

## Araklı ve çevresinde (Trabzon) Sel ve Taşkına Neden Olan Derelerin Morfometrik Analizlerle Taşkın Duyarlılıklarının Belirlenmesi

Vedat AVCİ<sup>1\*</sup>, İskender DÖLEK<sup>2</sup>, Taygun UZELLİ<sup>3</sup>

### Öz

Bu çalışmada, Trabzon iline bağlı Araklı ilçesi ve çevresinde sel ve taşkına yol açan derelerin morfometrik özellikleriyle taşkın duyarlılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır. 18 Haziran 2019 tarihinde Araklı ilçesi Çamlıktepe Mahallesi'nde meydana gelen taşkında 9 kişi hayatını kaybetmiştir. Karadere Çayı Havzası'nda meydana gelen taşkında çok sayıda yapı yıkılmıştır. Çalışmada Karadere Çayı Havzası, komşu Yanbolu Deresi, Küçükdere Çayı, Manahoz Çayı ve Kastel Deresi Havzaları ile morfometrik özellikleri açısından birlikte değerlendirilmiştir. Havzaları kapsayan 10\*10 m hücre boyutuna sahip Sayısal Yükselti Modeli (SYM) kullanılarak, havzaların sınırları belirlenmiştir. Belirlenen havzalara Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımları kullanılarak drenaj yoğunluğu (Dd), akarsu sıklığı (Fs), havza şekli (Rf), uzama oranı (Re), havza reliefi (Bh), relief oranı (Rh), engebelilik değeri (Rn), akım toplanma zamanı (Tc), hipsometrik integral (Hi) ve eğri (He) indisleri uygulanmıştır. İndis sonuçları kullanılarak derecelendirme yapılmış ve havzaların taşkın duyarlılığı belirlenmiştir. Buna göre; Karadere Çayı ve Kastel Deresi Havzalarında taşkın duyarlılığı yüksek, Manahoz Deresi Havzası'nda orta, Yanbolu Deresi ve Küçükdere Çayı Havzası'nda düşük olarak bulunmuştur. Rölyef özellikleri ve iklim-beşeri özellikleri nedeniyle havzalarda afet boyutunda taşkınların yaşanması muhtemeldir. Havza yönetimi çalışmalarında sel ve taşkınlara yol açan doğal (morfometrik ve jeomorfolojik) ve beşeri tüm faktörlerin dikkate alınması yararlı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Araklı, Trabzon, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Morfometri, Taşkın Duyarlılığı.

## Determination of Overflow Susceptibility of the Streams causing Flood-Overflow in Araklı District and its surroundings (Trabzon) by Morphometric Analyses

### Abstract

The aim of this study is to determine overflow susceptibility of the streams causing flood-overflow in Araklı district of Trabzon province and its surroundings with their morphometric features. On the 18th of June in 2019, 9 people lost their lives in the overflow that occurred in the Çamlıktepe neighborhood of Araklı District. The overflow that took place in Karadere Stream Basin destroyed many buildings. In the study, Karadere Stream Basin has been evaluated together with neighboring Yanbolu Stream, Küçükdere Creek, Manahoz Creek and Kastel Creek Basin in terms of morphometric features. Using Digital Elevation Model having 10\*10 m cell size covering the basins, the boundaries of the basins have been determined. Indices of drainage density (Dd), stream frequency (Fs), basin shape (Rf), elongation ratio (Re), basin relief (Bh), relief ratio (Rh), ruggedness number (Rn), time of concentration (Tc), hypsometric integral (Hi) and curve (Hc) have been applied to the specified basins by using Geographic Information System software. With the results of the indices, a grading has been done in terms of flood-overflow, and overflow susceptibility of the basins has been determined. Accordingly, overflow susceptibility has been specified as high in Karadere and Kastel Stream Basins, medium in Manahoz Stream Basin, and low in Yanbolu stream and Kucukdere Basin. Due to the relief and climatic-human characteristics of the basins, experiencing overflow on a disaster scale is probable in the basins. It will be beneficial to consider natural (morphometric and geomorphological) and human factors causing flood and overflow when basin management studies are carried out.

**Keywords:** Araklı, Trabzon, Geographic Information Systems, Morphometry, Overflow Susceptibility

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Coğrafya Bölümü, Bingöl, Türkiye, [vavci@bingol.edu.tr](mailto:vavci@bingol.edu.tr)

<sup>2</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Muş, Türkiye, [isdolek@gmail.com](mailto:isdolek@gmail.com)

<sup>3</sup>İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir, Türkiye, [taygunuzelli@iyte.edu.tr](mailto:taygunuzelli@iyte.edu.tr)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-1439-3098>

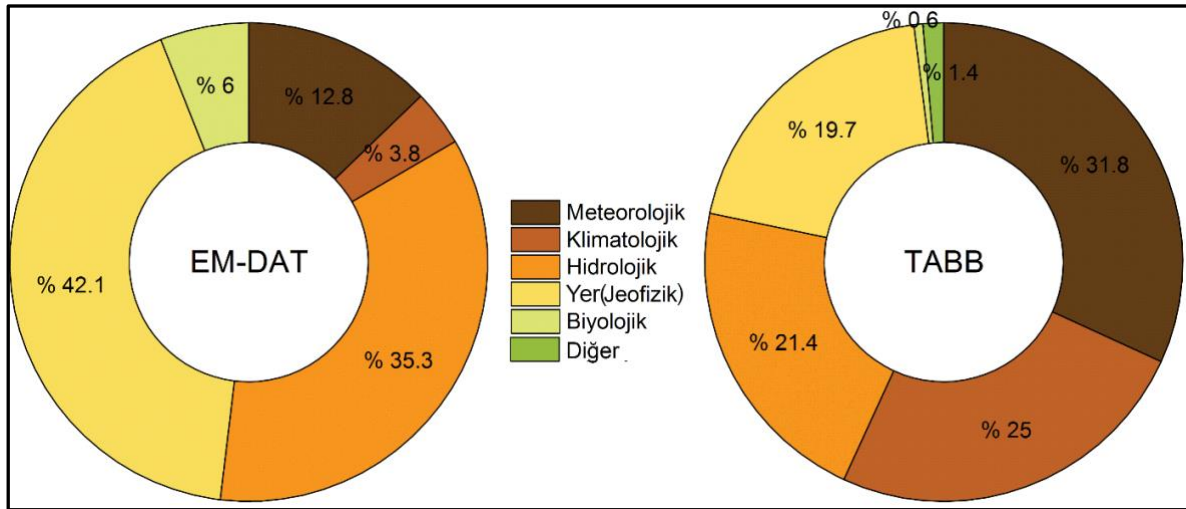
<sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0002-5922-8515>

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0003-0846-5921>

## 1. Giriş

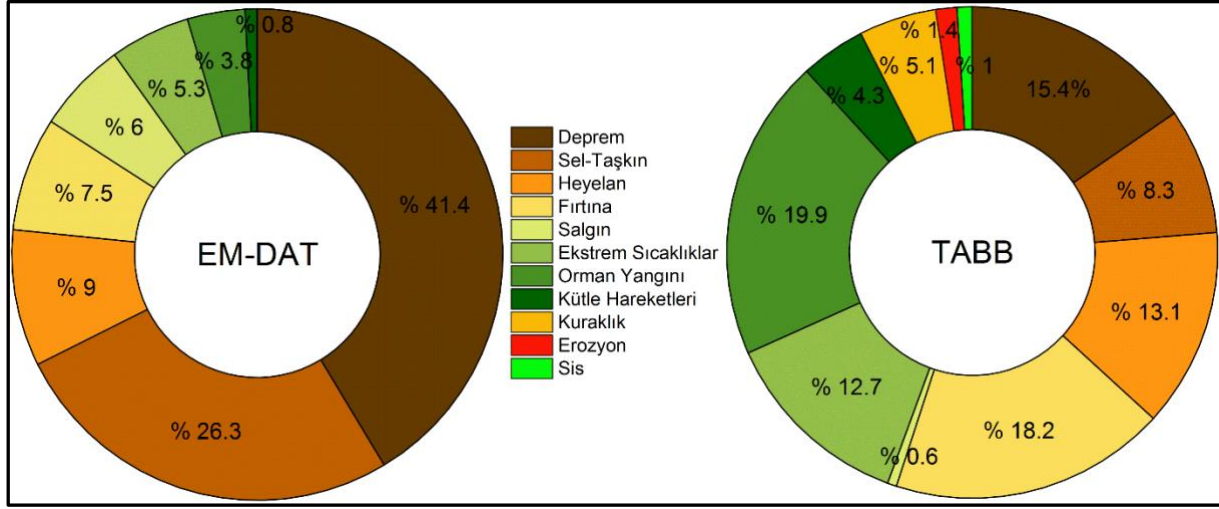
Sel ve taşkınlar, bir su kütesinin seviyesinin doğal kıyılarını veya yapay bentlerini taşana kadar yükseldiğinde ve genellikle kuru olan alanları sular altında bıraktığında meydana gelen doğal süreçlerdir (Luino, 2016). Sel ve taşkınlar, dünya çapında en yaygın doğal afet olup, doğal afet kaynaklı ölümlerin önde gelen nedenidir. Ormansızlaşma ve büyük nüfusun kıyı bölgelerine, nehir havzalarına ve göl kıyılarına artan yakınlığı göz önüne alındığında, selden kaynaklanan katastrofik kayıp riski önemlidir (Doocy ve ark., 2013). Sel ve taşkınlar, doğal koşullar (topografya, yağış), bölgesel coğrafi koşullar ve bir alandaki arazi kullanımında değişikliklere (arazinin amaç dışı kullanımı, ormansızlaşma) neden olan insan faaliyetlerinden kaynaklanır (Sholihah ve ark., 2020). Sel ve taşkınların meydana gelmesinde küresel iklim değişikliğinin de etkili olduğu bilinmektedir. Küresel ısınma ile birlikte ekstrem yağışların yoğunluğunun artması, bu durumun da taşkın riskini artırması beklenmektedir (Tabari, 2020). Yağış için gerekli suyu sağlayan atmosferik su buharı konsantrasyonu arttıkça, aşırı yağışların dünyanın büyük bir bölümünde küresel ısınmayla birlikte yoğunlaşması ve sel-taşkın riskinin artması öngörülmektedir (Tabari, 2020; Allen ve Ingram, 2002; Ingram, 2016). Yapılan değerlendirmelere göre taşkın yoğunluğunun nemli bölgelerde arazi alanının %75,9' unda, yarı nemli bölgelerde % 68,7' sinde, yarı kurak bölgelerde ise % 63,4'ünde artış göstermesi beklenmektedir (Tabari, 2020; URL-1).

Emergency Events Database (EM-DAT) kayıtlarına göre 1960-2014 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen doğal afetler (olay sayısı dikkate alınmıştır) kökenlerine göre değerlendirildiğinde yer kökenli (depremler) afetler 1.sırada (% 42,1), hidrolojik kökenli (sel-taşkınlar) afetler % 35,3 ile 2.sırada yer almaktadır. Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB) verilerine göre ise meteorolojik kökenli afetler 1.sırada (% 31, 8), klimatolojik kökenli afetler 2.sırada (% 25) ve hidrolojik afetler 3.sırada (% 21.4) yer almaktadır (URL-2, URL-3, Koç ve Thieken, 2016; Şekil 1).



Şekil 1. 1960-2014 yılları arasında Türkiye'de meydana gelen doğal afetlerin, kökenlerine göre dağılımı (URL-2, URL-3, Koç ve Thieken, 2016).

EM-DAT verisine göre 1960-2014 yılları arasındaki dönemde Türkiye’de en fazla meydana gelen doğal afetler depremler, sel-taşkınlar ve heyelanlar olarak sıralanmıştır. TABB verisine göre ise en fazla meydana gelen doğal afetler; deprem, sel-taşkınlar ve heyelanlar şeklinde sıralanmaktadır (Koç ve Thieken, 2016; Şekil 2).



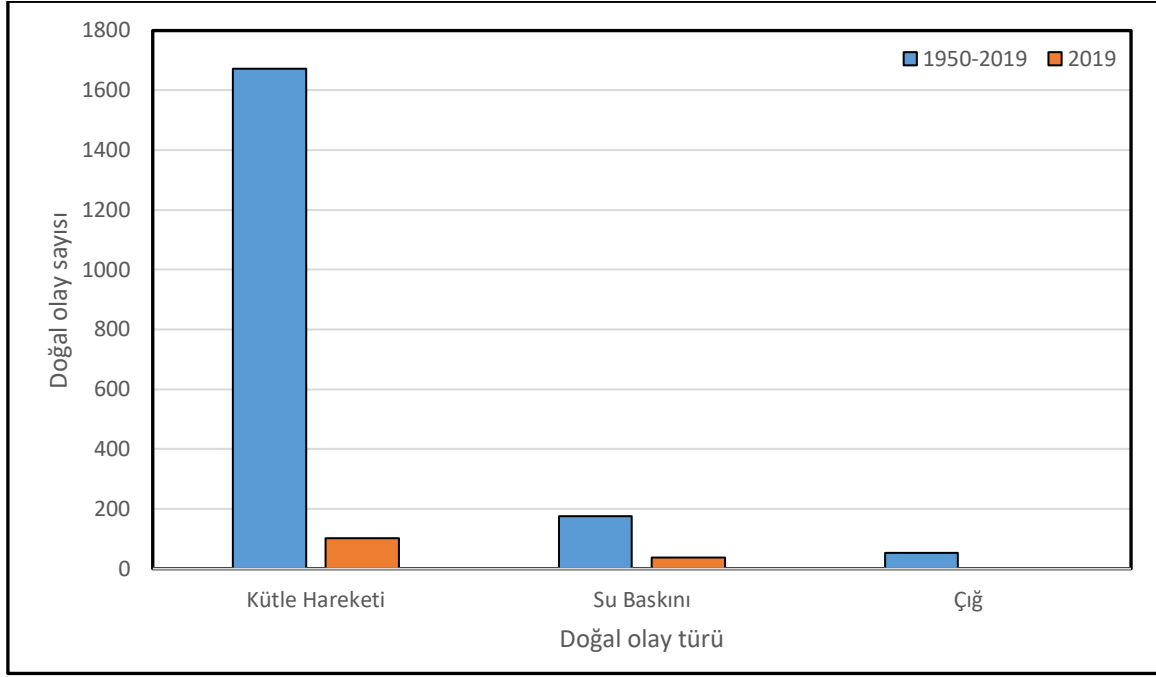
Şekil 2. Türkiye’de 1960-2014 yılları arasında meydana gelen doğal afetlerin alt gruplara göre dağılımı (URL-2, URL-3, Koç ve Thieken, 2016)

EM-DAT verilerine 1960-2014 yılları arasında Türkiye’de katastrofik 25 sel-taşkın olayı yaşanmıştır. Bu katastrofik olaylara Mersin-Adana (Aralık 1968), Batı Karadeniz (1998) sel-taşkın olayları örnek verilebilir. EM-DAT kaynağına göre, Mersin-Adana sel-taşkını Türkiye'deki en yıkıcı olay olup, can kaybı 147’dir. Aynı veri kaynağına göre Mayıs 1998’de Batı Karadeniz’i (Zonguldak, Karabük, Bartın, Sakarya) etkileyen sel-taşkınlar, ekonomik kayıplar açısından en yıkıcı olay olarak kayıtlara geçmiştir. Yaşanan sel-taşkınlarda 10 kişi ölmüştür. Bu olayda etkilenen insan sayısı 1240047 ve ekonomik kayıp 1,0 milyar ABD Dolarıdır (URL-2, Koç ve Thieken, 2016). Türkiye’de katastrofik sel-taşkın olaylarına, 1995 İzmir ve Senirkent selleri de diğer örneklerdir. 3-4 Kasım 1995 yılında İzmir’de meydana gelen selde 63 kişi hayatını kaybetmiştir. Olay sırasında (3 saat 54 dakikalık süre içerisinde) m<sup>2</sup>’ye 100 kg’dan fazla yağış düşmüştür (Sezer, 1997). Isparta-Senirkent’te 13 Temmuz 1995 günü 20:10-20:30 saatleri arasında meydana gelen sel ve sonrasında yaşanan çamur akıntısı ile 74 kişi ölmüş, 46 kişi de yaralanmıştır (Biricik, 1996). 2018 yılında Ordu ve ilçelerinde, 2020 yılında Rize ve Giresun’da, 2021 yılında Sinop, Bartın, Kastamonu (Bozkurt), Artvin ve Rize’de meydana gelen sel felaketleri yakın zamanda yaşanan insan yaşamını etkileyen ve yerleşim alanlarında yıkıma neden olan sel-taşkın olaylarının en yeni örneklerdir. 1975-2012 yılları arasında ülkemizde meydana gelen 889 taşkın olayında, can kaybı 685’dir (Kadioğlu, 2019). Ülkemizde taşkınlar 1990’ların ortalarından bu yana artış eğilimindedir (Kömüşcü ve Çelik, 2013; Kadioğlu, 2019). Önceden tahmin edilebilen sel ve taşkınların, zararlarını azaltmak için potansiyel olarak sel-

taşkınlarla duyarlı alanların belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla duyarlılık, tehlike ve risk haritalarının yapılması önem arz etmektedir.

Sel ve taşkın riski taşıyan potansiyel alanların belirlenebilmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. İstatistiksel yöntemler, uzman puanlama ve çok kriterli karar verme yöntemleri ile sel-taşkın duyarlılığı belirlenebilmektedir (Samanta ve ark., 2018; Mind'je ve ark., 2019; Akay, 2021; Fang ve ark., 2021; Sachdeva ve Kumar, 2022; Xu ve ark., 2023). Bu çalışmalarla duyarlı alanlar belirlenebildiği için doğal olayların, afet boyutuna dönüşmesi engellenebilir. Havzaların alansal, geometrik (şekil) ve relief morfometrik özellikleri ile de sel-taşkın potansiyeli belirlenebilmektedir. Örneğin, sel-taşkın olasılığı, drenaj yoğunluğunun artmasına bağlı olarak yükselir. Uzunlamasına havzalarda daha uzun süre su akışı görülebilir. Engebelilik değeri yüksek olan havzalarda yüzeysel akış ve erozyon artarken, infiltrasyon (sızma) azalmaktadır. Bu özelliklerle sahip olan havzalarda sel-taşkın duyarlılığı yüksek olmaktadır. Havza morfometrik parametrelerinden hipsometrik eğrinin (He) şekli ve integral değeri (Hi) de bu konuda ipucu vermektedir. He görünümü dışbükey olan ve Hi değeri yüksek olan havzalar jeomorfolojik açıdan genç (Strahler, 1952; Melton, 1957; Verstappen, 1983; Keller ve Pinter, 2002; Ullah ve Zhang, 2020; Rawat ve ark., 2021) ve sel-taşkın duyarlılığı yüksek olan havzalardır.

Akgül ve ark. (2022) Türkiye'de çığ, kütle hareketleri (heyelan, kaya düşmesi) ve su baskını olaylarını kümelenme yöntemiyle araştırdıkları çalışmalarında, bu afet türleri açısından Karadeniz'de en riskli ilin Trabzon olduğunu belirtmiştir. 1950-2019 yılları arasında Trabzon ilinde meydana gelen doğal olay sayısı açısından kütle hareketleri (heyelan-kaya düşmesi) 1.sırada gelmektedir. Bu dönemde 1673 kütle hareketi ve 175 su baskını olayı meydana gelmiştir. Su baskınları, kütle hareketlerinden sonra en fazla görülen 2.doğal olaydır. Çığ ise 52 olayla kütle hareketlerini (heyelan-kaya düşmesi) ve su baskını olaylarını takip etmektedir. 2019 yılında 102 kütle hareketi ve 37 su baskını olayı meydana gelmiştir (Şekil 3; AFAD, 2020). Şiddetli yağışa bağlı olarak meydana gelen heyelanlar aynı zamanda taşkınlarla neden olabilmektedir. Çünkü heyelanlar sonucu ortaya çıkan malzeme dere yataklarını doldurarak setler oluşturmakta ve menfezleri kapatarak suyun yatağında doğal seyrini engellemektedir. Ülkemizde son yıllarda yaşanan ani sağanaklara bağlı olarak meydana gelen sel-taşkınlar ile heyelanların birbirini tetiklediği literatürde ortaya konmuştur (Avcı, 2023; Avcı ve Ünsal, 2023).



**Şekil 3.** 1950-2019 yılları Trabzon ilinde görülen doğal olayların dağılımı (AFAD, 2020)

Bu çalışmada Araklı ilçesi ve çevresinde sel-taşkın olaylarına yol açan, Yanbolu Deresi, Karadere Çayı, Küçükdere Çayı, Manahoz Çayı ve Kastel Deresi havzalarının morfometrik özellikleri ile Karadere Çayı Havzası'nda Çamlıktepe Mahallesi'nde yaşanan sel-taşkın olayının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Işık ve ark. (2020) tarafından çok kriterli karar verme yöntemi ile Karadere Çayı Havzası için taşkın duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu çalışma sonuçlarına göre, Araklı şehir merkezi taşkın duyarlılığı yüksek bir alanda bulunmaktadır. Yıldırım (2021) Trabzon'daki akarsu havzalarının morfometrik özelliklerini genel olarak değerlendirmiştir.

Çalışmamızda arazi gözlemleri ile Çamlıktepe sel-taşkınını incelenmiş, havzalar morfometrik özellikleri açısından göreceli olarak karşılaştırılmış ve taşkın duyarlılığı belirlenmiştir. Bu durum morfometrik parametreler ve arazi gözlemlerine göre hazırlanan çalışmamızı farklı kılmaktadır.

## 2. Çalışma Sahasının Yeri ve Başlıca Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı, Doğu Karadeniz Bölümü'nde, Trabzon ili sınırları içerisinde yer almaktadır. İncelemeye konu edinilen Yanbolu Deresi, Karadere Çayı, Küçükdere Çayı, Manahoz Çayı ve Kastel Deresi havzaları Doğu Karadeniz akaçlama havzası içerisinde yer almaktadır (Şekil 4). Havza, Türkiye'nin en fazla yağış alan ve bu nedenle su kaynakları açısından zengin, yoğun bir orman örtüsüne sahip bir havzadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020).

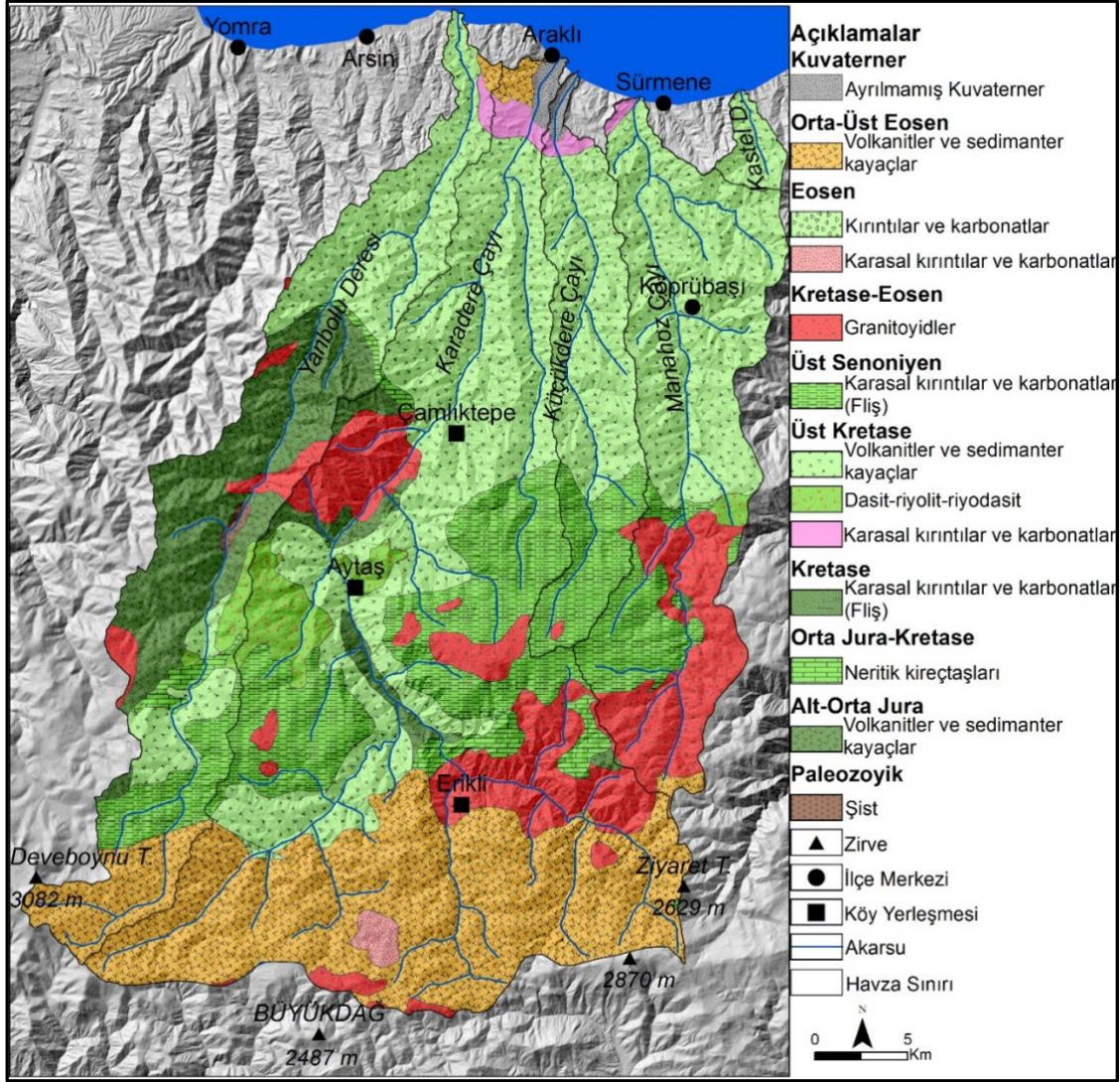


Şekil 4. Çalışma alanının lokasyon haritası

Doğu Karadeniz Havzası, kıyıda doğuda Artvin ilinden başlayıp; batıda Samsun iline dayanmaktadır. Havzayı oluşturan akarsular, diğer havzalardaki tek bir ana kol şeklinde denize ulaşmamakta, irili ufaklı denize ulaşan pek çok dereden oluşmaktadır (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020). Doğu Karadeniz Havzası, alansal büyüklük açısından ülkemizdeki 25 havza içinde 15. sıradadır. Karadeniz, İç Anadolu ve Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan toplam 11 il (Ordu, Trabzon, Giresun, Rize, Gümüşhane, Artvin, Sivas, Bayburt, Erzurum, Samsun ve Tokat), Doğu Karadeniz Havzası içerisinde yer almaktadır (Yüksek ve ark., 2022).

Araştırma sahasında Paleozoyik yaşlı şistler en yaşlı birimleri oluştururken, Kuvaterner dönemli alüvyonlar en genç birimleri oluşturmaktadır. Paleozoyik şistler, sınırlı olarak Aytaş batısında görülmektedir. Alt-Orta Jura, volkanit ve sedimanterlerden oluşan birim Yanbolu Deresi Havzası güneyinde, Orta Jura-Kretase neritik kireçtaşları, Erikli kuzeyi ile Aytaş güneybatısında, Kretase karasal kırıntılar ve karbonatlar, Erikli kuzeybatısında, Üst Kretase volkanitler ve sedimanter kayalar çalışılan havzaların orta ve aşağı kesimlerinde yüzeylenmektedir. Üst Kretase dasit-riyolit ve riyodasit birimleri Aytaş ve çevresinde, bu dönemin ürünleri olan karasal kırıntılar ve karbonatlar, Araklı ilçe merkezinin güneyinde görülmektedir. Üst Senoniyen fliş birimleri Aytaş güneybatısı ile doğusunda, Kretase-Eosen granitoidler Aytaş kuzeyi, Erikli doğusu ve kuzeydoğusunda ve Köprübaşı güneyinde yüzeylenmektedir. Eosen kırıntılar ve karbonatlar, Erikli güneybatısında, Orta-Üst Eosen

volkanitler ve sedimanter kayalar, Erikli güneyinde, ayrılmamış Kuvaterner birimleri Karadere ve Küçükdere'nin ağız kısmında yüzeylenmektedir (Şekil 5; Akdeniz ve Güven, 2002).

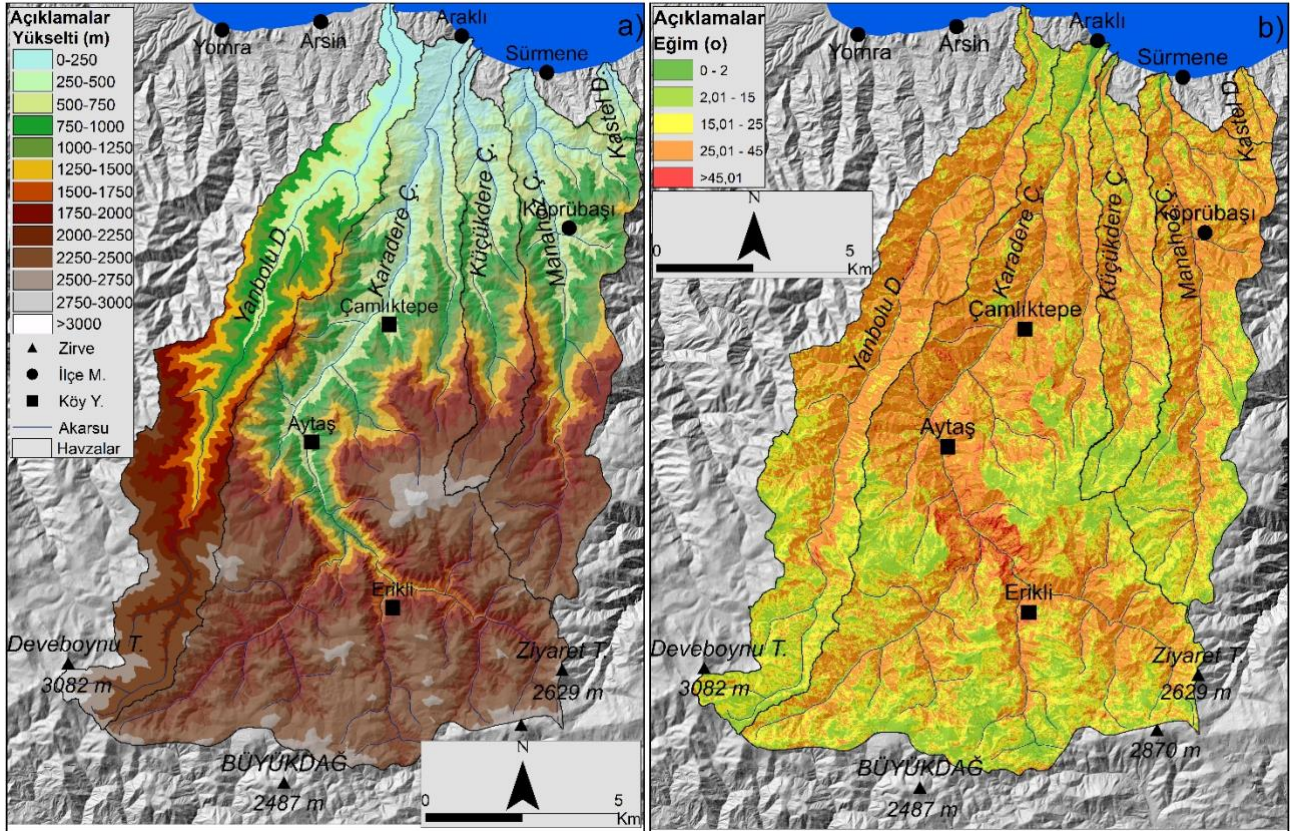


Şekil 5. Çalışılan havzaların litoloji haritası (Kaynak: Akdeniz ve Güven, 2002)

Zeminin killi şist gibi geçirimsiz kayalardan oluştuğu sahalarda yağış sularının büyük bir kısmı yüzeysel akışa geçer (Atalay, 2018). Çalışma sahası güneyinde litoloji geçirimsiz birimlerden oluşmaktadır. Bu durum yüzeysel akış miktarını artırıcı yönde rol oynamaktadır. Çalışma alanında litoloji ve morfoloji heyelanların meydana gelmesini kolaylaştırmaktadır. Sahada yaşanan taşkınların nedenlerinden biri de heyelanlarla dere yataklarının tıkanmasıdır.

Çalışma alanı, kıyıdan itibaren yükselen Kuzey Anadolu Dağ sırası (Ketin, 1966) içerisinde yer almaktadır. İnceleme sahasının yeryüzü şekilleri açısından en belirgin özelliği kıyıdan itibaren yükseltinin kısa mesafelerde artmasıdır. Bu durum Doğu Karadeniz Bölümü'nde dağların kuzeye bakan yamaçları ile kıyı arasında kalan yerler için olağan bir durumdur. Bu doğal özellik, Doğu

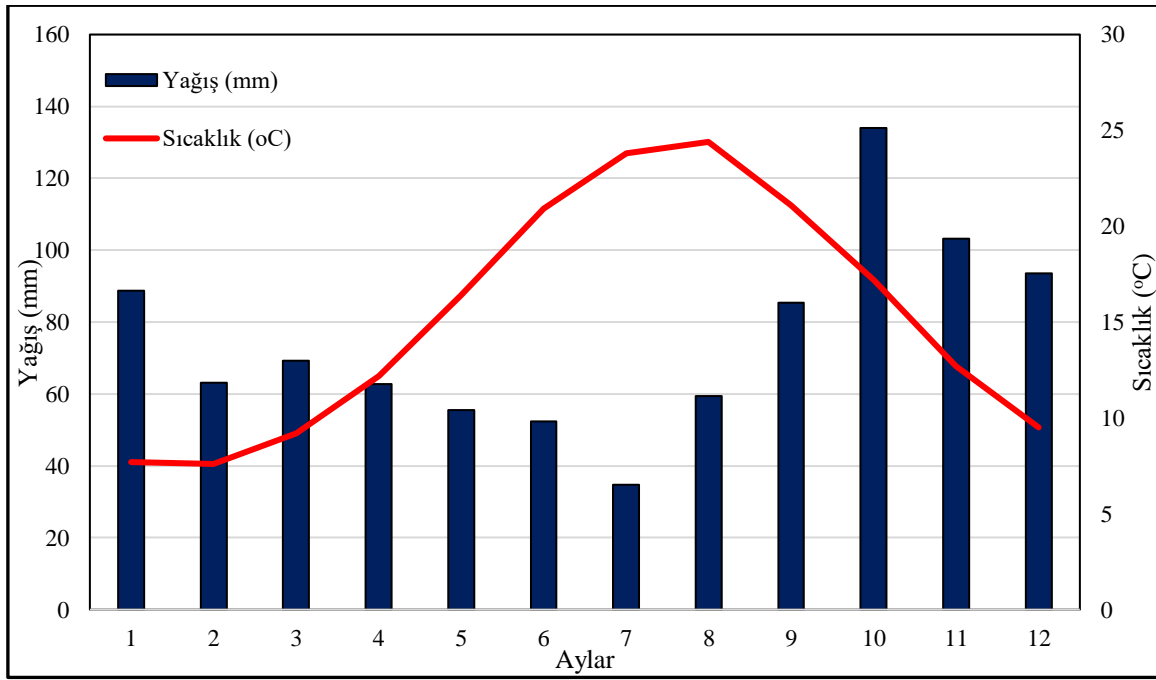
Karadeniz’de doğal (iklim, doğal bitki örtüsü, toprak türleri, akarsuların akım özellikleri vb.) ve beşeri (nüfus, yerleşme, tarım vb.) birçok hususu etkilemektedir. İnceleme sahası, Doğu Karadeniz Dağları’nın kuzeye bakan yamaçlarından kaynağını alan Yanbolu Deresi, Karadere Çayı, Küçükdere Çayı, Manahoz Çayı ve Kastel Deresi ile drene edilmektedir. Bu akarsuların havza alanları 12,14-737,52 km<sup>2</sup> arasında değişmektedir. Karadere Çayı Havzası, yaklaşık 737 km<sup>2</sup> alanı ile sahayı drene eden en büyük akarsu havzasını oluşturmaktadır. En küçük akarsu havzası ise Kastel Deresi Havzası’dır. Karadere Çayı’nın menba kısmından ağız kısmına kadar olan mesafe, yaklaşık 64 km’dir. Bu mesafede yükselti değişimi 2875 m’dir. Kısa mesafelerde bu yükselti farklarına erişilmesi eğimin yüksek olduğunu göstermektedir. Analiz edilen tüm havzaların eğim değerlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama eğim değerleri 23,5-27° arasında değişmektedir (Şekil 6). Kastel Deresi Havzası’nda ortalama eğim maksimum, Küçükdere Çayı Havzası’nda minimumdur. Yüksek eğime paralel olarak, yüzeysel akış miktarı ve yüzeysel akış hızı artarken, sızma azalmaktadır. Eğim değerlerinin yüksek oluşu akım toplanma süresinin kısılmasına yol açmaktadır. Yan kollardan ana akarsuya kısa sürede ulaşan kollar taşkınlara sebebiyet vermektedir. Ayrıca eğimin yüksek olduğu sahalarda yükseltinin de fazla olmasına bağlı olarak sıcaklık ve dolayısıyla buharlaşma da azalmaktadır. Bunun yanında suyun yüzeyi hızlı terk etmesi de buharlaşmayı azaltmaktadır (Hoşgören, 2004; Atalay, 2018). Bu durum yüzeysel akışa geçen su miktarını artırıcı bir rol oynamaktadır.



Şekil 6. Çalışma sahasının yükselti basamakları (a) ve eğim (b) haritası



Genel olarak Karadeniz Dağları'nın kuzeyli yamaçlarında Karadeniz iklimi egemendir. Çalışma sahasında da Karadeniz iklim özellikleri görülmektedir. Bu iklim tipi, nispeten mevsimlere düzenli bir şekilde dağılmış, yüksek yağış miktarı ile diğer sahalara göre ayırt edilebilir bir özelliğe sahiptir. Bu iklim, konum, rölyef ve bakıyla ilgili belirli şartlara bağlı olarak dar kıyı şeridinde hüküm sürer. Karadeniz ikliminde yağış azamisi frontal faaliyetlere bağlı olarak sonbahar ve kışta, yağış asgarisi ise güneyli hava kütlelerinin frekansının yüksek olduğu ve fön tesirlerinin görüldüğü ilkbahar döneminde görülür. Karadeniz iklim tipinin diğer ayırt edici özellikleri, yıllık sıcaklık farklarının düşük olması ve kış sıcaklıklarının 0°C'nin üstünde olmasıdır (Erinç, 1996). Trabzon Meteoroloji istasyonu verilerine göre, Araklı ilçesinde, yıllık ortalama sıcaklık 15,2 °C, olup, yıllık toplam yağış miktarı 902,1 mm'dir. Her mevsim yağışın görüldüğü Araklı ilçesinde en fazla yağış sonbahar, en az yağış ise yaz mevsiminde düşmektedir (Şekil 7). Karadere Havzası'nda 2900 m'ye ve Yanbolu Deresi Havzası'ndaki 3000 m'ye varan yükselti değişimi dikkate alındığında; sıcaklık ve yağış havza orta ve yukarı bölümlerinde kıyıya göre çok farklı olacaktır.

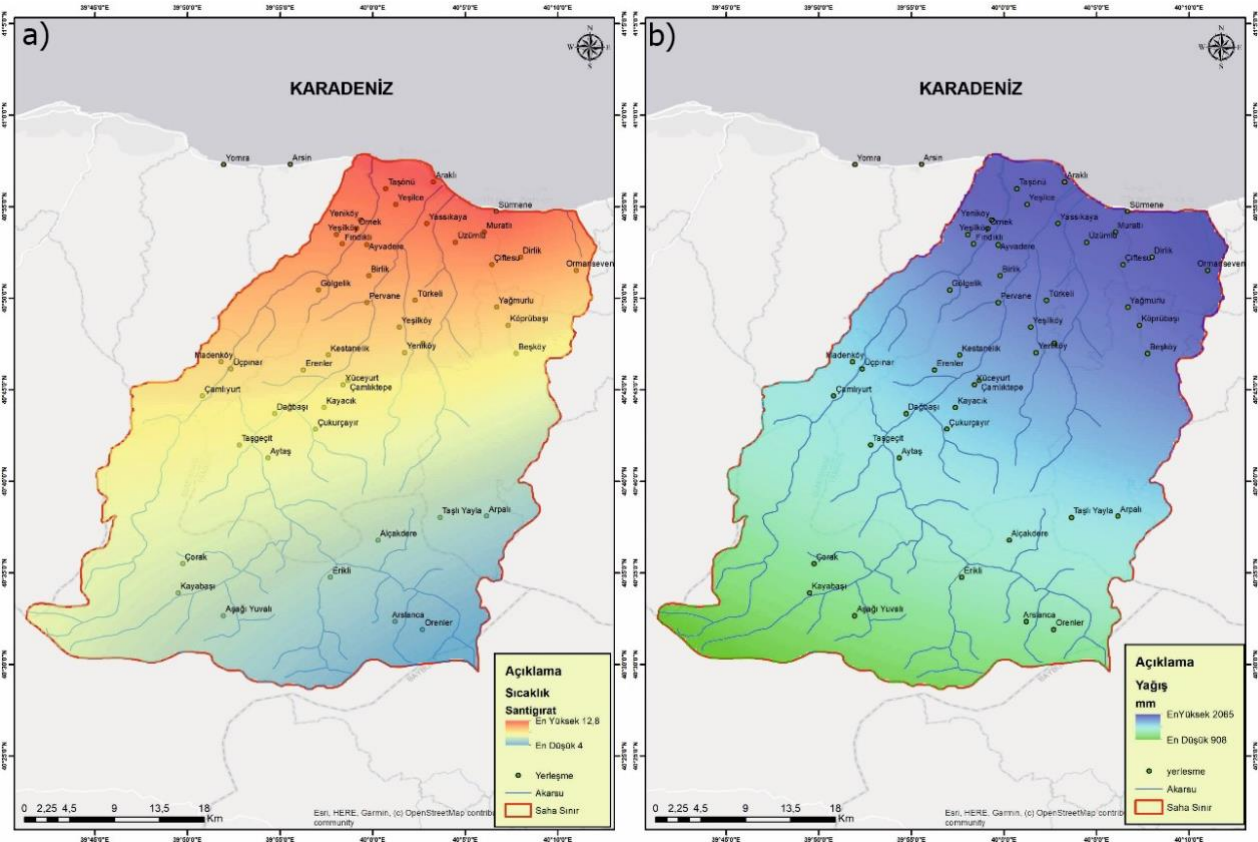


Şekil 7. Trabzon meteoroloji istasyonu verilerine göre aylık ortalama sıcaklık ve yağış miktarının dağılımı (1991-2020, URL-4).

Çalışma sahasında kıyı gerisindeki yüksek dağlarda kış yağışlarının kar şeklinde olması ve yerde örtü oluşturan karın ilkbahar mevsiminde erimesi sel-taşkın olaylarını artırmaktadır. Bu durum kış yağışlarının kar şeklinde düştüğü ülkemizin diğer yöreleriyle benzerdir. Araştırma alanında ilkbahar ve yaz yağışlarının konvektif türde olması (Karadeniz, 1995) sel-taşkın riskini artırmaktadır. Jeomorfolojik, iklimik ve antropojenik etkilerin sonucunda Doğu Karadeniz Bölümü, ülkemizde afet

boyutunda sel ve taşkın olaylarının en fazla meydana geldiği lokasyon olma özelliği kazanmaktadır (Şahin ve Sipahioğlu, 2003).

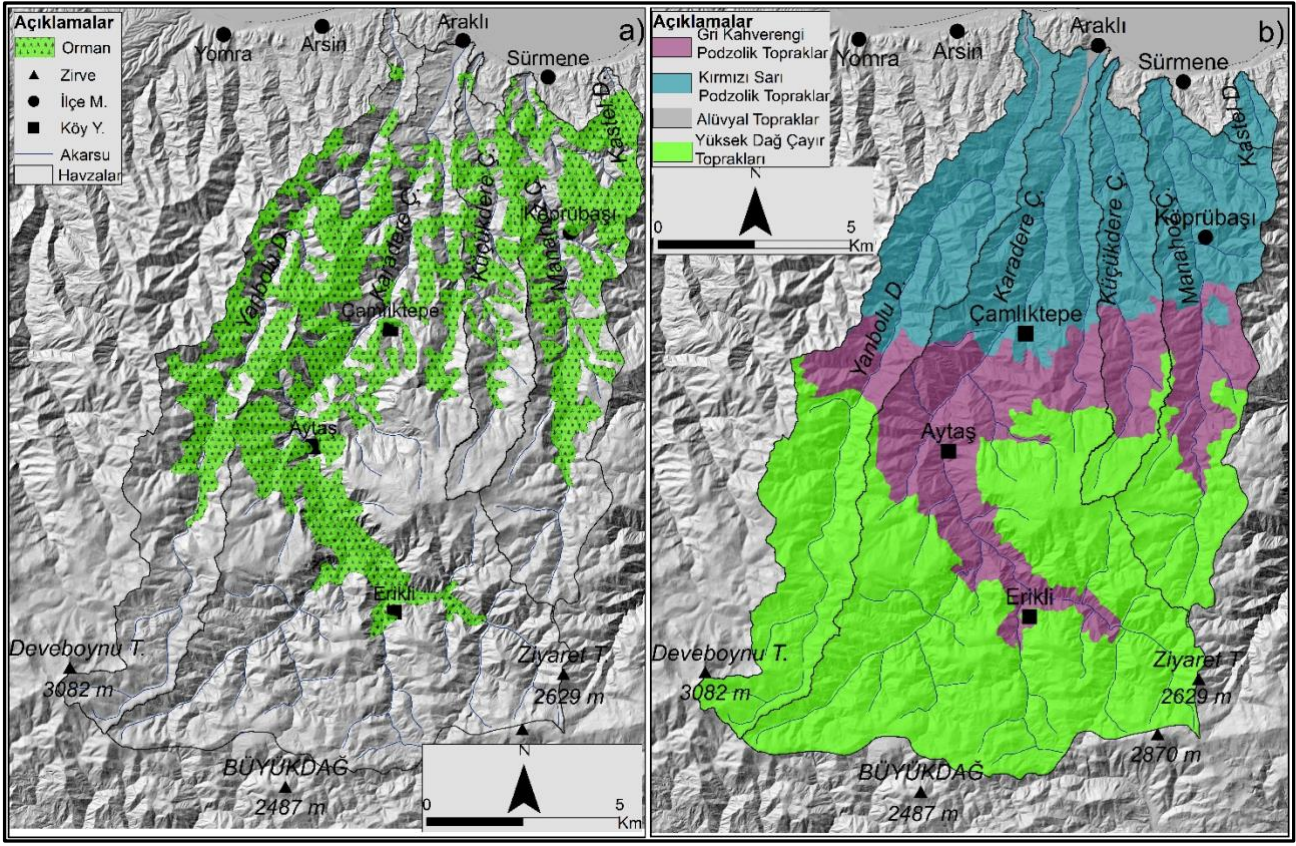
Çalışma alanı ve çevresinde yer alan Trabzon, Rize, Gümüşhane, Bayburt, Akçaabat ve Pazar Meteoroloji istasyonu yıllık ortalama sıcaklık ve yağış toplamı verisinden (Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 2021) faydalanarak sıcaklık ve yağış haritaları hazırlanmıştır. Oluşturulan haritaya göre yıllık ortalama sıcaklık değeri 4-12,8°C arasında değişmektedir. Kıyı kuşağından gerideki dağlık kuşağa doğru sıcaklığın azaldığı dikkati çekmektedir. Çalışma alanında yağış miktarı minimum 908 mm, maksimum 2085 mm'dir. Kıyıdan itibaren yağışın azaldığı ve dağlık kuşakta minimum yağışın ölçüldüğü görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Çalışma alanının sıcaklık (a) ve yağış (b) haritası

Gür bitki örtüsü, akarsu akımları üzerinde düzenleyici rol oynar. Karadeniz Bölgesi'nde ani sağanaklar olmadıkça ani taşkınların oluşmama nedeni, bitki örtüsüdür (Atalay, 2018). Çalışma alanında doğal bitki örtüsünü ormanlar oluşturmaktadır. Kıyı kuşağında orman örtüsü tahrip edilmiştir (Uzun ve Özcan, 2016). Orman Genel Müdürlüğü meşcere verisine göre; havza yukarı bölümleri de orman örtüsünden yoksundur (Şekil 9a). Çalışılan havzaların yukarı bölümlerinde yüksek dağ çayır toprakları görülürken, aşağı bölümlerinde kırmızı-sarı podzolik topraklar, orta bölümlerinde ise gri kahverengi podzolik topraklar, akarsuların ağız kısımlarında sınırlı olarak

alüvyal topraklar görülmektedir (Gümüşhane ili arazi varlığı, 1996; Trabzon ili arazi varlığı, 1996, Şekil 9b).



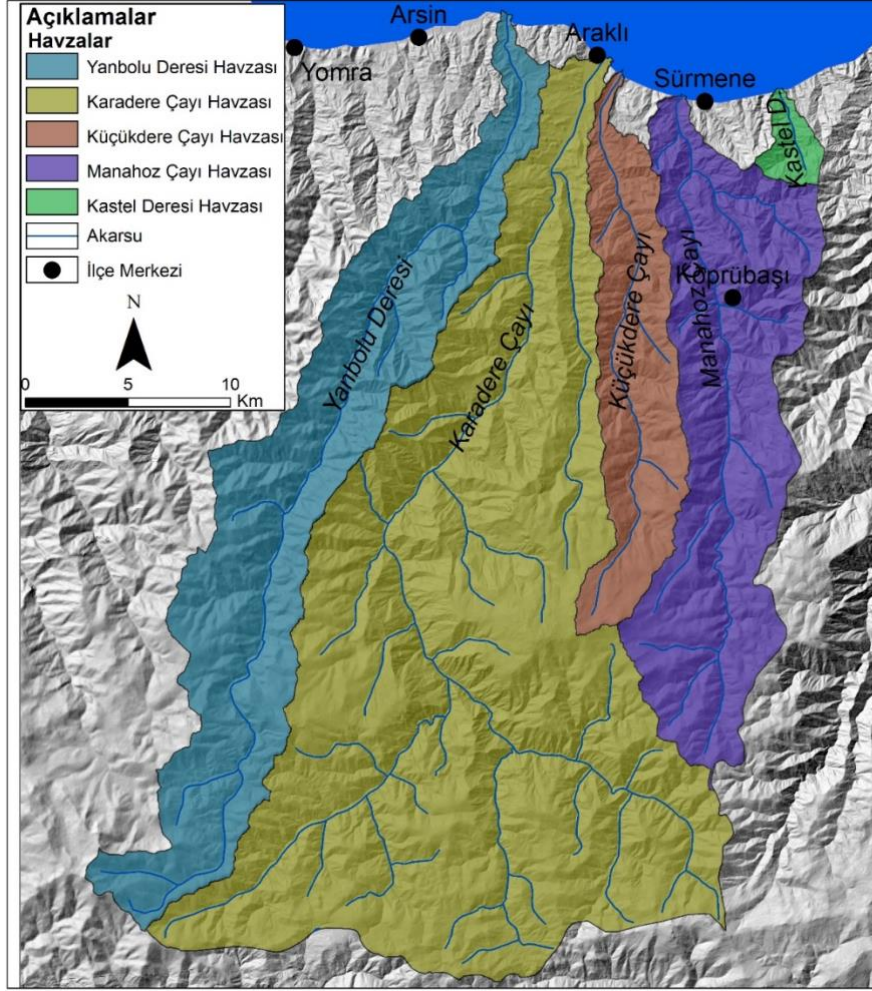
Şekil 9. Çalışma alanının bitki örtüsü (a) ve toprak (b) haritası

Karadere Çayı'nın oluşturduğu küçük delta ve taban seviyesi ovası içeri doğru genişçe bir koyu doldurmuştur (Ardel, 1963; Ayaydın, 2020). Araklı, Sürmene, Köprübaşı araştırma sahası içerisinde kalan önemli ilçe merkezleridir. 2022 yılı nüfus miktarları sırasıyla 48581, 25950 ve 4318'dir (URL-5).

### 3. Veri ve Yöntem

Sel ve taşkınlar havzaların jeomorfometrik, hidrolojik ve meteorolojik özelliklerinden kaynaklanabilir (Tehrany ve ark., 2014; Mahmood ve Rahman, 2019). Literatürde havzaların morfolojik özellikleri ile sel-taşkınlar arasındaki ilişkiyi konu edinen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Horton, 1932;1945; Strahler, 1964; Youssef ve ark., 2011; Elmaghraby ve ark., 2014; Avcı ve Sunkar, 2015, 2018; Umrikar, 2017; Mahmood ve Rahman, 2019; Apaydın, 2021; Chakraborty, 2023; Ganie ve ark., 2023; Ghimire ve ark., 2023; Kamuş ve Atalay Dutucu, 2023; Kant ve ark., 2023). Bu çalışmada topoğrafya haritalarından Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), ArcGIS 3D Analiz Modülü ile oluşturulmuştur. SYM'den havza sınırları, ArcHydro Modülü kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 10). Belirlenen havzalara Tablo 1'deki formüller uygulanmış ve sonuçlar bulgular bölümünde değerlendirilmiştir. Çalışmamızda Yanbolu Deresi, Karadere Çayı, Küçükdere

Çayı, Manahoz Çayı ve Kastel Deresi havzalarının alansal, geometrik (şekil) ve relief morfometrik özelliklerini ortaya koyan; drenaj yoğunluğu (Dd), akarsu sıklığı (Fs), havza şekli (Rf), uzama oranı (Re), havza reliefi (Bh), relief oranı (Rh), engebелilik değeri (Rn), akım toplanma zamanı (Tc), hipsometrik eğri (He) ve integral (Hi) indisleri hesaplanmış ve havzalar indis sonuçlarına göre karşılaştırılmıştır (Tablo 1).



Şekil 10. Morfometrik indislerin uygulandığı havzalar

Tablo 1. Havza Morfometrik Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Formüller

İndis	Formül	Kaynak
<b>Alansal Morfometrik Özellikler</b>		
Drenaj Yoğunluğu (Dd)	$D_d = \sum L/A$	Horton, 1932; 1945
Akarsu Sıklığı (Fs)	$F_s = N / A$	Horton, 1945; Strahler, 1964; Reddy ve ark., 2004
<b>Havza Şekil (Geometrik) Özellikleri</b>		
Havza Şekli (Rf)	$R_f = A / Lb^2$	Horton, 1932; 1945
Uzama Oranı (Re)	$Re = (2/Lm) \times [A/\pi]^{0,5}$	Schumm, 1956
<b>Havza Relief Özellikleri</b>		
Havza Reliefi (Bh)	$B_h = H_{maks} - H_{min}$	Schumm, 1956

Relief Oranı (Rh)	$R_h = H / L$	Schumm, 1956
Engebelilik değeri (Rn)	$Rn = B_h \times D_d$	Melton, 1957
Akım Toplanma Zamanı (Tc)	$T_c = 0,0195 \times L^{0,77} / S^{0,385}$	Kirpich, 1940
Hipsometrik Eğri	$y = h / H, x = a / A$	Strahler, 1952
Hipsometrik İntegral (Hi)	$Hi = (Hort - H \min) / (Hmaks - H \min)$	Strahler, 1952

Morfometrik indis sonuçları ile Turoğlu ve Aykut (2019)'un Ergene Çayı Havzası için yaptıkları duyarlılık sınıflandırması dikkate alınarak Araklı ve çevresinde yer alan akarsu havzaları için duyarlılık sınıflandırılması yapılmıştır. Her bir havza için indis sonuçlarına göre 1'den 5'e kadar değerler belirlenmiştir (Maksimum değer havza sayısına göre belirlenmiştir). Maksimum değer her bir parametre açısından yüksek taşkın riskini, minimum değer ise düşük taşkın riskini göstermektedir. Havzalar için indislere göre belirlenen değerler toplanmış ve indis sayısına bölünmüş, böylece taşkın duyarlılık değeri bulunmuştur. Havzaların taşkın duyarlılık değerine göre duyarlılık sınıfları, göreceli olarak, yüksek, orta ve düşük olarak belirlenmiştir. Yüksek değerler görece sel-taşkın riskinin yüksek olduğu havzaları, düşük değerler riskin düşük olduğu havzaları göstermektedir. 2019 yılında sel-taşkın bölgesinde arazi çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmaları, morfometrik analiz sonuçları literatürle birlikte değerlendirilmiş, sonuçlar bulgular bölümünde tartışılmıştır.

## 4. Bulgular ve Tartışma

### 4.1. Çamlıktepe Mahallesi Sel-Taşkın

18 Haziran 2019'da Karadere Çayı Havzası'nda yer alan Çamlıktepe (Araklı) Mahallesi'nde meydana gelen sel ve taşkın 9 kişi hayatını kaybetmiş, 1 kişi kaybolmuş, 4 kişi yaralanmış ve 20'den fazla konut hasar görmüş, bazıları da yıkılmıştır (AFAD, 2019). Yüksek ve ark. (2022) olayı değerlendirirken; Araklı'da 24 saatlik sürede yaklaşık 14 mm yüksekliğinde yağış düştüğünü ve bu yağışın bu boyutta bir afete sebep olmasının mümkün olmadığını belirtmiştir. Olayın öncesinde düşen yağışın afete zemin hazırladığını bildirmiştir. Zira, 13-18 Haziran tarihleri arasında belli aralıklarla düşen yağış, zemini kısmen suya doymun hale getirmiştir. Bu durumun sonucunda sızma azalmış ve sel-taşkın oluşturacak suyun miktarı artmıştır. Afet öncesinde düşen yağış, zeminin su içeriğini artırarak heyelanları tetiklemiş ve afetin yaşanmasına neden olmuştur (Yüksek ve ark., 2022). Benzer bir değerlendirme de Işık ve ark., (2020) tarafından yapılmıştır. 6 saat aralıklarla çekilen uydu görüntülerine göre 17 Haziran'da saat 12.00'de Türkiye üzerindeki bulut yoğunluğunun fazla olduğu, havzaya yağışın bu aralıkta düştüğü ve zemin doymunluğunun arttığı, 18 Haziran'da saat 12.00

dolaylarında da bulut yoğunluğunun meydana gelmesiyle birlikte şiddetli yağışların başladığı ve saat 14.00 dolaylarında taşkın olayının meydana geldiği bildirilmiştir (Işık ve ark., 2020). Çamlıktepe Mahallesi konutların dere yatağına oldukça yakın ve eğim doğrultusunda olması sel-taşkın afete dönüşmesinde etkili olan diğer nedenlerdir. Sel-taşkınlarda mahalle içerisindeki yollar, enerji iletim hatları, Araklı ilçesinde bulunan 3 adet HES'in regülatörleri ile iletim yapıları ve mahallede yer alan ilköğretim okulu zarar görmüştür (AFAD, 2019; Şekil 11, 12).



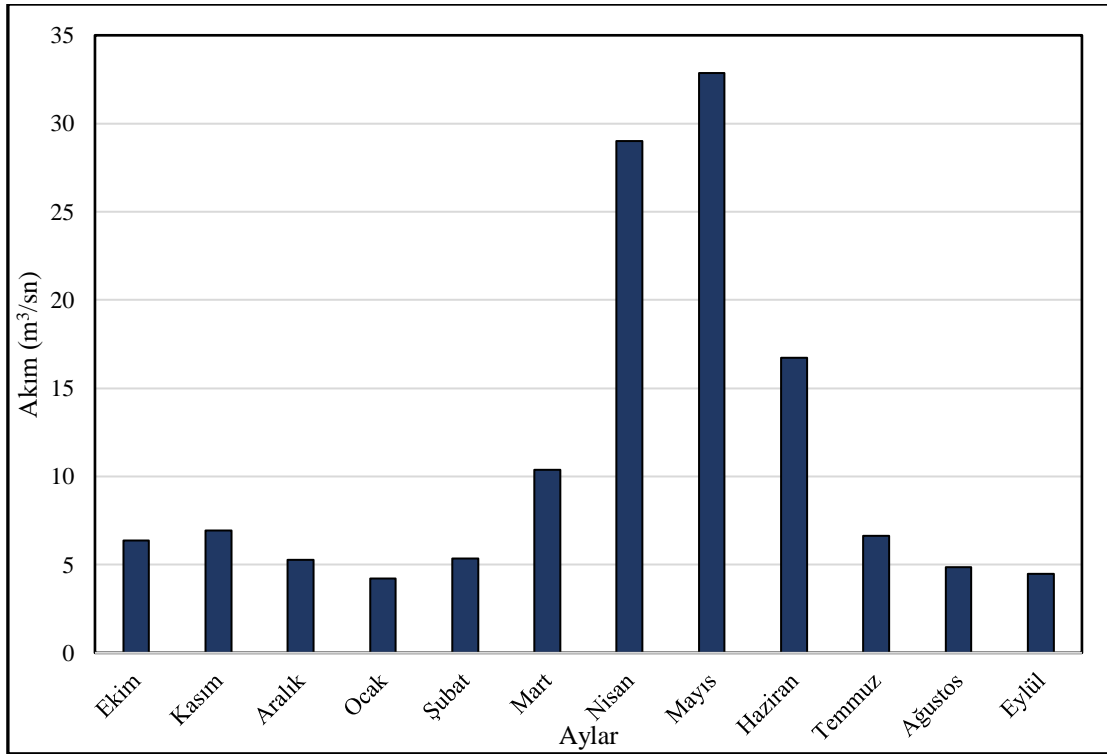
Şekil 11. Çamlıktepe sel-taşkınından görünüşler (AFAD, 2019)

18 Haziranda yaşanan sel ve taşkınlar sonrası yapılan çalışmalarda yağışlar esnasında meydana gelen heyelan sonucu akarsu yatağında oluşan setin gerisinde biriken büyük hacimdeki suyun, setin yıkılması ile serbest kaldığı ve sel ve taşkına neden olduğu belirtilmektedir (AFAD, 2019). Havza yukarı kesimlerinde aşırı yağış, zemin doygunluğunu artırarak, heyelana neden olmuş, 7-8 m yüksekliğinde set meydana gelmiş, bu seddin gerisinde biriken su, seddin yıkılması ile taşkına yol açmıştır. Dere yataklarına müdahale edilmesi, dere yatağının hafriyat malzemeleriyle doldurulması, dere en kesitinin değiştirilmesi taşkın şiddetini artıran nedenler olarak değerlendirilmiştir (URL-6). Yaptığımız arazi çalışmalarında vadi boyunca meydana gelmiş çok sayıda heyelan fotoğraflanmıştır. Heyelanlarla ve yağışlarla taşınan rüsubatın bazı binaların yıkılmasına ve can kayıplarına neden olduğu bildirilmiştir. Topoğrafik koşullar nedeniyle havzalarda erozyon ve heyelanların fazla olduğu, yer değiştiren malzemenin az eğimli yerlerde birikerek taşkınlara yol açtığı, bu nedenle sahanın yerleşmeye kapatılması önerilmektedir (AFAD, 2019).



Şekil 12. Sel taşkında Çamlıktepe Mahallesi'nde yapılar zarar görmüştür.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü akım gözlem istasyonları verisine göre; Karadere Çayı üzerinde yer alan akım gözlem istasyonunun ortalama akım verilerine göre debinin en yüksek olduğu ay Mayıs'tır. Mayıs'tan sonra akım fazlalığı açısından Nisan ayı gelmektedir. Trabzon meteoroloji istasyonu uzun yıllar sıcaklık ve yağış verilerine göre en yağışlı ay Ekim ayıdır. Bu durum akarsuyun beslenmesinde yağmurun ikinci planda kaldığını göstermektedir. Akım üzerinde kar erimelerinin etkisi ön plandadır. Akım değerlerinin kış mevsiminde en az seviyede olması havzada kar şeklindeki yağışların fazlalığına bir işarettir (Şekil 13).



Şekil 13. Karadere Değirmencik (Ağnas) köyü mevki akım gözlem istasyonu akım verileri (1967-2005)

Kar erimelerinin haziran ayına kadar devam etmesi ve yağışlar, haziran ayına kadar akım değerlerinin yükselmesine neden olmaktadır.

## 4.2. Morfometrik Özellikler

Araklı ve yakın çevresinde yer alan akarsu havzalarına ait sayısal bazı değerler Tablo 2’de, morfometrik özellikler ise Tablo 3’de verilmiştir. Akarsu havzalarının alan, çevre, uzunluk gibi 2.boyut özellikleri ile rölyef gibi 3.boyut özelliklerinin yorumlanması akarsu havzalarının, hidrografik özelliklerinin anlaşılmasını sağlayacaktır.

**Tablo 2.** Çalışma Alanındaki Akarsu Havzalarına Ait Bazı Sayısal Değerler

Havza	Havza Alanı (Km <sup>2</sup> )	Havza Çevresi (Km)	Ana Akarsu Uzunluğu (Km)	Maksimum Havza Uzunluğu (Km)	Toplam Dizin Sayısı	Ortalama Eğim (o)	Maksimum Yükseklik (m)	Ortalama Yükseklik (m)
Yanbolu Deresi H.	281,20	184,34	62,39	54,53	2458	25,2	3060	1490
Karadere Çayı H.	737,52	198,37	64,25	53,23	7076	24,6	2875	1702
Küçükdere Çayı H.	114,26	95,69	33,03	30,99	971	23,5	2740	1099
Manahoz Çayı H.	233,25	116,81	39,8	37,48	2222	24,5	2706	1312
Kastel Deresi H.	12,14	19,84	4,83	5,71	113	27	929	450

### 4.2.1 Alansal ve Geometrik (Şekil) Morfometrik Özellikler

Bu bölümde Dd, Fs, Rf ve Re indisleri ile analize tabi tutulan havzaların alansal ve şekil özellikleri ile sel-taşkın ilişkisi değerlendirilmiştir.

#### Drenaj Yoğunluğu (Dd)

Drenaj yoğunluğu, bir drenaj havzasının yüzeyinin geçirgenliğinin mükemmel bir göstergesidir. Dd değeri, yüksek yağışlı bölgeler, dik sahalarda ve geçirimsiz alanlar için 1,5 ila 2,0 arasında değişir, yeterince geçirimli havzalarda ise Dd değeri sıfır veya neredeyse sıfıra yakın olur (Horton, 1932). Dd, topoğrafyanın akarsular tarafından parçalanma derecesini gösteren bir indistir (Strahler, 1964). İnceleme sahası içerisinde kalan akarsu havzalarına ait drenaj yoğunluğu değerleri 2,31 ile 2,65 arasında değişmektedir. En yüksek drenaj yoğunluğu değeri Küçükdere Çayı Havzası’nda, en düşük drenaj yoğunluğu değeri ise Manahoz Çayı Havzası’nda bulunmuştur. Turoğlu ve Aykut (2019) Ergene Nehri alt havzalarının morfometrik parametrelerinin ortalama



değerlerinin üzerinde kalan değerlere sahip havzaları taşkın duyarlılığı yüksek havzalar olarak sınıflandırmıştır. 5 akarsu havzasının drenaj yoğunluğu değerlerinin ortalaması 2,53'dür. Bu değerlendirmeye göre ortalamanın altında Dd değerine sahip havzalar, Yanbolu Deresi Havzası ve Manahoz Çayı Havzası'dır. Diğer havzaların Dd değeri ortalamanın üzerindedir (Tablo 3). Bu açıdan taşkın duyarlılığı yüksek olan havzalar Karadere Çayı, Küçükdere Çayı ve Kastel Deresi havzalarıdır. Reddy ve ark. (2004) tarafından Merkezi Hindistan'da yapılan bir çalışmada, akarsu havzalarının drenaj yoğunluğu karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Dd değeri 2'den düşük olan alt havzalar düşük drenaj yoğunluğu ile karakterize edilmiştir. Dd değeri 2'nin üzerinde olan havzalar ise drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu havzalar olarak değerlendirilmiştir. Dd değerinin düşük olduğu havzalarda bu durum; geçirimli yüzeyler, yoğun bitki örtüsü ve alçak relief, yüksek olduğu havzalarda ise geçirimsiz yüzeyler, seyrek bitki örtüsü ve yüksek relief ile ilişkilendirilmiştir. Reddy ve ark. (2004) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, tüm havzalarda Dd değeri yüksektir. Alt havzalarda yağışın fazla ve eğimin yüksek olması ile geçirimsiz litoloji nedeniyle Dd değerleri yüksektir.

### **Akarsu Sıklığı (Fs)**

Akarsu sıklığı (Fs), drenaj sisteminin havzadaki gelişme seviyesini sayısal olarak gösteren bir indistir (Turoğlu ve Aykut, 2019). Fs, birim alandaki ( $\text{km}^2$ ) akarsu sayısıdır. Fs, drenaj havzasında yer alan toplam akarsu sayısının (segment), havza alanına oranlamasıyla bulunan bir indistir. Drenaj yoğunluğu ve akarsu frekansı değerleri küçük ve büyük drenaj havzaları için, genellikle drenaj alanının boyutuna göre değiştiği için doğrudan karşılaştırılabilir değildir. Çünkü büyük bir drenaj havzası, birim alan başına küçük bir drenaj havzası kadar çok sayıda küçük kol içerebilir ve buna ek olarak genellikle daha büyük bir akarsu veya akarsular içerebilir (Horton, 1945). Büyük drenaj alanlarında kol sayısı fazla olmasına karşın havza alanı büyük olduğundan akarsu sıklığı küçük drenaj alanlarına göre daha düşük çıkabilir. Fs değeri, havzaların geçirgenlik, sızma kapasitesi, relief ve deşarj özellikleri ile ilişkilidir (Patton ve Baker 1976; Montgomery ve Dietrich 1989; Eze ve Efiog 2010; Bhat ve ark., 2019). Fs, farklı litolojilerin yüzeylediği havzaları karşılaştırmak için de yararlıdır. Geçirimsiz yüzeyler, seyrek bitki örtüsü, yüksek relief koşulları ve düşük sızma kapasitesi (Reddy ve ark., 2004; Bhatt ve Ahmed 2014) yüksek Fs değerleri verir (Bhat ve ark., 2019). Akarsu sıklığı değerinin yüksek olması, yağış suyunun sızma, intersepsiyon ve evaporasyon gibi nedenlerle kayba uğramadan yüzeysel akışa geçtiğini gösterir (Atalay, 2018; Turoğlu ve Aykut, 2019). Yüzeysel akışın yüksek olması da sel-taşkın duyarlılığını artırır. İnceleme sahasındaki havzaların, akarsu sıklık değeri 8,49 ile 9,59 arasında değişir. Bu değerler inceleme sahasının litolojisi ve jeomorfolojisi (eğim değerleri) ile ilgilidir. Akarsu sıklık değeri en yüksek olan havza Karadere Çayı Havzası, en düşük olan havza ise Küçükdere Çayı Havzası'dır. Akarsu sıklık değeri ortalaması ise 9,12 olup, Yanbolu Deresi Havzası ile Küçükdere Çayı Havzası'nda akarsu sıklık değerleri ortalamanın altında, diğer

havzalarda ise ortalamanın üzerindedir. Bu açıdan Karadere Çayı, Manahoz Çayı ve Kastel Deresi havzalarında taşkın duyarlılığı yüksek, diğer havzalarda ise taşkın duyarlılığı düşüktür. Genel olarak tüm havzalarda akarsu sıklık değerleri yüksektir (Tablo 3).

**Tablo 3.** Havzalara Uygulanan Morfometrik İndislerin Sonuçları

İndisler	Yanbolu Deresi Havzası	Karadere Çayı Havzası	Küçükdere Çayı Havzası	Manahoz Çayı Havzası	Kastel Deresi Havzası
Drenaj Yoğunluğu	2,46	2,59	2,65	2,31	2,64
Akarsu Sıklığı	8,74	9,59	8,49	9,52	9,3
Havza Şekli	0,09	0,26	0,11	0,16	0,37
Uzama Oranı	0,34	0,57	0,38	0,45	0,68
Havza Reliefi	3060	2875	2740	2706	929
Relief Oranı	0,05	0,05	0,08	0,07	0,16
Engebelik Değeri	7,52	7,44	7,26	6,25	2,45
Akım Toplanma Zamanı (saat)	4,66	4,73	2,9	3,47	1,17
Hipsometrik İntegral	0,48	0,59	0,40	0,48	0,48

### Havza şekli (Rf)

Horton (1932) tarafından havza şekli indisi, drenaj havzası genişliğinin uzunluğuna oranı olarak tanımlanır. Bu indis, havza alanının, maksimum havza uzunluğunun karesine bölünmesiyle bulunur. Formülde maksimum havza uzunluğu, ana akarsuya paralel olarak alınmalıdır. Rf ile havzaların hangi geometriye sahip olduğu yorumlanabilir ve Rf, yağış sonrasında taşkınımın şekli hakkında bilgi verir. Geçirgen topraklara sahip düzensiz şekilli drenaj havzaları için, havza şekil faktörü hidrolojik özellikler değerlendirilirken, hassas bir gösterge olarak alınmamalıdır (Horton, 1932). Rf değeri uzunlamasına bir geometriye sahip havzalarda düşüktür. Bu nedenle, bu şekle sahip havzalarda, yan kollar genellikle kısa ve daha az dizine sahip olduğundan, su toplama havzaları daha küçük olur ve yan kollar ana akarsuya aynı zamanda bağlanmaz, aralıklı olarak ulaşır. Bu durum, ekstrem yağışların sonrasında suyun aynı anda bir araya gelerek toplanmasını geciktirir ve büyük hacimli su kütlelerinin oluşmasını engeller. Rf değeri, 0,8 veya 1,0'e yakın olan havzalar dairesel bir şekle sahip olur, bu havzalarda yan kollar, ana akarsuya daha kısa zamanda bağlanırlar ve bu kollardan gelen su, aynı zamanda bir araya geldiği için taşkına yol açabilecek çok büyük hacimli su kütleleri oluşabilir (Turoğlu ve Aykut, 2019). Kısa sürede gerçekleşen yüzeysel akım ve düşük absorpsiyona bağlı olarak hızlı ve dik bir yükselme görülür (Atalay, 2018). İnceleme sahasında yer alan akarsu havzalarına ait havza şekli değeri 0,09 ile 0,37 değeri arasında değişmektedir. Havza şekli için farklı değer aralıkları vardır. Önerilen bir sınıflandırmaya göre; Rf için aralık değerleri <0,78 (uzun havza) ve >0,78 (daireysel havza) şeklindedir (Vinutha ve Janardhana, 2014; Rai ve ark., 2017; Sukristiyanti ve ark.,

2018). Bu sınıflandırmaya göre tüm havzalar uzun havza sınıfında yer almaktadır. Rf değerleri, Yanbolu Deresi Havzası, Karadere Çayı Havzası, Küçükdere Çayı Havzası, Manahoz Deresi Havzası ve Kastel Dere Havzası için sırasıyla 0,09-0,26-0,11-0,16-0,37'dir. Havza şekil değerlerinin ortalaması 0.19'dur. Bu değer üzerinde Rf değerine sahip havzalar, Karadere Çayı ve Kastel Deresi havzalarıdır. Rf değerleri havzaların uzunlaşmasına bir forma sahip olduğunu gösterir. Bu nedenle inceleme alanındaki akarsu havzalarında yan kollar ana akarsuya daha uzun sürede katılır. Ana akarsuda suyun yükselmesi dairesel havzalara göre kısa sürede gerçekleşmez. Göreceli olarak karşılaştırıldığında ortalamasının üzerinde Rf değerine sahip olan Kastel Deresi ve Karadere Çayı havzalarında taşkın duyarlılığı daha yüksek iken, Yanbolu Deresi, Küçükdere Çayı ve Manahoz Çayı havzalarında duyarlılık düşüktür (Tablo 3).

### **Uzama Oranı (Re)**

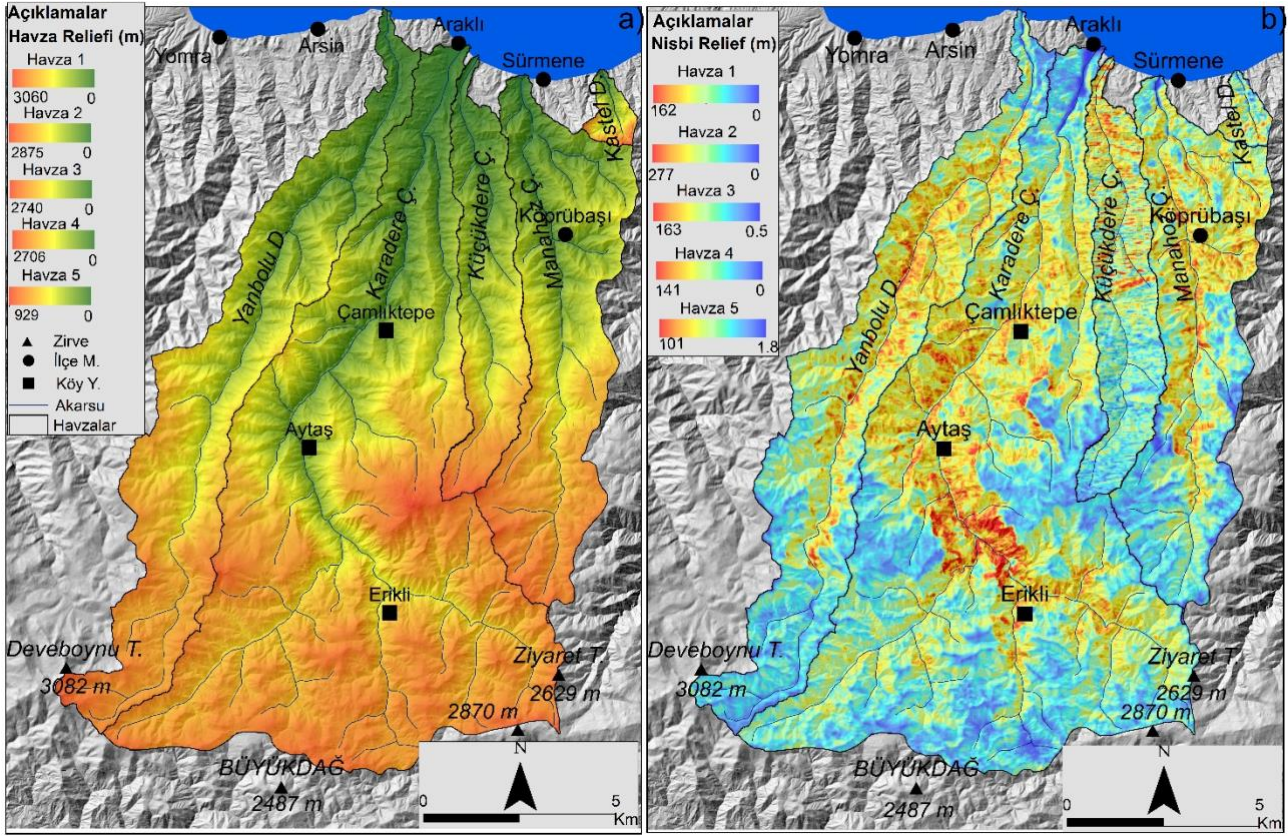
Herhangi bir drenaj havzasının şekli, uzama oranı ile de ifade edilir; uzama oranı, havza ile aynı alana sahip bir dairenin çapı ile havzanın maksimum uzunluğu arasındaki oranla bulunur (Schumm, 1956; Turoğlu ve Aykut, 2019). Uzama oranı değerleri 0-1 arasında değişmektedir. Re değeri 1'e yaklaştığında drenaj havzasının şekli daireye yaklaşır (Schumm, 1956). Uzama oranı indisi için, farklı iklim ve jeolojilerde 0,6-1,0 arasında değişen değerler önerilmektedir. Re değeri 0,6-0,8 arasında değişen alanlarda bu durum, güçlü relief ve dik yamaçlarla ilişkilendirilmiştir (Strahler, 1964). Güçlü relief ve dik yamaçların bulunduğu sahalarda havzalar, relief ve eğime paralel olarak uzanmaktadır. Aşınımın artmasına bağlı olarak uzun havzalar, zamanla dairesel bir şekil alabilir. Bu durum tektonizmanın etkin olduğu bölgeler için de geçerlidir. Tektonik olarak aktif alanlardaki havzalar, uzun ve eğime paraleldir. Zamanla tektonik aktivitenin yavaşlamasına bağlı olarak havzalar dairesel şekillere dönüşebilir (Bull ve McFadden, 1997; Pichetsopon ve Pailoplee, 2020).

Güçlü relief ve dik eğime sahip alanlarda infiltrasyon miktarı az iken, yüzeysel akış miktarı fazladır. 1'e yaklaşan Re değeri, taşkına duyarlı alanları karakterize etmektedir (Turoğlu ve Aykut, 2019). İnceleme sahasında yer alan akarsu havzalarına ait Re değerleri 0,34 ile 0,68 arasında değişmektedir. Uzama oranı ile ilgili önerilen bazı sınıflandırmalar literatürde bulunmaktadır. Bu sınıflandırmayı örneklendirmek gerektiğinde; uzun havza ( $Re < 0.7$ ), az uzamış havza ( $Re = 0.7-0.8$ ), oval havza ( $Re = 0.8-0.9$ ) ve dairesel havza ( $Re > 0.9$ ) şeklindedir (Sukristiyanti ve ark., 2018). Bu sınıflandırmaya göre inceleme alanında yer alan havzaların tümü uzun havza sınıfında yer almaktadır. Araştırma sahasında Re değerlerinin ortalaması 0,48'dir. Yanbolu Deresi Havzası, Küçükdere Çayı Havzası ve Manahoz Deresi havzalarında Re, ortalama değerinin altında, diğer havzalarda ise ortalamasının üstündedir. Bu açıdan Kastel Deresi ve Karadere Çayı havzalarında uzama oranı değerleri ile taşkın duyarlılığı daha yüksek, diğer havzalarda taşkın duyarlılığı düşüktür (Tablo 3).

## 4.2.2. Relief Morfometrik Özellikleri

### Havza Reliefi (Bh)

Schumm (1956), havza reliefini drenaj havzasının maksimum yükseltisi ile minimum yükseltisi farkı olarak tanımlamaktadır. Bh değeri yüksek olan drenaj havzalarında engebellelik derecesi ile akarsu yatak eğimleri yüksek ve yamaçlar dikdir. Havza reliefi, alt havzalarda drenaj gelişiminde, yüzey ve yeraltı su akışında, geçirimsizlik ve yeryüzü şekilleri üzerinde önemli rol oynayan bir faktördür (Reddy ve ark., 2004). Havza reliefi değerleri inceleme sahası içerisinde 929- 3060 m arasında değişir. Yanbolu Deresi Havzası'nda havza reliefi 3060 m, Karadere Çayı Havzası'nda 2875 m, Küçükdere Çayı Havzası'nda 2740 m, Manahoz Deresi Havzası'nda 2706 m, Kastel Deresi Havzası'nda 929 m'dir. Bh değeri, Yanbolu Deresi Havzası'nda en yüksek, Kastel Deresi Havzası'nda en düşüktür. Ortalama havza reliefi değeri 2462 m'dir. Bu değer altında kalan havza sadece Kastel Deresi Havzası'dır. Diğer havzaların Bh değeri ortalamasının üzerindedir. Bu parametre açısından havzalar göreceli olarak karşılaştırıldığında; Yanbolu Deresi, Karadere Çayı, Küçükdere Çayı ve Manahoz Çayı havzalarında duyarlılık yüksek, Kastel Deresi Havzası'nda düşüktür. Havza reliefi değerleri dışında çalışılan havzalar için 1000\*1000 m boyutunda oluşturulan karelejlere havzaların maksimum ve minimum yükseltileri arasındaki farktan yararlanarak nisbi relief değerleri bulunmuştur. Nisbi relief havza içerisinde yükselti değişkenliğinin kısa mesafelerdeki durumunu göstermektedir. Bu durum yüzeyin engebelleliği ve suyun yüzeyde kalma süresi hakkında bilgi verdiğinden oldukça önemlidir. Buna göre nisbi relief değerleri Yanbolu Deresi Havzası'nda 0-162 m, Karadere Çayı Havzası'nda 0-277 m, Küçükdere Çayı Havzası'nda 0,5-163 m, Manahoz Çayı Havzası'nda 0-141 m, Kastel Deresi Havzası'nda 1,8-101 m arasında değişmektedir. Nisbi relief değerlerinin en yüksek olduğu havza Karadere Çayı Havzası, en düşük olduğu havza ise Kastel Deresi Havzası'dır (Tablo 3; Şekil 14, 15).



Şekil 14. Havza reliefi (a) ve nisbi reliefin (b) dağılışı

Havzalardaki büyük yükselti farkına kısa mesafelerde erişilmesi de hızlı akışları ve erozyonu artırmaktadır. Havza reliefi ile sel-taşkın ilişkisi değerlendirildiğinde; havzalarda jeomorfolojik özelliklerinin bir sonucu olarak, kısa mesafelerde büyük yükseltilere ulaşılması, yüzeysel akışın miktarı ve hızı ile kısa sürede büyük miktarlarda su toplanma potansiyelinin artmasına neden olarak (Turoğlu ve Aykut, 2019), taşkın duyarlılık derecesini artırdığı söylenebilir. Nisbi relief değerleri de Karadere Çayı Havzası'nda sel-taşkın duyarlılığının yüksek olduğu göstermektedir.



Şekil 15. Karadere Çayı Havzası'nda engebellik ve eğim fazladır

### Relief Oranı (Rh)

Relief oranı, havzada maksimum yükselti ile minimum yükselti arasındaki farkın ana akarsuya paralel en uzun drenaj hattına olan oranı ile belirlenebilir. Rh, biri yatay, diğeri havzanın en yüksek noktasından geçen iki düzlemin havza ağzında kesişerek oluşturduğu açının tanjantına eşit, boyutsuz bir yükseklik-uzunluk oranıdır. Relief oranı, topografya ölçeğindeki farklılıklardan bağımsız olarak havzalardaki nispi reliefin karşılaştırılmasını sağlar (Schumm, 1956). Yüksek relief oranı, taşkın gecikme süresini azaltır, pik noktasına kısa sürede erişilmesini sağlar ve ani yüksek taşkın olasılığını gösterir (Patton, 1988). Literatürde göreceli olarak çalışma alanlarındaki relief oranı değerlerine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Genel olarak, relief oranının düşük değeri, düşük rölyefi, yüksek değeri ise dik eğim ve yüksek rölyefi ifade eder (Sukristiyanti ve ark., 2018). Yüksek relief oranı taşkın duyarlılığının da artması anlamına gelir. İnceleme sahası içerisinde relief oranı değerleri 0,05 ile 0,16 arasında değişir. Havzalar karşılaştırıldığında en yüksek değer Kastel Deresi Havzası'nda (0,16), en düşük değer ise Yanbolu Deresi Havzası (0,05) ile Karadere Çayı Havzası'nda (0,05) ölçülmüştür. Havza relief oranı değerlerinin ortalaması, 0,082'dir. Bu değer üzerinde olan havza sadece Kastel Deresi Havzası olup, diğer havzalarda bu değer ortalamasının altındadır. Bu parametre açısından Kastel Deresi Havzası'nda taşkın duyarlılığı, diğer havzalara göre daha yüksektir (Tablo 3).

### Engebelilik Değeri (Rn)

Engebelilik değerinin hesaplanması için havza reliefi ile drenaj yoğunluğu değerleri gerekmektedir. Engebelilik değeri, Dd ile Bh değerinin çarpımı ile elde edilmektedir. Rn, birimsiz olup, yüksek değerleri yüzeysel akışa geçen su miktarının fazla, sızma ile kaybedilen su miktarının az olduğunu göstermektedir (Melton, 1957). Yağışla yere düşen suyun hızla yüzeysel akışa katılması ve suyun miktarı sel ve taşkın üzerinde oldukça etkilidir. Engebelilik değeri de, suyun yüzeyde kalma süresi, sızma ve havzanın yarıma derecesi hakkında bilgi veren bir indis olduğundan su baskını olaylarının yaşanmasında belirleyici olmaktadır (Verstappen, 1983; Reddy ve ark., 2004; Turoğlu ve Aykut, 2019). İnceleme sahası içerisinde engebelilik değeri 2,45 ile 7,52 arasında değişir. Engebelilik değeri ile ilgili olarak önerilen bir sınıflandırmaya göre;  $R_n < 1$  düz yüzeyleri,  $1 \leq R_n \leq 2$  dalgalı yüzeyleri,  $R_n > 2$  yarılmış (badlans) yüzeyleri göstermektedir (Adnan ve ark., 2019; Alam ve ark., 2021; Bashir, 2023). Bu sınıflandırmaya göre tüm havzalar yarılmış yüzeylerin bulunduğu bir özellik göstermektedir. Havzalar kıyaslandığında Yanbolu Deresi, Karadere Çayı ve Küçükdere Çayı havzalarında en yüksek engebelilik değeri ölçülmüştür. Bu açıdan en küçük değer Kastel Deresi Havzası'na aittir. Engebelilik değeri ortalaması 6,17 olup, bu değer altında kalan havza sadece Kastel Deresi Havzası'dır. Diğer havzaların Rn değeri ortalamasının üzerindedir. Genelde seçilen drenaj alanlarında engebelilik değerinin yüksek olması erozyonun yüksek olmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak sel-taşkın duyarlılığı artmaktadır. Ayrıca yüksek Rn değerinin

ölçülmesi yüzeysel akışların da fazla olmasını sağlayarak sel ve taşkın oluşumunu kolaylaştırmaktadır (Tablo 3; Şekil 16).



**Şekil 16.** Karadere Çayı Havzası'nda engebellik ve yarıлма derecesi yüksektir.

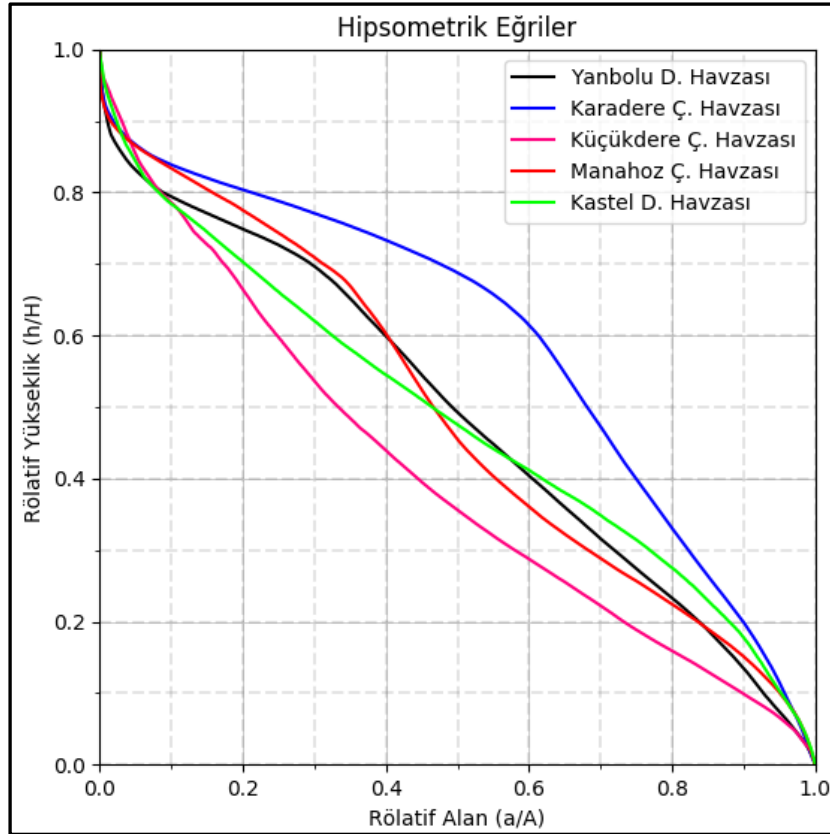
### **Akım Toplanma Zamanı (Tc)**

Akım toplanma zamanı, bir akarsu havzasının yağışa tepkisini tahmin edebilmek için kullanılan en önemli parametrelerden biridir ve yağış-yüzeysel akış simülasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Tc, drenaj havzasında; suyun havzadaki en uzak noktadan, havzanın çıkışına ulaşması için gereken süre olarak tanımlanmaktadır (Salimi ve ark., 2017). Akım toplanma zamanı kavramı en azından Mulvanı'e (1851) kadar uzanır (Beven, 2020). Tc'nin hesaplanması için önerilen bazı yöntemler; Kirpich (1940), Kerby (1959), Mockus (1961), Sheridan (1994) ve Simas (1996) yöntemleridir. Akım toplanma zamanı, çalışılan sahanın eğim ve engebellik durumu, bitki örtüsü özellikleri ve zeminin geçirimsizliğine göre değişmektedir (Turoğlu ve Aykut, 2019). Çünkü bu özellikler suyun yüzeyde kalma süresi üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Çalışma sahası içerisinde Kirpich (1940) yöntemine göre havzalar için akım toplanma zamanı 1,17 ile 4,73 (saat) arasında değişmektedir. Bu açıdan Karadere Çayı Havzası'nda 4,73, Kastel Deresi Havzası'nda 1,17'lik süre bulunmuştur. Bu fark, havza alanlarının farklı büyüklükte olmalarından kaynaklanmaktadır. Ortalama Tc değeri, 3,38 saattir (Tablo 3). Bu değerin altında olan havzalar Küçükdere Çayı Havzası ile Kastel Deresi Havzası'dır. Bu havzalar bu parametre açısından sel-taşkına daha fazla duyarlıdır. Genel olarak akım toplanma zamanının tüm havzalarda düşük olduğu görülür. Yani havzaların en yüksek noktalarına (kaynak sahaları) düşen suyun havza çıkışına ulaşması kısa sürede gerçekleşir. Bu durum da sel-taşkın potansiyelinin yüksek olduğunu gösterir.

### **Hipsometrik Eğri (He) ve İntegral (Hi)**

He, yükselti alan dağılımı gösteren bir indis olup, eğrinin gösterdiği şekil, havzaların genç, olgun ve yaşlı olduklarına dair çıkarım yapmamıza olanak verir. Dışbükey eğriler genç topoğrafyayı, içbükey eğriler yaşlı bir topoğrafyayı temsil eder (Strahler, 1952; Keller ve Pinter, 2002). Hi,

havzaların minimum, maksimum ve ortalama yükseklik değerlerinden yararlanılarak bulunur. Hipsometrik integralin yüksek değerleri, topografyanın çoğunun ortalamaya göre yüksek olduğunu gösterir. İntegralin orta ila düşük değerleri, daha eşit derecede yarılmış drenaj havzaları ile ilişkilidir (Strahler, 1952; Keller ve Pinter, 2002). İncelenen havzaların hipsometrik eğrileri CalHypso eklentisi (Pérez-Peña ve ark., 2009) kullanılarak oluşturulmuştur. Havzalar içerisinde dışbükey hipsometrik eğri Karadere Çayı Havzası'na aittir. Bu nedenle Karadere Çayı Havzası'nın diğer havzalara nazaran daha genç topoğrafyaya sahip ve sel-taşkın duyarlılığının yüksek olduğu söylenebilir. İncelenen akarsu havzalarında  $H_i$  değerleri ise, 0,40-0,59 arasında değişmektedir (Tablo 3; Şekil 17). En yüksek  $H_i$  değeri Karadere Çayı Havzası'nda, en düşük  $H_i$  değeri ise Küçükdere Çayı Havzası'nda ölçülmüştür. Bu açıdan en genç havza Karadere Çayı Havzası iken, Küçükdere Çayı Havzası olgun havza karakterindedir.



Şekil 17. Çalışılan havzaların hipsometrik eğrileri

$H_i$  değerlerinin ortalaması 0,486 olup, bu değer üzerinde olan havza, sadece Karadere Çayı Havzası'dır.  $H_e$  ve  $H_i$  birlikte değerlendirildiğinde; Karadere Çayı Havzası'nda taşkın potansiyelinin yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.



### 4.2.3. Taşkın Duyarlılık Sınıflandırması

Bu bölümde morfometrik indis sonuçları ile havzaların taşkın duyarlılıkları belirlenmiştir. Havzaların duyarlılık seviye aralığı 25-34 arasında değişmektedir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Çalışılan Havzaların Morfometrik İndis Sonuçlarına Göre Belirlenen Duyarlılık Değerleri

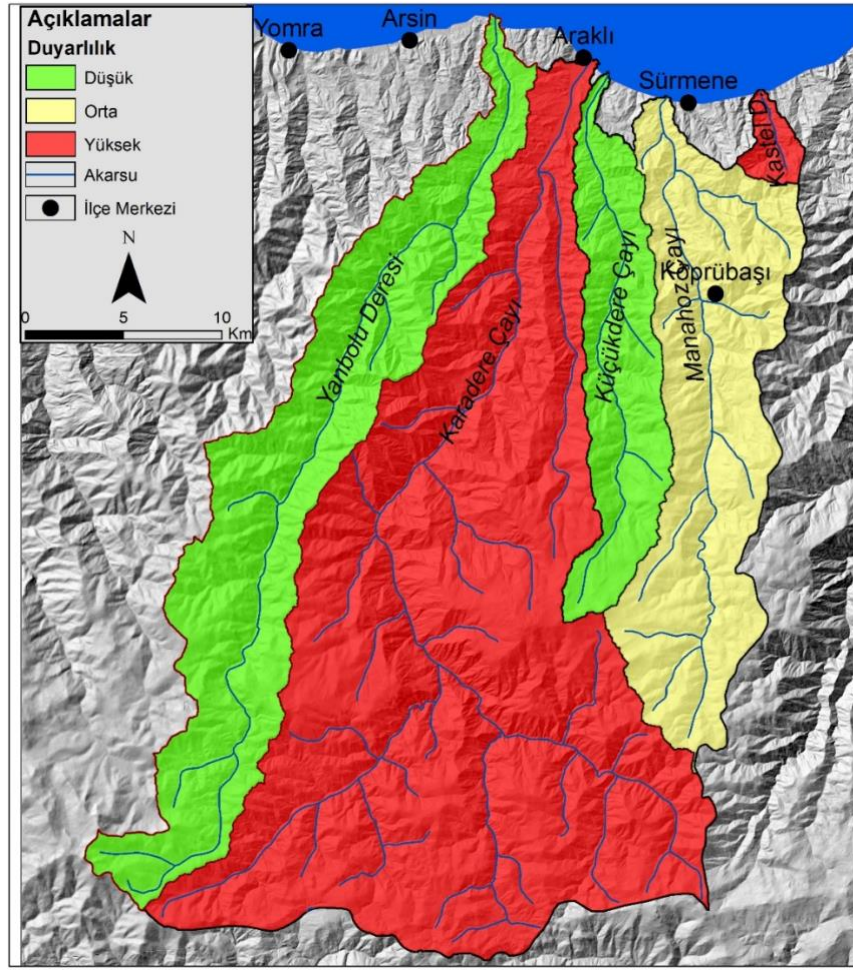
İndis	Yanbolu Deresi Havzası	Karadere Çayı Havzası	Küçükdere Çayı Havzası	Manahoz Çayı Havzası	Kastel Deresi Havzası
Dd	3	4	5	3	5
Fs	3	5	3	5	4
Rf	1	4	2	3	5
Re	3	4	3	4	5
Bh	5	4	3	3	1
Rh	1	1	2	2	5
Rn	5	5	4	3	1
Tc	1	1	2	3	5
Hi	3	5	2	3	3
Toplam	25	33	26	29	34

Taşkın duyarlılık değeri en küçük olan havza Yanbolu Deresi Havzası iken, duyarlılık değeri en yüksek olan havza ise Kastel Deresi Havzası'dır (Tablo 5).

**Tablo 5.** Çalışılan Havzaların Duyarlılık Sınıfları

Havzalar	Duyarlılık Değerleri	Duyarlılık Seviye Aralığı	Duyarlılık Sınıfı
Yanbolu Deresi Havzası	25	25-26	Düşük
Karadere Çayı Havzası	33	33-34	Yüksek
Küçükdere Çayı Havzası	26	25-26	Düşük
Manahoz Çayı Havzası	29	27-29	Orta
Kastel Deresi Havzası	34	33-34	Yüksek

Taşkın duyarlılık değerlerine göre belirlenen sınıflar dikkate alındığında; 2 havza yüksek duyarlılık sınıfında, bir havza orta duyarlılık sınıfında, 2 havza ise düşük duyarlılık sınıfındadır. Bu sınıflandırmaya göre duyarlılık; Kastel Deresi Havzası ile Karadere Çayı Havzası'nda yüksek, Manahoz Çayı Havzası'nda orta, Yanbolu Deresi Havzası ile Küçükdere Çayı Havzası'nda düşüktür (Şekil 18).



Şekil 18. Çalışılan havzaların duyarlılık sınıfları

## 5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Araklı ve çevresinde sel-taşkına yol açan derelerin havza morfolojik özellikleri analiz edilmiştir. 18 Haziran 2019 tarihinde meydana gelen sel-taşkında Çamlıktepe Mahallesi'nde 9 kişi hayatını kaybetmiş, çok sayıda yapı yıkılmıştır. Sel-taşkının meydana gelmesinde havza yukarı bölümlerinde şiddetli yağış ve buna bağlı olarak meydana gelen heyelanların ve sediment taşımının büyük etkisi olduğu değerlendirilmiştir. Sel-taşkının afet boyutunda sonuçlara neden olmasında yıkılan HES'e ait malzemenin dere yatağını doldurmasının da etkili olduğu düşünülmektedir. Çalışma alanında ormanların fındık bahçelerine dönüştürülmesi, yapıların dere yatağına oldukça yakın konumlandırılması afetin diğer nedenleridir. Zira Şekil 11'den de görüleceği üzere Çamlıktepe Mahallesi'nde yer alan ilköğretim okulu dere yatağına oldukça yakın bir alanda bulunmaktadır. Bu çalışmada havzalara; 10\*10 m çözünürlüklü SYM kullanılarak; drenaj yoğunluğu, akarsu sıklığı, havza şekli, uzama oranı, havza reliefi, relief oranı, engebellelik değeri, akım toplanma zamanı, hipsometrik eğri ve integral indisleri uygulanmıştır.

Genel olarak; havzalarda Dd, Fs, Bh ve Rn değerlerinin yüksek, akım toplanma zamanının kısa olması sel-taşkın riskinin yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca tüm havzalar uzunlamasına bir şekle sahiptir. Bu durum havzalarda meydana gelebilecek taşkınlarda yan kolların ana akarsuya daha uzun sürede katılması nedeniyle ana akarsuda suyun yükselmesinin kısa sürede gerçekleşmesini önlemektedir. Morfometrik parametreler açısından havzalar karşılaştırıldığında; taşkın riskinin Karadere Çayı Havzası'nda en yüksek olduğu görülmüştür. Karadere Çayı Havzası'nda, Hi değeri en yüksek (0,59) bulunmuş ve hipsometrik eğrisi dışbükey görünüm göstermektedir. Bu durum havzanın gençlik döneminde olduğunu kanıtlamaktadır. Buna bağlı olarak sel karakterli akışlar taşkına yol açmıştır. Havzada havza reliefi ile engebelilik değeri de yüksektir. Bu durum afet boyutunda yaşanan sel ve taşkınların bir diğer nedenidir. Morfometrik indis sonuçlarına göre havzalar taşkın duyarlılığı açısından sınıflandırıldığında; Kastel Deresi ve Karadere Çayı havzalarında duyarlılık yüksek, Manahoz Çayı Havzası'nda orta, Yanbolu Deresi ve Küçükdere Çayı havzalarında düşük olarak belirlenmiştir.

Havzaların topoğrafik, iklimik ve morfometrik özellikleri ve arazi kullanımları sahanın potansiyel sel-taşkın alanı göstermektedir. Afet yönetimi kapsamında sel-taşkın riski yüksek olan sahalarda yapılacak çalışmalarda, morfometrik özelliklerin dikkate alınmasının, olası kayıpların azaltılmasına önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

### **Yazarların Katkısı**

1.yazar çalışmayı tasarlamış ve analiz sonuçlarına göre metni hazırlamış, arazi çalışmalarına katılmıştır. 2.yazar analizleri yapmış ve arazi çalışmalarına katılmıştır. 3.yazar havza sınırlarını belirlemiş ve analizleri yapmıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Adnan, M. S. G., Dewan, A., Zannat, K. E., Abdullah, A. Y. M. (2019). The use of watershed geomorphic data in flash flood susceptibility zoning: A case study of the Karnaphuli and Sangu river basins of Bangladesh. *Natural Hazards*, 99, 425–448.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2020). Afet Yönetimi Kapsamında 2019 Yılına Bakış ve Doğa Kaynaklı Olay İstatistikleri. *Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, Ankara.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2019). Jeolojik Etüd Raporu. *Trabzon İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü*, Trabzon.
- Akay, H. (2021). Flood hazards susceptibility mapping using statistical, fuzzy logic, and MCDM methods. *Soft Computing*, 25, 9325–9346.
- Akdeniz, N. ve Güven, İ. H. (2002). *1/500000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Trabzon Paftası*. MTA Genel Müdürlüğü, No:5, Ankara.
- Akgül, M., Akay, A.O., Özocak, M., Esin, A. İ. and Şentürk, N. (2022). A new approach to spatial risk analysis in the long-term (1950–2020) assessment of natural disasters (avalanche, landslide, rockfall, flood) in Turkey. *Natural Hazards* 114, 3471–3508. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05528-z>
- Alam, A., Ahmed, B. and Sammonds, P. (2021). Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. *Quaternary International*, 575–576, 295–307.
- Allen, M. R. and Ingram, W. J. (2002). Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature*, 419, 224–232.
- Apaydın, A. (2021). 22 Ağustos 2020 Tarihli Taşkına Neden Olan Dereli Deresi (Giresun) Havza Analizleri, Taşkın Nedenleri ve Sonuçları. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (2), 392-425. DOI: 10.31466/kfbd.908878.
- Ardel, A. (1963). Samsun-Hopa Arasındaki Kıyı Bölgesinde Coğrafi Müşahedeler. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, 7 (13), 36-49.
- Atalay, İ. (2018). *Uygulamalı Hidrografya*. İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Avcı, V. ve Sunkar, M. (2105). Giresun'da Sel ve Taşkın Oluşumuna Neden Olan Aksu Çayı ve Batlama Deresi Havzalarının Morfometrik Analizleri. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, Sayı 30, 91-119.
- Avcı, V. ve Sunkar, M. (2018). Bulancak'ta (Giresun) sel ve taşkın olaylarına neden olan Pazarsuyu, İncüvez, Kara ve Bulancak derelerinin morfometrik analizleri. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 28 (2), 15,41.
- Avcı, V. (2023). Esmahanım Deresi Havzası'nın (Akçakoca-Düzce) Morfometrik Özellikleri ve Taşkınlara Etkisi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 25 (1), 96-118. DOI: 10.24011/barofd.1148666
- Avcı, V. and Ünsal, Ö. (2023). A Morphometric Approach to Bozkurt (Kastamonu-Türkiye) Flood. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9 (2), 216-239. DOI: 10.21324/dacd.1210797
- Ayaydın, N. (2020). *Araklı'nın Kent Coğrafyası*. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Erzurum.
- Bashir, B. (2023). Morphometric Parameters and Geospatial Analysis for Flash Flood Susceptibility Assessment: A Case Study of Jeddah City along the Red Sea Coast, Saudi Arabia. *Water*, 15, 870. <https://doi.org/10.3390/w15050870>
- Beven, K. J. (2020). A History of the concept of time of concentration. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24, 2655-2670, <https://doi.org/10.5194/hess-2019-588>
- Bhatt, S. and Ahmed, S. A. (2014). Morphometric analysis to determine floods in the Upper Krishna basin using Cartosat DEM. *Geocarto Int*, 29(8), 878–894.
- Bhat, M. S., Alam, A., Ahmad, S., Farooq, H. and Ahmad, B. (2019). Flood hazard assessment of upper Jhelum basin using morphometric parameters. *Environmental Earth Sciences*, 78, Article number: 54
- Biricik, A. S. (1996). Senirkent'de Sel Afetleri (13 Temmuz 1995-18-19 Temmuz 1996) Isparta. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 1, 9-30.
- Bull, W. B. and McFadden, L. D. (1977). Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault. California. Proceedings of the Eighth Annual Geomorphology Symposium, in: Geomorphology in Arid Regions, Doehring, D. O., (Ed), State University of New York, Binghamton, 115– 138
- Chakraborty, S. (2023). Application of Basin Morphometry for Hydro-geomorphological Implications: A Study of the Indo-Bhutanese Duduya Watershed. *Journal of the Geological Society of India*, 99, 473–486. <https://doi.org/10.1007/s12594-023-2335-8>

- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ). Akım Gözlem İstasyonları Akım verileri. *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Doocy, S., Daniels, A., Murray, S. and Kirsch, T. D. (2013). The human impact of floods: a historical review of events 1980-2009 and systematic literature review. *PLoS Curr.* DOI: 10.1371/currents.dis.f4deb457904936b07c09daa98ee8171a
- Elmaghraby, M., Masoud, M. and Niyazi, B. (2014). Assessment of surface runoff in arid, data scarce regions; an approach applied to Wadi Al-Hamd, Al Madinah Al Munawarah, Saudi Arabia. *Life Science Journal*, 11 (4), 271–289.
- Erinç, S. (1996). *Klimatoloji ve Metodları*. İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım.
- Eze, E. B ve Efiog, J. (2010). Morphometric parameters of the Calabar River basin: implication for hydrologic processes. *Journal of Geography and Geology*, 2 (1),18–26.
- Fang, Z., Wang, Y., Peng, L. and Hong, H. (2021). Predicting flood susceptibility using LSTM neural networks. *Journal of Hydrology*, 594, 125734.
- Ganie, P. A., Posti, R., Kunal, K., Kunal G., Bharti, V. S., Sehgal, V. K., Sarma, D., Pandey, P.K. (2023). Modelling of the Himalayan Mountain river basin through hydro-morphological and compound factor-based approaches using geoinformatics tools. *Modeling Earth Systems and Environment* 9, 3053–3084. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01691-9>
- Ghimire, M., Timalina, N. and Zhao, W. (2023). A Geographical approach of watershed prioritization in the Himalayas: a case study in the middle mountain district of Nepal. *Environment, Development and Sustainability*. <https://doi.org/10.1007/s10668-023-03610-5>
- Gümüşhane ili arazi varlığı (1996). Başbakanlık, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, yayınları ; il rapor no:29, Ankara
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Eos, transactions american geophysical union*, 13(1), 350-361.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, 56(3), 275-370.
- Hoşgören, M. Y. (2004). Hidrografya'nın Ana Çizgileri 1 Yeraltı suları-Kaynaklar-Akarsular. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Ingram, W. (2016). Extreme precipitation: increases all round. *Nat. Clim. Change*, 6, 443–444.
- İşik, F. Bahadır, M., Zeybek, H. İ. ve Çağlak, S. (2020). Karadere Çayı Taşkını (Araklı -Trabzon). *Mavi Atlas*, 8 (2), 526-547.
- Kadioğlu, M. (2019). Kent Selleri Yönetim ve Kontrol Rehberi. İstanbul: Marmara Belediyeler Birliği Kültür Yayınları. 373 sayfa
- Kamuş, A. O. ve Atalay Dutucu, A. (2023). Hidromorfometrik Analizlerle Esmahanım Deresi Havzasının Taşkın Duyarlılığının Belirlenmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, (11), 1-21. DOI: 10.46453/jader.1182773
- Kant, C., Kumar, G. and Meena, R.S. (2023), Modeling morphometric and geomorphological parameters of mountainous river basin for water resource management using remote sensing and GIS approach. *Modeling Earth Systems and Environment* 9, 2151–2163,. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01614-0>
- Karadeniz, Y. (1995). *Trabzon ve çevresinin iklimi*. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, İstanbul.
- Keller, E. A. and Pinter, N. (2002). *Active Tectonics Earthquakes, Uplift, and Landscape*. New Jersey: Prentice Hall. 362ss
- Kerby, W.S. (1959). Time of concentration for overland flow. *Journal of Civil Engineering*, 26(3). Amer. Soc. of Civil Eng., Reston, VA. pp. 60.
- Ketin, İ. (1966). Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 66, 20-37.
- Kirpich, Z. P. (1940). Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering*, 10(6), 362.
- Koç, G. and Thielen, A. H. (2016). Societal and economic impacts of flood hazards in Turkey, An overview. *E3S Web of Conferences* 7, 05012 (2016), *FLOODrisk 2016-3. European Conference on Flood Risk Management*, DOI: 10.1051/76e3sconf/2010705012.
- Kömüşcü, A.Ü. and Çelik, S. (2013). Analysis of the Marmara flood in Turkey, 7–10 September 2009: an assessment from hydrometeorological perspective. *Natural Hazards*, 66, 781–808, <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0521-x>

- Luino, F. (2016). Floods. In: Bobrowsky, P., Marker, B. (eds) Encyclopedia of Engineering Geology. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-12127-7\\_126-1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-12127-7_126-1)
- Mahmood, S. and Rahman, Au. (2019). Flash flood susceptibility modeling using geo-morphometric and hydrological approaches in Panjkora Basin, Eastern Hindu Kush, Pakistan, *Environmental Earth Sciences*, 78:43
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). (2021), Trabzon, Rize, Gümüşhane, Bayburt, Akçaabat ve Pazar İstasyonlarının sıcaklık ve yağış verileri. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Melton, M. A. (1957). An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. Columbia Univ, Department of Geology, Technical Report, No: ONR-11, NewYork.
- Mind'je, R., Li, L., Amanambu, A. C., Nahayo, L., Nsengiyumva, J. B., Gasirabo, A. and Mindje, M. (2019). Flood susceptibility modeling and hazard perception in Rwanda. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 38, 101211.
- Mockus, V. (1961). Watershed lag. U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, ES-1015, Washington, DC.
- Montgomery, D. R. and Dietrich, W. E. (1989). Source areas, drainage density and channel initiation. *Water Resources Research* 25 (8),1907-1918.
- Mulvany, T.J, (1851). On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relations of rainfall and flood discharges in a given catchment. *Proc. Inst. Civil Eng. Irel.* 4, 18-33.
- Orman Genel Müdürlüğü (OGM). Meşçere verisi. *Orman Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Patton, P. C. ve Baker, V. R. (1976). Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water resources research*, 12(5), 941-952.
- Patton, P.C. (1988). Drainage basin morphometry and floods. In: Baker, V.R., Kochel, R.C., Patton, P.C. (Eds.), *Flood Geomorphology*. Wiley, New York, pp. 51-65.
- Pérez-Peña, J. V., Azañón, J. M. and Azor, A. (2009). CalHypso: An ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. *Computers & Geosciences*, 35(6), 1214-1223.
- Pichetsopon, T. and Pailoplee, S. (2020). DEM and GIS analysis of geomorphic indices for evaluating tectonic activity of Phetchabun province, *Bulletin of Earth Sciences of Thailand*. 12 (10), 1-14
- Rai, P. K., Mishra, V. N. and Mohan, K. (2017). A study of morphometric evaluation of the Son basin, India using geospatial approach, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 7, 9-20, <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.05.001>
- Rawat, A., Bisht, M.P.S., Sundriyal, Y. P., Banerjee, S. and Singh, V. (2021). Assessment of soil erosion, flood risk and groundwater potential of Dhanari watershed using remote sensing and geographic information system, district Uttarkashi, Uttarakhand, India, *Applied Water Science* 11. 119
- Reddy, G. P. O., Maji, A. K. and Gajbhiye, K. S. (2004). Drainage morphometry and its influence on landform characteristics in a basaltic terrain, Central India-a remote sensing and GIS approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(1), 1-16.
- Sachdeva, S. and Kumar, B. (2022). Flood susceptibility mapping using extremely randomized trees for Assam 2020 floods, *Ecological Informatics*, 67, 101498, <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101498>.
- Salimi, E. T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M. and Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds, *Paddy and Water Environment*, 15,123-132.
- Samanta, S., Pal, D.K. and Palsamanta, B. (2018). Flood susceptibility analysis through remote sensing, GIS and frequency ratio model. *Applied Water Science*, 8, 66. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0710-1>
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological society of America bulletin*, 67(5), 597-646.
- Sezer, L. İ. (1997). İzmir'de 3-4 Kasım 1995 Karşıyaka-Çiğli Sel Felaketi (Meteorolojik- Klimatolojik Açından Bir Yaklaşım). *Ege Coğrafya Dergisi*, 9, 185-242.
- Simas, M. (1996). *Lag time characteristics in small watersheds in the United States*. A dissertation submitted to School of Renewable Natural Resources, University of Arizona, Tucson, AZ.
- Sheridan, J. M. (1994). Hydrograph time parameters for flatland watersheds. *Transactions of the ASAE*, 37(1), 103-113, doi: 10.13031/2013.28059)
- Sholihah Q., Kuncoro, W., Wahyuni, S., Suwandi, S. P. and Feditasari, E. D. (2020). The analysis of the causes of flood disasters and their impacts in the perspective of environmental law. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 437, 012056 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/437/1/012056
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological society of America bulletin*, 63(11), 1117-1142.

- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basins and channel net work. In: Chow, V., Ed., Handbook of Applied Hidrology, McGraw Hill Newyork, 39-76.
- Sukristiyanti S., Maria R. and Lestiana H. (2018), Watershed-based Morphometric Analysis: A Review, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 118, 012028, doi:10.1088/1755-1315/118/1/012028.
- Şahin, C. ve Sipahioğlu, Ş. (2003). *Doğal Afetler ve Türkiye*. Ankara: Gündüz Eğitim Yayıncılık.
- Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. Scientific reports, 10,13768. doi: 10.1038/s41598-020-70816-2.
- Tarım ve Orman Bakanlığı (2020). Doğu Karadeniz Havzası Taşkın Yönetim Planı Yönetici Özeti, Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü Taşkın ve Kuraklık Yönetimi Daire Başkanlığı, Ankara.
- Tehrany M. S., Pradhan, B. and 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.
- Trabzon İli Arazi Varlığı (1996). Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Turoğlu, H. ve Aykut, T. (2019). Ergene nehri havzası için hidromorfometrik analizlerle taşkın duyarlılık değerlendirmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2, 1-15.
- Ullah, K. and Zhang J (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of Panjkora River Basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. PLoS ONE 15(3): e0229153. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>
- Umrikar, B. N. (2017). Morphometric analysis of Andhale watershed, Taluka Mulshi, District Pune, India. *Applied Water Science*, 7, 2231–2243.
- Uzun, M. ve Özcan, S. (2016). Solaklı Dere-İyidere Arasında (Trabzon / Of) Kıyı Kullanımının Zamansal Değişimi ve Sürdürülebilir Yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 21 (35), 175-196. DOI: 10.17295/dcd.61537
- URL-1 <https://www.mathworks.com/products/mapping.html>
- URL-2 [www.emdat.be](http://www.emdat.be)
- URL-3 [tabb.afad.gov.tr](http://tabb.afad.gov.tr)
- URL-4 <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=TRABZON> 22/05/2021 tarihli erişim
- URL-5 <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> erişim 14/04/2023
- URL-6 <https://www.haberturk.com/ktu-arakli-daki-sel-felaketi-icin-rapor-hazirladi-dere-yatagina-hafriyat-dokulmus-3542120?page=4> 26/12/2022 tarihli erişim
- Verstappen, H. T. (1983). *Applied geomorphology: Geomorphological surveys for environmental development*. Amsterdam: Elsevier.
- Vinutha, D.N. ve Janardhana, M. R. (2014). Morphometry of the Payaswini Watershed, Coorg District, Karnataka, India, Using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology (IJIRSET)*, 3 (5), 516-524
- Yıldırım, Ü. (2021). Trabzon (KD Türkiye) Akarsu Havzalarının Coğrafi Bilgi Sistemi Kullanılarak Morfometrik Analiz Yoluyla Hidrolojik Değerlendirmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 244-253.
- Youssef, A. M., Pradhan, B. and Hassan, A. M. (2011). Flash flood risk estimation along the St. Katherine Road, Southern Sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62, 611–623.
- Yüksek, Ö., Babacan, H. T. ve Yüksek, O. (2022). Doğu Karadeniz Havzası'nda Taşkın Sebepleri, Zararları ve Taşkın Yönetimi Çalışmaları. *Turkish Journal of Hydraulics*, 6 (2), 36-46.
- Xu, K., Han, Z., Xu, H. and Bin, L. (2023). Rapid Prediction Model for Urban Floods Based on a Light Gradient Boosting Machine Approach and Hydrological–Hydraulic Model. *International Journal of Disaster Risk Science* 14, 79–97. <https://doi.org/10.1007/s13753-023-00465-2>