

Aksu Deresi (Borçka/Artvin) Alt Havzalarında Sel ve Taşkın Potansiyelinin Havza Morfometrisi Açısından Belirlenmesi

Turgay Öz^{1,*} 

¹Fırat Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 23200, Elazığ.

Özet

Bu çalışma, kaynağını Karçal dağlarından alarak Çoruh Nehrine dökülen Aksu (Deviskel) Deresi'ne ait 7 alt havzanın sel ve taşkın potansiyelini morfolometrik analiz yöntemiyle belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak morfolometrik analiz yöntemi ile alt havzaların temel özellikleri; geometrik, çizgisel, alansal ve rölyef morfolometrik parametreleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda sel/taşkın riski analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, yüksek eğim, büyük rölyef farkı, yoğun akarsu ağı ve yüksek drenaj yoğunluğu gibi unsurların sel ve taşkın riskinin oluşumunda belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Bu doğrultuda, Çermik Dere alt havzası en yüksek taşkın riski taşıyan bölge olarak belirlenmiştir. Bibyat, Dilber, Otingo ve Büyükdere havzaları ise taşkın riskinin orta düzeyde olduğu alanlar olarak sınıflandırılmış; eğimi daha düşük ve drenaj yapısı daha az gelişmiş olan Değirmen Dere ve Orta Dere havzaları ise düşük riskli alanlar içerisinde yer almıştır. Çalışma sonuçları, morfolometrik analizlerin sel ve taşkın potansiyelinin belirlenmesi açısından önemli bir yöntem olduğunu ortaya koymaktadır. Bu yönüyle morfolometrik analizler, taşkın riski değerlendirmelerinde ön analiz aracı olarak değerli bilgiler sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan morfolometrik analizler; su kaynakları yönetimi, sel ve taşkın risk analizi, erozyon ve sediment kontrolü, alt yapı çalışmaları gibi kullanım alanları ile uygulamaya yönelik alanlara katkı sağlayacaktır. Ayrıca, bu çalışma farklı bölgelerde gerçekleştirilecek sel ve taşkın riski belirleme araştırmaları için de örnek niteliği taşımaktadır.

Anahtar Sözcükler

Coğrafi Bilgi Sistemleri, Sel ve Taşkın, Morfolometrik Analiz, Akarsu Havzası

Determination of Flood and Flash Flood Potential in the Aksu Stream (Borçka/Artvin) Sub-Basins Based on Basin Morphometry

Abstract

This study aims to determine the flood and flash flood potential of seven sub-basins belonging to the Aksu (Deviskel) Stream, which originates from the Karçal Mountains and flows into the Çoruh River, through morphometric analysis. Using Geographic Information Systems (GIS) and Digital Elevation Models (DEM), fundamental morphometric parameters including geometric, linear, areal, and relief morphometric characteristics of the sub-basins were calculated, and flood risk was analyzed based on these parameters. The findings indicate that factors such as steep slopes, significant relief differences, dense stream networks, and high drainage density play a decisive role in the formation of flood and flash flood risks. Accordingly, the Çermik Dere sub-basin was identified as the area with the highest flood risk. The Bibyat, Dilber, Otingo, and Büyükdere sub-basins were classified as medium-risk zones, while the Değirmen Dere and Orta Dere sub-basins with lower slopes and less developed drainage structures were categorized as low risk areas. The results demonstrate that morphometric analysis is a valuable method for determining flood and flash flood potential. As such, morphometric analyses provide important preliminary information for flood risk assessments. The morphometric methods applied in this study contribute to practical fields such as water resource management, flood and flash flood risk analysis, erosion and sediment control, and infrastructure planning. Furthermore, this study serves as a reference for similar flood risk assessment studies in different regions.

Keywords

Geographic Information Systems (GIS), Flood, Morphometric Analysis, River Basin

1. Giriş

Sel ve taşkınlar, dünya genelinde en sık karşılaşılan doğal afetler arasında yer almakta olup, ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri oldukça yüksektir (Altun, 2018; Korkanç & Korkanç, 2006; Dobrovičová, vd., 2015; Duong & Gourbesville, 2016). Bu afetler, tarih boyunca farklı bölgelerde ciddi can ve mal kayıplarına yol açmış, toplumsal yapıyı derinden etkilemiştir (Sunkar & Toprak, 2016; Kopar vd., 2011). Ülkemizde de bu afetler, özellikle coğrafi ve iklim özellikleri nedeniyle sıkça meydana gelmekte ve afet yönetimi açısından büyük bir öncelik taşımaktadır (Sarigül & Turoğlu, 2020; Ertoğral, 2024; Nişancı vd., 2024). Bu bağlamda, sel ve taşkın afetlerinin etkilerini anlamak, risk değerlendirmesi yapmak

ve önleyici tedbirler geliştirmek için havza morfometrisinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır (Özdemir, 2011; Avcı & Sunkar, 2015; Avcı, 2023; Avcı vd., 2023)

Sel ve taşkın riski yüksek alanlarda risk seviyesini belirlemek ve akarsu karakteristiğini anlamamanın önemli yollarından biri jeomorfometrik indis analizleridir (Güneş vd., 2013). Akarsu havzalarının çizgisel, alansal ve rölyef özelliklerinin incelenmesini sağlayan morfometrik analiz, akarsu havzasının sayısal olarak değerlendirilmesine olanak sağlamasının yanında bir havzanın hidrolojik tepkisini ve yağış sonrası davranışını anlamamıza da olanak sağlar (Özdemir, 2011; Obeidat vd., 2021). Havza alanı, eğim, drenaj yoğunluğu, akarsu uzunluğu gibi parametreler, havzanın şekli, boyutları ve drenaj yapısına dair bilgi sunarak, jeolojik ve jeomorfolojik geçmişin anlaşılmasına katkı sağlar (Elbaşı & Özdemir, 2018; Portuguese, 2023). Özellikle hipsometrik eğri, hipsometrik integral ve rölyef özellikleri gibi parametreler, havzanın jeomorfolojik yapısını ve aşınım süreçlerini anlamamıza yardımcı olur. İçbükey hipsometrik eğriler, havzanın yaşlı bir topoğrafyaya sahip olduğunu gösterirken; dışbükey eğriler, tektoniğin aktif olduğu bir topoğrafyayı işaret etmektedir. Havza şeklinin dairesel ya da uzunlamasına olması, yağış sonrası suyun toplanma süresini etkileyen önemli bir faktördür (Özdemir, 2011). Bu bağlamda, morfometrik analiz, sel ve taşkın riskinin belirlenmesinde temel bir araç olarak kullanılmaktadır. Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanımı, bu analizlerin daha hızlı ve doğru sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Elbaşı & Özdemir, 2018; Marwade vd., 2024).

Kaynağını Karçal dağlarından alan (3420 m) alan Aksu Deresi Havzası, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin karakteristik dağlık yapısını yansıtan, yüksek topoğrafik çeşitliliğe sahip bir havzadır. Havza, kısa mesafelerde büyük eğim değişimlerinin gözlemlendiği, vadilerin derinleştiği ve akarsuların yüksek akış enerjisine sahip olduğu bir jeomorfolojik yapıya sahiptir. Morfometrik analizler, havzanın şekil faktörü, uzanım oranı, drenaj yoğunluğu, havza eğimi ve hiyerarşik akarsu sıralaması gibi temel parametreler dikkate alınarak değerlendirildiğinde, Aksu Deresi Havzası'nın genç jeomorfolojik evrede yer aldığı ve erozyon ile taşkın gibi doğal afetlere açık bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Drenaj yoğunluğunun yüksek olması, yüzey akışının hızlı gerçekleştiğini ve yağış sonrası suyun kısa sürede akışa geçtiğini göstermektedir. Bu durum, özellikle ani taşkınların oluşmasına neden olabilmekte; eğimli arazilerde meydana gelen yüzey akışı, toprak taşınmasını ve heyelanları tetikleyebilmektedir. Ayrıca, havzanın şekil faktörünün düşük olması, akarsuyun yağışa hızlı tepki verdiğini ve akışın kısa sürede ana kanala ulaştığını göstermekte, bu durum afet riskini artıran bir başka morfometrik özellik olarak değerlendirilmektedir.

Bu bağlamda çalışmanın temel amacı, Aksu Deresi Havzası'nın morfometrik özelliklerini analiz ederek fiziksel parametrelerin afet riskiyle ilişkisini ortaya koymak ve özellikle taşkın, sel ve heyelan gibi afetlere karşı daha dirençli yerleşim ile arazi kullanım planlamasına bilimsel bir zemin hazırlamaktır. Çalışmanın özgün yönü, havzanın morfometrik analizini mekânsal veri CBS teknikleriyle entegre ederek, afet risk bölgelerini bilimsel yöntemlerle belirlemesidir. Bu kapsamda çalışmada şu sorulara yanıt aranacaktır: (1) Aksu Deresi Havzası'nın morfometrik özellikleri sel/taşkın riski üzerinde nasıl bir etkiye sahiptir? (2) Aksu Deresi alt havzalarında risk düzeyleri nasıldır? (3) Morfometrik verilere dayalı planlama kararları, afet risklerinin azaltılmasına ne ölçüde katkı sunabilir? Bu çalışma sonucunda, Aksu Deresi alt havzalarına ait morfometrik parametrelere dayalı sel/taşkın risk durumlarının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Çalışmada, CBS'den faydalanılarak ve morfometrik analiz yöntemleri kullanılarak, havzanın geometrik ve morfolojik özellikleri SYM yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, havzanın hidrolojik davranışları değerlendirilmiş ve sel duyarlılığı açısından riskli bölgelerin belirlenmesine yönelik çıkarımlar yapılmıştır.

Aksu Deresinden en çok etkilenen yerleşim yeri Artvin'in Borçka ilçesi, özellikle şiddetli yağışların ardından sık sık sel ve taşkın felaketleriyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu afetler, bölgedeki derelerin taşması sonucu meydana gelmekte ve ciddi maddi hasarlara yol açmaktadır. 28 Eylül 2019 tarihinde etkili olan aşırı yağışlar, Borçka'da sel ve heyelanlara neden olmuş, birçok ev ve iş yeri sular altında kalmıştır (Şekil 1). Benzer şekilde, 6 Şubat 2024 tarihinde de Borçka ilçesinde şiddetli yağışlar sonucu dereler taşmış, yollar kapanmış ve bazı ev ve iş yerleri zarar görmüştür. Bu olayda can kaybı yaşanmamış, ancak maddi hasar meydana gelmiştir (İhlas Haber Ajansı, 2024). Bu ve buna benzer afetlerin yaşanmaması ve afete dirençli yerleşim yerlerinin yapılması sel ve taşkın çalışmalarının artırılması ve risk alanlarının tespit edilmesi ile mümkün olacaktır. Bu çalışma bu alanda yapılan sel ve taşkın çalışmalarına katkı sağlayarak literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



Şekil 1: Borçka'da (Artvin) meydana gelen sel afetlerinin etkileri (İhlas Haber Ajansı, 2024)

Tablo 1: Borçka (Artvin) 1990-2021 yılları arası aylık ortalama aylık iklim verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık ortalama
Ort. Sıcaklık °C	-0,4	0,9	3,8	8,4	13,4	16,9	19,2	19,9	16,8	12,6	6,7	1,6	6,19
Min. Sıcaklık °C	-3,6	-2,6	-0,3	3,2	8,5	12,8	16	17,1	13,4	8,8	2,7	-1,7	6,19
Maksimum Sıcaklık °C	2,9	4,7	8	13	17,5	20,4	22,2	22,9	20,4	16,7	11,2	5,3	13,77
Yağış (mm)	160	97,9	65	33,9	49	44,6	33,1	44	71,2	120,9	165	130,5	1015,1
Nem(%)	%74	%75	%76	%77	%80	%84	%89	%90	%87	%82	%76	%73	80,25
Yağışlı günler	11	11	13	13	15	15	16	17	13	12	10	11	157

2.2. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada, havza morfometrik özelliklerinin sel ve taşkın oluşumu üzerindeki etkisini değerlendirmek için CBS teknolojileri kullanılmıştır. CBS son yıllarda birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (Ahmed vd., 2021; Bhat vd., 2014; Dos, 2022; Habib vd., 2023; Polat vd., 2023; Yıldız & Er, 2023; Adesina vd., 2024; Guliyev & Hüseyinov, 2024; Pala & Algancı, 2025; Tabakoğlu, 2024; Çavdar vd., 2025; Makhmudov & Teymurov, 2024). Çalışma yöntemi aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Şekil 3).

Veri Toplama: SYM), havza morfometrik analizleri için temel veri kaynağıdır. Aksu Deresi Havzası'na ait SYM verisi Harita Genel Müdürlüğü'nden (HGM) temin edilmiştir. 1:25000 ölçekli F47a3, F47b3, F47b4 topoğrafya paftaları CBS yardımıyla sayısallaştırılarak 10*10 m çözünürlüklü SYM verisi temin oluşturulmuştur Şekil 3).

SYM verilerindeki çukur ve tepe gibi topografik anomalilerin giderilmesi amacıyla "Fill" işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, yüzeydeki yapay çukurların düzeltilmesini sağlayarak su akış yönü analizlerinde oluşabilecek yönsel sapmaları ve akım yollarındaki kesintileri önlemektedir (Öztürk, 2009).

Havza Sınırlarının Belirlenmesi: SYM verisinden yararlanılarak akış yönü ve akış birikimi hesaplanmış, bu sayede havza sınırları otomatik olarak belirlenmiştir. Çalışmada, Aksu Deresi'ne ait havza sınırlarının ve drenaj ağının tespitinde CBS ortamında ArcGIS Hydrology Tools modülü kullanılmıştır. Bu süreçte Aksu Deresi'ne ait yedi alt havza tanımlanmış, SYM verisi temel alınarak akış yönü, akış uzunluğu, akış düzeni, alt havzaların tespiti, akarsu ağının çıkarılması ve akarsu dizininin hazırlanması gibi hidrolojik analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

Drenaj Ağının Çıkarılması: Belirlenen havza sınırları içerisinde, akarsu ağı ve kolları SYM verisinden otomatik olarak çıkarılmıştır (Şekil 2). Akış yönleri, Jenson ve Domingue (1988) ile O'Callaghan ve Mark (1984) tarafından geliştirilen D8 yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. D8 yöntemi, bir hücrenin eğiminin en dik yönünde tek bir komşu hücreye yönlendirilmesi esasına dayanması nedeniyle, yaygın olarak tercih edilen ve hidrolojik modellemede kabul gören bir algoritmadır (Jenson & Domingue, 1988). Bu yöntemle, araştırma sahasında suyun toplanma yönünü temsil eden raster formatında bir akım toplama verisi üretilmiştir.

Akış birikim (flow accumulation) verisine, çalışma alanı için optimum bir kanal yoğunluğu ve hidrolojik temsil sağladığı literatürde belirtilen 500 hücrelik eşik değeri uygulanmıştır (Tarboton vd., 1991). Bu eşik değeri, gereksiz detaylardan kaçınılması ana ve yan kolları temsil eden bir drenaj ağı üretmek amacıyla tercih edilmiştir. Oluşturulan akarsu ağı, 1:25.000 ölçekli topoğrafya haritası ile karşılaştırılarak kontrol edilmiş ve gerekli görülen noktalarda düzeltilmiştir. Son olarak, alt havzalar için akarsu kolları Strahler (1952) hiyerarşisine göre sınıflandırılarak tüm hidro-morfometrik hesaplamalar bu akarsu dizinleri temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Strahler yöntemi, akarsu kollarını birbirlerine katıldıkları noktalar bazında hiyerarşik bir şekilde numaralandırması sayesinde hidrolojik ağların yapısını sistematik, tekrarlanabilir ve karşılaştırılabilir bir şekilde vermektedir (Strahler, 1952). Bu nedenle havza morfometrisi araştırmalarında yaygın şekilde tercih edilmektedir (Utlı & Özdemir, 2018; Nişancı vd., 2024).

Morfometrik Analizler: Sel ve taşkın değerlendirmesinde morfometrik analiz, bir havzanın fiziksel özelliklerinin, sel ve taşkınlara olan duyarlılığını belirlemek için nicel olarak incelenmesidir. Bu analizde, havzanın şekli, boyutu, eğimi, drenaj yoğunluğu ve akarsu ağı gibi özellikleri belirlenir ve sayısal indekslere dönüştürülür (Tablo 1). Bu indeksler, bir havzanın hidrolojik tepkisini, yani yağışa nasıl yanıt verdiğini ve yüzey akışını hangi koşullarda ürettiğini anlamamıza katkı sağlamakta olup, literatürde de yaygın şekilde kullanılmaktadır (Avcı & Sunkar, 2015; Avcı & Ünsal, 2023; Altıparmak & Türkoğlu, 2018; Utlı & Özdemir, 2018; Elbaşı & Özdemir, 2018; Esen, 2022; Avcı vd., 2023; Nişancı vd., 2024).

Temel parametreler: Havza alanı (A), havza çevresi (P), Toplam dizin sayısı, maksimum havza uzunluğu gibi parametrelerden oluşur (Tablo 2).

Çizgisel Parametreler: Akarsu uzunlukları, akarsu dereceleri, çatallanma oranı (R_b), tekstür oranı, drenaj tekstür oranı gibi çizgisel parametreler belirlenir (Tablo 2).

Alansal Parametreler: havza şekli (R_f), uzunluk oranı (R_l veya R_e), drenaj yoğunluğu (D_d), akarsu sıklığı (F_s) gibi alansal parametreler hesaplanır (Tablo 2).

Rölyef Parametreleri: Ortalama eğim, hipsometrik eğri (Hc), hipsometrik integral (Hi), engebelilik değeri (Rn) gibi rölyef parametreleri hesaplanır (Tablo 2).

Taşkın Risk Değerlendirmesi: *Morfometrik Parametrelerin Analizi:* Hesaplanan morfometrik parametreler, sel ve taşkın oluşumuna olan etkileri açısından analiz edilir. Örneğin, yüksek drenaj yoğunluğu, dairesel havza şekli ve yüksek eğim değerleri, sel ve taşkın riskini artıran faktörler olarak değerlendirilir. Risk değerlendirme çalışmaları CBS kullanılarak farklı çalışma alanlarında da kullanılan yöntemdir (Partigöç & Dinçer, 2024; Boutallaka vd., 2025).

Farklı ölçeklerdeki morfometrik parametreler tek bir ortak ölçeğe indirilerek havzalar arasında karşılaştırmalı risk değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla Min-Max normalizasyon yöntemi kullanılmıştır (Mazziotta vd., 2022). Bu yöntem ile veri setindeki her değeri belirlenen bir aralığa (genellikle (0,1) dönüştürmektir. Böylece farklı morfometrik indislerin karşılaştırılabilirliği sağlanır.

$$X_{\text{Normalized}} = (X - X_{\text{min}}) / (X_{\text{max}} - X_{\text{min}}) \quad (1)$$

X: Orijinal değer

X_min: İlgili değişkenin (örneğin: eğim, drenaj yoğunluğu vb.) minimum değeri

X_max: İlgili değişkenin maksimum değeri

X_normalized: Normalizasyon sonrası değer (0 ile 1 arasında)

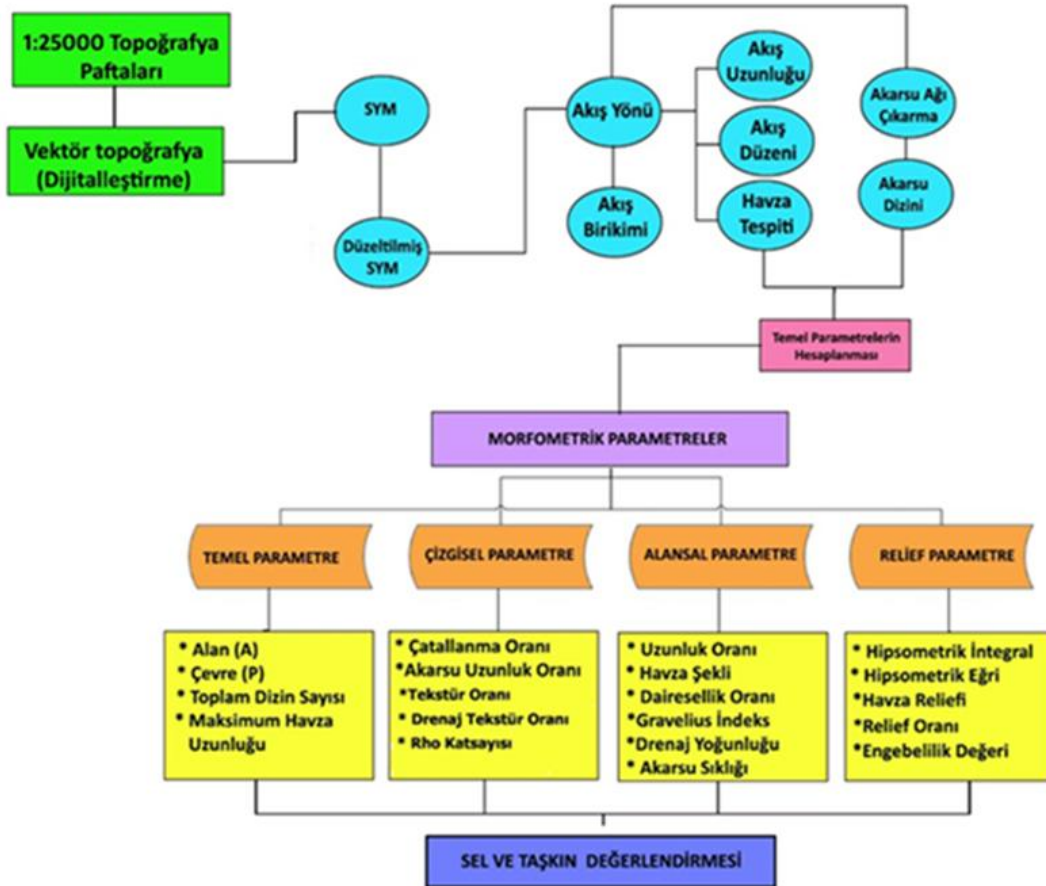
Risk Skorunun Hesaplanması: Her havzasının tüm normalize edilmiş morfometrik indisleri alınır ve ortalaması hesaplanır. Bu ortalama, o havzanın göreceli risk düzeyini temsil eder.

$$\text{Risk Skoru} = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^n x_i^{\text{normalized}} \quad (2)$$

n: Kullanılan morfometrik parametre sayısı

i: Havza indexi

j: Morfometrik indis indexi



Şekil 3: Çalışmanın genel akış şeması

Tablo 2: Havza morfometrik parametreler ve matematiksel açıklamaları

NO	PARAMETRE	FORMÜL	KAYNAK
Temel Parametreler			
1	Alan (A) Km ²	CBS yazılım	(Horton,1945)
2	Çevre (P) Km	CBS yazılım	
3	Akarsu dizini (u)	CBS yazılım	(Strahler, 1952)
4	Toplam dizin sayısı (N _u)	CBS yazılım	(Horton,1945)
5	Maksimum havza uzunluğu (L _b) Km		(Horton,1945)
6	Toplam dizin uzunluğu (L _u) Km	CBS yazılım	(Horton,1945)
7	Maksimum havza yükseklik (H _{max}) m	SYM ve CBS yazılım	
8	Ortalama havza yükseklik (H _{ort}) m	SYM ve CBS yazılım	
9	Minimum havza yükseklik (H _{min}) m	SYM ve CBS yazılım	
Çizgisel Morfometri			
10	Çatallanma Oranı (R _b)	$R_b = N_u / N_{u+1}$ N _u = Akarsu havzasındaki dizin sayısı N _{u+1} = Bir sonraki toplam dizin sayısı	(Schumm, 1956)
11	Akarsu Uzunluk Oranı (R _l)	$R_l = L_u / L_{u+1}$ L _u = Dizin sayısı toplam L _{u+1} = Sonraki dizin sayısı	(Patton,1988)
12	Tekstür Oranı (T)	$T = N_{u1} / P$ N _{u1} = 1. Dizinlerin toplam P= Havza çevre uzunluğu km.	(Horton, 1945)
13	Drenaj Tekstür Oranı (R _t)	$R_t = N_u / A$ N _u = Havzadaki dizinlerin toplam sayısı A= Havza alanı km ²	(Horton, 1945)
14	Rho Katsayısı (R _{ho})	$R_{ho} = R_l / R_b$	(Horton, 1945)
Alansal Morfometri			
15	Uzunluk Oranı (R _c)	0.5 L _m = Havza çevre uzunluğu A= Havza alanı km ²	(Schumm, 1956)
16	Havza Şekli (R _f)	$R_f = A / L_b^2$ A= Havza alanı km ² L _b =Havza uzunluğu	(Horton,1932)
18	Gravelius İndeks (K _g)	$K_g = P / A$ P= Havza çevre uzunluğu km. A= Havza alanı km ²	(Gravelius,1914)
19	Drenaj Yoğunluğu (D _d)	$D_d = \sum L / A$ ∑L= Toplam akarsu uzunluğu A= Havza alanı km ²	(Horton,1932,1945)
20	Akarsu Sıklığı (F _s)	$F_s = N / A$ N=1. Dizinlerin toplam sayısı A= Havza alanı km ²	(Horton,1932,1945)
20	Kompaktlık Katsayısı (C _c)	$C_c = P / 2(\pi A)^{0.5}$ P= Havza çevresi A= Alan	(Gravelius, 1914)
Rölyef Morfometri			
21	Hipsometrik İntegral (H _i)	H _{ort} = Ortalama yükselti H _{maks} = Maksimum yükselti H _{min} =Minimum yükselti	(Pike & Wilson, 1971) (Mayer, 1990)
22	Hipsometrik Eğri (H _c)	$H_c = h / H$ ve a / A h= Rölatif yükseklik H= Toplam yükseklik a= Rölatif alan A=Toplam alan	(Pike & Wilson, 1971) (Mayer, 1990)
23	Havza Rölyefi (B _h)	$B_h = H_{maks} - H_{min}$ H _{maks} = Maksimum yükselti H _{min} =Minimum yükselti	(Schumm, 1956)
24	Rölyef Oranı (R _h)	$R_h = H / L$ H=Havza Rölyefi L=Maksimum havza uzunluğu	(Schumm, 1956)
25	Engebelilik Değeri (R _n)	$R_n = B_h * D_d$ BH=Havza Rölyefi Dd=Drenaj yoğunluğu	(Melton 1957)

3. Bulgular

3.1. Çizgisel Morfometrik Özellikler

Havzaların çizgisel morfometrik özellikleri, havza yüzeylerinin akarsu ağları ile oluşturduğu desenlerin analiz edilmesi sonucu belirlenen niteliklerdir. Bu özellikler, akarsu kollarının sayısı, bunların uzunlukları ve havza çevresinin uzunluğu gibi faktörlere dayanır (Özdemir, 2011).

Çatallanma oranı R_b), Strahler yöntemi ile hesaplanan R_b , bir havzadaki belirli bir derece düzeyindeki akarsu kollarının sayısının, bir üst derece düzeyindeki akarsu kollarının sayısına bölünmesiyle elde edilir (Horton, 1945; Schumm, 1956; Özdemir, 2011). Bu oran, akarsu ağlarının dallanma yapısını anlamak açısından önemli bir morfometrik ölçüt olup, aynı zamanda yüzeysel akışın miktarını ve taşkın oluşum sürecini etkileyen önemli bir parametre olarak değerlendirilir (Chorley, 1969). R_b , havzanın jeolojik yapısı ve tektonik özellikleri hakkında bilgi sunarak hidrolojik süreçlerin değerlendirilmesine katkı sağlar. Düşük R_b özelliğine sahip havzalar genellikle düşük geçirimsizlik kapasitesine, yüksek yüzeysel akışa ve keskin akış hidrograf özelliklerine sahiptir (Strahler, 1964; Özdemir, 2011). Bu havzalar yapısal olarak daha az bozulmuş bir havza özelliği gösterir (Marwade vd., 2024).

Yüksek R_b değerine sahip havzalar, yapısal bozulmaların ve tektonik aktivitelerin daha yoğun olduğu bölgelerle ilişkilendirilebilir (Strahler, 1964; Schumm, 1956). Bu oran arttıkça, drenaj ağında daha fazla karmaşıklık ve dallanma meydana gelir. Akarsu kollarının sık dallanması, suyun havza içinde daha hızlı toplanmasına neden olarak ani taşkın riskini artırabilir. Bu nedenle, yüksek R_b değerine sahip havzalar, taşkın yönetimi açısından daha hassas bölgeler olarak değerlendirilmelidir.

Aksu (Deviskel) Deresi alt havzalarında R_b 1,65 ile 1,93 arasında değişmekte olup, en yüksek değerler Çermik Dere ve Büyükdere alt havzalarında tespit edilmiştir (Tablo 3, 4, 7). Bu durum, söz konusu alt havzalarda akarsu kollarının sık dallandığını ve suyun ana kola hızlı bir şekilde ulaşarak birikme eğiliminin arttığını göstermektedir. Düşük R_b özelliği ise Orta Dere havzasında görülmektedir (Tablo 3). Bu özellik daha sel ve taşkın açısından daha az riskli alanları ifade eder.

Tablo 3: Değirmendere, Büyükdere, Bibyat Dere ve Orta Dere çatallanma oranları

Değirmendere			Büyükdere			Bibyat Dere			Orta Dere		
Dizin Numarası	Dizin Sayısı	R_b	Dizin Numarası	Dizin Sayısı	R_b	Dizin Numarası	Dizin Sayısı	R_b	Dizin Numarası	Dizin Sayısı	R_b
1	27		1	131		1	30		1	21	
2	9	3,00	2	75	1,75	2	14	2,14	2	8	2,63
3	6	1,50	3	23	3,26	3	6	2,33	3	12	0,67
4	1	0,55	4	1	0,72	4	1	0,67			
Ortalama		1,68	Ortalama		1,91	Ortalama		1,71	Ortalama		1,65

Tablo 4: Çermik Dere, Dilberdere, Otingo Dere çatallanma oranları

Çermik Dere			Dilber Dere			Otingo Dere		
Dizin Numarası	Dizin Sayısı	R_b	Dizin Numarası	Dizin Sayısı	R_b	Dizin Numarası	Dizin Sayısı	R_b
1	158		1	27		1	52	
2	72	2,19	2	9	3,00	2	26	2,00
3	60	1,20	3	17	0,53	3	17	1,53
4	1	2,40				4	1	2,13
Ortalama		1,93	Ortalama		1,76	Ortalama		1,88

Akarsu uzunluk oranı (R_l), bir akarsu havzasının hidrolojik özellikleri, sel ve taşkın potansiyeli ve drenaj yapısı hakkında önemli bilgiler sunan bir morfometrik parametredir (Altıparmak & Türkoğlu, 2018; Esen, 2022). Strahler yöntemine göre bir akarsu diziliminin toplam uzunluğunun, bir sonraki derece diziliminin toplam uzunluğu ile oranlanması şeklinde ifade edilir (Patton, 1988). Ana akarsu ve yan kollarının uzunlukları, suyun akış yolu boyunca ne kadar süreyle kanalda kalacağını ve suyun ne kadarının tutulacağını belirlemede önem taşır (Utlü & Özdemir, 2018). Yüksek bir akarsu uzunluk oranına sahip havzalarda suyun daha az tutulduğu ve daha hızlı drene olduğu bilinmektedir (Özdemir, 2011).

Çermik Dere (2,81) ve Dilber Dere (2,64) havzaları en yüksek R_l değerlerine sahiptir (Tablo 5,6) ve ani taşkın riski yüksektir. Orta Dere (Tablo 5) daha uzun akış süresine sahip olup, sel ve taşkın tehlikesi daha düşüktür.

Tablo 5: Değirmendere, Büyükdere, Bibyat Dere, Orta Dere akarsu uzunluk oranları

Değirmendere			Büyükdere			Bibyat Dere			Orta Dere		
Dizin Numarası	Dizin Uzunluğu	R _i	Dizin Numarası	Dizin Uzunluğu	R _i	Dizin Numarası	Dizin Uzunluğu	R _i	Dizin Numarası	Dizin Uzunluğu	R _i
1	12.181,0		1	32.031,4		1	8.454,7		1	5.579,6	
2	3.182,5	3,83	2	24.712,7	1,30	2	2.726,8	3,10	2	2.784,0	2,00
3	1.279,7	2,49	3	8.782,8	2,81	3	1.608,8	1,69	3	3.893,8	0,71
4	2.851,2	0,45	4	6.934,1	1,27	4	2.958,8	0,54			
Ortalama		2,25	Ortalama		1,79	Ortalama		1,78	Ortalama		1,36

Tablo 6: Çermik Dere, Dilber Dere, Otingo Dere akarsu uzunluk oranları

Çermik Dere			Dilber Dere			Otingo Dere		
Dizin Numarası	Dizin Uzunluğu	R _i	Dizin Numarası	Dizin Uzunluğu	R _i	Dizin Numarası	Dizin Uzunluğu	R _i
1	50.718,6		1	7.885,2		1	18.778,2	
2	24.166,0	2,10	2	2.551,3	3,09	2	8.219,4	2,28
3	17.293,5	2,93	3	3.616,1	2,18	3	5.141,1	1,60
4	7.111,5	3,40				4	2.119,4	2,43
Ortalama		2,81	Ortalama		2,64	Ortalama		2,10

Tekstür Oranı (T), bir havzadaki tüm dere düzenlerinin toplam sayısı ile havza çevresinin oranıdır (Horton, 1945). Havza dokusu olarak da adlandırılabilir.

Tekstür oranı genel olarak, havzanın jeolojik yapısı, toprak özellikleri ve bitki örtüsü gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Yüksek bir tekstür oranı, yüksek derecede erozyon potansiyeli ve yüzey akışı olduğunu gösterirken, düşük bir tekstür oranı, geçirgen yüzeylerin daha fazla olduğunu ve yüzey akışının daha az olduğunu gösterebilir (Smith, 1950).

Çermik Dere (4,95) ve Büyükdere (4,92) en yüksek değerlere sahipken, Orta Dere (1,71) en düşük değeri göstermektedir. Sel ve taşkın riski açısından Çermik Dere ve Büyükdere yüksek bir risk bulunurken Orta Dere Sel ve taşkın açısından daha az risklidir.

Drenaj Tekstür Oranı (D_t), havzanın infiltrasyon kapasitesini değerlendirmede kullanılan bir parametredir (Horton, 1945) D_t değerinin düşük olması, yüksek geçirgenlik ve düşük yüzeysel akışı gösterirken, yüksek D_t değeri ise düşük geçirgenlik ve yüksek yüzeysel akışı ifade etmektedir (Smith, 1950; Özdemir, 2011).

Çalışma alanında D_t, 2,11 ile 7,72 arasında değişmektedir. Düşük D_t değerlerine sahip (3'ün altı) Değirmendere alt havzası daha geçirgen, yüzey akışı daha düşük, suyun yeraltına sızması daha kolaydır. Sel riski genellikle düşüktür. Yüksek D_t değerine sahip (6 ve üzeri) özellikle de 7 ve üzerinde değerler ile ön plana çıkan Çermik, Dilber, Büyükdere, Bibyat gibi alt havzalarda ciddi yüzey akışı potansiyeline sahiptir.

Rho Katsayısı (R_{ho}), bir drenaj ağının depolama kapasitesini ve drenaj gelişimini ifade eden önemli bir morfometrik parametredir (Horton, 1945) R_{ho} katsayısı, akış uzunluğu oranı (R_i) ile çatallanma oranı (R_b) arasındaki orandır. 0,50'den büyük değerler, daha yüksek hidrolojik depolamayı gösterir (Soni, 2017). Düşük R_{ho} değeri, yüksek taşkın potansiyeline sahip su depolanmasını ifade eder.

Çermik Dere Alt Havzası (1,45) ve Dilber Dere Alt Havzası (1,50) en yüksek R_{ho} katsayısına sahiptir (Tablo 6). Bu, bu havzaların daha dirençli bir drenaj sistemine sahip olduğunu ve akış sürekliliğinin yüksek olduğunu gösterir. Aynı zamanda, bu tür havzalarda yüzey akışının daha dengeli olduğu ve ani taşkın riskinin daha düşük olabileceği söylenebilir.

Değirmen Dere (1,33), Büyükdere (0,93), Bibyat Dere (1,04) ve Otingo Dere (1,11) orta seviyede R_{ho} katsayılarına sahiptir (Tablo 6). Bu havzalar, hem yüzey akışı hem de yer altı akışı açısından dengeli bir yapıya sahiptir. Ancak, büyük yağış olaylarında belirli bölgelerde sel/taşkın riski bulunabilir.

Orta Dere (0,82) en düşük R_{ho} katsayısına sahiptir, ardından Büyükdere (0,93) gelmektedir (Tablo 6). Düşük R_{ho} katsayısı, havzanın akış sürekliliğinin daha düşük olduğunu ve yüzey akışının daha düzensiz olduğunu gösterir. Bu tür havzalarda ani sel ve taşkın riski daha yüksek olabilir.

3.2. Alansal Morfometrik Özellikler

Alansal morfometrik özellikler, bir havzanın alanı, drenaj yoğunluğu, akarsu uzunluk oranı, şekil faktörü gibi özelliklerini kapsar. Bu özellikler, havzanın su toplama kapasitesi, erozyon potansiyeli ve taşkın davranışı gibi hidrolojik süreçleri anlamak için önemlidir (Horton 1945; Strahler, 1964).

Uzunluk Oranı (R_i), Bir akarsu havzasında, belirli bir derecedeki akarsuların ortalama uzunluğunun bir alt derecedeki akarsuların ortalama uzunluğuna oranı olarak tanımlanır (Patton & Baker, 1976). R_i, bir havzanın akarsu kollarındaki suyun uzunluğuna bağlı olarak tutulma oranı hakkında bilgi verir ve alt kolların üst kollarından gelen suyu taşıma yeterliliğini gösterir (Özdemir, 2011).

Horton (1945) göre akarsu uzunluk oranının 1,5-3,5 arasında değişebildiğini ve genelde bu değerin 2 civarında olduğunu belirtmiştir. Düşük R_1 değerleri, suyun daha az tutulduğunu ve hızlı bir şekilde drene olduğunu gösterir (Altıparmak & Türkoğlu, 2018). Bu durum genellikle uzunlamasına havzalarda görülür. Ayrıca, yüksek geçirgenliğin ve düşük yüzeyel akışın olduğu alanları gösterir. Yüksek R_1 değerleri, akışa geçen yüzey sularının yüksek miktarda su taşıdığını ve yüksek taşkın potansiyelini ifade eder (Esen, 2022).

Çermik Dere (2,81) ve Dilber Dere (2,64) alt havzaları, en yüksek uzunluk oranı değerlerine sahiptir (Tablo 7). Bu durum, söz konusu havzalardaki akarsu sisteminin jeomorfolojik açıdan henüz genç bir evrede olduğunu ve eğimlerin görece yüksek olduğunu göstermektedir. Yüksek eğim koşulları, akış hızını ve aşındırma gücünü artırarak ani sel oluşma riskini de yükseltmektedir.

Değirmen Dere (2.25), Otingo Dere (2.10), Büyükdere (1.79) ve Bibyat Dere (1.78) orta seviyede uzunluk oranına sahiptir (Tablo 6). Bu havzalar ne çok genç ne de çok yaşlı bir drenaj sistemine sahiptir. Akış düzenliliği açısından daha dengeli olup, taşkın riski yüksek eğimli havzalara göre daha düşüktür.

Orta Dere (1.36) en düşük uzunluk oranına sahiptir (Tablo 6). Bu, havzanın daha gelişmiş ve olgunlaşmış bir drenaj sis-temine sahip olduğunu gösterir. Eğim düşük olup, su akış hızı yavaş olabilir. Bu tür havzalarda taşkın riski nispeten daha azdır.

Havza Şekli (R_f), bir havzanın dairesel mi yoksa uzunlamasına mı olduğunu ifade eder ve bu durum, akım hidrografını ve taşkın oluşumunu doğrudan etkiler (Özdemir, 2011).

Değirmendere (0,78) ve Otingo Dere (0,75) havzaları dairesel şekle yakın olup, taşkın oluşumuna daha duyarlıdır. Büyükdere (0,44), Bibyat Dere (0,44) ve Çermik Dere (0,43) uzunlamasına şekildedir, taşkın süresi daha uzundur (Tablo 6).

Dairesellik Oranı (R_c), bir havzanın şeklinin dairesel forma ne kadar yakın olduğunu gösteren bir morfometrik parametredir. Havza alanının, aynı çevre uzunluğuna sahip bir dairenin alanına oranlanmasıyla hesaplanır (Strahler, 1964).

Dairesellik oranı 1'e yaklaştıkça havza şekli daireye benzer ve taşkın riski artar. Dairesel havzalarda suyun aynı anda akışa geçmesi nedeniyle taşkın pikleri daha yüksek ve ani olabilir. Dairesellik oranı 1'den uzaklaştıkça havza şekli uzunlamasına bir hal alır ve taşkın riski azalır (Miller, 1953), Uzunlamasına havzalarda yüzeyel akış daha yavaş ilerler ve erozyon ihtimali azalır. Düşük dairesellik oranına sahip havzalar genellikle gençlik evresinde, orta dairesellik oranına sahip havzalar olgunluk evresinde, yüksek dairesellik oranına sahip havzalar ise yaşlılık evresinde olarak kabul edilir (Miller, 1953).

Otingo Dere (0.80) ve Değirmen Dere (0.78) havzaları en dairesel olan havzalardır (Tablo 7). Bu havzalarda yağış sonrası su, hızla ana akarsuya ulaşır ve ani sel ve taşkına sebep olabilir.

Büyükdere (0.66) ve Bibyat Dere (0.73) havzaları orta derecede dairesel havzalardır (Tablo 7). Bu havzalarda suyun akış süresi biraz daha uzun olsa da, ani yağışlarda taşkın riski yine de yüksektir.

Çermik Dere (0.54), Dilber Dere (0.54) ve Orta Dere (0.56) havzaları daha uzun ve dar şekillidir. Bu havzalarda suyun akış süresi daha uzundur, bu da ani taşkın riskini azaltır. Ancak, uzun süreli ve şiddetli yağışlarda zemin doymun hale gelirse taşkın yaşanabilir.

Gravelius İndeksi (K_g), bir havzanın şeklini ifade etmede kullanılan bir morfometrik parametredir (Gravelius, 1914). Gravelius İndeksi (K_g), havza çevresinin (P) uzunluğunun, havza alanının (A) karekökü ile orantılı bir şekilde hesaplanmasıyla elde edilir.

K_g , değerinin küçüklüğü, havzanın dairesel bir forma sahip olduğunu gösterir. Değer büyüdükçe havza daha uzunlamasına bir şekil alır. Uzunlamasına havzalarda akım hidrografı düşük ve devamlı iken, dairesel havzalarda ise yüksek akım hidrografı özelliği görülür (Özdemir, 2011).

Değirmen Dere (1.13) ve Bibyat Dere (1.17) havzaları, daha dairesel bir yapıya sahiptir (Tablo 7). Bu tür havzalarda yağmur suyunun ana akarsuya ulaşma süresi daha kısa olduğu için taşkın riski yüksektir. Ani yağışlar ve yüksek debili akışlar taşkın ihtimalini artırır. Büyükdere (1.23) havzası, orta derecede dairesel olup taşkın riski orta seviyededir. Bu tür havzalarda suyun toplanma süresi biraz daha uzundur, ancak ani yağışlarda taşkın riski hâlâ vardır. Çermik Dere (1.35), Dilber Dere (1.31), Otingo Dere (1.32) ve Orta Dere (1.34) havzaları daha uzun ve düzensiz şekillidir. Bu havzalarda suyun toplanma süresi uzundur ve taşkın riski daha düşüktür. Ancak, uzun süreli yağışlarda veya zemin doymun hale geldiğinde taşkın oluşabilir.

Drenaj Yoğunluğu (D_d), bir akarsu havzasındaki toplam akarsu uzunluğunun, havza alanına bölünmesiyle elde edilen bir morfometrik parametredir (Özdemir, 2011; Avcı & Sunkar, 2015; Elbaşı, 2015; Elbaşı & Özdemir, 2018). Havzanın akarsular tarafından ne kadar parçalandığını gösteren önemli bir ölçüttür (Özdemir, 2011; Elbaşı, 2015; Altıparmak & Türkoğlu, 2018). D_d havzanın jeolojik yapısı, iklimi, bitki örtüsü ve topografyası hakkında bilgi verir. Yüksek D_d , havzanın akarsular tarafından fazla parçalandığını, yüzeyel akışın yüksek olduğunu, zeminin geçirimsiz olduğunu ve erozyonun fazla olduğunu gösterir (Elbaşı, 2015; Altıparmak & Türkoğlu, 2018;). Ayrıca, yüksek D_d sahip havzalarda taşkın riski daha fazladır (Utlı & Özdemir, 2018). Yüksek D_d , genelde geçirimsiz yüzeyler, seyrek bitki örtüsü ve yüksek rölyef ile ilişkilendirilir (Avcı vd., 2023).

Düşük D_d ise, yüzeyel suların yer altına sızdığı, yeraltı suyunun fazla olduğu, geçirgenliğin yüksek olduğu, bitki örtüsünün yoğun olduğu, akarsu parçalanmasının az olduğu ve erozyonun daha az olduğu anlamına gelir (Elbaşı, 2015).

Çalışma alanında D_d , değerlerine baktığımızda Çermik Dere (2,24) ve Bibyat Dere (2,0) en yüksek D_d sahip olup, ani taşkın riski taşır. Düşük D_d değerine sahip Otingo Dere (1,14) taşkın riskinin nispeten düşük olduğu bir havza olarak değerlendirilmiştir (Tablo 6).

Akarsu Sıklığı (F_s), bir havzadaki toplam akarsu kolu sayısının havza alanına bölünmesiyle elde edilen bir morfometrik parametredir (Özdemir, 2011; Elbaşı & Özdemir, 2018; Nişancı vd., 2024). F_s , drenaj sisteminin havzadaki gelişme seviyesini gösteren sayısal bir değerdir (Horton, 1945; Strahler, 1964).

Yüksek F_s , zeminin geçirimsiz olduğunu, bitki örtüsünün seyrek olduğunu, yüzeysel akışın fazla olduğunu, gösterir (Özdemir, 2011). Ayrıca, yüksek F_s değerine sahip havzalarda taşkın riski daha fazladır (Esen, 2022). Düşük F_s , zeminin geçirgen olduğunu, bitki örtüsünün yoğun olduğunu, yüzeysel akışın az olduğunu gösterir (Özdemir, 2011).

Aksu (Deviskel) Deresi alt havzaları F_s değerlendirmesi şu şekildedir: Dilber Dere (3,93) ve Çermik Dere (3,56) en yüksek F_s değerlerine sahiptir ve ani yüzey akışı yüksek olup sel riski artmaktadır. Değirmendere (1,64) ve Büyükdere (1,79) daha düşük akarsu sıklığına sahiptir, sel/taşkın riski daha azdır.

3.3. Rölyef Morfometrik Özellikler

Hipsometrik Eğri (H_c) ve İntegral (H_i), bir akarsu havzasının topoğrafik özelliklerini, jeomorfolojik gelişimini ve erozyon süreçlerini anlamak için kullanılan önemli morfometrik parametrelerdir (Keller & Pinter, 1996; Marwade vd., 2024). Bu analizler, havzanın yüksekliğinin alansal dağılımını değerlendirerek (Strahler, 1952) havzanın aşınım evresi, tektonik aktivitesi ve sel/taşkın riski hakkında değerli bilgiler vermektedir (İrcan vd., 2024; Özdemir, 2011; Nişancı vd., 2024; Matpay, 2024). H_c , bir havzadaki yükseklik değerlerinin alansal olarak dağılımını gösteren bir eğridir (Karabulut vd., 2013; Esen, 2022). Bu eğri, rölatif yükseklik (h/H) değerinin rölatif alan (a/A) üzerine izdüşürülmesiyle elde edilir (Köle, 2016). H_c , havzanın fizyografik yaşı hakkında bilgi verir (Elbaşı, 2015; Farhan vd., 2016; Avcı vd., 2023; Nişancı vd., 2024).

Dışbükey (konveks) eğriler, havzanın genç olduğunu, erozyon süreçlerinin başlangıcında olduğunu ve akarsuların güçlü aşındırma gücüne sahip olduğunu gösterir (Elbaşı, 2015; Nişancı vd., 2024). Genç havzalarda, akarsuların akım hızları yüksek olduğundan, su baskınlarının karakteri daha çok sel şeklindedir (Özdemir, 2011). İçbükey (konkav) eğriler, havzanın yaşlı olduğunu, büyük ölçüde aşındığını, akarsuların akım gücünün azaldığını ve biriktirme faaliyetlerinin hâkim olduğunu gösterir (Özdemir, 2011).

H_c , havzanın yükseklik dağılımını görselleştirirken, H_i , bu dağılımı tek bir sayı ile ifade eder (Obeidat vd., 2021; Marwade vd., 2024). Yüksek H_i değerleri, yüksek sel riskini işaret ederken, düşük H_i değerleri daha olgun ve az riskli havzaları gösterir.

Aksu (Deviskel) Deresi alt havzalarının H_c ve H_i sonuçları değerlendirildiğinde 0,47 ile 0,61 arasında değişen değerlere sahiptir (Tablo 7). H_c eğrileri genelde genç havzaları gösterir (Şekil 4) ve bu havzalarda aşırı yağışlarda yüzey suları hızla akışa geçerek sel ve taşkın oluşturabilir. Dilber Dere Alt Havzası (0,61) en yüksek hipsometrik integral değerine sahiptir. Bu durum, havzanın genç aşamada olduğunu ve dik yamaçların, ani akışlarla yüksek sel ve taşkın riski oluşturduğunu göstermektedir. Eğimli vadilerde hızlı yüzey akışı nedeniyle bu alanlarda taşkın ve sel olayları daha sık ve şiddetli yaşanabilir.

Bibyat Dere Alt Havzası (0,51) ve Değirmen Dere Alt Havzası (0,50) orta düzeyde hipsometrik integral değerlerine sahiptir (Şekil 4). Bu havzalar, olgunlaşma aşamasında olup, sel ve taşkın riski taşımaktadır.

Büyükdere Alt Havzası (0,49), Otingo Dere Alt Havzası (0,49), Çermik Dere Alt Havzası (0,47) ve Orta Dere Alt Havzası (0,47) daha düşük H_i değerlerine sahiptir. (Tablo 7). Bu durum, bu havzaların daha olgunlaşmış bir jeomorfolojik aşamada olduğunu ve yüzey akışının nispeten daha düşük hızla gerçekleştiğini göstermektedir. Ancak aşırı yağışlarda bu havzalarda da taşkın oluşma riski tamamen ortadan kalkmamaktadır.

Tablo 7: Aksu (Deviskel) Deresi alt havzaları morfometrik indis değerleri

No	Morfometrik İndisler	Değirne n dere alt havzası	Büyükdere alt havzası	Bıbyat dere alt havzası	Çermik dere alt havzası	Dilber dere alt havzası	Otingo dere alt havzası	Orta dere alt havzası
TEMEL PARAMETRELER								
1	Alan (A) Km ²	9,19	37,20	7,87	44,27	6,86	16,39	6,70
2	Çevre (P) Km	12,16	26,59	11,59	31,87	12,61	16,0	12,26
3	Akarsu dizini (u)	-	-	-	-	-	-	-
4	Toplam dizin sayısı (N _u)	53	261	59	315	53	103	41
5	Maksimum havza uzunluğu (L _b) Km	4,58	9,18	4,22	10,14	5,96	4,68	4,65
6	Toplam dizin uzunluğu (L _u) Km	19,494	72,460	15,749	99,289	14,052	34,258	12,252
7	Maksimum havza yükseklik (H _{max}) m	2226	2336	2352	3419	2461	2581	1780
8	Ortalama havza yükseklik (H _{ort}) m	1494	1354	1625	2187	1887	1809	988
9	Minimum havza yükseklik (H _{min}) m	752	402	853	1069	982	1051	270
ÇİZGİSEL MORFOMETRİ								
10	Çatallanma Oranı (R _b)	1,68	1,91	1,71	1,93	1,76	1,88	1,65
11	Akarsu Uzunluk Oranı (R _l)	2,25	1,79	1,78	2,81	2,64	2,10	1,36
12	Tekstür Oranı (T)	2,22	4,92	2,58	4,95	2,14	4,27	1,71
13	Drenaj Tekstür Oranı (R _t)	2,11	7,01	7,49	7,11	7,72	6,28	6,11
14	Rho Katsayısı (R _{ho})	1,33	0,93	1,04	1,45	1,5	1,11	0,82
ALANSAL MORFOMETRİ								
15	Havza Şekli (R _f)	0,43	0,44	0,44	0,43	0,19	0,74	0,30
16	Dairesellik Oranı (R _c)	0,78	0,66	0,73	0,54	0,54	0,80	0,56
17	Gravelius İndeksi (K _g)	1,13	1,23	1,17	1,35	1,31	1,32	1,34
18	Drenaj Yoğunluğu (D _d)	1,18	1,94	2,0	2,24	2,04	1,14	1,82
19	Akarsu Sıklığı (F _s)	1,64	1,79	3,81	3,56	3,93	3,17	3,13
RÖLYEF MORFOMETRİ								
20	Hipsometrik İntegral (H _i)	0,50	0,49	0,51	0,47	0,61	0,49	0,47
21	Hipsometrik Eğri (H _e)	-	-	-	-	-	-	-
22	Havza Rölyef (B _h)	1474	1934	1499	2350	1479	1530	1510
23	Rölyef Oranı (R _h)	3,218	2,106	3,552	2,317	2,481	3,269	3,247
24	Engelibelik Değeri (R _n)	1,739	3,751	2,998	5,264	3,017	1,744	2,748

3.4. Sel ve Taşkın Duyarlılığı

7 alt havzaya ait morfometrik indisler Min-Max normalizasyon yöntemi kullanılarak standartlaştırılmış ve her havza için ortalama risk skoru hesaplanmıştır (Tablo 8).

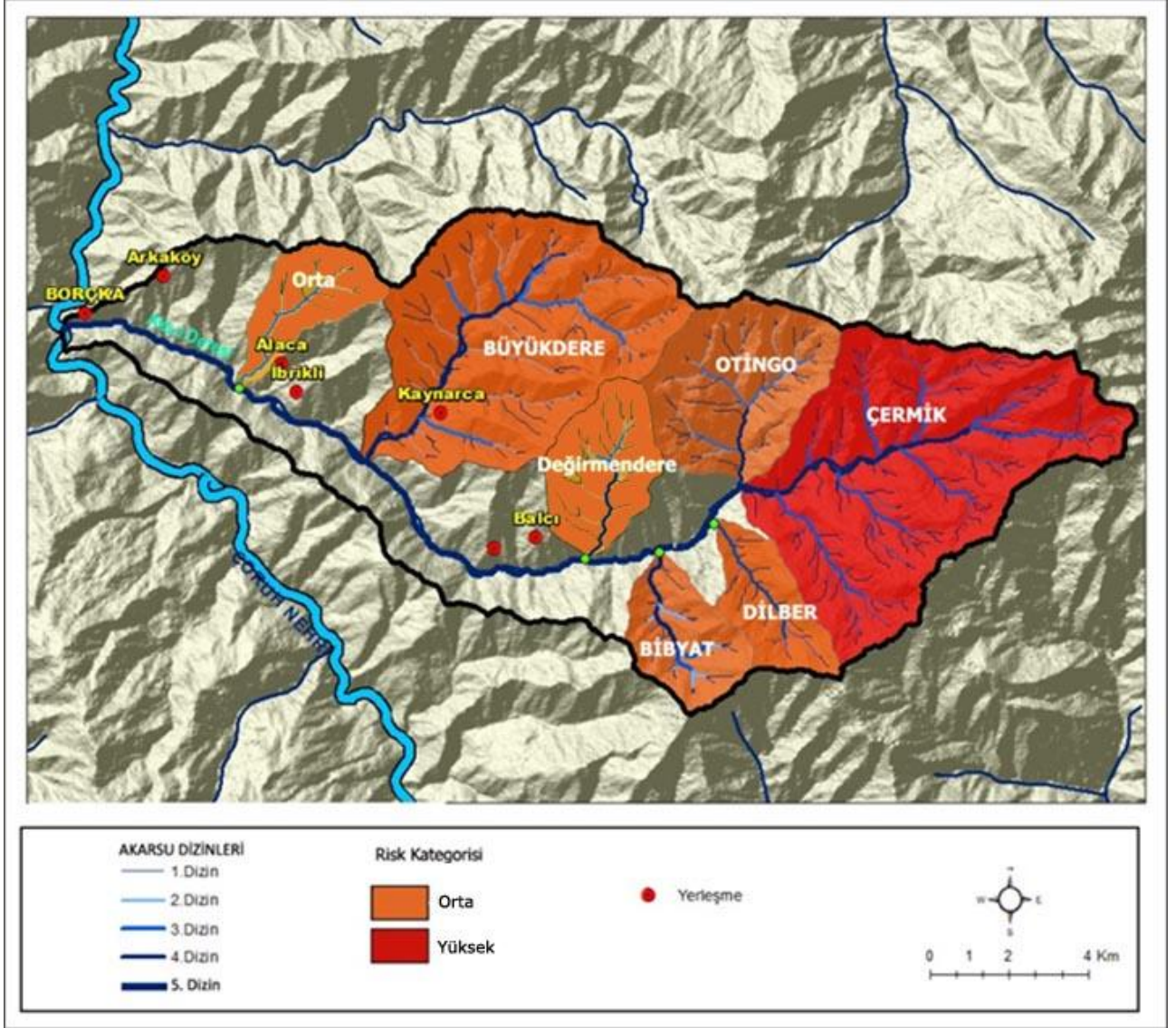
Elde edilen sonuçlara göre Çermik Dere alt havzası, 0.85 risk skoru ile en yüksek taşkın riskine sahip havza olarak belirlenmiştir. Yüksek rölyef oranı, engebelilik değeri ve drenaj yoğunluğu, bu havzanın ani taşkın üretme potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir (Şekil 5). Çermik Dere havzasında eğimin fazla olması ve akarsu ağının yoğunluğu, yağış sonrası yüzey akışının hızla artmasına neden olmaktadır. Bu durum, sel oluşum sürecini hızlandırarak ani taşkın riskini artırmaktadır.

Büyükdere, Bibyat Dere, Dilber Dere ve Otingo Dere havzaları, yüksek taşkın riski kategorisinde değerlendirilmiştir. Bu havzalar 0.52 ile 0.71 arasında değişen risk skorlarıyla, morfometrik yapılarının etkisiyle sel ve taşkın oluşumuna duyarlı bölgeler arasında yer almaktadır (Şekil 5). Özellikle yüksek akarsu sıklığı (F_s) ve drenaj yoğunluğu (D_d) değerleri, yüzey akışının havza boyunca kısa sürede yoğunlaşmasına neden olarak taşkın riskini artırmaktadır.

Değirmen Dere ve Orta Dere havzaları, 0.27 ve 0.41 risk skorlarıyla orta düzeyde taşkın riski taşıyan bölgeler olarak belirlenmiştir (Şekil 5). Bu havzaların nispeten daha az eğimli olması, drenaj sistemlerinin daha az gelişmiş olması ve akarsu sıklığının görece düşük olması, taşkın oluşumunu diğer havzalara göre daha az olası hale getirmektedir. Ancak, bölgenin topografik ve hidromorfolojik yapısı göz önüne alındığında, şiddetli yağışlar sonucunda bu havzalarda da yerel taşkınların meydana gelebileceği değerlendirilmektedir.

Tablo 8: Sel ve taşkın risk tablosu

Alt Havza	R _i	D _d	R _r	F _s	H _i	R _h	R _n	Ortalama Risk Skoru	Risk Kategorisi
Değirmen Dere	2,25	1,18	0,43	1,64	0,5	234,49	1267,32	0,27	Orta
Orta Dere	1,36	1,82	0,30	3,13	0,47	221,07	1870,9	0,41	Orta
Büyükdere	1,79	1,94	0,44	1,79	0,49	160,56	2859,5	0,52	Yüksek
Bıbyat Dere	1,78	2	0,44	3,81	0,51	475,35	4012	0,68	Yüksek
Dilber Dere	2,64	2,04	0,19	3,93	0,61	248,15	3017,1	0,71	Orta
Otingo Dere	2,1	1,14	0,74	3,17	0,49	494,017	2635,68	0,63	Yüksek
Çermik Dere	2,81	2,24	0,43	3,56	0,47	231,75	5264	0,85	Yüksek



Şekil 5: Aksu (Deviskel) Deresi alt havzaları sel ve taşkın risk durumu

4. Sonuç

Bu çalışmada, Borçka (Artvin) ilçesinde bulunan Aksu (Deviskel) Deresi ve alt havzalarında, sel ve taşkın olayları açısından morfolometrik analizler gerçekleştirilmiştir. Bölgenin yağış rejimi, topoğrafyası, bitki örtüsü ve akarsu sistemlerinin yapısal özellikleri incelenmiş ve bunların sel-taşkın olaylarıyla olan ilişkisi değerlendirilmiştir. Yapılan morfolometrik analizler sonucunda, Çermik Dere Havzası'nın bölgedeki en yüksek taşkın riskini taşıyan alt havza olduğu belirlenmiştir. Bu havzada gözlenen yüksek eğim değerleri, yoğun drenaj ağı ve büyük rölyef farkları, ani taşkınların

oluşmasına uygun koşullar yaratmaktadır. Bu tür morfolojik koşullar, özellikle kısa sürede şiddetli yağış alan bölgelerde, yüzey akışının hızla artmasına ve yüksek debili ani sel olaylarının oluşmasına neden olmaktadır.

Araştırmada orta-yüksek düzeyde taşkın riski taşıdığı belirlenen diğer havzalar ise Büyükdere, Bibyat Dere, Dilber Dere ve Otingo Dere havzalarıdır. Bu havzalarda akarsu sıklığı ve drenaj yoğunluğunun nispeten yüksek olması, şiddetli yağışlar sırasında suyun hızlı şekilde toplanıp dere yataklarında kısa sürede yüksek debilere ulaşmasına neden olmaktadır. Bu durum, söz konusu havzalardaki taşkın riskini arttıran önemli bir etkidir.

Çalışma kapsamında orta düzeyde risk taşıdığı belirlenen Değirmen Dere ve Orta Dere havzaları ise nispeten daha düşük eğim ve daha az gelişmiş drenaj ağlarına sahiptir. Bu havzalarda ani taşkın riski, diğer havzalara göre daha düşük olsa da, sürekli ve şiddetli yağışlar yaşanması durumunda, bu alanlarda da taşkın ve sel olayları gözlenebileceği unutulmamalıdır.

Borçka ilçesinin genelinde görülen yoğun orman örtüsü, normal yağış rejimlerinde toprağın infiltrasyon kapasitesini artırarak yüzey akışını kısmen azaltmaktadır. Ancak, bölgede sıkça karşılaşılan kısa süreli ancak şiddetli orografik yağışlar sırasında toprak hızla doymun hale gelmekte ve yüzey akışları ani olarak artmaktadır. Bu durum özellikle eğimli ve dar vadilerde taşkın riskini büyük ölçüde artırmaktadır. Ayrıca bölgedeki yüksek eğimli yamaçların yaygın olarak heyelana duyarlı olması da taşkın riskini dolaylı olarak yükseltmektedir. Çünkü heyelan ve moloz akışları dere yataklarını tıkayarak geçici göllenmelere ve bunların aniden boşalmasıyla daha büyük ölçekli taşkınlara yol açabilmektedir.

Araştırmanın sonuçları göstermektedir ki; morfometrik analizler, havzalarda sel ve taşkın riskinin belirlenmesinde etkin bir yöntem olup, havzaların yönetiminde, afet riski azaltma politikalarında ve bölgesel kalkınma projelerinde temel veri oluşturacak niteliktedir. Çalışma sonuçlarına göre, Borçka ilçesindeki sel ve taşkın riskini azaltmak için dere yataklarında gerekli yapısal önlemlerin alınması (taşkın koruma duvarları, setler, bentler vb.), eğimli arazilerde orman örtüsünün korunması ve güçlendirilmesi, yerleşimlerin planlı biçimde yönlendirilmesi, taşkına hassas bölgelerde erken uyarı sistemlerinin kurulması gibi önlemler önerilmektedir.

Sonuç olarak, elde edilen bulgular bölge planlamacılarına, yerel yöneticilere ve ilgili kurumlara sel ve taşkın tehlikesine karşı alınacak tedbirlerin belirlenmesi ve uygulamaya konulması açısından kapsamlı, güvenilir ve bilimsel bir veri kaynağı sunmaktadır. Ayrıca, bu tür analizlerin benzer coğrafi ve iklim koşullarına sahip diğer bölgelerde de uygulanabileceği ve afet risk yönetimi konusunda önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Adesina, E., Ajayi, O., Odumosu, J., & Illah, A. (2024). Assessing the risk of soil loss using geographical information system (GIS) and the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Advanced GIS*, 4(2), 42–53. <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/1350>
- Ahmed, A., Hewa, G., & Alrajhi, A. (2021). Flood susceptibility mapping using a geomorphometric approach in South Australian basins. *Natural Hazards*, 106(2), 629–653. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04481-z>
- Alam, A., Ahmed, B., & Sammonds, P. (2021). Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. *Quaternary International*, 575–576, 295–307. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.047>
- Altıparmak, S., & Türkoğlu, N. (2018). Yakacık Çayı Havzasının (Hatay) morfometrik analizi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 58(1), 353–374.
- Altun, F. (2018). Afetlerin ekonomik ve sosyal etkileri: Türkiye örneği üzerinden bir değerlendirme. *Sosyal Çalışma Dergisi*, 2(1), 1–15.
- Avcı, V., & Sunkar, M. (2015). Giresun'da sel ve taşkın oluşumuna neden olan Aksu Çayı ve Batlama Deresi havzalarının morfometrik analizleri. *Journal of Geography*, 30, 91–119.
- Avcı, V., Dölek, İ., & Uzelli, T. (2023). Araklı ve çevresinde (Trabzon) sel ve taşkına neden olan derelerin morfometrik analizlerle taşkın duyarlılıklarının belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 1024–1054. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1286455>
- Avcı, V., & Ünsal, Ö. (2023). A morphometric approach to Bozkurt (Kastamonu-Türkiye) flood. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 216–239. <https://doi.org/10.21324/dacd.1210797>
- Boutallaka, M., Miloud, T., El Mazi, M., & Hmamouchi, M. (2025). Assessment of current and future land sensitivity to degradation under climate change in the upstream Ouergha watershed (Morocco) using GIS and AHP method. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(1), 46–58. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1521350>
- Bhat, M., Alam, A., Ahmad, S., Shah, H., & Ahmad, B. (2019). Flood hazard assessment of Upper Jhelum basin using morphometric parameters. *Environmental Earth Sciences*, 78, Article 54. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8046-1>
- Bhatt, S., & Ahmed, S. A. (2014). Morphometric analysis to determine floods in the Upper Krishna basin using Cartosat DEM. *GeoCarto International*, 29(8), 878–894. <https://doi.org/10.1080/10106049.2013.868042>
- Çavdar, C., Demirtaş, İ., Yiğit Avdan, Z., & Avdan, U. (2025). Evaluating the probability of rainwater collection as part of green infrastructure using GIS and RS technologies in industrial regions, Eskişehir, Türkiye. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(1), 59–73. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1485389>
- Chorley, R. J. (1969). *Introduction to fluvial processes* (1st Edition). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429273315>
- Dobrovičová, S., Dobrovič, R., & Dobrovič, J. (2015). The economic impact of floods and their importance in different regions of the world with emphasis on Europe. *Procedia Economics and Finance*, 34, 649–655. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)01681-0](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)01681-0)
- Dos, M. E. (2022). Determination of city change in satellite images with deep learning structures. *Advanced Remote Sensing*, 2(1), 16–22.
- Duong, N. V., & Gourbesville, P. (2016). Model uncertainty in flood modelling: Case study at Vu Gia Thu Bon catchment-Vietnam. *Procedia Engineering*, 154, 450–458.
- Elbaşı, E., & Özdemir, H. (2018). Marmara Denizi akarsu havzalarının morfometrik analizi. *Journal of Geography*, 36, 63–84.

- Ertoğral, O. (2024, 8–10 Ekim). *Morfometrik analiz yönteminin taşkın riski ön değerlendirme çalışmalarında kullanılabilirliği: Yomra örneği* [Konferans bildirisi]. TUCAUM 2024 Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, Ankara, Türkiye.
- Esen, F. (2022). Ayancık Çayı Havzası'nda (Sinop) meydana gelen taşkın olaylarının havza morfometrisi açısından değerlendirilmesi. *International Journal of Geography and Geography Education*, 47, 233–257. <https://doi.org/10.32003/igge.1126933>
- Farhan, Y., Anaba, O., & Salim, A. (2016). Morphometric analysis and flash floods assessment for drainage basins of the Ras En Naqb area, South Jordan using GIS. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 4, 9–33. <https://doi.org/10.4236/gep.2016.46002>
- Gravelius, H. (1914). *Grundriß der gesamten Gewässerkunde: In vier Bänden. 1. Flußkunde*. Göschen.
- Guliyev, İ., & Hüseyinov, R. (2024). Comparative character and monitoring of some parameters of the soil and vegetation by remote sensing in the zone of Zangilan. *Advanced Remote Sensing*, 4(1), 28–35.
- Güneş, H., Sunkar, M., & Toprak, A. (2013, 11–13 Kasım). *Muş şehrini etkileyen Çar ve Muş derelerinin bazı jeomorfometrik indislere göre analizleri* [Konferans bildirisi]. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Habib, W., Mahmood, S., Huda, N. ul H., Noor, S., Saleem, A., Siraj, M., & Ahmad, H. (2023). A post earthquake damage assessment using GIS in district Mirpur, Pakistan. *Advanced GIS*, 3(2), 53–58.
- Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 13, 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.
- Jenson, S. K., & Domingue, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54, 1593–1600.
- İhlas Haber Ajansı. (2024, 7 Şubat). *Artvin Borçka'da sel ve su baskınlarında camide mahsur kalan cemaat panik yaşadı*. <https://www.sondakika.com/3-sayfa/haber-artvin-borcaka-da-sel-ve-su-baskinlarinda-camide-ma-16825414/>
- İrcan, M. R., Kale, M. M., & Duman, N. (2024). Morfometrik analizlerle taşkın duyarlılık değerlendirmesi: Şanlıurfa örneği. *Geomatik*, 9(3), 361–374. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1506840>
- Karabulut, M., Küçükönder, M., & Topuz, M. (2013, 19–21 Haziran). *Alata (Erdemli) Deresi'nin jeomorfometrik analizi* [Kongre bildirisi]. 2013 Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi, Elazığ, Türkiye.
- Keller, E. A., & Pinter, N. (1996). *Active tectonics: Earthquakes, uplift, and landscape* (2nd ed.). Prentice Hall.
- Korkanç, S. Y., & Korkanç, M. (2006). Sel ve taşkınların insan hayatı üzerindeki etkileri. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(9), 42–50.
- Kopar, İ., Polat, S., Hadimli, H., & Özdemir, M. (2011). 4–6 Mart 2004 Pulur Çayı (Ilıca-Erzurum) sel-taşkın afeti. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10(13), 187–218.
- Köle, M. M. (2016). Devrez Çayı vadisinin tektonik özelliklerinin morfometrik indisler ile araştırılması. *Coğrafya Dergisi*, 33, 20–36.
- Makhmudov, R., & Teymurov, M. (2024). Importance of using GIS software in the process of application of analogue terrains and counter-approach technologies in water resources assessment. *Advanced Remote Sensing*, 4(1), 36–45.
- Marwade, A., Patil, A., & Panhalkar, S. (2024). Mapping and prioritizing flash-flood susceptible watersheds in the Warana Basin, India: A morphometric analysis and total ranking approach for resilience planning. *Journal of Geomatics*, 18(1), 1–11. <https://doi.org/10.58825/jog.2024.18.1.90>
- Matpay, B. (2024). Büyükdere Havzasına (Hizan-Bitlis) ait alt havzaların hidromorfometrik analizlerle taşkın duyarlılıklarının korelasyonu. *International Journal of Geography and Geography Education*, 53, 242–261. <https://doi.org/10.32003/igge.1482830>
- Mazziotta, M., Pareto, A., & Greco, R. (2022). Normalization methods for spatio-temporal analysis of environmental performance: Revisiting the Min–Max method. *Environmental Performance Journal*, 18(3), 254–268. <https://doi.org/10.1002/env.2345>
- Mayer, L. (1990). *Introduction to quantitative geomorphology: An exercise manual*. Prentice Hall International.
- Melton, M. A. (1957). *An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology*. Columbia University.
- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *The Journal of Geology*, 65(1), 112–141. <https://doi.org/10.1086/626413>
- Nişancı, G. Ş., Cihangir, M. E., & Küçükönder, M. (2024). Türkiye'de ana akarsu havzaları ölçeğinde morfometrik indislerle sel/taşkın arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 29(51), 13–40. <https://doi.org/10.17295/ataunided.1461010>
- Obeidat, M., Awawdeh, M., & Al-Hantouli, F. (2021). Morphometric analysis and prioritisation of watersheds for flood risk management in Wadi Esal Basin (WEB), Jordan, using geospatial technologies. *Journal of Flood Risk Management*, 14, Article e12711. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12711>
- O'Callaghan, J., & Mark, D. M. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28, 323–344.
- Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar. In D. Ekinci (Ed.), *Havza morfometrisi ve taşkınlar* (pp. 507–526). Türk Coğrafya Kurumu Yayınları.
- Öztürk, D. (2009). *CBS tabanlı çok ölçütlü karar analizi yöntemleri ile sel ve taşkın duyarlılığının belirlenmesi: Güney Marmara havzası örneği* [Doktora tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Pala, İ., & Algancı, U. (2025). Investigating the performance of super-resolved remote sensing images on coastline segmentation with deep learning-based methods. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 10(1), 93–106. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1522143>
- Partigöç, N. S., & Dinçer, C. (2024). Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) tabanlı afet risk analizi: Denizli ili örneği. *Geomatik*, 9(1), 27–44. <https://doi.org/10.29128/geomatik.1261051>
- Prabhakaran, A., & Raj, J. (2018). Drainage morphometric analysis for assessing form and processes of the watersheds of Pachamalai hills and its adjoining areas, Central Tamil Nadu, India. *Applied Water Science*, 8, Article 64. <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0646-5>
- Patton, P. C., & Baker, V. R. (1976). Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. *Water Resources Research*, 12(5), Article 941. <https://doi.org/10.1029/WR012i005p00941>
- Polat, P., Kopar, İ., & Yalçın, F. (2023). Günebakan (Erzincan) seli örneği ile Esence Dağları'nın güney-güneybatı aklanında oluşan moloz yüklü eski ve yeni selleri denetleyen morfometrik faktörler. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 279–294.

- Pike, R. J., & Wilson, S. E. (1971). Elevation-relief ratio, hypsometric integral and geomorphic area-altitude analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 82, 1079–1083.
- Portuguez, M., Arumí, J., Stehr, A., Lagos, O., Chavarri, E., & Rivera Ruiz, D. (2023). Mapping of areas vulnerable to flash floods by means of morphometric analysis with weighting criteria applied. *Water*, 15, Article 1053. <https://doi.org/10.3390/w15061053>
- Sarıgül, O., & Turoğlu, H. (2020). Kahramanmaraş şehri sel ve taşkınlarının coğrafi analizi ve öngörüler. *Journal of Geography*, 40, 275–293. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2020-0018>
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *GSA Bulletin*, 67, 597–646.
- Smith, K. G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, 248, 655–668.
- Soni, S. (2017). Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh, India using geospatial technique. *Applied Water Science*, 7, 2089–2102. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0395-2>
- Strahler, A. N. (1952). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38, 913–920.
- Strahler, A. N. (1964). Quantitative geomorphology of drainage basin and channel networks. In V. Chow (Ed.), *Handbook of applied hydrology* (pp. 439–476). McGraw Hill.
- Tabakoğlu, C. (2024). A review: Detection types and systems in remote sensing. *Advanced GIS*, 4(2), 100–105.
- Tarboton, D. G., Bras, R. L., & Rodríguez-Iturbe, I. (1991). On the extraction of channel networks from digital elevation data. *Hydrological Processes*, 5(1), 81–100. <https://doi.org/10.1002/hyp.3360050107>
- Utlü, M., & Özdemir, H. (2018). Havza morfometrik özelliklerinin taşkın üretmedeki rolü: Biga Çayı havzası örneği. *Journal of Geography*, 36, 49–62.
- Yıldız, E., & Er, F. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri: Hibrit çözüm yaklaşımı ile Siirt örneği. *Geomatik*, 8(3), 222–234. <https://doi.org/10.29128/geomatik.122>