



Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed>



Araştırma Makalesi

Shannon Entropi (SE) ve AHP Metoduyla Artvin (Arhavi) Kapisre Taşkınının İncelenmesi

Ufuk YÜKSELER*, Ömerul Faruk DURSUN

İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44000, Malatya, Türkiye

Ufuk YÜKSELER, [ORCID No: 0000-0002-7233-0821](https://orcid.org/0000-0002-7233-0821),

Ömerul Faruk DURSUN, [ORCID No: 000-0003-3923-5205](https://orcid.org/000-0003-3923-5205)

* Sorumlu yazar e-posta: ufukyukseler12@gmail.com

Makale Bilgileri

Geliş: 23.11.2023

Kabul: 13.06.2024

Online Ağustos 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1395065](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1395065)

Anahtar Kelimeler

AHP,
Artvin ili,
Coğrafi bilgi sistemleri,
Shannon entropi metodu,
Taşkın

Öz: Küresel iklim değişikliği etkilerinin olduğu düşünülen taşkın kuraklık gibi afetlerin giderek daha fazla meydana gelmesi ile beraber, taşkın alanlarının belirlenmesi ve zararlarının azaltılmasına yönelik yapılan çalışmaların önemi de artmaktadır. Bu çalışmada, Artvin ili Arhavi ilçesinin sınırları içerisinde 2021 yılında yaşanan, can ve mal kaybına neden olan taşkın incelenmiş ve nedenleri ortaya konulmuştur. Taşkın çalışmalarında kullanılan pek çok parametreden en yoğun kullanılan 9 adet taşkın etki eden parametrelerin yanı sıra Çok Kriterli Karar Verme yöntemlerinden AHP ve Shannon Entropi (SE) metoduyla çalışma sahasının duyarlılık haritası çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda, her iki metoda göre taşkın oluşumunda en etkili parametreler yükselti ve yağış olarak belirlenmiştir. Taşkın yaşandığı lokasyonların düşük yükselti değerleri, yoğun yağış ve alüvyal toprak tipi özelliği gösterdiği çalışmaların bulguları arasındadır. Ayrıca SE, AHP metodlarıyla havzanın duyarlılık haritası çıkarılmış ve 4 adet doğrulama metoduyla bu iki metodun doğruluk analizleri hesaplanmıştır. Shannon Entropi metodu AHP metoduna göre daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Investigation of Artvin (Arhavi) Kapisre Flood using Shannon Entropy (SE) and AHP Method

Article Info

Received: 23.11.2023

Accepted: 13.06.2024

Online August 2024

DOI:[10.53433/yyufbed.1395065](https://doi.org/10.53433/yyufbed.1395065)

Keywords

AHP,
Artvin province,
Flood,
Geographic identity systems,
Shannon entropy method

Abstract: As the effects of global climate change are increasingly felt, the importance of studies aimed at identifying flood areas and reducing their damage is increasing. In this study, the flood that occurred in 2021 within the borders of Arhavi district of Artvin province and caused loss of life and property was examined and its causes were tried to be revealed. A risk map of the study area was prepared using 9 parameters affecting floods, which are frequently used in flood studies, and the AHP and Shannon Entropy (SE) methods, which are among the Multi-Criteria Decision Making methods. As a result of the study, the most effective parameters for floods according to both methods were determined as elevation and precipitation. Among the findings of the studies, the locations where the flood occurred have low altitude values, heavy rainfall and alluvial soil type. In addition, the risk map of the basin was prepared using SE and AHP methods, and the accuracy values of these two methods were calculated with 4 verification methods. It has been determined that the Shannon Entropy method gives better results than the AHP method.

1. Giriş

Taşkın, bir akarsu havzasına beklenenden daha fazla su gelmesi sonucunda suyun akarsu yatağının dışına taşmasıyla oluşan, can ve mal kayıplarına neden olan meteorolojik bir afettir. Taşkınlar dünyada en fazla yaşanan meteorolojik afetler içerisinde yer almaktadır. Bu nedenle, taşkınların öngörülebilirliği her ne kadar zor olsa da taşkın yayılımları hakkında bazı çalışmalar yapmak önem arz etmektedir. Taşkın olaylarına etki eden en temel neden genelde yağış olarak bilinse de bazı havzalarda bu durum farklılık göstermektedir. Özellikle akarsu yataklarında oluşacak doğal yapıyı bozan her türlü yapılar veya taşkına havza bazlı başka faktörlerin daha çok etki etmesi normal yağışlarda bile taşkın yaşandığını örneklendirmektedir. Havzalarının kullanımı veya taşkın koruma yapılarının projelendirilmesi aşamasında taşkın risk ve duyarlılık çalışmaları ciddi önem arz etmektedir (Özdemir, 2007). Risk yönetimi çalışmalarında tehlike ve riskli bölgeler belirlenmekte ve afetten korunmak için seçenek ve öncelikler belirlenip kararlar arasında en uygununun hayata geçirilmesine karar verilmektedir (Özcan, 2008). Utlu (2023) yaptığı çalışmada, Frekans Oran Metodu ve Shannon Entropi yöntemini kullanarak Kastamonu İlinin Bozkurt ilçesinde bulunan Ezine Çayı havzasının taşkın duyarlılık haritasını çıkarmıştır. Çalışmada taşkına etki eden 12 parametre kullanılmış olup Frekans Oranı yönteminin doğruluk değerini daha yüksek bulmuştur. Yükseler ve ark. (2023) yaptıkları çalışmada, Trabzon ilinin Of İlçesinde bulunan Solaklı havzasında geçmişte yaşanan taşkınlar ile ağaç tabanlı modeller olan M5PRT, M5PRGT ve Lojistik Regresyon modellerinin taşkın duyarlılık haritalarının mukayesesini yapmıştır. 10 adet taşkına etki eden parametre ile çalışılmış ve çalışmada ağaç tabanlı modellerin taşkını tahmin etmede çok daha başarılı olduğunu sonucunu ortaya koymuşlardır. Wang ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, Çin'in Dongjiang Nehri Havzasında Rastgele Ormana Dayalı metoduyla duyarlılık haritası oluşturmuştur. Çalışmasında taşkına en etkili parametreleri sırasıyla yağış, akış derinliği, taşkın frekansı, yükseklik ve TWI bulunmuştur. En etkisiz parametreler ise SPI, Eğim ve Toprak dokusu olarak bulunmuştur. Senan ve ark. (2023) yılında yaptıkları çalışmada AHP metoduyla Umman denizi sınırlarındaki Güney Hindistan'ın sel duyarlılık haritası çıkartılıp değerlendirilmiştir. 20 taşkın tetikleyici parametre ile yapılan çalışmada çalışma alanının %24.10'luk kısmı yüksek ve çok yüksek duyarlılıklı alanlar olarak tespit edilmiştir. Shaikh ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Gujarat eyaletindeki taşkın risk alanlarının belirlenebilmesi için Bulanık Mantık, Bileşik Faktör ve AHP metotları kullanılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda AHP yönteminin çok iyi sonuçlar verdiği ifade edilmiştir. Vestby ve ark. (2024), yaptıkları çalışmada doğal afetlerden olan taşkın afetinin meydana getirdiği sonuçları toplumsal açıdan incelemiş ve meydana gelen afetlerin yarattıkları bilanço bir yayında toplanmıştır. Debnath ve ark. (2024), çalışmalarında makine öğrenmesi yöntemleri ile Hindistan'ın Tripura kentinde yaşanan sel afetleri incelenmiştir. Çalışmada K-En Yakın Komşu, Karar Ağacı, Naive Bayes ve Rastgele Orman olmak üzere dört farklı makine öğrenimi yöntemleri kullanılmıştır. Uygulanan yöntemlerin tamamında %70'in üzerinde doğrulama değerlerine rastlanmıştır.

Doğu Karadeniz Bölümü Türkiye'de en fazla taşkına maruz kalan illeri içinde barındırmaktadır. Bu illerin içerisinde sayılan Artvin ili de pek çok kez taşkın gerçeğiyle yüzleşmektedir (DSİ, 1996; DSİ, 2006a). Bu çalışmada, Artvin İlinin Arhavi ilçesinde 2021 yılında Kapisre deresinin taşması sonucu oluşan taşkın afeti incelenmiştir. Bu afette 3 kişi hayatını kaybetmiş ve ciddi mal kayıpları ile karşılaşmıştır (AFAD, 2021). Bu amaçla, 9 adet taşkın üzerinde etkili parametrenin haritası çıkarılmıştır. Taşkın yaşanan 280 noktasal verinin bu 9 parametre içerisindeki ve taşkın yaşanmayan noktalardaki durumları incelenmiş ve bu parametrelerin taşkına nasıl etki ettiği yorumlanmıştır. Ayrıca havzada taşkın duyarlılık haritasının çıkarılması amacıyla Shannon Entropi (SE) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemleri uygulanmıştır. Taşkın yaşanan noktalar ile bu iki metot mukayese edilmiş ve doğrulama yöntemlerinden ACC (Accuracy), R (Recall), P (Precision) ve F (F-Score) ile bu yöntemlerin doğrulukları belirlenmiştir. Taşkın konusunda yapılan pek çok çalışmada sadece afet risk veya duyarlılık haritaları çıkarılarak çalışma tamamlanmıştır. Bu çalışmayı mevcut çalışmalardan ayıran en önemli özellik yaşanmış bir afette yöntemlerin doğrulukları incelenmiş, yöntemlerin doğruluk değerlerinden yola çıkarak mevcut afette etkilenmeye de gelecekteki afetlerde riskli olabilecek yerler de belirlenmiştir. Ayrıca taşkında etkili olan parametrelerin mevcutta olan 2021 afetine nasıl bir etki ettiği alt parametreler incelenerek ortaya konulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

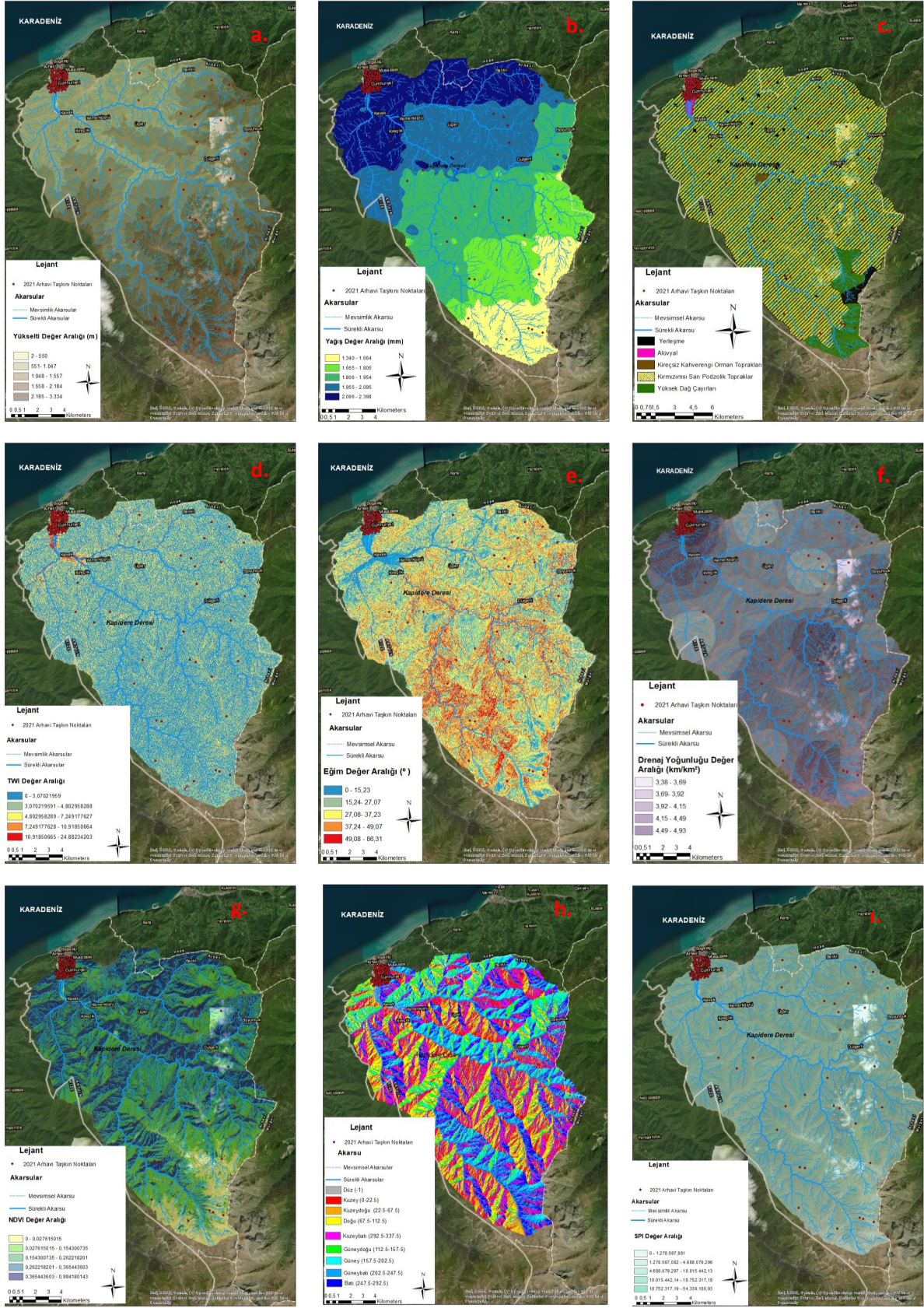
Artvin ilinin sınırları içerisinde bulunan Kapisre deresinin 25.07.2021 tarihinde taşması nedeniyle Arhavi ve Murgul ilçesinde taşkın afeti meydana gelmiştir. Yaşanan bu afet sonucunda 430 ev ve iş yerinin zemin ve bodrum katları suyla dolmuş, araçlar sürüklenmiştir. İlçede alt ve üst yapıda ağır hasarlar oluşmuş, tarım arazileri ve karayolları çökmüş, su, elektrik ve telefon hatları zarar görmüştür. 10 bina, 9 konut, 18 bağımsız bölüm ile 2 ahır yıkılmış, 6 bina, 3 ev ve 9 bağımsız bölüm ağır hasar görmüştür. 253 bina, 1144 bağımsız bölüm ile 44 konut ise sel ve heyelanlardan etkilenerek hasar almıştır. Yaşanan bu afette 3 kişi hayatını kaybetmiştir (AFAD, 2021).



Şekil 1. Taşkın afetinin durumunu belirten görseller (Anonim, 2021).

Çalışma kapsamında, 9 adet taşkın üzerinde etkili parametre kullanılmıştır. Seçilen bu parametreler literatür okumaları sonucunda belirlenmiştir (Stefanidis & Stathis, 2013; Ouma & Tateishi, 2014; Gigović ve ark., 2017; Ghosh & Kar, 2018; Hammami ve ark., 2019; Swain ve ark., 2020). Taşkını etki eden parametrelerin 2021 Artvin (Arhavi) taşkınının olduğu havza için haritalanmış, bu haritalar sonucunda bu parametrelerin kendi alt parametresi ve diğer parametreler arasındaki ilişki yorumlanmıştır (Şekil 2).

Çalışmada yükselti verileri Hava Kuvvetleri Komutanlığına bağlı Harita Genel Müdürlüğü'nden 2021 yılında alınan sayısal modellerden üretilmiştir (Şekil 2.a). Yağış verileri ise Wordclim sitesinden alınan yağış değerleri ile havza bazlı uyarlaması yapılarak kullanılmıştır (Şekil 2.b). Toprak verileri Köy İşleri Bakanlığı'na bağlı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı ve MTA Müdürlüğüne ait 1/100.000 ölçekli toprak paftaları çalışma alanı düzeyinde kırılarak oluşturulmuştur (Şekil 2.c). Alınan bu veriler elektronik yazışmalar doğrultusunda mail yoluyla alınmıştır. Topoğrafik Nemlilik indeksi (TWI) verileri Beven & Kirkby (1979) tarafından ortaya konulan ve Denklem 2'de gösterilen teori sonucunda üretilmiştir (Şekil 2.d). Eğim haritası sayısal yükselti modelinden yararlanılarak Arcmap 10.2 programının yüzey analizleri (Raster Surface) sekmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 2.e). Drenaj Yoğunluğu bir hücre içindeki toplam akarsu uzunluğunun hücre alanına (boyutuna) oranını göstermektedir (Sahana & Patel, 2019). Bu nedenle bu harita sayısal yükseklik modelleri haritalarından yola çıkarak raster calculator sekmesi ile oluşturulmuştur (Şekil 2.f). İnceleme alanında 3 Mayıs 2013 tarihli OLI Landsat görüntülerinden yola çıkarak Denklem 3 uygulanmasıyla NDVI haritası üretilmiştir (Şekil 2.g). Çalışma alanında bakı haritası yine sayısal yükselti modelinden yararlanılarak yüzey analizleri (Raster Surface) ile oluşturulmuştur (Şekil 2.h). Akarsu Güç İndeksi verileri (SPI) aşağıdaki Denklem 1 doğrultusunda oluşturulmuştur (Werner ve ark., 2005).



Şekil 2. 2021 Arhavi taşkınına etki eden parametreler (a; Yükselti, b; Yağış, c; Toprak; d; TWI, e; Eğim, f; Drenaj yoğunluğu, g; NDVI, h; Bakı, i; SPI).

SPI İndeksin Formülü;

$$SPI = Accumulation * Cell Size * Tan (Slope * 0.017453) \quad (1)$$

$$TWI = \ln \frac{(Accumulation + 1) * Cell Size}{Tan \left(Slope * \frac{\pi}{180} \right) + 0.001} \quad (2)$$

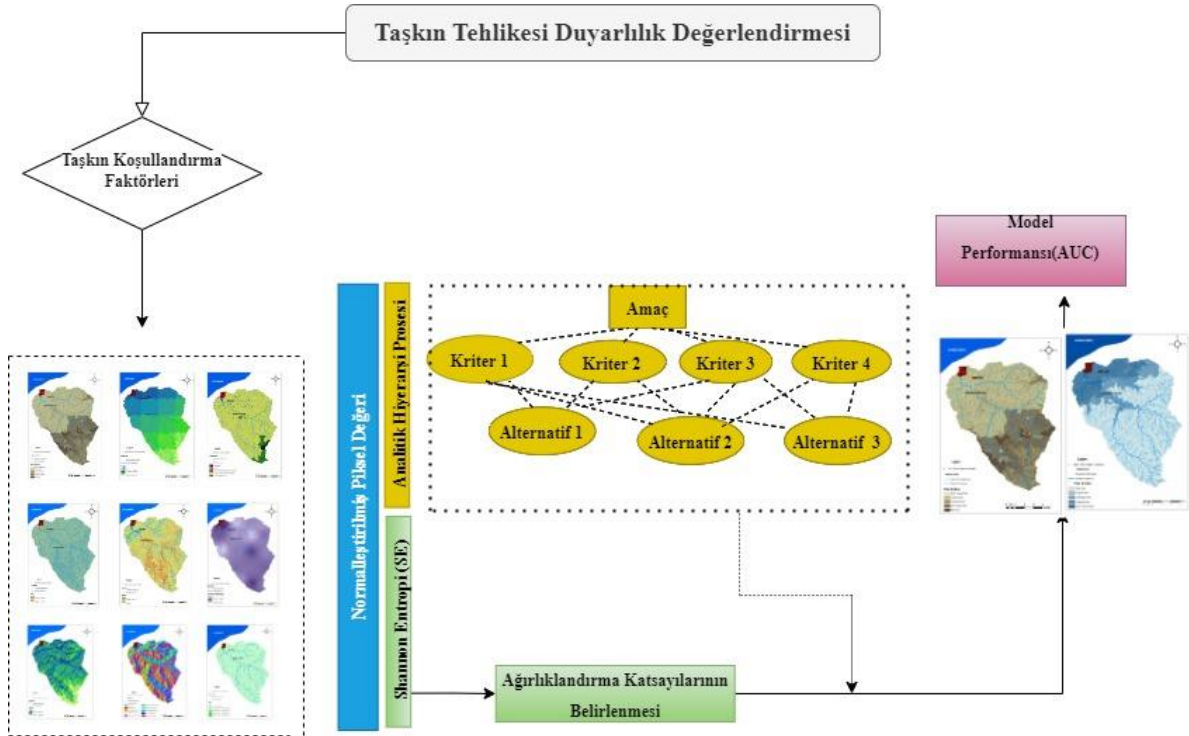
$$NDVI = \frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4} \quad (3)$$

Taşkına etki eden parametreler için farklı kurumlardan veri alınıp verilerin işleme süreci ArcGIS 10.2 yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Arcmap 10.2 yazılımıyla edit pixel size arayüzü ile tüm parametreler 5*5 olacak şekilde yeniden boyutlandırılmıştır. (Çizelge 1).

Çizelge 1. Kullanılan verilerin özellikleri (AFAD, 2019; DSİ, 2006a; DSİ, 2006b)

Parametrenin Elde Edildiği Yer/Kurum	Taşkın Tetikleme Faktörü	Veri Tipi	Piksel Boyutu
Hasar Belirleme Tutanakları	Taşkın Lokasyonları	Nokta-Poligon	-
	Eğim	Raster	5*5
	Bakı	Raster	5*5
Harita Genel Müdürlüğünden alınan Sayısal Yükselti Modeli (SYM)	Topografik Nemlilik İndeksi	Raster	5*5
	Akarsu Güç İndeksi	Raster	5*5
	Drenaj Yoğunluk	Raster	5*5
https://www.worldclim.org Yağış haritası	Yağış	Raster	5*5
https://earthexplorer.usgs.gov/ Landsat 8 OLI	NDVI	Raster	30*30
Köy İşleri Bakanlığı'na bağlı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Etüt ve Proje Dairesi Başkanlığı ve MTA Müdürlüğüne ait 1/100.000 ölçekli jeoloji paftaları	Litoloji	Raster	100*100
	Toprak Tipi haritası	Vektör	100*100

Taşkın koşullandırma faktörleri ve model sonuç haritaları çıkarılmış ve 2021 yılında yaşanan Arhavi taşkınyından etkilenen 280 adet noktasal veri ile mukayese yapılarak modellerin doğrulukları yorumlanmıştır. Çalışmada 280 noktasal verinin kullanılmasının sebebi havzanın drenaj alanının yaklaşık 280 m³ değerinde olmasıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışmanın genel iş akış şeması.

AHP ve Shannon Entropi (SE) metodunun çalışma prensibi doğrultusunda taşkına etki eden 9 adet parametre kendi alt parametreleri ve diğer parametreler arasında bir ağırlıklandırma yöntemi yapılmaktadır. Bu amaçla bu çalışmada her iki yöntem içinde ağırlıklandırma ve AHP metodu için tutarlılık değerleri belirlenip haritalandırma işlemi yapılmıştır (Çizelge 2).

2.2. Yöntem

Çok kriterli karar verme yöntemleri birden fazla bağımlı değişkenlerden etkilenen örneklerde sonucun belirlenmesi için sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Taşkın olaylarının belirlenmesinde ya da yorumlanmasında etkili parametreler arasında ciddi ilişkiler bulunmaktadır. Çalışma sahasının meteorolojik ve fiziki özellikleri taşkın olayının meydana gelmesinde ve bu olayın yaşanma sebeplerinin ortaya koyulmasında temel rol oynar (Pham ve ark., 2021). Bu belirlenen veriler arasındaki etkileşim ise parametrelerin seçimi kadar önemlidir. Taşkın olayı birden fazla parametrelerden etkileştiği ve her havzada bu etkileşim değeri farklılık arz ettiği için Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri taşkın çalışmaları açısından çok uyumlu sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada çok kriterli karar verme yöntemlerinden en sık kullanılan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve entropi yöntemlerinin modifiye edilmiş şekli olan Shannon Entropi (SE) yöntemi kullanılmıştır. Her iki yöntemin farklı çalışma algoritmaları sayesinde yöntemlerin eksiklikleri ve üstünlükleri havzaya uyumları beraberliğinde incelenmiş, taşkın olaylarındaki parametreler ve alt parametrelerin etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

2.2.1. Shannon entropi metodu (SE)

Shannon Entropi (SE) yöntemi taşkın tehlike ve duyarlılık haritalarının üretilmesinde kullanılan bir yöntemdir (Sarkar ve ark., 2022). Shannon Entropi (SE) metodu pek çok parametreden etkilenen sonuçların arasındaki etkileşimi ölçen entropi yöntemlerine dayanmaktadır (Lin, 1991). Shannon Entropi (SE) metodunda bulunan yüksek değerler taşkın açısından riskli bölgeleri ifade ederken düşük değerler düşük riskli bölgeleri ifade eder. Bu çalışmada, Shannon Entropi metodu hesaplanırken başta Frekans Oran Metodu uygulanmış, bu uygulamadaki bulgular bu yöntemin altlığını oluşturmuştur. Shannon Entropi metodu hesaplanması için 4-8 arasındaki denklemler uygulanır.

$$Pd_{ij} = \frac{FR_{ij}}{\sum_{i=1}^{mj} FR_{ij}} \quad (4)$$

Pd_{ij} ; olasılık yoğunluğunu, FR_{ij} ; verilen gridlerde altlık olarak yapılan Frekans Oran metodu sonuçlarını ifade eder. Olasılık yoğunluğu belirlendikten sonra, bulunan değerler entropinin hesaplanması için kullanılır (4-5).

$$Ev_j = \sum_{i=1}^{mj} Pd_{ij} \log_2 Pd_{ij} \quad j = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$Ev_{jmax} = \log_2 mj \quad (6)$$

Ev_j ve Ev_{jmax} entropi değerleri, m_j sınıf sayısıdır. Taşkın duyarlılık haritalarının oluşturulması için kullanılan parametrelere ait ağırlıklandırma değerlerinin belirlenmesinde formül 6 kullanılır.

$$Ic_j = \left(Ev_{jmax} - \frac{Ev_j}{Ev_{jmax}} \right) \quad j = 1, \dots, n \quad (7)$$

Ic_j ilgili katman sayısını ifade eder. I sıfır (0) ile bir (1) arasında değerler alır.

$$C_{Wj} = I_{Wj} * FR \quad (8)$$

7 numaralı denklemde belirlenen C_{Wj} değeri her bir parametrenin diğer parametreler arasındaki ağırlıklandırma değerini ifade eder.

2.2.2. Analitik hiyerarşi metodu (AHP)

Analitik Hiyerarşi metodu birden çok karar verme olasılıklarının olduğu problemlerde karar verme metodu olarak geliştirilmiştir (Rashidpour, 2013). Analitik hiyerarşi süreci birden çok değişken arasından karşılaştırma yöntemi olarak bilinmektedir (Saaty, 2008). Parametreler arasındaki üstünlük katsayıları Saaty'nin hiyerarşi tablosuna göre belirlenir (Saaty, 1980). AHP metotunda problemin ne olduğu belirlendikten sonra, veriler normalize edilir. Ardından Denklem 9 de belirtilen karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra normalizasyon aşamasına geçilir. Denklem 10 uygulanır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (10)$$

Denklem 6'daki her bir veri 0 ila 1 arasında normalize edilir ve Denklem 11'deki matris elde edilir.

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Normalize edilmiş matris oluşturulduktan sonra Denklem 12 uygulanarak öndelik vektörü elde edilir.

$$W_i = \frac{\sum_{i=1}^n c_{ij}}{n} \quad (12)$$

Denklemler uygulandıktan sonra tutarlılık testi uygulanır. Sırasıyla uyum indeksi (CI) Denklem 13'de belirlenir ardından Denklem 14'de gösterildiği üzere uyum oranı (CR) belirlenir.

$$CI = \frac{(Y_{max} - n)}{(n - 1)} \quad (13)$$

$$CR = CI/RI \quad (14)$$

RI: Tesadüfîlik göstergesi

Bu metodun uygulanmasında istenen tutarlılık oranı %10 ve altında çıkması gerekmektedir. Bu çalışmada parametrelerin birbirine ağırlık katsayıları literatür çalışmalarıyla belirlenmiş ve tutarlılık oranı istenen değerlerde çıkmıştır (Çizelge 2).

2.2.3. Kullanılan doğrulama indeksleri

Çalışmada 4 adet doğrulama indeksi kullanılmıştır. Bunlardan Doğruluk (ACC) hem yaşanan (1) hem yaşanmayan (0) noktalarından yola çıkarak doğrulama analizi yapmaktadır. Kalan 3 yöntemden olan kesinlik (P), geri çağırma (R) ve F-skor (F) yöntemleri ise sadece yaşanan (1) veri kümesiyle çalışmaktadır. Çalışmaların hesaplanma yöntemleri Denklem (15-18) aralığında verilmiştir. Verilen Formüllerde Gerçek Pozitif (TP) (Hem gerçek afette hem modellerde 1), Gerçek Negatif (TN) (Gerçek

afette 1 modellerde 0), Yanlış Pozitif (**FP**) (Hem Gerçek afetlerde Hem Modellerde 0) ve Yanlış Negatif (**FN**) (Gerçek afetlerde 1 Modellerde 0) olarak sınıflandırılmaktadır.

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (15)$$

$$P = \frac{TP}{TP + FP} \quad (16)$$

$$R = \frac{TP}{TP + FN} \quad (17)$$

$$F = \frac{(2 * P * R)}{(P + R)} \quad (18)$$

3. Bulgular

Çalışma alanında yaşanan taşkın birden çok akarsuyun birleştiği ve denize döküldüğü mansap kısmında oluşmuştur. Taşkın sahasının, alınan 280 adet noktasal veri ile özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu 280 veri, 9 adet taşkına etki eden parametreyle incelenmiştir. Çalışmada ilk olarak her bir parametre ve alt parametrelerin etki değerleri hesaplanmış ve ardından sayısallaştırma işlemine geçilmiştir. Verilen değerler AHP yöntemine göre parametrelerin diğer parametreler arasındaki veya alt parametrelerin birbirleri arasındaki taşkına etkili ağırlık değerlerdir. Örneğin yükselti taşkına %30.7 katsayısı ile etki ederken Yağış %21.8 katsayısıyla etki etmektedir. Ayrıca yükseltinin alt parametreleri arasında 0-500 m yükseklik değer aralığı taşkına %15.44 (0.307*0.503) ağırlık değerinde etki etmektedir. Shannon Entropi yöntemine bakıldığında ise, örnek olarak yükselti 3.301 katsayısıyla heyelan etki etmekte ve bu etkinin tamamı 0-500 metre aralığındaki yükselti değerlerinde çıkmaktadır. 501 metre ve üzeri değerlerin taşkına etkisi bulunmadığı görülmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. AHP ve Shannon Entropi (SE) metoduna göre parametrelerin ağırlık katsayıları

		AHP			Shannon Entropi (SE) Metodu		
Yükselti Sınıfları		Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	
Yükselti	1	0-50000	0.503		100		
	2	501-1000	0.260	4%	0	3.301	
	3	1001-1500	0.134		0.307		
	4	1501-2000	0.068		0		
	5	2001-2001+	0.035		0		
Yağış Sınıfları		Ağırlıklandırma	Tutarlılık		Ağırlıklandırma		Ağırlıklandırma
Yağış	1	1300-1500	0.395	3%	0	3.339	
	2	1501-1700	0.239		0.218		
	3	1701-1900	0.199		0		
	4	1901-2100	0.080		0		
	5	2101-2300	0.049		0		
	6	2300+	0.037		100		
Toprak Sınıfları		Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	
Toprak	1	Yerleşme	0.167	5%	20.4	2.361	
	2	Alüvyal top.	0.399		0		
	3	Kireçsiz Kahverengi orman	0.095		0.154		79.6
	4	Kırmızımsı Sarı Podzolik	0.276		0		
	5	Yüksek Dağ Çayırları	0.062		0		

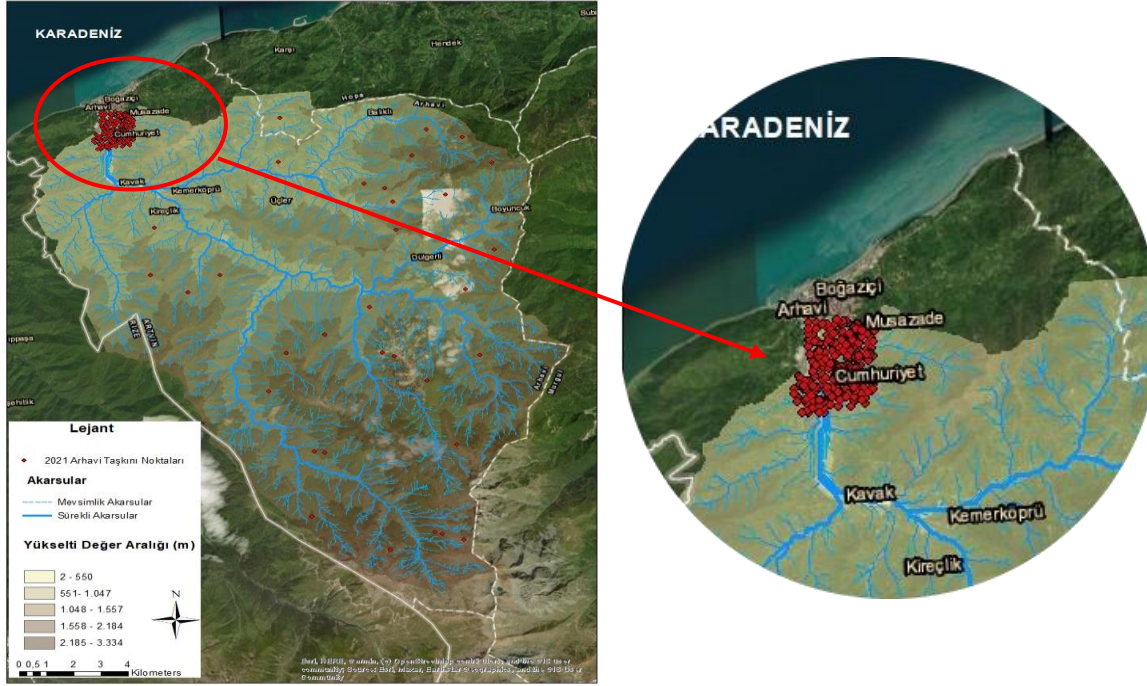
Çizelge 2. AHP ve Shannon Entropi (SE) metoduna göre parametrelerin ağırlık katsayıları (devam)

		AHP			Shannon Entropi (SE) Metodu	
	TWI Sınıfları	Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma
TWI	1	0-4	0.399		23	
	2	4-8	0.273		23.6	
	3	8-12	0.184	2%	18.5	0.349
	4	12-16	0.091		17.7	
	5	16+	0.053		17.2	
				0.109		
	Eğim Sınıfları	Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma
Eğim	1	0-5	0.514		93.51	
	2	5.01-15	0.269		4.27	
	3	15.01-25	0.11	4%	1.97	3.001
	4	25.01-245	0.066		0.23	
	5	45+	0.041		0.02	
				0.076		
	Dren. Yoğ. Sınıfları	Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma
Drenaj Yoğunluğu	1	3.3-3.6	0.399		32.18	
	2	3.6-3.9	0.273		24.55	
	3	3.9-4.2	0.184		0	1.054
	4	4.2-4.5	0.091	2%	43.27	
	5	4.5+	0.053		0	
				0.053		
	NDVI Sınıfları	Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma
NDVI	1	-0.2-0	0.510		20.48	
	2	0.1-0.3	0.266		27.32	
	3	0.4-0.6	0.121	5%	52.19	0.732
	4	0.6-0.8	0.062		0.1	
	5	0.8-1	0.041		0	
				0.037		
	Bakı Sınıfları	Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma
Bakı	1	Düz	0.307		57.88	
	2	Kuzey	0.016		2.67	
	3	Kuzeydoğu	0.026		1.33	
	4	Doğu	0.035		3.16	
	5	Güneydoğu	0.113	4%	0.75	1.494
	6	Güney	0.148		4.57	
	7	Güneybatı	0.207		7.81	
	8	Batı	0.088		12.58	
	9	Kuzeybatı	0.059		9.25	
				0.026		
	SPI Sınıfları	Ağırlıklandırma	Tutarlılık	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma	Ağırlıklandırma
SPI	1	0-100 ³	0.437		29	
	2	100 ³ -2*100 ³	0.277		11	
	3	2*100 ³ -3*100 ³	0.150	5%	0	1.423
	4	3*100 ³ -4*100 ³	0.087		55	
	5	4*100 ³ +	0.049		44	
				0.019		

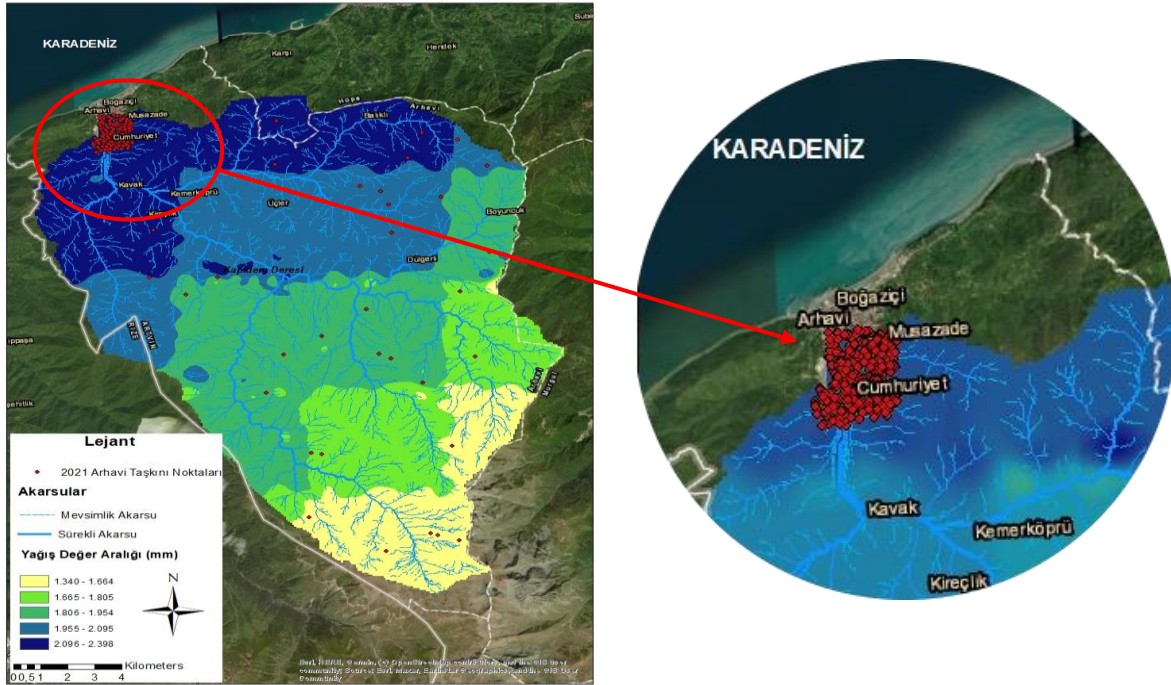
Çalışma sahasındaki yükselti değerlerine bakıldığında 2 ile 3334 metre yükseklik değerleri görülmektedir. Taşkınımın yaşandığı alanda ise en düşük 2 metre yükseklik görülürken en yüksek 168 metre yükseklik değeri görülmüştür. 280 noktasal veriden 240 veri değerinde 0-50 metre yükseklik aralığı, 25 adet veride 50-100 metre yükseklik aralığı ve 15 adet veride ise 100-168 metre aralığında tespit edilmiştir. Havzada taşkın akarsuların denize döküldükleri ve yükselti değerinin havza içerisindeki en düşük değerlerde meydana gelmesi, taşkına etki eden yükselti parametresinde düşük yükselti değerleri taşkınımın tetikleyen faktör olduğunu göstermektedir. En düşük yükselti değerlerinde taşkın yaşanması yükseklik değerinin taşkına çok önemli derecede etki ettiğini göstermektedir (Şekil 4). Yükseltinin taşkınları tetikleyen ana faktörlerden olduğu pek çok çalışmayla ortaya konulmuştur (Tehrany ve ark., 2014; Bui ve ark., 2016; Khosravi ve ark., 2016; Tehrany ve ark., 2019; Ahmad & Afzal, 2020; El-Magd ve ark., 2022).

Yağış parametresi topoğrafik özellikler kadar taşkına etki eden meteorolojik bir parametredir (Mileti, 1995; Çiçek ve Ataol, 2009; Dastorani ve ark., 2010; Lowe ve ark., 2013). Çalışma alanı olarak belirlenen havzada yağış değerleri 1340.76 mm ile 2398.85 mm arasında değişmektedir. Taşkın yaşanan noktalarda yağış değeri en düşük 2223 mm, en yüksek değer 2235.54 mm olarak belirlenmiştir. 280 verinin tamamında çok yakın değerler belirlenmiştir. Taşkın yaşanan noktalar havzadaki yüksek yağış

alan yerlerdir ve yüksek yağış değerlerinin taşkın oluşumunda önemli bir parametre olduğu görülmüştür. Ancak taşkın yaşanan noktalardan daha yüksek yağış değerine sahip noktalarda taşkın yaşanmaması yağış yüksekliğinin taşkına etki eden en önemli kriter olmadığını göstermektedir (Şekil 5).



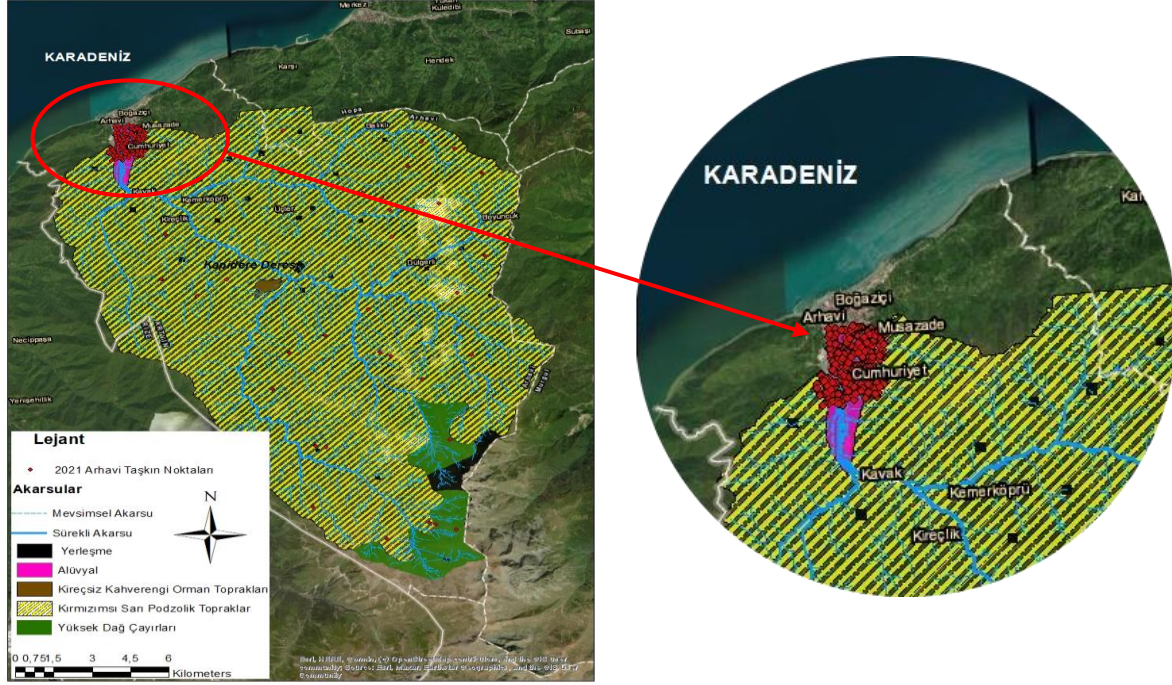
Şekil 4. Kapisre Deresi Havzasının sayısal yükselti modeli.



Şekil 5. Kapisre Deresi Havzasının yağış haritası.

Toprak sınıfı suya doygunluğu, suyu tutma ve şişme kapasitesi nedeniyle taşkına etki eden önemli bir başka parametredir. Çalışma sahasında yerleşme yerleri haricinde 4 ayrı toprak tipi görülmektedir. Alüvyal, kireçsiz kahverengi orman toprakları, kırmızımsı sarı podzolik topraklar ve

yüksek dağ çayırları bulunan toprak tipleri arasındadır (Çınaklı, 2008). Taşkın yaşanan yerlerin toprak özelliklerine bakıldığında alüvyal ve kırmızımsı sarı podzolik topraklarda yaşandığı görülmektedir. Taşkın yaşanan yerleri incelendiğinde, 280 veriden 162 veri alüvyal toprak, 118 veri kırmızımsı sarı podzolik topraklarda olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).

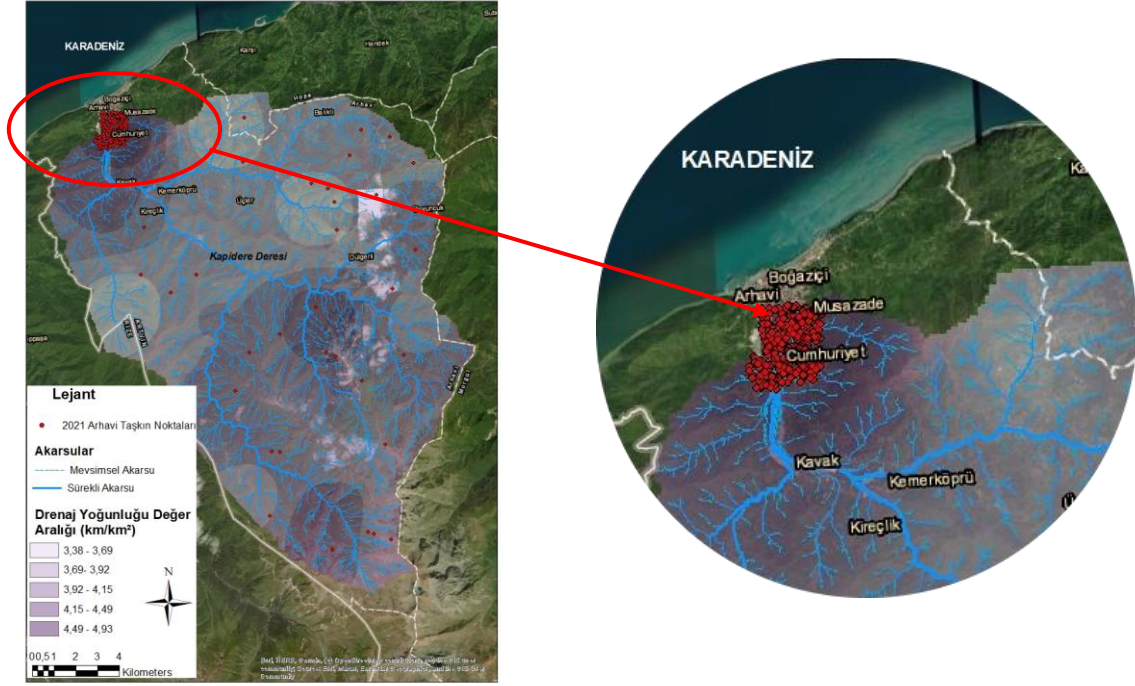


Şekil 6. Kapisre Deresi Havzasının toprak haritası.

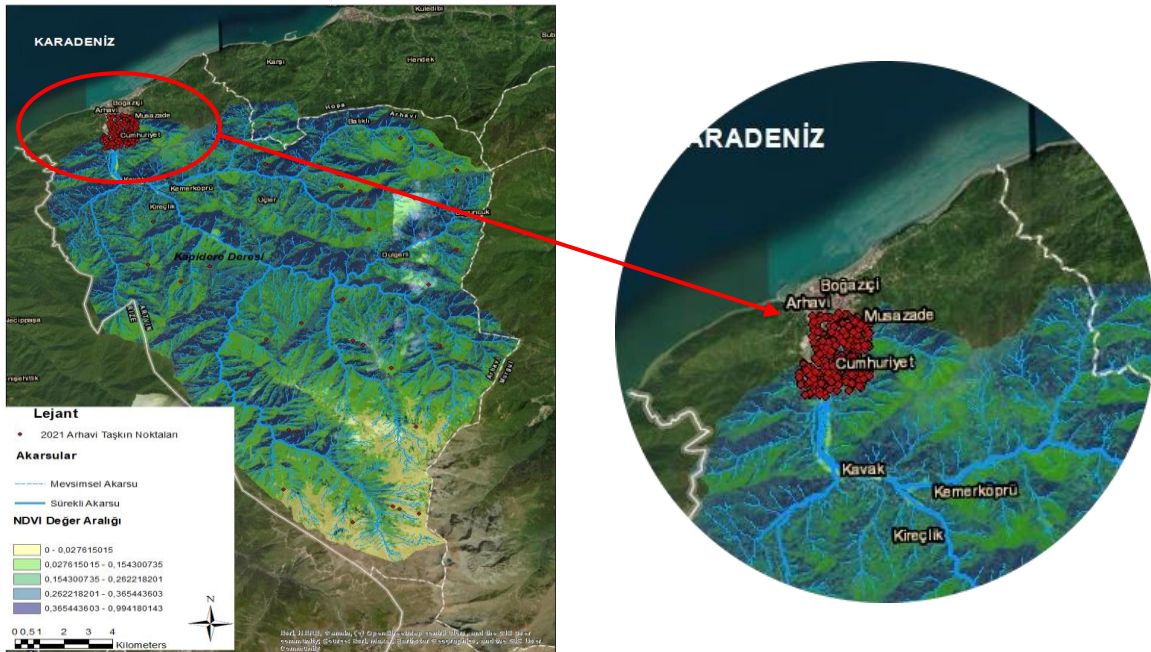
Çalışma sahasındaki Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) 0 ile 24.082 arasında değişmektedir. Taşkın yaşanan noktalarda TWI değeri 2.16 ile 24.87 arasında değişmektedir. TWI değerleri 280 adet taşkın yaşanan noktada 182 noktada 0-10 değerleri, 44 noktada 10-20 değerleri arasında ve 4 adet noktada 20 üstü değerleri görülmüştür. Havzadaki ve taşkın yaşanan noktadaki TWI değerleri incelendiğinde taşkın yaşanan noktalarda belirli değer aralığı görülmemektedir. Topoğrafik ıslaklık indeksi değerleri taşkın yaşanan noktada tekerrürlü değerlerden oluşmaması doğrudan taşkına etki eden önemli bir parametre olmadığını göstermektedir (Şekil 7).

Çalışma sahasında eğim değerleri 0° ile 86.31° arasında değişmektedir. Taşkın yaşanan noktalarda en düşük eğim değeri 0° ile 33.06° arasında belirlenmiştir. 280 adet taşkın belirleme noktalarından 130 adet veride 0°, 81 adet veride 0.1° ile 10° arasında, 46 adet veride 10.1° ile 20°, 19 adet veride 20.1° ile 30° arasında ve 4 adet veride 30° ile 33.06° değerleri arasında belirlenmiştir. Taşkın yaşanan noktada eğim değerinin 0° olduğu yerler çoğunlukla akarsuyun denize deşarj yerlerine yakın yerler olduğu görülmekte olup düşük eğim değerleri taşkına etkisi ortaya konulmuştur (Şekil 8).

(Pourghasemi ve ark., 2020). Bitki örtüsünün yoğun olduğu alanlarda taşkın afetinin oluşum hızı düşmekte ve bitkilerin su emilimi ile akış yavaşlamaktadır (Koç & Küçükönder, 2021). Bu nedenden dolayı bu çalışmaya arazi örtüsünün tamamlayıcısı olarak NDVI eklenmiştir. Bitki örtüsünün yoğun olduğu yerlerde indeks değerleri +1'e yakınken, zayıf olduğu alanlarda yerlerde -1'e doğru yaklaşmaktadır. 0.7 değerinin üzerinin yoğun bitki örtüsü, 0.0-0.4 aralığı ortalama yoğunluk ve <0 değeri olan yerlerde bitki örtüsü bulunmayan yerleri temsil etmektedir (Akkartal ve ark., 2005; Tunay & Ateşoğlu, 2008). Havzadaki bitki örtüsü değerleri ve taşkın yaşanan alandaki bitki örtüsü (NDVI) değerleri değerlendirildiğinde kendi içerisinde havza ve taşkın sahası arasında belirgin bir farklılık göstermediği görülmektedir (Şekil 10).

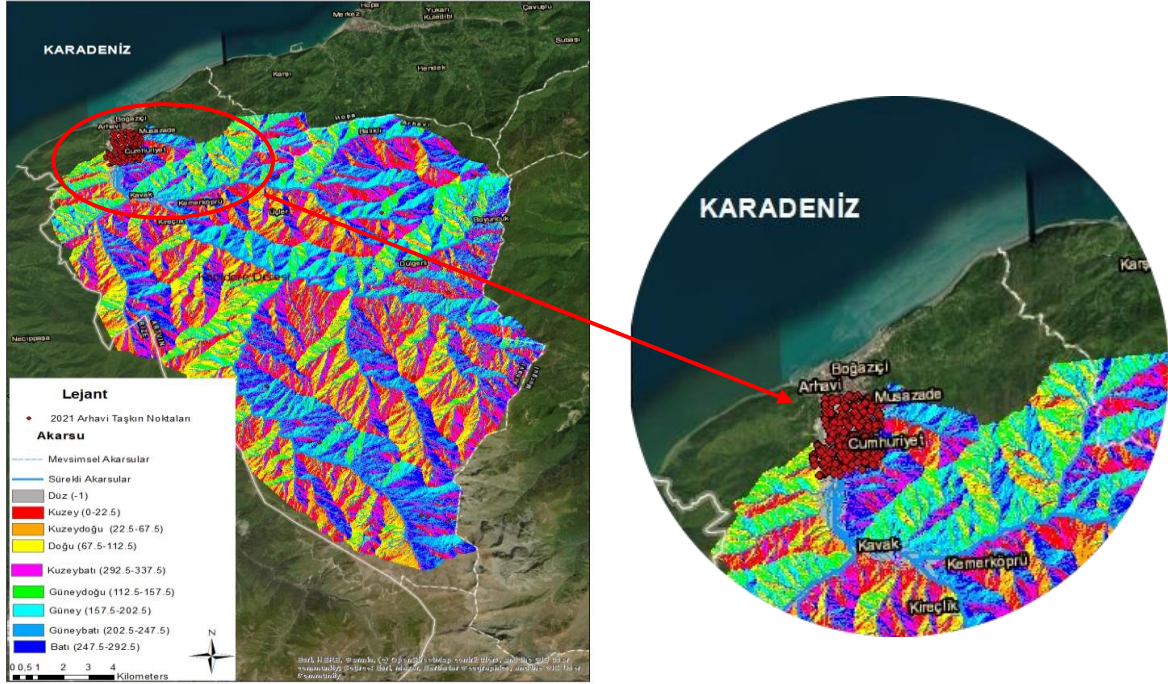


Şekil 9. Kapsire Deresi Havzasının Drenaj yoğunluğu haritası.



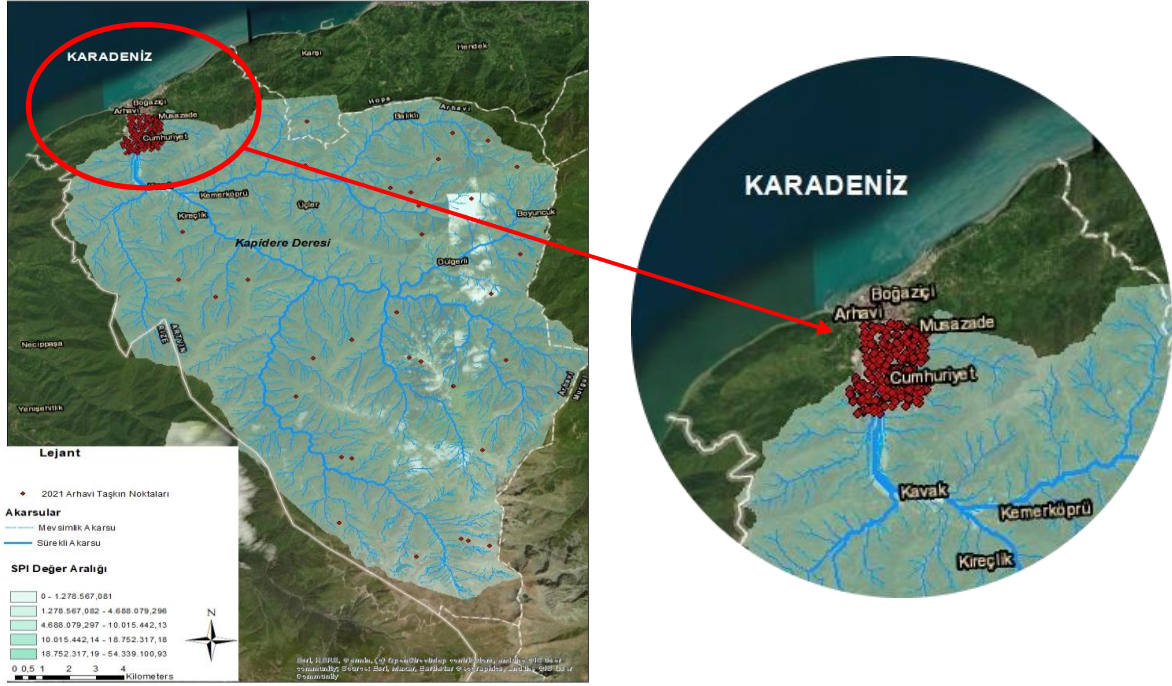
Şekil 10. Kapsire Deresi Havzasının Normalleştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) haritası.

Bakı özellikle yoğun karla kaplı alanlarda karın erken akışa geçmesi le taşkına doğrudan etki edebilecek bir başka parametredir (Hanson ve ark., 2006; Regmi ve ark., 2014; Minglei ve ark., 2021). Çalışma kapsamında sahanın bakı haritası oluşturulmuş ve 2021 yılında taşkın yaşanan yerlerin bakı değerleri belirlenmiştir. 280 adet çalışma verisinin bakı değerleri: 139 adedi düz, 14 kuzey, 6 kuzeydoğu, 7 doğu, 3 güneydoğu, 8 güney, 23 güneybatı, 43 batı ve 37 adet kuzey batı bakı değerlerinden oluşmaktadır. Genel anlamda taşkın yaşanan noktalarının yaklaşık yarısı düz noktalarda oluşurken, batı ve batısı olan ara yönler biraz daha yüksek çıkmasına rağmen her yönde taşkın yaşanan nokta mevcuttur. Bu da bakının 2021 taşkınının oluşmasında çok önemli bir etmen olmadığını göstermektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Kapisre Deresi Havzasının bakı haritası.

Çalışma alanında akarsu güç indeksi (SPI) değerleri 0 ila 54.339.100,93 arasındadır. Taşkın yaşanan noktalarda akarsu güç indeksi değerleri 0 ila 6.671.783,5 olarak değişmektedir. 280 adet veriden 159 adet veride akarsu güç indeksi değeri 0 olarak belirlenmiş ve taşkın yaşanan noktalar akarsu güç indeksi (SPI) açısından daha düşük değerlerde olduğu belirlenmiştir (Şekil 12).

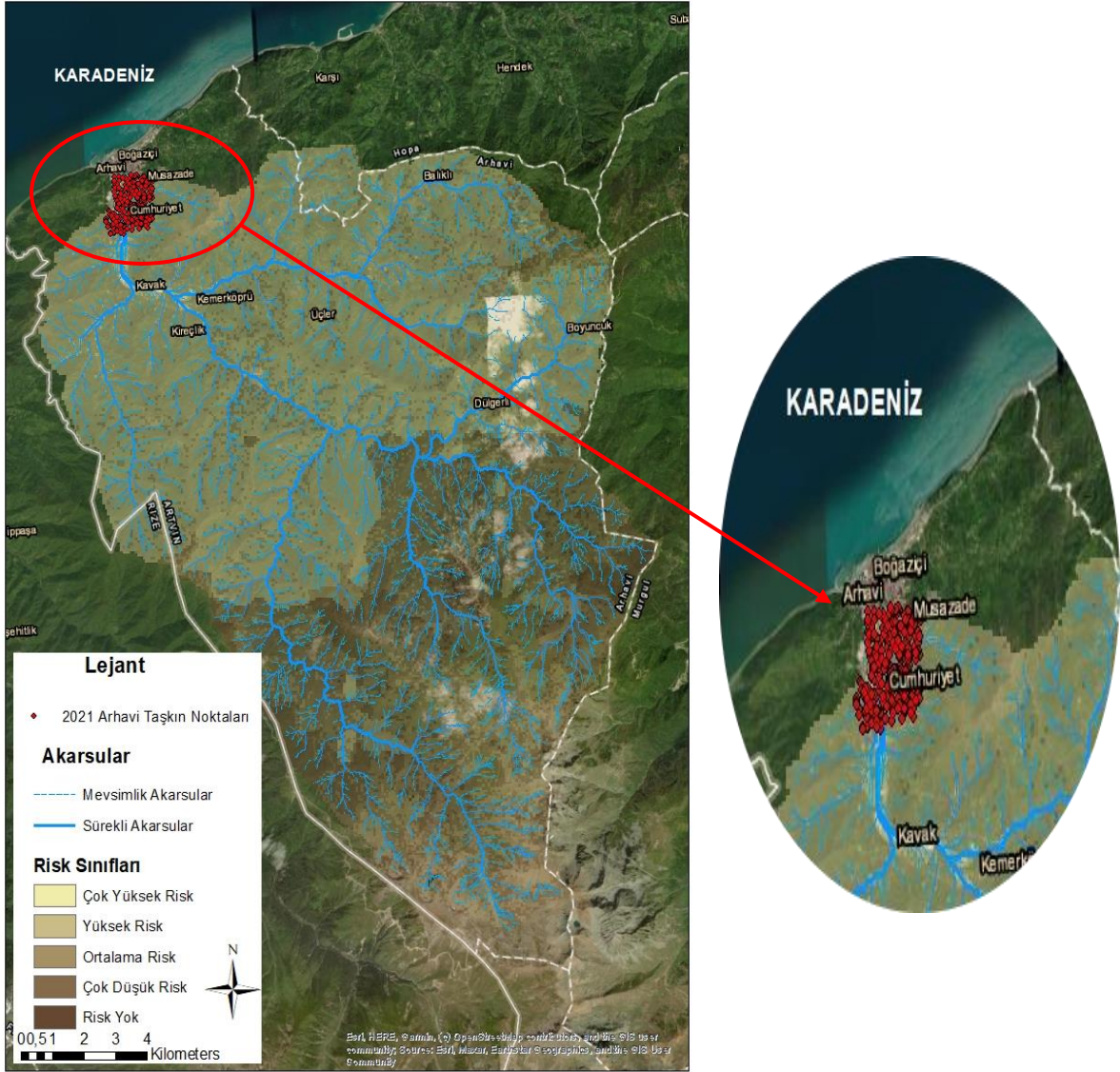


Şekil 12. Kapisre Deresi Havzasının Akarsu Güç İndeksi (SPI).

Çalışmada kullanılan her iki yöntemle taşkına etki eden parametrelerin birbirine üstünlük katsayıları ile hücresel risk sınıfları bulunmuş ve havzada taşkın konusunda her bir bölge risk sınıflarına ayrılmıştır. AHP metodu duyarlılık haritası incelendiğinde, çok geniş bir alanın riskli bölge olarak belirlendiği, havzanın memba kısımlarında risk durumunun azaldığı görülmektedir. 280 adet taşkın yaşanan noktasal verilerden AHP metodu 84 adet çok yüksek ve 196 adet yüksek riskli noktalar olarak tespit etmiştir. AHP yöntemine göre Arhavi ilçe merkezinin yanı sıra Boğaziçi, Cumhuriyet, Musazade, Kavak, Kemerköprü, Kireçlik, Üçler ve Balıklı mahalle ve köyleri çok yüksek riskli alanların içerisinde yer almaktadır (Şekil 13). Shannon Entropi (SE) yöntemi haritası incelendiğinde AHP metoduna göre riskli bölgeler daha dar ve havzanın mansap kısmına yakın noktalarda kümelendiği görülmektedir. Yöntem bulgularına göre Boğaziçi, Cumhuriyet, Musazade, Kavak, Kemerköprü, Kireçlik mahalleleri çok yüksek riskli olarak tespit edilen alanda kalırken Üçler ve Balıklı ise yüksek riskli kısımlarda kalmıştır. Shannon Entropi yönteminde taşkın yaşanan 280 noktasal veriyle mukayesesi yapıldığında 240 adet çok yüksek ve 40 adet yüksek olarak belirlenen sınıf aralığına denk geldiği görülmektedir (Şekil 14). Çalışmada kullanılan yöntemler; sadece doğru değerleri tahmin başarısını ortaya koyan R, P ve F-Score yöntemlerinin yanısıra hem doğru hem yanlış değerleri tahmin etmeye yarayan ACC ile mukayese edilmiştir. ACC yönteminde her iki metotta başarılı sonuçlar bulmuş, AHP metodu tüm veri setinin %88'ini, SE yöntemi ise %90'unu doğru tahmin etmiştir. Sadece yaşanan değerleri tahmin etme başarısında SE yöntemi 3 farklı doğrulama testinde daha başarılı olduğunu ortaya koymuştur (Çizelge 3). 280 noktasal verilerin taşkın risk haritası oluşturan metotlarla mukayesesi ve doğrulama metotlarının değerleri göz önüne alındığında her iki durumda da Shannon Entropi (SE) metodu daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir. SE yönteminde taşkına en etkili üç parametre sırasıyla yağış, yükselti ve eğim ve etkisi düşük parametreler sırasıyla drenaj yoğunluğu, NDVI ve TWI olarak belirlenmiştir. AHP metodunda ise sırasıyla yükselti, yağış ve toprak en etkili 3 parametreyken NDVI, bakı ve eğim sırasıyla en etkisiz parametreler olarak bulunmuştur. Parametrelerin birbirine ağırlık değerleri ve yöntemlerin algoritmasındaki farklılıklar yöntemlerin farklı sonuç vermesinde etkili olmuştur.

Çizelge 3. Yöntemlerin doğrulama değerleri

Doğrulama Yöntemler	Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP)	Shannon Entrop (SE)
ACC	0.88	0.90
R	0.74	0.75
P	0.83	0.88
F	0.78	0.81



Şekil 13. AHP metodu taşkın duyarlılık haritası.

edilmemiştir. Çalışmamızdaki her iki yöntemde de ağırlıklandırma değerleri gerçek duruma yakın sonuçlar vermiştir. Bu amaçla 280 noktasal veri ile parametre ve alt parametrelerin bu noktadaki değerleri karşılaştırılmıştır. Parametrelerin haritaları incelendiğinde havzanın en düşük yükselti aralıklarında taşkın olduğu, yağışın yüksek olduğu tüm noktalarda taşkın yaşanmamasına rağmen, taşkına yüksek yağışın etkisinin olduğu görülmektedir. Taşkın yaşanan noktaların çoğunlukla alüvyal topraklardan meydana gelmesine rağmen bazı yerlerde kırmızımsı sarı podzolik topraklara rastlanmaktadır. Diğer parametrelerin bazı alt parametreleri taşkın yaşanan noktalarda tekrür etmesine rağmen özellikle bir alt parametrenin taşkına doğrudan etki ettiği düzeyde değerlere rastlanılmamıştır.

Ayrıca çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinden Shannon Entropi (SE) ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile havzanın duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. AHP metoduyla oluşturulan taşkın duyarlılık haritasında riskli alanlar daha geniş bir alanı kapsarken SE metodunda daha dar ve havzanın mansap bölgesinde riskli alanlar belirlenmiştir. SE metodu hem kullanılan 4 adet doğrulama metodunda hem de 280 adet taşkın yaşanan noktasal veri ile mukayesesinde daha iyi sonuçlar vermektedir.

2021 yılında can ve mal kaybına neden olan bu taşkınının en temel nedeni, akarsuyun denize döküldüğü noktaya yakın yerlerdeki yükselti düşüklüğü ve yoğun yağıştır. Bu noktaların yerleşim alanı olarak seçilmesi ise taşkınının bilançosunu arttırmaktadır. Taşkın risk ve duyarlılık haritaları gerek akarsu düzenleyici yapıların yapılmasında gerekse şehirleşme konularında altlık olarak kullanılması ciddi fayda sağlamaktadır. 2021 yılında yaşanan bu afetin lokasyonu her iki yöntemde de riskli sınırlar içinde kalmaktadır. Ayrıca her iki yöntemde de Arhavi merkezinin yanı sıra Boğaziçi, Cumhuriyet, Musazade, Kavak, Kemerköprü, Kireçlik mahalleleri çok yüksek riskli bölgelerde kalan yerleşim alanlarıdır. Bu alanlardaki yerleşim yerlerinde akarsuyun taşkın oluşturulabileceği ihtimaline karşı akarsu düzenleyici yapıların yapılması, akarsu yataklarında kalan yerleşimlerin tahliye edilmesi gerekmektedir. Ayrıca olası taşkın anında korunmak amacıyla erken uyarı sistemleri oluşturulmalı ve güvenli olarak inşa edilen bölgelere tahliyeler yapılmalıdır. Literatürdeki pek çok çalışmada yöntemlerin çoğu ampirik doğruluk testleri ile test edilmesidir. Bu çalışmada görüldüğü üzere yöntemlerin en iyi doğrulama mukayesesini geçmişte yaşanan bir durumla karşılaştırılmasıdır. Geçmişte yaşanan bir afetle anlamlı sonuçlar vermek gelecekte riskli olan alanları tespit etmek için oldukça önemlidir. Bu tür çalışmaların artırılması, geliştirilmesi ve yapılan çalışmaların teoride kalmayıp ilgili kurumlarca dikkate alınması taşkınlardaki can ve mal kaybını ciddi oranda azaltacaktır.

Teşekkür

Bu araştırma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Araştırma Fonu (proje no: FDK-2022-2796) tarafından desteklenmiştir.

Kaynakça

- AFAD. (2019). *Afet yönetimi kapsamında 2019 yılına bakış ve doğa kaynaklı olay istatistikleri*. Erişim tarihi: 25.07.2022. https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/35429/xfiles/turkiye_de_afetler.pdf
- AFAD. (2021). *Artvin il risk azaltma planı*. Erişim tarihi: 08.05.2022. https://artvin.afad.gov.tr/kurumlar/artvin.afad/ARTVIN-IRAP/ARTVIN-IRAP-SON_22102021.pdf
- Ahmad, D., & Afzal, M. (2020). Flood hazards and factors influencing household flood perception and mitigation strategies in Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 15375-15387. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08057-z>
- Akkartal, A., Türüdü, O., & Erbek, S. F. (2005). *Çok zamanlı uydu görüntüleri ile bitki örtüsü değişim analizi*. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Anonim. (2021). *Arhavi'de yaşanan selde taşan Kabisre Deresi'nde taşkın önlemleri alınıyor*. Sabah Gazetesi. Erişim tarihi: 25.10.2023. <https://www.sabah.com.tr/artvin/2021/08/11/arhavide-yasanan-selde-tasan-kabisre-deresinde-tasakin-onlemleri-aliniyor>
- Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin

- versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69.
<https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Bui, D. T., Pradhan, B., Nampak, H., Bui, Q. T., Tran, Q. A., & Nguyen, Q. P. (2016). Hybrid artificial intelligence approach based on neural fuzzy inference model and metaheuristic optimization for flood susceptibility modeling in a high-frequency tropical cyclone area using GIS. *Journal of Hydrology*, 540, 317-330. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.027>
- Çiçek, İ., & Ataol, M. (2009). Türkiye'nin su potansiyelinin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 7(1), 51-65. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000094
- Çınaklı, M. (2008). *Doğu Karadeniz bölümünde meydana gelen taşkınlar*. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Dastorani, M. T., Moghadamnia, A., Piri, J., & Rico-Ramirez, M. (2010). Application of ANN and ANFIS models for reconstructing missing flow data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 166, 421-434. <https://doi.org/10.1007/s10661-009-1012-8>
- Debnath, J., Debbarma, J., Debnath, A., Meraj, G., Chand, K., Singh, S. K., ... & Saikia, A. (2024). Flood susceptibility assessment of the Agartala Urban Watershed, India, using machine learning algorithm. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(2), 110. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-12240-3>
- DSİ. (1996). Doğu Karadeniz taşkınları raporu (1970-1995). DSİ Yayınları, Trabzon, Türkiye.
- DSİ. (2006a). *Su dünyası dergisi*, Sayı: 34. DSİ Vakfı Yayınları, Ankara.
- DSİ. (2006b). *Trabzon taşkınları raporu (2004, 2005, 2006)*. DSİ Yayınları, Trabzon.
- El-Magd, S. A. A., Ahmed, H., Pham, Q. B., Linh, N. T. T., Anh, D. T., Elkhrachy, I., & Masoud, A. M. (2022). Possible factors driving groundwater quality and its vulnerability to land use, floods, and droughts using hydrochemical analysis and GIS approaches. *Water*, 14(24), 4073. <https://doi.org/10.3390/w14244073>
- Ghosh, A., & Kar, S. K. (2018). Application of analytical hierarchy process (AHP) for flood risk assessment: a case study in Malda district of West Bengal, India. *Natural Hazards*, 94, 349-368. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3392-y>
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobnjak, S. (2017). Application of GIS-interval rough AHP methodology for flood hazard mapping in urban areas. *Water*, 9(6), 360. <https://doi.org/10.3390/w9060360>
- Hammami, S., Zouhri, L., Souissi, D., Souei, A., Zghibi, A., Marzougui, A., & Dlala, M. (2019). Application of the GIS based multi-criteria decision analysis and analytical hierarchy process (AHP) in the flood susceptibility mapping (Tunisia). *Arabian Journal of Geosciences*, 12, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4754-9>
- Hanson, P. R., Mason, J. A., & Goble, R. J. (2006). Fluvial terrace formation along Wyoming's Laramie Range as a response to increased late Pleistocene flood magnitudes. *Geomorphology*, 76(1-2), 12-25.
- Hava Kuvvetleri Komutanlığı. (2021). *Sayısal yükselti modeli (SYM)*. Harita Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- 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>
- Koç, E., & Küçükönder, M. (2021). Erkenez havzası CBS matris yöntemi ile heyelan duyarlılık değerlendirmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(1), 141-154. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.933874>
- 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>
- Lowe, D., Ebi, K. L., & Forsberg, B. (2013). Factors increasing vulnerability to health effects before, during and after floods. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 7015-7067. <https://doi.org/10.3390/ijerph10127015>
- Mileti, D. S. (1995, November). *Factors related to flood warning response*. US-Italy Research Workshop on the Hydrometeorology, Impacts, and Management of Extreme Floods, Perugia, Italy.

- Minglei, R., Liuqian, D., Gang, W., Guangyuan, K., Xiaodi, F., YaFeng, Z., & Liping, Z. (2021). Identification of the inter-basin water diversion project-effected local flood risk factor by using the fishbone-diagram method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 826(1), 012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/826/1/012011>
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545. <https://doi.org/10.3390/w6061515>
- Özcan, O. (2008). *Sakarya nehri alt havzası'nın taşkın riski analizinin uzaktan algılama ve CBS ile belirlenmesi*. (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Özdemir, H. (2007). *Farklı senaryolara göre taşkın risk analizi: Havran Çayı örneği (Balıkesir)*. TMMOB Afet Sempozyumu, Ankara, Türkiye.
- Pham, B. T., Luu, C., Van Phong, T., Nguyen, H. D., Van Le, H., Tran, T. Q., ... & 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, 125815. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125815>
- Pourghasemi, H. R., Kornejady, A., Kerle, N., & Shabani, F. (2020). Investigating the effects of different landslide positioning techniques, landslide partitioning approaches, and presence-absence balances on landslide susceptibility mapping. *Catena*, 187, 104364. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104364>
- Rashidpour, K. (2013). *Using improved AHP method in maintenance approach selection*. (PhD), Mälardalen University, School of Innovation, Design and Engineering, Sweden.
- Regmi, A. D., Devkota, K. C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H. R., Kumamoto, T., & Akgun, A. (2014). Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 7, 725-742. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0807-z>
- Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process (AHP). *The Journal of the Operational Research Society*, 41(11), 1073-1076.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- 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, 1-27. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1>
- Sarkar, D., Saha, S., & 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>
- Senan, C. P., Ajin, R. S., Danumah, J. H., Costache, R., Arabameri, A., Rajaneesh, A., ... & Kuriakose, S. L. (2023). Flood vulnerability of a few areas in the foothills of the Western Ghats: a comparison of AHP and F-AHP models. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 37(2), 527-556. <https://doi.org/10.1007/s00477-022-02267-2>
- Shaikh, M. P., Yadav, S. M., & Manekar, V. L. (2024). Flood hazards mapping by linking CF, AHP, and fuzzy logic techniques in urban areas. *Natural Hazards Review*, 25(1), 04023048. <https://doi.org/10.1061/NHREFO.NHENG-1716>
- Stefanidis, S., & Stathis, D. (2013). Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards*, 68, 569-585. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0639-5>
- Swain, K. C., Singha, C., & Nayak, L. (2020). Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>
- Tehrany, M. S., Jones, S., & Shabani, F. (2019). Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques. *Catena*, 175, 174-192. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.12.011>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & 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>

- Tunay, M., & Ateşeoğlu, A. (2008). Çok zamanlı uydu görüntüleri ile amasra ve yakın çevresine ait bitki örtüsü değişim analizi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10(13), 71-80.
- Utlu, M. (2023). Frekans oranı ve Shannon entropisi yöntemi kullanarak Ezine Çayı havzası taşkın duyarlılık analizi (Kastamonu-Bozkurt). *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (11), 160-178. <https://doi.org/10.46453/jader.1358845>
- Vestby, J., Schutte, S., Tollefsen, A. F., & Buhaug, H. (2024). Societal determinants of flood-induced displacement. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(3), e2206188120. <https://doi.org/10.1073/pnas.2206188120>
- Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S., & Bai, X. (2015). Flood hazard risk assessment model based on random forest. *Journal of Hydrology*, 527, 1130-1141. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.008>
- Werner, M. G. F., Hunter, N. M., & Bates, P. D. (2005). Identifiability of distributed floodplain roughness values in flood extent estimation. *Journal of Hydrology*, 314(1-4), 139-157. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.012>
- Yükseler, U., Toprak, A., Gul, E., & Dursun, O. F. (2023). Flood hazard mapping using M5 tree algorithms and logistic regression: a case study in East Black Sea Region. *Earth Science Informatics*, 16(3), 2033-2047. <https://doi.org/10.1007/s12145-023-01013-8>