

## Godrahav Havzasının (Artvin) Erozyon Duyarlılığının Jeo-çevresel Faktörler Kullanılarak Değerlendirilmesi Evaluation of Erosion Susceptibility of Godrahav Basin (Artvin) Using Geo-environmental Factors

Eda Nur Çoruhlu<sup>1</sup>, Halil Akıncı<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, 08100, Artvin/Türkiye.

<sup>2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

### ARAŞTIRMA MAKALESİ

#### \*Sorumlu yazar:

Halil Akıncı  
halil.akinci@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.983373

#### Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.08.2021  
Kabul tarihi: 17.09.2021  
Basım tarihi: 29.09.2021

### Özet

Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşik Proses (AHP) yöntemi kullanılarak Godrahav havzası'nın erozyon duyarlılık haritasının üretilmesi amaçlanmıştır. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Artvin il sınırları içerisinde bulunan Godrahav deresi havzası, yaklaşık 5310.12 hektarlık yüzölçüme sahiptir. Çalışma alanının erozyon duyarlılık haritasını üretmek için erozyon oluşumunda etkili olan 11 jeo-çevresel kriter (eğim, bakı, profil eğriliği, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına uzaklık, topoğrafik nemlilik indeksi (TWI), akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü (LS), normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI), arazi kullanımı ve litoloji) dikkate alınmıştır. Kriterlerin ağırlıklarının belirlenmesinde AHP yöntemi kullanılmıştır. Kriterlerin birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesinde ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında literatürdeki benzer çalışmalardan ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, erozyon duyarlılığının havzanın %4.9'unda düşük, %9.57'sinde orta, %5.58'inde ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanında erozyon duyarlılığının yüksek olduğu bölgeleri, tarım ve verimsiz orman alanları ile eğimin yüksek olduğu araziler oluşturmaktadır. Erozyon riskini azaltmak için bu alanlarda ayrıntılı çalışmaların yapılması ve toprak koruma önlemlerinin alınması gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Erozyon, Çok kriterli karar verme, AHP, Godrahav havzası, Artvin

### Abstract

This study aimed to produce the erosion susceptibility map of the Godrahav basin by using the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. Godrahav stream basin, located within the borders of Artvin province in the Eastern Black Sea Region, covers an area of approximately 5310.12 hectares. In order to produce the erosion susceptibility map of the study area, 11 geo-environmental criteria which are effective in the formation of erosion (slope, aspect, profile curvature, drainage density, distance to drainage network, topographic wetness index (TWI), stream power index (SPI), slope length and slope steepness factor (LS), normalized difference vegetation index (NDVI), land use and lithology) were taken into account. The AHP method was used to determine the weights of the criteria. Similar studies in the literature and expert opinions were used to determine the importance of the criteria with respect to each other and to create the pairwise comparison matrix. According to the results obtained, it was determined that the erosion susceptibility was low in 4.9% of the basin, medium in 9.57% and high in 5.58% of the basin. The areas with high erosion susceptibility in the study area consist of agricultural and unproductive forest areas and lands with high slope. In order to reduce the risk of erosion, detailed studies and soil protection measures should be taken in these areas.

**Keywords:** Erosion, Multi-criteria decision making, AHP, Godrahav basin, Artvin

## 1. Giriş

Karaların üzerinde bir örtü tabakası olarak bulunan toprağın bulunduğu yerden yağmur, yüzey akışı, rüzgar, yerçekimi ve buzul gibi dış faktörler tarafından taşınıp götürülmesi olayı erozyon olarak tanımlanmaktadır (Yüksel ve Avcı, 2015; İkiel vd. 2020). Ciddi çevresel, ekonomik ve sosyal sonuçları olan erozyon, doğal kaynak yönetiminde önemli bir yer tutan konudur (Rahmati vd. 2016). Toprak erozyonu, tarım alanlarında arazi bozulması, toprak verimliliğinin azalması ve rezervuarlarda sediment birikmesi gibi çeşitli sorunlara yol açan evrensel bir tehditir ve doğa temelli stratejilerle çözülmesi gereken bir konudur (Arabameri vd. 2018). Son 40 yılda dünyadaki ekili alanların yaklaşık üçte biri erozyondan ciddi şekilde etkilenmiştir ve bu süreç yılda yaklaşık 10 milyon hektarda devam etmektedir (Sun vd. 2014).

Erozyon nedeniyle oluşan toprak kayıplarını azaltmak için erozyon duyarlılık haritalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Arabameri vd. 2018). Erozyon duyarlılık haritası, belirli bir bölgede erozyona eğilimli alanların belirlenmesi ve erozyona duyarlı olan bölgelerde toprak koruma önlemlerinin alınması için ihtiyaç duyulan önemli bir veridir. Erozyon duyarlılık haritalaması için son on yılda, dünya çapındaki araştırmacılar tarafından çeşitli istatistiksel, makine öğrenimi ve veri madenciliği yöntemleri kullanılmıştır (Akgün ve Türk, 2011; Rahmati vd. 2016; Pourghasemi vd. 2017; Arabameri vd. 2018; Arabameri vd. 2019; Ghorbanzadeh vd. 2020; Ghosh ve Mukhopadhyay, 2021). Ancak bu yöntemlerin en önemli dezavantajı, modelleri kalibre etmek için bir erozyon envanter haritasına ihtiyaç duymalarıdır (Arabameri vd. 2019). Erozyon envanter haritalarının hazırlanabilmesi için yoğun bir arazi çalışması gerekmektedir. Diğer taraftan, Arabameri vd. (2019), Analytic Hierarchy Process (AHP) ve TOPSIS gibi "Çok Ölçütlü Karar Analizi" (ÇÖKA) modellerinin erozyon envanter haritalarına ihtiyaç duymamaları nedeniyle erozyon envanter haritası gibi eksik veri bulunan alanlarda oldukça faydalı olabileceğini belirtmiştir.

Toprak erozyonu, Dünya'da tedbir alınması ve önlenmesi gereken büyük bir problem olarak görülmektedir (Pektezel, 2015). Erozyon, arazi bozulumu ve çölleşme açısından Türkiye için de önemli bir tehdit oluşturmaktadır (Akgün ve Türk, 2011). Pektezel (2015), Türkiye'de toprak erozyonunu önlemek için henüz yeterli önlemlerin alınmadığını dile getirmiştir. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele (ÇEM) Genel Müdürlüğü verilerine göre Türkiye yüzölçümünün %60,28'sinde çok hafif, %19,13'ünde hafif, %7,93'ünde orta, %5,97'sinde şiddetli ve %6,7'sinde çok şiddetli erozyon görülmektedir. Arazi kullanımı açısından değerlendirildiğinde ülkemizde erozyonun %4,17'si orman alanlarında, %38,71'i tarım alanlarında ve %53,66'sı mera alanlarında meydana gelmektedir. Diğer taraftan, ülkemizde en fazla eroziv karaktere sahip havzalar olarak Çoruh, Doğu Akdeniz ve Asi havzaları ön plana çıkmaktadır (ÇEM, 2021).

Artvin, topografik, jeolojik ve iklimsel özellikleri nedeniyle toprak kaybına ve arazi bozulmasına neden olan erozyona eğilimli bir ildir. Bu çalışmada, Artvin ilinde yer alan Godrahav deresi havzasında toprak erozyonuna karşı duyarlı alanların belirlenmesi amaçlanmıştır. Erozyon oluşumu ve gelişimi için kritik koşulları kontrol eden jeo-çevresel faktörler öncelikle topografya, jeoloji (litoloji), yağış, toprak ve arazi kullanımı ile ilişkilidir (Rahmati vd. 2016). Bu çalışmada; veri mevcudiyetine, çalışma alanının koşullarına ve literatür incelemesine bağlı olarak eğim, baki, profil eğriliği, drenaj yoğunluğu, drenaj ağlarına uzaklık, topografik nemlilik indeksi (Topographic Wetness Index - TWI), arazi kullanımı, normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) ve litolojiden oluşan on bir (11) topografik ve çevresel faktör dikkate alınmıştır. Faktörlerin ağırlıkları AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Faktörlerin birbirlerine göre önem derecelerinin belirlenmesinde ve ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulmasında literatürdeki benzer çalışmalardan ve uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Üretilen haritada erozyon duyarlılığı düşük, orta ve yüksek şeklinde 3 sınıfa ayrılarak gösterilmiştir.

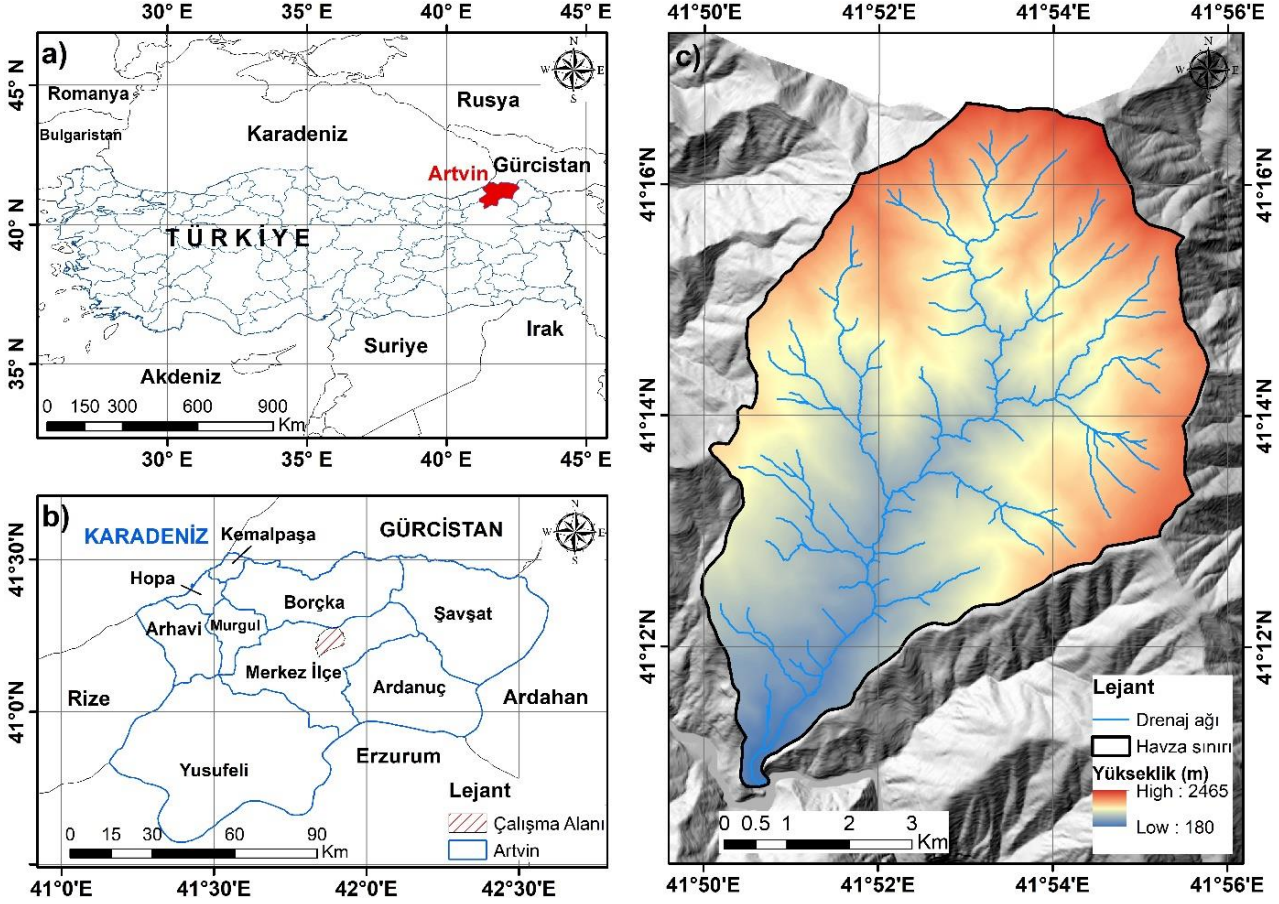
## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Çalışma alanı

Çalışmanın yürütüldüğü Godrahav deresi havzası, Doğu Karadeniz Bölgesinde Artvin ili sınırları içerisinde bulunmaktadır. Ziraat arazilerinin çok az, bozuk orman arazilerinin ise çok fazla olduğu Artvin ili, oldukça eğimli bir topografyaya sahip olduğu için aşırı derecede erozyona duyarlıdır (Pekal ve Tilki, 2010). Ülkemizde erozyon miktarının en fazla olduğu havzalardan biri olan Çoruh Havzasının alt havzalarından biri olan Godrahav deresi havzası, 41° 10' 44"- 41° 16' 39" kuzey enlemleri ile 41° 49' 58"- 41° 55' 46" doğu boylamları arasında yer almakta ve yüzölçümü olarak 5310.12 hektarlık bir alanı kaplamaktadır. Havzada yükseklik 180-2465 m arasında değişmektedir (Şekil 1) ve ortalama yükseklik 1299.25 m'dir. Ortalama eğimin 28.92° olduğu havzada eğim ise 0° ile 70. 85° arasında değişmektedir.

Artvin ili coğrafi konum itibarıyla farklı iklim tiplerinin etkisi altında kalmakla birlikte, çalışmanın yürütüldüğü il merkezinde Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün uzun yıllar (1949-2020) ölçüm verilerine göre aylık toplam yağış miktarı ortalaması 689.9 mm ve ortalama sıcaklık ise 12.3 °C olarak rapor edilmektedir. Ayrıca il merkezindeki en düşük sıcaklık -16.1 °C ile Ocak ayında ve en yüksek sıcaklık ise 43 °C ile Ağustos ayında ölçülmüştür (MGM, 2021a).

Thornthwaite iklim sınıflandırma yöntemine göre Artvin'in iklim sınıfı C2,B`1,s,b`4 olarak tanımlanmaktadır. Burada C2: yarı nemli, B`1: birinci derece mezotermal, s: su noksanı yaz mevsiminde ve orta derecede olan ve b`4: yaz buharlaşma oranı %50,1 anlamına gelmektedir (Güler, 2020; MGM, 2021b).



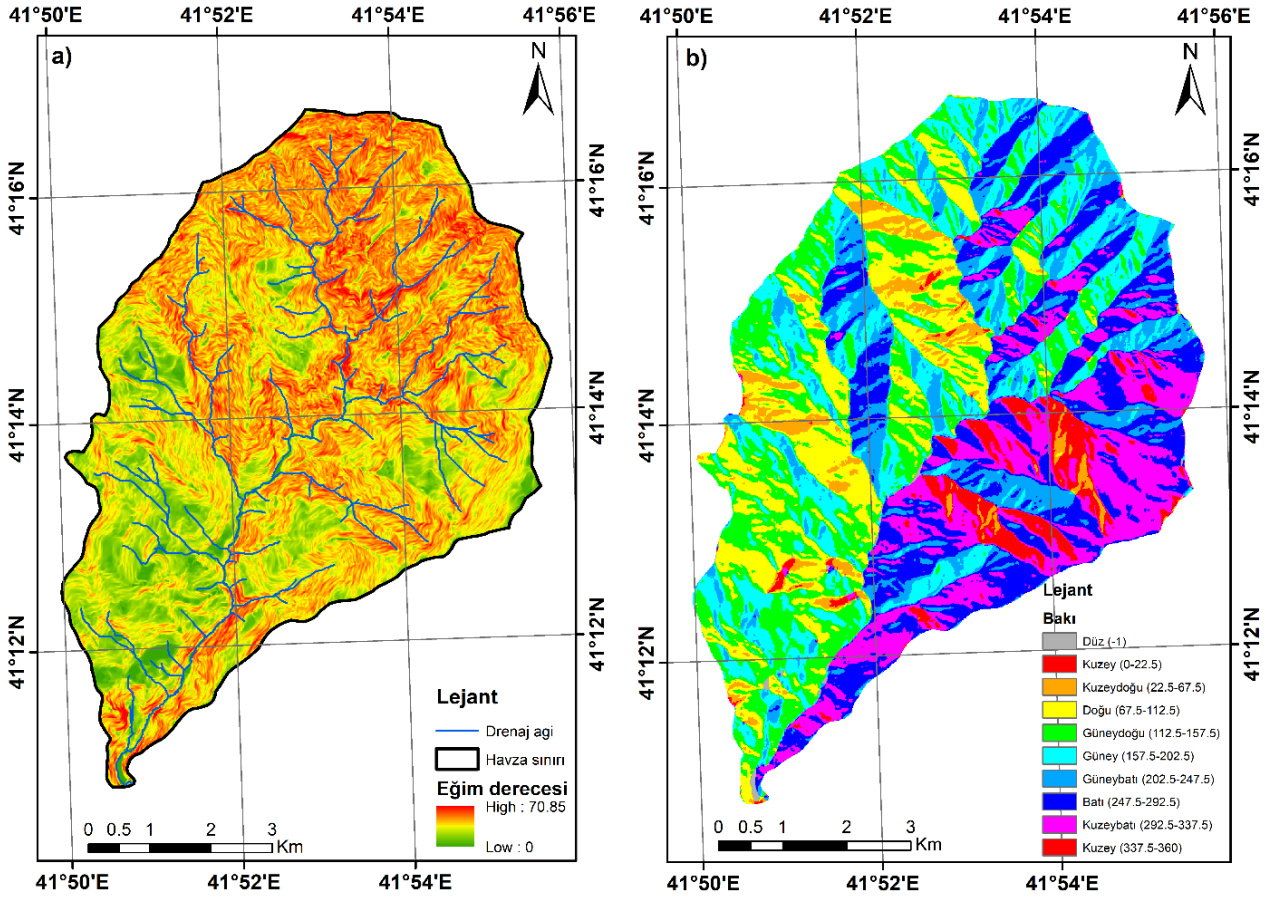
Şekil 1. a) Artvin'in Türkiye'deki konumu b) Artvin'in ilçeleri ve çalışma alanı sınırı c) Godrahav deresi havzasının sınırları ve coğrafi konumu

## 2.2. Çalışmada Kullanılan Faktörler

Çalışma sahasının erozyon duyarlılığını belirlemek için eğim, bakı, profil eğriliği, drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık, TWI, akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), NDVI, arazi kullanımı, litoloji, eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü (LS) parametreleri kullanılmıştır.

Eğim, erozyonun şiddetiyle doğrudan ilişkili olan bir topografik faktördür. Çünkü erozyonun meydana gelebilmesi, yani toprağın taşınabilmesi olayı eğim şartlarına bağlıdır (Mutlu vd. 2021). Eğimli bir sahada diğer faktörlerin aynı veya benzer olduğu kabul edilirse yalnızca eğim derecesinde meydana gelen değişimler yüzey akışının fazla olmasına ve buna bağlı olarak da erozyonun artmasına neden olmaktadır (Sönmez vd. 2013). Çalışma alanının eğim haritasını üretmek için ilk olarak ArcGIS 10.5 yazılımında eş yükseklik eğrileri kullanılarak çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Daha sonra üretilen SYM'den 10m x 10m hücre boyutlu eğim haritası oluşturulmuştur (Şekil 2a). Çalışma alanında eğimin 0° ile 70,85° arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Bakı parametresi de erozyon duyarlılık çalışmalarında önemli bir faktör olarak ele alınmaktadır. Çünkü bir yamacın bakışı, erozyonla dolaylı ilişkili olan birçok iklimsel özelliği (yağış yoğunluğu, güneş ışığını alma süresi, buharlaşma, nem tutma kapasitesi vs.) ve bitki örtüsü yoğunluğunu etkilemektedir (Güney, 2018). Sonuç olarak bakı; infiltrasyonu, yüzeyel akışı ve sediment kaybı oranlarını ve mekanizmalarını etkilemektedir (Rouhani et al. 2021). Diğer taraftan Sönmez vd. (2013) ve Güney (2018), güney bakıya sahip yamaçların güneş ışınlarını alma sürelerinin fazla olması nedeniyle, güney bakıya sahip yamaçlarda ısı ve buharlaşmanın kuzey yamaçlara oranla daha fazla olduğunu ve bu nedenle güney bakıya sahip yamaçların ayrışma ve erozyona daha elverişli olduğunu vurgulamışlardır. Çalışma alanının bakı haritası SYM'den üretilmiş ve 9 alt sınıfa (düz, kuzey, kuzeydoğu, doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı) ayrılmıştır (Şekil 2b).



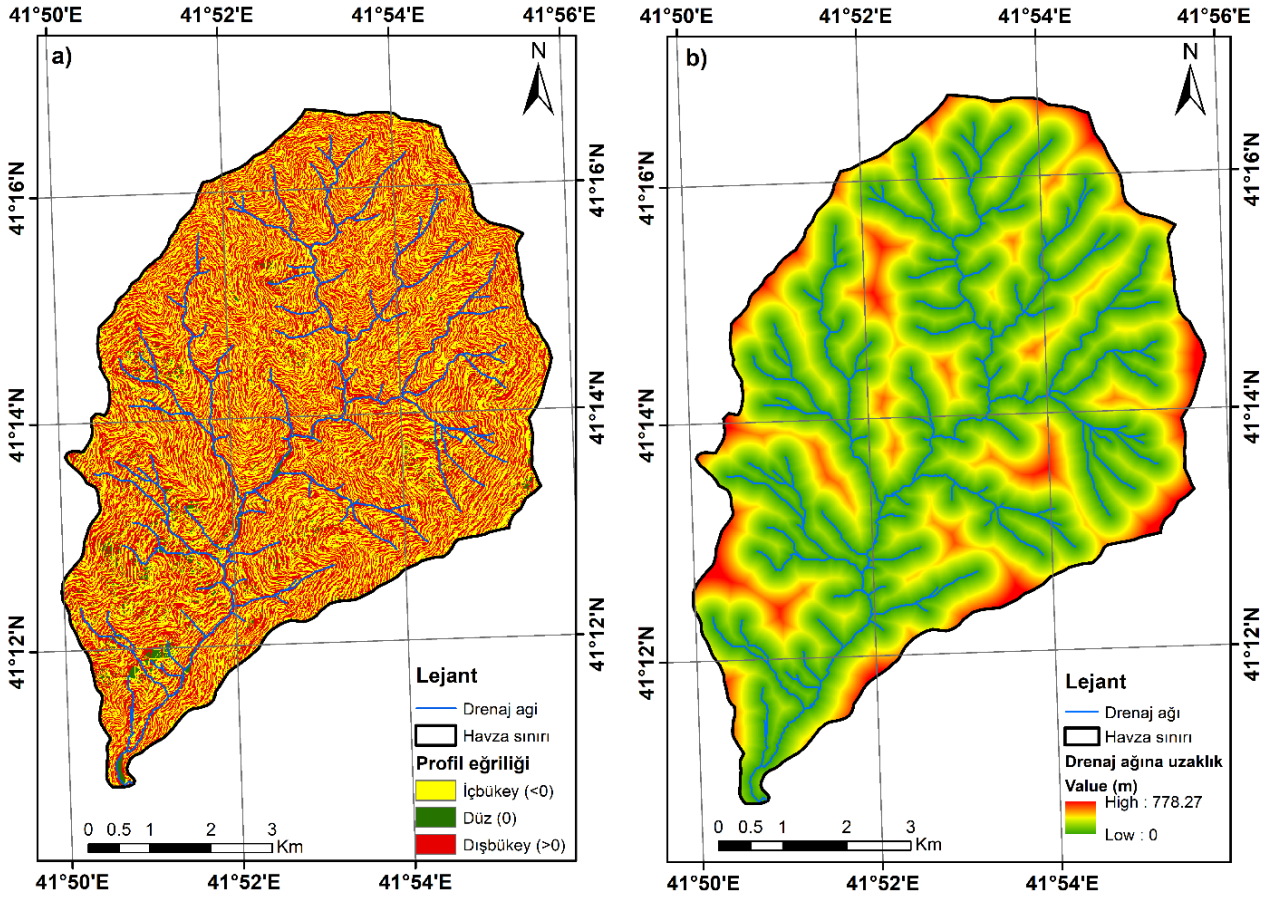
Şekil 2. a) Çalışma alanının eğim haritası, b) çalışma alanının bakı haritası

Eğrilik, bir drenaj havzasındaki erozyon ve akış süreçlerini değerlendirmek için yamaçların (ya da topografyanın) şeklini gösteren önemli morfolojik parametrelerden biridir. Profil eğriliği, bir akış hattındaki eğimin değişim oranını ifade eder ve hızlanan ya da yavaşlayan akış yoluyla erozyon ve sedimentasyon üzerinde doğrudan etkilidir (Rouhani et al. 2021). Negatif profil eğriliği değerleri yüzeyin içbükey (konkav), pozitif eğrilik değerleri ise dışbükey (konveks) yapıya sahip olduğunu ifade etmektedir. Sıfıra yakın profil eğrilik değerleri ise yüzeyin düz olduğunu göstermektedir. Dışbükey yamaçlarda su akışı daha hızlıdır ve bu yamaçlar erozyona daha duyarlıdır. İçbükey alanlarda ise yüzeyel akış daha yavaştır ve bu alanlarda erozyon duyarlılığı daha düşüktür (Güney, 2018). Çalışma alanının eğrilik haritası SYM'den üretilmiştir (Şekil 3a).

Aşınmış malzemenin tahliyesini kolaylaştırdığı için drenaj ağlarına uzaklık ile erozyon arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, hidrolojinin erozyon üzerindeki etkisini dikkate almak için çalışma alanının erozyon duyarlılığını belirlerken drenaj ağlarına uzaklık parametresi de kullanılmıştır. Çalışma alanının drenaj ağı, SAGA GIS yazılımında SYM'den üretilmiştir. Drenaj ağlarına uzaklık haritası ise ArcGIS 10.5 yazılımda ilgili konumsal analiz rutini (Euclidean Distance) kullanılarak üretilmiştir (Şekil 3b).

Bir havzanın erozyon duyarlılığını belirlemede önemli bir parametre olan drenaj yoğunluğu, havzaların akarsular tarafından parçalanma derecesini gösteren bir ölçüdür (Verstappen, 1983; Sunkar ve Avcı, 2015). Drenaj yoğunluğunun düşük olması, jeolojik yapının dayanıklı ve akarsuların genç oluşumlu bir karakter taşıdığını göstermektedir (Özşahin, 2008). Bu sahalar topoğrafyanın nispeten daha alçak olduğu yerlerdir. Bitki örtüsü bakımından yoğundur ve alttaki ana kayanın sağlam, dirençli veya geçirgen olduğu bölgelerdir. Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu yerler ise genellikle bitki örtüsünün cılız olduğu ya da olmadığı, toprak geçirgenliğinin düşük olduğu, dirençsiz kayaların (geçirimsiz litolojik birimlerin) bulunduğu alanlardır.





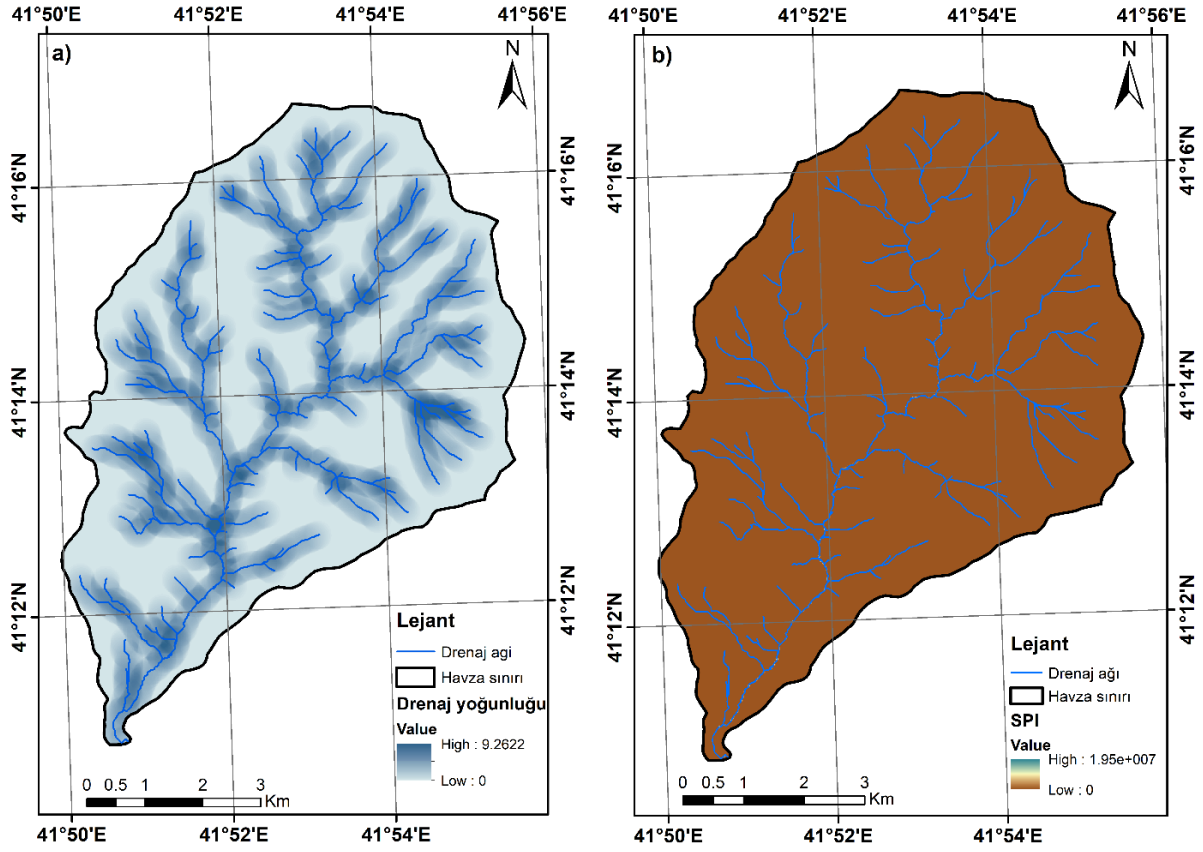
Şekil 3. a) Çalışma alanının profil eğriliği haritası, b) çalışma alanının drenaj ağlarına uzaklık haritası

Drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu alanlarda taşınan sediment miktarı ve verimli yüzey toprak kayıpları artmaktadır (İmamoğlu, 2020). Çalışma alanının drenaj yoğunluğu haritası ArcGIS 10.5 yazılımında çizgi yoğunluğu (line density) fonksiyonu kullanılarak üretilmiştir (Şekil 4a).

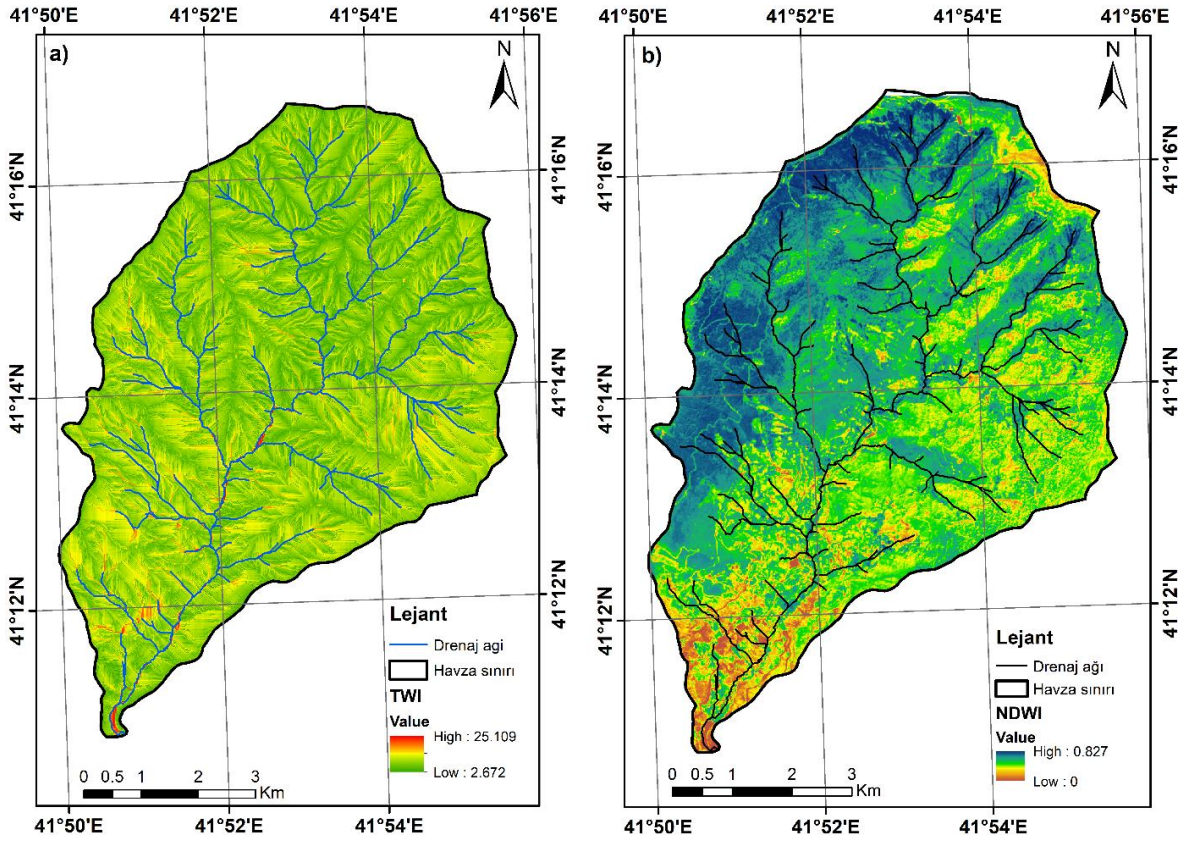
Akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), yamaçtan akan suyun aşındırıcı gücünün bir ölçüsüdür ve yamaç erozyonu süreçlerini kontrol eden en önemli faktörlerden biridir (Arabameri vd. 2018). Genellikle akarsu aşındırma gücü yüksek olan bölgeler yüksek erozyon potansiyeline sahiptir (Gómez-Gutiérrez vd. 2015; Ghorbanzadeh vd. 2020). Çalışma alanına ait SPI haritası, SAGA GIS yazılımında SYM'den üretilmiştir (Şekil 4b).

Genellikle toprak neminin mekânsal dağılımını karakterize etmek için kullanılan bir indeks olan Topoğrafik nemlilik indeksi (TWI) (Catani et al. 2013), erozyon duyarlılık haritalamasında yaygın olarak kullanılan hidrolojik faktörlerden biridir (Arabameri vd. 2018). Yanar et al. (2020), TWI'nin suya doymuş bölgelerin konumlarını ve boyutunu gösterdiğini belirtmiştir. Conforti vd. (2011), TWI'nin toprak erozyonu süreçleri ile ilişkili olduğu kanıtlandığı için çalışmalarında TWI parametresini kullandıklarını belirtmiştir. Arabameri vd. (2018) ise akış erozyon gücünün, deşarj potansiyelinin ve taşıma kapasitesinin TWI kullanılarak modellendiğini belirtmiştir. Amiri vd. (2019) ile Mokarram ve Zarei (2021) tarafından yapılan çalışmalar, TWI ile erozyon arasında ters bir ilişki olduğunu, TWI değeri arttıkça erozyon duyarlılığının azaldığını göstermiştir. Bu çalışmada, çalışma alanına ait TWI haritası SAGA GIS yazılımı kullanılarak SYM'den üretilmiştir (Şekil 5a).

Belirli bir alanda bitki örtüsünün sık veya seyrek olması ile o alandaki erozyon arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (Yüksel ve Avcı, 2015). Sönmez vd. (2013), bitki örtüsü ile kaplı alanların yağmur damlalarının toprağı parçalamasına engel olduğunu ve yüzeysel akışa geçen suları engelleyerek suyun aşındırıcı gücünü azaltıcı bir rol oynadığını belirtmiştir. Ayrıca bitki, kökleri yardımıyla toprağı tutar, üst toprak tabakalarında mikro-iklim iniş çıkışlarını azaltır, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini geliştirir ve rüzgârın hızını düşürüp toprağı korur (Değerliuyurt, 2013). Bu nedenle bitki örtüsü ve erozyon arasında ters orantı bulunmakta olup bitki örtüsünün yoğun olduğu bölgelerde erozyon riski az, bitki örtüsünün zayıf olduğu bölgelerde ise erozyon riski fazladır (Mutlu vd. 2021). Çalışma alanının bitki örtüsü yoğunluğunu değerlendirebilmek için 2017 tarihli Spot 7 uydu görüntüsü kullanılarak alanın NDVI haritası üretilmiştir (Şekil 5b).



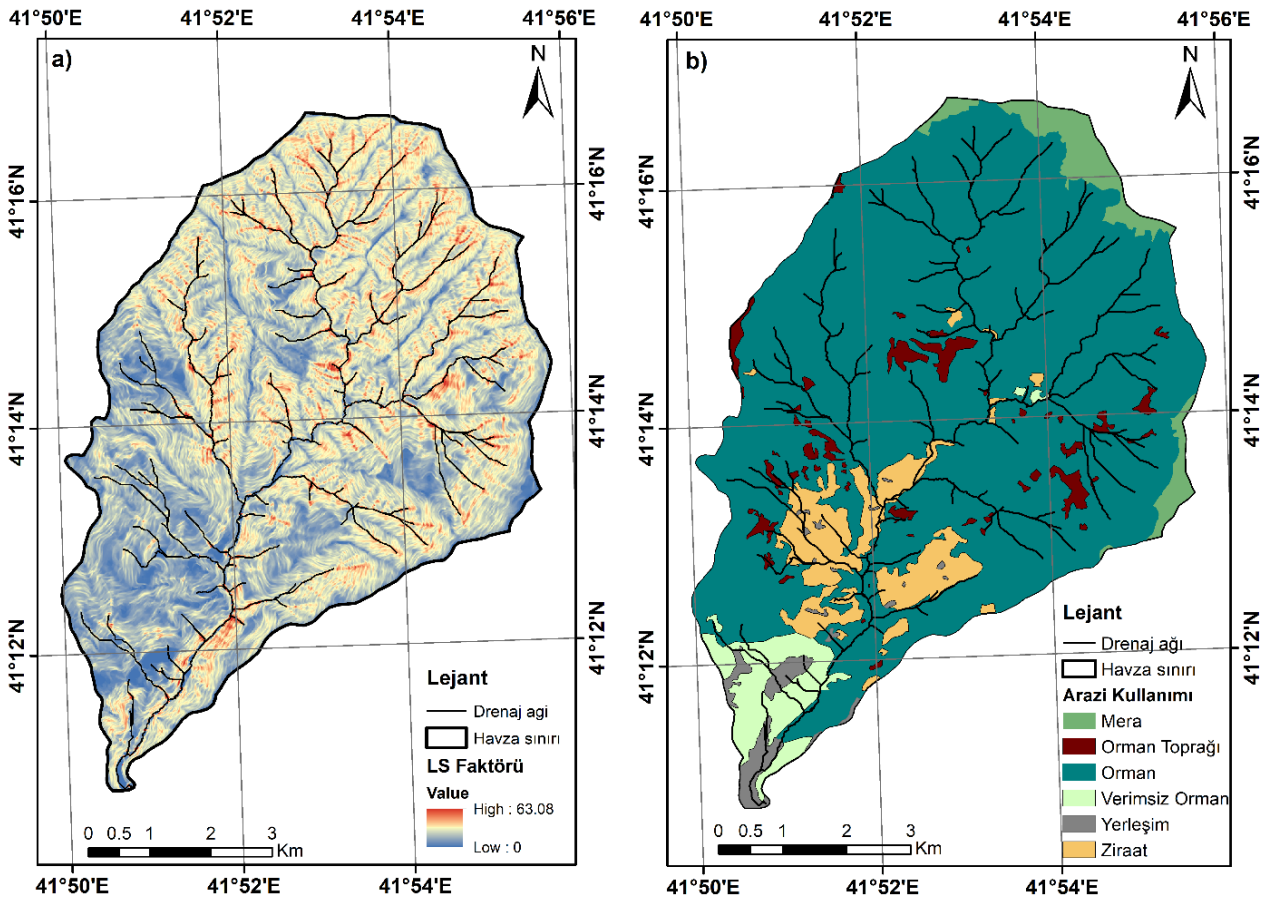
Şekil 4. a) Çalışma alanının drenaj yoğunluğu haritası, b) çalışma alanının SPI haritası



Şekil 5. a) çalışma alanının TWI haritası, b) çalışma alanının NDVI haritası

LS faktörü (eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü, erozyonun boyutunu ve şiddetini belirleyen en önemli faktörlerden birisidir (Özşahin, 2014). Bir bölgedeki erozyonun şiddeti, LS faktörlerinin artışı veya azalışına bağlı olarak değişmektedir (Özşahin, 2014; Pektezel, 2015). Arazinin eğimi suyun akış hızını belirlediğinden topografyanın eğim derecesi ve eğim uzunluğu toprak aşınım ve taşınım miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Özdemir ve Tatar Dönmez, 2016). LS faktörü mutlak bir değer olmayıp 22,13 m uzunluğunda ve %9 eğime sahip bir arazideki toprak kaybı oranını temsil etmektedir. Bu özellikteki arazinin LS faktörü 1'dir (Değerliyurt, 2013; Pektezel, 2015; Özdemir ve Tatar Dönmez, 2016; İkiel vd. 2020). Çalışma alanına ait LS faktörü haritası SAGA GIS yazılımı kullanılarak SYM'den üretilmiştir (Şekil 6a).

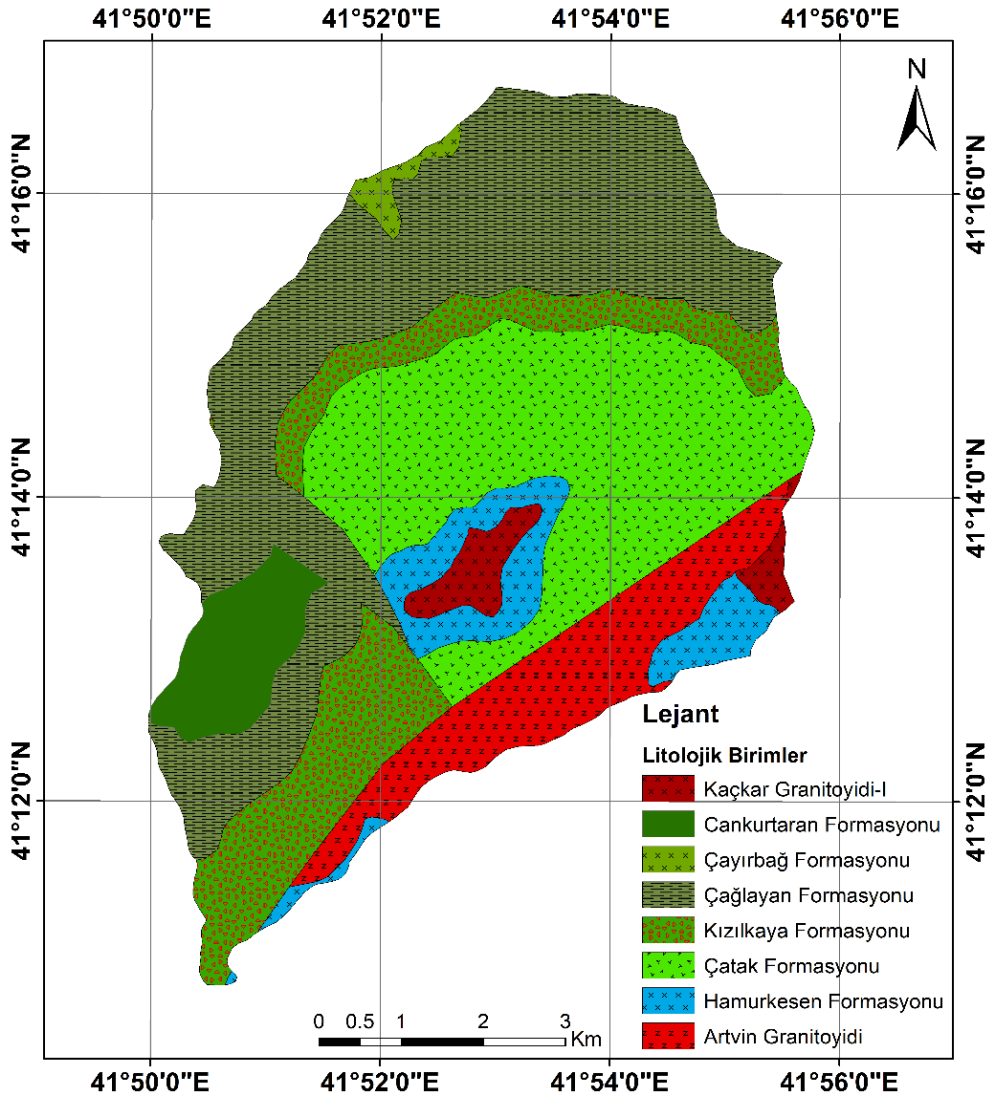
Arazi kullanımı, bir yamacın jeomorfolojik stabilitesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Genel olarak, çorak ve seyrek bitki örtüsü ile kaplı alanlar, ormanlara göre erozyondan daha fazla etkilenir. Yamaçlarda bitki örtüsünün varlığı, yüzey akışının aşındırıcı etkisini azalttığı için erozyon duyarlılığı üzerinde azaltıcı etkiye sahiptir. (Conforti vd. 2011). Dindaroğlu ve Canpolat (2013), orman alanlarının infiltrasyonun en üst düzeyde olduğu alanlar olduğunu, tarım alanlarında ise toprağın taşınma riskinin çok yüksek olduğunu belirtmiştir. Özellikle yüksek eğimli yamaçlarda yapılan tarımsal faaliyetler erozyon duyarlılığını arttırmaktadır (Güney, 2018). Çalışmada Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi Orman Mühendisliği Bölümü, Havza Yönetimi Anabilim Dalı tarafından üretilen arazi kullanım haritası kullanılmıştır (Şekil 6b). Arazi kullanımı haritasına göre çalışma alanının %80.23'ü orman, %7.29'u ziraat (tarım), %7.05'i verimsiz orman ve orman toprağı (OT), %3.66'sı mera ve %1.77'si yerleşim alanları ile kaplıdır.



Şekil 6. a) Çalışma alanının LS haritası, b) çalışma alanının arazi kullanım haritası

Erozyon, kayaların genel fiziksel özelliklerini gösteren litoloji ve ayrışma ile doğrudan ilişkili olan bir süreçtir. Özellikle yeryüzüne yakın malzemelerin litolojik özellikleri, malzemelerin farklı hidrolik iletkenlikleri ve kayma dayanımı nedeniyle erozyon sürecini etkilemektedir (Ghorbanzadeh vd. 2020). Ayrışma, dayanıklı veya kısmen ayrılmış kayayı daha düşük mukavemetli ve daha fazla geçirgen yapıya dönüştüren ve erozyon süreçlerini daha etkili hale getiren önemli bir süreçtir (Akgün ve Türk, 2011). Bu çalışmada kullanılan litolojik birimler, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasından elde edilmiştir. Çalışma alanında sekiz farklı litolojik birim bulunmaktadır (Şekil 7). Çalışma alanının %33.7'sini bazaltik, andezitik lav ve piroklastikleri ile çamurtaşı ve kumtaşından oluşan Çağlayan formasyonu, %27.2'sini ise bazaltik, andezitik lav ve piroklastikleri ile killi kireçtaşı, marn, kumtaşı, silttaşı ve kiltası ara düzeylerinden oluşan Çatak formasyonu (Keskin, 2013) kaplamaktadır.





Şekil 7. Çalışma alanının jeoloji haritası

### 2.3. Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) Yöntemi

Analitik Hiyerarşi Proses (Analytic Hierarchy Process - AHP), Saaty (1977) tarafından geliştirilen bir "Çok Ölçütlü Karar Verme" metodudur. AHP'nin sadeliği ve gücü, dünyanın her yerinde farklı birçok alanda yaygın olarak kullanılmasına yol açmıştır (Bhushan and Rai, 2004). İyi bilinen ve yaygın kullanılan çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarından biri olan AHP yöntemi, birden çok kritere bağlı olan bir problemin çözümünde, kullanıcıların kriterlerin ağırlıklarını belirlemesine olanak sağlamaktadır. AHP yönteminde bir problemin çözümü için genel olarak 3 adım izlenir: (1) karar verme problemi; amaç, kriterler, alt kriterler ve alternatiflerden oluşan hiyerarşik bir yapıya dönüştürülür (2) uzman yargıları dikkate alınarak ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur ve kriterlerin ağırlıkları hesaplanır (3) ikili karşılaştırma yargılarının tutarlılık oranı (CR) hesaplanır.

Karmaşık karar problemi hiyerarşik bir yapıya dönüştürüldükten sonra uzmanlardan ya da karar vericilerden yargılar (kriterlerin ikili karşılaştırmaları) toplanır. Kriterlerin ikili karşılaştırılmasında Saaty (1980) tarafından önerilen tercih ölçeğinden (Tablo 1) yararlanılır. Daha sonra uzmanların yargıları bir kare matris halinde düzenlenir. Matrisin köşegen elemanları 1'dir. Eğer matrisin (i, j) elemanının değeri 1'den büyükse, i. satırdaki kriter j sütunundaki kriterden daha önemlidir; aksi takdirde j sütunundaki kriter, i. satırdaki kriterden daha önemlidir. Matrisin (j, i) elemanı, (i, j) elemanının karşılığıdır (Bhushan and Rai, 2004). İkili karşılaştırmaları yapılan ölçütlerin ağırlıklarının belirlenmesi, ikili karşılaştırma matrisinin normalize edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Bunun için, matrisin sütun elemanları her bir sütun toplamına bölünerek "normalleştirilmiş ikili karşılaştırma matrisi" elde edilir. Elde edilen matristeki satır elemanları toplanır ve toplam değer satırdaki eleman sayısına bölünür. Böylelikle öncelik vektörü ya da ağırlık vektörü elde edilmiş olur (Tomuş, 2005). Ağırlıklar 0-1 aralığındadır ve toplamı 1'dir (Malczewski, 1999; Öztürk ve Batuk, 2010).



**Tablo 1.** İkili karşılaştırma tercih ölçeği (Saaty, 1980)

Önem Derecesi	Açıklama
1	Ölçütler eşit öneme sahip
3	1. ölçüt 2. ölçüte göre biraz daha önemli
5	1. ölçüt 2. ölçüte göre fazla önemli
7	1. ölçüt 2. ölçüte göre çok fazla önemli
9	1. ölçüt 2. ölçüte göre en kuvvetli (aşırı derecede fazla) öneme sahip
2, 4, 6, 8	Ara değerler

AHP yönteminde ölçütlerin ikili karşılaştırmaları yapılırken belirli bir derecede tutarsızlık oluşabilir. Bunun için ikili karşılaştırmaların mantıksal tutarlılığı kontrol edilmelidir (Öztürk ve Batuk, 2010). İkili karşılaştırma yargılarının tutarlılığını ölçmek için Saaty (1980) tarafından önerilen tutarlılık oranı (Consistency Ratio) kullanılmaktadır. İkili karşılaştırma matrisi için tutarlılık oranı Denklem 1 kullanılarak hesaplanır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

Denklemdaki CI tutarlılık endeksi, RI ise rastgele indeks olarak adlandırılmaktadır. Farklı matris boyutları için kullanılan RI değerleri Tablo 2’de verilmiştir. CI’nın hesaplanması için kullanılan formül ise Denklem 2’de verilmiştir.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Burada  $\lambda_{max}$  maksimum özdeğer (maximum eigenvalue) ve n ise ikili karşılaştırmada matris boyutudur ( $n \times n$ ). CR için Saaty (1980) tarafından önerilen üst limit 0.10’dur. CR 0.10’un altında ise yargıların tutarlı olduğu ve hesaplanan ağırlıkların kullanılabileceği kabul edilmektedir. Aksi takdirde, ikili karşılaştırma matrisindeki yargıların ya da kriterlerin göreceli önem değerlerinin yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir.

**Tablo 2.** Farklı matris boyutları için RI değerleri (Donegan ve Dodd, 1991)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması ve parametrelerin ağırlıklarının belirlenmesinde literatürdeki benzer çalışmalardan (Tomuş ve Ozulu, 2007; Sönmez vd. 2013; Sunkar ve Avcı, 2015; Yüksel ve Avcı, 2015; Avcı, 2016; Avcı ve Yüksel, 2016; Arabameri vd. 2018; Güney ve Turoğlu, 2018; Arabameri vd. 2019; Aslam vd. 2021; Demirağ Turan ve Uzun, 2021; Ghosh ve Mukhopadhyay, 2021; Mokarram ve Zarei, 2021; Sinshaw vd. 2021) ve erozyon konusunda uzman akademisyenlerin görüşlerinden yararlanılmıştır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra tutarlılık oranı hesaplanmış ve bu oranın 0.10’un altında (0.081) olduğu görülmüştür (Tablo 3).

Çalışmada kullanılan parametreler, alt sınıflara ayrılmış ve her bir alt sınıfa erozyon duyarlılıkları dikkate alınarak 1 ile 10 arasında (alt sınıfın erozyona karşı duyarlılığı çok yüksek ise 10 puan, erozyona karşı duyarlılığı çok düşük ise 1 puan olacak şekilde) puanlar verilmiştir. Alt sınıfların puanlandırılmasında yine konu ile ilgili literatürden ve uzman görüşlerinden faydalanılmıştır. Daha sonra ArcGIS 10.5 yazılımında ağırlıklı toplam (weighted sum) bindirme analizi kullanılarak “Erozyon Duyarlılık İndeksi (EDI)” hesaplanmıştır. Çalışma alanında erozyon duyarlılık indeks değeri 1.45 ile 8.83 arasında değişmektedir. ArcGIS 10.5 yazılımında EDI değerleri “natural breaks (jenks)” sınıflandırma yöntemine göre 3 alt sınıfta (düşük, orta, yüksek) yeniden sınıflandırılmış ve çalışma alanının erozyon duyarlılık haritası üretilmiştir (Şekil 8).

**Tablo 3.** İkili karşılaştırma matrisi ve ağırlıklar

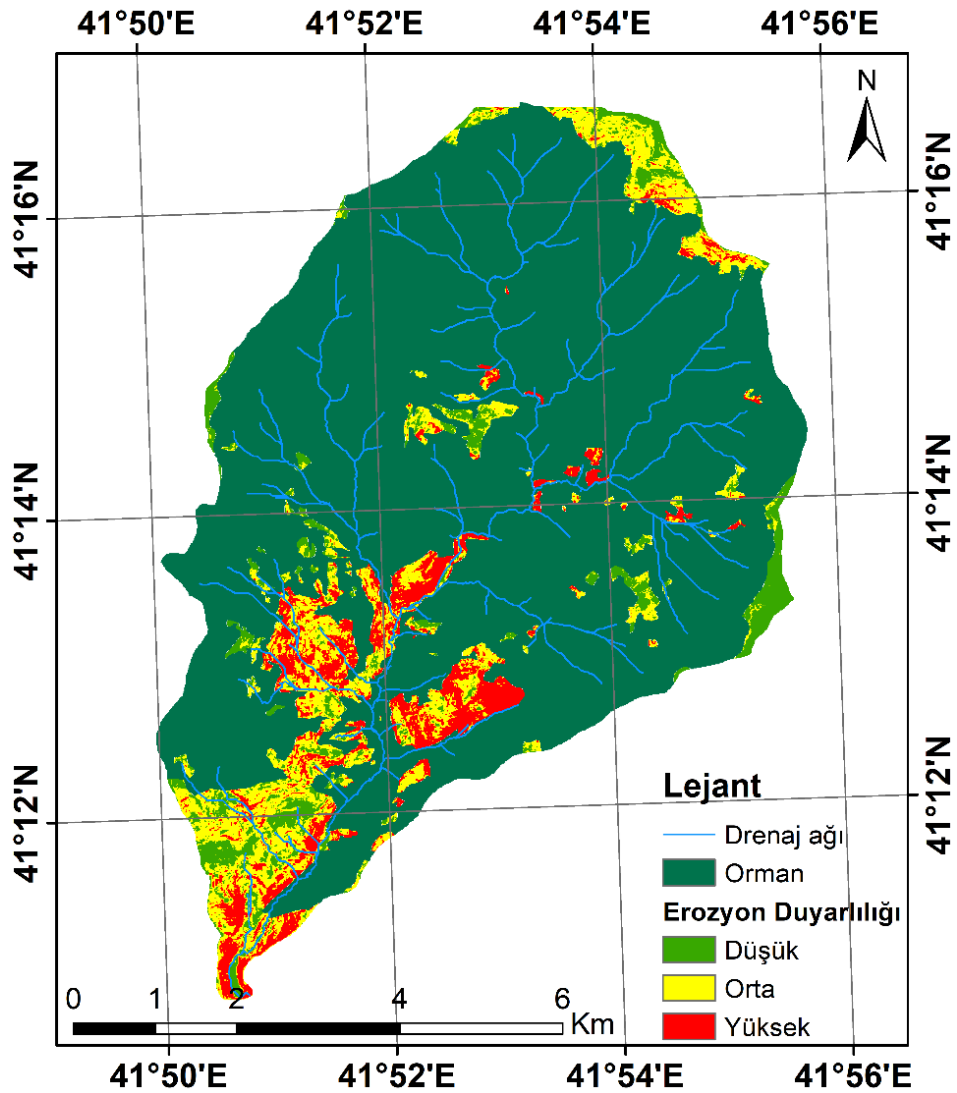
Ölçütler	Eğim	NDVI	AK	Litoloji	DY	DAU	SPI	TWI	PE	Bakı	LS	Ağırlık
Eğim	1	2	3	4	5	6	7	8	8	9	9	0.2732
NDVI		1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	0.2056
AK			1	2	3	4	5	6	7	8	8	0.1515
Litoloji				1	2	3	4	5	5	6	7	0.1079
DY					1	2	3	3	4	5	6	0.0759
DAU						1	2	3	3	4	4	0.0547
SPI							1	2	3	3	4	0.0419
TWI								1	2	3	3	0.0316
PE									1	2	3	0.0248
Bakı										1	2	0.0182
LS											1	0.0147

AK: Arazi Kullanımı, DY: Drenaj Yoğunluğu, PE: Plan Eğriliği, LS: Eğim Uzunluk ve Eğim Diklik Faktörü

$\lambda_{max} = 12.2231$

CI = 0.12231

CR = 0.081



**Şekil 8.** Çalışma alanının erozyon duyarlılık haritası

Buna göre çalışma alanının %4.9'unun düşük, %9.17'sinin orta ve %5.58'inin ise yüksek derecede erozyona duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanının %80.23'ünün verimli orman alanları ile kaplı olmasının, yüksek derecede erozyona duyarlı alanların oranının düşük çıkmasında etkili olduğu değerlendirilmiştir.

Yüksek derecede erozyona duyarlı alanlar eğim açısından değerlendirildiğinde, erozyona duyarlı alanların yaklaşık %95 gibi yüksek bir oranla 15° ve üzerindeki eğim sınıfları arasında toplandığı tespit edilmiştir. Erozyona en duyarlı eğim sınıfları ise %20.18'lik oranla 20° ile 25° eğime sahip alanlar ile %19.89'luk oranla 25° ile 30° eğime sahip alanlar olmuştur.

Üretilen erozyon duyarlılık haritası çalışma alanının bakı haritası ile karşılaştırıldığında, yüksek derecede erozyona duyarlı alanların, sırasıyla, %27.72'lik oranla güney bakıya, %24.72'lik oranla güneydoğu bakıya, %14.15'lik oranla güneybatı bakıya ve %13.99'luk oranla da doğu bakıya sahip bölgelere denk geldiği belirlenmiştir. Bakı ile erozyon arasındaki ilişki çalışmada kullanılan parametrelerin açıklandığı bölümde açıklanmıştır. Bu bakımdan, bakı açısından elde edilen bulguların güncel literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür. Örneğin, Amiri vd. (2019) tarafından İran'ın Maharloo havzasında yapılan çalışmada erozyonların çoğunlukla güney bakıya sahip alanlarda meydana geldiği belirtilmiştir. Arabameri vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da güneydoğu, doğu ve güneybatı bakıya sahip yamaçların erozyona karşı daha duyarlı olduğu görülmüştür.

Profil eğriliği ile erozyon duyarlılığı arasındaki ilişki incelendiğinde yüksek derecede erozyona duyarlı alanların %52.66'lık oranla dış bükey yüzeylerde ve %46'lık oranla da içbükey yüzeylerde meydana geldiği tespit edilmiştir. Güney (2018), dışbükey yamaçlarda su akışının daha hızlı olması nedeniyle dışbükey yamaçların erozyona daha duyarlı olduğunu belirtmiştir.

Literatürde TWI ile erozyon arasında ters bir ilişki olduğu, TWI değeri arttıkça erozyon duyarlılığının azaldığı belirtilmiştir (Amiri vd. 2019; Mokarram ve Zarei, 2021). Bu çalışmada da TWI açısından benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Çalışma alanında yüksek derecede erozyona duyarlı bölgelerin yaklaşık %96 gibi büyük bir oranla TWI değerinin düşük olduğu bölgelerde yer aldığı tespit edilmiştir.

Diğer taraftan, arazi kullanımı açısından sırasıyla tarım (ziraat) alanları (%64.57) ile verimsiz orman (%20.03) alanlarının erozyona en duyarlı alanlar oldukları tespit edilmiştir. Literatürde bu bulguyu destekleyecek çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Örneğin; Değerliyurt (2013) tarafından Hatay ilinde bulunan Arşuz Çayı Havzası'nın erozyon duyarlılık haritasının üretildiği çalışmada, erozyon duyarlılık derecesi yüksek çıkan alanların önemli bir kısmının tarım alanlarına karşılık geldiği tespit edilmiştir. Benzer şekilde Pektezeli (2015) tarafından Gelibolu Yarımadası'nda gerçekleştirilen erozyon duyarlılık analizinde, ekili - dikili tarım arazilerinin erozyon şiddetinin en yüksek olduğu yerler olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, Demirağ Turan ve Uzun (2021) tarafından Orta Karadeniz Bölgesinde yer alan Çorum Çayı Havzası'nda gerçekleştirilen erozyon risk değerlendirmesinde de havzada kuru tarım yapılan yüksek eğimli yamaçlarda erozyon riskinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Jeolojik açıdan değerlendirildiğinde erozyona yüksek derecede duyarlı alanların %32.68'lik oranla Kızılkaya formasyonu, %20.77'lik oranla Çağlayan formasyonu ve %14.87'lik oranla Çatak formasyonuna denk geldiği tespit edilmiştir.

Yüksek derecede erozyona duyarlı alanların yaklaşık %79 oranla drenaj ağlarına 0-250 m mesafede bulunduğu tespit edilmiştir. Mosavi vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada da akarsulara ya da drenaj ağlarına yakın bölgelerin toprak erozyonuna daha duyarlı olduğu belirtilmiştir.

Çalışma sahasında yüksek derecede erozyona duyarlı alanların yaklaşık %75'lik oranla drenaj yoğunluğunun nispeten düşük olduğu bölgelerde bulunduğu tespit edilmiştir. Literatürdeki çalışmalara göre erozyona duyarlı alanların drenaj yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde olması beklenmektedir (Rahmati vd. 2016; Rahmati vd. 2017; Arabameri vd. 2020). Ancak çalışma alanında drenaj yoğunluğunun düşük olduğu kesimler, arazi kullanımı açısından çoğunlukla ziraat ve verimsiz orman alanlarına tekabül etmektedir. Bu durumun çalışma alanında drenaj yoğunluğu düşük bölgelerin erozyona daha duyarlı çıkmasında etkili olduğu değerlendirilmiştir. Nitekim Güney (2018) tarafından Selendi çayı havzasında yapılan erozyon duyarlılık çalışmasında da araştırma alanındaki erozyon yüzeylerinin yarısından fazlasının drenaj yoğunluğunun düşük olduğu alanlara tekabül ettiği tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve AHP yöntemi kullanılarak Artvin ilinde bulunan Godrahav Deresi Havzasının erozyon duyarlılık haritası üretilmiştir. Godrahav Deresi Havzası, ülkemizde erozyon miktarının en fazla olduğu havzalardan biri olan Çoruh Havzası'nın alt havzalarından biridir. Erozyon duyarlılık analizinde; akarsu aşındırma güç indeksi (SPI), arazi kullanımı, bakı, eğim, eğim uzunluk ve eğim diklik faktörü (LS), drenaj yoğunluğu, drenaj hatlarına uzaklık, litoloji, NDVI, profil eğriliği ve TWI'yi içeren 11 jeo-çevresel faktör dikkate alınmıştır. Üretilen erozyon duyarlılık haritasında çalışma alanı üç duyarlılık sınıfına (düşük, orta, yüksek) ayrılmıştır. Bu haritaya göre çalışma alanının sadece %5.58'inin yüksek derecede erozyona duyarlı olduğu tespit edilmiştir. Duyarlı alanların bu denli küçük çıkmasında çalışma sahasının yaklaşık %80'inin orman alanları ile kaplı olması etkili olmuştur. Çalışma sahasında tarım alanlarının yaklaşık %65'inin, verimsiz orman alanlarının ise yaklaşık %20'sinin erozyona karşı duyarlı olduğu tespit edilmiştir.



Bu nedenle, çalışma sahasında erozyon duyarlılığın yüksek olduğu alanlarda, erozyon önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Ayrıca, erozyon duyarlılık çalışmalarında ihtiyaç duyulan önemli verilerden biri olan toprak haritalarının güncellenmesi ve çalışmalarda kullanılması kaçınılmazdır. Diğer taraftan, kapsamlı arazi çalışmaları yapılarak erozyon envanter haritalarının üretilmesi ve makine öğrenme teknikleri gibi doğruluğu yüksek modellerin kullanılarak bölgenin erozyon duyarlılığının belirli periyotlarla yeniden değerlendirilmesi önerilmektedir.

## Kaynaklar

- Akgün, A., & Türk, N. (2011). Mapping erosion susceptibility by a multivariate statistical method: A case study from the Ayvalık region, NW Turkey. *Computers&Geosciences*, 37, 1515–1524.
- Amiri, M., Pourghasemi, H. R., Ghanbarian, G. A. & Afzali, S. F. (2019). Assessment of the importance of gully erosion effective factors using Boruta algorithm and its spatial modeling and mapping using three machine learning algorithms. *Geoderma*, 340, 55–69.
- Arabameri, A., Rezaei, K., Pourghasemi, H. R., Lee, S. & Yamani, M. (2018). GIS-based gully erosion susceptibility mapping: a comparison among three data-driven models and AHP knowledge-based technique. *Environmental Earth Sciences*, 77, 628. doi: 10.1007/s12665-018-7808-5.
- Arabameri, A., Pradhan, B., Rezaei, K. & Conoscenti, C. (2019). Gully erosion susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis techniques. *Catena*, 180(2019), 282–297.
- Arabameri, A., Pradhan, B. & Tien Bui, D. (2020). Spatial modelling of gully erosion in the Ardeb River Watershed using three statistical-based techniques. *Catena*, 190(2020), 104545. doi: 10.1016/j.catena.2020.104545.
- Aslam, B., Maqsoom, A., Alaloul, W. S., Musarat, M. A., Jabbar, T. & Zafar, A. (2021). Soil erosion susceptibility mapping using a GIS-based multi-criteria decision approach: Case of district Chitral, Pakistan. *Ain Shams Engineering Journal*, 12, 1637–1649.
- Avcı, V. (2016). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile Gökdere Havzası ve Çevresinin (Bingöl) Erozyon Duyarlılık Analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(26), 170-193.
- Avcı, V. & Yüksel, A. (2016). Büyükçay Havzası'nın (Elazığ) Erozyon Risk Haritasının Hazırlanması. *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 319-335.
- Bhushan, N. & Kai, K. (2004). *Strategic Decision Making: Applying the Analytic Hierarchy Process*. London, UK: Springer-Verlag.
- Catani, F., Lagomarsino, D., Segoni, S. & Tofani, V. (2013). Landslide susceptibility estimation by random forests technique: sensitivity and scaling issues. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2013, 13(11), 2815-2831.
- Conforti, M., Aucelli, P. C., Robustelli, G. & Scarciglia, F. (2011). Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural Hazards*, 56, 881–898.
- ÇEM. (2021, Ağustos 6). Erozyon Kontrolü. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Çölleşme ve Erozyonla Mücadele Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.tarimorman.gov.tr/CEM/Menu/32/Erozyon-Kontrolu>
- Değerliyurt, M. (2013). Arsuz Çayı Havzası'nın Erozyon Duyarlılık Analizi. *International Journal of Social Science*, 6(7), 321-344.
- Demirağ Turan, İ. & Uzun, A. (2021). Analitik Hiyerarşik Süreç ve CBS Teknikleri Kullanılarak Çorum Çayı Havzasında Toprak Erozyonu Riskinin Modellenmesi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2021(6), 41-55.
- Dindaroğlu, T. & Canbolat, M. Y. (2014). Erzurum İli Kuzgun Baraj Gölü Havzasında Gerçek ve Potansiyel Erozyon Risk Alanlarının CORINE Yöntemiyle Belirlenmesi. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 16(4), 8-15.
- Donegan, H. A. & Dodd, F. J. (1991). A note on Saaty's random indexes. *Mathematical and Computer Modelling*, 15(10), 135-137.
- Ghorbanzadeh, O., Shahabi, H., Mirchooli, F., Kamran, K. V., Lim, S., Aryal, J., Jarihani, B. & Blaschke, T. (2020). Gully erosion susceptibility mapping (GESM) using machine learning methods optimized by the multi-collinearity analysis and K-fold cross-validation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1653–1678.
- Ghosh, B. & Mukhopadhyay, S. (2021). Erosion susceptibility mapping of sub-watersheds for management prioritization using MCDM-based ensemble approach. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 36, doi: 10.1007/s12517-020-06297-4.
- Gómez-Gutiérrez, A., Conoscenti, C., Angileri, S. E., Rotigliano, E., Schnabel, S. (2015). Using topographical attributes to evaluate gully erosion proneness (susceptibility) in two mediterranean basins: advantages and limitations. *Natural Hazards*, 79(1), 291–314.
- Güler, S. (2020). *Godrahav Havzasında Toprak Bozulma Katsayısındaki Değişimin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi)*. Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı, Artvin, Türkiye.
- Güney, Y. (2018). Frekans Oranı Yönteminin Erozyon Duyarlılık Analizinde Kullanımı: Selendi Çayı Havzası (Manisa) Örneği. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 6(2), 73-85.
- Güney, Y. & Turoğlu, H. (2018). Çok Ölçütlü Karar Analizi İle Erozyon Duyarlılık Çalışmalarında Erozyon Yüzeyleri Envanter Verisinin Kullanımı: Selendi Çayı Havzası Örneği. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 16(1), 105-119.

- İkiel, C., Ustaoglu, B. & Koç, D. E. (2020). Trakya Yarımadası'nda Erozyon Duyarlılık Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2020(4), 1-14.
- İmamoğlu, A. (2020). Alaca Çayı Havzası Erozyon Durumunun Morfometrik Ölçümler ile İlişkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18, 868-878.
- Keskin, İ. (2013). *1:100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. No: 179: Artvin E47 ve F47 Paftaları*. Maden Tetkik ve arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Malczewski, J. (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. New York: John Wiley and Sons.
- MGM. (2021a, Ağustos 6). Resmi İstatistikler. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Retrieved from <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ARTVIN>
- MGM. (2021b, Ağustos 6). Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi. Meteoroloji Genel Müdürlüğü. Retrieved from [https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim\\_siniflandirmalari/Thornthwaite.pdf](https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/iklim_siniflandirmalari/Thornthwaite.pdf)
- Mokarram, M. & Zarei, A. R. (2021). Determining prone areas to gully erosion and the impact of land use change on it by using multiple-criteria decision-making algorithm in arid and semi-arid regions. *Geoderma*, 403, 115379, doi: 10.1016/j.geoderma.2021.115379.
- Mosavi, A., Sajedi-Hosseini, F., Choubin, B., Taromideh, F., Rahi, G. & Dineva, A.A. (2020). Susceptibility Mapping of Soil Water Erosion Using Machine Learning Models. *Water*, 12, 1995. doi: 10.3390/w12071995.
- Mutlu, Y. E., Soykan, A. & Fıçıcı, M. (2021). Kille Çayı (Balıkesir) Havzasında Erozyon Risk Analizi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 2021(6), 98-111.
- Özdemir, M. A. & Tatar Dönmez, S. (2016). CBS Tabanlı RUSLE Yöntemiyle Işık Gölü Havzasının Erozyon Risk Analizi. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 1-21.
- Öztürk, D. & Batuk, F. (2010). Konumsal Karar Problemlerinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması. *Yıldız Teknik Üniversitesi Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, 124-137.
- Özşahin, E. (2008). Keçi Dere (Gönen Çayı'nın Bir Kolu) Havzasının Hidrografik Özelliklerine Sayısal Yaklaşım. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5(10), 301-317.
- Pekal, K. & Tilki, F. (2010, Mayıs). Artvin Çoruh Nehri Su Havzasında Erozyon Kontrolü Amaçlı Ağaçlandırma Çalışmalarının Değerlendirilmesi. *III. Ulusal Karadeniz Ormanlık Kongresi, 2010*. Bildiri Kitapları (pp. 656-667).
- Pektezel, H. (2015). Gelibolu Yarımadası'nda CBS Tabanlı Rusle (3d) Yöntemiyle Erozyon Duyarlılık Analizi. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 3(17), 131-151.
- Pourghasemi, H. R., Yousefi, S., Kornejady, A. & Cerdà, A. (2017). Performance assessment of individual and ensemble data-mining techniques for gully erosion modeling. *Science of the Total Environment*, 609, 764-775.
- Rahmati, O., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H. R. & Noormohamadi, F. (2016). Gully erosion susceptibility mapping: the role of GIS-based bivariate statistical models and their comparison. *Natural Hazards*, 82, 1231-1258.
- Rahmati, O., Tahmasebipour, N., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H. R. & Feizizadeh, B. (2017). Evaluation of different machine learning models for predicting and mapping the susceptibility of gully Erosion. *Geomorphology*, 298, 118-137.
- Rouhani, H., Fathabadi, A. & Baartman, J. (2021). A wrapper feature selection approach for efficient modelling of gully erosion susceptibility mapping. *Progress in Physical Geography*, 45(4), 580-599.
- Saaty, T. L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15, 57-68.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. New York, NY: McGraw-Hill International.
- Sönmez, M.E., Çelik, M.A. & Seven, M. (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Kilis Merkez İlçesinin Erozyon Risk Alanlarının Belirlenmesi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 10(1), 1-21.
- Sun, W., Shao, Q., Liu, J. & Zhai, J. (2014). Assessing the effects of land use and topography on soil erosion on the Loess Plateau in China. *Catena*, 121, 151-163.
- Sunkar, M. & Avci, V. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) ile Hasret Dağı ve Çevresinin (Elazığ) Erozyon Duyarlılık Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 13(1), 17-40.
- Tombuş, F. E. (2005). *Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Risk Belirlemesine Yeni Bir Yaklaşım, Çorum İli Örneği* (Yüksek Lisans Tezi), Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Tombuş, F. E. & Ozulu, İ. M. (2007, Ekim). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Erozyon Risk Belirlemesine Yeni Bir Yaklaşım, Çorum İli Örneği. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, 30 Ekim - 02 Kasım, KTÜ, Trabzon.
- Sinshaw B. G., Belete A. M., Tefera A. K., ... & Moges, M. A. (2021). Prioritization of potential soil erosion susceptibility region Using fuzzy Logic and Analytical Hierarchy process, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Water-Energy Nexus*, 4, 10-24.

- Verstappen, H. Th. (1983). *Applied geomorphology*. ITC, Enschede: Elsevier.
- Yanar, T., Kocaman, S. & Gokceoglu, C. (2020). Use of Mamdani Fuzzy Algorithm for Multi-Hazard Susceptibility Assessment in a Developing Urban Settlement (Mamak, Ankara, Turkey). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2), 114, doi: 10.3390/ijgi9020114.
- Yüksel, A. & Avcı, V. (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama ile Yamaç Havzası'nın (Bingöl) Erozyon Duyarlılık Analizi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 32(2), 116-128.