortaya koymuştur. Ayrıca, ortaya çıkan bu ölüm oranının bu dönem içerisinde gerçekleşen küresel afetler içerisinde % 11'e, iklim kökenli afetler içerisinde ise % 47'ye karşılık geldiğini

belirtmiştir (Wahlstrom ve Guha-Sapir, 2015). Ek olarak, UNIDRR ve CRED raporunda 1980-1999 yılları arasında 1,389 taşkın olayının yaşandığı, 2000-2019 yıllarında yaşanan taşkın olayının ise 3,254 olduğunu, bir önceki dönemin iki katından daha yüksek bir sayıya ulaştığını belirtmiştir (UNIDRR, 2020). Günümüzde yaşanan taşkın olayları, verilen bu istatistikleri destekler niteliktedir. Dünyanın hemen her yerinde gerçekleşen bu taşkın olayları, doğal bir süreçten öteye geçerek, katastrofik bir boyuta ulaşmış, yaşanan bu olaylar neticesinde her geçen gün sıklık ve Şiddeti artmaya devam etmektedir. Örneğin, 10 Eylül 2023 tarihinde, Libyanın kuzeydoğusunda, gerçekleşen taşkın afeti de yaşanan bu olaylardan sadece biridir. Libyada yaşanan bu afet sonucunda Bingazi, Beyda, Derna, Al-Marj- Sousse kentleri afetten en çok etkilenen Őehirler olurken, Merc, Taknis, Mehili ve Verdiyye kentleri de taşkın afetinden etkilenen diğer Őehirlerdir. Bu afet sonucunda yaklaşık 100.000 evin yıkıldığı, 5 binin üzerinde insanın hayatını kaybettiği ve binlerce insanın da afet sonucunda kayıp olduğu bildirilmiştir (Url-1-2).

Taşkın afetinin yoğun bir Şekilde meydana geldiği ülkelerden biri de Türkiye'dir (Onuşluel Gl 2013, Utlu vd., 2020). Türkiye sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik, klimatik ve beşeri faktörler, taşkın olaylarının meydana gelmesinde potansiyel birer faktör olup, aynı zamanda önemli ve kritik rol oynamaktadır (Koç vd., 2020). Değişen iklim koşulları ve birçok faktöre bağlı olarak Őekillenen taşkın olaylarının meydana gelmesi ile birlikte hem kentsel hem de kırsal alanlar yoğun bir Şekilde etkilenmektedir. Orta enlem ülkelerinde yoğun bir Şekilde meydana gelen taşkın olaylarının yaşandığı ülkelerden biri de Türkiye'dir. Gerçekleşen bu taşkın olayları sonucunda çok büyük ekonomik zararlar ve can kayıpları meydana gelmektedir. Ülkemizde 1955-2020 yılları arasında toplamda 3,250 taşkın olayı meydana gelmiş ve bu taşkınlarda 1,390 kişi yaşamını yitirmiştir. Türkiye'de 65 yıllık period içerisinde yaşanan bu taşkın olaylarında, neredeyse her yıl taşkın olayları yaşanmıştır. Yaşanan bu taşkın olaylarının yıllık ortalaması

49 iken, bu olaylar sonucunda ise hayatını kaybeden kişi sayısı yılda ortalama 21 kişidir. (Gürer ve Uçar, 2022).

Taşkın duyarlılık analizleri, taşkınlar açısından hassas alanların, yüksek doğruluk oranı ile tahmin edilmesinde oldukça kritik bir rol oynar. Taşkın alanların tespit edilmesi taşkın olaylarının neden olacağı zararın engellenmesi ve önüne geçilmesi için ilk adımdır (Al-Abadi, 2018; Razavi Termeh vd., 2018). Son yıllarda, doğru ve güvenilir taşkın duyarlılık haritalarının üretilmesi amacıyla, çeşitli istatistiksel yöntemler ortaya çıkmıştır. Farklı algoritmalara sahip bu yöntemler ile taşkın duyarlılık analizleri ve haritalamaları yapılmaktadır. Son yıllarda artan afet yoğunlukları nedeniyle, büyük ve küçük ölçekli alanların kısa sürede taşkın duyarlılıklarının tespit edilmesinde, duyarlılık analizleri aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında birçok araştırmacının da tercih ettiği analitik hiyerarşi süreci, frekans oranı, çok kriterli karar verme süreci, makine öğrenmesi, rastgele orman, novel hibrid yaklaşımlar, lojistik regrasyon, derin öğrenme gibi birçok örnek yöntem yer almaktadır (Wang vd., 2011; Gudiyangada vd., 2020; Waqas vd., 2021; Askar vd., 2022; Tariq vd., 2022). Bu yöntemlere bağlı olarak üretilen taşkın duyarlılık haritaları, gerek şehir ve bölge planlamaları, gerekse taşkınların önlenmesi amacıyla inşa edilen taşkın seddeleri, arazi kullanım düzenlemeleri, altyapı ve acil durum hazırlığı gibi planlamalar ile taşkınların önüne geçilebilmesi yada zarar boyutunun azaltılabilmesi için gerekli hazırlıklar yapılması gibi durumlarda büyük ve önemli bir rol oynamaktadır (Liuzzo vd., 2019; Park ve Lee, 2019; Vafakhah vd., 2020).

Bu çalışma, birçok kez taşkın afetinin yaşandığı Kastamonu ili, Bozkurt ilçesi ve Abana sınırını da kısmen kapsayan Ezine Çayı Havzası'nda taşkın duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesini kapsamaktadır. Buna göre duyarlılık analizi çalışmasında, ilk olarak duyarlılık analizlerinin Shannon Entropy (SE) ve Frekans Oranı (FR) yöntemlerine göre oluşturulması ve ikinci olarak ise mevcut taşkın envanter verisine göre elde edilen duyarlılık analizlerinin doğruluk analizlerinin yapılmasını amaçlamaktadır.

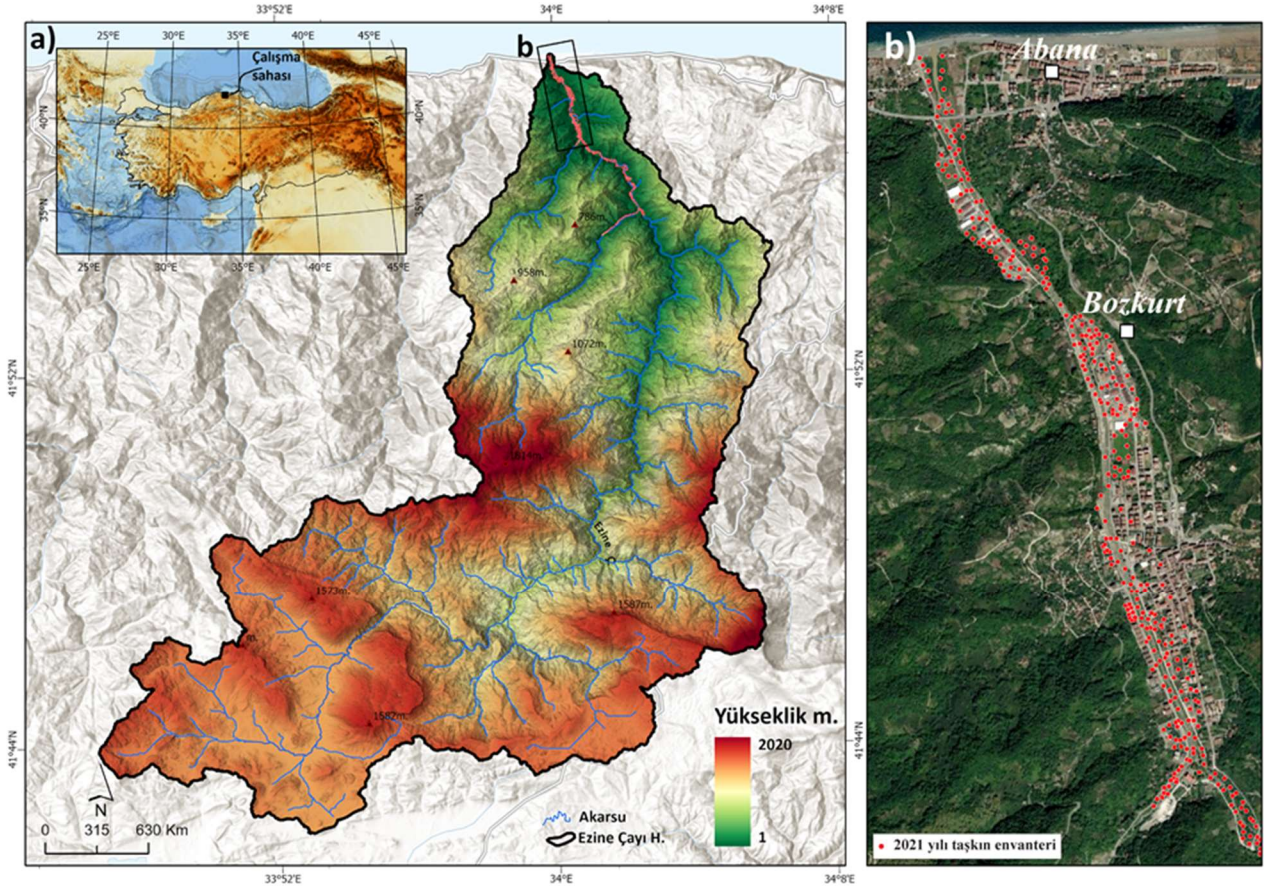
## 2. ÇALIşMA SAHASI

Ezine Çayı Havzası, Karadeniz bölgesi'ne kıyısı olan Kastamonu ili, Bozkurt ilçesi sınırlarında 33°46'30" - 33°6'0" dođu meridyeni, ve 41°42'0"-52°59'0" kuzey paralelleri arasında K-G doğrultusunda uzanış göstermektedir (Şekil 1a). Çalışma sahası oldukça engebeli ve yüksek eğimli kompleks topografyaya ve yaklaşık 375,6 km<sup>2</sup>lik bir alana sahiptir. Ortalama yükseltisi 1033,2 m olan havzanın genel yükseltisi 1-2020 m arasındadır. Havza eğimi ise 0-66° arasında değişmektedir ve havzada 20° ve üzerinde eğim oranının oldukça yüksek bir dağılış göstermektedir. Son yıllarda dünyada ve Türkiye'de artan doğal afetlerden etkilenen sahalardan biri olan çalışma sahasında, 11 Ağustos 2021 tarihinde yaşanan taşkın olayları sonucunda sosyal ve ekonomik açıdan zararlar meydana gelirken, 82 kiři yaşamını yitirmiş, 9 kiři kaybolmuştur (Url-3). Jeomorfolojik açıdan kıyıda bulunan Abana ilçesi ve Bozkurt ilçesi yerleşim alanları genel olarak kıydan iç kesimlere dođu devam eden dar bir vadi içerisinde kurulmuştur ve 2000'in üzerinde bir nüfusa sahiptir (Şekil 1b). Jeomorfolojik açıdan uygun olmayan alanların yerleşim sahası olarak sečilmesi, bölgede taşkın tehlike ve riskini de beraberinde getirmiştir. Bu nedenle sahada yapılan incelemelere bağlı olarak, Bozkurt ilçesinde 2306 yerleşim biriminden 226'sının taşkın tehlikesi ve riski altında olduğu belirlenmiştir (Doruk, 2022). 11 Ağustos 2021 tarihinde gerçekeşen taşkın olayı, suların çok geniş alanlara yayılarak, yerleşim birimlerinin ve bir çok yapınının sular altında kalmasına, hatta köprülerin yıkılmasına neden olmuştur. Bu durum ortaya çıkan riski gözler önüne sermiştir (Şekil 2a-b-c-d). Bu tarihte yaşanan taşkın olayında, taşkın suları çok geniş alanlara yayılmıştır. İklim özelliklerinin taşkın olaylarının meydana gelmesinde önemli bir rol oynadığı çalışma sahasında yer alan Bozkurt ilçesi yağış özellikleri incelendiğinde açık bir şekilde görülmektedir. 10-12 Ağustos tarihlerinde Bozkurt ilçesi, Mamatlar köyünde yaklaşık 48 saatte m<sup>2</sup>'ye toplam 420,6 kg yağış düştüğü belirtilmiştir. Son 5 yılın ağustos ayı ortalaması (31,5 kg/m<sup>2</sup>) ile karşılaştırıldığında bu oran oldukça yüksektir (Url-4). Sahanın



ortalama yağışlı gün sayısı 141 gün, yıllık ortalama sıcaklık 13,2°C ve toplam yağış miktarı ise 1,111 mm'dir (Coşkun ve Akbaş, 2017; Coşkun, 2021; Serengil vd., 2021). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre çalışma sahasının ana iklim tipi "C", alt iklim

tipi ise "Cfb" olarak geçmektedir. Bu iklim tipi, Karadeniz kıyıları boyunca gözlemlenen her mevsim yağış alan ve bulutluluğun maksimum, buharlaşmanın ise minimum olduğu sahalara karşılık gelen iklim tipini ifade etmektedir (Koçman, 1993; Öztürk vd., 2017).



**Şekil 1:** a) Çalışma sahası konumu b) taşkın tehlikesi altında bulunan Abana ve Bozkurt İlçeleri  
**Figure 1:** a) Location of the study area b) Abana and Bozkurt Districts at risk of flooding.



**Şekil 2:** a-b-c-d) 11 Ağustos 2021, Ezine Çayı'nda meydana gelen taşkın olayının neden olduğu hasar (URL 5-6).  
**Figure 2:** a-b-c-d) Damage caused by the flood event on Ezine River on August 11, 2021 (URL 5-6).

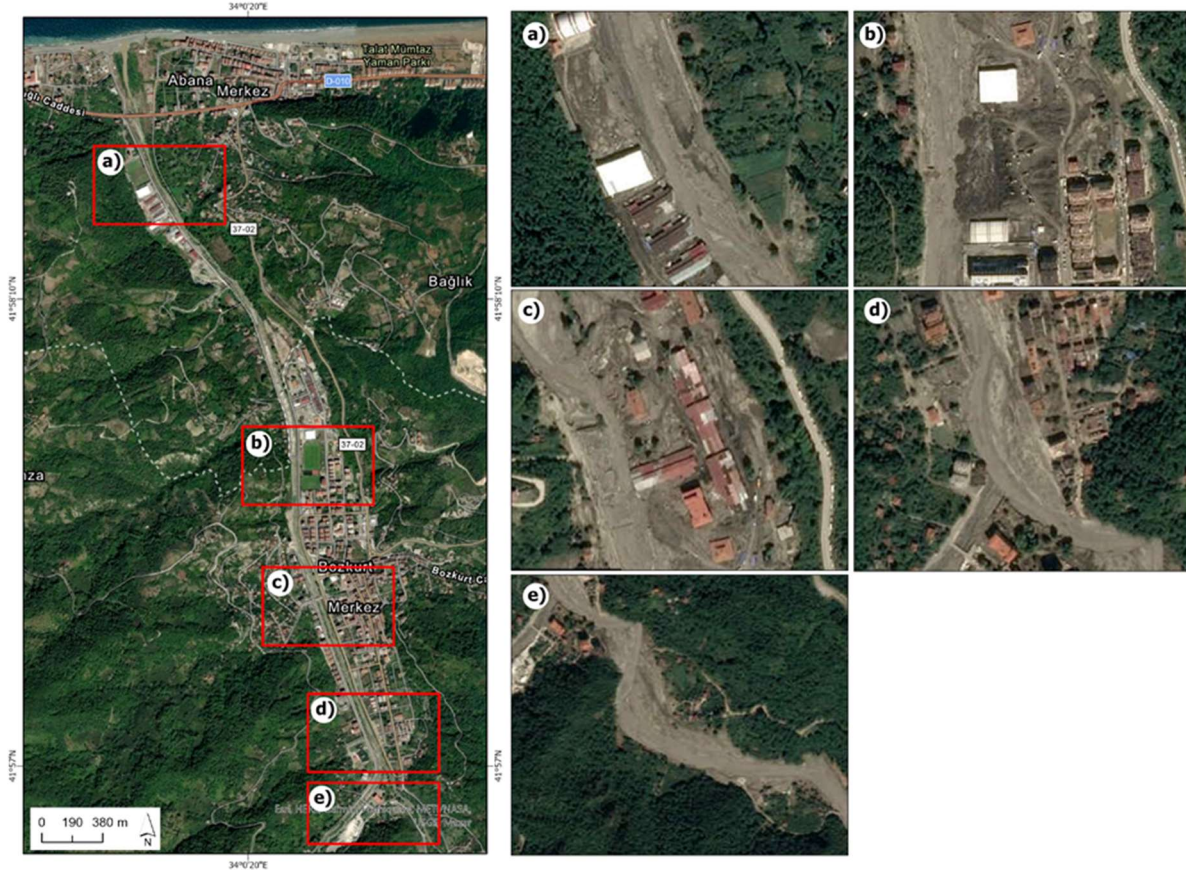


## 2.1. Taşkın Envanteri

Taşkın envanteri, taşkın duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesi açısından önemli bir veridir ve geçmişte meydana gelen taşkınların, gelecekte oluşabilecek taşkın modellerini sonucunda elde edilen tehlike yada duyarlılık sınıflarının doğruluğunu test etmek için büyük önem taşımaktadır (Tehrany vd., 2014, 2015). Çalışmada, taşkın envanter veri setinin oluşturulması amacıyla 2021 yılı taşkın afeti dikkate alınmıştır (şekil 2-3).

Bu afet sırasında taşkın suları birçok noktada geniş bir yayılış göstermiş, birden fazla evin yıkılmasına, ev ve iş yerlerinin zarar görmesine, insanların hayatını kaybetmesine sebep olmuştur (şekil 2a, b, c, d). Taşkın suları Bozkurt ilçesinin kurulduğu yerleşim alanlarını birçok noktada etkilemiş olup, taşkın sularının

ulaşmış olduğu noktalar tespit edilerek taşkın envanterine ait veri seti oluşturulmaya çalışılmıştır (şekil 3a, b, c, d, e) Ayrıca, bu envanterin oluşturulması için raporlardan ve görüntülerden faydalanılmıştır (Deniz vd., 2021). Buna göre, 2021 yılı taşkın olayı dikkate alınarak toplamda 837 adet envanter verisi elde edilmiş, bu kapsamda envanter verilerinin % 70'i eğitim (training) veriseti, % 30'u ise test (testing) verisi olarak rasgele bir şekilde seçilmiştir (Tehrany vd., 2015). Eğitim verisi, taşkın olayları üzerinde etkili olan faktörlerin, temel duyarlılık modellemesi amacıyla kullanılırken, test verisi ise doğru model üretimi yapıldığı düşünülen temel duyarlılık modellerinin performanslarının test edilmesi amacıyla kullanılmaktadır.



**şekil 3:** a-b-c-d-e) Ezine ayı taşkın yatağı üzerinde kurulmuş Bozkurt ilçesine ait taşkın olayı öncesi ve sonrasına ait görüntüler (Deniz vd., 2021'den değiştirilerek) / **Figure 3:** a-b-c-d-e) Images before and after the flood event in Bozkurt district, which is located on the floodplain of the Ezine River. (modified from Deniz vd., 2021).

## 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Taşkın potansiyeli olan sahalarda, taşkın duyarlılık modellerinin elde edilmesinde CBS ve uzaktan algılama teknolojileri büyük rol

oynamaktadır (Wang vd., 2019; Dodangeh, Panahi, vd., 2020). Bu çalışmada, kullanılan birçok veri seti bulunmaktadır (Tablo 1). Buna göre, çalışmada jeomorfolojik açıdan, antropojenik faktörlere ve koşullara ait veri

setlerinin oluşturulmasında online indirilebilir açık kaynaklı veriler, Harita Genel Müdürlüğü'ne ait 5 m çözünürlükte Sayısal Yüzey Verisi (SYM) ve taşkın envanterinin oluşturulması için raporlar ve benzeri birçok kaynak kullanılmıştır. Veri setlerinin elde edildiği kaynaklar farklı olmasından ötürü farklı çözünürlükte özellik göstermektedirler. Çalışmanın bütünlüğü açısından çözünürlük farklılıklarının önüne geçilebilmesi amacıyla, kullanılan her bir veri seti 5m çözünürlüğe yeniden örnekleme yapılarak raster veri formatına dönüştürülmüştür. Gerçekleştirilen işlemler sırasında datum WGS84, UTM 36 zone kullanılmıştır.

Frekans oranı (FR) ve Shannon entropisi (SE) yöntemlerine göre gerçekleştirilerek oluşturulacak taşkın duyarlılık analizi kapsamında bu çalışmaya ait genel iş akış

**Tablo 1: Çalışmada kullanılan verisetlerine ait özellikler / Table 1: Properties of the datasets used in the study.**

No	Veri seti	Veri seti kaynağı ve özellikleri	Veri tipi	Çözünürlük	Üretilen katman
1	Sayısal Yüzey Modeli	DEM(SYM)-HGM (Harita Genel Müdürlüğü)	Grid	5 m	Yükselti, Eğim, Bakı, Eğrisellik, TWI, SPI, Jeomorfolojik birimler
2	Arazi kullanım örtüsü	<a href="https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d3da5dd386d140cf93fc9ecbf8da5e31">https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d3da5dd386d140cf93fc9ecbf8da5e31</a>	Grid	10 m	Arazi kullanımı
3	Uzaktan Algılama Verisi	Farklı çözünürlükte görüntüler ve raporlar, Sentinel-2	Grid	1, 10 m	Taşkın envanter verisi, NDVI, NDBI
4	Topografya paftası	HGM (Harita Genel Müdürlüğü)	Grid	1/25,000 ölçekli	Drenaj yoğunluğu, Akarsuya yakınlık

### 3.1. Taşkını Etkileyen Faktörlerin Değerlendirilmesi

Taşkın olaylarının kantitatif açıdan modellenmesi yada anlaşılabilmesi bakımından, taşkınların meydana gelmesinde rol oynayan veriler arasında yüksek derecede bir ilişki bulunmaktadır. Fiziki çevre, antropojenik faktörler ve meteorolojik olaylar herhangi bir alanda taşkın olaylarının meydana gelmesinde temel rol oynayan faktörlerdir (Pham vd., 2021). Bu nedenle kullanılacak verilerin seçimi çok önemlidir (Khosravi vd., 2018; Pham vd., 2016). Buna rağmen taşkın duyarlılık çıktılarının oluşturulması için belirlenmiş standart bir veri yoktur. Genel olarak seçimi yapılan veriler, duyarlılık çalışmaları kapsamında değerlendirilen benzer veriler olarak karşımıza çıkmaktadır (Tehrany ve Kumar, 2018). Bu çalışmada ise 12 farklı veri kullanılmıştır. Bunlar; a) yükselti, b) eğim, c) bakı, d) normalize edilmiş bitki indeksi (NDVI) e) arazi kullanımı f) drenaj yoğunluğu g) topografik nemlilik indisi (TWI), h) normalize

şeması Şekil 4'te verilmiştir. Buna göre taşkın duyarlılık analizinin gerçekleştirilmesinde 6 aşama bulunmaktadır. Bunlar;

- 1) Sahada meydana gelmiş taşkın yayılış alanlarından, taşkın envanter verisinin oluşturulması
- 2) Taşkın duyarlılık analizi için, taşkınlar üzerinde etkili olan faktörlerin oluşturulması ve sınıflandırılması
- 3) Frekans oranı ve Shannon entropisi yönteminin uygulanması
- 4) Taşkın duyarlılık haritalarının üretilmesi
- 5) Taşkın duyarlılık analiz sonuçlarının, taşkın eğitim ve test verisine göre doğruluk analizlerinin gerçekleştirilmesi,
- 6) ROC analizini kapsamaktadır.

edilmiş yerleşim alanı indeksi (NDBI), i) akarsu aşındırma gücü (SPI), j) plan eğrisellik, k) jeomorfoloji, l) akarsuya mesafe kullanılan veriler arasında yer almaktadır. Bu faktörlere ait değerlendirmeler aşağıda verilmiş olup, yapılan sınıflandırmalar ise genel doğal kırılmalar (natural breaks) algoritmasına göre 5 sınıfta değerlendirilmiş olup, Şekil 5'te yer verilmiştir.

**a)** Yükselti faktörü, özellikle yüksek rölyefe sahip alanlardan düşük rölyefe doğru suyun kolaylıkla ilerleyebilmesine ve böylece alçak yükseltiye sahip düz alanlarda olası taşkınların meydana gelmesinde önemli rol oynamaktadır (Tehrany vd., 2013, 2015; Şekil 5a).

**b)** Eğim, taşkın olayının meydana gelmesinde etkili olan önemli faktörlerden bir tanesidir. Yüksek eğim değerine sahip sahalar suların yüzeysel akışı geçme zamanı ve akış yönü üzerinde, akarsuların debisinin artmasına ve

taşkın olaylarının meydana gelmesinde etkili olmaktadır. Düşük eğime sahip sahalarda ise suların yüzeysel akışa geçmeden yer altı suyuna sızmasını sağlamaktadır (Sarkar ve Mondal, 2020; Siakhkamari vd., 2018; Şekil 5b).

**c)** Bakı, hidrolojik ve bölgesel meteorolojik koşullar üzerinde ve dolaylı olarak toprak nemi paterni üzerinde önemli olan bir faktördür (Rahmati vd., 2016; Hong vd., 2018; Şekil 5c).

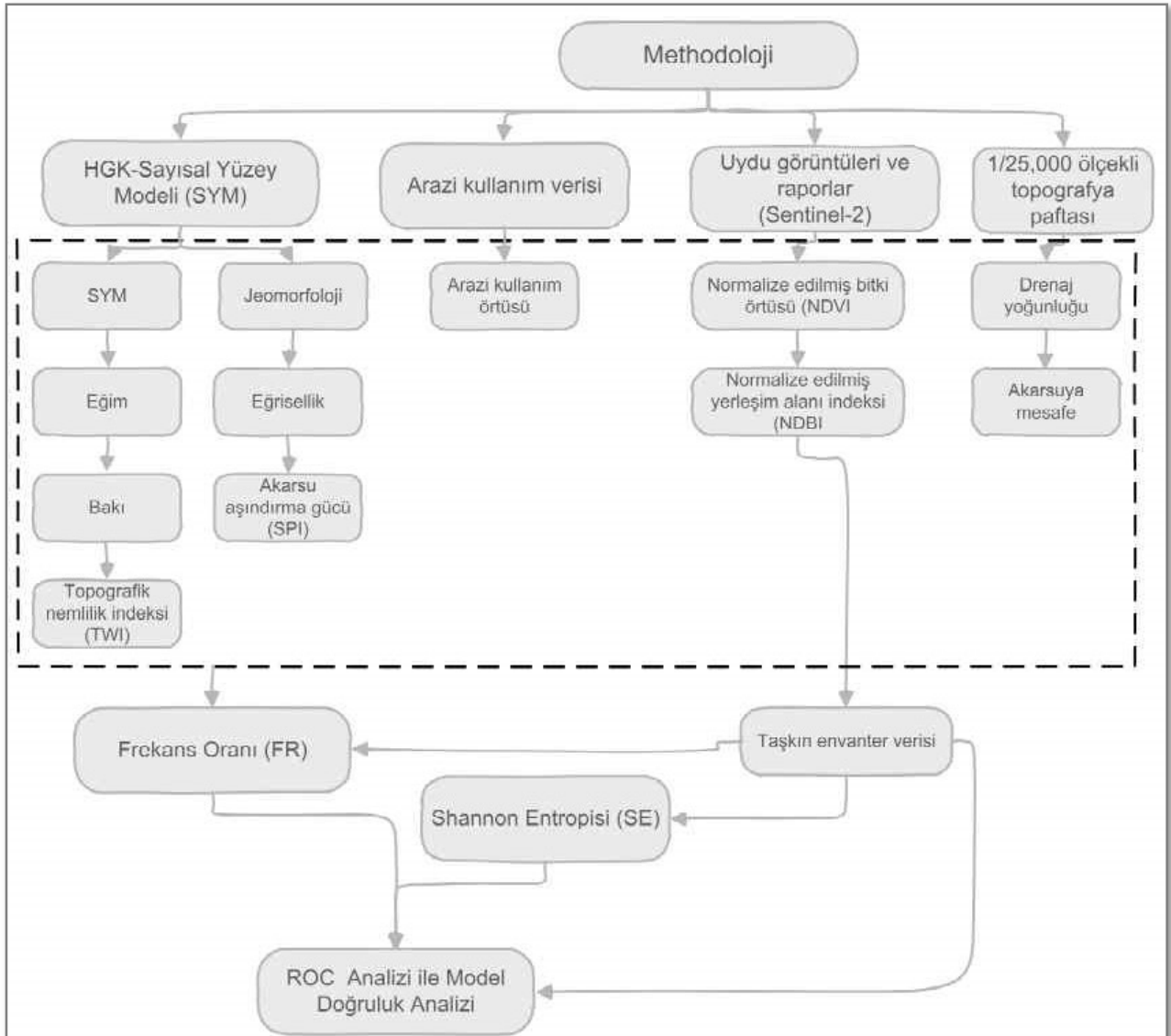
**d)** NDVI bitki olayının azalacağı, azalması durumunda ise taşkın olayının artması söz konusudur (Dodangeh vd., 2020; Şekil 5d). NDVI (1), örtüsü yoğunluğu taşkın olayının meydana gelmesinde önemli bir etkidir. NDVI yoğunluğunun artmasına bağlı olarak taşkın

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

formülü ile hesaplanmaktadır.

**e)** Arazi kullanımı, yüzeysel akışı, arazi özelliklerine göre suyun sürtünme katsayısı ve suyun hızı üzerinde etkilidir. Taşkın sıklığı üzerinde de önemli bir etkiye sahip olan arazi kullanım faktörü taşkın riski ve tehlikesi açısından sosyal ve ekonomik bir değer taşımaktadır (Beckers vd., 2013; Benito vd., 2010; Hong vd., 2018; Şekil 5e).

**f)** Drenaj yoğunluğu, havza üzerinde mevcut akarsu kollarına ait sayı yada yoğunluk oranı taşkın olayının meydana gelmesi için önem taşımaktadır. Değerin düşük olması taşkın olasılığını arttırmakta iken yoğun drenaj yoğunluğu olan sahalarda bu oran düşmektedir. Çünkü, yetersiz drenaj kanalı suların çevreye kolay bir şekilde yayılımını kolaylaştırmaktadır (Sarkar ve Mondal, 2020; Şekil 5f).



Şekil 4: Çalışmada kullanılan genel iş akış şeması / Figure 4: General flowchart used in the study.



**g)** TWI taşkın duyarlılık haritaları için en önemli faktörlerden bir tanesidir. Topografik açıdan hidrolojik süreçlerin anlaşılmasında özellikle eğim ve akarsu havzaları arasında oluşan yüksek korelasyonu ifade etmekte olup yüksek nemlilik oranına sahip alanlar taşkına daha duyarlıdır (Samanta vd., 2018; Ali vd., 2020; Şekil 5g). TWI (2),

$$TWI = \frac{A_i}{\tan\beta} \quad (2)$$

olarak hesaplanmaktadır.  $A_i$ : Havza alanı,  $\tan\beta$ : eğim ° oranı'nı ifade etmektedir (Sørensen vd., 2006).

**h)** NDBI uzaktan algılama kökenli bir indeks olup, özellikle geçirimsiz ve geçirimli yüzeylerin taşkın duyarlılıklarının anlaşılmasında kullanılır (Li vd., 2023; Şekil 5h). Bu indeks (3),

$$NDBI = \frac{SWIR-NIR}{SWIR+NIR} \quad (3)$$

formülü ile ifade edilir.

Yerleşim alanları ve kentsel yapıların yoğun olduğu sahalarda yüksek değerler, bitki örtüsü olan geçirimli sahalarda düşük değer vermektedir.

**i)** SPI flüvyal süreçler açısından hidrolojik patern üzerinde büyük rol oynamaktadır. Özellikle, akarsu kanalı üzerinde, yüksek SPI oranı ile büyük taşkın olaylarının meydana gelmesinde erozitif süreçler ile taşınan sediment miktarı üzerinde önem taşımaktadır (Moore vd., 1991; Knighton, 1999; Şekil 5i). SPI (4),

$$SPI = A_s * \tan\beta \quad (4)$$

olarak hesaplanmaktadır. Formülde  $A_s$ : Havza alanı  $\beta$ : eğimi (°) ifade eder.

**j)** Plan eğrissellik, taşkın duyarlılık çalışmalarında 3 sınıfta genel olarak düz, iç bükey ve dış bükey olarak sınıflandırılmaktadır (Tehrany vd., 2015; Şekil 5j). Su akışının hızı üzerinde, özellikle erozitif ve depolanma süreçleri üzerinde etkili olmaktadır (Url-7).

**k)** Jeomorfoloji, özellikle suyun akış yönü ve hızı üzerinde etkili olmaktadır. Yüksek eğimli dik yamaçlar ve dağlık platformlar, suyun daha hızlı akışa geçmesinde, oyalanma zamanı üzerinde rol oynamaktadır. Böylece yüksek eğimli ve dağlık sahalardan akışa geçecek sular, alçak alanlar ve ovalık sahalarda taşkın potansiyeline sahiptir (Das ve Gupta, 2021).

Sahadaki jeomorfolojik birimlerin oluşturulması için jeomorfon yöntemi kullanılmıştır (Jasiewicz ve Stepinski, 2013; Şekil 5k).

**l)** Akarsuya olan mesafe, taşkın şiddeti ve yayılışı bakımından önem taşımaktadır (Tehrany vd., 2014; Şekil 5l).

### 3.2. Frekans Oranı Yöntemi

Frekans oranı (FR) taşkın duyarlılığının değerlendirilmesinde kullanılan iki değişkenli yöntem olup, taşkın, heyelan, kaya düşmeleri gibi doğal afetlerde duyarlılık hesaplamalarında en fazla tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir (Rahmati vd., 2016). Uygulanabilirliği açısından oldukça basit ve kolay bir yöntem olan FR, taşkına duyarlı alanları belirlemede oldukça etkilidir (Yılmaz ve Keskin, 2009; Pradhan ve Lee, 2010; Wang vd., 2021; Waqas vd., 2021;). Bu yöntem, geçmişte taşkın olayı gerçekleşen alanların gelecekte daha fazla taşkın olayı meydana gelme olasılığının daha yüksek olduğu prensibine dayanmaktadır (5). FR yöntemi şu şekildedir;

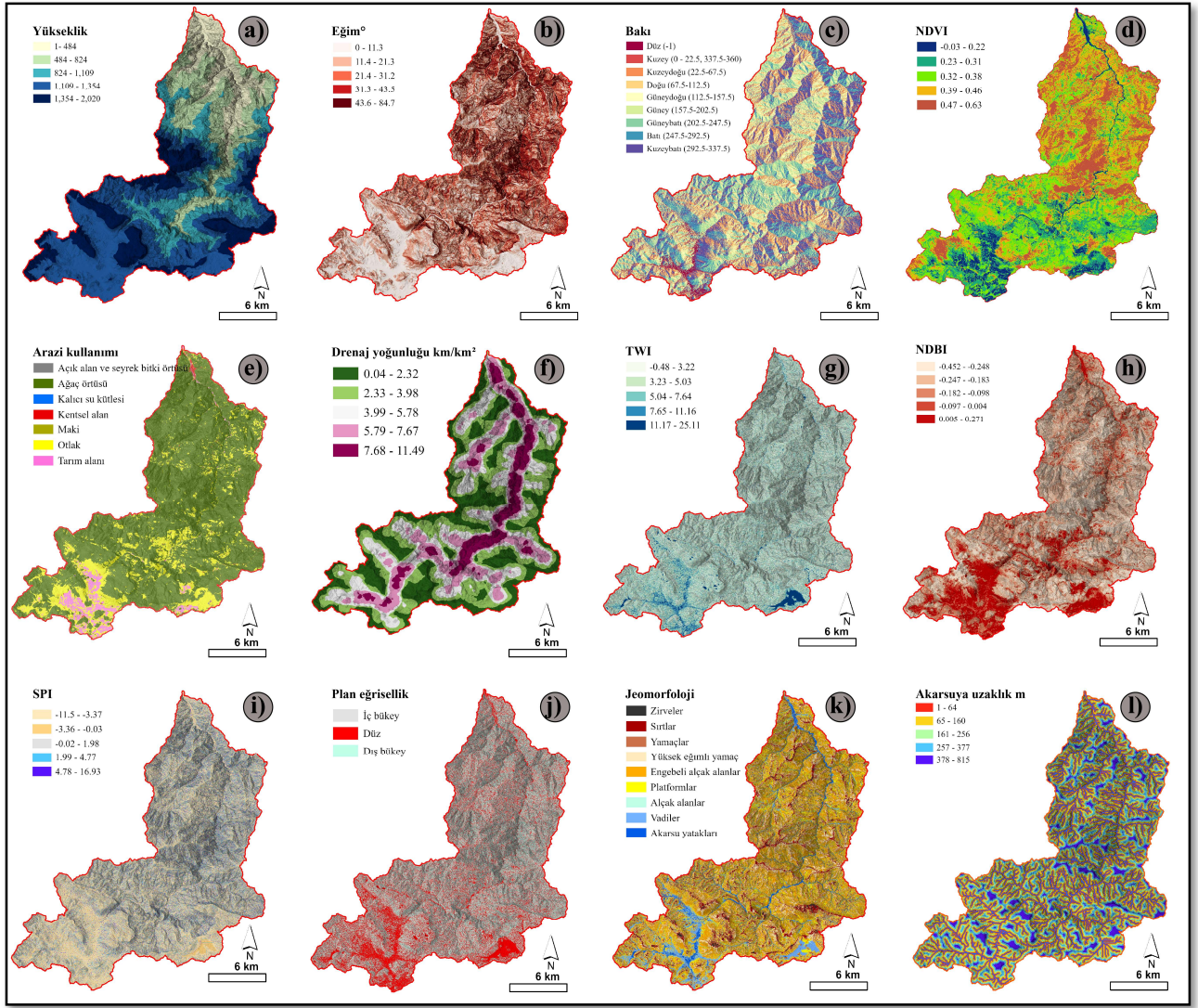
$$FR = \frac{\frac{Np(LXi)}{\sum_{i=1}^m}}{\frac{Np(Xj)}{\sum_{i=1}^m Np(Xj)}} \quad (5)$$

Buna göre,  $Np(LXi)$ , faktör değişkeni  $X$ 'in  $i$  sınıfı içerisindeki taşkın gridlerinin değeri,  $Np(Xj)$ , faktör değişkeni,  $Xj$  içerisindeki taşkın gridlerinin değeri,  $m$  faktör değişkeni  $Xi$ , içerisindeki sınıfların değeri,  $n$  ise kullanılan faktörlerin oranı'nı ifade etmektedir. FR kullanılarak taşkın duyarlılığın hesaplanmasında ise (6),

$$FSI_{FR} = \sum Fr \quad (6)$$

formülü kullanılır. FSI taşkın duyarlılık indeksi olup, FR ise duyarlılık hesaplamasında kullanılan her bir sınıfın değerini ifade etmektedir. Buna göre, FR yöntemine bağlı olarak her bir faktöre ait sınıfların FR değeri bulunmaktadır. Fr değeri arasındaki tutarsızlıkların giderilmesi amacıyla FR yöntemi ile elde edilen ve her bir sınıfa ait FR değerlerinin normalizasyonu (NFR) yapılmıştır. Normalleştirilme genel olarak veriler arasındaki tutarsızlıkları önlemek amacıyla tercih edilmektedir. NFR sonuçları 0-100 arasında değişmektedir. NFR içinse (7),





**Şekil 5:** Taşkın duyarlılık analizi kapsamında kullanılan parametreler ve bunlara ait sınıflandırmalar.

**Figure 5:** Parameters used within the scope of flood susceptibility analysis and their classifications.

$$NFR = \frac{(FR - FR_{\min})}{(FR_{\max} - FR_{\min})} \times 100 \quad (7)$$

formülü kullanılmaktadır.  $FR_{\max}$ ; en yüksek değeri,  $FR_{\min}$ ; en düşük değeri ifade etmektedir.

### 3.3. Shannon Entropisi (SE) Yöntemi

Shannon entropisi, FR yönteminde olduğu üzere tehlike ve taşkın duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan bir diğer istatistiksel yöntemdir (Sarkar vd., 2022). Genel olarak belirsizlik veya rastlantısallık düzeyini, nedensellik ve sonuçlar arasındaki anormaliteyi ölçen entropi kavramına dayanmaktadır (Lin, 1991). Taşkın duyarlılığının analiz edilmesi sırasında, etkili olan her bir faktörlerin entropisini hesaplayarak, maksimum ve minimum entropi düzeyini belirlemektedir (Yulianto vd., 2020). Yüksek değerler taşkın duyarlılığı açısından

maksimum değeri verirken, minimum değerler ise düşük taşkın olasılığı sonucunu vermektedir (Al-Hinai ve Abdalla, 2021). Buna göre aşağıda yer alan formüller (8-9-10-11-12), Shannon Entropisi Endeksini hesaplamak için kullanılır. Performans endekslerine ait faktörlerin olasılık yoğunluğunu elde etmek için kullanılır (8)

$$Pd_{ij} = \frac{FR_{ij}}{\sum_{i=1}^{m_j} FR_{ij}} \quad (8)$$

$Pd_{ij}$ , olasılık yoğunluğunu,  $FR_{ij}$ , verilen gridlerde frekans oranı ifade eder. Olasılık yoğunluğunun hesaplanmasından sonra, elde edilen değerler entropinin hesaplanması için kullanılır (9-10).

$$Ev_j = \sum_{i=1}^{m_j} Pd_{ij} \log_2 Pd_{ij}, j = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$Ev_{jmax} = \log_2 m_j \quad (10)$$

$Ev_j$  ve  $Ev_{jmax}$  entropi değerleri,  $m_j$ , sınıf sayıdır.

Taşkın duyarlılığın hesaplanmasında kullanılan faktörlere ait ağırlıkların hesaplanmasında ise (11)

$$Ic_j = \left( Ev_{jmax} - \frac{Ev_j}{Ev_{jmax}} \right), I = (0,1) 1j = 1, \dots n \quad (11)$$

formülü kullanılır ve formülde  $Ic_j$ : ilgili katmanın katsayısı (12),

$$Cw_j = I_j FR \quad (12)$$

$Cw_j$ : ilgili katmanın tamamın temsil eden ağırlık değeridir.

### 3.4. Model Performansı Doğruluğu

Elde edilen taşkın duyarlılık modellerinin performans doğruluğunu değerlendirmek için ROC eğrisi, kantitatif olarak kullanılan istatistiksel bir tekniktir. ROC eğrisi, duyarlılık haritalarının verimliliğini ölçen bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Tehrany vd., 2013). Fakat bu eğrinin oluşturulması sırasında mevcut olay envanter verisine (eğitim ve test verileri) bağlı olarak, bir olayın gerçekleşme olasılığını güvenli ve doğru bir şekilde hesaplanmasında önemli rol oynamaktadır. Böylece, oluşturulan farklı modellerin doğruluklarının değerlendirilmesinde eğri altında kalan alana (AUC) ihtiyaç duyulur. AUC değerinin 1'e yaklaşması modelin doğruluğunu arttırırken, uzaklaşması modelin doğruluğunu azaltır (Shirzadi vd., 2017). Model doğruluk analizinin gerçeleştirilmesinde, 837 adet envanter verisi kullanılmıştır. Buna göre bu verilerin %70'i (585 nokta) eğitim, %30'u (252 nokta) ise test (testing) verisi olarak rastgele bir şekilde seçilmiştir. Bu yöntemin hesaplanmasında; (13-14)

$$FPR = \frac{FP}{FP + TN} \quad (13)$$

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (14)$$

formülü kullanılmaktadır. Formülde, ROC eğrisi her olası kesme değeri için, yanlış pozitif oranı (FPR) ve doğru pozitif oranı (TPR) sırasıyla x ve y eksenlerinde çizdirir. FP yanlış pozitif vakaların sayısı, TN doğru negatif vakaların sayısı, TP doğru pozitif vakaların sayısı ve FN yanlış negatif vakaların sayısını ifade etmektedir.

## 4. BULGULAR

### 4.1. Taşkın ile Faktörler Arasındaki İlişki

1-2020 m arasında değişen yükselti koşulları arasında 1-484 m'ler taşkınların yoğun olarak meydana geldiği yükselti aralığıdır. Bu değerler, taşkın envanteri veri setine göre %99.66 ile meydana gelen taşkın piksellerini temsil etmektedir. Bu değerlerin dışındaki aralıklar ise daha çok yüksek eğimli yamaçlardan ve yan kollardan suların kolay bir şekilde yükseltinin az olduğu alanlara toplayarak, ani taşkın oluşumunu tetiklemekte ya da hazırlamaktadır. 0-84.7° arasında değişen eğim koşullarına ve oldukça engebeli bir rölyefe sahip çalışma sahasında 0-11.3° ve 11.4-21.3° arasında değişen eğim değerleri taşkın envanteri veri setine göre sırasıyla %56.01 ve %23.37 oranına karşılık gelen taşkın pikselleri bulunmaktadır. Yüksek rölyefe karşılık gelen yüksek eğim özelliklerine sahip alanlardan yağış ile akışa geçen suların kolaylıkla bu alanlarda toplanabilme durumunu ve taşkın tehlike potansiyelini ifade etmektedir. Bakı faktörü, nemli ve toprağa doğun yamaçlar, akışa geçen suyun tutulma oranı üzerinde kritik rol oynamaktadır. Buna göre, Kuzey, kuzeydoğu, düz, doğu, güneydoğu'ya bakan yamaçların taşkın piksellerine karşılık gelen oranın %10'un üzerinde bir dağılış gösterdiği ve bunun sonucunda da özellikle düz alanların %17.59 ile taşkın olaylarının en çok karşılık geldiği Bozkurt ilçesinin yer aldığı sahaları oluşturmaktadır. Bitki örtüsü yoğunluğunun az olduğu noktalar daha fazla taşkın oluşturma potansiyelini ifade ederken, çalışma sahası Bozkurt ilçesi ve yakın çevresi bitki örtüsünden yoksun ya da seyrek diyebileceğimiz aynı zamanda yoğun yapılaşma ve yerleşim birimlerini oluşturmaktadır. Bu alanlar aynı zamanda yaşanan taşkın olayları neticesinde zarar gören sahalardır. Arazi kullanım durumu taşkınların meydana gelme potansiyelini doğrudan etkilemektedir. Yerleşim birimleri ya da akarsu yatağı üzerindeki mühendislik uygulamaları, suların sürtünme katsayısı üzerinde etkili olarak, taşkın zarar verme durum riskini arttırmaktadır. Sahada yoğun olarak taşkın durumu daha çok kentsel alanlarda Bozkurt ilçesi ve yakın çevresinde yüksek tehlike olasılığı göstermektedir. Akarsu

yatağı ve yakın çevresi, drenaj yoğunluğu, yerleşim alanlarının dağılışı ve yoğunluğu, topografik nemlilik durumu genel olarak birbirleri ile ilişkili olan parametrelerdir. Bu faktörlerin yoğunluğu ve yüksek değerler genel olarak taşkın tehlike durumu yüksek alanları temsil etmektedir. Bir diğer önemli faktör jeomorfolojik birimlerin dağılışıdır. Jeomorfolojik birimler taşkınların meydana gelme potansiyeli üzerinde doğrudan etkilidir. Yüksek eğimli yamaçlar ve platformlar, suyun akışı ile yan ve ana kollara doğrudan katılmaları ve akım miktarı üzerinde etkili olmaktadır. Ezine Çayı havzası üzerinde ise jeomorfolojik birimlerden akarsu yatakları taşkın piksellerine karşılık gelen en yüksek birimi ifade ederken, vadiler en yoğun ikinci taşkın piksellerini temsil etmektedir. Bunun dışında yer alan birimler ise daha düşük taşkın tehlike potansiyeline sahiptir. Bu birimler daha çok suyun taşınarak yüksek oranda taşkın tehlikesine sahip noktalara ulaşmasını sağlamaktadır.

#### 4.2. Frekans Oranı Yöntemine Göre Taşkın Duyarlılık Analizi

FR yöntemine bağlı olarak 12 faktör ve sınıflarına ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Bu sonuçlar taşkına etki eden faktörler ve taşkın meydana gelme olasılıkları arasındaki korelasyonu ifade etmektedir. Bu sonuca göre, Yükselti, akarsuya mesafe, NDVI, jeomorfoloji, taşkın üzerinde en etkili olan faktörler iken, plan eğrisellik, baki, akarsu aşındırma gücü ise en düşük etkiye sahip faktörler arasında yer almaktadır (Şekil 6). 1-484 m yükselti aralıkları, -0,03-0,22 NDVI, 1-64 m akarsuya uzaklık değerleri, jeomorfolojik birimlerden akarsu yatakları (taşkın ovası) taşkınların en yoğun meydana geldiği değer aralıkları, FR oranı en yüksek olan sınıf aralıklarıdır. Bu değerlerin üzerinde olan aralıklar ise ya çok düşük, ya da "0" FR değerine sahiptir. Havza temelli FR sonucu analizine göre, taşkın duyarlılık değerleri 57,5-1.482,4 arasındadır. Yüksek değerler taşkın duyarlılığı açısından yüksek duyarlılık verirken, minimum değerler, düşük taşkın duyarlılık sonuçları vermektedir. Bu değerler 5 kategoriye ayrılmış, değerlerin sınıflanadırılmasında taşkın duyarlılık, tehlike ve risk çalışmalarında aktif olarak kullanılan doğal kırılmalar algoritması tercih edilmiştir

(Jenks, 1967; Liuzzo vd., 2019). Doğal kırılmalar yöntemine göre: çok düşük (57,5-230), düşük (230-431), orta (431-649), yüksek (649-946), çok yüksek (946-1.482,4) duyarlılık sınıfları oluşturulmuştur (Şekil 7a-b).

#### 4.3. Shannon Entropisi Yöntemine Göre Taşkın Duyarlılık Analizi

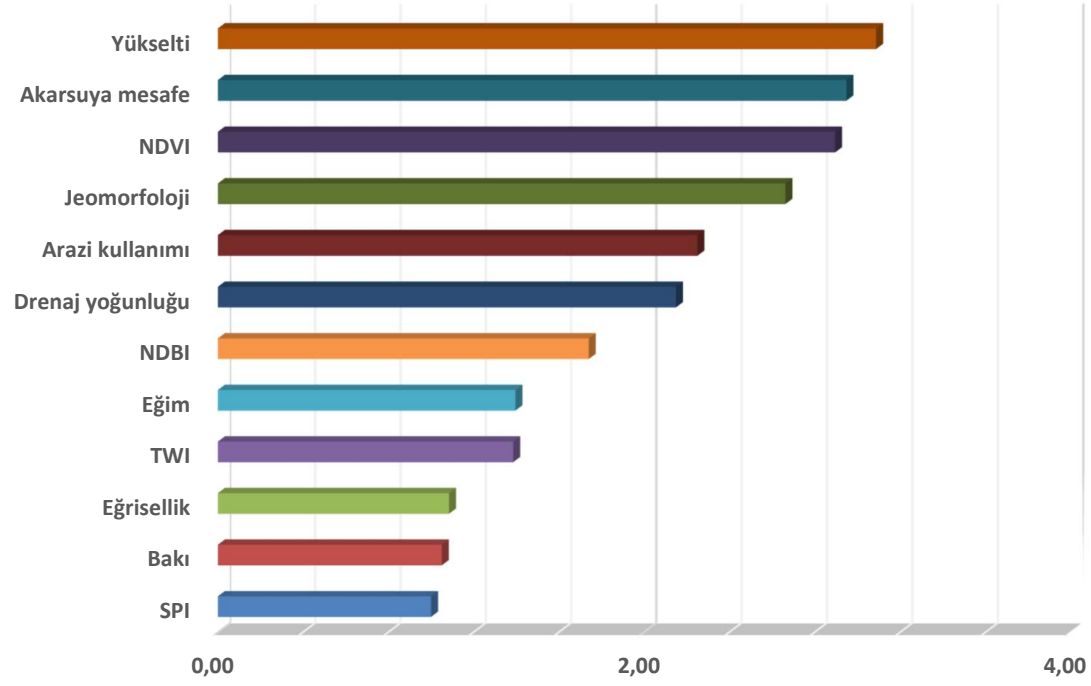
Shannon entropisi yöntemine göre Ezine Çayı Havzası'nda 12 faktör ve sınıflarına ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. Bu yöntemine göre, 12 faktörün ağırlık değerine göre hesaplanmasında kullanılan formül şu şekildedir:

$$\text{Dist\_to\_river} * \text{SE0,066} + \text{NDBI} * \text{SE0,087} + \text{SPI} * \text{SE0,100} + \text{Aspect} * \text{SE0,096} + \text{Jeom} * \text{SE0,075} + \text{LU} * \text{SE0,084} + \text{NDVI} * \text{SE0,069} + \text{Curv} * \text{SE0,087} + \text{TWI} * \text{SE0,096} + \text{Slope} * \text{SE0,096} + \text{DEM} * \text{SE0,062} + \text{Dd} * \text{SE0,082} \quad (15)$$

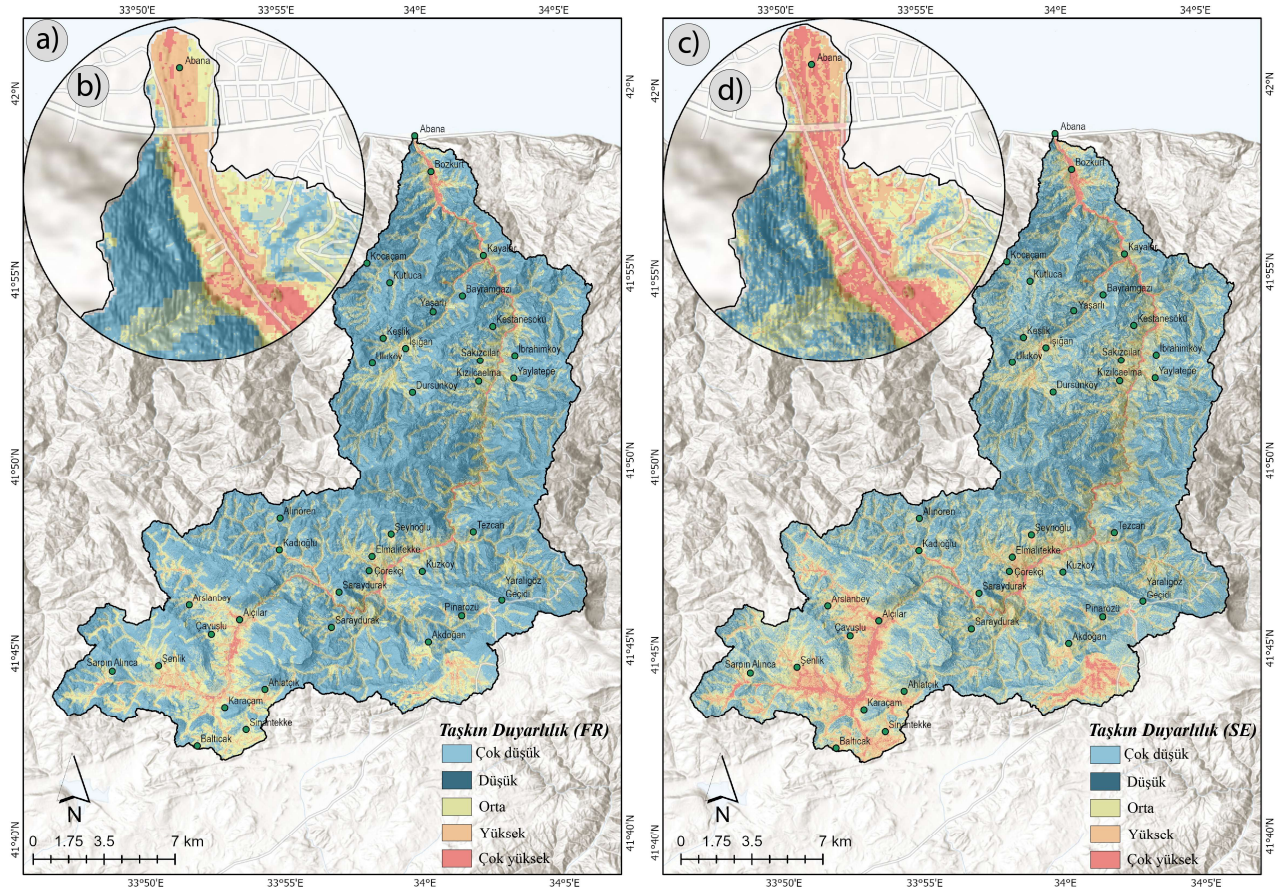
Buna göre yukarıda (15) verilen hesaplamaya göre elde edilen taşkın duyarlılık modeli 5 sınıfta değerlendirilmiştir. Oluşturulan sınıflar: çok düşük (465-965), düşük (965-1.505), orta (1.505-2.162), yüksek (2.162-3.096), çok yüksek (3.096-5.875)'tir (Şekil 7c-d).

Her iki yöntemine göre, taşkın yatakları ve yakın çevresi, taşkına duyarlı alanlar olarak karşımıza çıkarken, yüksek eğimli ve dik yamaçlarda çok düşük, düşük duyarlılıkta sınıfları meydana getirmektedir. Taşkına duyarlı sahalar, yüksek ve çok yüksek duyarlılık sonuçlarını vermektedir. Bozkurt ilçesinde meydana gelen taşkınları dikkate aldığımızda Şekil 3'ten de anlaşılacağı üzere taşkın sularının yayılış gösterdiği alanlar, taşkın duyarlılık bakımından da yüksek alanlara karşılık gelmektedir. Bu kapsamda elde edilen sonuçların alansal ve yüzdelik dağılışları çıkarılmıştır. Bu dağılış sonuçlarına göre, FR çok düşük taşkın duyarlılık oranı sınıfı alansal dağılışı 220,73 km<sup>2</sup> iken, toplam alan içerisinde %59'luk bir degere karşılık gelmektedir. Çok düşük duyarlılık sınıfı dışında FR yöntemine göre elde edilen duyarlılık sınıfları, SE yöntemine göre daha düşük alansal ve yüzdelik dağılışa sahiptir. Özellikle çok yüksek ve yüksek duyarlılık derecesine sahip taşkın alanları FR yönteminde 3,6, 13,78 km<sup>2</sup> alan kaplarken, SE yönteminde bu değer 10,3- 30,61 km<sup>2</sup>'dir. Toplam alan içerisindeki çok yüksek ve yüksek taşkın duyarlılık sınıflarının dağılış oranları ise FR yönteminde % 0,96-3,68, SE yönteminde % 2,75-8,18'dir (Şekil 8).





**Şekil 6:** Frekans oranı yöntemine göre taşkıni etkileyen parametrelerin etki oranları / **Figure 6:** Effect rates of parameters affecting flood according to frequency ratio method.

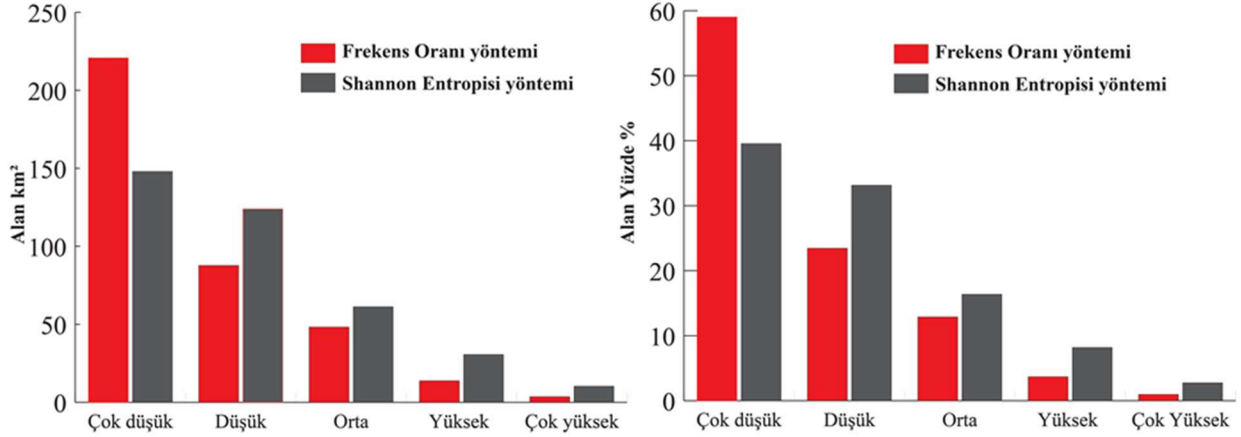


**Şekil 7:** Ezine Çayı Havzası taşkın duyarlılık analizi sonuçları: a) Frekans oranı modeli, b) FR yöntemi temelli Bozkurt ilçesi ve yakın çevresi potansiyel taşkın duyarlılık durumu, c) Shannon entropisi modeli ve d) SE yöntemi temelli Bozkurt ilçesi ve yakın çevresi potansiyel taşkın duyarlılık durumu / **Figure 7:** Flood susceptibility analysis of the Ezine River Basin: a) Frequency ratio model b) Potential Flood susceptibility of Bozkurt District and its surroundings based on FR Method. c) Shannon entropy model d) Potential Flood susceptibility of Bozkurt District and its surroundings based on SE Method.

**Tablo 2:** Frekans oranı yöntemi ve Shannon entropi yöntemi parametre değerleri / **Table 2:** Frequency ratio method and Shannon entropy method parameter values.

Faktörler	Faktör alt sınıfları	Taşkınlu alanların piksel sayısı	% oranı	Faktör alanları	% oran	FR	NFR	SE Ağırlık oranı
Drenaj yoğunluğu km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup>	0.04-2.32	0.00	0.00	4851741	28.20	0.00	0	0.082
	2.33-3.98	349.37	2.75	4360985	25.35	0.11	2	
	3.99-5.78	873.43	6.87	3751171	21.80	0.32	5	
	5.79-7.67	4301.63	33.85	2623618	15.25	2.22	37	
	7.68-11.49	7183.94	56.53	1618239	9.41	6.01	100	
Yükselti m.	1-484	12664.70	99.66	1918295	11.11	8.97	100	0.062
	484-824	43.67	0.34	3013007	17.45	0.02	0	
	824-1109	0.00	0.00	3149140	18.24	0.00	0	
	1109-1354	0.00	0.00	5888977	34.11	0.00	0	
	1354-2020	0.00	0.00	3294950	19.09	0.00	0	
Eğim °	0-11.3	7118.43	56.01	3921743	22.75	2.46	100	0.096
	11.4-21.3	2969.65	23.37	4825287	27.99	0.83	21	
	21.4-31.2	1222.80	9.62	4042739	23.45	0.41	0	
	31.3-43.5	1004.44	7.90	3147264	18.26	0.43	1	
	43.6-84.7	393.04	3.09	1301190	7.55	0.41	0	
TWI	-3.7	2642.12	20.79	6964626	40.48	0.51	0	0.096
	3.23-5.03	3690.23	29.04	5395021	31.36	0.93	10	
	5.04-7.64	2511.10	19.76	2987930	17.37	1.14	15	
	7.65-11.16	2096.23	16.49	1351064	7.85	2.10	38	
	11.17-25.11	1768.69	13.92	507020	2.95	4.72	100	
Eğrisellik	İç bükey	3057.00	24.05	5852166	34.01	0.71	4	0.087
	Düz	6507.03	51.20	4977518	28.93	1.77	100	
	Dış bükey	3144.34	24.74	6375977	37.06	0.67	0	
NDVI	-0.03-0.22	10546.64	82.99	1231943	7.16	11.59	100	0.069
	0.23-0.31	917.10	7.22	3058679	17.78	0.41	3	
	0.32-0.38	655.07	5.15	4958750	28.82	0.18	1	
	0.39-0.46	524.06	4.12	4516260	26.25	0.16	1	
	0.47-0.63	65.51	0.52	3440575	20.00	0.03	0	
Landuse	Kentsel alan	2074.39	16.32	85829	0.50	32.72	17	0.084
	Açık alan ve seyrek bitki örtüsü	283.86	2.23	11385	0.07	33.76	17	
	Otlak	1943.38	15.29	2726220	15.84	0.97	0	
	Tarım alanı	2030.72	15.98	579123	3.37	4.75	2	
	Ağaç örtüsü	6092.16	47.94	13800986	80.21	0.60	0	
	Su yüzeyi (akarsu ve göller)	283.86	2.23	1981	0.01	194.00	100	
Jeomorfoloji	Tarım alanı	0.00	0.00	261	0.00	0.00	0	0.075
	Zirveler	131.01	1.03	199904	0.01	0.89	3	
	Sırtlar	0.00	0.00	1349079	0.08	0.00	0	
	Yamaçlar	0.00	0.00	14115	0.00	0.00	0	
	Yüksek eğimli yamaç	152.85	1.21	3694785	0.22	0.06	0	
	Engibeli alçak alanlar	502.22	3.97	7207677	0.42	0.09	0	
	Platformlar	502.22	3.97	2679493	0.16	0.25	1	
	Alçak alanlar	0.00	0.00	42231	0.00	0.00	0	
	Vadiler	3646.56	28.79	1565789	0.09	3.15	11	
Akarsu yatakları	7729.83	61.03	381676	0.02	27.40	100		
Bakı	Düz	2227.24	17.59	694772	0.04	4.34	100	0.096
	Kuzey	1331.98	10.52	2265591	0.13	0.80	7	
	Kuzeydoğu	1965.21	15.52	2043624	0.12	1.30	20	
	Doğu	1877.87	14.83	2066221	0.12	1.23	18	
	Güneydoğu	1550.33	12.24	2054844	0.12	1.02	13	
	Güney	851.59	6.72	2177265	0.13	0.53	0	
	Güneybatı	938.93	7.41	1944731	0.11	0.65	3	
	Batı	1091.78	8.62	1905314	0.11	0.78	6	
Kuzeybatı	873.43	6.90	2053299	0.12	0.58	1		

SPI	-11.5--3.37	4978.54	39.18	6087941	35.38	1.11	25	0.100
	-3.36-0.03	3340.86	26.29	3671770	21.34	1.23	31	
	-0.02-1.98	1987.05	15.64	4389305	25.51	0.61	0	
	1.99-4.77	1135.46	8.93	2402448	13.96	0.64	1	
	4.78-16.93	1266.47	9.97	654197	3.80	2.62	100	
NDBI	-0.452--0.248	43.67	0.34	5215796	30.31	0.01	0	0.087
	-0.247--0.183	676.91	5.34	5459179	31.73	0.17	3	
	-0.182--0.098	1899.70	14.97	3001435	17.44	0.86	17	
	-0.097-0.004	6550.71	51.64	1806986	10.50	4.92	100	
	0.005-0.271	3515.55	27.71	1723443	10.02	2.77	56	
Akarsuya mesafe m.	1 - 64	12075.13	95.02	4788749	27.83	3.41	100	0.066
	65 -160	633.23	4.98	5071324	29.47	0.17	5	
	161-256	0.00	0.00	3545625	20.61	0.00	0	
	257-377	0.00	0.00	2706639	15.73	0.00	0	
	378-815	0.00	0.00	1094278	6.36	0.00	0	

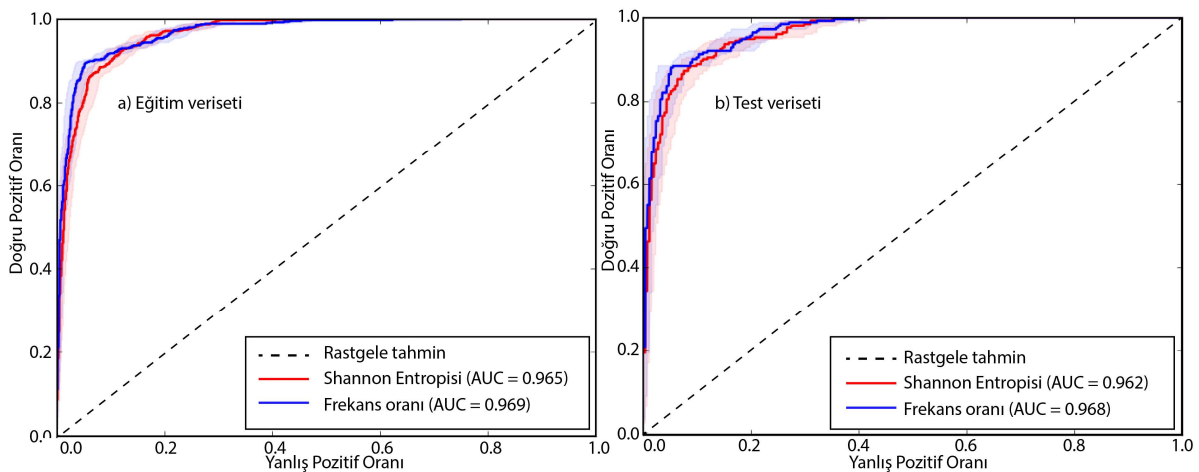


**Şekil 8:** Frekans oranı ve Shannon entropisi yöntemine bağlı oluşturulan taşkın duyarlılık sınıflarının alansal ve yüzdelik dağılışı / **Figure 8:** Spatial and percentage distribution of flood sensitivity classes generated by the frequency ratio and Shannon entropy methods.

#### 4.4. Taşkın Duyarlılık Analizi Modellerinin Performans Doğruluğu

Duyarlılık analizlerine ait her bir sonucun doğruluklarının sınanmasında ROC tekniği kullanılmıştır. 837 adet envanter verisi %70 eğitim ve %30 test verisi olarak iki sınıfta değerlendirilerek, ROC eğrisinde başarı ve tahmin değerlerine göre grafik oluşturulmuştur (Şekil 9). FR ve SE yöntemleri ile oluşturulan ROC değerleri eğitim verisine göre FR'da 0,969,

SE'de ise 0,965 değerinde yüksek doğrulukta bir sonuç verirken, %30 test envanter verisine göre ise FR'da 0,968, SE'de ise 0,962 değerinde bir sonuç vermiştir. Her iki yöntemle göre de taşkın duyarlılık değerlerine ait AUC değerleri ve ROC eğrisi benzer sonuçlara sahiptir. Buna göre sonuçların tutarlılığı açısından, taşkın duyarlılık tahmininde güçlü birer yöntem olduğunu ortaya koymuştur.



**Şekil 9:** Taşkın duyarlılık analizi model performanslarının a) eğitim ve b) test verisetlerine bağlı olarak AUC temelli doğrulanması ve ROC eğrisi / **Figure 9:** Auc-based validation of the flood susceptibility models using based on a) training and b) testing datasets.



## 5. SONUÇ

Karadeniz Bölgesi, ani ve hızlı bir şekilde gelişen sağanak yağışlar neticesinde, bölgenin jeolojik, jeomorfolojik ve antropojenik koşul ve faktörlerine de bağılı olarak taşkınların meydana geldiğı önemli sahalardan biridir. Karadeniz Bölgesinin sahip olduğı bu özellikler sonucunda taşkınların meydana gelmesi kaçınılmaz olmakta, bölgede doğudan-batıya neredeyse her akarsu havzasında ve bu havzalar içerisinde özellikle dar ve derin vadiler kıyısında kurulmuş yerleşim birimlerinde yada şehirlerde taşkın olayları görülmektedir. Taşkın olayları genel olarak, ani ve hızlı bir şekilde gelişen paterne sahip sağanak yağışlar sonucunda gelişmektedir. Bu olaylar sadece Karadeniz'e kıyısı olan akarsu havzalarında değil, Karadeniz Bölgesi'nde bulunan iç bölgelerde yer alan akarsu havzalarında da yaşanmaktadır.

Bu çalışmada, Frekans Oranı ve Shannon Entropi yöntemlerine göre üretilen taşkın duyarlılık analizlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece bu iki yöntemle göre çalışma sahasında taşkınların meydana gelmesinde etkili olan 12 farklı faktör ve sınıflarının istatistiksel açıdan değerlendirilmesi ile duyarlılık haritaları üretilmiştir. Bu 12 faktör çalışma sahasının topografik, hidrolojik özelliklerini yansıtmakta olup, her bir katman çalışma sahasında 2021 yılında meydana gelen taşkın yayılışı sonucu üretilen envanter verisi ile olan ilişkisi temelinde ele alınarak, istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Bu iki farklı istatistik yöntemle göre, çalışma sahasında taşkınların meydana gelmesinde, kısaca olası taşkın duyarlılığının üzerinde SYM, NDVI, jeomorfoloji, akarsuya uzaklık en etkili faktörler arasında yer almaktadır. Bu da sahanın rölyef özelliklerine ait matrisin ve paternin dağılışının taşkın olayı üzerinde ne derecede etkili olduğı göstermektedir. Elde edilen duyarlılık analizi sonuçlarına göre, FR yönteminde çok düşük taşkın duyarlılık sınıfının dışında, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek taşkın duyarlılık sınıfları SE yöntemine göre daha düşük alansal dağılışa sahiptir. Fakat, sınıflardaki farklılık taşkın duyarlılık açısından kritik önem taşıyan taşkın yatağı ve

yakın çevresinde yüksek ve çok yüksek sınıf kapsamındadır. ROC eğrisi ve AUC değerine göre sonuçların eğitim ve test envanter verisine göre değerlendirilmesinde ise her iki yöntemde de oldukça yüksek değerler elde edilmiştir. Özetle FR yönteminde 0.976, SE yönteminde ise 0.962 AUC değerine sahiptir. Değerlerin oldukça yüksek çıkması konusunda bir değerlendirme yapmak gerekirse, duyarlılık modelinin oluşturulmasında kullanılan envanter verisinin sahanın tamamına yayılmamış olması ve sadece taşkın yatağı ve yakın çevresinde Bozkurt ilçesi içerisinde sınırlı olması model çıktısını etkilemiştir. Bu açıdan, duyarlılık modellemelerinin yapılmasında havzada yada bir bölgede gerçekleştirilecek arazi çalışmaları ile daha detaylı envanter verisinin toplanılması, elde edilecek model sonuçlarına ait duyarlılıkların daha hassas doğrulukta ve düzeyde olmasını sağlayacaktır. Böylece, elde edilen sonuçların, yerel yönetimler ve karar mekanizmaları tarafından dikkate alınması ile bölgede mevcut taşkın potansiyeli alanların kritik bir şekilde değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Çünkü, taşkın duyarlılık analizleri ve haritalamaları, gelecekteki taşkınlardan kaynaklı potansiyel hasar ve kayıpları azaltmak için yararlı olabilir.

Sonuç olarak, çalışmada kullanılan parametrelerin sayısının artırılması, bölgede meydana gelen taşkınlar ve etkilenen alanların tespit edilmesi, geçmişte yaşanan taşkın alanlarının bilinmesi ve gerekli envanterin oluşturulması taşkın duyarlılık haritalarının daha hassas ve doğruluk oranı yüksek sonuçların oluşturulması bakımından önemlidir. Ek olarak, mevcut çalışmada kullanılan verilerin çözünürlüğünün yüksek olması, çok daha kritik alanların tespit edilmesi bakımından, insansız hava araçları gibi ekonomik açıdan daha uygun platformların kullanılması, yüzey verilerinin oluşturularak çalışmalar yapılması çok büyük önem taşımaktadır.

## 6. KAYNAKÇA

Al-Abadi, A. M. (2018). Mapping flood susceptibility in an arid region of southern Iraq using ensemble machine learning classifiers: a comparative study. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(9), 218. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3584-5>

- Al-Hinai, H., ve Abdalla, R. (2021). Mapping Coastal Flood Susceptible Areas Using Shannon's Entropy Model: The Case of Muscat Governorate, Oman. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(4), 252. <https://doi.org/10.3390/ijgi10040252>
- Alexander, K., Hettiarachchi, S., Ou, Y., ve Sharma, A. (2019). Can integrated green spaces and storage facilities absorb the increased risk of flooding due to climate change in developed urban environments? *Journal of Hydrology*, 579(October), 124201. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124201>
- Ali, R., Kuriqi, A., Abubaker, S., ve Kisi, O. (2019). Long-term trends and seasonality detection of the observed flow in Yangtze River using Mann-Kendall and Sen's innovative trend method. *Water (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/w11091855>
- Ali, S. A., Parvin, F., Pham, Q. B., Vojtek, M., Vojteková, J., Costache, R., Linh, N. T. T., Nguyen, H. Q., Ahmad, A., ve Ghorbani, M. A. (2020). GIS-based comparative assessment of flood susceptibility mapping using hybrid multi-criteria decision-making approach, naïve Bayes tree, bivariate statistics and logistic regression: A case of Topľa basin, Slovakia. *Ecological Indicators*, 117(December 2019), 106620. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106620>
- Askar, S., Zeraat Peyma, S., Yousef, M. M., Prodanova, N. A., Muda, I., Elshahi, M., ve Hatamifkoueieh, J. (2022). Flood Susceptibility Mapping Using Remote Sensing and Integration of Decision Table Classifier and Metaheuristic Algorithms. *Water (Switzerland)*, 14(19), 1–24. <https://doi.org/10.3390/w14193062>
- Beckers, A., Dewals, B., Erpicum, S., Dujardin, S., Detrembleur, S., Teller, J., Piroton, M., ve Archambeau, P. (2013). Contribution of land use changes to future flood damage along the river Meuse in the Walloon region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(9), 2301–2318. <https://doi.org/10.5194/nhess-13-2301-2013>
- Benito, G., Rico, M., Sánchez-Moya, Y., Sopena, A., Thorndycraft, V. R., ve Barriendos, M. (2010). The impact of late Holocene climatic variability and land use change on the flood hydrology of the Guadalentín River, southeast Spain. *Global and Planetary Change*, 70(1–4), 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.11.007>
- Bubeck, P., ve Thieken, A. H. (2018). What helps people recover from floods? Insights from a survey among flood-affected residents in Germany. *Regional Environmental Change*, 18(1), 287–296. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1200-y>
- Bui, D. T., Ngo, P.-T. T., Pham, T. D., Jaafari, A., Minh, N. Q., Hoa, P. V., ve Samui, P. (2019). A novel hybrid approach based on a swarm intelligence optimized extreme learning machine for flash flood susceptibility mapping. *CATENA*, 179, 184–196. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.04.009>
- Chen, W., Li, Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., Hong, H., Wang, X., Bian, H., Zhang, S., Pradhan, B., ve Ahmad, B. Bin. (2020). Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve Bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. *Science of the Total Environment*, 701, 134979. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134979>
- Coşkun, M., ve Akbaş, V. (2017). Karadeniz Kıyısından İç Kesime: Kastamonu Çevresinin İklim Parametreleri. *The Journal of Social Sciences*, 4(11), 46–86. <https://doi.org/10.16990/sobider.3486>
- Coşkun, S. (2021). Küre Dağlarının Kastamonu iklimi üzerindeki etkileri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77, 37–52. <https://doi.org/10.17211/tcd.833701>
- Costache, R., Pham, Q. B., Sharifi, E., Linh, N. T. T., Abba, S. I., Vojtek, M., Vojteková, J., Nhi, P. T. T., ve Khoi, D. N. (2019). Flash-Flood Susceptibility Assessment Using Multi-Criteria Decision Making and Machine Learning Supported by Remote Sensing and GIS Techniques. *Remote Sensing*, 12(1), 106. <https://doi.org/10.3390/rs12010106>
- Das, S., ve Gupta, A. (2021). Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. *Geoscience Frontiers*, 12(5), 101206. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101206>
- Deniz, A., Şahin, A. D., Tezer, A., ve Dabanlı, İ. (2021). Bozkurt Sel Afeti, Sebepler ve Tespitler. İTÜ Yayınevi, Ağustos.
- Dilley, M., Chen, R. S., Deichmann, U., Lerner-Lam, A., Arnold, M., Agwe, J., Buys, P., Kjekstad, O., Lyon, B., ve Yetman, G. (2005). Natural disaster hotspots: a global risk analysis. İçinde *World Bank Disaster Risk Management Series (Sayı 5)*. The World Bank.
- Dodangeh, E., Choubin, B., Eigdir, A. N., Nabipour, N., Panahi, M., Shamshirband, S., ve Mosavi, A. (2020). Integrated machine learning methods with resampling algorithms for flood susceptibility prediction. *Science of the Total Environment*, 705. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135983>

- Dodangeh, E., Panahi, M., Rezaie, F., Lee, S., Tien Bui, D., Lee, C.-W., ve Pradhan, B. (2020). Novel hybrid intelligence models for flood-susceptibility prediction: Meta optimization of the GMDH and SVR models with the genetic algorithm and harmony search. *Journal of Hydrology*, 590, 125423. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125423>
- Doruk, Ö. (2022). BOZKURT: İklim Adaleti Üzerine Saha Notları (B. G. Baykan (ed.)). Yeşil Düşünce Derneği.
- Gudiyangada Nachappa, T., Tavakkoli Piralilou, S., Gholamnia, K., Ghorbanzadeh, O., Rahmati, O., ve Blaschke, T. (2020). Flood susceptibility mapping with machine learning, multi-criteria decision analysis and ensemble using Dempster Shafer Theory. *Journal of Hydrology*, 590, 125275. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125275>
- Gürer, I., ve Uçar, I. (2022). The Inventory of Flood Disasters in Turkey. İçinde H. Gökçekuş ve Y. Kassem (Ed.), *Climate Change, Natural Resources and Sustainable Environmental Management* (ss. 313–322). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-04375-8\\_35](https://doi.org/10.1007/978-3-031-04375-8_35)
- Harita Genel Müdürlüğü, 1/25,000 ölçekli topografa haritaları ve 5m çözünürlükte Sayısal Yüzey Modeli verisi.
- Hong, H., Panahi, M., Shirzadi, A., Ma, T., Liu, J., Zhu, A. X., Chen, W., Kougiyas, I., ve Kazakis, N. (2018). Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neuro-fuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution. *Science of the Total Environment*, 621, 1124–1141. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.114>
- Huang, K., Li, X., Liu, X., ve Seto, K. C. (2019). Projecting global urban land expansion and heat island intensification through 2050. *Environmental Research Letters*, 14(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4b71>
- Islam, A., ve Sarkar, B. (2021). Analysing flood history and simulating the nature of future floods using Gumbel method and Log-Pearson Type III: The case of the Mayurakshi River Basin, India. İçinde *Bulletin of Geography, Physical Geography Series* (C. 19, Sayı 1, ss. 43–69). <https://doi.org/10.2478/bgeo-2020-0009>
- Jasiewicz, J., ve Stepinski, T. F. (2013). Geomorphons—a pattern recognition approach to classification and mapping of landforms. *Geomorphology*, 182, 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.005>
- Jenks, G. (1967). The Data Model Concept in Statistical Mapping. İçinde *International Yearbook of Cartography* (ss. 7:186-190).
- Khan, I., Lei, H., Shah, A. A., Khan, I., ve Muhammad, I. (2021). Climate change impact assessment, flood management, and mitigation strategies in Pakistan for sustainable future. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(23), 29720–29731. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12801-4>
- Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I., ve Tien Bui, D. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744–755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>
- Knighton, A. D. (1999). Downstream variation in stream power. *Geomorphology*, 29(3–4), 293–306. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00015-X)
- Koç, G., Petrow, T., ve Thieken, A. H. (2020). Analysis of the most severe flood events in Turkey (1960-2014): Which triggering mechanisms and aggravating pathways can be identified? *Water (Switzerland)*, 12(6), 1–32. <https://doi.org/10.3390/W12061562>
- Koçman, A. (1993). Türkiye iklimi. İzmir: Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayınları.
- Li, Y., Badu, F., Hu, T., ve Stein, A. (2023). Urban flood susceptibility mapping based on social media data in Chengdu city, China. *Sustainable Cities and Society*, 88(July 2022), 104307. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104307>
- Lin, J. (1991). Divergence measures based on the Shannon entropy. *IEEE Transactions on Information Theory*, 37(1), 145–151. <https://doi.org/10.1109/18.61115>
- Liuzzo, L., Sammartano, V., ve Freni, G. (2019). Comparison between Different Distributed Methods for Flood Susceptibility Mapping. *Water Resources Management*, 33(9), 3155–3173. <https://doi.org/10.1007/s11269-019-02293-w>
- Moore, I. D., Grayson, R. B. B., & Ladson, A. R. R. (1991). Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes*, 5(1), 3–30.
- Onuşuel Gül, G. (2013). Estimating flood exposure potentials in Turkish catchments through index-based flood mapping. *Nat Hazards* 69, 403–423.
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., & Aydın, S. (2017). Köppen-Geiger İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye'nin İklim Tipleri. *Coğrafya Dergisi*, 35, 17-27 (In Turkish).



- <https://dergipark.org.tr/iucografya/issue/32204/330955>Park, K., & Lee, M. H. (2019). The development and application of the urban flood risk assessment model for reflecting upon urban planning elements. *Water (Switzerland)*, 11(5), 1–17. <https://doi.org/10.3390/w11050920>
- Park, K., Lee, M.H. (2019). The Development and Application of the Urban Flood Risk Assessment Model for Reflecting upon Urban Planning Elements. *Water*.11(5):920. <https://doi.org/10.3390/w11050920>
- Pham, B. T., Luu, C., Phong, T. Van, Nguyen, H. D., Le, H. Van, Tran, T. Q., Ta, H. T., & Prakash, I. (2021). Flood risk assessment using hybrid artificial intelligence models integrated with multi-criteria decision analysis in Quang Nam Province, Vietnam. *Journal of Hydrology*, 592(September 2020), 125815. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125815>
- Pham, B. T., Pradhan, B., Tien Bui, D., Prakash, I., & Dholakia, M. B. (2016). A comparative study of different machine learning methods for landslide susceptibility assessment: A case study of Uttarakhand area (India). *Environmental Modelling and Software*, 84, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.07.005>
- Pradhan, B., ve Lee, S. (2010). Landslide susceptibility assessment and factor effect analysis: backpropagation artificial neural networks and their comparison with frequency ratio and bivariate logistic regression modelling. *Environmental Modelling ve Software*, 25(6), 747–759. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.10.016>
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., ve Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42–70. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.104159>
- Razavi Termeh, S. V., Kornejady, A., Pourghasemi, H. R., ve Keesstra, S. (2018). Flood susceptibility mapping using novel ensembles of adaptive neuro fuzzy inference system and metaheuristic algorithms. *Science of The Total Environment*, 615, 438–451. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.262>
- Samanta, S., Pal, D. K., ve Palsamanta, B. (2018). Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 8(2), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0710-1>
- Sarkar, D., ve Mondal, P. (2020). Flood vulnerability mapping using frequency ratio (FR) model: a case study on Kulik river basin, Indo-Bangladesh Barind region. *Applied Water Science*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1102-x>
- Sarkar, D., Saha, S., ve Mondal, P. (2022). 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*, 19(9), 8911–8932. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03627-1>
- Serengil, Y., Aydın, M., Çeler, E., Aytakin, M., ve Özkan, U. (2021). İklim Değişikliğine Adaptasyonda Havza Yaklaşımı: Kent Orman Etkileşiminde Örnek Çalışmalar. İçinde B. Pakdemirli, Ö. Küçük, Z. Bayraktar, ve S. Takmaz (Ed.), *EKOLOJİ VE EKONOMİ EKSENİNDE TÜRKİYE'DE ORMAN VE ORMANCILIK* (1. baskı, ss. 547–578). Uzun Dijital Matbaa.
- Shirzadi, A., Chapi, K., Shahabi, H., Solaimani, K., Kaviani, A., ve Ahmad, B. Bin. (2017). Rock fall susceptibility assessment along a mountainous road: an evaluation of bivariate statistic, analytical hierarchy process and frequency ratio. *Environmental Earth Sciences*, 76(4), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6471-6>
- Siahkamari, S., Haghizadeh, A., Zeinivand, H., Tahmasebipour, N., ve 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>
- Sørensen, R., Zinko, U., ve Seibert, J. (2006). On the calculation of the topographic wetness index: Evaluation of different methods based on field observations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 101–112. <https://doi.org/10.5194/hess-10-101-2006>
- Tariq, A., Yan, J., Ghaffar, B., Qin, S., Mousa, B. G., Sharifi, A., Huq, M. E., ve Aslam, M. (2022). Flash Flood Susceptibility Assessment and Zonation by Integrating Analytic Hierarchy Process and Frequency Ratio Model with Diverse Spatial Data. *Water*, 14(19), 3069. <https://doi.org/10.3390/w14193069>
- Tehrany, M. S., ve Kumar, L. (2018). The application of a Dempster–Shafer-based evidential belief function in flood susceptibility mapping and comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Environmental Earth Sciences*, 77(13), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7667-0>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., ve Jebur, M. N. (2013). Spatial prediction of flood susceptible areas using rule-based decision tree (DT) and a novel ensemble bivariate and multivariate statistical

- model in GIS. *Journal of Hydrology*, 504, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.034>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., ve Jebur, M. N. (2014). Flood susceptibility mapping using a novel ensemble weights-of-evidence and support vector machine models in GIS. *Journal of Hydrology*, 512, 332–343. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.03.008>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., ve Jebur, M. N. (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1149–1165. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1021-9>
- UNIDDR. (2020). Human cost of disasters: An overview of the last 20 years 2000–2019.
- Utlu, M., ŐimŐek, M. & Öztürk, M. Z. (2020). 1D Taşkın Modellemeleri Açışından Topo Dem ve Alos Dsm Verilerinin Karşılaştırılması: Alara Çayı Örneği. *Ege Coğrafya Dergisi*, 29 (2), 161-177. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/ecd/issue/58525/775152>
- Vafakhah, M., Mohammad Hasani Loor, S., Pourghasemi, H., ve Katebikord, A. (2020). Comparing performance of random forest and adaptive neuro-fuzzy inference system data mining models for flood susceptibility mapping. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(11). <https://doi.org/10.1007/s12517-020-05363-1>
- Wahlstrom, M., ve Guha-Sapir, D. (2015). The human cost of weather-related disasters 1995–2015.
- Wang, Y., Fang, Z., Hong, H., Costache, R., ve Tang, X. (2021). Flood susceptibility mapping by integrating frequency ratio and index of entropy with multilayer perceptron and classification and regression tree. *Journal of Environmental Management*, 289, 112449. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112449>
- Wang, Y., Hong, H., Chen, W., Li, S., Panahi, M., Khosravi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Panahi, S., ve Costache, R. (2019). Flood susceptibility mapping in Dingnan County (China) using adaptive neuro-fuzzy inference system with biogeography-based optimization and imperialistic competitive algorithm. *Journal of Environmental Management*, 247, 712–729. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.102>
- Wang, Y., Li, Z., Tang, Z., ve Zeng, G. (2011). A GIS-Based Spatial Multi-Criteria Approach for Flood Risk Assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China. *Water Resources Management*, 25(13), 3465–3484. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9866-2>
- Wağas, H., Lu, L., Tariğ, A., Li, Q., Bağa, M. F., Xing, J., ve Sajjad, A. (2021). Flash flood susceptibility assessment and zonation using an integrating analytic hierarchy process and frequency ratio model for the chitral district, khyber pakhtunkhwa, pakistan. *Water (Switzerland)*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/w13121650>
- Yilmaz, I., ve Keskin, I. (2009). GIS based statistical and physical approaches to landslide susceptibility mapping (Sebinkarahisar, Turkey). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 68(4), 459–471. <https://doi.org/10.1007/s10064-009-0188-z>
- Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., ve El-Haddad, B. A. (2022). Advanced machine learning algorithms for flood susceptibility modeling – performance comparison: Red Sea, Egypt. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20213-1>
- Yulianto, F., Fitriana, H. L., ve Sukowati, K. A. D. (2020). Integration of remote sensing, GIS, and Shannon's entropy approach to conduct trend analysis of the dynamics change in urban/built-up areas in the Upper Citarum River Basin, West Java, Indonesia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(1), 383–395. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00686-9>
- Url-1: <https://onenationuk.org/libyafloods?gad=1>
- Url-2: <https://reliefweb.int/report/libya/unicef-libya-humanitarian-situation-report-no-1-storm-daniel-and-floods-14-september-2023>
- Url-3: [https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/sel-felaketi-yasayan-bozkurtun-okaklari-yeniden-sular-tinda.EHD39e\\_cKk2ZZHgd4wmVvA/3jICJswaDkqsu5BBPgERig](https://www.ntv.com.tr/galeri/turkiye/sel-felaketi-yasayan-bozkurtun-okaklari-yeniden-sular-tinda.EHD39e_cKk2ZZHgd4wmVvA/3jICJswaDkqsu5BBPgERig)
- Url-4: <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/sel-felaketinin-yasandigi-bazi-bolgelerde-48-saatteki-yagis-miktari-1-yillik-toplam-yagisin-3te-2sini-buldu/2335014>
- Url-5: <https://www.dw.com/tr/bozkurttaki-felaketin-7-nedeni/a-58881523>
- Url-6: <https://www.yenisafak.com/foto-galeri/gundem/goruntuler-korkunc-bozkurttakisel-felaketinin-boyutu-gun-agarinca-ortaya-cikti-2052138?page=18>
- Url-7: <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/mage-data/raster-and-images/curvature-function.htm>