

## Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi

İbrahim Dursun<sup>a,\*</sup> , Ahmet Alper Babalık<sup>a</sup> 

**Özet:** Araştırma Burdur Gölü Havzasının morfometrik analiz parametrelerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca morfometrik parametreler yardımıyla havzadaki erozyon durumu değerlendirilmiştir. Araştırmanın veri altyapısı SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)'den elde edilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak oluşturulmuştur. Analizlerde kullanılan akarsu dizinlerinin belirlenmesi ArcGIS 10.2 programı aracılığıyla yapılmıştır. Bu bağlamda; havzanın çizgisel, alansal ve rölyef morfometrelerine ait parametrelerin, morfometrik analiz sonuçlarına bakıldığında; çatalanma oranı 3.42, akarsu uzunluk oranı 3.46, drenaj yoğunluğu 1.25, dere sıklığı 0.95, form faktörü 0.25, gravelius indeksi 2.66, dairesellik oranı 0.14, havza uzunluk oranı 0.28, havza rölyefi 1534, rölyef oranı 0.013, bağlı rölyef 0.29, engebelilik değeri sırasıyla 1.92 ve hipsometrik integral değeri 0.28 olarak bulunmuştur. Genel olarak havzanın infiltrasyon kapasitesinin yüksek, akarsu sıklığı ve taşkın hassasiyetinin düşük olduğu sonucu bulunmuştur. Morfometrik analizler sonucu, sahanın kurak iklim şartları ve zayıf bitki örtüsüne sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak morfometri parametrelerinin büyük çoğunluğunda erozyon riskinin nispeten az olduğu kanısına varılmıştır. Bu sonuçlara göre, morfometrik analizlerin, havzada erozyon durumunu yorumlamada önemli bir araç olduğu söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Havza morfometrisi, Erozyon, Rölyef, Burdur Gölü Havzası

## Evaluation of morphometric parameters and erosion status in Burdur Lake Watershed

**Abstract:** The research was carried out to determine the morphometric analysis parameters of the Burdur Lake Watershed. In addition, the erosion situation in the watershed has been evaluated with the help of morphometric parameters. The data basis of the research was created using the Digital Elevation Model (DEM) obtained from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). The determination of the stream indexes used in the analyzes was made via the ArcGIS 10.2 program. In this context; When the morphometric analysis results of the parameters of the linear, areal and relief morphometries of the watershed are examined; bifurcation ratio 3.42, stream length ratio 3.46, drainage density 1.25, stream frequency 0.95, form factor 0.25, gravelius index 2.66, circularity ratio 0.14, elongation ratio 0.28, basin relief 1534, relief ratio 0.013, relative relief 0.29, ruggedness number respectively 1.92 and the hypsometric integral value was found to be 0.28. In general, it has been found that the infiltration capacity of the watershed is high, stream frequency and flood sensitivity are low. In consequence of morphometric analysis, it was determined that the area had arid climatic conditions and weak vegetation. As a result, it has been concluded that the erosion risk is relatively low in most of morphometry parameters. According to these results, it can be said that morphometric analysis are an important tool for interpreting the erosion situation in the watershed.

**Keywords:** Watershed morphometry, Erosion, Relief, Burdur Lake Watershed

### 1. Giriş

Su, doğada canlıların varlıklarını sürdürebilmelerinde vazgeçilmez bir doğal kaynaktır (Akın ve Akın, 2007; Dursun ve Babalık, 2021). Yeryüzündeki tatlı su miktarı sınırlıdır. Ayrıca su varlıkları, antropojenik etkilerle gerek yüzey gerekse de yeraltı suyu kaynaklarının kirlenmesi gibi olumsuz faaliyetlerden etkilenmektedir. Bu antropojenik baskılardaki artış ve küresel iklim değişiminin de etkisiyle tatlı su kaynakları ciddi bir tehdit altındadır (Raj ve Azeez, 2012; Dalı vd., 2023; Ganie vd., 2023). Artan dünya nüfusu, sanayileşme ve kentleşme ile yoğun bir şekilde kullanılan toprak ve su gibi doğal kaynaklar her geçen gün tükenmekte olup bu kaynakların planlanması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir (Vittala vd., 2008).

Bu bağlamda, on dokuzuncu yüzyıldan bu yana var olan köklü morfometrik yöntemler, havza özelliklerinin tespitinde önemli bir gereklilik olmuştur (Raj ve Azeez, 2012; Dalı vd., 2023; Ganie vd., 2023). Dünya yüzeyinin, şeklinin, yer şekilleri boyutunun ölçümü ve matematiksel analizi olarak tanımlanan morfometri, araştırmacılara havza dinamiklerini anlamada önemli bir yol göstermektedir. Drenaj havzası morfometrisi, havzadaki morfolojik değişikliklere sebep olan havza dinamiklerinin uzun vadeli yönlerini açıklamaya ve tahmin etmeye çalışmaktadır (Agarwal, 1998; Pakhmode vd., 2003; Thomas vd., 2011).

Morfometri terimi ilk kez 1957 yılında Chorley tarafından kullanılmış olup, öncesinde jeomorfometrinin akarsu havzaları üzerindeki temelleri hidroloji bilimcisi Horton tarafından 1932 yılında atılmıştır (Horton, 1945).

✉ <sup>a</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

@ <sup>\*</sup> **Corresponding author** (İletişim yazarı): ibrahimdursun@isparta.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 15.11.2022, **Accepted** (Kabul tarihi): 13.03.2023



**Citation** (Atf): Dursun, İ., Babalık, A.A., 2023. Burdur Gölü Havzasındaki morfometrik parametrelerin ve erozyon durumunun değerlendirilmesi. Turkish Journal of Forestry, 24(1): 25-38.

DOI: [10.18182/tjf.1205157](https://doi.org/10.18182/tjf.1205157)

Horton'un arařtırmalarını bir seviye ũste çıkaran Strahler 1952'de hipsometrik eęriyi tanımlamıřtır. Ayrıca Horton'un ileri sũrdüęü akarsu dizinleme yöntemini de bir sistematige oturtmuřtur. Sonraki yıllarda Chorley (1972), Patton ve Baker (1976), Keller ve Pinter (1996) ve Pike (2009) gibi arařtırmacıların yaptıęı çalıřmalarla akarsu morfometrisi gũnümüzdeki haline gelmiřtir. Morfometrik űzelliklere dayalı havza analizi, havza űzellikleri hakkında eęim, topografya, toprak durumu, akıř űzellikleri, yũzey suyu potansiyeli vb. konularda fikir vermesi nedeniyle havza planlamasında űnemli bir yer tutmaktadır (Chandrashekar vd., 2015). Bu sebeple karar vericilerin, havza űzellikleri ve havzanın içinde meydana gelen hidrolojik sũrelere dair bilgi edinmeleri ve havza karakteristiklerini bilmeleri űnem arz eden bir konudur. Bir havza içindeki hidrolojik sũreler, morfometrik analiz yoluyla uygun řekilde incelenebilen havza űzelliklerinden etkilenir (Singh vd., 2021). Çizgisel, alansal ve relief morfometri űzellikleri doęal kaynakların deęerlendirilmesi ve korunmasının yanı sıra çevresel tehlikelerin deęerlendirilmesi gibi çeřitli çalıřmalarda kullanılabilir (Obeidat vd., 2021; Sutradhar ve Mondal, 2023).

Ŭlkemizdeki farklı havzalara ait havza morfometrisinin belirlenmesi ile ilgili yapılmıř alıřmalar (Utlu ve Ŭzdemir, 2018; Ŭdeker ve Tũrkoęlu, 2020; İmamoęlu, 2020; Yũksek vd., 2020; Cořkun ve Ŭztũrk, 2021; Gűrgũlũ ve Gűl, 2021; Uzun, 2021; Esen, 2022) bulunmakla beraber bu çalıřmaların sayısı yeterli dũzeyde deęildir. Havzaların morfometrik analizi sonucunda elde edilen bilgiler, su kaynakları yűnetiminde, toprak erozyonunun korunmasında, heyelan duyarlılık haritalamasında, yeraltı suyu potansiyelinin deęerlendirilmesinde ve havzaların űnceliklendirilmesinde belirleyici bir araç olarak kullanılabilir (Singh vd., 2021).

Havzadaki fizyografik etmenler CBS (Coęrafi Bilgi Sistemleri) yardımıyla da hesaplanıp, harita çıktısına dűnűstűrűlebilmektedir. Bu baęlamda CBS'nin uzaktan algılama ile kombinasyonunun, su kaynaklarının geliřtirilmesi ve yűnetiminin yanı sıra havza deęerlendirmesi ve űnceliklendirme için yararlı bir araç olduęu sűylenilebilir (Pandey vd., 2011; Ganie vd., 2023).

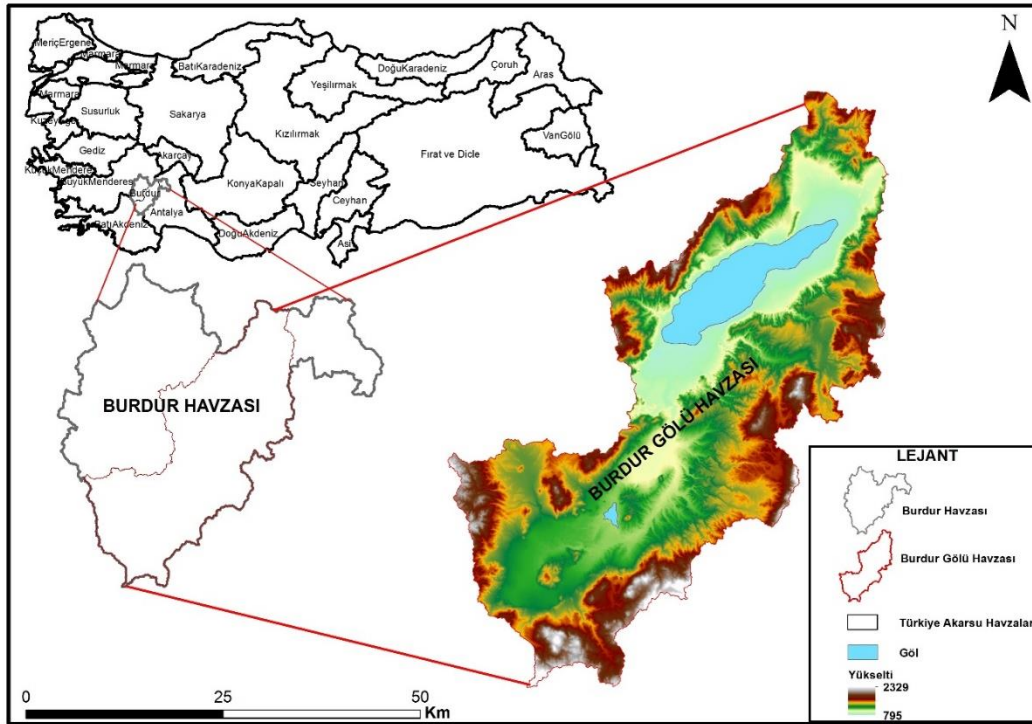
CBS, havza morfometrisi çalışmalarında analizlerin ve değerlendirmelerin yapılabilmesi bakımından kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Dolayısıyla hem morfometrik parametrelerin hesaplanması hem de yapılan analiz ve değerlendirmelerin havzadaki mekűnsal dağılımın gerçekleştirmesi açısından bu tűr çalışmalarda bűyűk kullanım kolaylığı sunmaktadır. Bu alışmada Burdur Gűlũ Havzasının morfometrik parametreleri hesaplanarak bunların havzadaki erozyon durumu ile ilişkisi belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve yűntem

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çalışma alanı

Burdur Gűlũ Havzası, Tũrkiye'nin gűneybatı kesiminde, Batı Akdeniz Bűlűmű'nde, Burdur Havzası içinde bir alt havza olup  $37^{\circ} 8' - 38^{\circ} 2'$  kuzey enlemleri ile  $29^{\circ} 39' - 30^{\circ} 33'$  doęu boylamları arasındadır. Burdur Gűlũ Havzası, Burdur Merkez, Kemer, Karamanlı ve Tefenni ilçeleri ile Isparta'nın Keçiborlu ve kısmen Gűnen ilçesi sınırları içerisindedir. Havzanın alanı yaklařık 320000.0 ha'dır (Ataol, 2010) (řekil 1).

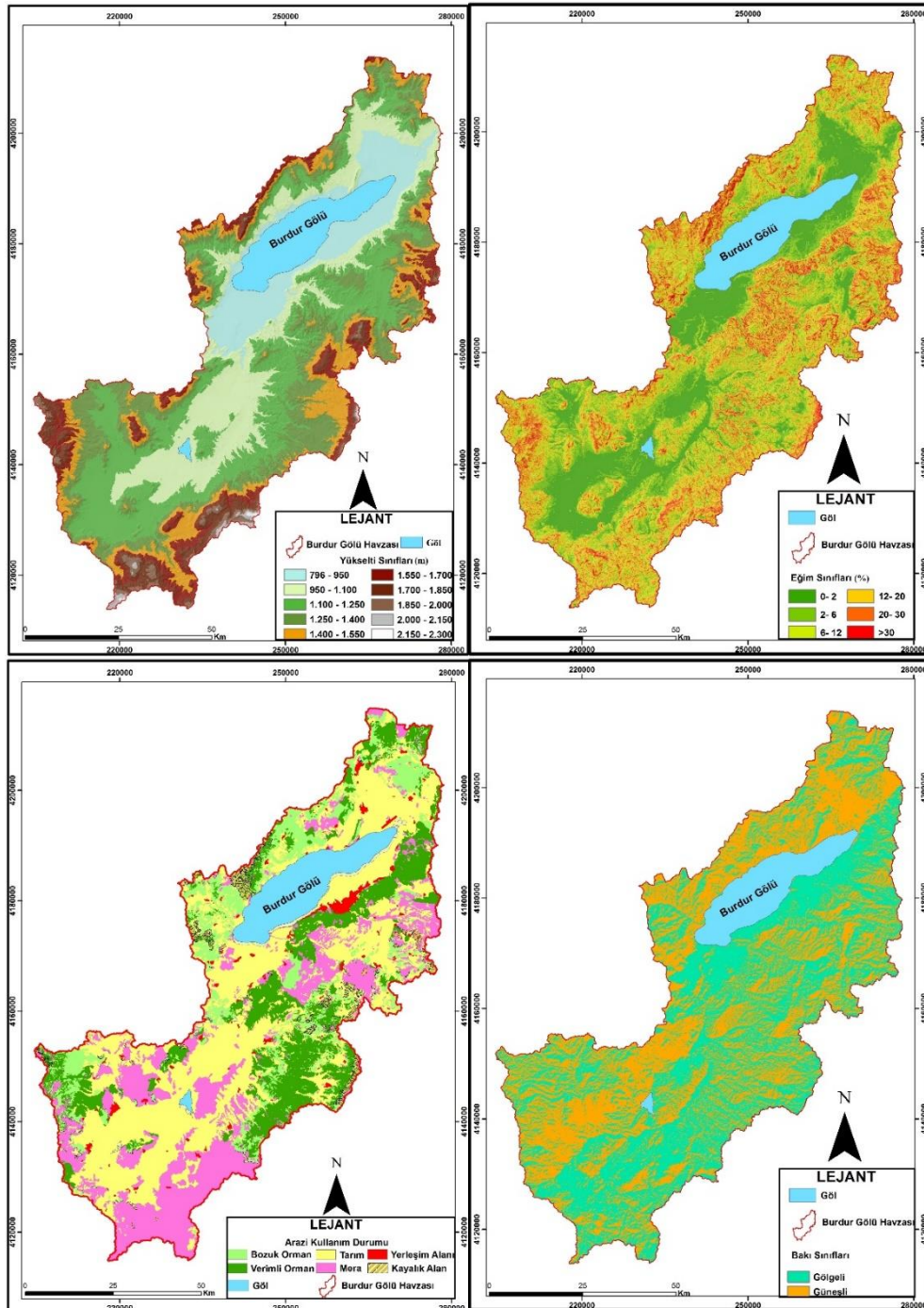


řekil 1. Burdur Gűlũ Havzası konumu

Burdur Gölü Havzasının ortalama yüksekliği yaklaşık 1224 m olarak belirlenmiştir. Yükselti haritasına bakıldığında, havzanın en düşük noktası 795 m ve en yüksek noktası ise 2329 m'dir. Burdur Gölü Havzasının eğim durumunu ortaya koymak için ArcGIS ortamında eğim haritası oluşturulmuştur (Dubey vd., 2015). Burdur Gölü Havzasındaki eğim sınıfları haritasına göre ortalama eğim %10.1 olarak hesaplanmıştır. Eğim, yüzeysel akışın oluşumunda, dere akımına ait hidrografın şeklinin belirlenmesinde ve pik akımın oluşumunda önemlidir.

Havzadaki bakı grupları gölgeli ve güneşli bakı olmak üzere 2 sınıfa ayrılmıştır. Bu sınıfların alansal dağılımına bakıldığında gölgeli bakı 158896.32 ha ve güneşli bakı ise 159581.98 ha olarak yer almaktadır. Arazi kullanımının şekli

ve toprağı örten bitkilerin durumu, toprak kayıplarını etkileyen en önemli faktörler arasındadır. Bitki örtüsü, yüzeysel akışı azaltarak toprağı erozyona karşı korumaktadır. Bitki ile kaplı arazide, yağmur damlalarının toprağı dövme enerjisi azalmaktadır. Ayrıca bitki örtüsü, toprak yüzeyindeki sedimentin akışını değiştirerek fiziksel bir bariyer görevi görmektedir (Raya vd., 2006; Durán vd., 2006). Erozyonun zararlarını en aza indirebilmek için farklı arazi kullanım durumlarına sahip alanların erozyon değerleri belirlenmelidir. Belirlenen erozyon değerleri ile arazi kullanımlarının sürekliliği ve sürdürülebilirliği sağlanabilmektedir. Burdur Gölü Havzasının yükselti, eğim, arazi kullanımı ve bakı sınıfları haritaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Burdur Gölü Havzasının yükselti, eğim, arazi kullanımı ve bakı sınıfları



## 2.2. Yöntem

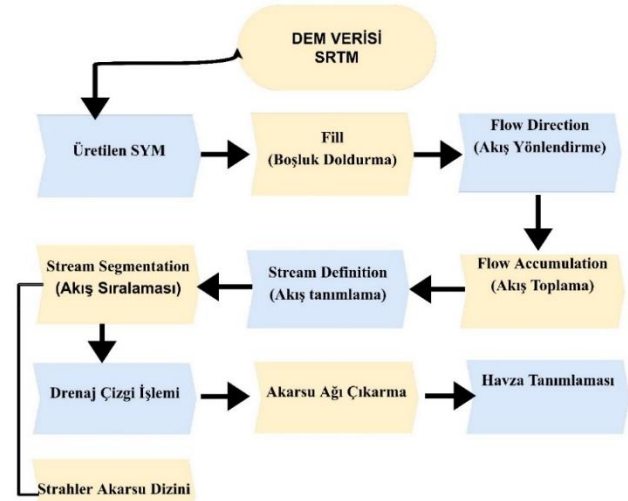
Araştırma alanını oluşturan havzanın sınırı ve morfolometrik analiz parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan veriler, ArcGIS 10.2 programıyla yapılmıştır. Bu çalışmada, SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) uzaktan algılama verisi ile SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) üretilmiştir. SRTM verileri ile üretilen SYM, topoğrafik haritaların sayısallaştırılmasında kullanılan modeller gibi kullanılmaktadır (ESRI, 2004; Çoban ve Eker 2009).

Burdur Gölü Havzası, SYM kullanılarak ArcHydro modülü aracılığıyla Strahler (1964) metoduna göre hiyerarşik sıralama yöntemine göre oluşturulmuştur (Özhan, 2004; Görgülü ve Göl, 2021). ArcGIS programında öznetelik tablolarından yararlanılarak dere sayıları ve akarsu uzunlukları belirlenmiştir (Şekil 3).

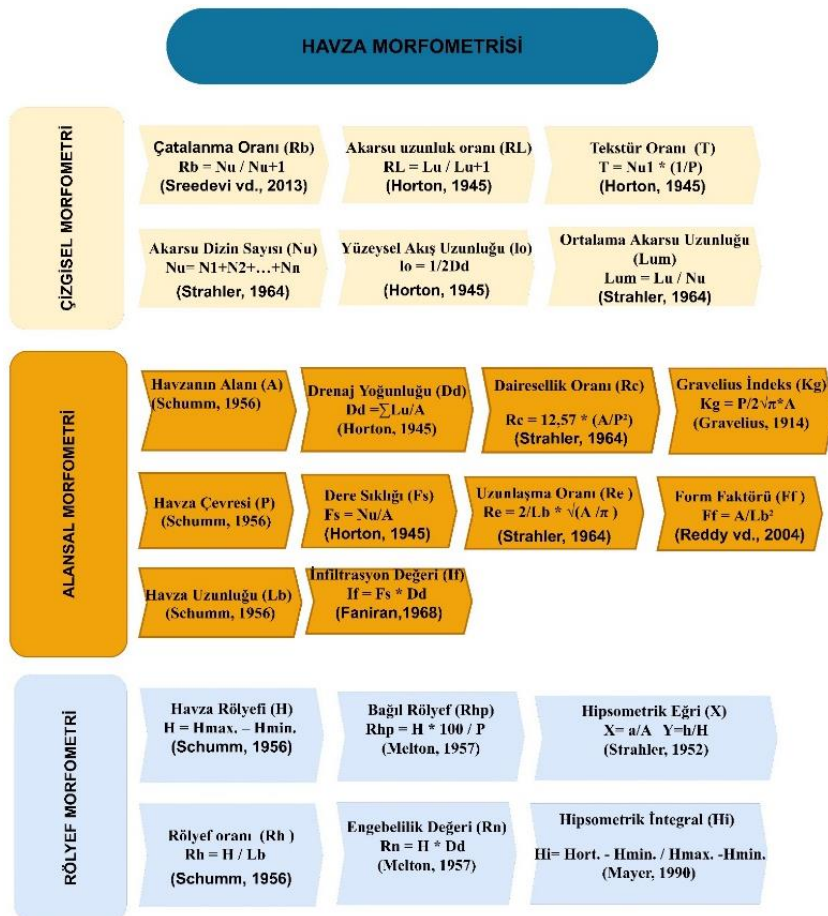
SYM'ler akarsu ağının üretiminde sıklıkla kullanılan verilerdir. Bu verilerin hidroloji analizleri yapılmadan önce uyumlu hale gelmesi için çeşitli aşamalardan geçmeleri gerekmektedir. Bu bağlamda üretilen SYM'deki boş pikseller CBS yöntemleri ile doldurulmuş ve aşağıdaki işlem adımları izlenerek hem havza sınırı hem de drenaj ağı oluşturulmuştur (Şekil 3). Akarsu ağının oluşturulmasında Jenon ve Domingue (1988) tarafından geliştirilen D8 yöntemi kullanılmıştır.

Akarsu uzunluğu eşik değeri belirlenirken akış toplama (Flow accumulation) 5000'den büyük komutu girilerek derelere bakılmış sonrasında ise ArcMap'ın Mekansal Analiz (Spatial Analyst) aracı içinde ("Con" sekmesinde) 5000

piksel olarak belirlenmiştir. Ayrıca akarsular, aslına uygun bir şekilde araştırma sahasına ait topografik paftalara ve uydu görüntülerine bakılarak kontrol edildikten sonra sayısallaştırılmıştır. Çalışma kapsamında Burdur Gölü Havzasında çizgisel, alansal ve rölyef morfolometrikleri analiz edilmiş ve formülleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Akarsu ağını ve havza sınırını belirleme akış çizelgesi



Şekil 4. Morfolometrik parametrelerin belirlenmesinde kullanılan formüller

### 3. Bulgular ve tartışma

#### 3.1. Çizgisel morfometri özellikleri

Bu morfometri parametresi temel olarak, topografyadan etkilenen drenaj ağının özellikleri ile ilgilidir. Bu çalışmada incelenen çizgisel morfometri özellikleri; akarsu dizinleri, akarsu dizin sayısı (Nu), akarsu uzunluğu (Lu), ortalama akarsu uzunluğu (Lum), çatallanma oranı (Rb), akarsu uzunluk oranı (Rl), yüzeysel akış uzunluğu (Io) ve tekstür oranından (T) oluşmaktadır (Radwan vd., 2017). Bu parametrelerin her biri için elde edilen sonuçların ayrıntılı açıklaması aşağıda verilmiştir.

##### 3.1.1. Çatallanma oranı

Çatallanma oranı, verilen herhangi bir sıradaki akış sayısının bir sonraki yüksek sıradaki akış sayısına oranını ifade etmek için kullanılır (Horton, 1945). Havzanın şeklini, akış durumunu ve taşkın eğilimini gösteren yararlı bir ölçüdür. Yüksek çatallanma oranı, kısa konsantrasyon süresini ve taşkın olasılığının yüksek olacağını gösterir (Bogale, 2021). Uzun havzalarda düşük Rb değerine sahipken dairesel havzalar yüksek Rb değerine sahiptir. Yangchan vd. (2015)'ye göre, herhangi bir havza 3.0 ila 5.0 aralığında çatallanma oranına sahipse o havzanın jeolojik yapılar içindeki drenaj düzeni bozulmamaktadır. Çalışmada Burdur Gölü Havzasının Rb değeri 3.42 olarak hesaplanmıştır (Şekil 5). Bu değer havzanın düşük sızma kapasitesine ve yüksek debiye sahip olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Ayrıca havzanın jeolojisi homojen bir yapıya sahiptir.

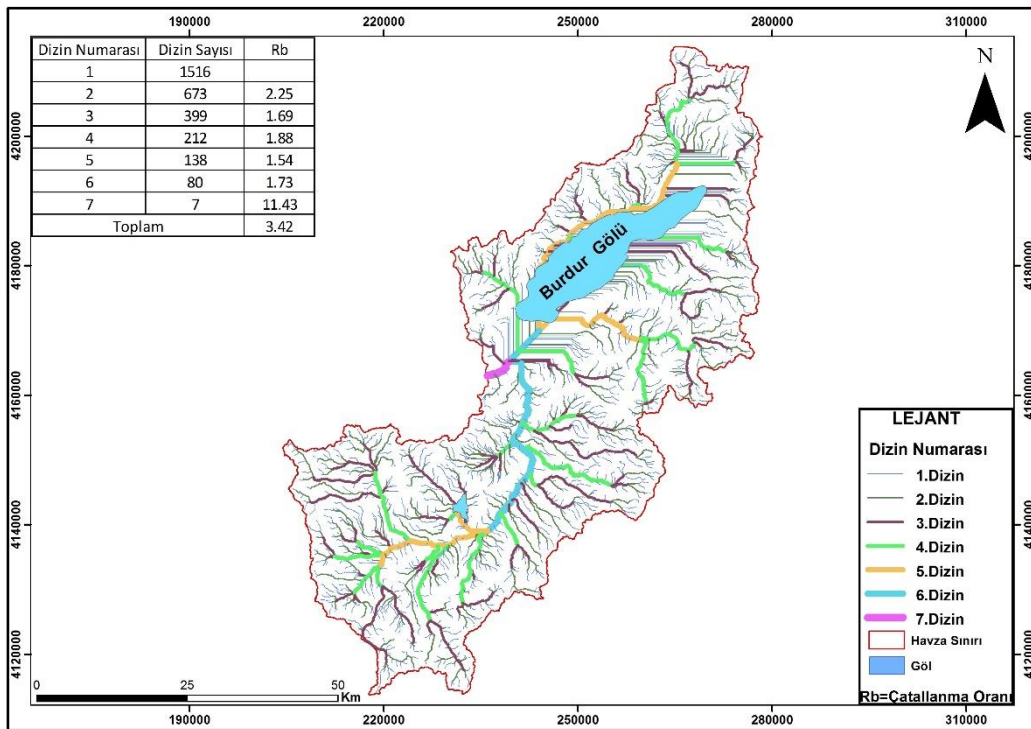
Birinci ve ikinci dereceli dere sayısı bulunan havzaların çatallanma oranı, daha yüksek derecedeki derelerin çatallanma oranından daha yüksek olmaktadır. Bu durum erozyon olgusuna neden olan süreçlerin işaretçisidir (Verstappen, 1983; İmamoğlu, 2020). Ayrıca, toprak erozyonu eğilimi, daha yüksek çatallanma oranı değeri ile doğrudan ilişkilidir (Gajbhiye vd., 2014).

##### 3.1.2. Akarsu uzunluk oranı

Bu parametrenin belirlenmesinde akarsu dizinleri temel olarak alınmaktadır (Horton, 1945; Strahler, 1964). Dizin segment uzunluklarının, bir üst dizin segment uzunluğuna oranı ile hesaplanır ve havza için ortalama akarsu uzunluk oranı (Rl) bulunur (Turoğlu, 1997).

Strahler (1952)'e göre derecelendirilen akarsu dizinlerinin uzunlukları dikkate alınarak uygulanan formül sonucunda havzada Rl 3.46 olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). Bu oran, yüzeysel akış ve havzada meydana gelebilecek erozyon için önemlidir (Zaidi, 2011). Ardışık akarsular arasındaki Rl düzeni, eğim ve topografik koşullardaki farklılıklara bağlı olarak değişmektedir (Sreedevi vd., 2004).

Akarsu uzunluk oranının nispeten düşük olması, akarsuyun kolayca drene olabileceği uzunlamasına havzalarda görülen bir durumdur (Özdemir, 2011). Dizinler arası ortalama akarsu uzunlukları incelendiğinde, üst dizinlere doğru ortalama uzunluğun artması Burdur Gölü Havzasının uzunlamasına bir havza özelliği taşıdığını göstermektedir.



Şekil 5. Burdur Gölü Havzası çatallanma oranı

Yüksek RI değeri, akışa geçen yüzeysel sularının yüksek miktarda su taşıdığını ve yüksek taşkın potansiyelini ifade ederken, düşük RI değeri daha az miktarda taşınan suyu ve düşük taşkın potansiyelini ifade eder. Burdur Gölü Havzası akarsu uzunluk oranına göre yüksek sızma eğilimine sahiptir. Böylelikle taşkın ve erozyon riskinin az olduğu söylenebilir.

### 3.1.3. Yüzeysel akış uzunluğu

Drenaj yoğunluğunun yarısı yüzeysel akış uzunluğuna eşittir. Drenaj havzasının arazi gelişimini etkileyen en önemli değişkenlerinden biri de yüzeysel akış uzunluğudur. Yüzeysel akışın uzunluğu ( $l_0$ ), çoğunlukla alanın hem hidrolojik hem de fizyografik yapılarından etkilenir (Horton, 1945; Gebre vd., 2015).

Yüzeysel akış uzunluğu hesaplamasında  $l_0$ 'nun üç sınıfı vardır. Bu değerler; düşük değer ( $< 0.20$ ), orta değer ( $0.20 - 0.30$ ) ve yüksek değer ( $> 0.30$ ) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Yüksek bir ( $l_0$ ) değeri, eğimin az ve akış yolunun uzun olduğunu daha fazla sızma ve daha az yüzeysel akışın oluştuğu anlamına gelir (Chandrashekar vd., 2015; Rai vd., 2017). Yüzeysel akış uzunluğunun toprak erozyonu üzerinde doğrudan bir etkisi vardır (Puno ve Puno, 2019). Burdur Gölü Havzasının yüzeysel akış uzunluğu 0.40 olarak bulunmuş olup, "yüksek değer" sınıfına girmektedir. Böylelikle daha az yüzeysel akış olması nedeniyle erozyon riskinin düşük olabileceği söylenebilir.

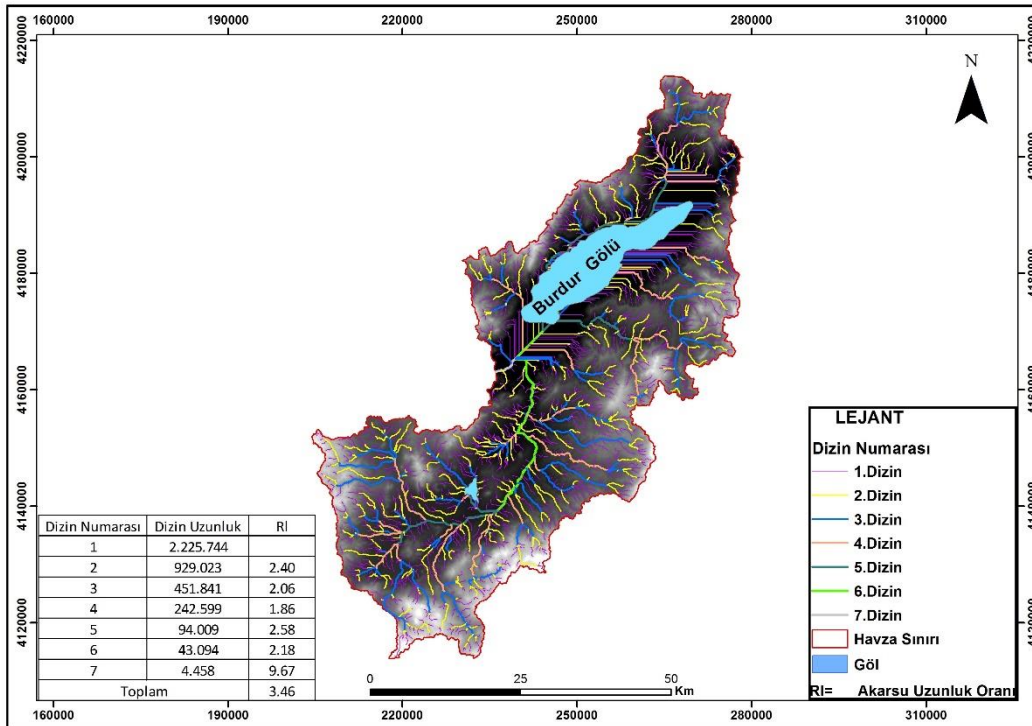
### 3.1.4. Tekstür oranı

Strahler yöntemine göre belirlenmiş 1. dizindeki akarsu kollarının toplam sayısının, havzanın çevresine oranı olarak tanımlanmaktadır (Horton, 1945). Smith (1950) tarafından tekstür oranı, çok kaba ( $< 2$ ), kaba (2-4), orta (4-6), ince (6-8) ve çok iyi ( $> 8$ ) olmak üzere beş farklı sınıfa ayrılmıştır. İklim, yağış, bitki örtüsü, kaya ve toprak tipi vb. doğal faktörlere bağlıdır. Burdur Gölü Havzasının tekstür oranı 2.84 değeri ile kaba olarak sınıflandırılmıştır.

Düşük drenaj yoğunluğu kaba bir tekstür oluşturmaktadır. Bu durumda, yüzeysel akışın az ve infiltrasyonun yüksek olduğu anlamına gelmektedir (Strahler, 1964; Youssef ve Doumit, 2023). Burdur Gölü Havzasının tekstür oranına bakıldığında erozyon riskinin nispeten az olduğu düşünülmektedir.

### 3.2. Alansal morfolometri özellikleri

Alansal morfolometri parametreleri, havza üzerine düşen yağış sularının toplanması ve yüzeysel akışın birikmesi bakımından oldukça önemli bir etkiye sahiptir (Görgülü ve Göl, 2021). Alansal morfolometride havzanın alanı, çevresi ve uzunluğu ((A), (P), (Lb)), drenaj yoğunluğu (Dd), akarsu sıklığı (Fs), infiltrasyon değeri (If), form faktörü (Ff) ve dairesellik oranı (Rc), havza uzunluk oranı (Re) ve gravelius indeksi (Kg) parametreleri hesaplanmıştır.



Şekil 6. Burdur Gölü Havzası akarsu uzunluk oranı

### 3.2.1. Havzanın alanı ve çevresi

Havza alanı, havza sınırında yer alan toplam alanı ifade etmektedir. Havzanın alanı (A), havzanın genişliği (B) ile havzanın uzunluğunun (L) çarpılması ile hesaplanmaktadır. Bir akarsuyun su potansiyelini ve akışını etkilemektedir (Özhan, 2004; Bharath vd., 2021).

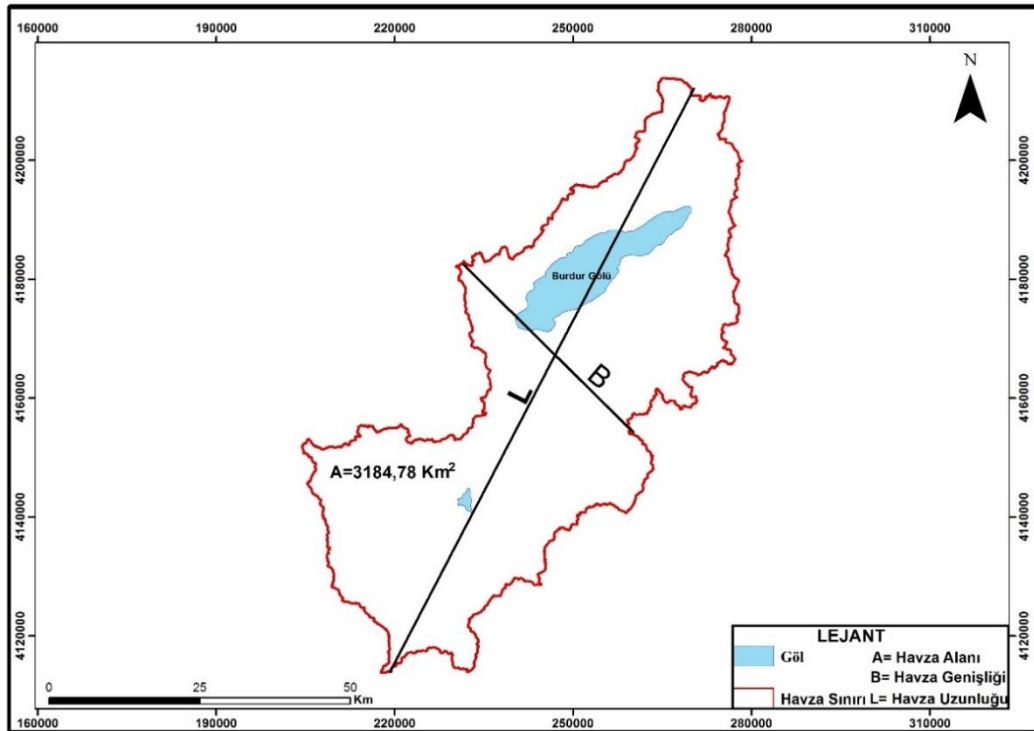
Havza alanı, aynı zamanda oldukça büyük ölçekli haritalardan planimetre ile belirlenen ve kilometrekare olarak ifade edilen, havza sınırının yatay bir düzleme yansıtılmasıyla elde edilen kapalı eğrinin alanı olarak tanımlanmaktadır. Havza alanı hesaplanırken ArcGIS kullanılarak su ayırım çizgileri oluşturulduktan sonra CBS ortamına aktararak sayısallaştırma işlemleri yapılmıştır (Şekil 7). Burdur Gölü Havzasının toplam alanı 318478.30 ha olarak hesaplanmıştır. Havza çevresi P ile ifade edilmekte olup, Burdur Gölü Havzasının çevresi 532.865 km olarak hesaplanmıştır. Havza alanı ve çevresi morfometri hesaplamalarında kullanılan en temel parametrelerdendir. Bu parametreler formüllerde yerine koyularak alansal, çizgisel ve rölyef morfometrileri belirlenmektedir.

### 3.2.2. Drenaj yoğunluğu

Derelerin toplam uzunluğunun, havza alanına oranlanmasıyla bulunmaktadır (Horton, 1945). Diğer bir ifadeyle drenaj yoğunluğu, havzada birim alandaki ortalama dere uzunluğuna karşılık gelen bir morfometri parametresidir. Akış gelişimini ve aralığını gösterir. Bir havzanın drenaj yoğunluğu toprak, iklim, rölyef, vadi yoğunluğu, kaynak alanı ve peyzaj gibi faktörlerden etkilenmektedir (Potter, 1957). İklim koşullarının, dere uzunluğuna yaptığı etkiyi göstermekte olan bu parametre 0.5-2.5 km/km<sup>2</sup> arasında değişmektedir (Özhan, 2004).

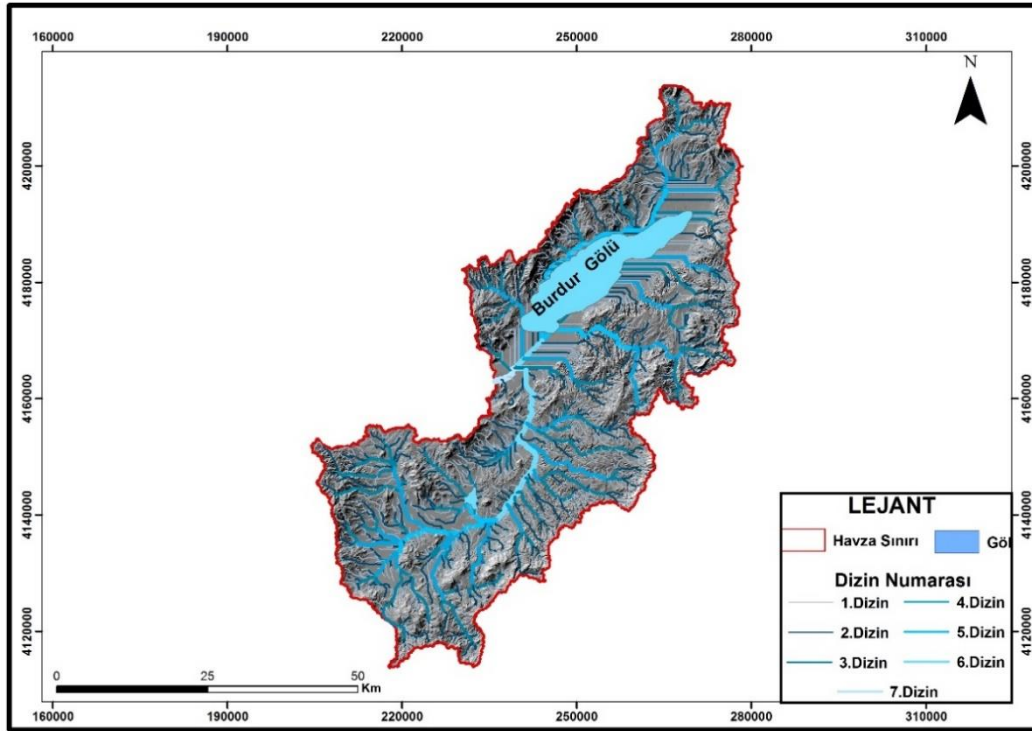
Havzanın drenaj yoğunluğu eğer küçük bir değer alırsa bu değer iyi bir bitki örtüsü ile yağışın yüzeysel akışa geçmeden önce tutulduğunu göstermektedir. Böylelikle yüzeysel akış toprak tarafından süzülür. Drenaj yoğunluğu yüksek olan bir havza ise yüzeysel akış ve erozyon miktarı artmaktadır (Bhattacharya vd., 2019; Koralay ve Kara, 2021). Burdur Gölü Havzasının drenaj yoğunluğu "1.25" olarak bulunmuştur (Şekil 8). Bu bağlamda düşük drenaj yoğunluğunun olması, yağışın yüzeysel akışa geçmeden önce bitki örtüsü ile tutulduğunu ve böylelikle erozyon riskini düşürdüğü söylenebilir.

Ayrıca drenaj yoğunluğu, havza morfometrisi ile erozyon süreci arasında bir bağlantı sağlamaktadır (Bates, 1981). Düşük drenaj yoğunluğu, yoğun bitki örtüsü ve düşük rölyef altında oldukça dirençli geçirgen toprak altı malzemesi alanına neden olmaktadır (Banerjee vd., 2017).



Şekil 7. Burdur Gölü Havzasının alanı





Şekil 8. Burdur Gölü Havzasının drenaj yoğunluğu

### 3.2.3. Dere sıklığı

Bir havzanın dere sıklığı (Ds), toplam dere sayısı (Ns) ile havza alanının (A) oranlanmasıyla bulunmaktadır (Horton, 1945). Birim alan başına akış sayısı, drenaj yoğunluğu ile birlikte bir alandaki litolojinin karakterini ortaya koymaktadır. Burdur Gölü Havzasının dere sıklığı oranı 0.95 olarak bulunmuştur (Şekil 9).

Dere sıklığında iklim, jeomorfolojik özellikler, bitki örtüsü, zaman ve insan etkileri gibi çeşitli faktörlerin etkisi bulunmaktadır (Elbaşı, 2015). Çok sayıda akarsu, zeminin geçirgen olmadığını, su havzası rölyefinin yüksek olduğunu ve bitki örtüsünün az olduğunu gösterebilir. Bu değişkenin düşük bir değer alması litolojik olarak geçirgen bir yapının olduğunu göstermektedir. Dere sıklığı 3.5'ten büyükse çok yüksek sınıfta olmaktadır (Özhan, 2004; Karabulut ve Özdemir, 2019; Koralay ve Kara, 2021). Dere sıklığı, toprak erozyonu ile doğru orantılıdır. Çünkü daha fazla yüzey alanının kaplanması, maksimum toprak kaybına neden olur (Patel vd., 2012) (Şekil 9). Düşük dere sıklığı oranı, yüksek geçirimsizlik, alçak rölyef özelliklerine karşılık gelmektedir (Soni, 2017).

Düşük dere sıklığı daha az yüzeysel akışa neden olduğundan erozyon riskini azaltmaktadır (Patel vd., 2012). Burdur Gölü Havzasında da dere sıklığına göre erozyon riskinin az olacağı tahmin edilmektedir.

### 3.2.4. Form faktörü

Havza alanı ile havza uzunluğunun karesinin oranlanmasıyla hesaplanmaktadır (Horton, 1945). Dere akışı ve su havzasının şekliyle doğrudan ilişkili olan bir havza karakteristiğidir (Vijith ve Satheesh, 2006). Burdur Gölü Havzasının form faktörü 0.25 olarak hesaplanmıştır.

Araştırma alanının genişliği, havza uzunluğundan daha küçük olmasıyla form faktörü 1'den küçük değer almıştır.

Böylelikle havzadaki şiddetli yağışların pike ulaşma süresi, aynı alana sahip geniş havzalara göre daha kısa olduğu sonucu bulunmaktadır. Çünkü suların toplanma zamanı daha kısa sürede meydana gelmektedir.

Form faktörü düşük, uzun bir şekle sahip bir su havzası, uzun zaman periyotları boyunca daha düz akış pikini belirtmektedir. Böylesi uzun bir şekle sahip havzanın taşkın akışının yönetimi, zamanla daha kolay olmaktadır (Banerjee vd., 2017). Form faktörü en düşük olan alanların düşük erozyon ve sediment taşıma kapasitesi özellikleri gösterdiği söylenebilir (Soni, 2017).

Form faktörünün 0'a yaklaşması havzanın uzun ve suyu geç topladığını böylelikle akış hızının yavaş olduğunu ve zayıf derelerin havzada var olduğunu göstermektedir. Havzanın form faktörünün 0.25 bulunduğu düşünüldüğünde bu sonuca bakarak havzada erozyon şiddetinin az olduğu ve taşkın ihtimaline sebep olacak bir tehlikenin var olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Aynı zamanda form faktörü, taşkın oluşumu, erozyon derecesi ve bir havzadaki sediment yükünün taşıma kapasiteleri için önemli bir göstergedir (Soni, 2017).

### 3.2.5. Dairesellik oranı

Havza şeklinin sayısal bir ifadesi olan dairelilik oranı, havza alanının havza ile aynı çevreye (P) sahip daireye bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Dairesellik oranı genel bir ifadeyle boyutsuz bir orandır. Dere sıklığı, dere uzunluğu, jeolojik yapı, bitki örtüsü, iklim, havza rölyefi ve eğim gibi faktörlerden etkilenmektedir (Joji vd., 2013). Fakat genellikle çeşitli derecelerdeki akarsuların uzunluk, frekans ve eğiminden daha çok etkilenmektedir. Bir havzanın düşük, orta ve yüksek dairelilik oranı değerlerine sahip olması, havzanın sırasıyla gençlik, olgunluk ve yaşlılık evrelerini göstermektedir (Miller, 1953; Rao, 2009). Dairesellik oranının küçük bulunduğu havzalarda yüzeysel akış daha

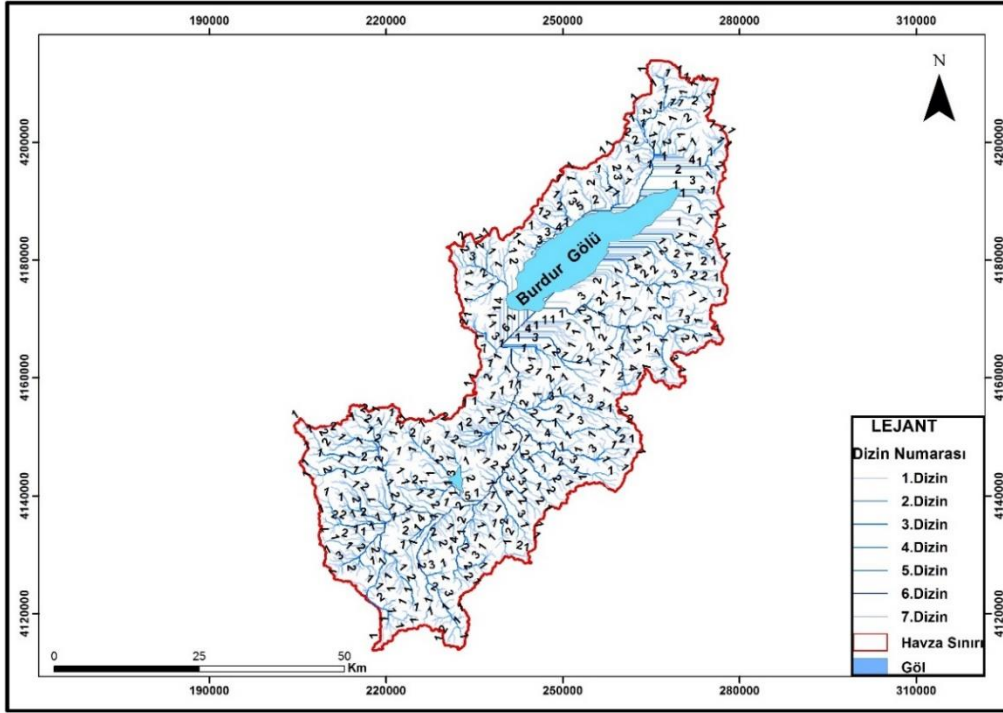


yavaş olmakta ve böylelikle erozyon ihtimalinin azaldığı bilinmektedir (Magesh, 2011).

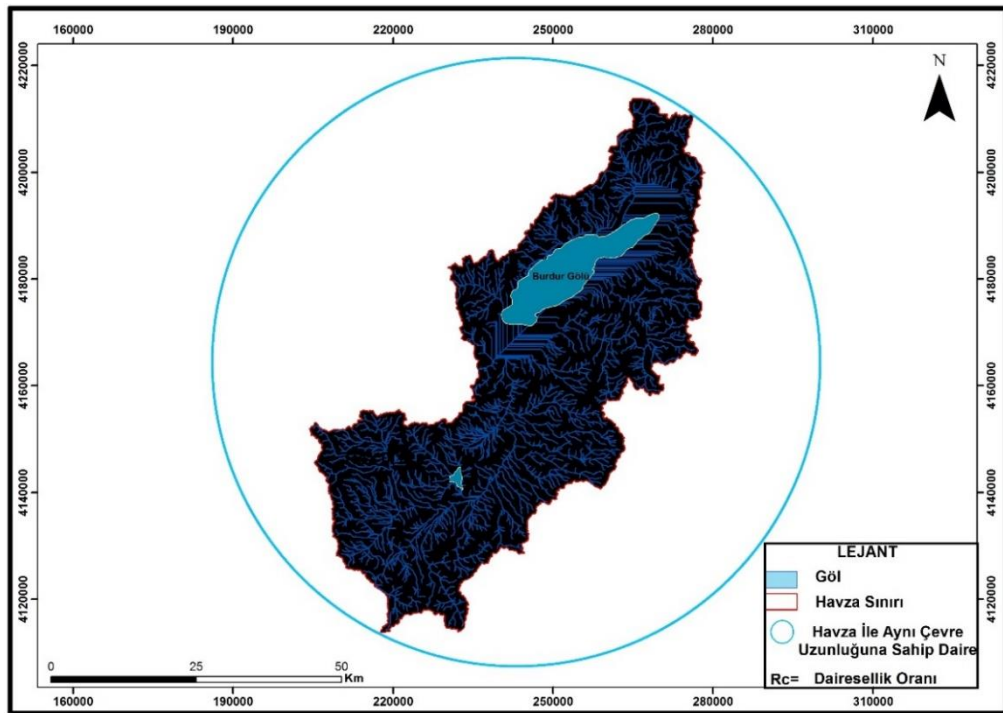
Dairesellik oranı, genellikle eğimden ziyade çeşitli sıralardaki akışların uzunluk, frekans ve gradyanından etkilenmektedir. Burdur Gölü Havzasının dairesellik oranı 0.14 olarak hesaplanmıştır (Şekil 10).

Ödeker ve Türkoğlu (2020)'nin Sabuncular Deresi Havzasında yaptığı bir morfometri araştırmasında havzanın

dairesellik oranı 0.37 olup, düşük bir değere sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Bu değer düşük olması havzanın dar ve uzun şekilde olması ile ilişkilendirmiş olup, bu sonuçlar araştırmada bulunan dairesellik oranı ile benzerlik göstermektedir. Bu değer 1'e yaklaştığı oranda havzaların dairesel olacağı bilindiğinden, Burdur Gölü Havzasının bu değere nispeten uzak olmasıyla uzunlaşmasına havza özelliğinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Burdur Gölü Havzasının dere sıklığı



Şekil 10. Burdur Gölü Havzası dairesellik oranı

### 3.2.6. Havza uzunluk oranı

Maksimum uzunluğu havzanınkine eşit olan drenaj havzası ile benzer alana sahip çemberin çapı arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır (Schumm, 1956). Burdur Gölü Havzasının uzunlaşma oranı 0.28 olarak bulunmuştur. Bu değer havza şeklinin dar veya geniş olduğunun bir göstergesidir. Bölgenin çeşitli iklimsel ve jeolojik koşullarına bağlı olarak, genellikle 0.6-1.0 arasında değişmekte olup bu oranın 1.0'e yaklaşması alçak topoğrafik yapıyı, 0.6-0.8 arasındaki değerler genellikle dik ve sarp bir topoğrafyayı temsil etmektedir (Strahler, 1964). Bu oran düşük bir değer aldığı zaman erozyon ve sedimet yükü hassasiyetleri artmaktadır (Reddy vd., 2004). Havza uzunluk oranı ile erozyon arasında ters orantı vardır (Singh vd., 2021). Bu duruma göre Burdur Gölü Havzasında sedimet yükü hassasiyetinden bahsetmek mümkündür.

### 3.2.7. İnfiltrasyon değeri

Drenaj yoğunluğu ile drenaj frekansının çarpımı sonucunda elde edilen değer olarak tanımlanır. Bir havzanın infiltrasyon potansiyelini anlamamıza yardımcı olmaktadır. Bu değer ne kadar yüksek bulunursa, yüzeysel akışın o kadar yüksek olduğu söylenebilir. İnfiltrasyon hızı hakkında fikir vermekte ve havzadaki basit geçirirli litolojiyi ve yüksek rölyefli alanları ortaya koymaktadır (Umrıkar, 2017). Arulbalaji ve Gurugnanam (2017) tarafından yapılan bir morfolometri araştırmasında infiltrasyon değerini 1.23 olarak bulunmuştur. Bu değerle yüzeysel akışın nispeten orta olduğu belirtilmiştir. Burdur Gölü Havzası için de bu durum geçerlidir.

İnfiltrasyon değeri, havzanın infiltrasyon karakterinin gözlemlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Havzanın yüzeysel akışı ile doğrudan ilişkilidir. İnfiltrasyon değerinin artmasıyla yüzeysel akış artmaktadır. İnfiltrasyon değerinin azalması ile de erozyon riski azalmaktadır (Rather vd., 2017). Burdur Gölü Havzasında infiltrasyon değeri 1.19'dur. Bu sonuç havzada iyi infiltrasyon ve daha az yüzeysel akış olduğunu göstermektedir.

### 3.2.8. Gravelius indeksi

Havzalarının şekillerini açıklamada yardımcı olan bir havza morfolometri indeksidir. Kg değerinin küçük olduğu havzaların dairesel görünümde olduğu sonucu çıkmaktadır. Havza şekilleri akım hidrograflarını etkilemektedir. Uzun havzaların hidrografi düşük ve devamlı iken, dairesel havzalar ise pik hidrograf özelliği göstermektedir (Özdemir, 2011). Burdur Gölü Havzasının gravelius indeksi değeri 2.66 olarak hesaplanmıştır. Bu parametre havza alanı ve uzunluğu ile dolaylı olarak ilişkili olmakla beraber toprak aşınabilirliğini etkilemektedir. Gravelius indeksinin düşük değer alması o havzanın uzunlaşmasına bir havza ve erozyon riskinin az olduğunu göstermektedir. Gravelius indeksinin yüksek değer alması ise yüksek erozyon riski olacağını göstermektedir (Patel vd., 2015). Bu durum Burdur Gölü Havzasında erozyon riskinin düşük olduğunu göstermektedir.

### 3.3. Rölyef Morfolometri Özellikleri

Burdur Gölü Havzasının reliyef morfolometrisini belirleme amacıyla SYM üzerinde aşağıdaki rölyef morfolometrisi

analizleri yapılmıştır. Bunlar; havza rölyefi (H), rölyef oranı (Rh), bağıl rölyef (Rhp) ve engebelilik değeri (Rn), hipsometrik eğri (Hc) ve integral (Hi) parametreleri hesaplanmıştır. Bu rölyef morfolometri parametreleri havzanın eğim ve yükseklik değerlerinin bulunduğu, farklı özelliklerin belirlenmesine yönelik olarak uygulanmaktadır (Avcı ve Sunkar, 2015).

#### 3.3.1. Havza rölyefi

Mekansal değişimi göstermek için havza rölyefi hesaplanmaktadır (Rao vd., 2011). Havza rölyefi, bir havzanın en düşük ve en yüksek noktası arasındaki maksimum dikey mesafedir. Bu değer akarsu eğiminden etkilenmekte olup taşkın düzenini ve taşınabilecek sedimentin miktarını etkilemektedir (Hadley ve Schumm, 1961).

Dali vd. (2023) tarafından yapılan bir çalışmada havza rölyefi 1514 m olarak bulunmuştur. Bu değer dik eğim ve yüksek rölyef anlamına gelmektedir. Bir havzada rölyef ne kadar yüksekse, havza alanındaki erozyon o kadar güçlüdür (Patton, 1988). Burdur Gölü Havzasının havza rölyefi 1534 olarak bulunmuş ve bu değere göre erozyon riskinin yüksek olabileceği söylenebilir.

#### 3.3.2. Rölyef oranı

Havzanın ana drenaj hattına paralel en uzun boyutu boyunca havza rölyefi veya toplam rölyefin yatay mesafeye oranıdır (Schumm, 1956). Rölyef oranı bir drenaj havzasının akış hızı, eğim dikliği ve erozyon durumu hakkında fikir vermektedir (Alam vd., 2021). Rölyef oranının yüksek olması ani taşkın olasılığını artıran bir faktördür (Patton, 1988). Burdur Gölü Havzasının rölyef oranı 0.013 olarak hesaplanmıştır.

Rölyef oranı bir havzada 0'a yaklaşan bir değerde ise havza arazisi düze yakın olmaktadır. Bu oranın artması erozyonun ve suyun aşındırma gücünün artacağını gösterir.

Havzanın yüksek bir rölyef oranına sahip olması yüksek toprak erozyonu riski altında olduğu anlamına gelmektedir (Magesh vd., 2011). Burdur Gölü Havzası rölyef oranı için bu durum tam tersidir. Rölyef oranı ayrıca toprak erozyonu üzerindeki önemli bir parametre olarak kabul edilir ve drenaj tekstürünü doğrudan etkilemektedir (Biswas vd., 2015).

#### 3.3.3. Bağıl rölyef

Havzadaki yükseklik farkını temsil eden önemli bir parametredir. Havza rölyefinin (H), çevresine (P) oranlanmasıyla hesaplanır ve genel dikliği gösterir. Bağıl rölyef, havzanın en önemli rölyef karakteristiklerinden birisidir. Bu durumun nedeni bu parametrenin bir drenaj havzasında işleyen bir süreçteki erozyon potansiyelini göstermesiyle alakalıdır (Gayen ve Haque, 2022). Burdur Gölü Havzasının bağıl rölyefi 0.29 olarak bulunmuştur.

#### 3.3.4. Engebelilik değeri

Maksimum havza rölyefinin ve drenaj yoğunluğunun ürünüdür (Strahler, 1964). Eğim dikliğini ve uzunluğunu birleştirir. Engebelilik değeri, havza topografyasının düzgün ve pürüzlü olmasının yanı sıra yüzeyin engebeli olduğu ölçü olarak karakterize edilmektedir. Yüksek engebelilik değerine

sahip engebeli arazi, ani sellere ve erozyona neden olabilecek dik yokuşları göstermektedir (Sutradhar ve Mondal, 2023).

Bir havzadaki en yüksek Rn değeri, en yüksek toprak erozyon derecesini göstermektedir (Vijith ve Sateesh, 2006). Engobelilik değerinin yüksek değer alması eğimin sadece dik olduğunda değil aynı zamanda uzun olduğunda ortaya çıkmaktadır. Yüksek engobelilik değeri erozyon eğilimini arttırmaktadır (Farhan vd., 2015). Burdur Gölü Havzasının engobelilik değeri 1.92 olarak hesaplanmış olup, havza erozyona ve sediment taşınmasına karşı hassastır.

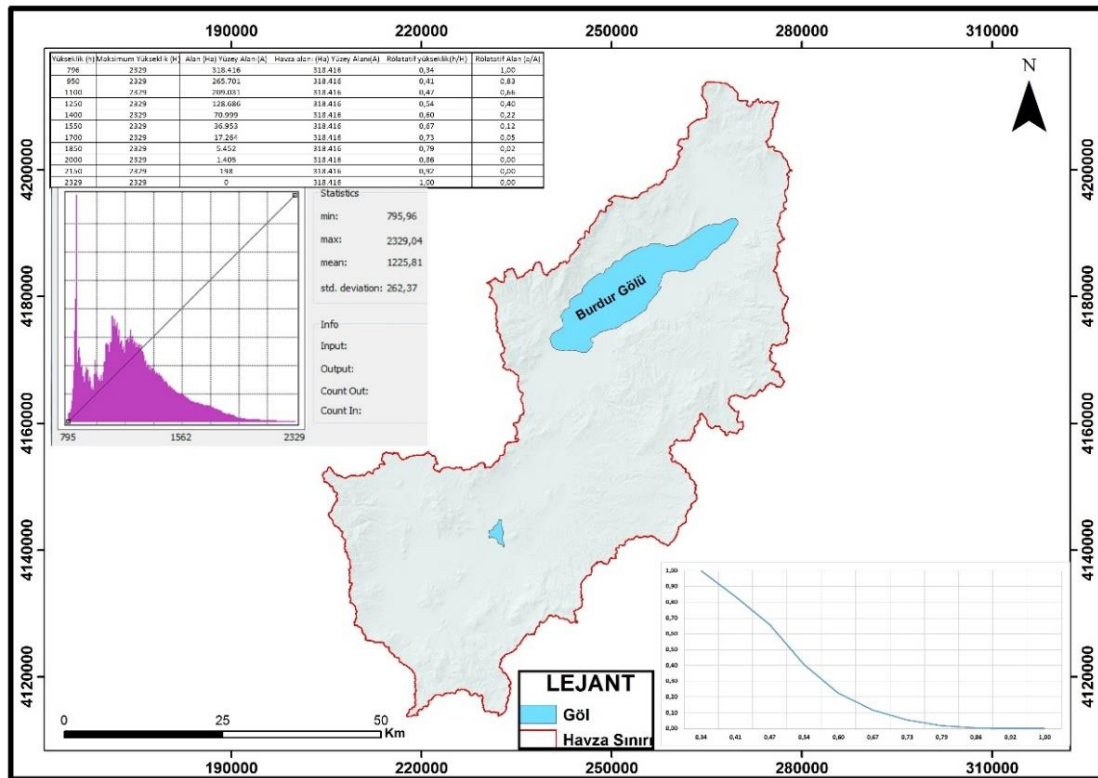
### 3.3.5. Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral

Hipsometrik eğri, yüksekliğin normalleştirilmiş kümülatif oluşum dağılımı olarak tanımlanmaktadır (Strahler, 1964). Genellikle hipsometrik eğri, erozyona uğramış yeryüzü biçimini anlamak için kullanılmaktadır (Schumm, 1973; Strahler, 1956).

Hipsometrik çalışma, yatay kesit alanı ve yüksekliği arasında, su havzalarıyla ilgili karşılaştırılmasını sağlayan boyutsuz bir biçimde ilişki geliştirmeyi amaçlamaktadır (Dowling vd., 1998). Hipsometrik analiz, bir drenaj havzasındaki akarsu süreçleriyle jeomorfik gelişim aşamasını ve erozyon derecesini etkili bir şekilde çıkarabilir (Parvez ve Inayathulla, 2019).

Strahler (1952), hipsometrik integralin (Hi) toplam rölyef, eğim dikliği, drenaj yoğunluğu ve kanal eğimleri ile ters orantılı olduğunu bulmuştur. Hi yüzde olarak ifade edilir (Ritter vd., 2002). Hipsometrik integral bu nedenle, hidrolojik süreçler ve arazi bozulma faktörleri nedeniyle jeolojik zaman ölçeğinde havzada meydana gelen erozyonu açıklamaya yardımcı olmaktadır (Bishop vd., 2002) (Şekil 11).

Hipsometrik eğri (Hc) ve hipsometrik integral değerleri dikkate alındığında hipsometrik eğriler, drenaj ağında meydana gelen aşındırma süreçlerinin devam edip etmediğinin yanında havzanın iklimatik, yapısal, litolojik özellikleri hakkında da bilgi verir.  $Hi \geq 0.60$ , havzanın gençlik döneminde olduğunu (dışbükey yukarı doğru eğri) ve erozyona oldukça yatkın olduğunu gösterir. Hi değeri  $\geq 0.30$  ile  $\leq 0.60$  arasında olduğunda havza olgun (S-şekilli), Hi değeri  $\leq 0.30$  havza yaşlıdır (içbükey yukarı doğru eğri) (Arefin vd., 2023). Hipsometrik integral değerinin 0.28 olması yaşlılık evresinde olduğunu göstermektedir. Yaşlılık evresindeki bir havza erozyona karşı daha az hassastır (Sharma ve Mahajan, 2020). Burdur Gölü Havzasının hipsometrik integraline göre erozyon riskinin az olduğu söylenebilir.



Şekil 11. Hipsometrik eğri ve hipsometrik integral

#### 4. Sonuç

Son yıllarda yeni teknolojilerin gelişimi ve CBS kullanımındaki artış, havza morfometrisini belirlemede kullanıcılara oldukça kolaylık sağlamış ve hesapların doğru ve kısa sürede yapılmasını sağlamıştır. Çalışmada CBS yardımıyla Burdur Gölü Havzasının morfometrik karakterleri ortaya konulmuştur.

ArcGIS 10.2 yazılımı yardımıyla hesaplanan 22 adet morfometrik parametre bulunmaktadır. Bu 22 parametre, çalışma alanının yüzeysel akışı, sızma kapasitesi, topoğrafyası, litolojisi ve hidrolojik özellikleri gibi arazi özelliklerinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Strahler sınıflamasına göre çalışma alanı yedinci dereceden havzaya sahiptir ve dendritik drenaj şekli göstermektedir.

Buna göre yapılan morfometrik analizlerde çizgisel, alansal ve rölyef parametreleri ele alınarak havzanın durumu yorumlanmıştır.

Çizgisel morfometri özelliklerine bakıldığında; çatalanma oranını 3.42 olarak hesaplanmıştır. Bu değer havzanın düşük sızma kapasitesine ve yüksek debiye sahip olduğu sonucunu ortaya koymaktadır. Havzada çatalanma oranının artmasıyla erozyon eğiliminde arttığı düşünüldüğünden çatalanma oranına göre havzanın erozyon riskinin olduğu söylenebilir. Akarsu uzunluk oranı R1 3.46 olarak bulunmuştur. Bu oranın nispeten düşük olması havzanın kolay drene olabilen uzunlamasına bir havza olduğu sonucunu çıkarmaktadır. Havza akarsu uzunluk oranına göre yüksek sızma eğilimine sahiptir. Böylelikle taşkın ve erozyon riskinin az olduğu söylenebilir. Yüzeysel akış uzunluğu 0.40 olarak bulunmuş olup “yüksek değer” sınıfına girmektedir. Böylelikle daha az yüzeysel akış olması nedeniyle erozyon riskinin düşük olabileceği düşünülmektedir. Tekstür oranı 2.84 olarak belirlenmiştir. Bu durumda yavaş akış tepkisi, düşük yüzeysel akış ve yüksek infiltrasyon anlamına gelmektedir. Burdur Gölü Havzasının tekstür oranına bakıldığında nispeten erozyona daha az duyarlı olduğu düşünülmektedir.

Alansal morfometri özelliklerine bakıldığında; havza alanı, su potansiyeli ve yüzeysel akış etkileyen ve birçok morfometri parametresinin hesabında kullanılan önemli biri parametredir. Havza yaklaşık 320000.0 ha'lık alanla orta büyüklükte havza grubuna girmektedir. Drenaj yoğunluğu 1.25 km/km<sup>2</sup> olarak bulunmuştur. Bu bağlamda düşük drenaj yoğunluğunun olması, yağışın yüzeysel akışa geçmeden önce bitki örtüsü ile tutulduğunu ve böylelikle erozyon riskini azalttığı söylenebilir. Dere sıklığı oranı 0.95 olarak bulunmuştur. Düşük dere sıklığı daha az yüzeysel akışa neden olduğundan havzada erozyon riski azdır. Havzanın form faktörü 0.25 olarak bulunmuştur. Form faktörüne göre havzada erozyon şiddetinin az olduğu ayrıca taşkın ihtimaline sebep olacak bir tehlikenin var olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Dairesellik oranı, genellikle eğimden ziyade çeşitli sıralardaki akışların uzunluk, frekans ve gradyanından etkilenmektedir. Dairesellik oranı 0.14 olarak hesaplanmıştır. Dairesellik oranının küçük bulunduğu havzalarda yüzeysel akış daha yavaş olmakta ve böylelikle erozyon ihtimalinin azaldığı bilinmektedir. Uzama oranı düşük olursa erozyon ve sedimet yükü hassasiyetleri artmaktadır. Uzunlaşma oranı ile erozyon arasında ters orantı vardır. İnfiltrasyon değeri 1.19'dur. Düşük İnfiltrasyon değeri yüzeysel akışın çok düşük olacağını ve infiltrasyon kapasitesinin çok yüksek olacağını göstermektedir. Gravelius indeks değeri 2.66 olarak hesaplanmıştır. Bu parametrenin düşük değerleri havzanın

daha fazla uzadığını ve daha az erozyon olduğunu göstermektedir.

Rölyef morfometri özelliklerine bakıldığında; havza rölyefi 1534 olarak bulunmuş ve bu değere göre erozyon riskinin yüksek olabileceği söylenebilir. Rölyef oranı 0.013 olarak hesaplanmıştır. Rölyef oranı toprak erozyonu üzerindeki olumsuz etkisi nedeniyle önemli bir parametre olarak kabul edilir. Rölyef oranı göz önünde bulundurulduğunda erozyon riski az olduğu söylenebilir. Bağlı rölyef 0.29 olarak bulunmuştur. Engebililik değeri 1.92 olarak hesaplanmış olup, havza erozyona ve sedimet taşınmasına karşı hassastır. Hipsometrik integral değeri 0.28 olarak bulunmuştur. Havzanın yaşlılık evresinde olduğunu göstermektedir. Yaşlılık evresindeki bir havza erozyona karşı daha az hassastır.

Sonuç olarak havzada erozyon riski olduğu sonucunu veren parametreler olsada parametrelerin büyük bir çoğunluğuna göre yapılan morfometri analizinde erozyon riskinin nispeten az olduğu söylenebilir. Havza morfometri araştırmaları toprak erozyonunun önlenmesi, suyun korunması ve uzun vadeli büyümenin sağlanmasına kadar birçok konuda büyük önem arz etmektedir. Ayrıca CBS ve uzaktan algılama gibi teknikler ile gerek hidrolojik analizlerin yapılması gerekse de ileriye yönelik planların yapılabilme olanakları vardır. Bu sonuçlar incelendiğinde morfometrik analizlerin, havzada erozyon durumunu yorumlamada önemli bir araç olduğu söylenebilir.

#### Açıklama

Bu makale Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde tamamlanan “Burdur Gölü Havzasında Meydana Gelen Toprak Erozyonunun Coğrafi Bilgi Sistemleri ve WEPP Erozyon Tahmin Modeli Kullanılarak Belirlenmesi” başlıklı Doktora Tezinden üretilmiştir. Emeği geçen kurum ve kişilere teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Agarwal, C.S., 1998. Study of drainage pattern through aerial data in Naugarh area of Varanasi district, UP. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 26: 169-175.
- Akın, M., Akın, G., 2007. Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih Coğrafya Fakültesi Dergisi, 47(2): 105-118.
- Alam, A., Ahmed, B., Sammonds, P., 2021. Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. Quaternary International, 575: 295-307.
- Arefin, R., Seker, D.Z., Hore, R., Meshram, S.G., 2023. GIS and remotely sensed data-based morphometric elements analysis for determination of Bengal Basin evolution. Environment, Development and Sustainability, 25: 1-34.
- Arulbalaji, P., Gurugnanam, B., 2017. Geospatial tool-based morphometric analysis using SRTM data in Sarabanga watershed, Cauvery River, Salem district, Tamil Nadu, India. Applied Water Science, 7(7): 3875-3883.
- Ataol, M., 2010. Burdur Gölü Havzası için yeni bir su yönetim modeli önerisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Avcı, V., Sunkar, M., 2015. Giresun’da sel ve taşkın oluşumuna neden olan aksu çayı ve Batlama Deresi havzalarının morfometrik analizleri. Coğrafya Dergisi, 30: 91-119.
- Banerjee, A., Singh, P., Pratap, K., 2017. Morphometric evaluation of Swarnrekha watershed, Madhya Pradesh, India: An integrated GIS-based approach. Applied Water Science, 7(4): 1807-1815.
- Bates, N., 1981. Valley shapes. In: Practical Foundations of Physical Geography (Ed: Knap, B.), George Allen and Unwin, London, pp. 25-29.



- Bharath, A., Kumar, K.K., Maddamsetty, R., Manjunatha, M., Tangadagi, R.B., Preethi, S., 2021. Drainage morphometry based sub-watershed prioritization of Kalinadi Basin using geospatial technology. *Environmental Challenges*, 5: 100277.
- Bhattacharya, R.K., Das Chatterjee, N., Das, K., 2019. Multi-criteria-based sub-basin prioritization and its risk assessment of erosion susceptibility in Kansai-Kumari catchment area, India. *Applied Water Science*, 9(4): 1-30.
- Bishop, M.P., Shroder, J.F., Bonki, R., Olsenholler, J., 2002. Geomorphic change in high mountains: A western Himalayan perspective. *Glob Planet Change*, 32(4): 311-329.
- Biswas, H., Raizada, A., Mandal, D., Kumar, S., Srinivas, S., Mishra, P.K., 2015. Identification of areas vulnerable to soil erosion risk in India using GIS methods. *Solid Earth*, 6(4): 1247-1257.
- Bogale, A., 2021. Morphometric analysis of a drainage basin using geographical information system in Gilgel Abay watershed, Lake Tana Basin, upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Applied Water Science*, 11(7): 1-7.
- Chandrashekar, H., Lokesh, K.V., Sameena, M., Roopa, J., Ranganna, G., 2015. GIS-based morphometric analysis of two reservoir catchments of Arkavati River, Ramanagaram District, Karnataka. *Aquatic Procedia*, 4: 1345-1353.
- Chorley, R.J., Dale, P.F., 1972. Cartographic problems in stream channel delineation. *Cartography*, 7(4): 150-162.
- Coşkun, M., Öztürk, A., 2021. Havza önceliklendirmesi bakımından Ermenek Çayı Havzası ve Gökçay Havzasının karşılaştırmalı morfometrik analizi. *Turkish Journal of Forestry*, 23(1): 1-10.
- Çoban, H.O., Eker, M., 2009. SRTM verileri ile bazı topoğrafik analizler: Isparta Orman Bölge Müdürlüğü örneği. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, A(2): 76-91.
- Dali, N., Ziouch, O.R., Dali, H., Daifallah, T., Cherifa, B., Sara, H., 2023. Remote sensing, and (GIS) approach, for morphometric assessment and sub-watershed prioritization according to soil erosion and groundwater potential in an endorheic semi-arid area of Algeria. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(1): 95.
- Dowling, T., Walker, J., Richardson, D.P., O'Sullivan, A., Summerell, G.K., 1998. Application of the Hypsometric Integral and Other Terrain Based Metrics as Indicators of Catchment Health: A Preliminary Analysis. CSIRO Land and Water, Technical Report 20/98, Australia.
- Dubey, S.K., Sharma, D., Mundetia, N., 2015. Morphometric analysis of the Banas River Basin using geographical information system, Rajasthan, India. *Hydrology*, 3(5): 47-57.
- Durán, Z.V.H., Francia, M.J.R., Rodríguez, P.C.R., Martínez, R.A., Cárceles, R.B., 2006. Soil erosion and runoff prevention by plant covers in a mountainous area (SE Spain): Implications for sustainable agriculture. *The Environmentalist*, 26: 309-319.
- Dursun, İ., Babalık, A.A., 2021. De Martonne-Gottman ve Standart Yağış İndeksi yöntemleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi: Isparta ili örneği. *Turkish Journal of Forestry*, 22(3): 192-201.
- Elbaşı, E., 2015. Marmara Denizi akarsu havzalarının morfometrik analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- 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.
- ESRI (Environmental Systems Research Institute), 2004. Getting Started with ArcGIS. Redlands: Environmental Systems Research Institute Inc.265.
- Faniran, A., 1968. The index of drainage intensity - A provisional new drainage factor. *Australian Journal of Science*, 31(9): 328-330.
- Farhan, Y., Anbar, A., Enaba, O., Al-Shaikh, N., 2015. Quantitative analysis of geomorphometric parameters of Wadi Kerak, Jordan, using remote sensing and GIS. *Journal of Water Resource and Protection*, 7(06): 456-475.
- Gajbhiye, S., Mishra, S.K., Pandey, A., 2014. Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: An RS and GIS perspective. *Applied Water Science*, 4: 51-61.
- Ganie, P.A., Posti, R., Kunal, K., Kunal, G., Bharti, V.S., Sehgal, V.K., 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*, 23(1): 1-32.
- Gayen, A., Haque, S.M., 2022. Soil erodibility assessment of laterite dominant sub-basin watersheds in the humid tropical region of India. *Catena*, 213: 106161.
- Gebre, T., Kibru, T., Tesfaye, S., Taye, G., 2015. Analysis of watershed attributes for water resources management using GIS: The case of Chelekot micro-watershed, Tigray, Ethiopia. *Journal of Geographic Information System*, 7(02): 177.
- Görgülü, E., Göl, C., 2021. Coğrafi bilgi sistemleri ile havza morfometrik analizi: Sarayköy Göleti Havzası (Çankırı) örneği. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 7(2): 107-118.
- Gravelius, H., 1914. Grundriß der gesamten Gewässerkunde Band 1: Flufikunde. Goschen, Berlin, Germany.
- Hadley, R.F., Schumm, S.A., 1961. Sediment sources and drainage basin characteristics in upper Cheyenne River Basin. U.S. Geological Survey Water Supply Paper, 153 (1B): 198.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of American Bulletin*, 56: 275-370.
- İmamoğlu, A., 2020. Alaca Çayı Havzası erozyon durumunun morfometrik ölçümler ile ilişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18): 868-878.
- Jenson, S.K., Domingue, J.O., 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11): 1593-1600.
- Joji, V.S., Nair, A.S.K., Baiju, K.V., 2013. Drainage basin delineation and quantitative analysis of Panamaram Watershed of Kabani River Basin, Kerala using remote sensing and GIS. *Journal of the Geological Society of India*, 82(4): 368-378.
- Karabulut, M.S., Özdemir, H., 2019. Comparison of basin morphometry analyses derived from different DEMs on two drainage basins in Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 78(18): 1-14.
- Keller, E.A., Pinter, N., 1996. Active Tectonics: Earthquakes, Uplift and Landscape. Prentice-Hall, London.
- Koralay, N., Kara, Ö., 2021. Effects of morphometric characteristics on flood in Degirmendere Sub-Watersheds, Northeastern Turkey. *International Journal of River Basin Management*, 1-11.
- Magesh, N.S., Chandrasekar, N., Soundranayagam, J.P., 2011. Morphometric evaluation of Papanasam and Manimuthar watersheds, parts of Western Ghats, Tirunelveli district, Tamil Nadu, India: A GIS approach. *Environmental Earth Sciences*, 64: 373-381.
- Mayer, L., 1990. Introduction to quantitative geomorphology. NJ: Prentice-Hall International, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Miller, V.C., 1953. Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. Columbia University, Department of Geology, ONR, Geography Branch, Technical Report, NR 389042, New York.
- Obeidat, M., Awawdeh, M., Al-Hantouli, F., 2021. Morphometric analysis and prioritisation of watersheds for flood risk management in Wadi Easal Basin (WEB), Jordan, using geospatial technologies. *Journal of Flood Risk Management*, 14(2): e12711.
- Ödeker, B., Türkoğlu, N., 2020. Sabuncular Deresi Havzası'nın (Rize/Çayeli) morfometrik özelliklerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 60(1): 14-38.
- Özdemir, H., 2011. Havza morfometrisi ve taşkınlar, fiziki coğrafya araştırmaları. *Sistemik ve Bölgesel* (Ed., Ekinci, D.), Türk Coğrafya Kurumu Yayınları, İstanbul, s. 507-526.
- Özhan, S., 2004. Havza Amenajmanı. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Pakhmode, V., Kulkarni, H., Deolankar, S.B., 2003. Hydrological-drainage analysis in watershed-programme planning: A case from the Deccan basalt, India. *Hydrogeology Journal*, 11: 595-604.
- Pandey, A., Behra, S., Pandey, R.P., Singh, R.P., 2011. Application of GIS for watershed prioritization and management: A case study. *International Journal of Environmental Science Development & Monitoring*, 2: 25-42.
- Parvez, M.B., Inayathulla, M., 2019. Morphometry, hypsometry analysis and runoff estimation of Aam Talab watershed Raichur, Karnataka. *International Journal of Advance Research and Innovative Ideas In Education*, 5(3): 1713-1727.

- Patel, D.P., Dholakia, M.B., Naresh, N., Srivastava, P.K., 2012. Water harvesting structure positioning by using geo-visualization concept and prioritization of mini-watersheds through morphometric analysis in the lower Tapi basin. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 40: 299-312.
- Patel, D.P., Srivastava, P.K., Gupta, M., Nandhakumar, N., 2015. Decision support system integrated with Geographic Information System to target restoration actions in watersheds of arid environment: A case study of Hathmati watershed, Sabarkantha district, Gujarat. *Journal of Earth System Science*, 124: 71-86.
- Patton, P.C., 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: *Flood Geomorphology* (Ed: Baker, V., Kochel, R. and Patton, P.), Wiley, New York, pp. 51-65.
- Pike, R., Evans, I., Hengl, T., 2009. *Geomorphometry: A brief guide*. In: *Geomorphometry: Concepts, software, applications* (Ed: Hengl, T. and Reuter, H.I.), Elsevier, New York, pp. 3-30.
- Potter, P.E., 1957. A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. *Journal of Geology*, 65(1): 112-113.
- Puno, G.R., Puno, R.C.C., 2019. Watershed conservation prioritization using geomorphometric and land use-land cover parameters. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(3): 279-294.
- Radwan, F., Alazba, A.A., Mossad, A., 2017. Watershed morphometric analysis of Wadi Baish Dam catchment area using integrated GIS-based approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(12): 1-11.
- Rai, P.K., Mishra, V.N., 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.
- Raj, P.N., Azeez, P.A., 2012. Morphometric analysis of a tropical medium river system: A case from Bharathapuzha River Southern India. *Open Journal of Modern Hydrology*, 2: 91-98.
- Rao, N.S., 2009. A numerical scheme for groundwater development in a watershed basin of basement terrain: A case study from India. *Hydrogeology Journal*, 17 (2): 379-396.
- Rao, L.A., Rehman, A., Yusuf, A., 2011. Morphometric analysis of drainage basin using remote sensing and GIS techniques: A case study of Etmadpur Tehsil, Agra District, U.P. *International Journal of Research in Chemistry and Environment*, 1: 36-45.
- Rather, M.A., Satish Kumar, J., Farooq, M., Rashid, H., 2017. Assessing the influence of watershed characteristics on soil erosion susceptibility of Jhelum basin in Kashmir Himalayas. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(3): 59.
- Raya, A.M., Zuazo, V.H.D., Martinez, J.R.F., 2006. Soil erosion and runoff response to plant-cover strips on semiarid slopes (SE Spain). *Land Degradation and Development*, 17: 1-11.
- Reddy, O.G.P., Maji, A.K., Gajbhiye, S.K., 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.
- Ritter, D.F., Kochel, R.C., Miller, J.R., 2002. *Process Geomorphology*. McGraw Hill, Boston.
- 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.
- Schumm, S.A., 1973. Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. *Fluvial Geomorphology*, 6: 69-85.
- Sharma, S., Mahajan, A.K., 2020. GIS-based sub-watershed prioritization through morphometric analysis in the outer Himalayan region of India. *Applied Water Science*, 10(7): 1-11.
- Singh, W.R., Barman, S., Tirkey, G., 2021. Morphometric analysis and watershed prioritization in relation to soil erosion in Dudhnai Watershed. *Applied Water Science*, 11(9): 151.
- Smith, K.G., 1950. Erozyonel topografyanın dokusunu derecelendirme standartları. *Amerikan Bilim Dergisi*, 248 (9): 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.
- Sreedevi, P.D., Subrahmanyam, K., Ahmed, S., 2004. The significance of morphometric analysis for obtaining groundwater potential zones in a structurally controlled terrain. *Environmental Geology*, 47(3): 412-420.
- Strahler, A.N., 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11): 1117-1142.
- Strahler, A.N., 1956. Quantitative slope analysis. *Geological Society of America Bulletin*, 67(5): 571-596.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: *Handbook of Applied Hydrology* (Ed: Chow, V.), McGraw Hill, New York, pp. 9-76.
- Sutradhar, S., Mondal, P., 2023. Prioritization of watersheds based on morphometric assessment in relation to flood management: A case study of Ajay river basin, Eastern India. *Watershed Ecology and the Environment*, 5: 1-11.
- Thomas, J., Joseph, S., Thirvikramji, K.P., Abe, G., 2011. Morphometric analysis of the drainagesystem and its hydrological implications in the rain shadow regions, Kerala, India. *Journal of Geographical Sciences*, 21(6): 1077-1088.
- Turoğlu, H., 1997. İyidere Havzasının Hidrografik özelliklerine sayısal yaklaşım. *Türk Coğrafya Dergisi*, (32): 355-364.
- Umrakar, B.N., 2017. Morphometric analysis of Andhale watershed, Taluka Mulshi, District Pune, India. *Applied Water Science*, 7(5): 2231-2243.
- Utlu, M., Özdemir, H., 2018. Havza morfometrik özelliklerinin taşkın üretmedeki rolü Biga Çayı havzası örneği. *Coğrafya Dergisi*, (36): 49-62.
- Uzun, M., 2021. İnegöl Havzasında drenaj ağı gelişimi ve flüvyal süreçlerin morfometrik analizlerle incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 30(1): 85-106.
- Verstappen, H., 1983. *Applied Geomorphology: Geomorphological Surveys for Environmental Development*. Elsevier, New York.
- Vijith, H., Sathesh, R., 2006. GIS based morphometric analysis of two major upland sub-watersheds of Meenachil river in Kerala. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 34(2): 181-185.
- Vittala, S.S., Govindaiah, S., Gowda, H.H., 2008. Prioritization of sub-watersheds for sustainable development and management of natural resources: An integrated approach using remote sensing, GIS and socio-economic data. *Current Science*, 345-354.
- Yangchan, J., Tiwari, A.K., Sood, A., 2015. Morphometric analysis of drainage basin through gis: A case study of Sukhna Lake Watershed in lower Shiwalik, India. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, 6(2): 1015-1023.
- Youssef, F.B., Doumit, J.A. 2023. Morphometric analysis of hillslope evolution in the Kadisha River Basin based on archived aerial photographs. *Geosystems and Geoenvironment*, 2(1): 100132.
- Yüksel, T., Özçelik, A.E., Verep, B., 2020. Fırtına havzasının bazı havza karakteristikleri ile arazilerin fizyografik özelliklere göre dağlımlarının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 5(3): 439-449.
- Zaidi, F.K., 2011. Drainage basin morphometry for identifying zones for artificial recharge: A case study from the Gagas River Basin, India. *Journal of the Geological Society of India*, 77(2): 160-166.