

## Taşkın Tahmininde Farklı Havzaların Kullanılması; Artvin Taşkınlarının İncelenmesi Örneği

Ufuk YÜKSELER<sup>1\*</sup>, Ömerul Faruk DURSUN<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye

<sup>\*1</sup> ufukyuksele12@gmail.com, <sup>2</sup> faruk.dursun@inonu.edu.tr

(Geliş/Received: 16/02/2024;

Kabul/Accepted:24/09/2024)

**Öz:** Taşkınların duyarlılık ve risk sahasının tespitinde son dönemlerde kullanılan makine öğrenimi yöntemleri oldukça uyumlu sonuçlar vermektedir. Literatürdeki çoğu çalışmada görüldüğü üzere taşkın yaşanan havzanın veri bulunan ve afet yaşandığı bilinen bir kısımdan yola çıkılarak taşkın tetikleyici parametrelerle havzanın tahmin edilmesini istenen veya veri eksikliği bulunan bir kısmı tahmin edilmektedir. Ancak bahse konu bu çalışmaların en büyük eksikliği hiçbir verisi bulunmayan havzaların tahmin olanağının olmamasıdır. İkinci husus ise makine öğrenim yöntemlerinin aynı havza içerisindeki tahminlerde aşırı öğrenme problemi oluşturmasıdır. Bu çalışmada veri bulunmayan havzaların tahmininde farklı havzaların kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla Artvin il sınırları içinde 2009, 2015, 2020 ve 2021 yıllarında meydana gelen 4 adet taşkın kullanılmıştır. Çalışmada makine öğrenimi yöntemlerinden Rastgele Orman metodu kullanılmıştır. Yöntemin seçiminde, literatürde oldukça yüksek doğruluk değerlerine ulaşan çalışmalar olması ve taşkın gibi karmaşık olaylarda olay örgüsünü iyi analiz etmesi etkili olmuştur. Bu çalışmada rastgele noktalardan seçilen 1490 noktasal veri ile (2009, 2015 ve 2020 afetlerinden alınan) eğitim yapılmış ve 560 test verisi (2021 afeti ) tahmin edilmiştir. Çalışmanın doğrulaması 5 adet doğrulama yöntemleri (AUC, ACC, F, P, R ve F-Score) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve test verilerindeki doğruluk değerleri %90 düzeyinde tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde 2021 yılında yaşanan afetin Rastgele Orman metodu ile tahmini, gerçek afet sahasına oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Bulgular, taşkın afetinin önceden tahmin edilmesinde, havza planlamaları amacıyla oluşturulan havzanın risk ve duyarlılık haritalarının oluşturulmasında veri eksikliği bulunması durumunda havzalar arası tahminlerin başarısını göstermektedir. Metotların gelişimi ve örneklem sayısının artırılması ile bu alanda iyi sonuçlar alınabileceği ve afetlerle mücadele konularında kullanılabilirliği görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Taşkın, rastgele orman metodu, makine öğrenimi, coğrafi bilgi sistemleri, Artvin ili.

### Using Different Basins in Flood Forecasting; Example of Artvin Floods

**Abstract:** Machine learning methods used recently in determining the sensitivity and risk areas of floods give quite compatible results. As seen in most studies in the literature, a part of the basin where floods occur is estimated with flood trigger parameters based on a part of the basin where data is available and known to have experienced a disaster, or a part where data is missing is estimated. However, the biggest deficiency of these studies in question is the lack of estimation possibilities for basins with no data. The second issue is that machine learning methods create an overlearning problem in estimations within the same basin. In this study, the use of different basins in estimating basins with no data was examined. For this purpose, 4 floods that occurred within the borders of Artvin province in 2009, 2015, 2020 and 2021 were used. The Random Forest method, one of the machine learning methods, was used in the study. The selection of the method was influenced by the fact that there are studies in the literature that have reached very high accuracy values and that it analyzes the event pattern well in complex events such as floods. In this study, training was performed with 1490-point data selected from random points (taken from 2009, 2015 and 2020 disasters) and 560 test data (2021 disaster) were estimated. Validation of the study was carried out using 5 validation methods (AUC, ACC, F, P, R and F-Score). Accuracy values in training and test data were determined at the level of 90%. When the results were examined, the prediction of the disaster experienced in 2021 with the Random Forest method gave results very close to the real disaster area. The findings show the success of inter-basin predictions in case of data deficiency in the prediction of flood disasters and the creation of risk and susceptibility maps of the basin created for basin planning purposes. It is seen that good results can be obtained in this area with the development of methods and increasing the number of samples and can be used in disaster management issues.

**Key words:** Flood, random forest method, machine learning, geographic information systems, Artvin province.

\* Sorumlu yazar: [ufukyuksele12@gmail.com](mailto:ufukyuksele12@gmail.com). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0000-0002-7233-0821, <sup>2</sup> 0000-0003-3923-5205

## 1. Giriş

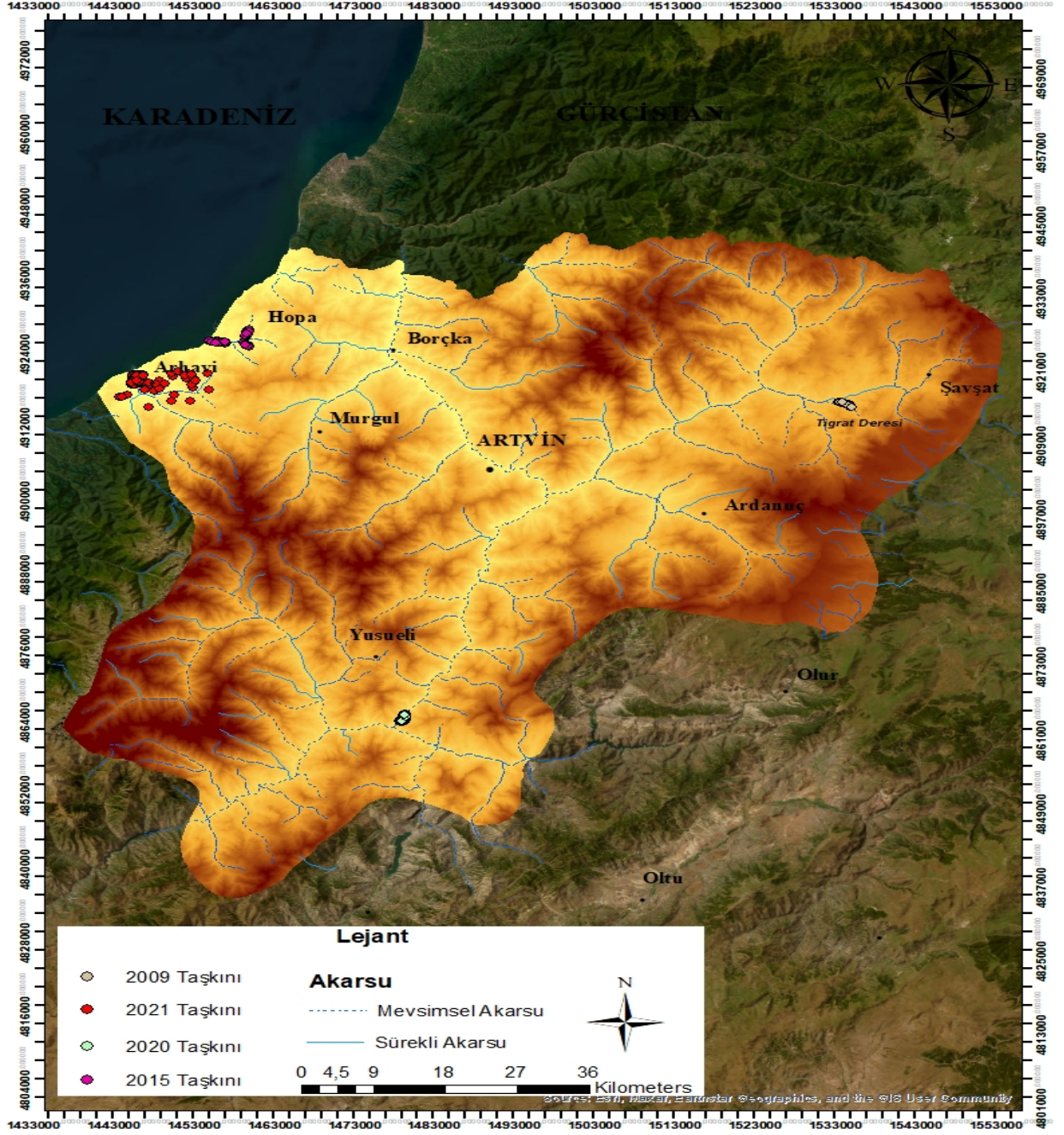
Taşkın afetleri yaşanma sıklığı nedeniyle literatürde en çok araştırılan konular arasında yer almaktadır. Son dönemlerde havzalardaki taşkın modellemesinde makine öğrenimi yöntemleri ise en sık kullanılan yöntemler arasındadır [1]. Taşkın afetinin meydana getirdiği bilançoğu azaltmak amacıyla son dönemlerde çalışma sayıları artmış olup, bu çalışmaların sonuçları gelecekteki afetlerden korunma konusunda ümit verici sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Makine öğrenimi modelleri; taşkın gibi meteorolojik verilerden oluşan afetler için, verilerin zaman serisi oluşu ve parametrelerin bağımlılığı nedeniyle uyumlu bir alan yaratmaktadır [2]. Taşkın olaylarının karmaşıklığı ve sonuca olan farklı etkileri bu çalışma alanının mevcut zorluğudur [3]. Taşkın afetlerinin tahmininde makine öğrenimi yöntemleri çalışmaları son dönemde oldukça artmıştır ve her giderek gerçek taşkın ve tahmin modelleri arasında daha uyumlu sonuçlara ulaşılmaktadır. Bu konuda yapılan bazı çalışmalara bakıldığında; El-haddad vd., Mısır'daki Wadi Qena havzasındaki taşkınların risk sahalalarının tespiti için makine öğrenimi yöntemlerini kullanmışlardır. Verilerin %70'i eğitim, %30'u test verisi olarak ve toplamda 342 noktasal veri kullanılmıştır [4]. Madhuri vd., Hindistandaki Greater Hyderabad bölgesindeki 2000, 2006 ve 2016 yıllarında yaşanan taşkın afetlerinden yola çıkarak makine öğrenimi yöntemleriyle havzanın risk haritaları çıkarmıştır [5]. Yükseler vd., yaptıkları çalışmada Türkiyede en fazla can ve mal kaybına neden olan Trabzon ilinin Solaklı havzasında yaşanan geçmiş çalışmalardan yola çıkarak model ağaç (M5PRGT, M5PRT) ve Lojistik regresyon yöntemleriyle risk haritasını çıkarmıştır. 1600 noktasal veriyle yapılan çalışmada, model ağaç yöntemlerinin taşkınların tespitinde diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [6]. Habibi vd., yaptıkları çalışmada, 12 hibrit modelle İrandaki taşkınların tahmin edilebilirliği konusunu incelemiştir. Yapılan bu modeller rastgele arama algoritması ile optimize edilmiştir. Kullanılan 12 modelden BGAM-Boruta modeli en iyi doğruluk değerlerine ulaşmıştır [7]. Saravanan vd., Hindistanın Idukki bölgesinde yaşanan sel olaylarını 5 farklı makine öğrenimi yöntemleriyle (Adaboost, Gradient Boosting, Extreme Gradient Boosting (XGB), CatBoost, Stokastik Gradient Boosting (SGB)) tahmin etmeye çalışmıştır. Çalışma sonucunda En yüksek AUC değeri SGB ve GBC (%92) modellerinde en düşük AUC değeri ise %79 AUC ile CatBoost modelinde elde edilmiştir [8]. Lyu vd. (2023), Hong Kong ve Makao körfezlerinde kıyılarında sıklıkla meydana gelen sel olaylarını araştırmıştır. Çalışmada Rastgele Orman, gradyan artırma karar ağacı, aşırı gradyan artırma gibi ağaç tabanlı modeller kullanılmıştır. Çalışma sonucunda havzanın %16'sından fazlasının yüksek taşkın duyarlılığına sahip olduğu ve geçmiş tarihlerde yaşanan taşkınların %70'inin bu duyarlılık alanları yüksek noktalarda meydana geldiğini ifade edilmiştir [9].

Makine öğrenimi metotlarıyla taşkın risk ve duyarlılık noktalarının tespitinde literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların ortak özelliği aynı havza içerisinde bazı verilerin eğitim verisi olarak kullanılıp, kalan verilerin test edilip ve doğruluk değerlerine ulaşmaktır. Ancak afet verisi bulunmayan havzaların tahmin edilmesi konusunda yapılan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Taşkın afeti çalışmalarında karşılaşılan en büyük problem veri eksikliğidir. Bu eksik veriler bazen taşkını tetikleyen parametreler olurken bazen afet sahasının yayılım haritasıdır. Bu çalışmada, afet sahasının belirlenemediği afetlerin yayılım haritasını tespit edebilmek amacıyla, yaşanan lokasyonun dışındaki lokasyonlardan alınan veriler neticesinde yayılım haritasının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla oluşturulan yayılım haritalarındaki doğruluk değerinin artması aynı zamanda havzada taşkın konusunda riskli noktaların tespitinde de fayda sağlayacaktır. Bu çalışmada, literatürde yoğun şekilde çalışılan taşkın çalışmalarının dışında aynı havza içinde risk tahminleme yöntemi değil farklı havzalar kullanılarak bir havzanın taşkın konusunda riskli noktaları tespit edilmeye çalışılmıştır.

Çalışma alanı olarak, Türkiye sınırları içerisinde yer alan ve yağış miktarı ülkenin en yüksek değerlerine ulaşan Artvin ili seçilmiştir. 7493 km<sup>2</sup> yüzölçüme sahip bu ilde 2009, 2015, 2020 ve 2021 yıllarında 4 adet can ve mal kaybına neden olan taşkın afeti yaşanmıştır. Afet yaşanan havzalar ilin sınırları içinde farklı lokasyonlardadır. Bu çalışmada, literatürde bulunan çalışmaların dışında, 2009, 2015 ve 2020 yıllarında yaşanan afet verileri kullanılarak 2021 yılında gerçekleşen afetin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için taşkını tetikleyen 11 parametreyle çalışılmış, üç havzadan 1490 veriyle 2021 yılında yaşanan afetteki havzada 560 nokta tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan bu yöntem AUC, Doğruluk (ACC), kesinlik (P), geri çağırma (R) ve F-skor (F) doğrulama yöntemleriyle test edilmiştir.

## 2. Materyal ve Yöntem

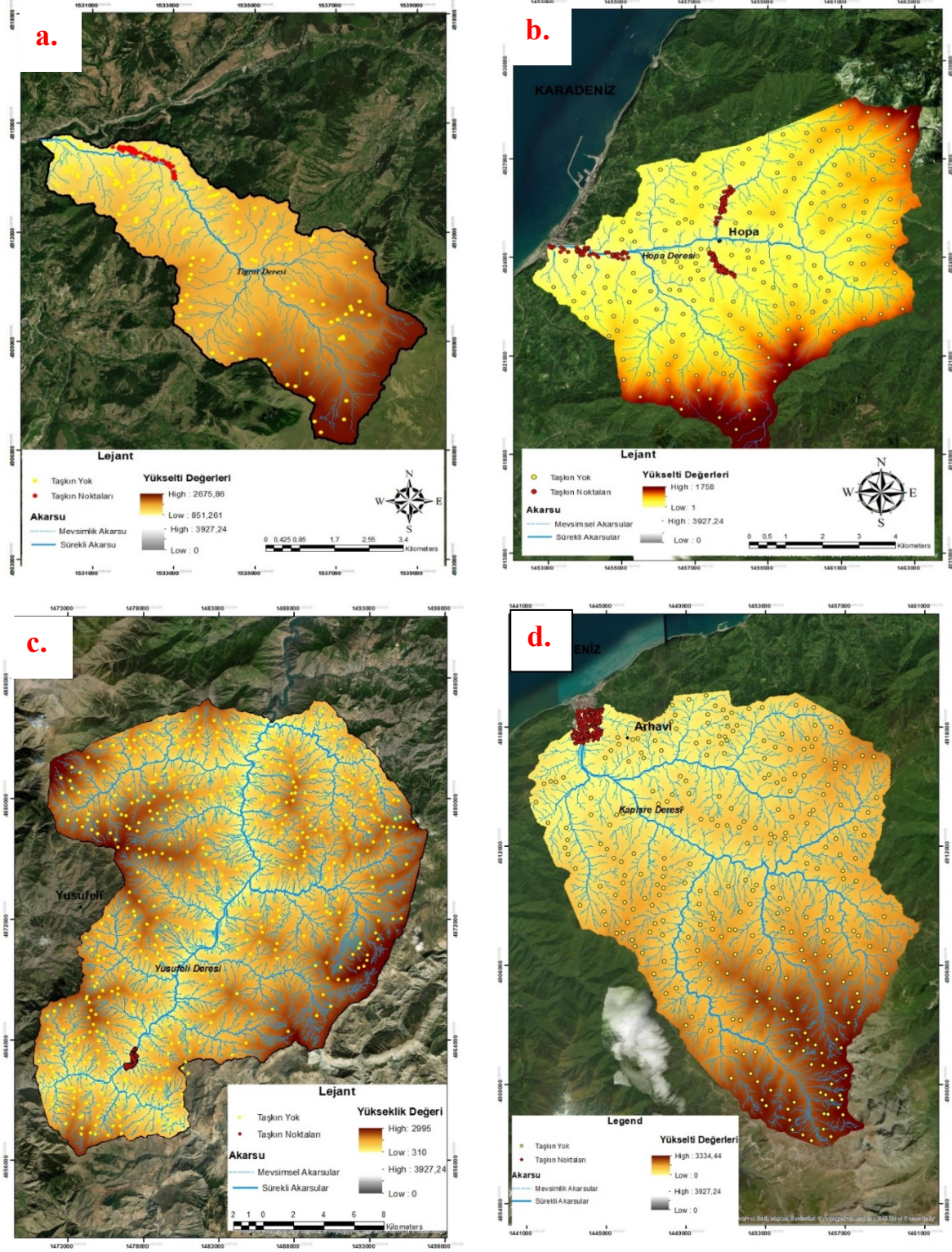
Çalışma alanı olarak seçilen Artvin ili Türkiye'nin kuzeyinde yer alıp Karadeniz'e ve Gürcistan'a sınırı bulunmaktadır. Artvin ilinin en yüksek noktası 3927 metre ile Kaçkar dağlarının zirvesi, en düşük noktası ise Karadeniz'e sahil olan 0 metre yüksekliğe sahip deniz kıyılarıdır. Artvin ili dağlık ve yüksek engebeli yeryüzü şekillerine sahiptir. Çalışma kapsamında bu il sınırları içerisinde bulunan 2009, 2015, 2020 ve 2021 yıllarında yaşanan, can ve mal kayıplarına neden olan taşkınlar incelenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Artvin İlinin taşkın ve Lokasyon Haritaları.

Artvin ili yüksek yağış değerleri ve eğimli arazisi nedeniyle heyelan ve taşkın olaylarının sık yaşandığı bir yerdir. 15.07.2009 tarihinde, Artvin ilinin Şavşat ilçesinde bulunan Tigrat deresinin taşması 5 vatandaşın can kaybına neden olmuştur. Bu afette 2 köprünün ayak kısımlarında oyulma meydana gelmiş ve köprüler yıkılmıştır (Şekil 2(a)). 24.08.2015 tarihinde, Hopa deresinin taşması sonucunda 11 vatandaş vefat etmiştir. Afet dolayısıyla 300'e yakın araç hasar görürken iş yerlerinde ciddi maddi hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 2(b)). 13.07.2020 tarihinde Yusufeli barajının şantiye alanında Yusufeli deresinin taşması sonucu 4 işçi vefat etmiştir (Şekil 2(c)). 25.07.2021 tarihinde Karpisre deresinin taşması sonucunda Arhavi ilçesinde taşkın meydana gelmiş, 3 kişi vefat etmiş ve maddi hasar meydana gelmiştir (Şekil 2(d)).

Taşkın Tahmininde Farklı Havzaların Kullanılması; Artvin Taşkınlarının İncelenmesi Örneği



Şekil 2. Yaşanan Afetlerin Lokasyon Haritası (a; 2009, b; 2015, c; 2020, d; 2021 afetleri).

Taşkın afeti Türkiye’de en fazla yaşanan meteorolojik afetlerdir. Bu afetlerin bilançoları afet sahasının durumuna göre değişmektedir. Taşkın riski olan alanları yerleşime açmak, akarsu yataklarına yapılan müdahaleler

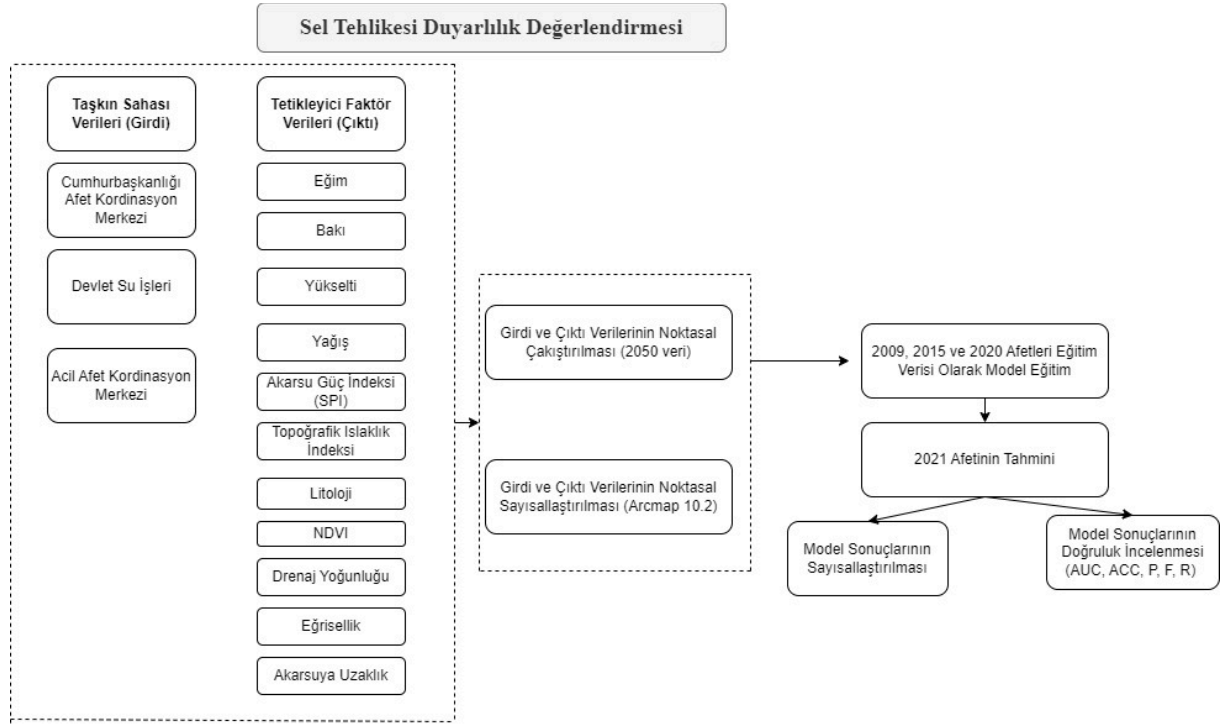
veya ilgili kuruluşların yaptığı akarsu düzenleyici yapıların tahribatı afetin bilançosunu arttırmaktadır. Artvin ilinde yaşanan afetlerde yerleşim yerlerinin sel suları altında kalması afetin bilançosunu arttırmıştır (Şekil 3.)



**Şekil 3.** Taşkın Afetinin Bilanço Görselleri [10-12] (a; 2009 Taşkını, b; 2015 Taşkını, c; 2020 Taşkını, d; 2021 Taşkını).

Çalışmada taşkına etki eden parametreler olarak, yükselti, drenaj yoğunluğu, eğim, baki, yağış, akarsu güç indeksi, topoğrafik nemlilik indeksi, toprak tipi, bitki örtüsü (NDVI), eğrisellik ve akarsuya uzaklık kullanılmıştır. Taşkın tetikleyici faktörlerin seçimi taşkın çalışmalarının en önemli kısımlarındandır. Bu faktörlerin belirlenmesinde çalışma havzasının karakteristiği, taşkına etki eden faktörlerin birbirlerine göre ağırlıkları, veri setlerinde doğruluklar önem arz etmektedir [13-18]. Bu çalışmada kullanılan taşkına etki eden parametreler, Artvin ilinin coğrafik özellikleri ve taşkın konusunda yapılan literatür çalışmaları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu parametreler, Coğrafi Bilgi Sistemleri Arcmap10.2 yazılımıyla oluşturulmuştur.

Çalışmada kullanılan afetlerin haritaları Cumhurbaşkanlığı Afet Koordinasyon Merkezi ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden (DSİ) temin edilmiştir. Havzanın yükselti haritaları için Hava Kuvvetleri Komutanlığı Harita Genel Müdürlüğü'nden veri alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan 2050 adet noktasal verinin 1490 adeti eğitim (2009, 2015 ve 2020 taşkınları) ve 560 adeti (2021 taşkını) eğitim verisi olarak kullanılmıştır. Oransal olarak veri adetleri, %72 eğitim %28 test verisi olarak dağılmaktadır. Her bir havzada belirlenen taşkın yaşanan ve yaşanmayan noktaların verileri, havzadaki 11 parametre ile eşleştirilmiştir. Bu verilerin (yaşanan ya da yaşanmayan) bulunduğu yerdeki 11 parametre değerleri alınıp girdi değeri olarak kabul edilmiştir. Eğitim verisi olarak belirlenen 1490 adet noktasal çıktı verisine karşılık belirlenen 11 parametredeki 16390 adet girdi verisi eşleştirilmiş ve kullanılan yöntem bu verilerle eğitilmiştir. Ardından test verisi olarak kabul edilen 2021 taşkını için belirlenen 11 parametrenin 6160 adet girdi bilgileri ile modelin çıktı sonuçları alınmıştır (Şekil 4.)



Şekil 4. Çalışmanın Özet Şeması.

## 2.1 Rastgele Orman Yöntemi

Rastgele Orman metodu (ROM), temelinde karar ağaçları bulunan makine öğrenimi yöntemlerinden bir tanesidir [19]. Karar ağaçları çok fazla eğer-ise şartından oluşan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Parametrelerin birbiri arasındaki şartlandırma durumları taşkın çalışmaları için uygun olacağını göstermektedir. ROM 2001 yılında Leo Breiman tarafından geliştirilen bir karar ağacıdır. ROM Tim Kom Ho tarafından geliştirilen rastgele uzay metodu ile torbalama metodunun birleşiminden meydana gelmektedir. Bu nedenle rastgele orman metodu torbalama metodunun gelişmiş bir versiyonu olarak ifade edilir [20].

ROM, veri setinin tamamıyla çalışılabildiği gibi eğitim ve test verilerinin ayrılması sonucu olarak da oluşturulabilir. Yöntem, regresyon ağaçları veya sınıflandırmayı oluştururken diğer karar ağaç yöntemlerinden farklı olarak en iyi alt küme olarak bölünebilir ve en iyi değişkeni kullanır [21]. En iyi değişkeninin tespiti amacıyla Rastgele Orman modeli kullanılırken CART modeli de (Classification and Regression Tree) kullanılır [22]. Bu yöntem taşkın, heyelan vb. karmaşık olay örgüsüne sahip doğal afetlerin tahmininde oldukça başarılı sonuçlar ortaya koymaktadır [23].

## 2.2 Doğrulama Metotları

Çalışmada ROM yönteminin bulgularının değerlendirilmesi amacıyla 5 (Auc, Acc, R, P ve F-Score) adet doğrulama metodu kullanılmıştır. Bu metotlardan ilki gerçek doğru ve yanlış pozitif eğrisi altında kalan alan olan Auc (Area under Curve) yöntemidir. Bu yöntem ile model ve gerçek durumlarda pozitif değer olasılığı hesaplanır. Doğruluk (Acc) yöntemi gerçekleşen durumların (yaşanma ya da yaşanmama) tüm durumlara göre modelin doğruluk değerini bulan doğrulama yöntemidir. Recall (duyarlılık) testi gerçekleşmeyen durum için hatalı tahmin yapma olasılığını belirten doğrulama yöntemidir. Kesinlik (P) yöntemi Gerçek ve modelde gerçekleşen noktaların tüm doğru değerlere olasılığını belirtir. F-Score modeli ise P ve R modellerinin harmonik ortalamasıdır. P değeri arttıkça R değeri azaldığından F-Score değeri çalışmanın gerçek başarısını ortaya koyan yöntemdir [24].



değişmektedir. Havzada alüvyal, kireçsiz kahverengi orman, kırmızımsı sarı podzolik toprak ve yüksek dağ çayırlarından oluşan toprak tipleri bulunmaktadır. Çalışma alanında özellikle Arhavi ilçesi sınırlarında bulunan Cumhuriyet, Musazade ve Boğaziçi mahalleleri taşkın afeti açısından oldukça tehlikeli bir alanlardır. Bu afetin yükselti ve yağış değerleri özellikle afet yaşanan bölgede benzer özellikler göstermiştir. Afetin oluşmasında özellikle yükselti, yağış ve eğim değerleri ciddi tetikleyici parametreler olarak görülmüştür.

**Tablo 1.** Farklı Havzalarla Oluşturulan Rastgele Orman Metodunun Doğruluk Değerleri.

Yöntem	Eğitim	Test
ACC	0,93	0,88
P	0,94	0,87
R	0,92	0,88
F-Score	0,93	0,88
AUC	0,92	0,89

#### 4. Sonuç

Makine öğrenimi yöntemleri son dönemlerde taşkın çalışmalarında giderek artan bir rol almaktadır. Makine öğrenimi yöntemlerinin sonuca etki eden girdi parametreleri arasındaki ağırlıklandırma taşkın afetinin tahmin edilebilirliği konusunda uyum gösterdiği pek çok çalışmayla görülmüştür. Ancak taşkın afetinin gerek afet sahası gerekse taşkına etki eden parametrelerin veri kümelerinde eksiklik veya yokluk bu çalışmaların ise en büyük zorluğudur. Bu nedenle bu konuda yapılan pek çok çalışmada afetin kendi sahasından alınan verilerle kalan kısımları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Ancak bu çalışmaların eğitim ve test verileri için havzanın afet sahasının zaten biliniyor olması gerekiyor. Bu nedenle hiç veri bulunmayan sahalarda çalışma yapılmamaktadır. Ayrıca aynı havzadan eğitim durumunda bazı çalışmalarda görüldüğü üzere aşırı öğrenme veya taşkını havza karakteristiklerine göre öğrenme sorunu ile karşılaşmaktadır.

Bu nedenlerden dolayı bu çalışmada hiç veri bulunmayan bir havzanın taşkın risk haritaları çıkarılıp o havzada daha önce yaşanan taşkınla öğrenme durumu incelenmiştir. Bu amaçla Türkiye'nin en fazla taşkına maruz kalan illerinden olan Artvin ilinde son dönemlerde yaşanan 4 büyük afeti incelenmiştir. 2009, 2015, 2020 ve 2021 yıllarında bu il sınırlarında afetler yaşanmıştır. Bu çalışmada zaman serisine göre ilk üç afet eğitim verisi olarak Rastgele Orman yöntemiyle eğitilip 2021 yılında yaşanan afet tahmin edilmiştir. Yapılan çalışmada bulunan 2021 afeti havzasındaki afet için riskli ve riskli olmayan olarak tespit edilen 560 nokta, 2021 yılında yaşanan gerçek afet sahası ile mukayese edilmiştir. Çalışma 5 doğruluk modeli ile incelenmiş olup eğitim ve test verilerinde %90'a yakın ve üzerinde doğruluk değerlerine ulaşılmıştır. Yapılan çalışmada görülmektedir ki farklı havzalar ile yapılan taşkın çalışmaları oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

#### Teşekkür

Bu araştırmayı destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Araştırma Fonu (proje no: FDK-2022-2796)'na teşekkür ederiz. Ayrıca veri temininde yardımları için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- [1] Karim F, Armin MA, Ahmedt-Aristizabal D, Tychsen-Smith L, Petersson L. A review of hydrodynamic and machine learning approaches for flood in undation modeling. *Water* 2023; 15(3): 566.
- [2] Sit M, Demiray BZ, Xiang Z, Ewing GJ, Sermet Y, Demir I. A comprehensive review of deep learning applications in hydrology and water resources. *Water Sci and Technol* 2020; 82(12): 2635-2670.
- [3] Bentivoglio R, Isufi E, Jonkman SN, Taormina R. Deep learning methods for flood mapping: a review of existing applications and future research directions. *Hydrol and Earth Syst Sci* 2022;26(16): 4345-4378.
- [4] El-Haddad BA, Youssef AM, Pourghasemi HR, Pradhan B, El-Shater AH, El-Khashab MH. Flood susceptibility prediction using four machine learning techniques and comparison of their performance at Wadi Qena Basin, Egypt *Nat Hazard* 2021; 105:83-114.
- [5] Madhuri R, Sistla S, Srinivasa Raju K. Application of machine learning algorithms for flood susceptibility assessment and risk management. *J Water Clim Change* 2021; 12(6). 2608-2623.
- [6] Yukseler U, Toprak A, Gul E, & Dursun, OF. Flood hazard mapping using M5 tree algorithms and logistic regression: a case study in East Black Sea Region. *Earth Sci Inf* 2023; 16(3):2033-47.



- [7] Habibi A, Delavar MR, Sadeghian MS, Nazari B, Pirasteh S. A hybrid of ensemble machine learning models with RFE and Boruta wrapper-based algorithms for flash flood susceptibility assessment. *Int J Appl Earth Obs Geoinf*. 2023; 122, 103401.
- [8] Saravanan S, Abijith D, Reddy NM, Parthasarathy KS, Janardhanam N, Sathiyamurthi S, Sivakumar V. Flood susceptibility mapping using machine learning boosting algorithm techniques in Idukki district of Kerala India. *Urban Clim*. 2023; 49, 101503.
- [9] Lyu HM, Yin ZY. Flood susceptibility prediction using tree-based machine learning models in the GBA. *Sustainable Cities and Soc*. 2023; 97, 104744.
- [10] DSİ, “Doğu Karadeniz Taşkınları Raporu (1970-1995)”, DSİ Yayınları, Trabzon. 1996.
- [11] DSİ, “Su Dünyası Dergisi”, Sayı: 34, DSİ Vakfı Yayınları, Ankara. 2006.
- [12] DSİ, “Trabzon Taşkınları Raporu (2004,2005,2006)”, DSİ Yayınları, Trabzon. 2006.
- [13] Stefanidis S, Stathis D. Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP). *Nat hazards* 2013; 68, 569-585.
- [14] Ouma YO, Tateishi R. Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and casestudy assessment. *Water* 2014; 6(6): 1515-1545.
- [15] Tokgözlü A, Özkan E. Taşkın risk haritalarında AHP yönteminin uygulanması: Aksu Çayı Havzası örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi* 2018; (44): 151-176.
- [16] Kourgialas N, N Karatzas GP. Flood management and a GIS modelling method to assess flood-hazard areas—a case study. *Hydrol Sci J* 2011; 56(2): 212-225.
- [17] Mosquera-Machado S, Ahmad S. Flood hazard assessment of Atrato River in Colombia. *Water resour manage*. 2007. 21, 591-609.
- [18] Skakun S, Kussul N, Shelestov A, Kussul O. Flood hazard and flood risk assessment using a time series of satellite images: A case study in Namibia. *Risk Anal* 2014; 34(8): 1521-1537.
- [19] Breiman L. Randomforests. *Mach learn* 2001; 45(1): 5-32.
- [20] Ho TK. TheRandom Subspace Method for Constructing Decision Forests, *IEEE Trans. Pattern Anal Mach Intell* 1998,20: 832-844.
- [21] Liaw A, Wiener M. Classification and regression by random forest. *R News*. 2002. 2(3), 18- 22.
- [22] Archer KJ, Kimes RV. Empirical characterization of random forest variable importance measures. *Comput Stat Data Anal*. 2008. 52(4), 2249-2260.
- [23] Fawcett T. An introduction to ROC analysis. *Pattern recognit lett* 2006; 27(8): 861-874.
- [24] Toprak A, Yükseler U, Yıldızhan E. Success of Machine Learning And Statistical Methods İn Predicting Landslide Hazard: The Case Of Elazığ (Maden). *Arabian J Geosci* 2024; 17.10: 1-18.
- [25] Toprak A, Canpolat FA. Frekans Oran, Analitik Hiyerarşi Ve Lojistik Regresyon Modellerinin Taşkın Tehlike Tahmininde Karşılaştırmalı Kullanımı, *Fatsa İlçe Merkezi Ve Yakın Çevresi Örneği*. *Inter J Geo Edu* 2022; (45): 349-379.
- [26] Ayoublu SA, Vafakhah M, & Pourghasemi HR. Efficiency evaluation of low impact development practices on urban flood risk. *J Environ Manage* 2024, 356: 120467.
- [27] Abebe Y, Kabir G, & Tesfamariam S. Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model. *J Cleaner Prod* 2018; 174: 1629-1641.
- [28] Toprak A, Günek H. Flood Analysis Of Arakonak Stream Basin (Solhan-Bingöl). *Recent Researc Interdis Sci*. 2016. 358.
- [29] Abdrabo KI, Kantoush SA, Esmail A, Saber M, Sumi T, Almamari M, & Ghoniem S. An integrated indicator-based approach for constructing an urban flood vulnerability index as an urban decision-making tool using the PCA and AHP techniques: A case study of Alexandria, Egypt. *Urban Clim* 2023; 48, 101426.
- [30] Yükseler U, Dursun ÖF. Shannon Entropi (SE) ve AHP Metoduyla Artvin (Arhavi) Kapisre Taşkınının İncelenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2024; 29(2): 611-631.
- [31] Yükseler U, Toprak A, Gul E, & Dursun OF. Flood hazard mapping using M5 tree algorithms and logistic regression: a case study in East Black Sea Region. *Earth Sci Inf* 2023; 16(3): 2033-2047.
- [32] Yükseler U, Dursun ÖF. Taşkın Afetlerinin Önceden Tahmin Edilebilirliği; Gümüşhane İlinde Yaşanan Afetlerinin Farklı Yöntemlerle Tahmin Örnekleme. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2024; 11(23): 248-264.